

NN31545.1250

A 1250<sup>I</sup>

februari 1981

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding  
Wageningen

**BIBLIOTHEEK  
STARINGGEBOUW**

**BIBLIOTHEEK DE HAAFF**

Droevendaalsesteeg 3a  
Postbus 241  
6700 AE Wageningen

INVLOED VAN BEMESTING EN GRONDWATERSTAND  
OP DE PROCESSEN IN BODEM EN GRONDWATER  
(Onderzoek aan diepe lysimeters op Sinderhoeve)

M.G. Verdonschot

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, 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.

1790300

13 FEB. 1998

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS



0000 0941 3226

INVLOED VAN BEMESTING EN GRONDWATERSTAND  
OP DE PROCESSEN IN BODEM EN GRONDWATER

Rapport  
onder begeleiding van  
ir. J.H.A.M. Steenvoorden  
van  
mijn stage bij het  
Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding  
tijdens de periode van 1-5-1980 tot 1-8-1980

door

M.G. Verdonschot

3e jaars student aan de  
Rijks Hogere Landbouwschool  
Prof. H.C. van Hallstraat 1  
Groningen

## I N H O U D

	blz.
1. INLEIDING	1
1.1. Inleiding	1
1.2. Het begrip waterkwaliteit	2
1.2.1. Invloed natuurlijke bodemsamenstelling	2
1.2.2. Invloed bemesting	4
1.2.3. Invloed hydrologie	5
1.2.4. Waterkwaliteitseisen	5
1.3. Probleemstelling	6
1.3.1. De stikstofuitspoeling	6
1.3.2. De uitspoeling van andere elementen	7
2. DOEL VAN HET ONDERZOEK	8
3. OPZET EN UITVOERING VAN HET ONDERZOEK	8
3.1. De lysimeter in het algemeen	8
3.1.1. De bouw van de lysimeter	9
3.1.2. De waterhuishouding in de lysimeter	10
3.2. Bemonstering en meting in de lysimeter	11
3.2.1. Waterbemonstering	11
3.2.2. Oxidatie-Reductietoestand	12
3.2.3. Temperatuur	13
3.2.4. Vochtmeting	13
3.3. Bodemsamenstelling in de lysimeter	14
3.4. Gewas op de lysimeter	15
3.5. De bemesting	16
3.6. Totaalbeeld proefopzet	17
3.7. Uitvoering van het onderzoek	17

	blz.
4. RESULTATEN EN DISCUSSIE	18
4.1. De waterbalans	18
4.1.1. Toevoer via regen ( $T_r$ )	18
4.1.2. Toevoer via bemesting ( $T_b$ )	20
4.1.3. Afvoer via afvoervaten ( $A_v$ )	20
4.1.4. Afvoer via bemonstering ( $A_b$ )	23
4.1.5. Verandering in de vochtberging ( $\Delta V$ )	23
4.1.6. De eind-waterbalans	25
4.1.7. De ds-produktie per mm verdamping (gewas- factor)	26
4.2. Analyses in bodemvocht en grondwater	32
4.2.1. Algemeen	32
4.2.2. De uitspoelingsdiepte	32
4.2.3. Nitraat	35
4.2.4. Chloride	38
4.2.5. Kalium	42
4.2.6. Totaal organische koolstof (TOC)	44
4.2.7. Elektrisch geleidingsvermogen	46
4.2.8. Zuurgraad	48
4.2.9. Overige bepalingen	49
4.3. De stikstofbalans	52
4.3.1. Stikstoftoevoer via mest	53
4.3.2. Stikstoftoevoer via neerslag	54
4.3.3. Uitgespoelde stikstof naar het grondwater	54
4.3.4. Afvoer van stikstof via geoogst gras	62
4.3.5. Bergingsverandering van stikstof in in onverzadigde zone	68
4.3.6. De eindbalans	72
5. NOGMAALS: DE STIKSTOFUITSPOELING	73
6. SAMENVATTING	75
NAWOORD	77
LITERATUUR	78
BIJLAGEN	79

## 1. INLEIDING

### 1.1. In l e i d i n g

De aandacht voor de waterverontreiniging is de laatste jaren sterk toegenomen. Simpelweg als het gevolg van het steeds schaarser worden van 'zuiver' water, terwijl dit produkt toch één van onze primaire levensbehoeften is. Een aantal jaren terug was er geen of nauwelijks sprake van schaarste zodat het water (met name het oppervlaktewater) toen veelal fungeerde als vuilnisvat, waarin de nodige stoffen werden geloosd. Door de zelfreinigende werking van dat water, werd deze vervuiling weer min of meer teniet gedaan.

De industriële ontwikkeling, de groei van de bevolking en de intensivering in de landbouw hebben een dusdanige verhoging van de waterverontreiniging teweeg gebracht, dat de zelfreinigingscapaciteit ruimschoots wordt overschreden. Naast deze primaire vervuiling kan er ook nog sprake zijn van een secundaire vervuiling. Door de toevoer van mineralen kan er namelijk algengroei optreden die in extreme situaties tot een dusdanig zuurstofgebrek kan leiden, dat er anaerobe processen gaan optreden hetgeen stank kan veroorzaken.

Deze secundaire vervuiling geldt uiteraard niet voor het grondwater. Grondwater speelt wel een belangrijke rol omdat het de voedingsbron is voor oppervlaktewater. Verontreiniging van grondwater kan dus resulteren in verontreinigd oppervlaktewater. Verder is in vele gebieden grondwater de belangrijkste bron voor drinkwater, zodat ook de verontreiniging van grondwater de nodige aandacht verdient.

## 1.2. Het begrip waterkwaliteit

Als begin voor de verbetering van de waterkwaliteit is in 1969 de Wet op de Waterverontreiniging (WVO) tot stand gekomen. Het doel van deze wet is een dusdanige herstelling van de waterkwaliteit dat de normale levensfuncties van mens, plant en dier niet verstoord worden. Doordat het water slechts één van de vele factoren is die deze levensfuncties bepalen, is deze definitie veel te algemeen om eisen te gaan stellen aan de waterkwaliteit.

Het beste lijkt daarom, om bij de vraag wat nou goed water is een vergelijking te maken met het grondwater onder natuurterreinen, aan de hand van daarvoor geschikte parameters. Zodoende kan men een idee krijgen in welke mate het water verontreinigd is door toedoen van de mens. Deze mate van verontreiniging hangt nauw samen met de natuurlijke bodemsamenstelling, de zwaarte van de bemesting en de hydrologische toestanden.

### 1.2.1. Invloed natuurlijke bodemsamenstelling

De organische stof in de bodem heeft een grote invloed op het gehalte aan organische stof, stikstof en fosfaat van grond- en oppervlaktewater. Verder heeft de minerale samenstelling een grote invloed op het  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , Ca-, Mg- en totaal-Fe-gehalte, het geleidingsvermogen en het totaal zoutgehalte van grond- en oppervlaktewater. In sommige natuurterreinen benaderen deze gehalten die van het regenwater. De bodemchemische samenstelling is onder andere bepalend voor de pH en bij een hogere pH zal de  $\text{HCO}_3^-$ -concentratie toenemen.

In de volgende tabel staan de stikstofgehalten van een aantal natuurterreinen. Hier wordt het stikstofgehalte vrijwel volledig bepaald door het anorganische ammonium en organisch N. Nitraat komt zelden voor. Duidelijk blijkt de invloed van de organische stof in het bodemmateriaal op de gehalten.

Tabel 1. Stikstofgehalten ( $\text{g.N/m}^3$ ) in de bovenste meter van het (verzadigde) grondwater onder een aantal natuurterreinen op verschillende bodemtypen (STEENVOORDEN, 1976; BOTS e.a., 1978)

Bodemtype	Begroeiing	$\text{NH}_4^+$	Organisch-N	Totaal-N
Zand	naaldhout	0,5	0,5	1,0
Rivierklei	loofhout	0,1	0,4	0,9
Hoogveen op zand	heide	0,8	0,5	1,5
Mesotroof laagveen	blauwgras	1,9	2,1	4,4
Zeeklei	loofhout	8,1	1,7	10,0
Zeeklei	loofhout	13,1	2,5	15,8

De fosfaatgehalten van grondwater in natuurgebieden tonen veel overeenkomst met die van agrarische percelen. Ook is het gehalte weer sterk afhankelijk van de aanwezige organische stof, wat blijkt uit de volgende tabel.

Tabel 2. Fosfaatgehalten ( $\text{g.P/m}^3$ ) in de bovenste meter van het (verzadigde) grondwater onder natuurterreinen bij verschillende bodemtypen (STEENVOORDEN, 1976; BOTS e.a., 1978)

Bodemtype	Begroeiing	Ortho-fosfaat	Totaal-fosfaat
Zand	loofhout	0,04	0,08
Rivierklei	loofhout	0,01	0,11
Hoogveen op zand	heide	0,04	0,11
Mesotroof laag veen	blauwgras	0,07	0,49
Zeeklei	loofhout	1,5	1,6
Zeeklei	loofhout	4,7	6,0

### 1.2.2. Invloed - bemesting

Als indicator voor de zwaarte van de bemesting gebruikt men meestal het chloride-gehalte, omdat dit niet betrokken is bij biologische of chemische processen in grond- en oppervlaktewater. Verhoging van het stikstofgehalte in de bodem is voornamelijk het gevolg van een verhoging van het nitraatgehalte. Op grotere dieptes kan dit echter weer door middel van microbiologische omzettingen worden gereduceerd. Deze processen worden uitvoeriger beschreven in par.1.3; de probleemstelling. Hoe de gehalten in het grondwater veranderen als gevolg van een zwaardere bemesting blijkt uit tabel 3 (OOSTEROM en STEENVOORDEN, 1973).

Tabel 3. Chemische analyse van het grondwater van natuurterreinen en van 'normaal' en 'relatief zwaar' bemeste agrarische percelen op zand. De agrarische percelen zijn ingedeeld op basis van het gemiddelde chloridegehalte (< en > 45 mg Cl<sup>-</sup>/l.) (okt. 1971-okt. 1972)

Bepaling	Natuur (zand)		Cl <sup>-</sup> < 45 mg/l		Cl <sup>-</sup> > 45 mg/l	
	0,5 m	2,5 m	0,5 m	2,5 m	0,5 m	2,5 m
Cl <sup>-</sup> (mg/l )	12	13	34	31	58	66
NO <sub>3</sub> -N (mg N/l)	0,3	0,3	2,3	0,5	8,4	1,7
NO <sub>2</sub> -N ( " )	0,01	0,01	0,04	0,01	0,03	0,02
NH <sub>4</sub> -N ( " )	0,6	0,6	0,8	0,9	1,6	3,4
Org. N ( " )	0,4	0,4	0,7	0,6	0,7	0,3
Tot.-N ( " )	1,3	1,3	3,8	2,0	10,7	5,4
Ortho-P (mg P/l)	0,05	0,07	0,08	0,17	0,04	0,08
Tot.-P ( " )	0,08	0,10	0,29	0,19	0,16	0,15



### 1.2.3. Invloed hydrologie

Een slecht doorlatende bodemlaag op geringe diepte kan resulteren in een versnelde afvoer van het grondwater bij hoge neerslagintensiteiten. In het oppervlaktewater komt dit tot uiting in een verhoogde concentratie van het nitraat-ion. Verder zijn de gehalten in het bovenste grondwater, vanwege de menging met door de bodem percolerend regenwater, lager dan op grotere diepte (uitgezonderd Ca en Mg). Een ander aspect vormt de verdamping door de vegetatie. Een hogere verdamping kan als het ware een indikking van het bodemvocht veroorzaken. Met name chloride- en sulfaatconcentraties worden hierdoor beïnvloed.

Tenslotte speelt de hydrologie een belangrijke rol als beïnvloeder van verschillende biochemische processen. Ook dit zal in de probleemstelling uitgebreider aan de orde komen.

### 1.2.4. Waterkwaliteitseisen

Uit het voorafgaande blijkt het mogelijk te zijn door middel van vergelijkingen met de grondwatersamenstelling onder natuurlijke terreinen, bepaalde uitspraken te doen omtrent de verontreiniging van het water. De afgelopen jaren hebben verschillende instanties zich beziggehouden met het opstellen van waterkwaliteitseisen, welke echter vanwege het jonge stadium slechts voorlopige eisen zijn. De belangrijkste zijn als volgt:

$\text{Cl}^-$ : 200 mg/l wordt als toelaatbaar beschouwd. Sommige gewassen ondervinden dan reeds schade

Fe : 1,5 à 2,0 mg/l voor beregeningswater fruitteelt

5 mg/l voor veedrinkwater

0,2 mg/l voor mestvarkens

$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  :  $\pm 5^\circ\text{D}$ , vooral voor bloemeteelt

$\text{NO}_3^-$ : 100 mg/l in drinkwater voor mens (WLB)

30 mg/l in drinkwater voor vee indien voedsel nitraatrijk is

$\text{NO}_2^-$ : 0,1 mg/l in drinkwater voor mens

0,5 mg/l in drinkwater voor vee

$\text{NH}_3$  : 0,2 - 2 mg/l voor vissen

0,2 - 9 mg/l voor andere waterorganismen

N : 0,2 - 0,3 mg/l anorganisch N in voorjaar in verband met  
eutrofiëring

P : 0,03 mg/l P dat biologisch opneembaar is in verband met  
eutrofiëring

O<sub>2</sub>-verzadiging: 70% van de verzadigingswaarde voor gezond opper-  
vlaktewater (BIEMOND)

O<sub>2</sub> : minimaal 4 mg O<sub>2</sub>/l voor vissen

### 1.3. P r o b l e e m s t e l l i n g

Indien er bij een bemesting meer meststoffen worden gegeven dan het gewas eigenlijk nodig zou hebben is er sprake van overbemesting. Een gedeelte van de opgeloste mineralen zal dan uitspoelen naar het grondwater. De vraag is nu, wat precies uitspoeling is. Een bepaalde stof is uitgespoeld, zodra hij zo diep in de bodem is verplaatst, dat hij niet meer beschikbaar is voor de plant. Dit zou dus betekenen dat alles beneden de bewortelingsdiepte uitgespoeld is. Dit is echter niet helemaal juist, omdat via capillaire nalevering ook stoffen uit diepere lagen voor de plant beschikbaar kunnen komen. Voor de vereenvoudiging wordt daarom gesteld dat de stoffen die definitief in het grondwater (verzadigde zone) zijn terechtgekomen, zijn uitgespoeld en alles daarboven nog voor de plant beschikbaar is.

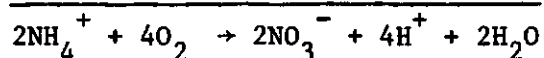
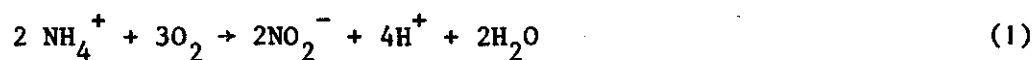
De mate van uitspoeling is sterk afhankelijk van de soort verbinding, de fysische- en chemische eigenschappen van de grond en de hydrologische toestand van de bodem. Vooral bij de stikstof-uitspoeling komt dit duidelijk naar voren.

#### 1.3.1. De stikstofuitspoeling

De stikstoftoediening aan de bodem gebeurt voornamelijk in de vorm van organisch gebonden stikstof en anorganisch ammonium. Vanwege de positieve lading van het ammonium zal dit ion zich gemakkelijk hechten aan de negatieve klei- en humusdeeltjes (adsorptie-complex) en is in die vorm dan ook erg immobiel.

Na enkele dagen begint het proces van organische stof afbraak tot CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O en NH<sub>3</sub>, wat weer enkele dagen later wordt gevolgd door het

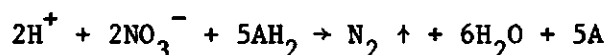
nitrificatie - proces: de oxydatie van  $\text{NH}_4^+$  tot  $\text{NO}_3^-$ .  
Deze verloopt in de volgende 2 fasen:



Hierbij verloopt de 2e fase sneller dan de 1e, zodat het nitriet-gehalte meestal laag is.

Via deze nitrificatie is dus het negatieve  $\text{NO}_3^-$ -ion ontstaan dat zich niet gauw aan het adsorptie-complex zal binden en zodoende erg mobiel is. De uitspoeling van stikstof gebeurt dan ook voornamelijk in de vorm van nitraat.

Het nitraatgehalte kan weer verlaagd worden door het denitrificatie - proces: de afbraak van nitraat tot stikstofgas,  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$ . Voorwaarden hiervoor zijn laag zuurstofgehalte en de aanwezigheid van afbreekbare organische stof. Een laag zuurstofgehalte kan bijvoorbeeld ontstaan door een hoge biologische activiteit of een hoog vochtgehalte waardoor de  $\text{O}_2$ -diffusie geremd wordt. De denitrificatie verloopt als volgt:



Bij dit bacteriële proces wordt dus stikstofgas gevormd dat naar de atmosfeer kan ontsnappen. Het kan ook optreden in diepere grondlagen, doch door mogelijke menging met ander grondwater (horizontaal transport) is dit proces in het veld moeilijk te kwantificeren. Daarvoor kan dit lysimeterexperiment ons van dienst zijn.

### 1.3.2. De uitspoeling van andere elementen

Naast stikstof speelt fosfaat een belangrijke rol bij de uitspoeling, respectievelijk verontreiniging. In kwantitatieve zin is er echter nog maar weinig bekend, omdat de fosfaatverbindingen in grote hoeveelheden door de bodem kunnen worden geabsorbeerd. Het slecht oplosbare  $\text{PO}_4^{3-}$ -ion slaat dan neer in de vorm van Fe-, Al- of Ca-verbindingen. Zodoende wordt tijdens dit onderzoek de meeste

aandacht gericht op de nitraatuitspoeling.

Andere parameters die in dit onderzoek bekeken worden zijn chloride kalium, TOC (Total Organic Carbon) en E.G.V. (Elektrisch Geleidings Vermogen). Zij spelen allemaal een bepaalde rol bij de uitspoeling, welke nog aan de orde zal komen.

## 2. DOEL VAN HET ONDERZOEK

Het primaire doel is een beter inzicht te krijgen omtrent de processen in het grondwater tijdens het transport naar dieper grondwater of oppervlaktewater. Hierbij wordt vooral het denitrificatieproces bedoeld. In het veld zijn deze processen namelijk moeilijk te kwantificeren vanwege de mogelijke menging met ander grondwater (horizontale stroming). Verder is het belangrijk een beter inzicht te krijgen omtrent de uitspoeling van verschillende stoffen, met name stikstof.

Dit doel wordt geprobeerd te verwezenlijken door in een min of meer gelijkmatige opzet enkele variabelen in te bouwen, zoals de grootte van de mestgift, de grondwaterstand (GWS) en de bodemsamenstelling. Door alle andere factoren constant te houden kan men uit deze waarnemingen bepaalde conclusies trekken. In hoeverre deze conclusies sluitend zijn en tevens gelden voor de praktijk zal bekeken worden. Het onderzoek gaat nu het 4e jaar in (gestart in maart 1977) en zal waarschijnlijk nog enkele jaren worden voortgezet.

## 3. OPZET EN UITVOERING VAN HET ONDERZOEK

### 3.1. D e l y s i m e t e r i n h e t a l g e m e e n

Lysimeters zijn waterdichte bakken of vaten gevuld met al dan niet bebouwde grond, welke van onderen voorzien zijn van een inrichting ter afvoer van drainwater dat gemeten en geanalyseerd kan worden (MASCHAUPT, 1938). Ze zijn eigenlijk ontworpen om onderzoek te kunnen doen naar vochtbewegingen in een bodemprofiel, resulterend in een waterbalans. Deze komt tot uiting in de volgende formule

$$N - G = Er + \Delta V$$

waarin:

N = neerslag

G = grondwatervoeding

Er = evapotranspiratie

$\Delta V$  = vochtbergingsverandering in de bodem

Tegenwoordig is men in verband met de bodemprocessen echter meer geïnteresseerd in de watersamenstelling. Door een kleine aanpassing van de lysimeters is het mogelijk om op verschillende dieptes vocht te onttrekken, hetwelk geanalyseerd kan worden. Hierdoor kan men een indruk krijgen van het concentratieverloop in de bodem.

### 3.1.1. De bouw van de lysimeter

Voor dit onderzoek zijn in 1976 op het proefterrein Sinderhoeve te Renkum 6 lysimeters gebouwd in een bestaande kelder. De kolommen zijn 3,30 m lang en de kelder is ongeveer 2 meter diep, zodat de kolommen  $\pm$  1,30 m boven het maaiveld uitsteken. Hierdoor zullen de klimatologische omstandigheden iets anders zijn dan in de praktijk (meer wind, iets hogere temperatuur), doch aan deze invloeden wordt hier verder geen aandacht besteed. De kolommen zijn vervaardigd uit kunststofbuizen met een diameter van 0,80 m. Voor deze kunststof (glasvezelversterkte polyester) is gekozen omdat hij niet wordt aangetast door allerlei in de bodem aanwezige stoffen, speciaal bij zulke hoge drijfmestgiften. Wel zou een grotere diameter beter zijn geweest vanwege de lagere randeffecten, doch 0,80 m bleek de grootste maat die in de handel verkrijgbaar was (voor opstelling zie bijlagen 1 en 2).

De kunststofbuizen leenden zich ook uitstekend voor het boren van gaatjes om de aftappunten en de meetapparatuur in aan te brengen. Verder zijn onder in de kolommen drains aangebracht die dienen voor de overtollige afvoer. Om verstoppingen te voorkomen is om de drain een laagje grind aangebracht, omgeven met een nylon kousje. Ook zijn de kolommen gehuld in steenwol om ze te isoleren tegen extra warmte vanuit de kelder om zo meer overeenstemming te krijgen met de praktijk-situatie.

Een nadeel van de opstelling is, dat alles op een permanente manier in de buizen moest worden aangebracht. Gaat er iets kapot of fout dan kan dit niet vervangen worden omdat anders de kolom verstoord wordt. Zo blijkt er nu één poreus potje, dat dient voor de vochtonttrekking, stuk te zijn. Deze analyses zijn dus niet bekend. In hoeverre dit aantal nog toeneemt zal in de toekomst moeten blijken.

### 3.1.2. De waterhuishouding in de lysimeter

De grondwaterstand (GWS) in de lysimeter kan op elk gewenst niveau worden ingesteld. Hoe dit gebeurt wordt verduidelijkt door de volgende figuur.

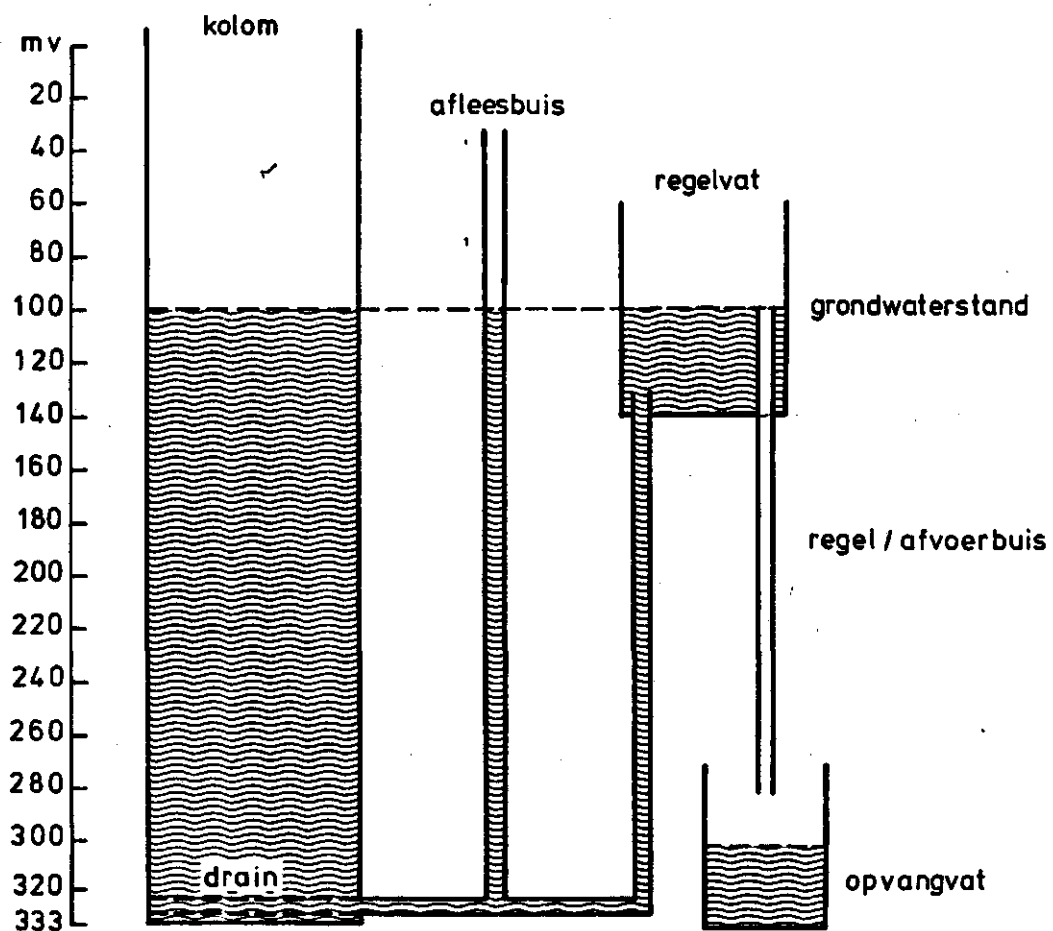


Fig. 1. Schets van de niveau-regelaar (niet op één schaal)

De afleesbuis en het regelvat zijn via de drain met de kolom verbonden en volgen dus de Wet van de Communicerende Vaten. Dit betekent dat de GWS in de kolom nooit boven niveau A uit kan komen, omdat dan het overtollige water via het regelvat in het opvangvat terechtkomt.

De GWS kan dus worden ingesteld door niveau A in het regelvat te variëren. In de praktijk wordt echter het gehele regelvat op de gewenste hoogte gehangen, aangezien het vat slechts klein en dus gemakkelijk hanteerbaar is. De aanvoer van water gebeurt uitsluitend via natuurlijke neerslag gemeten met behulp van de regenmeters op Sinderhoeve (één jaar uitgezonderd, doch dat komt nog aan de orde). Is de neerslaghoeveelheid groter dan de verdamping, dan zal de kolom na een tijdje gaan afvoeren, welke hoeveelheid gemeten wordt in het opvangvat. Is de neerslaghoeveelheid kleiner dan de verdamping dan kan de GWS ook beneden het ingestelde niveau gaan dalen, welke bewegingen gevolgd kunnen worden op de afleesbuis (zie fig. 1).

### 3.2. Bemonstering en meting in de lysimeter

#### 3.2.1. Waterbemonstering

Elke kolom kan om de 20 cm worden bemonsterd, te beginnen bij 10 cm onder maaiveld. In de onverzadigde zone betekent dit dat er een bepaalde onderdruk nodig is om het vocht aan de grond te onttrekken. Dit gebeurt met behulp van tensiometerpotjes. Ook wel filterkaarsen genoemd, waarvan hieronder een schets.

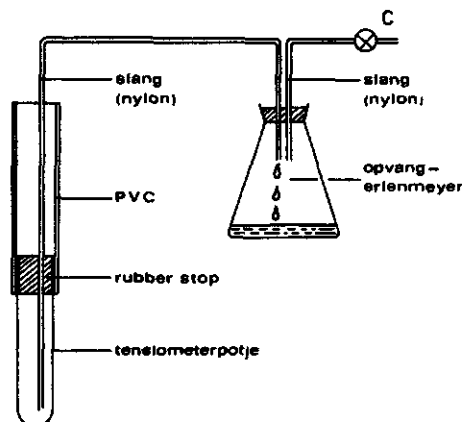


Fig. 2. Dwarsdoorsnede van een tensiometer met opvang-erlenmeyer

Door middel van het pompje (c) kan een onderdruk worden aangelegd in de opvangerlenmeyer respectievelijk tensiometerpotje. Hierdoor zal er vocht vanuit de bodem via de poreuze wand het tensiometerpotje instromen en vandaar naar de opvangerlenmeyer. De maximale theoretische onderdruk is 1 atm. (vacuum). Dit komt overeen met + 1000 cm waterdruk ofwel een pF van 3. In praktijk kunnen we komen tot een onderdruk van  $pF = 2,7$ .

Vanwege de hoge vochtspanning ging de vochtonttrekking in de bovenste lagen van de lysimeter erg langzaam. Bij sommige bemonsteringen duurde het 2 weken voor er voldoende vocht onttrokken was, op andere plaatsen kon helemaal geen vocht onttrokken worden en op enkele plaatsen waren de hoeveelheden zo klein dat ze eerst moesten worden verdund voor er analyses konden worden verricht. In de verzadigde zone kon het vocht rechtstreeks onttrokken worden door middel van een slangetje, omgeven met een kousje om verstoppingen te voorkomen.

### 3.2.2. Oxidatie-Reductietoestand

De oxidatie-reductietoestand geeft een belangrijke indicatie over de processen in de bodem namelijk of ze aerob of anaerob zijn. In dit experiment is vooral de denitrificatie van belang en deze blijkt voornamelijk onder anaerobe omstandigheden plaats te vinden. De oxidatie-reductietoestand wordt weergegeven door het redoxpotential en gemeten met behulp van een redox-electrode. Deze ziet er als volgt uit:

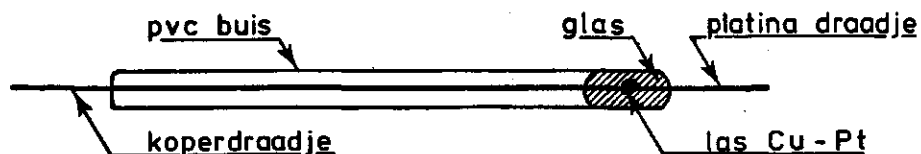


Fig. 3. Dwarsdoorsnede van een redox-elektrode



Bij de meting wordt als referentie potentiaal de calomelelektrode gebruikt.

### 3.2.3. Temperatuur

Ook de temperatuur speelt een belangrijke rol bij het verloop van de bodemkundige processen. Biochemische en chemische reacties versnellen meestal bij een hogere temperatuur, terwijl na een bepaald optimum de biochemische reacties weer teruglopen. De temperatuur wordt gemeten met behulp van thermo-koppels op verschillende diepten namelijk 50, 100, 150, 250 en 300 cm diep in kolom 3 en 5. Dit om de andere kolommen niet onnodig te storen.

### 3.2.4. Vochtmeting

Om een water- en stikstofbalans op te kunnen stellen moet men de vochtbergingsveranderingen in de kolom weten. Deze zou men kunnen meten door grondmonsters te nemen, doch deze zouden de kolommen teveel verstoren. Daarom is gekozen voor de  $\gamma$ -transmissie methode. Deze werkt als volgt: in de kolommen worden 2 koperen buizen op een bepaalde afstand geplaatst, één voor de zender en één voor de ontvanger. De zender is in dit geval een 20 mC Cs<sup>137</sup>-stralingsbron. De stralingsintensiteit wordt gemeten met behulp van de ontvanger en de gemeten intensiteit vertoont een lineair verband met de totale massa tussen bron en ontvanger. Indien het droog volumegewicht niet verandert, dan is een gemeten verandering van het volumegewicht een direct gevolg van een verandering in het vochtgehalte. Aangezien en het droogvolume en ook andere componenten niet constant zijn, vindt men niet de werkelijke dichtheid maar een schijnbare dichtheid ( $\rho_\gamma$ ) die in een formule wordt weergegeven als:

$$\rho_\gamma = 0,9 \rho_m + 1,01 \rho_o + \rho_w$$

waarin:

$\rho_\gamma$  = schijnbare dichtheid volgens de getelde elektronen

$\rho_m$  = massa van de minerale delen

$\rho_o$  = massa van de organische stof

$\rho_w$  = massa van het water

$\rho_d$  = massa van alle gronddelen tezamen ( $0,9 \rho_m + 1,01 \rho_o$ )

Deze verschillende componenten kunnen als volgt bepaald worden. Bij het plaatsen van de buizen in de kolommen is op het lab van de voor deze plaatsing verwijderde grond de gewichtsfractie vocht (a) en de gewichtsfractie organische stof (b) bepaald. Voor a en b geldt dan:

$$a = \frac{\rho_w}{\rho_m + \rho_o} \quad b = \frac{\rho_o}{\rho_m + \rho_o}$$

Hieruit volgt:

$$\frac{\rho_w}{\rho_m} = \frac{a}{1-b} \quad \text{en} \quad \frac{\rho_o}{\rho_m} = \frac{b}{1-b}$$

Voor de dieptes 10 t/m 50 cm zijn a, b en  $\rho_\gamma$  bekend, zodat  $\rho_m$ ,  $\rho_o$ ,  $\rho_w$  en  $\rho_d$  hieruit berekend kunnen worden. Voor de andere dieptes is slechts  $\rho_\gamma$  bekend. Dit is echter minder bezwaarlijk omdat in de verzadigde zone  $\rho_d$  berekend kan worden met behulp van de  $\rho_\gamma$ -waarden. Het poriënvolume is immers bekend en zodoende ook  $\rho_w$ . Voor  $\rho_d$  geldt:

$$\rho_d = \rho_\gamma - \rho_w$$

Uit de gemiddelde  $\rho_d$ -waarden kan dan weer  $\rho_w$  berekend worden, wat ons de vochthoeveelheden per laag levert.

### 3.3. Bodemsamenstelling in de lysimeter

Zoals in de inleiding reeds genoemd speelt de bodemsamenstelling een belangrijke rol bij de processen in de bodem. Vooral het organisch stofgehalte en de profielopbouw zijn van belang en bij de profielopbouw speciaal de storende lagen. Deze komen in de kolommen echter niet voor.

Aangezien de uitspoelingsproblematiek op de zandgronden het grootst is (de van nature armste gronden met de tegenwoordige hoogste mestgiften) ligt het voor de hand dat ook in dit onderzoek voor deze grondsoort is gekozen. Om de invloed van een verschillend type zandgrond na te gaan zijn kolom 1 t/m 5 gevuld met zandgrond uit de Achterhoek en kolom 6 met zandgrond uit Vredepeel in Noord-Limburg. De verschillen in bodemkundige samenstelling worden door de volgende tabel weergegeven.

Tabel 4. De samenstelling van de twee bodemtypen in de lysimeters bij verschillende lagen

Herkomst	Laagdiepte in cm	pH KCl	Humus- gehalte	% aan minerale delen in $\mu\text{m}$					
				< 2	2-16	16-50	50-105	105-150	150-210
Vredepeel	0- 30	4,8	5,1	2,9	1,8	4,4	10,7	26,3	53,9
	30- 50	4,4	2,2	2,7	1,8	5,7	12,6	23,7	53,5
	50-120	4,6	0,3	2,6	0,5	3,2	8,5	29,2	56,0
Achterhoek	0- 50	4,3	3,4	5,5	4,8	6,8	15,5	18,3	50,1
	50-300	5,0	0,9	3,3	1,4	3,0	18,5	26,5	47,3

De Vredepeel-grond is een kalkarme, leemarme ontginningsgrond en de Achterhoekgrond een lemige beekerdgrond.

#### 3.4. Gewas op de lysimeter

Als gewas op de lysimeters zou snijmais het beste zijn. Dit is namelijk momenteel op de zandgronden het overheersende bouwlandgewas, wat tevens goed bestand lijkt tegen hoge mestgiften. Op sommige plaatsen heeft dit zelfs al geleid tot een min of meer monocultuur van snijmais, naast de gebruikelijke grasproductie. Vanuit praktisch oogpunt was dit echter niet mogelijk. Bij een normale dichtheid zouden er per kolom slechts 5 à 6 planten geteeld kunnen worden. Dit aantal is gevaarlijk klein, vooral als er tengevolge van ziektes of klimatologische omstandigheden nog een reductie plaatsvindt. Hierdoor zou het hele onderzoek min of meer mislukken. Zodoende is gekozen voor gras waaraan minder teelttechnische risico's verbonden zijn.

Het bouwplan is eenjarige kunstweide zodat de kolommen elk voorjaar begin april opnieuw worden ingezaaid met gras van de grascode B.G.11. Bij een lengte van  $\pm$  15 cm wordt gemaaid, wat neerkomt op 4 à 5 keer maaien per jaar. Telkens na het maaien zijn de d.s.-gehalten per kolom bepaald en tenslotte gesommeerd per jaar en uitgedrukt in kg ds per ha, om vergelijking met de praktijk enigszins mogelijk te maken. Na de laatste oogst wordt de graszode ondergewerkt en de drijfmest

gegeven voor het daaropvolgende jaar. De mest wordt ondergewerkt en dan blijft de grond gedurende de winter braak liggen tot hij in het voorjaar opnieuw wordt ingezaaid.

### 3.5. D e b e m e s t i n g

Als meststof is voor varkensdrijfmest gekozen, ook overeenkomstig de praktijksituatie. Om een indruk te krijgen over het effect van een verhoogde dosering is er een variatie in de dosis per kolom aangebracht en wel als volgt:

kolom 1 : 60 ton/ha  
kolom 2 : 150 ton/ha  
kolom 3-4-5-6 : 300 ton/ha

Aangezien de ds-gehalten jaar op jaar verschillen zijn de doseringen berekend op basis van een standaard-samenstelling van 8% ds. Dit betekent dus dat bij een hoger ds-gehalte minder drijfmest wordt gegeven. Door de schommelingen in de chemische samenstelling, onafhankelijk van het ds-gehalte, zijn de jaarlijks toegediende hoeveelheden elementen lang niet gelijk, wat in de stikstof nog zal blijken.

De bemesting wordt standaard gegeven in het najaar, in één keer. Als uitzondering heeft het eerste jaar, de eerste bemesting in het voorjaar plaatsgevonden omdat toen pas werd gestart met het experiment. Na de bemesting is de mest direkt ondergewerkt zodat de vervluchtiging kan worden verwaarloosd. Wat er met de stikstof in de opgebrachte mest kan gebeuren is vereenvoudigd weergegeven in het volgende schema.

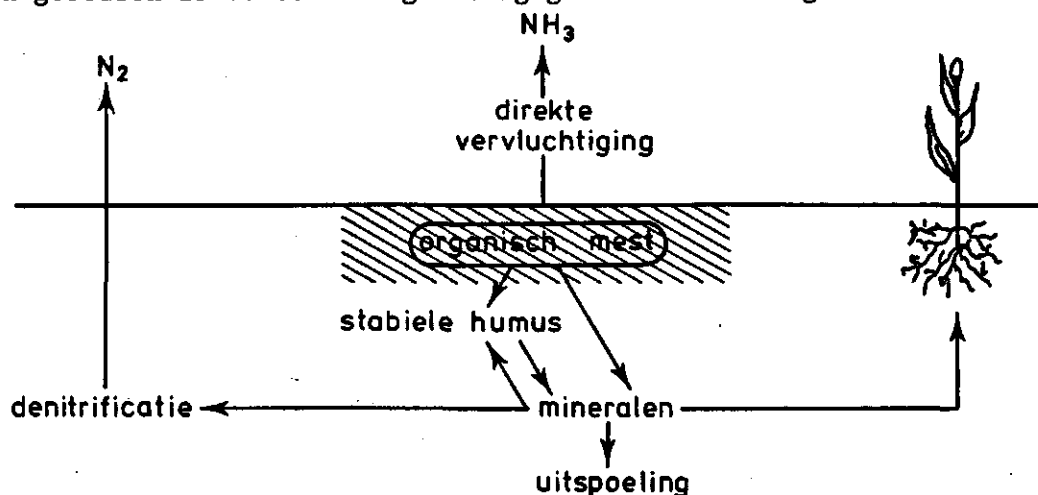


Fig. 4. Schema van de stikstofprocessen in de bodem

### 3.6. T o t a a l b e e l d p r o e f o p z e t

In de vorige paragrafen zijn variabelen in het experiment afzonderlijk behandeld. Vanwege de belangrijkheid van de aangebrachte verschillen en ook vanwege de duidelijkheid van het experiment is in tabel 5 een overzicht gegeven.

Tabel 5. Overzicht van de ingebouwde variabelen ter bestudering van de bodemprocessen

Kolom nr	Grondsoort	Grondwaterstand in cm-m.v.	Drijfmestdosering in ton/ha
1	Achterhoek	100	60
2	Achterhoek	100	150
3	Achterhoek	100	300
4	Achterhoek	150	300
5	Achterhoek	50	300
6	Vredepeel	100	300

De grond uit de Achterhoek is een lemige beekerdgrond. De grond uit de Vredepeel is een kalkarme, leemarme Veldpodzol.

De invloed van de grondsoort komt tot uiting door vergelijking van kolom 3 en 6; de drijfmestdosering door vergelijking van kolom 1, 2 en 3 en de grondwaterstand door vergelijking van kolom 3, 4 en 5.

### 3.7. U i t v o e r i n g v a n h e t o n d e r z o e k

Zoals reeds vermeld is het onderzoek in maart 1977 gestart. Toen vond ook de 1e mestgift plaats, terwijl de 2e, 3e en 4e mestgift plaatsvonden in respectievelijk november '77, '78 en '79. De verslaggeving in de andere jaren is beperkt tot het desbetreffende jaar, terwijl nu ook met behulp van de vorige gegevens tevens een overzicht over de gehele periode wordt gegeven. De laatste bemonstering vond plaats op 6 mei 1980. Dit is dan ook de einddatum voor het stikstof-

en waterbalansonderzoek. Tevens zijn de waterbalansen per groeiperiode berekend, waarbij een groeiperiode is gedefinieerd als een periode van één jaar waarin een en hetzelfde gewas heeft gegroeid. Daarom is hiervoor de jaarlijkse periode van 1 april tot 1 april genomen.

In elke kolom is om de 20 cm een monster genomen van  $\pm 60$  ml (17 monsters per kolom). Van deze monsters zijn direkt na het aftappen de E.G.V. en de pH bepaald aangezien deze gehalten aan de tijdsfactor onderhevig zijn. Daarna zijn de monsters in een gekoelde ruimte gebracht en op het ICW-lab verder geanalyseerd op  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$  en TOC-gehalte. Bovendien is er op diepte 1,70 en 2,70 m een extra bemonstering van  $\pm 500$  ml gedaan. Hiervan is op het ICW-lab het  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  en  $\text{Mg}^{2+}$  gehalte bepaald, terwijl het  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , totP, Kjeld.N en COD gehalte door Laboratorium Oost te Doetinchem is geanalyseerd.

#### 4. RESULTATEN EN DISCUSSIE

##### 4.1. De waterbalans

De waterbalans voor de kolommen is als volgt:

$$T_r + T_b = E_r + A_v + A_b + \Delta V$$

waarin:

$T_r$  = toevoer via regen

$T_b$  = toevoer via bemesting

$E_r$  = evapotranspiratie

$A_v$  = afvoer via afvoervaten

$A_b$  = afvoer via bemonstering

$\Delta V$  = verandering in de vochtberging

##### 4.1.1. Toevoer via regen ( $T_r$ )

De neerslagcijfers van de eerste twee periodes zijn afkomstig van Sinderhoeve. Voor de 3e periode (1-4-'79 tot 1-4-'80) leken deze cijfers onbetrouwbaar, want bij naberekening bleek de neerslag in de winterperiode van dat jaar (verdamping  $\approx$  nul) zelfs kleiner te zijn

dan de gemeten afvoer in de vaten. De neerslagcijfers van Oosterbeek en Wageningen (afstand + 14 km, waar Sinderhoeve tussenin ligt) stemden wel aardig met elkaar overeen. Zodoende is bij de laatste periode gebruik gemaakt van het gemiddelde van Oosterbeek en Wageningen. De cijfers zijn als volgt (in mm):

Tabel 6. Neerslagcijfers over de verschillende perioden volgens Sinderhoeve, Wageningen en Oosterbeek (mm)

Maand	Sinderhoeve		Wageningen	Oosterbeek
	1977/'78	1978/'79	1979/'80	1979/'80
April	47,2	34,5	59,5	59,1
Mei	51,6	55,4	87,5	106,2
Juni	73,7	71,7	104,8	98,1
Juli	57,6	67,8	32,2	35,3
Augustus	145,9	53,7	70,3	53,0
September	4,4	30,0	18,4	22,6
Oktober	46,0	70,1	39,7	29,5
November	157,8	25,0	82,9	83,6
December	46,8	100,0	129,8	142,2
Januari	60,2	91,7	54,6	51,7
Februari	75,4	50,2	67,4	67,7
Maart	90,0	86,7	64,1	64,7
Totaal	856,6	736,8	811,2	813,7

Gemiddelde neerslag van Oosterbeek + Wageningen over 1979/1980 is:

$$\frac{813,7 + 811,2}{2} = 812,5$$

De totale neerslag per periode wordt dus (mm):

Periode 1-4-'77 tot 1-4-'78 = 856,6 } volgens Sinderhoeve  
 1-4-'78 tot 1-4-'79 = 736,8  
 1-4-'79 tot 1-4-'80 = 812,5 → volgens Oosterbeek + Wageningen

#### 4.1.2. Toevoer via bemesting ( $T_b$ )

De bemesting is gegeven in liters. Om dit om te rekenen in mm moet het kolomoppervlak bekend zijn. Doorsnee is 0,80 m  $\rightarrow$  r = 0,40 m

$$\begin{aligned} \text{Opp.} &= \pi \cdot r^2 \\ &= \pi \cdot 0,40^2 \\ &= 0,5027 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Afgerond is dit een oppervlak van 0,5 m<sup>2</sup> ofwel 50 dm<sup>2</sup>.

1 l (= 1dm<sup>3</sup>) op dit oppervlak betekent een verhoging van  $\frac{1}{50} = 0,02$  dm ofwel 2 mm. 1 l stemt dus overeen met 2 mm. De toevoer per periode in mm is dan als volgt:

Tabel 7. Extra toevoer via bemesting over de verschillende perioden (mm)

	1	2	3	4	5	6
Periode 1-4-'77/1-4-'78						
april 1977 (1)	2,1	5,6	10,4	10,4	10,4	10,4
november 1977 (1)	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
Totaal (l)	14,6	18,1	22,9	22,9	22,9	22,9
Totaal (mm)	29,2	36,2	45,8	45,8	45,8	45,8
Periode 1-4-'78/1-4-'79						
november 1978 (1)	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	1,3
Totaal (mm)	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6
Periode 1-4-'79/1-4-'80						
november 1979 (1)	10	10	10	10	10	10
Totaal (mm)	20	20	20	20	20	20

#### 4.1.3. Afvoer via afvoervaten ( $A_v$ )

De afvoer is bijgehouden met behulp van een cm verdeling op de afvoervaten. Door middel van de ijking kan dit worden omgerekend naar



liters respectievelijk mm afvoer. De omrekening gaat als volgt:

eerste 3,2 cm → 1 1

elke volgende cm → 0,579 l

De liters zijn tenslotte per periode, per kolom gesommeerd en met behulp van de faktor 2 weer omgerekend naar mm.

In de nu volgende tabellen staan aan de linkerkant de cm zoals ze op de vaten zijn afgelezen. Na de aflezing zijn de vaten geledigd. Zodoende geldt bovenstaande omrekening voor elke aflezing.

Tabel 8. Afvoer via afvoervaten per periode per kolom in respectievelijk cm, liters en mm

Datum	Afvoer in cm						Afvoer in l						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Periode 1-4-'77/1-4-'78													
7- 5-'77							9,5	12,3	14,4	12,4	14,4	9,3	
12- 7-'77							0,94	7,0	9,0	11,5	10,7	9,25	
25- 8-'77	-	13,4	32,1	24,0	-	30,9	-	6,91	17,73	13,04	-	17,04	
1- 9-'77	-	27,7	34,5	34,8	-	23,0	-	15,19	18,12	19,3	-	12,46	
26- 9-'77 (300 ml)	2,7	4,1	12,0	3,8	-	-	0,30	0,84	1,52	6,1	1,35	-	
14-11-'77	30,8	36,9	31,9	24,2	14,1	33,9	16,98	20,51	17,62	13,16	6,31	18,78	
21-11-'77	26,9	27,5	25,9	17,0	23,8	22,3	14,72	15,07	14,14	8,99	12,93	12,06	
29-11-'77	29,8	30,1	30,6	21,6	29,5	28,7	16,40	16,58	16,86	11,65	16,23	15,76	
23-12-'77	18,0	27,0	22,3	29,6	12,1	16,2	9,57	14,78	12,06	16,29	6,15	8,53	
5- 1-'78	19,9	15,8	23,4	17,4	27,6	21,1	10,67	8,30	12,70	9,22	15,13	11,36	
20- 1-'78	33,5	33,1	37,9	35,9	29,8	31,8	18,54	18,31	21,09	19,93	16,40	17,56	
9- 2-'78	36,5	37,7	39,3	32,4	37,1	34,1	20,28	20,98	21,90	17,91	20,63	18,89	
14- 3-'78	18,3	21,7	25,9	30,0	28,6	18,3	9,74	11,71	14,14	16,52	15,71	9,74	
21- 3-'78	18,5	18,4	24,9	10,0	28,3	15,6	9,86	9,80	13,56	4,94	15,53	8,18	
30- 3-'78	27,5	26,2	29,7	28,4	26,4	16,2	15,07	14,32	16,34	15,59	14,43	8,53	
Totaal (l)							152,57	192,60	221,18	196,54	165,90	177,44	
Totaal (mm)							305,1	385,2	442,4	393,1	331,8	354,9	
Periode 1-4-'78/1-4-'79													
8- 5-'78	22,8	23,8	22,5	28,6	27,8	201,0	12,35	12,93	12,18	15,71	15,24	11,31	
2- 6-'78	11,2	11,2	12,2	12,4	3,8	6,8	5,63	5,63	6,21	6,33	1,35	3,09	
4- 1-'79	34,0	35,6	-	31,6	-	33,5	18,83	19,76	-	17,44	-	18,54	
22- 1-'79	9,8	10,9	-	13,2	-	16,2	4,82	5,46	-	6,79	-	8,53	
6- 2-'79	34,0	33,2	-	7,6	-	36,0	18,83	18,37	-	3,55	-	19,99	
23- 2-'79	24,4	27,7	-	34,9	-	20,7	13,28	15,19	-	19,35	-	11,13	
13- 3-'79	33,3	39,6	34,8	33,5	11,3	41,0	18,43	22,08	19,30	18,54	5,69	22,89	
26- 3-'79	29,8	31,3	29,7	35,0	18,0	20,0	16,40	17,27	16,34	19,41	9,57	10,73	
29- 3-'79	6,5	6,6	9,2	4,5	10,4	4,9	2,91	2,97	4,48	1,75	5,17	1,99	
Totaal (l)							111,48	119,66	58,51	108,87	37,02	108,2	
Totaal (mm)							223,0	239,3	117,0	217,7	74,0	216,4	
Periode 1-4-'79/1-4-'80													
3- 5-'79	26,3	28,8	28,9	30,7	25,3	25,9	14,38	15,82	15,88	16,92	13,80	14,14	
25- 5-'79	29,8	28,1	32,2	38,7	10,4	22,3	16,40	15,42	17,79	21,55	5,17	12,06	
6- 6-'79	37,5	35,2	29,8	25,7	30,8	25,8	20,86	19,53	16,40	14,03	16,98	14,09	
29- 6-'79	17,3	12,1	11,2	21,3	-	-	9,16	6,15	5,63	11,48	-	-	
13-12-'79	35,9	-	-	-	-	-	19,93	-	-	-	-	-	
28-12-'79	32,0	36,0	-	26,4	-	36,0	17,68	19,99	-	14,43	-	19,99	
4- 1-'80	28,9	-	34,0	-	-	-	15,88	-	18,83	-	-	-	
11- 1-'80	20,2	43,1	21,4	43,4	-	45,4	10,84	24,10	11,54	24,28	-	25,43	
6- 2-'80	49,4	48,3	51,0	42,0	65	42,7	27,75	27,11	28,68	23,46	36,78	23,87	
26- 2-'80	-	-	-	40,0	-	-	-	-	-	22,31	-	-	
6- 3-'80	30,2	30,5	31,4	-	-	24,2	16,63	16,81	17,33	-	-	13,16	
31- 3-'80	21,2	19,8	24,3	25,5	20,0	16,0	11,42	10,61	13,22	13,91	10,73	8,41	
Totaal (l)							180,93	155,54	145,30	162,37	83,46	131,15	
Totaal (mm)							361,9	311,1	290,6	324,7	166,9	262,3	
Totaal 1-4-'77/1-4-'80 (l)													
							445	467,8	425	467,8	286	416,8	
							(mm)	890,0	935,6	850	935,5	572,0	833,6

#### 4.1.4. Afvoer via bemonstering (Ab)

Het vocht dat is weggenomen door bemonstering behoort ook tot de afvoer en is een niet te verwaarlozen hoeveelheid. De hoeveelheden staan in de volgende tabel en zijn tevens uitgedrukt in mm.

Tabel 9. Vochtafvoer a.g.v. bemonstering per kolom (in mm)

	1	2	3	4	5	6
Periode 1-4-'77/1-4-'78						
dec. 1977 : volledige bemonstering	2	2	2	2	2	2
mrt. 1978 : 2 keer 0,5 l per kolom	1	1	1	1	1	1
de periode door: 13 keer op 170 en 270 à 60 cc	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Totaal (l)	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Totaal (mm)	9	9	9	9	9	9
Periode 1-4-'78/1-4-'79						
mei 1978 : 6 keer à 60 cc	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
de periode door: 25 keer op 170 en 270 à 60 cc	3	3	3	3	3	3
1979 : volledige bemonstering	2	2	2	2	2	2
Totaal (l)	5,35	5,35	5,35	5,35	5,35	5,35
Totaal (mm)	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7
Periode 1-4-'79/1-4-'80						
geen bemonstering	-	-	-	-	-	-
Totaal	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7

#### 4.1.5. Verandering in de vochtberging ( $\Delta V$ )

Verandering in de vochtberging wordt veroorzaakt door verandering in de grondwaterstanden. Deze zijn aan het begin en einde van elke periode als volgt:

Tabel 10. Grondwaterstand aan begin en einde van elke periode

Datum	1	2	3	4	5	6
Periode 1-4-'77/1-4-'78						
28-4-'77	1,00	1,00	1,00	1,50	0,50	1,00
28-3-'78	1,00	1,00	1,00	1,46	0,50	1,00
Periode 1-4-'78/1-4-'79						
28-3-78	1,00	1,00	1,00	1,46	0,50	1,00
29-3-'79	1,00	1,00	1,00	1,50	0,50	1,00
Periode 1-4-'79/1-4-'80						
29-3-'79	1,00	1,00	1,00	1,50	0,50	1,00
31-3-'80	1,02	1,025	1,01	1,51	0,50	1,00
Periode 1-4-'77/1-4-'80						
28-4-'77	1,00	1,00	1,00	1,50	0,50	1,00
31-3-'80	1,02	1,025	1,01	1,51	0,50	1,00

De grootste  $\Delta V$  die optreedt is 4 cm GWS-verschil in kolom 4, in de 1e en 2e periode. Hoeveel  $\Delta V$  in liters is zullen we bekijken aan de hand van de pF-curve van Vredepeelzand (hoewel kolom 4 geen Vredepeel- maar Achterhoekzand is, zijn die verschillen in dit geval te verwaarlozen).

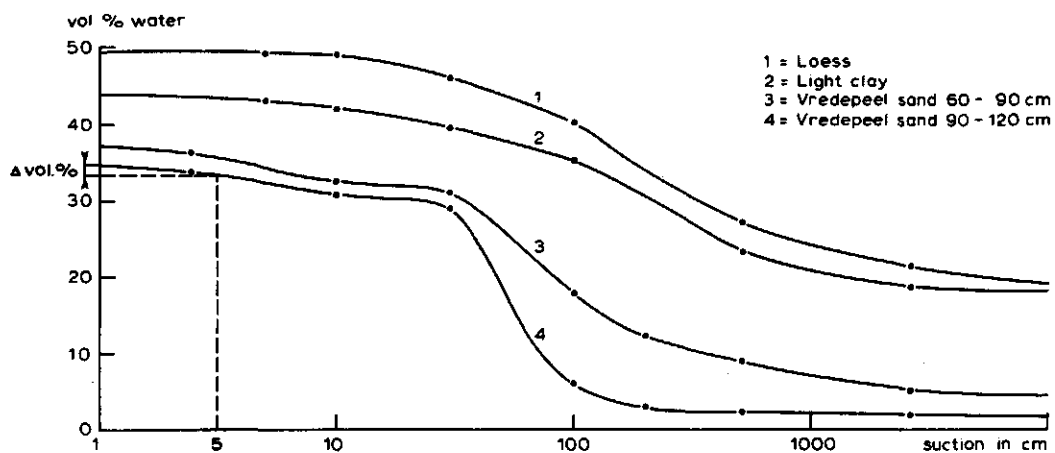


Fig. 5. pF-curves van enkele gronden

Vlak boven de GWS zal een daling van 4 cm en  $\Delta Vol. \%$  opleveren van + 2%. Op grotere afstanden boven de GWS zal dit nog veel lager zijn.

Nemen we daarom als gemiddelde bijvoorbeeld 1% dan is de  $\Delta V$  op een 1 meter laag:

$$\begin{aligned} \frac{0,01}{\text{Vol \%}} \times \frac{100}{\text{diepte}} \times \frac{5000}{\text{opp}} &= 5000 \text{ cm}^3 \\ &= 5 \text{ l} \\ &= 10 \text{ mm} \end{aligned}$$

Aangezien in werkelijkheid de  $\Delta V$  nog veel kleiner is mogen we hem verwaarlozen.

#### 4.1.6. De eind-waterbalans

Uit alle voorafgaande cijfers kunnen we nu de evapotranspiratie ( $E_r$ ) gaan berekenen. Om dit te vereenvoudigen zetten we alle voorafgaande cijfers nogmaals bij elkaar in één tabel. De  $E_r$  is weergegeven per periode en tenslotte over de totale periode.

Zoals we zien heeft kolom 5 begrijpelijkerwijze de hoogste verdamping (hoogste GWS). Wat wel opvalt is dat kolom 2 minder heeft verdampt dan kolom 1, doch dit kan aan de ds-productie liggen. Om iets te kunnen zeggen over de efficiëntie waarmee het water is verbruikt, moet de  $E_r$  gerelateerd worden aan de ds-productie. Dit gebeurt in de volgende paragraaf.

Tabel 11. De waterbalans per periode en over de totale periode  
(in mm)

Kolom	$T_r$	$T_b$	$A_v$	$A_b$	$E_r$
Periode 1-4-'77/1-4-'78 (mm)					
1	856,6	29,2	305,1	9,0	571,7
2	856,6	36,2	385,2	9,0	498,6
3	856,6	45,8	442,4	9,0	451,0
4	856,6	45,8	393,1	9,0	500,3
5	856,6	45,8	331,1	9,0	562,3
6	856,6	45,8	354,9	9,0	538,5
Periode 1-4-'78/1-4-'79 (mm)					
1	736,8	26,6	223,0	10,7	529,7
2	736,8	26,6	239,3	10,7	513,4
3	736,8	26,6	117,0	10,7	635,7
4	736,8	26,6	217,7	10,7	535,0
5	736,8	26,6	74,0	10,7	678,7
6	736,8	26,6	216,4	10,7	536,3
Periode 1-4-'79/1-4-'80 (mm)					
1	812,5	20,0	361,9	-	470,6
2	812,5	20,0	311,1	-	521,4
3	812,5	20,0	290,6	-	541,9
4	812,5	20,0	324,7	-	507,8
5	812,5	20,0	166,9	-	665,6
6	812,5	20,0	262,3	-	570,2
Totale neerslag, afvoer en verdamping over de periode van 1-4-'77/1-4-'80 (mm)					
1	2405,9	75,8	890,0	19,7	1482,0
2	2405,9	82,8	935,6	19,7	1443,4
3	2405,9	92,4	850	19,7	1538,6
4	2405,9	92,4	935,5	19,7	1453,1
5	2405,9	92,4	572,0	19,7	1816,6
6	2405,9	92,4	833,6	19,7	1555,0

#### 4.1.7. De ds-produktie per mm verdamping (gewasfactor)

De in de vorige paragraaf berekende  $E_r$  is de totale verdamping per jaar. Voor de berekening van de ds-produktie per mm verdamping (kortweg gewasfactor) moet worden uitgegaan van de verdamping over die periode waarin ook ds-produktie heeft plaatsgevonden, ook wel de

gewasverdamping ( $E_g$ ) genoemd. De gewasverdamping ( $E_g$ ) is dus de totale verdamping ( $E_r$ ) minus de verdamping op de kale grond ( $E_k$ ). De  $E_k$ -cijfers zijn niet bekend, doch wel de verdampingscijfers van een vrij wateroppervlak ( $E_o$ ) en in praktijk geldt:

$$E_k = 0,3 E_o$$

De  $E_o$ -cijfers worden door het KNMI op verschillende plaatsen in ons land bijgehouden en weergegeven in het Maandelijks Overzicht van de Weersgesteldheid. Nu moeten dus de kale-grond periodes nog bepaald worden. Dit gebeurt met behulp van zaai- en oogstdatum. De datum van opkomst ligt ongeveer 2 weken na zaaidatum.

Tabel 12. Kale grond periodes berekend met behulp van zaai- en oogstdatum

Zaaidatum	Datum opkomst	Laatste oogstdatum	Kale grond periodes
Periode 1-4-'77/1-4-'78			
15-4-'77	1-5-'77	14-10-'77	1-4-'77 tot 1-5-'77 14-10-'77 tot 1-4-'78
Periode 1-4-'78/1-4-'79			
29-3-'78	11-4-'78	1-11-'78	1-4-'78 tot 11-4-'78 1-11-'78 tot 1-4-'79
Periode 1-4-'79/1-4-'80			
17-4-'79	1-5-'79	21-11-'79	1-4-'79 tot 1-5-'79 21-11-'79 tot 1-6-'80

Nu de periodes bekend zijn kan de  $E_k$  berekend worden door de maandelijkse overzichtscijfers over deze periode te sommeren. Deze cijfers zijn weergegeven in decaden (één maand is 3 decaden).

28 Tabel 13.  $E_o$  respectievelijk  $E_k$  periode, volgens de cijfers van het plaatsje Andel uit de maandelijkse overzichten van De Bilt (vlg. Penman, in mm)

Periode 1-4-'77/1-4-'80																		
$E_k$ -periode	maand '77			$E_k$ -periode 1-4-'78			maand '78			$E_k$ -periode 1-4-'79			maand '79					
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III			
1-4-'77/1-5-'77	apr.	'77	21	25	30	1-4-'78/1-4-'78	apr.	'78	21	-	-	1-4-'79/1-5-'80	apr.	'79	19	26	21	
14-10-'77/1-4-'78	okt.	'77	-	4	7	1-4-'78/1-4-'79	nov.	'78	2	4	1	21-11-'79/1-4-'80	nov.	'79	-	-	2	
	nov.	'77	8	7	2		dec.	'78	1	1	1		dec.	'79	4	2	1	
	dec.	'77	1	.	5		jan.	'79	.	.	1		jan.	'80	.	.	1	
	jan.	'78	1	1	2		febr.	'79	3	4	3		febr.	'80	4	5	6	
	febr.	'78	2	4	6		mrt.	'79	12	11	19		mrt.	'80	9	11	16	
	sub-totaal	44	56	69		sub-totaal	39	20	25		sub-totaal	36	44	47				
	$E_o$ -totaal	169				$E_o$ -totaal	84				$E_o$ -totaal	127						
	$E_k (= 0,3 E_o)$	51				$E_k$	25				$E_k$	38						



De  $E_k$ -cijfers per periode zijn nu bekend. Door nu de  $E_r$  te verminderen met de  $E_k$  vinden we de  $E_g$ . Voordat we dan de gewasfactor kunnen berekenen moet eerst de ds-produktie bekend zijn. Deze staat in de volgende tabel. De eerste snede in '77 is niet gewogen. Zodoende is deze hoeveelheid gelijkgesteld aan de 2e snede op 11 augustus.

Tabel 14. Ds-produktie per periode per kolom, in kg/ha

Periode	Datum	1	2	3	4	5	6
	1 juli 1977	Niet gewogen (N.B.: daarom gelijkgesteld aan 11/8)					
	11 augustus 1977	231	198	169	149	337	154
	19 augustus 1977	71	57	48	49	63	46
	16 september 1977	115	142	126	122	165	134
	14 oktober 1977	159	192	174	175	187	134
	Tot. ds (g/0,5 m <sup>2</sup> )	807	787	686	644	1 089	622
1-4-'77/1-4-'78	Tot. ds (kg/ha)	16 100	15 700	13 700	12 900	21 800	12 400
	14 juni 1978	150	204	276	262	374	256
	25 juli 1978	183	242	306	220	343	158
	22 september 1978	80	139	240	170	222	107
	1 november 1978	127	145	216	217	194	126
	Tot. ds (g/0,5 m <sup>2</sup> )	541	730	1 038	869	1 133	647
1-4-'78/1-4-'79	Tot. ds (kg/ha)	10 800	14 600	20 800	17 400	22 700	12 900
	14 juni 1979	60	160	192	221	241	210
	25 juli 1979	95	269	292	260	351	252
	19 september 1979	156	207	360	222	375	225
	21 november 1979	54	69	71	80	64	91
	Tot. ds (g/0,5 m <sup>2</sup> )	365	705	915	783	1 031	778
1-4-'79/1-4-'80	Tot. ds (kg/ha)	7 300	14 100	18 300	20 600	15 600	15 600

De ds-produktie per mm verdamping kunnen we uitdrukken in de volgende formule:

$$P = n \cdot W$$

waarin: P = produktie (kg ds/ha/j)

W = verdamping (mm/j)

n = ds-produktie per mm verdamping (kg ds/mm/ha)

Met de voorafgaande gegevens kunnen we nu de n-faktor berekenen.  
Dit gebeurt per periode en tenslotte over de totale periode.

Tabel 15. De gewasfactor per periode per kolom en tenslotte over de totale periode

Kolom	P(kg/ha/jr)	$E_r$	$E_k$	$E_g (E_r - E_k)$	$n(\frac{P}{E_g})$
Periode 1-4-'77/1-4-'78					
1	16 100	571,7	51	520,7	30,9
2	15 700	498,6	51	447,6	35,1
3	13 700	451,0	51	400,0	34,3
4	12 900	500,3	51	449,3	28,7
5	21 800	562,3	51	511,3	42,6
6	12 400	538,5	51	487,5	25,4
Periode 1-4-'78/1-4-'79					
1	10 800	529,7	25	504,7	21,4
2	14 600	513,4	25	488,4	29,9
3	20 800	635,7	25	610,7	34,1
4	17 400	535,0	25	510,0	34,1
5	22 700	678,7	25	653,7	34,7
6	12 900	563,3	25	511,3	25,2
Periode 1-4-'79/1-4-'80					
1	7 300	470,6	38	432,6	16,9
2	14 100	521,4	38	483,4	29,2
3	18 300	541,9	38	503,9	36,3
4	15 700	507,8	38	469,8	33,4
5	20 600	665,6	38	627,6	32,8
6	15 600	570,2	38	532,2	29,3
Totale gewasproductie, evapotranspiratie, verdamping kale grond, gewasverdamping en n-factor over de periode 1-4-'77 tot 1-4-'80					
Kolom	p	$E_r$	$E_k$	$E_g$	n
1	34 200	1572,0	114	1458,0	23,5
2	44 400	1533,4	114	1419,4	31,3
3	52 800	1628,6	114	1514,6	34,9
4	46 000	1543,1	114	1429,1	32,2
5	65 100	1906,6	114	1792,6	36,3
6	40 900	1645,0	114	1531,0	26,7

In het eerste jaar heeft de gewasproductie een afwijkend patroon, mogelijk door de voorjaarstoediening. Bij uitsluiting van de 1e periode krijgen we een n-faktor die belangrijk anders is.

n-factor over de periode 1-4-'78 tot 1-4-'80

	P	$E_r$	$E_k$	$E_g$	n
1	18 100	1000,3	63	937,3	19,3
2	28 700	1034,8	63	971,8	29,5
3	39 100	1177,6	63	1114,6	35,1
4	33 100	1042,8	63	979,8	33,8
5	43 300	1344,3	63	1281,3	33,8
6	28 500	1106,5	63	1043,5	22,2

Deze n-factor lijkt betrouwbaarder, aangezien hij in het 1e jaar bij enkele kolommen abnormaal hoog ligt. Nu blijkt ook, dat ondanks de hoogste ds-produktie van kolom 5, kolom 3 efficiënter produceert. Hij produceert dus meer ds per mm verdamping. Van deze n-factor zijn enkele figuren getekend.

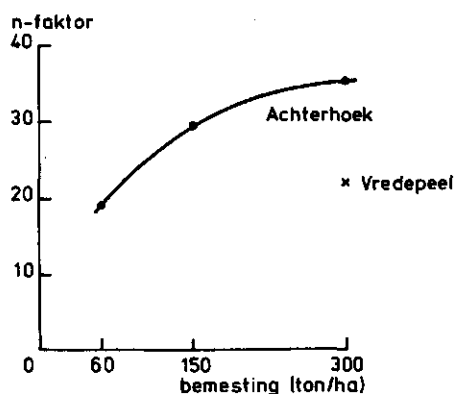


Fig. 6. Het verband tussen de n-factor en de GWS bij bemesting van 300 ton/ha

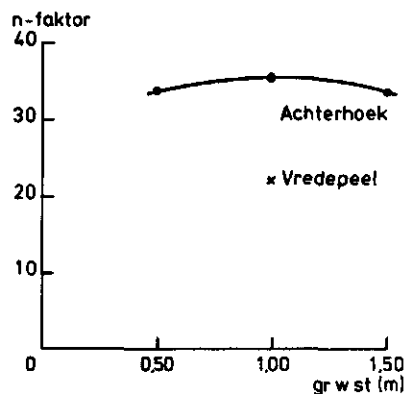


Fig. 7. Het verband tussen n-factor en bemesting bij GWS van 1.00 m

Wat de GWS betreft lijkt bij deze bemesting de GWS van 1.00 m optimaal. Bij deze GWS springt de plant dus het meest efficiënt om met zijn vochtvoorraad.

Wat de bemesting betreft lijkt 300 ton/ha min of meer de optimum hoeveelheid voor de n-faktor. Bij een nog hogere bemesting zal de ds-produktie per mm verdamping bij GWS van 1.00 m, dus nauwelijks meer toenemen en misschien wel afnemen.

## 4.2. A n a l y s e s i n b o d e m v o c h t e n g r o n d - w a t e r

### 4.2.1. Algemeen

De chemische samenstelling van grondwater wordt voor een groot gedeelte bepaald door de bodem waarin het verkeert. Dit kan op direkte wijze gebeuren bijvoorbeeld door vermenging met reeds in de bodem aanwezige stoffen en op indirecte wijze bijvoorbeeld door filtrerende werking of bepaalde chemische reakties. Het bestuderen van deze bodemprocessen kan men doen aan de hand van verschillende water-kwaliteitsparameters, welke in praktijk dus vaak de verontreinigende stoffen vormen. Deze parameters kan men onderverdelen in 2 hoofdgroepen: de organische en anorganische stoffen.

De organische stoffen zijn verbindingen waarbij in zuurstofhoudend milieu met behulp van aerobe bacteriën  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$  als eindprodukten ontstaan en soms ook  $\text{NO}_3^-$  en  $\text{SO}_4^-$ . De anorganische stoffen zijn zouten in ionvorm in de oplossing aanwezig. De voornaamste hiervan zijn de kationen Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn en de anionen  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ , Cl,  $\text{NO}_3$  en  $\text{SiO}_3$ . Zijn de gehalten lager dan 0,01 meq/l dan worden ze veelal verwaarloosd.

De parameters die over de gehele kolomhoogte geanalyseerd zijn, zijn  $\text{NO}_3$ , Cl, K, TOC, EGV en pH. Zij zullen achtereenvolgens besproken worden. Eerst wordt echter nog de uitspoelingsdiepte bekeken, zodat deze later als vergelijkingsmateriaal met de parameters kan dienen.

### 4.2.2. De uitspoelingsdiepte

De verplaatsing van het mestfront, ofwel de uitspoelingsdiepte kunnen we op een eenvoudige manier berekenen indien het poriënvolume (PV)

bekend is. Dit betekent namelijk dat de hoeveelheid water die is afgevoerd zich ook heeft verplaatst in de kolom. Met behulp van het poriënvolume is dit gemakkelijk om te rekenen naar cm kolomdiepte. Hierbij moeten wel enkele opmerkingen worden geplaatst.

Opm. 1: De stoffen die in het grondwater zijn terechtgekomen worden als uitgespoeld beschouwd. Dit betekent dus dat de absolute uitspoelingsdiepte wordt gevonden door de verplaatsing te beschouwen vanaf de GWS.

Opm. 2: Het PV is berekend door de bij aanvangsdatum gemeten PV over de verschillende dieptes te middelen voor kolom 1 t/m 5. Kolom 6 is apart gemiddeld. Het resultaat was voor kolom 1 t/m 5 en voor kolom 6 een PV van respectievelijk 42,5 en 37,5%. Vanwege de aanname van een kleine inklinking is uitgegaan van respectievelijk 42 en 37%.

Opm. 3: Volgens dit PV berekenen we de diepte waar het uitspoelingsfront zich bevindt. Dit zou tevens de maximale uitspoelingsdiepte zijn, indien de verschillende deeltjes met dezelfde snelheid door alle poriën zouden stromen. Doordat de poriën echter verschillend van grootte zijn, stromen de deeltjes door de grote poriën harder. Dit betekent dus een enigszins afvlakking van het uitspoelingsfront en de werkelijke uitspoelingsdiepte zal ook een stuk dieper liggen. Het is niet de bedoeling om hier verder op in te gaan, maar bij de N-balans zal het nog aan de orde komen.

Opm. 4: De totale afvoer in tabel 11 is berekend voor periode 1-4-'77 tot 1-4-'80, vanwege de groeiperioden. De laatste bemonsteringsdatum was echter op 6-5-'80. Willen we deze gegevens vergelijken met de berekende verplaatsingen, dan hoort hier de periode van 1-4-'80 tot 6-5-'80 nog bij. Deze wordt nog berekend in de nu-volgende tabel.

Tabel 16. Resterende afvoer voor periode 1-4-'80/6-5-'80 (in mm)

Datum	in cm						in l						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
8-4-'80	14,0	15,6	17,0	10,2	15,2	15,3	7,25	8,18	8,99	5,05	7,95	8,01	
6-5-'80	11,0	12,0	12,7	22,0	-	6,6	5,52	6,10	6,50	11,89	-	2,97	
6-5-'80							2	2	2	2	2	2	
							Totaal (l)	14,77	16,28	17,49	18,94	9,95	12,98
							Totaal (mm)	29,5	32,6	35,0	37,9	34,4	47,8

Zodoende wordt de totale afvoer via de meetvaten:

Tabel 17. Totale afvoer per kolom voor periode 1-4-'77 tot 6-5-'80

	1	2	3	4	5	6
1-4-'77/1-4-'80	909,7	955,3	869,7	955,2	591,7	853,
1-4-'80/6-5-'80	29,5	32,6	35,0	37,9	34,4	47,8
Totaal (mm)	939,2	987,9	902,3	933,1	626,1	901,

Met behulp van deze afvoer kan de theoretische uitspoelingsdiepte worden berekend volgens de volgende formule

$$h = \frac{\text{mm afvoer}}{\text{PV-percentage}} \times 10 \text{ (cm)}$$

waarin:

h = de verplaatsing

De totale uitspoelingsdiepte wordt dan de verplaatsing vermeerderd met de laagdikte boven de GWS. Het PV is respectievelijk 42 en 37%.

De theoretische uitspoeling wordt dan:

Tabel 18. Verplaatsing h en uiteindelijke theoretische uitspoelingsdiepte vanaf mV (cm)

Kolom	mm afvoer	Gemiddeld PV %	h (cm)	Grondwaterstand (cm)	Theoretische uitspoelingsdiepte vanaf mV (cm)
1	939,2	42	224	100	324
2	987,9	42	235	100	335
3	902,3	42	215	100	315
4	993,1	42	236	150	386
5	626,1	42	149	50	199
6	901,1	37	244	100	344

Vanwege de afvlakking zal de werkelijke uitspoelingsdiepte belangrijk groter zijn en de theoretische uitspoelingsdiepte meer overeenkomen met het front van de maximale concentraties (of iets daaronder).

#### 4.2.3. Nitraat

De nitraat-gehalten van de laatste bemonsteringsdatum op 6 mei 1980, zien we in de volgende tabel. In de figuren eronder staat per kolom het verloop getekend met de diepte, voor de drie bemonsteringen in respectievelijk '78, '79 en '80. Deze vergelijking met voorafgaande jaren is alleen gedaan voor nitraat en chloride, omdat dit onze belangrijkste parameters zijn. Jammer genoeg zijn de cijfers van '79 niet volledig. Dit was te wijten aan een bevroren bovenlaag waardoor boven de 70 cm geen vocht kon worden onttrokken.

Tabel 19.  $\text{NO}_3^-$ -gehalten in mg/l op 6/5-'80

Diepte	1	2	3	4	5	6
10	-	-	-	1852	1451	-
30	449	556	1419	1037	890	1362
50	299	870	1104	932	575	1349
70	248	569	800	896	604	1264
90	281	690	686	-	319	1050
110	294	316	531	704	92	806
130	296	266	458	560	13	648
150	443	319	467	494	3	526
170	231	111	276	730	5	534
190	64	36	331	593	2	532
210	5	43	307	724	2	603
230	4	21	256	882	2	847
250	3	7	200	916	2	911
270	7	5	177	845	2	944
290	5	6	15	704	1	904
310	5	6	14	619	2	777
330	5	6	84	659	1	823
VAT	(7)	(6)	(87)	655	-	898

( ) = geschatte cijfers



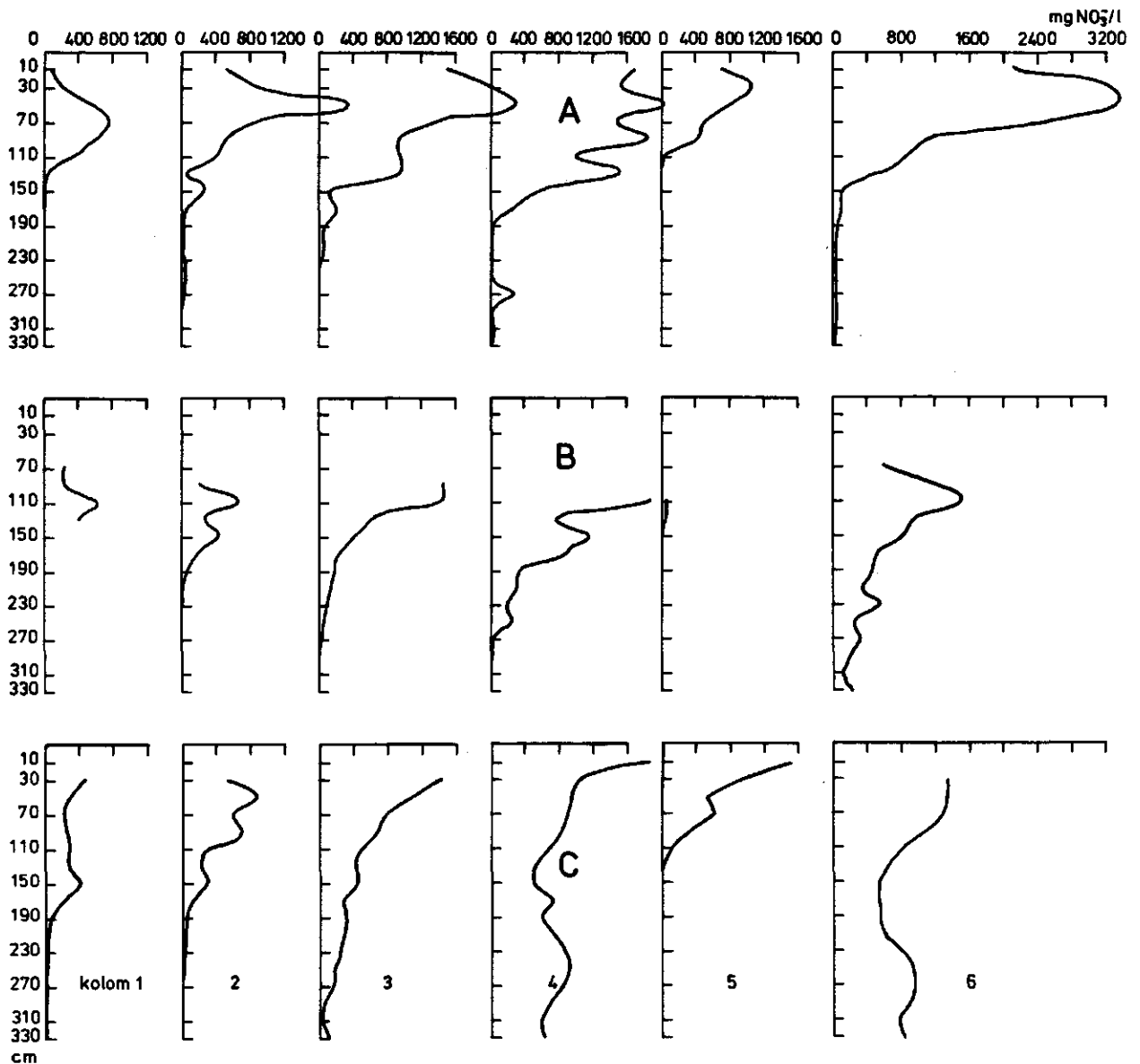


Fig. 8.  $\text{NO}_3^-$ -verloop met de diepte over 3 achtereenvolgende jaren

In de grafieken komen de verschillen in de behandeling duidelijk naar voren. Zij worden nu puntsgewijs besproken.

#### Invloed bemesting op het nitraat-verloop

Hiervoor vergelijken we kolom 1, 2 en 3. In grafiek A zijn de concentraties in de bovenlaag erg hoog, vooral in vergelijking met

grafiek B en C. Dit is waarschijnlijk te wijten aan de dubbele bemesting die in 1977 heeft plaatsgevonden (in voorjaar en najaar). B geeft al een afvlakking, terwijl C meer met onze verwachtingen overeenstemt. De mate van uitspoeling lijkt voor kolom 3 iets hoger. Vergelijken we deze met de theoretische uitspoelingsdiepte van par. 4.2.2. dan lijkt er denitrificatie te hebben plaatsgevonden en wel in kolom 3 het meeste, omdat daar in de diepere lagen, van de hoge drijfmestgift weinig is te merken.

#### Invloed GWS op het nitraat-verloop

Hiervoor vergelijken we kolom 3, 4 en 5. Hieruit blijkt de GWS een veel grotere invloed te hebben dan de bemesting. Kolom 5 heeft waarschijnlijk een hoge denitrificatie vanwege de hoge GWS ( $O_2$ -gebrek) terwijl kolom 4 in ruime mate heeft uitgespoeld. Gezien deze figuren lijkt een hoge GWS de uitspoeling dus sterk te verminderen vanwege een toegenomen denitrificatie.

#### Invloed bodemtype op het nitraat-verloop

Hiervoor vergelijken we kolom 3 en 6. Beide kolommen hebben een drijfmestgift van 300 ton/ha en een GWS van 1,00 m. Kolom 6 vertoont een duidelijk diepere uitspoeling, wat voor een deel te wijten is aan het kleinere PV. Hierdoor verplaatst het vocht zich sneller door de bodem.

Ook de concentratie ligt op een hoger niveau. Dit hangt deels samen met de geringere gewasproductie en anderszijds met de geringere kans op denitrificatie omdat het profiel humusarmer is.

#### 4.2.4. Chloride

Het chloride-ion in het grondwater wordt biologisch noch chemisch vastgelegd en spoelt zodoende volledig uit. De concentratie wordt slechts bepaald door de bemesting en in geringe mate door de gewasopname. Zodoende vormt het chloride-ion een parameter bij uitstek om het uitspoelingsfront op te sporen. De gehalten op 6-5-'80 waren als volgt:

Tabel 20. Cl<sup>-</sup>-gehalten in mg/l op 6-5-'80

Diepte	1	2	3	4	5	6
10				27	40	
30	104	6	37	74	37	72
50	11	55	81	90	128	169
70	8	23	87	98	190	160
90	16	65	161	-	144	171
110	26	62	155	164	115	189
130	17	29	120	161	123	152
150	16	45	128	110	147	117
170	30	59	129	144	148	112
190	33	56	127	143	146	85
210	30	54	121	123	131	109
230	27	54	114	134	92	91
250	26	55	113	135	71	99
270	26	56	106	129	47	102
290	28	54	78	125	34	100
310	31	57	26	124	30	93
330	35	56	86	130	35	111

Het verloop met de diepte wordt dan als volgt:

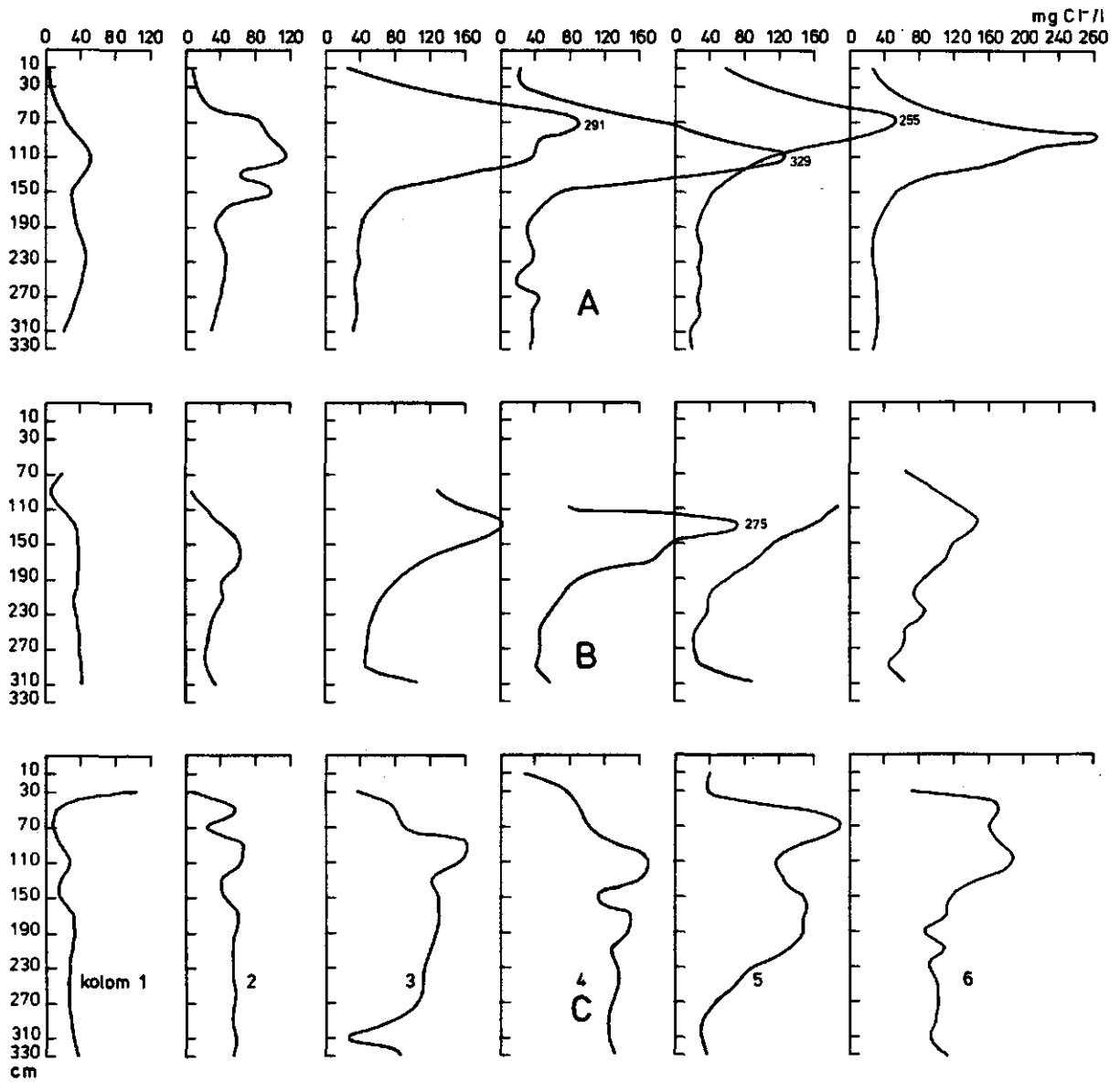


Fig. 9.  $\text{Cl}^-$ -verloop met de diepte over 3 achtereenvolgende jaren

Hier is de geleidelijke afylakking van de hoge pieken in grafiek A in de daaropvolgende jaren nog duidelijker te zien.

### Invloed bemesting op het chloride-verloop

Hiervoor bekijken we weer kolom 1, 2 en 3. Het verschil als gevolg van het doseringsniveau is duidelijk aanwezig. De bergen in fig. C zijn waarschijnlijk afkomstig van de najaarsbemesting in 1979. Het front van de eerste bemesting in 1977 is in fig. B nog te zien maar in fig. C niet meer (op kolom 5 na). Behalve kolom 5 zijn in de laatste figuur alle kolommen reeds  $\text{Cl}^-$  aan het afvoeren.

### Invloed GWS op het chloride-verloop

Uit kolom 3, 4 en 5 blijkt duidelijk dat bij een lagere GWS de uitspoeling sneller gaat. Dit is ook logisch want bij een hogere GWS kunnen meer poriën met water gevuld worden en heeft de bodem zodoende een grotere bergingscapaciteit. Met andere woorden, de verplaatsing gaat langzamer. Verder gaat een hogere GWS gepaard met een hogere verdamping. Hierdoor is de afvoer naar het grondwater en zodoende ook de verplaatsing, geringer.

Bij vergelijking van deze  $\text{Cl}^-$ -figuren met de  $\text{NO}_3^-$ -figuren zien we bij de  $\text{Cl}^-$  dat er, behalve bij kolom 5, duidelijk sprake is van  $\text{Cl}^-$ -afvoer in de afvoervaten. De figuren zijn onderaan in fig. C min of meer 'opengeklapt'. Bij het  $\text{NO}_3^-$ -verloop is dit echter veel minder het geval. Uitgezonderd kolom 4 en 6 nemen de concentraties duidelijk af met de diepte. Hieruit blijkt dat er inderdaad denitrificatie plaatsvindt en wel in kolom 5 het meeste en kolom 4 het minste. Dit kan worden verklaard door het verschil in GWS. In kolom 5 is de zuurstofconcentratie in de ondergrond laag, als gevolg van de hoge GWS, terwijl deze in kolom 4 min of meer hoog zal zijn als gevolg van de lage GWS.

### Invloed bodemtype op het chloride-verloop

Deze invloed lijkt, gezien kolom 3 en 6 minder groot. Wel zijn de concentraties in de ondergrond bij kolom 6 wat lager. Dit is in overeenstemming met onze eerdere conclusie dat vanwege het kleinere poriënvolume, de verplaatsing sneller gaat.

#### 4.2.5. Kalium

Het  $K^+$ -ion kan gemakkelijk gebonden worden aan het negatieve adsorbtiecomplex (klei- of humusdeeltjes). De mate van binding is dus sterk afhankelijk van het aantal van deze deeltjes dat aanwezig is. Verder bestaat er bij de plant een grote behoefte aan kalium, vanwege de belangrijkheid voor groei en ontwikkeling. Hierdoor zal de  $K^+$ -uitspoeling negatief correleren met de ds-productie.

Tabel 21.  $K^+$ -gehalte in mg/l op 6-5-'80

Diepte	1	2	3	4	5	6
10	-	-	-	251	-	-
30	69	102	359	295	250	361
50	26	78	233	189	99	239
70	21	38	144	192	82	276
90	29	50	138	-	66	222
110	25	40	119	173	58	222
130	23	50	86	160	48	256
150	27	52	66	85	36	252
170	33	39	56	67	35	290
190	30	33	54	62	29	332
210	20	36	50	61	27	378
230	17	33	45	26	23	538
250	18	28	43	25	22	577
270	18	26	39	23	18	534
290	18	22	28	22	16	541
310	19	17	32	21	14	222
330	15	18	27	47	12	551

Grafisch weergegeven levert dit weer de volgende figuren:

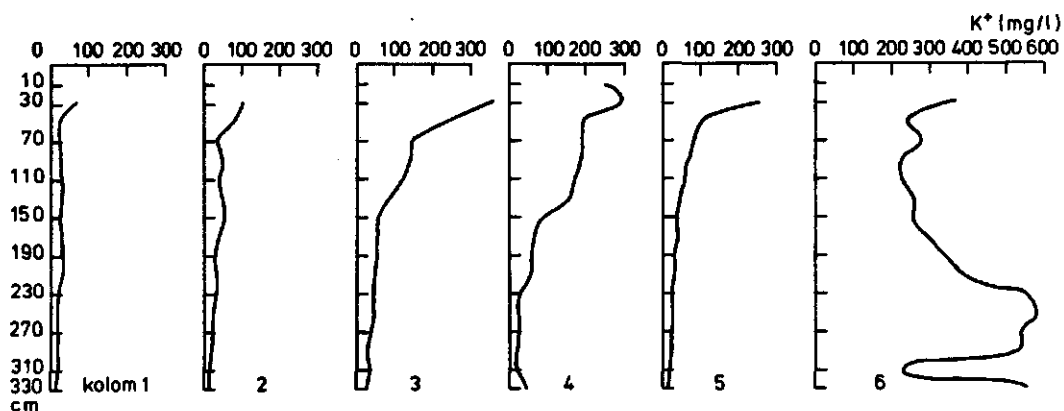


Fig. 10.  $K^+$ -verloop met de diepte op 6-5-1980

#### Invloed bemesting op het kalium-verloop

De invloed van bemesting is opvallend klein, zeker beneden 1,50 m. Waarschijnlijk is dit te wijten aan de toenemende ds-produktie bij kolom 2 en 3, wat uiteindelijk resulteert in een verhoogde kalium-opname. Hierdoor worden de uitspoelingsverschillen genivelleerd (zie ds-produktie tabel 15).

#### Invloed GWS op het kalium-verloop

Ook deze invloed is gering en gebeurt ook min of meer indirect via de ds-produktie. Bij een hogere GWS is de ds-produktie respectievelijk kalium-opname groter en zodoende zal de kalium-uitspoeling dan kleiner zijn.

#### Invloed bodemtype op het kalium-verloop

Tussen kolom 3 en 6 is een duidelijk verschil. Dit is op de eerste plaats als gevolg van het verschil in bodemsamenstelling.

De grond uit de Achterhoek (kolom 3) is lemiger en heeft in de onderlaag (50 - 300 cm) een hoger humusgehalte dan de Vredepeelgrond (kolom 6). Hierdoor zijn de voorwaarden voor  $K^+$ -binding gunstiger.

Op de tweede plaats is de ds-produktie respectievelijk  $K^+$ -opname van kolom 6 beduidend kleiner en zodoende is de kans op  $K^+$ -uitspoeling groter.

#### 4.2.6. Totaal organische koolstof (T.O.C.)

Het TOC-gehalte (Total Organic Carboon) is een maatstaf voor de aanwezige organische stof, welke weer van belang is voor de denitrificatie. De gehalten staan in de volgende tabel.

Tabel 22. TOC-gehalten in mg/l op 6-5-'80

Diepte	1	2	3	4	5	6
10	-	-	-	369	1024	-
30	324	196	353	433	146	175
50	198	318	162	247	76	195
70	52	46	74	282	57	122
90	21	21	50	-	82	63
110	24	44	45	48	27	39
130	39	23	36	36	25	27
150	17	18	30	32	31	17
170	17	30	27	23	25	21
190	32	28	30	30	29	21
210	36	11	33	21	34	27
230	39	22	25	18	32	30
250	47	39	27	24	27	24
270	42	24	23	23	31	16
290	37	41	34	21	26	14
310	32	41	20	19	19	17
330	35	28	28	15	13	19



Ook van deze gehalten is het grafisch verloop weergegeven.

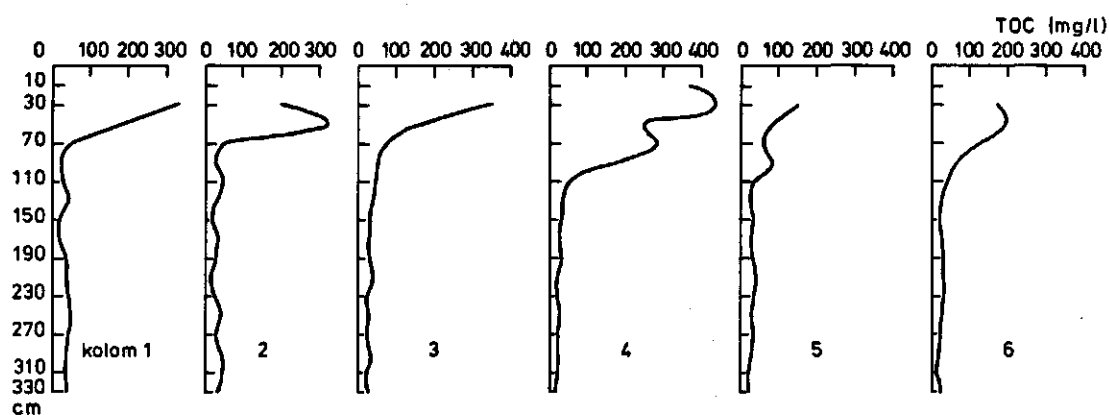


Fig. 11. TOC-verloop met de diepte, op 6-5-1980

De grafieken verlopen vrij regelmatig en vertonen onderling geen grote verschillen. De GWS lijkt wat invloed te hebben, aangezien de uitzakking in kolom 4 wat groter is en in kolom 5 lijkt hij kleiner, doch jammer genoeg zijn hier de hoeveelheden in de bovenste 10 cm niet bekend.

Ook kolom 6 vertoont een iets grotere uitzakking, wat een gevolg moet zijn van de snellere doorspoeling. Gezien deze cijfers lijken de omstandigheden voor denitrificatie wat betreft de aanwezigheid van organische stof voor kolom 5 minder gunstig. Aangezien hier toch de meeste denitrificatie plaatsvindt, lijkt de voorwaarde van zuurstofgebrek belangrijker te zijn dan de voorwaarde van aanwezigheid van organische stof.

#### 4.2.7. E.G.V.

Het E.G.V. (Electrisch Geleidings Vermogen) is een maatstaf voor het gehalte aan ionen, wat weer afhankelijk is van de bemestings-toestand, waterhuishouding en bodemsamenstelling. In 1979 is een nieuwe eenheid ingevoerd, namelijk mS/m (milli-Siemens/meter) bij 20°C. De oude eenheid is  $\mu\text{mho/cm}$  (micro-mho/cm) bij 20°C. (N.B. Siemens heeft dezelfde betekenis als mho). Zodoende is de oude eenheid, afgezien van het temperatuursverschil, een faktor 10 hoger. Hier is de oude eenheid nog gebruikt, aangezien deze eenheid ook in de vorige verslaggevingen voorkomt. De waarden staan in de volgende tabel. Voor omrekening naar 20°C moet worden vermenigvuldigd met de factor 0,901.

Tabel 23. EGV-waarden in  $\mu\text{mho/cm}$  bij 25°C op 6-5-'80

Diepte	1	2	3	4	5	6
10	-	-	-	3680	-	-
30	1089*	1393	3062	2476	2047	3435*
50	711	3247*	3226*	2608*	2098	3864*
70	618	1426*	2408	2769*	2373	3488*
90	740	1772	2201	-	1876	2994
110	861	1186	2012	2408	1325	2512
130	929	1222	1803	2083	1101	2133
150	1204	1308	1893	1772	1254	1719
170	825	1065	1633	2358	1240	1805
190	618	790	1565	1944	1118	1754
210	550	947	1308	2133	997	2012
230	550	775	1272	2287	740	2408
250	568	790	1254	2529	636	2494
270	533	757	1101	2183	512	2444
290	550	740	722	2083	467	2358
310	550	722	740	1961	444	2098
330	550	893	929	2065	450	2494

\* (= meting in verdunde monsters)

Wat betreft de verdunningen moet nog een kleine opmerking worden gemaakt. Door een nader onderzoek is namelijk gebleken dat de via een verdunning terugberekende waarde hoger is dan de werkelijke waarde. Dit wordt verklaard doordat de ionen in een verdunde oplossing zich gemakkelijker kunnen bewegen. De afwijking bij een verdunning van 10, 20, 25 en 33,3 was respectievelijk 19, 24, 25 en 30%. Behalve het monster op diepte 50 cm van kolom 2 (+ 20 x verdund) liggen alle andere verdunningen onder de 5 en zal de afwijking dus gering zijn. In de grafiek zijn de betreffende monsters omcirkeld, zodat men van de mogelijke afwijking bewust is. Vooral de piek bij kolom 2 zal in werkelijkheid een stuk lager zijn.

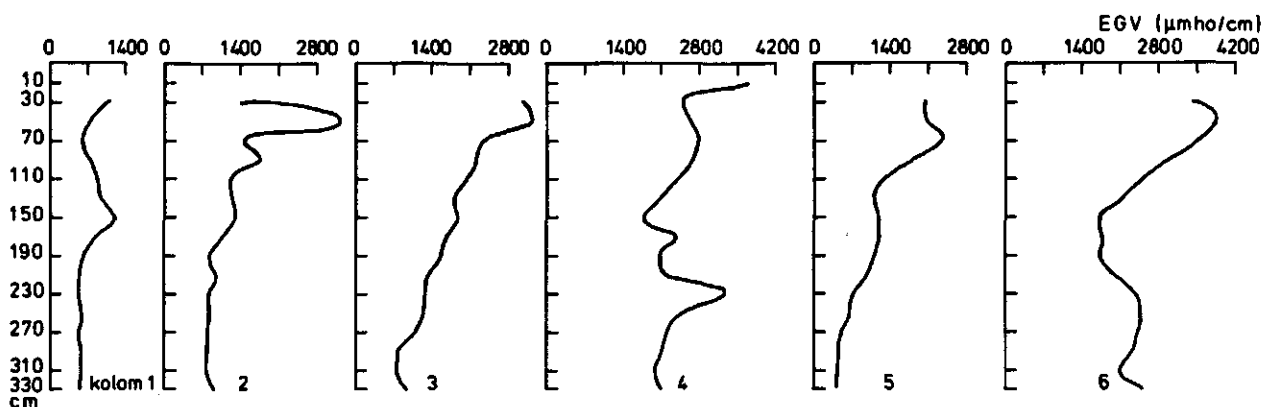


Fig. 12. E.G.V.-verloop met de diepte, op 6-5-1980

De figuren verlopen vrij aardig gelijk aan onze verwachtingen. Een hogere mestgift leidt tot een hoge E.G.V. en een hogere GWS als gevolg van denitrificatie tot een lagere E.G.V. (kolom 5). Kolom 6 heeft een extra hoge E.G.V., vanwege de lagere bindingscapaciteit (armere grond) en de grotere uitspoeling.

#### 4.2.8. Zuurgraad

De pH of zuurgraad is belangrijk voor de beschikbaarheid van plantevoedende bestanddelen. Bijvoorbeeld K-, Mg-, Al- en Mn-verbindingen lossen gemakkelijk op in zuur milieu. Hierdoor kan de concentratie zo hoog worden dat de plant schade ondervindt en de stoffen kunnen gemakkelijker uitspoelen. In een basis milieu worden bepaalde sporelementen en ook fosfaat minder goed opgenomen. Verder verschilt de optimale pH van gewas tot gewas en grond tot grond. Ook de pH wordt door verdunning in lichte mate beïnvloed, zodat ook hier de verdunningen door middel van kruisjes en cirkeltjes zijn aangegeven.

Tabel 24. pH op 6-5-'80

Diepte	1	2	3	4	5	6
10				5,0		
30	5,4*	4,6	3,8	3,9	5,2	6,3*
50	5,0	6,3*	6,6*	5,8*	5,4	6,1*
70	6,2	5,8*	5,8	6,5*	5,2	4,3*
90	5,9	5,2	5,6	-	5,6	4,0
110	5,5	5,9	5,6	5,8	5,6	4,6
130	5,9	6,1	5,8	5,6	5,7	4,9
150	6,0	5,9	5,8	5,7	5,5	4,6
170	6,4	5,9	6,0	5,5	5,6	4,4
190	6,1	6,1	5,8	5,5	5,6	4,5
210	6,1	5,9	6,1	5,7	5,8	4,8
230	6,1	5,8	5,8	5,4	5,6	4,4
250	6,0	5,8	5,7	5,5	5,5	4,8
270	5,8	6,1	5,6	5,4	5,6	4,4
290	6,0	5,8	5,9	5,6	5,7	4,5
310	5,9	6,2	5,8	5,5	5,6	4,4
330	6,0	5,8	5,8	5,6	5,9	6,0

\* (= metingen in verdunde monsters)

en het verloop met de diepte is als volgt:

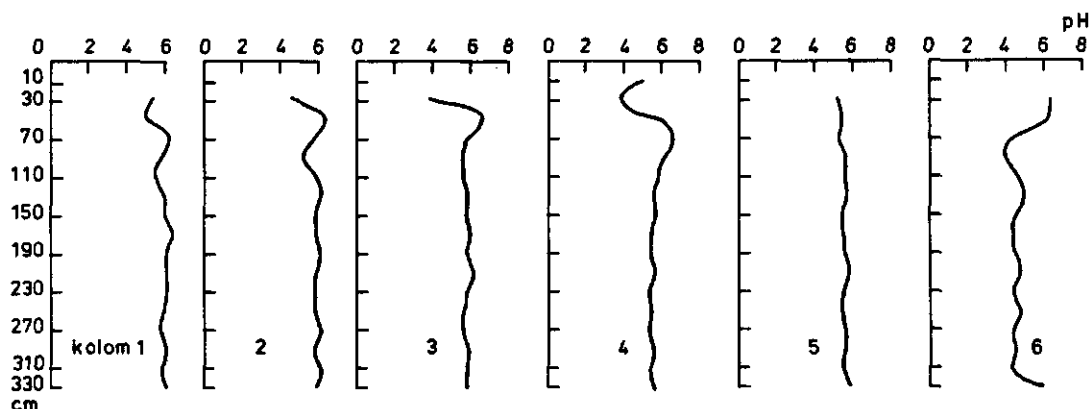


Fig. 13. Het pH-verloop met de diepte (0 = verdunde monsters)

Gezien deze figuren blijkt de pH weinig beïnvloed te worden door bemestingsniveau of GWS. De bovenlaag vertoont kleine schommelingen, waarschijnlijk als gevolg van het opschuiven van het bemestingsfront. Dus alleen bij erg hoge concentratieverschillen wordt de pH beïnvloed.

Verder vertoont kolom 6 in de diepere lagen een lagere pH vanwege een andere bodemsamenstelling (armere grond).

#### 4.2.9. Overige bepalingen

Naast de voorafgaande laagsgewijze bemonstering en analysering op het ICW-lab heeft er ook nog een extra bemonstering plaatsgevonden op diepte 1,70 en 2,70 m. Van deze monsters zijn op het ICW-lab de Na, Ca en Mg-gehalten bepaald en op laboratorium Oost te Doetinchem de  $PO_4$ -ortho,  $PO_4$ -tot.,  $NH_4$ -N, Kjeldahl N en COD-gehalten. De resultaten staan in de volgende tabel.

Tabel 25. PO<sub>4</sub>-ortho, PO<sub>4</sub>-tot., NH<sub>4</sub>-N, Kjeld. N, COD, Na, Ca en Mg-gehalten op 1,70 en 2,70 m op 6-5-'80 (mg/l)

	1		2		3		4		5		6	
	1,70	2,70	1,70	2,70	1,70	2,70	1,70	2,70	1,70	2,70	1,70	2,70
PO <sub>4</sub> -ortho	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
PO <sub>4</sub> -tot.	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
NH <sub>4</sub> -N	0,14	0,08	?	0,11	0,44	0,20	0,12	0,05	0,04	0,21	5,3	3,5
Kjeld.-N	0,92	3,2	0,99	1,2	1,4	0,80	1,1	0,54	1,1	1,5	7,3	4,8
COD	50	105	75	68	73	58	88	64	88	90	93	75
Na	34,3	16,9	34,2	26,4	54,1	31,5	65,8	49,6	50,1	13,6	40,0	66,3
Ca	109,6	71,7	150,2	215,7	154,6	154,6	317,2	313,0	175,9	76,8	81,2	33,8
Mg	8,4	6,0	13,0	7,8	18,6	12,4	28,9	26,0	12,7	5,3	21,1	9,6

De ortho-P is overal <0,02 en vertoont geen uitspoelingsverschijnselen. Bij de  $PO_4$ -tot is bij kolom 3 en 4 een kleine verhoging waar te nemen op diepte 1,70. Het lijkt dat de organisch gebonden P ( $PO_4$ -tot minus P-ortho) eerder uitspoelt dan de ortho-P, doch de hoeveelheden zijn minimaal.

De  $NH_4$ -N-gehalten zijn erg hoog in kolom 6. Reden hiervoor is dat kolom 6 minder humus en leem bevat, waardoor de  $NH_4^+$ -deeltjes minder sterk worden gebonden en zodoende gemakkelijker uitspoelen.

De COD (Chemical Oxygen Demand) is een maatstaf voor de organische stof, evenals de TOC bepaling. In kolom 1 is het COD-gehalte op 1,70 m opvallend lager dan op 2,70 m. Hoe dit komt is moeilijk te verklaren.

De Na, Ca en Mg-gehalten staan duidelijk onder invloed van de mestgift en de GWS. Het een en ander blijkt uit de onderstaande grafieken.

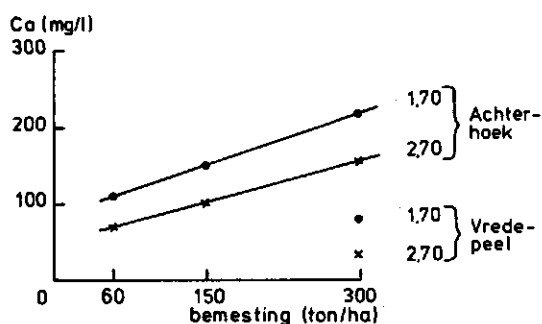


Fig. 14. Ca-gehalte bij verschillende bemestingsniveau's op diepte 1,70 en 2,70 m

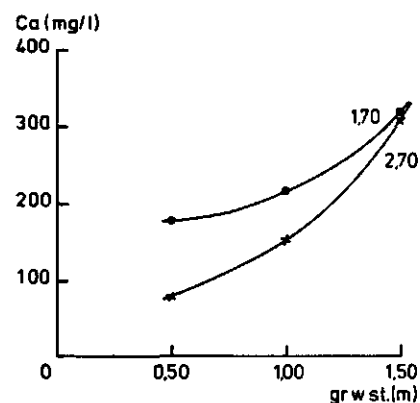


Fig. 15. Ca-gehalte bij verschillende GWS op diepte 1,70 en 2,70 m

Bij een hoger bemestingsniveau vertoont het Ca-gehalte een lineaire toename voor beide dieptes, terwijl bij een lagere GWS het Ca-gehalte zelfs meer dan evenredig toeneemt.

De Ca-concentratie is voor de Vredepeelgrond opmerkelijk lager dan de grond uit de Achterhoek. Dit komt doordat hij tevens afhankelijk is van de pH en de kalkrijkdom en deze liggen beide bij de grond uit de

Achterhoek op een hoger niveau. Vandaar dat hier de Ca-concentratie ook hoger is.

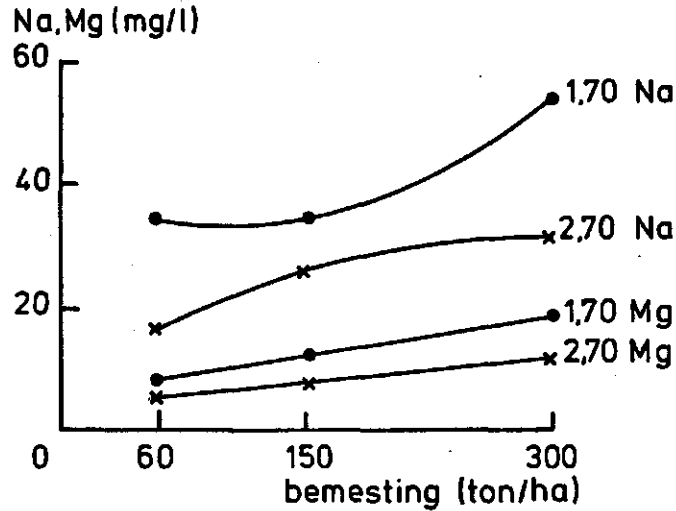


Fig. 16. Na- en Mg-gehalte bij verschillende bemestingsniveau's op diepte 1,70 en 2,70m

Beide kationen vertonen een toename bij een hoger bemestingsniveau. Opvallend is de meer dan evenredige toename voor Na op 1,70 m diep. Misschien is dit te wijten aan een lagere adsorptie terwijl op grotere diepte de adsorptie weer hoger wordt. De reden hiervoor kan zijn dat bij een dergelijk bemestingsniveau van 300 ton/ha, het adsorptiecomplex min of meer verzadigd raakt.

#### 4.3. De stikstofbalans

Om een beter inzicht te krijgen over de stikstofhuishouding in de grond kan de stikstofbalans ons helpen. In formule-vorm ziet hij er als volgt uit:

$$M + N = U + G + dBo + Rest$$

waarin:

- M = stikstoftoevoer via mest
- N = stikstoftoevoer via neerslag
- U = uitgespoelde stikstof naar het grondwater



G = afvoer van stikstof via geoogst gras  
 dBo = bergingsverandering van stikstof in overzadigde zone  
 Rest= restanten; stikstofverandering in de bodem als gevolg van  
 denitrificatie, humificatie en mineralisatie

Ook deze componenten worden weer apart behandeld.

#### 4.3.1. Stikstoftoevoer via mest (M)

Als meststof is varkensdrijfmest gebruikt. Het 1e jaar hebben 2 doseringen plaatsgevonden, één namelijk in het voorjaar en één in het najaar. Dit kwam doordat de opstelling pas in het voorjaar werd gemaakt. Aangezien het groeiseizoen van april tot april loopt, komt dit toch neer op één mestgift per groeiseizoen en wordt het effect van de te late eerste gift verwaarloosd. De N-balans wordt opgezet over de totale periode, vanaf het begin van het experiment tot aan de eindbemonsteringsdatum 6-5-1980. Zodoende is het niet noodzakelijk met groeiperiodes te werken, zoals bij de waterbalans. Door de eenvoudigheid worden de mestgiften berekend in gN per kolom en tenslotte gesommeerd en omgerekend naar kg N per ha. Deze omrekening gaat als volgt:

$$1 \text{ g}/0,5 \text{ m}^2 = \frac{20\ 000}{1000} \text{ kg/ha}$$

$$= 20 \text{ kg/ha}$$

Voor de omrekening geldt dus een faktor 20.

De mestgiften staan in de volgende tabel.

Tabel 26. Mestgift per kolom per jaar (in g) en als totaal in kg/ha

Kolom	'77(3-'77) N-gift (g)	'78(11-'77) N-gift (g)	'79(11-'78) N-gift (g)	'80(11-'79) N-gift (g)	Totaal N-gift (g)	Totaal N-gift (kg/ha)
1	9,7	24,3	17,1	14,2	65,3	1306
2	25,5	60,7	42,5	35,5	164,2	3284
3	47,6	121,3	84,3	71,0	324,2	6484
4	47,6	121,3	84,3	71,0	324,2	6484
5	47,6	121,3	84,3	71,0	324,2	6484
6	47,6	121,3	84,3	71,0	324,2	6484

#### 4.3.2. Stikstoftoevoer via neerslag (N)

Ook via de neerslag vindt een niet onaanzienlijke toevoer van stikstof plaats. Deze hoeveelheden zijn onder andere afhankelijk van windrichting, regenintensiteit en atmosferische invloeden. Zodoende zijn ze sterk plaatsgebonden. Voor Wageningen zijn deze neerslaghoeveelheden door STEENVOORDEN en OOSTEROM bepaald over de periode augustus 1973 t/m juli 1975 (Nota 882) en bedraagt gemiddeld 3,2 mg N/l. Via de neerslaghoeveelheden geeft dit de volgende resultaten.

Tabel 27. N-toevoer via neerslag, gebaseerd op gegevens van Steenvoorden en Oosterom

Jaar	Periode	Neerslag (mm)	Neerslag (l/ha)	Totaal-N (mg/l)	Totaal-N via neerslag (kg/ha)
1977/'78	1-4-'77/1-4-'78	856,6	8 566 000	3,2	27,4
1978/'79	1-4-'78/1-4-'79	736,8	7 368 000	3,2	23,6
1979/'80	1-4-'79/1-4-'80	812,5	8 125 000	3,2	26,0
1980	1-4-'80/6-5-'80	58,3	583 000	3,2	1,9
Totaal	1-4-'77/1-4-'80	2464,2	24 642 000	3,2	80

#### 4.3.3. Uitgespoelde stikstof naar het grondwater (U)

De stikstof die in het grondwater is terechtgekomen wordt beschouwd als uitgespoeld (zie inleiding). Om de uitspoeling te berekenen hoeven we dus slechts de stikstof die is opgevangen in de meetvaten voor de waterafvoer en de resterende stikstof op de einddatum in het grondwater te sommeren. Eerst worden deze hoeveelheden apart bepaald.

## N in afvoer via de meetvaten

De totale N in de meetvaten kunnen we bepalen door de N te sommeren vanaf de eerste N-afvoer als gevolg van de eerste mestgift, tot aan de einddatum. Dat deze eerste N-afvoer datum niet overeenkomt met de datum van de eerste afvoer zal duidelijk zijn, aangezien er bij de start van het experiment een bepaalde hoeveelheid vocht in de bodem bevond die eerst afgevoerd zou moeten worden. De vraag is nu op welk tijdstip de kolommen N afkomstig van de eerste bemesting zijn gaan afvoeren. Indien van alle afvoeren de N-analyses zouden zijn uitgevoerd, dan kon gewoon een plotseling visueel vastgestelde N-verhoging in de afvoer als uitgangsdatum worden genomen. De chemische analyses in de afvoer zijn echter voor de eerste maal op 3-5-'79 uitgevoerd en aan de N-concentraties bij de kolommen 3, 4 en 6 (zie ) is te zien dat deze al iets eerder N hebben afgevoerd.

Wel zijn op diepte 2,70 m voor de periode 15-12-'77 tot 8-2-'79 vrijwel wekelijks de analyses uitgevoerd van het grondwater. Met behulp van deze analyses kunnen we de basisafvoer vaststellen. De basisafvoer is dan de N-afvoer die plaatsvond vóór de afvoer van N afkomstig van de eerste mestgift. Deze basisafvoer zal namelijk voor diepte 2,70 m en 3,30 m ongeveer gelijk zijn. De analyses voor kolom 3, 4 en 6 op diepte 2,70 m zien in grafiek gezet er als volgt uit (fig. 17):

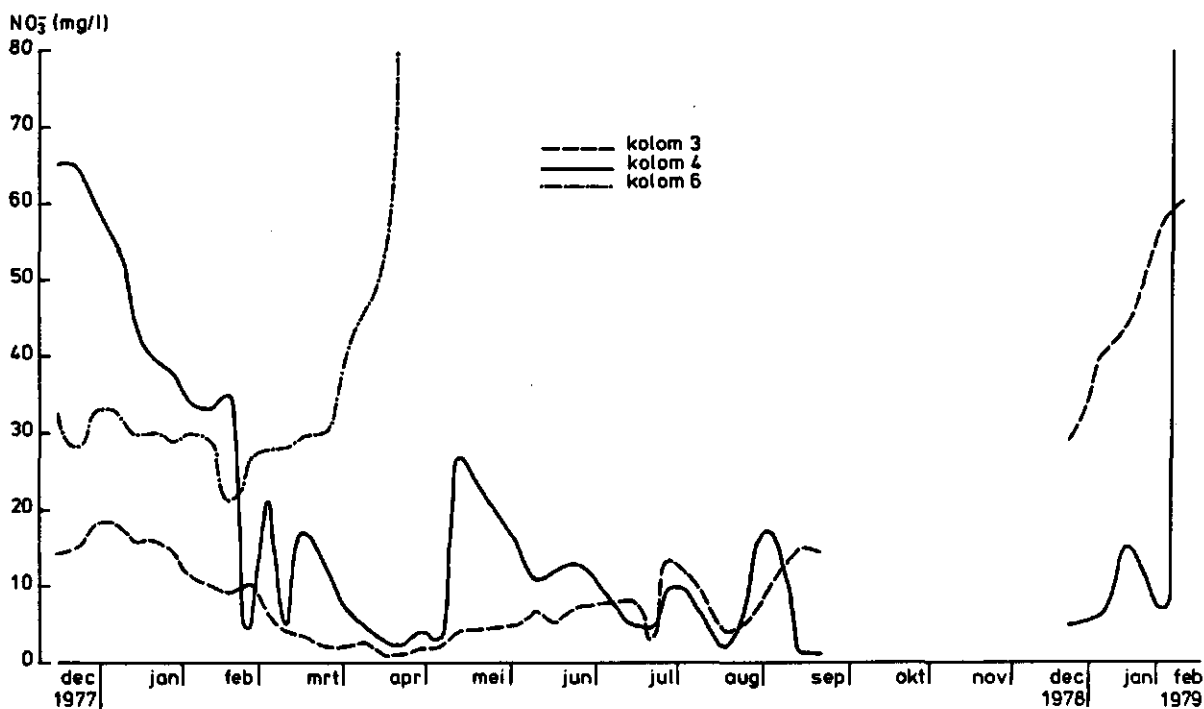


Fig. 17.  $\text{NO}_3^-$ -gehalten voor kolom 3, 4 en 6 op diepte 2,70 m in de periode 15-12-'77 tot 8-2-'79

De basisafvoer ligt voor kolom 6 dus op  $\pm 30 \text{ mg NO}_3^- / 1$  en voor kolom 3 en 4 op  $\pm 10 \text{ mg NO}_3^- / 1$ . Met behulp van de afvoer analyses van de twee vorige verslaggevingen (8-3-'78 en 24-1-'79) en de afvoeranalyse op 3-5-'79 kunnen we nu de extra N-afvoer in de meetvaten van vóór 3-5-'79 bepalen. De  $\text{NO}_3^-$ -gehalten van de afvoer in '78 en '79 waren als volgt:

Tabel 28. Afvoeranalyses van twee vorige verslaggevingen en op 3-5-'79 ( $\text{Mg. NO}_3^- / 1$ )

Datum	1	2	3	4	5	6
8-3-'78	< 1	17	4	9	4	27
24-1-'79	< 1	27	9	17	4	226
3-5-'79	5	8	38	18	6	453

Met behulp van de afvoergegevens uit tabel 8 en de voorafgaande analyses kan een grafiek worden opgezet om de uiteindelijke hoeveelheden te bepalen. Hiervoor moeten de afvoerhoeveelheden wel worden gesommeerd.

Tabel 29. Gesommeerde afvoer voor kolom 3, 4 en 6 vanaf 3-5-'79

Datum	Kolom 3 afvoer (1)	∑ afvoer (1)	Kolom 4 afvoer (1)	∑ afvoer (1)	Kolom 6 afvoer (1)	∑ afvoer (1)
x 3-5-'79	15,88	15,88	16,92	16,92	14,14	14,14
29-3-'79	4,48	20,36	1,75	18,67	1,99	16,13
26-3-'79	16,34	36,7	19,41	38,08	10,73	26,86
13-3-'79	19,30	56,0	18,54	56,62	22,89	49,75
23-2-'79	-	56,0	19,35	75,97	11,13	60,88
6-2-'79	-	56,0	3,55	79,52	19,99	80,87
x 22-1-'79	-	56,0	6,79	86,31	8,53	89,4
4-1-'79			17,44	103,75	18,54	107,94
2-6-'78			6,33	110,08	3,09	111,03
8-5-'78			15,71	125,79	11,31	122,34
30-3-'78			15,59	141,38	8,53	130,87
21-3-'78			4,94	146,32	8,18	139,05
x 14-3-'78			16,52	162,84	9,74	148,79

De aangekruiste datums zijn de datums waarvan de analyses bekend zijn. Voor kolom 3 loopt de sommatie slechts tot 22-1-'79, omdat toen de N-afvoerconcentraties al beneden 10 lagen. Deze tabel levert, met behulp van tabel 29 de volgende figuur.

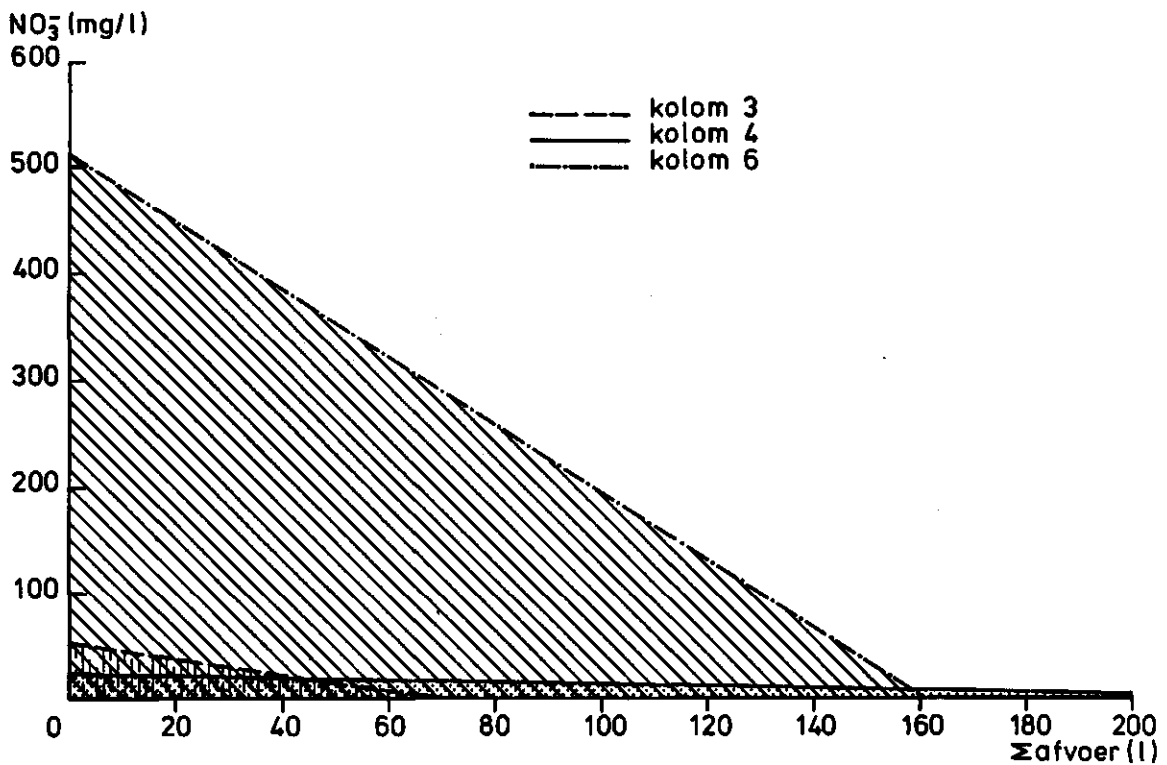


Fig. 18. De  $\Sigma$ -afvoer (l) met de  $\text{NO}_3^-$ -gehalten (mg/l)

Voor elke kolom geeft het gearceerde oppervlak dus de  $\text{NO}_3^-$ -hoeveelheid in de afvoer weer. De hoeveelheden zijn als volgt (N.B. de basisafvoer moet nog in mindering worden gebracht)

$$\begin{aligned} \text{kolom 3: } \frac{(50-10) \times 55}{2} &= 1100 \text{ mg } \text{NO}_3^- \\ &= 1,1 \text{ g } \text{NO}_3^- \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{kolom 4: } \frac{(22-10) \times 130}{2} &= 1560 \text{ mg } \text{NO}_3^- \\ &= 1,6 \text{ g } \text{NO}_3^- \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{kolom 6: } \frac{(510-30) \times 150}{2} &= 36\,000 \text{ mg } \text{NO}_3^- \\ &= 36 \text{ g } \text{NO}_3^- \end{aligned}$$

Met behulp van de  $\text{NO}_3^-$ -afvoeren van na 3-5-'79 tot 6-5-'80, kunnen we de totale  $\text{NO}_3^-$ -afvoeren in de meetvaten gaan bepalen.

Tabel 30. Per afvoerdatum en kolom worden respectievelijk de  $\text{NO}_3^-$ -gehalten (mg/l) afvoerhoeveelheden (1) en  $\text{NO}_3^-$ -hoeveelheden (mg) gegeven en tenslotte de sommatie per kolom (in g).

Kolom	1979						1980						Totaal (g)
	25/5	6/6	29/6	13/12	28/12	4/1	11/1	6/2	26/2	6/3	8/4	6/5	
$\text{NO}_3^-$ -concentraties in mg $\text{NO}_3^-/1$													
1	8	5	3	11	(15)	19	10	10	-	11	(9)	(7)	
2	6	39	< 1	-	5	-	8	7	-	7	(7)	(6)	
3	73	119	(90)	-	-	32	52	66	-	94	94	(87)	
4	101	497	560	-	334	-	325	420	525	-	645	665	
5	3	< 1	-	-	-	-	-	4	-	-	3	-	
6	497	363	-	-	744	-	775	845	-	850	925	898	
Afvoer in liters													
1	29,8*	37,5*	17,3*	19,9	17,7	15,9	10,8	27,8	-	16,6	19,5	5,5	
2	28, *	35,2	12,1	-	20,0	-	24,1	27,1	-	16,8	19,6	6,1	
3	32,2	29,8	11,2	-	-	18,8	11,5	28,7	-	17,3	23,1	6,5	
4	38,7	25,7	21,3	-	14,4	-	24,3	23,5	22,3	-	19,8	11,9	
5	10,4*	30,8*	- *	- *	- *	- *	- *	36,8*	- *	- *	19,5*	- *	
6	22,3	25,8	-	-	20,0	-	25,4	23,9	-	13,2	17,3	3,0	
$\text{NO}_3^-$ -afvoer in mg/kolom													
1	238,4*	87,5*	51,9*	218,9	265,5	302,1	108	278	-	182,6	175,5	38,5	
2	168,6*	1 372,8	12,1	-	100,0	-	192,8	189,7	-	117,6	137,2	36,6	
3	2 175,4	3 546,2	1 008,0	-	-	601,6	598	1 894,2	-	1 626,2	2 174,4	565,5	
4	3 908,7	12 772,9	11 928,0	-	4 809,6	-	7 897,5	9 870	11 707,5	-	12 771	7913,5	
5	92,4*	30,8*	- *	- *	- *	- *	- *	147,2*	- *	- *	58,5*	0	
6	11 083,1	9 365,4	-	-	14 880	-	19 685	20 195,5	-	11 220	16 002,5	2694	
105,1													

\* = geen  $\text{NO}_3^-$ -afvoer - = geen vochtafvoer

Gezien de lage  $\text{NO}_3^-$ -concentraties van kolom 5 in de bovenste tabel heeft deze nog geen  $\text{NO}_3^-$ , afkomstig van de 1e bemesting afgevoerd en is kolom 1 op 13-12-'79 begonnen. Kolom 2 is moeilijk te zeggen. We gaan uit van 6-6-'79 en mocht deze datum verkeerd zijn dan blijft de fout maar klein, gezien de lage concentraties.

Tabel 31. Totale  $\text{NO}_3^-$ - respectievelijk N-afvoer in de meetvaten

Kolom	Vóór 25-5-'79 (g)	Nà 25-5-'79 (g)	Totale $\text{NO}_3^-$ -afvoer (g)	Idem (kg/ha)	Totale N-afvoer (kg/ha)
1	0	1,6	1,6	32	7,2
2	0	2,2	2,2	44	9,9
3	1,1	14,2	15,3	306	69
4	1,6	83,6	85,2	1704	385
5	0	0	0	0	0
6	36	105,1	141,1	2822	637

#### N in verzadigde zone

Het gaat hier om de totale hoeveelheid N die op de einddatum in de verzadigde zone aanwezig was. Omdat bij de N in de afvoer de sommatie is begonnen bij het moment van N-afvoer afkomstig van de 1e mestgift, telt de aanvankelijk in de verzadigde zone aanwezige N niet mee met de balans.

De N-hoeveelheid op einddatum aanwezig kunnen we berekenen met behulp van bemonsteringsanalyses en het poriënvolume. De vochthoeveelheden per laag, per kolom zijn namelijk als volgt:

kolom 1 t/m 5

$$20 \text{ cm kolom is } 0,2 \times 0,5 = 0,1 \text{ m}^3 \text{ grond} \\ = 100 \text{ l grond}$$

$$\text{vochtvolume bij PV} = 42\%: \quad 0,42 \times 100 = 42 \text{ l vocht}$$

kolom 6

$$\text{vochtvolume bij PV} = 37\%: \quad 0,37 \times 100 = 37 \text{ l vocht}$$

(per laag van 10 cm wordt dit dus respectievelijk 21 en 18,5 l

Met behulp van deze volumina levert dit per laag de volgende  $\text{NO}_3^-$ -hoeveelheden.



Tabel 32. NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-hoeveelheden per laag en in totaal per kolom (in g) op einddatum, berekend met behulp van het Pv

	Kolom 1	Kolom 2	Kolom 3	Kolom 4	Kolom 5	Kolom 6
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> per 20 cm kolom (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> per 20 cm kolom (g)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> per 20 cm kolom (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> per 20 cm kolom (g)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> per 20 cm kolom (g)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> per 20 cm kolom (g)
50	-	-	-	-	575	12,1 *
70	-	-	-	-	604	25,4
90	-	-	-	-	319	13,4
110	294	12,3	316	13,3	531	22,3
130	296	12,4	266	11,2	458	19,2
150	443	18,6	319	13,4	467	19,6
170	231	9,7	111	4,7	276	11,6
190	64	2,7	36	1,5	331	13,9
210	5	0,21	43	1,8	307	12,9
230	4	0,17	21	0,88	256	10,8
250	3	0,13	7	0,29	200	8,4
270	7	0,29	5	0,21	177	7,4
290	5	0,21	6	0,25	5	0,21
310	5	0,21	6	0,25	14	0,59
330	5	0,12*	6	0,13	84	1,8 *
Totaal	57,1	47,8	128,7	276,8	56,2	312,4

\*Om binnen de verzadigde zone te blijven zijn van deze lagen slechts de halve hoeveelheden genomen

Nu de stikstof in de afvoer en in de verzadigde zone bekend is kan de totale uitspoeling U worden berekend. Wel moet bij de verzadigde zone de  $\text{NO}_3^-$ -hoeveelheid nog omgerekend in respectievelijk kg/ha en kg N/ha. Dit gebeurt in de volgende tabel.

Tabel 33. Totale U als sommatie van N in verzadigde zone en N in afvoer via meetvaten (kg/ha)

Kolom	$\text{NO}_3^-$ in verzadigde zone (kg/ha)	N in verzadigde zone (kg/ha)	N in afvoer via meetvaten (kg/ha)	Totale U (afgerond) (kg/ha)
1	1142	258	7,2	265
2	957	216	9,9	226
3	2574	581	69	650
4	5535	1250	385	1635
5	1123	254	0	254
6	6248	1411	637	2048

#### 4.3.4. Afvoer van stikstof via geoogst gras (G)

Een groot gedeelte van de via bemesting toegevoegde stikstof wordt opgenomen door het gewas. Een probleem hierbij is dat de gewasopname afhankelijk is van het N-aanbod. Deze relatie is door VAN STEENBERGEN (1977) onderzocht op proefvelden waarbij de bemesting werd gegeven in de vorm van kunstmest. Omdat geen gegevens bekend zijn over N-opname door gras bij bemesting met organisch mest, zal van deze gegevens gebruik worden gemaakt. Van de varkensdrijfmest die bij deze kolomproef is toegediend moet echter, voor de vergelijkbaarheid, uitgegaan worden van de gemineraliseerde stikstof. De hoeveelheid stikstof dus die in de loop van het jaar vrijkomt en voor de plant beschikbaar is. Bij deze berekening wordt uitgegaan van de volgende werkingscoëfficiënten.

Tabel 34. Jaarlijks voor de plant beschikbare stikstof  
uit varkensdrijfmest

---

1e jaar	60% v. totale N-gift in dit jaar
2e jaar	60% v. totale N-gift in dit jaar + 10% v. N-gift van 1e jaar
3e jaar	60% v. totale N-gift in dit jaar + 5% van N-gift van 1e jaar + 10% van N-gift van 2e jaar

---

Met behulp van N-giften uit tabel 26 levert dit de volgende  
jaarlijks beschikbare stikstof (tabel 35):

Tabel 35. Jaarlijks beschikbare stikstof voor de plant (g)

Kolom	1977			1978			1979			1980		
	N-gift (g)	werkings- beschikbare N (g)	coëffi- ciënt	N-gift (g)	werkings- beschikbare N (g)	coëffi- ciënt	N-gift (g)	werkings- beschikbare N (g)	coëffi- ciënt	N-gift (g)	werkings- beschikbare N (g)	coëffi- ciënt
1	9,7	5,8		24,3	15,6	60%	17,1	13,2	60%	14,2	11,9	60%
2	25,5	15,3	60%	60,7	39,0	+	42,5	32,9	+	35,5	29,9	+
3	47,6	28,6		121,3	77,6	10% 1e jr	84,3	65,1	+	71,0	59,5	+
4	47,6	28,6		121,3	77,6		84,3	65,1	10% 2e jr	71,0	59,5	+
5	47,6	28,6		121,3	77,6		84,3	65,1		71,0	59,5	+
6	47,6	28,6		121,3	77,6		84,3	65,1		71,0	59,5	10% 3e jr
												+
												60%

En uiteindelijk komen we dan op een totaal van: (zie tabel 36)

Tabel 36. Jaarlijks beschikbare N in kg N/ha

	1977 beschikbare N (kg N/ha)	1978 beschikbare N (kg N/ha)	1979 beschikbare N (kg N/ha)	1980 beschikbare N (kg N/ha)	Totaal beschikbare N (kg N/ha)
1	116	312	264	238	930
2	306	780	658	598	2342
3	572	1552	1302	1190	4616
4	572	1552	1302	1190	4616
5	572	1552	1302	1190	4616
6	572	1552	1302	1190	4616

De stikstofopname als functie van de stikstofbemesting is als volgt:

Tabel 37. Stikstofopname als functie van de stikstofbemesting  
(kg.N/kg ds)

N-bemesting (kg N.ha <sup>-1</sup> .j <sup>-1</sup> )	ds-productie (kg N.ha <sup>-1</sup> .j <sup>-1</sup> )	N-opbrengst (kg N.ha <sup>-1</sup> .j <sup>-1</sup> )	N-opname (kg N.ha <sup>-1</sup> .j <sup>-1</sup> )
0	8 900	226	0,0254
100	10 400	274	0,0263
200	11 600	334	0,0288
300	12 600	384	0,0305
400	12 800	421	0,0305
500	13 200	462	0,0350

De in het experiment gebruikte doseringen gaan echter veel hoger dan 500 kg N/ha/j. In een grafische voorstelling blijkt het verband tussen N-bemesting en N-opname echter lineair te zijn, zodat ook voor de hogere bemestingsniveau's de N-opname kan worden berekend.

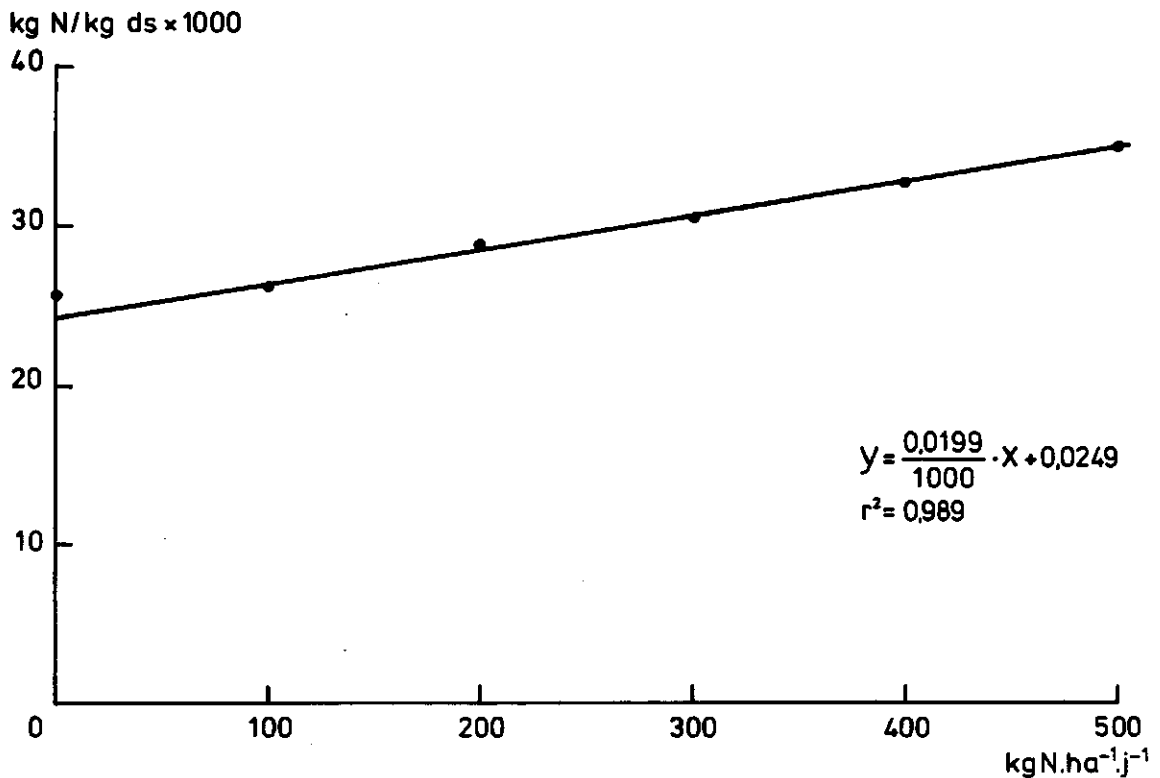


Fig. 19. Verband tussen N-opname en het bemestingsniveau,

$$y = \frac{0,0199}{1000} \cdot x + 0,0249, \quad r = 0,9946$$

Met behulp van deze vergelijking levert dat de volgende N-opname:  
(tabel 38):

Tabel 38. N-opname door het gewas per periode en in totaal

Kolom	1977				1978			
	N-gift (kg/ha)	N-opname (kg N/kg ds)	ds (kg/ha)	N-opname (totaal, in kg N)	N-gift (kg/ha)	N-opname (kg N/kg ds)	ds (kg/ha)	N-opname (totaal, in kg N)
1	116	0,0272	16 100	438	312	0,0310	10 800	335
2	306	0,0309	15 700	485	780	0,0403	14 600	588
3	572	0,0362	13 700	496	1552	0,0557	20 800	1159
4	572	0,0362	12 900	467	1552	0,0557	17 400	969
5	572	0,0362	21 800	789	1552	0,0557	22 700	1264
6	572	0,0362	12 400	449	1552	0,0557	12 900	719
					Totale N-opname (kg/ha)			
					993			
					1607			
					2583			
					2232			
					3097			
					1959			

N.B.: Tussen 1-4-'80 en 6-5-'80 heeft nauwelijks grasgroei plaatsgevonden zodat de gewasopname van 1980 wordt verwaarloosd

#### 4.3.5. Bergingsverandering van stikstof in onverzadigde zone (dBo)

Bij deze balanspost gaat het wel om de verandering (eindvoorraad minus beginvoorraad). Een gedeelte van de bij aanvang in de bodem aanwezige minerale stikstof die niet afkomstig was van de bemesting, is namelijk door het gewas opgenomen en zodoende is die N-hoeveelheid wél ingesloten bij de balans. Hoeveel dit precies is, is moeilijk na te gaan, doch deze zal zeker niet ver afwijken van de totale beginvoorraad van stikstof in de overzadigde zone. Jammer genoeg is de exacte beginvoorraad echter niet bekend. Daarom worden de  $\text{NO}_3^-$ -hoeveelheden op de einddatum (6-5-'80) aanwezig in kolom 1 als beginvoorraad voor de resterende kolommen genomen, aangezien de bemesting van kolom 1 (60 ton/ha) enigszins overeenkomt met de praktijksituatie waar de beproefde grond vandaan komt. Dit geldt echter niet voor kolom 6, aangezien dit een ander bodemtype is. In nota 964 is door STEENVOORDEN en OOSTEROM de chemische samenstelling van het vocht in de ondergrond bij een Vredepeelgrond met een basisbemesting van 60 ton/ha bepaald. Beide basisvoorraden aan  $\text{NO}_3^-$  staan in de volgende tabel (N.B. de gehalten staan slechts tot diepte 1,50 gegeven, aangezien de onverzadigde zone niet verder komt).

Tabel 39.  $\text{NO}_3^-$ -gehalten op verschillende diepte in Achterhoek en bij Vredepeel-grond met een basisbemesting van 60 ton/ha

Bodemtype	Diepte(cm)	10	30	50	70	90	110	130	150
Achterhoek	-	449	299	248	281	294	296	443	
Vredepeel		448	319	189	110	277	444	404	464

Met behulp van deze gehalten kunnen de  $d(\text{NO}_3^-)$ -gehalten (eindvoorraad minus deze beginvoorraad) berekend worden. De  $\text{NO}_3^-$ -gehalten op einddatum staan in tabel 19. De  $d(\text{NO}_3^-)$ -gehalten worden dan als volgt (N.B. voor kolom 1 zijn ze uiteraard nul):



Tabel 40.  $d(\text{NO}_3^-)$ -gehalten (eindvoorraad minus beginvoorraad) voor kolom 1 tot en met 6 (mg/l)

Diepte	1	2	3	4	5	6
10	0	-	-	-	-	-
30	0	107	970	588	441	1043
50	0	571	805	633	276	1160
70	0	321	552	648	-	1154
90	0	409	405	(519)	-	773
110	-	-	-	410	-	-
130	-	-	-	264	-	-
150	-	-	-	51	-	-

( ) = geschatte waarde

Om nu de  $d(\text{NO}_3^-)$ -hoeveelheden te berekenen moeten de vochtgehalten per laag bekend zijn. Deze zijn bij het begin van de proef bepaald met  $\gamma$ -transmissie methode, beschreven in par. 3.2.4. Voor de lagen 10 t/m 50 cm zijn  $a$ ,  $b$  en  $\rho_m$  bekend, zodat  $\rho_w$  berekend kan worden. Voor de resterende lagen is  $\rho_d$  berekend met behulp van de  $\rho_\gamma$ -waarden, aangezien het poriënvolume bekend is, tenminste in de verzadigde zone. De gemiddelde  $\rho_d$  voor kolom 1 t/m 3 geldt voor de gehele laag beneden 50 cm, aangezien bij de start van het experiment hiervoor voor hetzelfde uitgangsmateriaal is gekozen.

Kolom 6 is apart gemiddeld aangezien dit een ander bodemtype is. Met behulp van  $\rho_d$  en de  $\rho_\gamma$  kunnen we  $\rho_w$  bepalen omdat geldt:

$$\rho_w = \rho_\gamma - \rho_d$$

Door de  $\rho_w$  te vermenigvuldigen met  $\frac{50\,000}{1000}$  krijgen we de vochtthoeveelheid per laag van 10 cm in liters. De resultaten staan in de volgende tabel. Kolom 1 t/m 3 zijn gemiddeld want dit zijn dezelfde gronden met dezelfde vochttoestand.

Tabel 41. Vochthoeveelheden (1) per bodemlaag van 10 cm en totaal per kolom

Bodemlaag (cm)	Kolom 1 t/m 3	Kolom 4	Kolom 5	Kolom 6
0- 10	11,3	9,4	11,5	11,3
10- 20	12,0	10,8	12,0	10,9
20- 30	13,0	12,2	11,8	12,2
30- 40	14,8	14,8	13,7	14,0
40- 50	16,3	16,5	14,9	15,9
50- 60	22,5	20,9	-	16,4
60- 70	22,6	20,1	-	17,7
70- 80	21,0	18,2	-	17,5
80- 90	21,0	16,9	-	17,7
90-100	21,1	18,1	-	18,0
100-110	-	20,9	-	-
110-120	-	21,2	-	-
120-130	-	20,5	-	-
130-140	-	19,7	-	-
140-150	-	20,1	-	-
Totaal	175,6	281,3	63,9	151,6

Omdat de vochthoeveelheden per 10 cm laag bekend zijn en de  $d(\text{NO}_3^-)$ -gehalten per 20 cm laag, wordt eerst per kolom het gemiddelde  $d(\text{NO}_3^-)$ -gehalte per liter berekend en later vermenigvuldigd met het totaal aantal liters in de desbetreffende kolom (in de onverzadigde zone). De gemiddelden  $d(\text{NO}_3^-)$ -gehalten staan in tabel 42.

Tabel 42. Gemiddeld  $d(\text{NO}_3^-)$ -gehalte per liter, per kolom

Bodem- laag	Kolom 1		Kolom 2		Kolom 3		Kolom 4	
	hoeveelheid vocht in 10 cm laag (1)	$\text{NO}_3^-$ $d(\text{NO}_3^-)$ (g)	hoeveelheid vocht in 10 cm laag (1)	$\text{NO}_3^-$ $d(\text{NO}_3^-)$ (g)	hoeveelheid vocht in 10 cm laag (1)	$\text{NO}_3^-$ $d(\text{NO}_3^-)$ (g)	hoeveelheid vocht in 10 cm laag (1)	$\text{NO}_3^-$ $d(\text{NO}_3^-)$ (g)
30	13,0	0	13,0	107	13,0	970	12,2	588
50	16,3	0	16,3	571	16,3	805	16,5	633
70	22,6	0	22,6	321	22,6	552	20,1	648
90	21,0	0	21,0	409	21,0	405	16,9	519
110			74,2	26,6	74,2		20,9	410
130							20,5	264
150				† 74,2 = 0,358		† 74,2 = 0,630	20,1	51
							107,1	54,4
								÷ 107,1 = 0,508

Kolom 5		Kolom 6	
11,8	441	12,2	1043
14,9	276	15,9	1160
-		17,9	1154
-		17,7	773
26,7	9,3	63,5	65,3
			† 26,7 = 0,349
			÷ 63,5 = 1,028

Met behulp van deze gemiddelden en de totale vochthoeveelheden uit tabel 41 kan tenslotte de stikstofbergingsverandering in de onverzadigde zone worden berekend.

Tabel 43. De uiteindelijke d(Bo) in kg N per ha

Kolom	Totaal vocht boven gws (l)	Gemiddeld d(NO <sub>3</sub> )/l (g/l)	Totale d(NO <sub>3</sub> ) (g)	d(Bo) in NO <sub>3</sub> (kg/ha)	d(Bo) in N (kg/ha)
1	175,6	0	0	0	0
2	175,6	0,358	62,9	1258	284
3	175,6	0,630	110,6	2212	500
4	281,3	0,508	142,9	2858	645
5	63,9	0,349	22,3	446	101
6	151,6	1,028	155,8	3116	704

#### 4.3.6. De eindbalans

Nu al de afzonderlijke componenten bekend zijn kan de eindbalans worden opgesteld en de restantpost berekend.

Tabel 44. Eindbalans in kg N/ha

Kolom	Tabel 26	Tabel 27	Tabel 33	Tabel 38	Tabel 43	Rest.
	M (kg N/ha)	N (kg N/ha)	U (kg N/ha)	G (kg N/ha)	dBo (kg N/ha)	
1	1306	80	265	993	0	128
2	3284	80	226	1607	284	1247
3	6484	80	650	2583	500	2831
4	6484	80	1635	2232	645	2052
5	6484	80	254	3097	101	3112
6	6484	80	2048	1959	704	1853

De afvoer en berging als percentage van de toevoer zijn dan als volgt:

Tabel 45. Aandeel van de posten aan de N-balans in % van de totale toevoer

	1	2	3	4	5	6
Toevoer: M	94,3	97,7	98,8	98,8	98,8	98,8
N	5,7	2,3	1,2	1,2	1,2	1,2
M + N	100	100	100	100	100	100
Afvoer (in % van toevoer):						
U	19,1	6,7	9,9	24,9	3,9	31,2
G	71,7	47,8	39,4	34,0	47,2	29,8
U + G	90,8	54,5	49,3	58,9	51,1	61,0
Berging (in % van toevoer):						
d(Bo)	0	8,4	7,6	9,8	1,5	10,7
Rest	9,2	37,1	43,1	31,3	47,4	28,3
d(Bo) + Rest	9,2	45,5	50,7	41,1	48,9	39,0

De restantenpost geeft de mate van de 3 bodemprocessen, humificatie, denitrificatie en mineralisatie aan. Hoe precies de verdeling is zal moeilijk na te gaan zijn, maar ongetwijfeld neemt het denitrificatieproces het grootste deel voor zijn rekening.

##### 5. NOGMAALS: DE STIKSTOFUITSPOELING

In par. 4.3.3. is de N-uitspoeling berekend in de kg N per ha. De hoeveelheden staan in tabel 33. Deze hoeveelheden zeggen echter weinig over de daadwerkelijke vervuiling, aangezien die ook wordt bepaald door de hoeveelheid vochtafvoer. Met andere woorden, bij een dergelijke beschouwing zijn meer de concentraties van belang en tevens kan dan een betere vergelijking worden gemaakt met de waterkwaliteitseisen uit par. 1.2.4.

Resteert nog de afvoerhoeveelheden. Omdat de vochthoeveelheid in de verzadigde zone ongeveer constant is, komt de bij de uitspoeling gepaard gaande vochtafvoer min of meer overeen met de totale vocht-

afvoer tijdens deze periode. De totale vochtafvoer is berekend in tabel 17, par. 4.2.2. en de totale  $\text{NO}_3^-$ -uitspoeling in tabel 33, par. 4.3.3. Beide hoeveelheden vinden we terug in de volgende tabel, waarbij de vochtafvoer is omgerekend naar liters per  $0,5 \text{ m}^2$  en de  $\text{NO}_3^-$ -uitspoeling naar g per  $0,5 \text{ m}^2$ . De uitspoelingsconcentratie wordt dan:

Tabel 46. Totale  $\text{NO}_3^-$ -uitspoeling, vochtafvoer en uiteindelijk gemiddelde uitspoelingsconcentratie over de totale periode

Kolom	Totale U (kg $\text{NO}_3^-$ /ha)	Idem (g $\text{NO}_3^-$ /10,5 $\text{m}^2$ )	Totale afvoer (l/0,5 $\text{m}^2$ )	U-concentr. over (mg $\text{NO}_3^-$ /l)
1	1174	59	470	126
2	1001	50	494	101
3	2879	144	451	319
4	7241	362	497	728
5	1125	56	313	179
6	9070	454	451	1007

Voordat er vergelijking met de kwaliteitseisen plaatsvindt, moeten er nog enkele opmerkingen worden geplaatst:

- om te beginnen zijn deze uitspoelingsconcentraties niet de uiteindelijke hoeveelheden die in het diepere grondwater en het oppervlaktewater terecht komen. In praktijk of er nog denitrificatie en diffusie (menging) plaatsvinden waardoor de concentraties veelal nog zullen afnemen. Factoren die hierbij een rol spelen zijn onder andere bodemsamenstelling en de verblijftijd in de bodem.
- ook moet er op gewezen worden dat geen oppervlakte afvoer (run off) kan plaatsvinden, terwijl in praktijk dit proces wel invloed kan hebben op de oppervlaktewatervervuiling.
- verder kan in de kolommen géén horizontale stroming plaatsvinden,

wat in de praktijk zeker wel kan. Vooral bij hoge GWS wordt de situatie dan anders. Ook hierdoor moet de vergelijking met de nodige soepelheid worden gezien.

Bij een vergelijking nu met kwaliteitseis van  $100 \text{ mg NO}_3^-$  per liter in drinkwater voor mens (Waterleidingsbesluit 1960) komen kolom 1, 2 en 5 gunstig uit de bus en zitten kolom 4 en 6 erg hoog.

Wat de mestdosis betreft (kolom 1, 2 en 3) is het vreemd dat kolom 2 de laagste uitspoelingsconcentraties geeft. Misschien ligt de oorzaak in een zodanig stikstoftekort bij kolom 1, dat hij zover beneden zijn optimum is gaan produceren, dat hij minder efficiënt met de stikstof is gaan omspringen.

De grondwaterstandsinvloed is groot. Bij een hogere GWS wordt de uitspoelingsconcentratie aanzienlijk lager. Dit is vooral te danken aan de toenemende denitrificatie.

Gelet op alleen de ds-produktie en uitspoelingsconcentratie komt bij dit experiment kolom 5 zonder meer als beste uit de bus.

## 6. SAMENVATTING

Het oppervlakte- en grondwater wordt in toenemende mate geplaagd door verontreinigingen, direkt als gevolg van het lozen en uitspoelen van milieu schadelijke stoffen en indirekt als gevolg van eutrofiëring. Om een beter inzicht te krijgen in de bijdrage van de landbouw tot deze verontreinigingen, is dit lysimeteronderzoek opgesteld. Het onderzoek omvat 6 lysimeters of kolommen met in elke lysimeter een ingebouwde variabele. Zo wordt in kolom 1 t/m 3 de mestgift gevarieerd van respectievelijk 60, 150 en 300 ton/ha bij een grondwaterstand (GWS) van 1 m en in kolom 3 t/m 5 de GWS van respectievelijk 1, 1,50 en 0,50 m bij een konstante mestgift van 300 ton/ha. Verder stemt kolom 6 overeen met kolom 3, maar dan wel met een andere bodemsamenstelling. Kolom 6 is namelijk grond uit de Vredepeel en kolom 1 t/m 5 uit de Achterhoek.

Het onderzoek is gestart in maart 1977 en jaarlijks heeft een bemesting en bemonstering plaatsgevonden. De bemesting in het najaar en de bemonstering in het voorjaar. Om een beter totaalbeeld te krijgen is een beschouwing over de afgelopen 3 jaar gegeven, inclusief een stikstof- en waterbalans. Bij de waterbalans is tevens de gewasfactor berekend (d.s.-productie per mm verdamping) en vergeleken met de variatie in grondwaterstand en bemesting, waaruit enkele conclusies konden worden getrokken.

In hoofdstuk 4 is verder de invloed van de verschillende parameters bekeken en de uitspoelingsdiepte berekend. Een niet-onbelangrijke conclusie is dat de theoretische uitspoelingsdiepte, berekend aan de hand van het poriënvolume en de totale vochtafvoer in de meetvaten belangrijk kleiner is dan de werkelijke uitspoelingsdiepte. Dit vanwege de ongelijkmatige doorstromingsnelheid van de verschillende deeltjes door de qua grootte, verschillende poriën. Bij vergelijking van het chloride- en nitraatverloop bleek ook duidelijk dat er in de ondergrond van de kolommen stikstofverwijdering waarschijnlijk door denitrificatie heeft plaatsgevonden.

De kwantiteiten zijn enigszins benaderd in de restantenpost van de stikstofbalans, doch hierin zitten ook de mineralisatie- en humificatiehoeveelheden, welke met behulp van dit experiment niet te bepalen zijn. Wel kan gesteld worden dat de hoeveelheid denitrificatie ongetwijfeld de grootste is.

Bij het opstellen van de N-balans kwamen nog enkele moeilijkheden naar voren, speciaal wat betreft de N in de afvoer via de meetvaten en de beginvoorraad (minerale) N in de onverzadigde zone bij de start van het experiment. Beide hoeveelheden zijn niet exact bekend en zijn zodoende met behulp van enkele aannamen berekend. Gezien de hoeveelheden zal de afwijking zeker niet groot zijn. Verder geeft deze stikstofbalans een uitstekend idee over het verloop van de stikstof in de bodem.

Tenslotte zijn in hoofdstuk 5 de gemiddelde uitspoelingsconcentraties berekend aangezien deze beter vergelijkbaar zijn met de kwaliteitseisen wat betreft de nitraatverontreiniging. Ook worden enkele conclusies gedaan, maar nogmaals wordt er op gewezen dat de omstandigheden waaronder het experiment is gedaan, dermate verschillend zijn van



die in de praktijk, dat een direkte vergelijking niet mogelijk is.

#### NAWOORD

Het nawoord wil ik gebruiken als dankbetuiging aan het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding. Het was ongetwijfeld een erg leerzame stage. Niet alleen vanwege de vakkennis, maar ook vanwege mijn eerste betere contact met een dergelijke overheidsinstelling.

Ik heb mij met allerlei milieuproblemen en bodemprocessen beziggehouden, welke tijdens het laatste differentiatiejaar in milieukunde ongetwijfeld van dienst zullen zijn. Mijn speciale dank gaat hierbij uit naar Joop Steenvoorden en Henk Oosterom. Vooral Henk is tijdens deze 3 maanden een enorme hulp voor mij geweest bij het opdoen en verwerken van deze gegevens.

Thieu Verdonschot

## LITERATUUR

- KUIPERS, S.F., 1976. Bodemkunde
- MAKKINK, G.F., 1963. Vijf jaren lysimeteronderzoek: een hydrologische studie
- OOSTEROM, H.P., 1978. Uitspoeling van mineralen naar het grondwater bij gebruik van meststoffen van dierlijke oorsprong (R.O.C. Cranendonck '77-'78)
- \_\_\_\_\_ 1978. Onderzoek naar de uitspoeling van mineralen bij bouwland op kalkarme zandgrond (Nota 1074 I.C.W.)
- \_\_\_\_\_ 1976. Chemische en fysische samenstelling van grond- en oppervlaktewater in enkele gebieden (Nota 942 I.C.W.)
- \_\_\_\_\_ 1974. Waterkwaliteit en kwaliteitsparameters (Nota 791 I.C.W.)
- RIJTEMA, P.E., 1976. Emissie van fosfaat en stikstof uit landbouwgrond (Nota 929 I.C.W.)
- RINSEMA, W.T., 1976. Bemesting en meststoffen
- STEENBERGEN, T. VAN, 1977. Invloed van grondsoort en jaar op het effect van stikstofbemesting op de graslandopbrengst. Stikstof 85, band 8
- STEENVOORDEN, J.H.A.M., 1978. Invloed bemesting op de chemische samenstelling van het grondwater (Nota 1043 I.C.W.)
- \_\_\_\_\_ en H.P. OOSTEROM, 1978. Fosfaat- en stikstofbalans voor oppervlaktewater in polders en beekgebieden (H<sub>2</sub>O 1979 nr. 2)
- \_\_\_\_\_ en H.P. OOSTEROM, 1977. De chemische samenstelling van het ondiepe grondwater bij rundveehouderijbedrijven (Nota 964 I.C.W.)
- TOORN, A. VAN DEN, 1977. Enkele aspecten van de zuivering van afvalwater in grond, bestudeerd in lysimeters (Nota 994 I.C.W.)
- ANONIEM, 1973. Handboek voor de akkerbouw

