

RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEUHYGIENE
BILTHOVEN

Rapportnr. 728472003

Oppervlakte-afvoer; hoeveelheid
en samenstelling

augustus 1987

Rapport in het kader van het project:
"Stikstof in grondwater".

Dit onderzoek is verricht in opdracht en ten laste van het Directoraat-
Generaal voor de Milieuhygiëne, Hoofdafdeling Bodem, Directie Bodem, Water,
Stoffen. (Opdrachtbrief nr. BWS/2254290 d.d. 8840731)

VERZENDLIJST

- 1 - 3 Directeur van de Hoofdafdeling Bodem, Directie Bodem, Water, Stoffen.
- 4 Secretaris-Generaal van het Ministerie van Welzijn, Volksgezondheid en Cultuur.
- 5 Directeur Generaal voor de Milieuhygiëne
- 6 Plaatsvervangend Directeur Generaal voor de Milieuhygiëne
- 7 Directie RIVM
- 8 Dr.Ir.T.Schneider
- 9 Ir.Tj.Hofker
- 10 Ir.N.D.van Egmond
- 11 Ir.W.Cramer
- 12 Ir.W.van Duijvenbouden
- 13 Ir.C.R.Meinardi
- 14 Ir.R.van den Berg
- 15 Ir.M.J.H.Pastoors
- 16 Ir.G.Krajenbrink
- 17 Ir.L.J.M.Boumans
- 18 Ing.W.J.Post
- 19 Ir.G.van Drecht
- 20 J.van der Valk
- 21 - 22 Auteur
- 23 - 24 SGO/LBG archief
- 25 - 26 Bureau Project- en Rapportregistratie
- 27 - 40 Reserve exemplaren

Voorwoord

1. <u>INLEIDING</u>	1
2. <u>OPPERVLAKTE-AFVOER</u>	2
2.1 Oppervlakte-afvoer als functie van neerslagintensiteit en -verdeling, infiltratiecapaciteit, berging op het maaiveld en ontwateringssituatie.	2
2.2 Chemische samenstelling van over het maaiveld afstromend water van enkele graslandpercelen in de Gelderse Vallei.	15
2.2.1 Algemeen	15
2.2.2 Resultaten berekeningsexperimenten	16
2.3 Chemische samenstelling van over het maaiveld afstromend water op enkele bouwlandpercelen met verschillen in bodemvruchtbaarheid.	25
3. <u>ANALYSE VAN DE HOEVEELHEID OPPERVLAKTE-AFVOER AAN DE HAND VAN DE CONCENTRATIES VAN MESTSTOFFEN IN HET OPPERVLAKTEWATER</u>	28
3.1 Het gebruik van tracers	29
3.2 Oppervlakte-afvoer in het stroomgebied van de Berkel	32
3.2.1 Inleiding	32
3.2.2 Analyse van het optreden van oppervlakte-afvoer aan de hand van het concentratieverloop in het oppervlaktewater	34
3.2.3 Conclusies	43
3.3 Oppervlakte-afvoer in het stroomgebied van de Nattegat- sloot	44
3.3.1 Inleiding	44
3.3.2 Analyse van het optreden van oppervlakte-afvoer aan de hand van het concentratieverloop in het oppervlaktewater	50
3.3.3 Conclusies	57
3.4 Oppervlakte-afvoer in het stroomgebied van de Hupelse Beek	57
3.4.1 Inleiding	57

3.4.2	Analyse van het optreden van oppervlakte-afvoer aan de hand van het concentratieverloop in het oppervlaktewater	59
3.4.3	Analyse van het optreden van oppervlakte-afvoer aan de hand van ¹⁸ O gehalten	63
3.4.4	Conclusies	65
4.	<u>ANALYSE VAN HET OPTREDEN VAN OPPERVLAKE-AFVOER AAN DE HAND VAN FOSFAATBALANSEN</u>	66
4.1	Inleiding	66
4.2	Analyse van het optreden van oppervlakte-afvoer aan de hand van fosfaatbalansstudies	68
4.3	Conclusies	71
5.	<u>SAMENVATTING EN CONCLUSIES</u>	72
	Literatuur	75
	Bijlage 1.	79

Voorwoord

In het kader van het raamproject stikstofverbindingen in het grondwater (projectnr. 840252) wordt onder andere aandacht besteed aan de uitspoeling van nitraat naar het oppervlaktewater (deelproject nr. 850020). In overleg met de opdrachtgever is besloten dit deelproject een bredere opzet te geven en onderzoek te verrichten naar de verblijftijden in en op de bodem, grootte en samenstelling van de verschillende componenten van het drainagewater uit de Nederlandse zandgebieden.

Voor u ligt het tweede deelrapport dat in het kader van dit deelproject is geschreven. Hierin wordt aan de hand van een literatuurstudie en een aantal casestudies ingegaan op de hoeveelheid en samenstelling van over het maaiveld afstromend water (oppervlakte-afvoer). Het is de bedoeling om op grond van de in dit rapport beschreven kennis en aanvullende veldmetingen een schatting te maken van de hoeveelheid oppervlakte-afvoer in grote delen van het Nederlandse zandgebied. Hierover zal apart worden gerapporteerd.

1. INLEIDING

Het water dat een afwateringsgebied via een sloot, beek of rivier verlaat, is samengesteld uit verschillende watertypen, die zich onderscheiden door de wijze waarop ze het oppervlaktewater bereiken. Deze watertypen als voedingsbron voor het oppervlaktewater kunnen onderscheiden worden in:

- neerslag die op open water valt
- neerslag die over het maaiveld afstroomt (oppervlakte-afvoer)
- neerslag die door ondiepe lagen in de bodem, bijvoorbeeld over een ploegzool of andere ondiepe slechtdoorlatende lagen, stroomt
- neerslag die door de bodem percoleert en via stroming in de verzadigde zone als grondwater het oppervlaktewater bereikt
- vuilwaterlozingen, afkomstig van bewoning, agrarische bedrijven, recreatie en industrie
- effluent van rioolwaterzuiveringsinstallaties

De tweede en derde bron worden samen wel aangeduid met oppervlakkige afvoer. Het aandeel van elk van deze bronnen kan variëren en zal worden beïnvloed door klimatologische omstandigheden, bodemkarakteristieken en menselijk ingrijpen.

Wat betreft de afvoer van het neerslagoverschot kan worden gesteld dat de door het water gevolgde weg en de optredende verblijftijden in belangrijke mate bepalen welke stoffen met het water worden meegevoerd. De verhouding van de grootte van de verschillende componenten waarin het neerslagoverschot wordt gesplitst in samenhang met de concentraties aanwezig in deze afvoeren zijn bepalend voor de belasting van het oppervlaktewater. Over de verdeling van het neerslagoverschot over de verschillende componenten is echter weinig bekend.

In dit rapport zal nader worden ingegaan op de grootte en samenstelling van oppervlakte-afvoer. Hoewel deze term over het algemeen slechts een geringe rol speelt in de waterbalans, kan zijn rol in de stoffenbalans groot zijn. Dit rapport, dat een oriënterend karakter heeft, bestaat uit een literatuurstudie over de grootte en samenstelling van over het maaiveld afstromend water (hoofdstuk 2) en gaat aan de hand van beschikbare metingen van debieten en stofconcentraties in het oppervlaktewater na of de hoeveelheid oppervlakte-afvoer in een stroomgebied kan worden geschat door gebruik te maken van tracers. Hiertoe worden concentraties van stoffen in

het oppervlaktewater bestudeerd in samenhang met het optredende debiet (hoofdstuk 3). In een groot aantal stroomgebieden in Nederland zijn fosfaatbalanstudies uitgevoerd. Nagegaan zal worden of deze studies kunnen worden gebruikt om het optreden van oppervlakte-afvoer aan te tonen (hoofdstuk 4). Dit rapport dient als basis voor aanvullend veldonderzoek.

2. OPPERVLAKTE-AFVOER

Ook wanneer oppervlakte-afvoer slechts in geringe mate optreedt, kan deze mogelijk toch van grote invloed zijn op de kwaliteit van het oppervlaktewater. Met het water dat over het maaiveld afstroomt, kunnen immers op het land gebrachte meststoffen direct worden meegevoerd.

Tijdens neerslag kan bovengrondse afstroming worden veroorzaakt door een te geringe infiltratiecapaciteit bij overigens goede ontwatering, of door een slechte ontwateringstoestand waarbij de grondwaterspiegel tot boven maaiveld stijgt bij overigens goede bodemfysische eigenschappen van het profiel. Bovengrondse afstroming zal beginnen op het moment waarop de totale gevallen hoeveelheid regen juist groter wordt dan de som van berging op het maaiveld en de totale geïnfiltreerde hoeveelheid neerslag.

Het zal duidelijk zijn dat de infiltratiecapaciteit en de maximale berging op het maaiveld in belangrijke mate worden bepaald door de toestand waarin de bouwvoor zich bevindt (wel of geen gewas, verslemt, geploegd, dichtgereden, enz.). Met name de sterk toegenomen mechanisatie in de landbouw en het berijden van de grond onder gemiddeld genomen nattere omstandigheden (vroeger in het voorjaar en later in het najaar), hetgeen zich uit in een sterk toegenomen bodemverdichting, zorgt voor een steeds verdere verlaging van de infiltratiecapaciteit over grote oppervlakken. In de volgende paragraaf wordt ingegaan op de hoeveelheid oppervlakte-afvoer die onder bepaalde omstandigheden kan worden verwacht. In paragraaf 2.2 wordt vervolgens ingegaan op de chemische samenstelling van het over het maaiveld afstromende water.

2.1 Oppervlakte-afvoer als functie van neerslagintensiteit en -verdeling, infiltratiecapaciteit, berging op het maaiveld en ontwateringssituatie.

Door een frequentieanalyse van k-daagse neerslagsommen voor een groot aantal jaren uit te voeren (KNMI, 1957) kan worden berekend welke

neerslagintensiteit éénmaal per jaar, per 5 jaar of zelfs slechts éénmaal per 10 jaar wordt overschreden. Voor een aantal aangenomen waarden voor de infiltratiecapaciteit kan dan worden vastgesteld hoe groot de kans is dat deze in een bepaalde maand worden overschreden. Bij overschrijding van de infiltratiecapaciteiten vindt plasvorming plaats. Oppervlakte-afvoer vindt echter pas plaats als ook de berging op het maaiveld volledig is benut. De berging op het maaiveld is behalve van de toestand van de bouwvoor en het aanwezige gewas ook afhankelijk van de hoeveelheid neerslag die in de voorafgaande periode is gevallen en geïnfiltreerd en van de in deze periode opgetreden verdamping. Indien immers nog plassen op het maaiveld aanwezig zijn, zal niet de volledige maaiveldsberging beschikbaar zijn. Dit betekent dat ter bepaling van de kans op het optreden van oppervlakte-afvoer niet kan worden volstaan met een frequentieanalyse van k-daagse neerslagsommen en het aannemen van een maximale maaiveldsberging.

Reuling (1986) is aan de bovengenoemde bezwaren tegemoet gekomen door ook de meteorologische omstandigheden in de voorafgaande periode in de beschouwing te betrekken. Reuling heeft voor een periode van 30 jaar (1951 t/m 1980) met behulp van meteorologische gegevens van het KNMI station De Bilt de hoeveelheid oppervlakte-afvoer in de wintermaanden (oktober t/m maart) gesimuleerd. Hij ging hierbij uit van door Huinink (1986) afgeleide relaties tussen maaiveldshelling en de maximale maaiveldsberging (fig. 1a) tussen maaiveldsberging en het percentage plasoppervlak (fig. 1b) en tussen maaiveldsberging en de grootste plasdiepte (fig. 1c). Huinink heeft deze relaties afgeleid aan de hand van gedetailleerde metingen op een proefveld door Oosterom (1979). Het betreffende proefveld wordt representatief geacht voor normaal onderhouden grasland praktijkpercelen.

Bij de berekening van de oppervlakte-afvoer is Reuling (1986) begonnen met een situatie waarin geen water op het maaiveld aanwezig is. De neerslag die de eerstvolgende regendag valt, zal voor een deel verdampen (E_p) en voor een deel infiltreren in de bodem. Blijft er dan nog neerslagwater over dan zal dit geborgen worden op het maaiveld. De op het maaiveld geborgen hoeveelheid water kan uiteraard niet groter zijn dan de maximale berging, die behoort bij de gemiddelde maaiveldshelling (zie fig 1a). Wordt de maximale maaiveldsberging overschreden, dan wordt de overschrijdingshoeveelheid over het maaiveld naar de sloten afgevoerd.

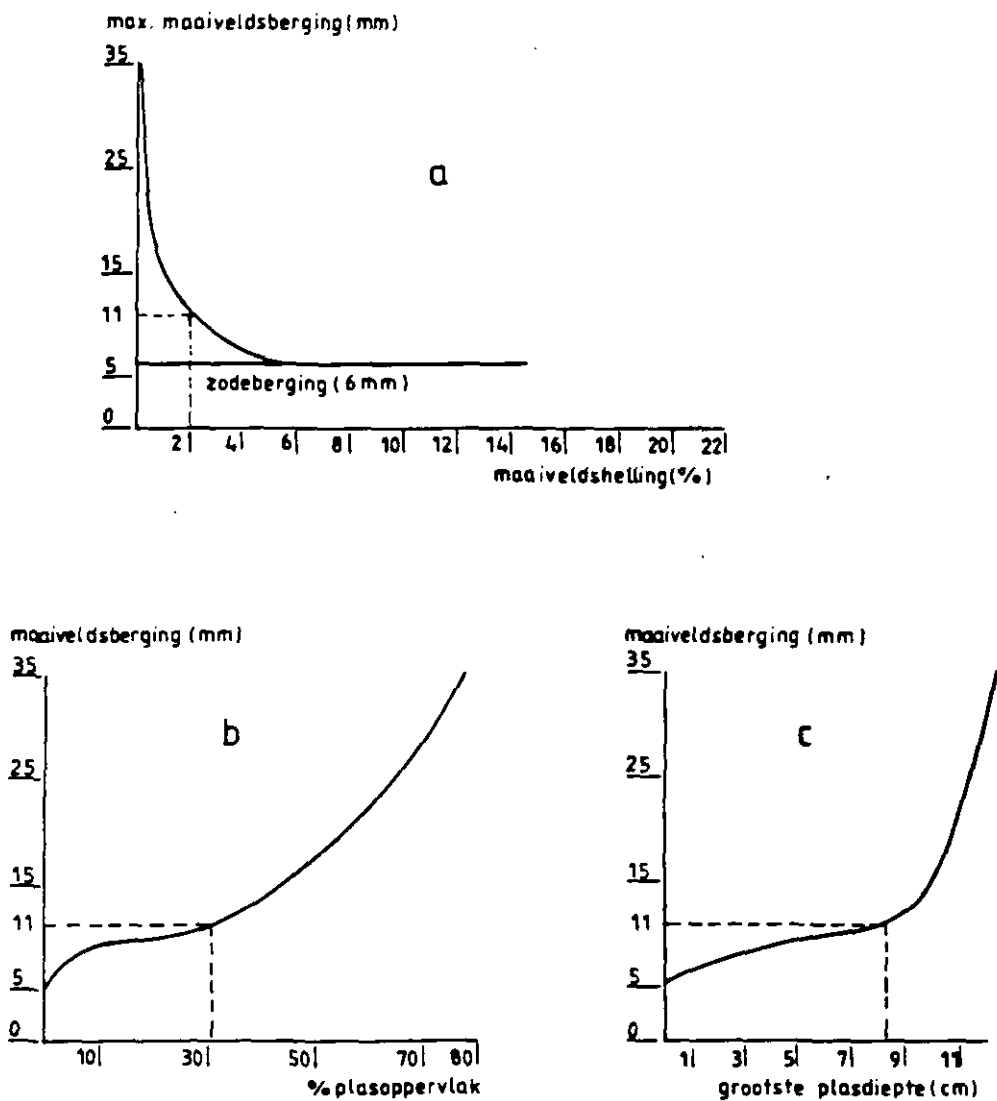


Fig.1. Verband tussen maximale maaiveldsberg en maaiveldshelling (1a), verband tussen maaiveldsberg (mm water) en percentage van het perceelsoppervlak dat met plassen is bedekt (1b) en verband tussen maaiveldsberg (mm water) en de diepste plas (1c) (Naar Huinink, 1986).

De optredende maaiveldsberg kan vervolgens met behulp van de figuren 1b en 1c worden uitgedrukt in een percentage plasoppervlak en een maximale plasdiepte. De volgende dag wordt op dezelfde wijze doorgerekend, met dit verschil dat vanuit eventueel aanwezige plassen een hoeveelheid water zal verdampen ter grootte van de open waterverdamping (E_o). Vanaf het gedeelte

buiten de plassen zal maximaal E_p ($= 0.8 \times E_o$) verdampen. In tabel 1a t/m 1d zijn de op de bovenstaande wijze berekende gemiddelde hoeveelheden over het maaiveld afstromend water weergegeven.

Tabel 1a

Oppervlakte-afvoer in mm per maand bij een maximale maaiveldsbergings van 35 mm (vlak maaiveld, d.w.z. horizontale ligging) (naar Reuling, 1986).

Maand	<u>Infiltratiesnelheid mm/etm</u>					
	1	3	5	7	10	20
oktober	13	4	2	2	1	-
november	23	3	-	-	-	-
december	33	8	3	1	-	-
januari	20	-	-	-	-	-
februari	10	-	-	-	-	-
maart	1	-	-	-	-	-
okt. t/m maart	100	15	5	3	1	-
nov. t/m maart	87	11	3	1	-	-

Tabel 1b

Oppervlakte-afvoer in mm per maand bij een maximale maaiveldsbergings van 15 mm (maaiveldshelling 1%)

Maand	<u>Infiltratiesnelheid mm/etm</u>					
	1	3	5	7	10	20
oktober	29	13	7	5	3	1
november	40	16	6	2	1	-
december	46	20	9	5	2	-
januari	34	7	2	-	-	-
februari	21	5	2	1	-	-
maart	10	1	-	-	-	-
okt. t/m maart	180	62	26	13	6	1
nov. t/m maart	151	49	19	8	3	-

Tabel 1c

Oppervlakte-afvoer in mm per maand bij een maximale maaiveldsberging van 11 mm (maaiveldshelling 2%)

Maand	<u>Infiltratiesnelheid mm/etm</u>					
	1	3	5	7	10	20
oktober	32	16	10	7	4	1
november	43	20	9	4	2	-
december	49	23	11	6	3	-
januari	36	10	3	1	-	-
februari	22	7	3	1	-	-
maart	12	3	1	-	-	-
okt. t/m maart	194	79	37	19	9	1
nov. t/m maart	162	63	27	12	5	-

Tabel 1d

Oppervlakte-afvoer in mm per jaar bij een maximale maaiveldsberging van 6 mm (maaiveldshelling 5%)

Maand	<u>Infiltratiesnelheid mm/etm</u>					
	1	3	5	7	10	20
oktober	35	21	14	10	6	2
november	44	23	13	8	4	-
december	48	25	14	9	5	1
januari	36	14	7	4	2	-
februari	22	10	5	2	1	-
maart	16	6	2	1	-	-
okt. t/m maart	201	99	55	34	18	3
nov. t/m maart	166	78	41	24	12	1

De berekeningen zijn uitgevoerd voor maximale maaiveldsbergingen van respectievelijk 35, 15, 11 en 6 mm en infiltratiecapaciteiten van 1, 3, 5, 7, 10 en 20 mm/dag. Een overzicht van het percentage neerslagoverschot dat gemiddeld in het winterhalfjaar tot oppervlakte-afvoer komt wordt gegeven in tabel 2.

Tabel 2

Percentage neerslagoverschot dat in de winterperiode
(1 okt. t/m 31 maart) tot oppervlakte-afvoer komt.
(naar Reuling, 1986)

Maaivelds- helling in %	Infiltratiesnelheid in mm/dag					
	1	3	5	7	10	20
0	31	5	2	1	-	-
1	57	19	8	4	2	-
2	61	25	12	6	3	-
5	62	30	16	10	5	1

Het blijkt dat de hoeveelheid neerslagoverschot die in een winterperiode gemiddeld over het maaiveld tot afstroming komt, sterk afhankelijk is van de maaiveldsbergings en de infiltratiecapaciteit. Voor een individuele winter is uiteraard ook de neerslagintensiteit en-verdeling van groot belang. Bij de cijfers in de tabellen 1 en 2 is geen rekening gehouden met een afnemende infiltratiemogelijkheid wanneer op slecht ontwaterde percelen het grondwater tot in de bouwvoor komt of zelfs het maaiveld bereikt. In die gevallen zal de oppervlakte-afvoer nog toenemen.

Ook Steenvoorden en Buitendijk (1980) hebben het optreden van oppervlakte-afvoer gesimuleerd. Met behulp van het elektronische analogon van Wind (1979), genaamd Elan, is voor een reeks van jaren de grootte van de oppervlakte-afvoer berekend voor lemige zandgrond. Elan is een analoog model van de simulatie van niet-stationaire verticale stroming in de onverzadigde zone. De berekeningen zijn uitgevoerd voor een lemige zandgrond met een verzadigde doorlatenheid (k_o) van 3 cm/dag. De waarde van

α uit $k = k_0 e^{-a\psi}$ van Rijtema (1965) is 0.025 cm^{-1} .
De neerslag- en verdampinggegevens van het KNMI station De Bilt zijn gebruikt. De resultaten van de berekeningen zijn vermeld in de tabellen 3 en 4 en fig. 2.

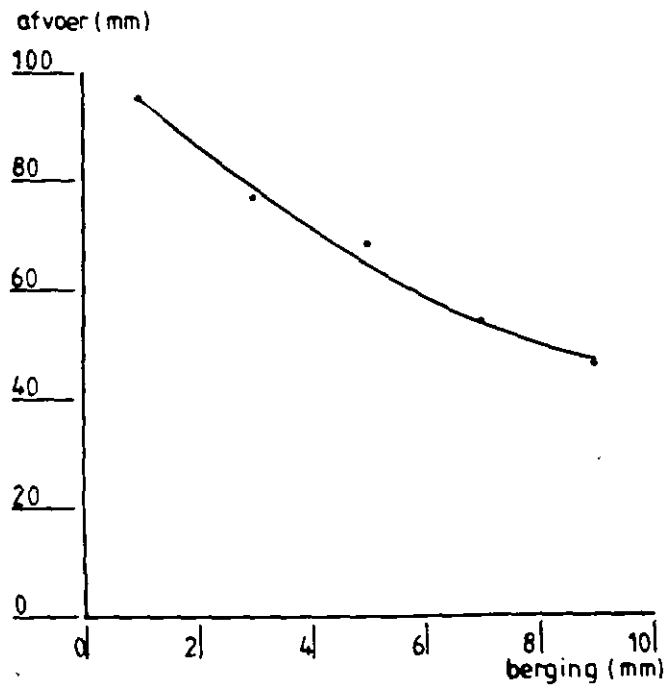


Fig.2. Invloed van maaiveldsberging (mm) op de hoeveelheid oppervlakteafvoer (mm) in de periode 1 september 1961 - 1 juni 1962 voor een maatgevende drainafvoer van 5 mm/dag bij een opbolling van 50 cm -mv. (naar Steenvoorden en Buitendijk, 1980).

Tabel 3

De hoeveelheid oppervlakte-afvoer (mm) in de periode 1 september-1 juni voor de jaren 1961/1962 tot 1978/1979. Grond: lemig zand; ontwateringsdiepte 70 cm-mv; drainafvoer 5 mm/dag bij een opbolling van 50 cm; berging op maaiveld 5 mm (naar Steenvoorden en Buitendijk, 1980).

Jaar	Oppervlakte-afvoer	Jaar	Oppervlakte-afvoer
	mm		mm
1961/1962	69	1970/1971	6
1962/1963	4	1971/1972	0
1963/1964	6	1972/1973	7
1964/1965	35	1973/1974	0
1965/1966	93	1974/1975	28
1966/1967	44	1975/1976	0
1967/1968	43	1976/1977	4
1968/1969	20	1977/1978	20
1969/1970	10	1978/1979	15

Totaal gemiddeld voor de periode 1961/1962 - 1978/1979: 22,4 mm.jaar⁻¹

Tabel 4

De hoeveelheid oppervlakte-afvoer (mm) in de periode 1 september 1961 - 1 juni 1962 voor drainafvoeren van 3,5 en 8 mm.dag⁻¹ en een opbolling van 50 cm; berging op maaiveld 5 mm; draindiepte 70 cm/mv (naar Steenvoorden en Buitendijk, 1980)

	Ontwateringscriterium (mm.dag ⁻¹)		
	3	5	8
Oppervlakte-afvoer	118	69	30

In de toelichting bij de tabellen en de figuur zijn de gebruikte gegevens betreffende maaiveldsberging en ontwateringsdiepte en -situatie gegeven. Uit de resultaten voor de verschillende jaren (tabel 3) blijkt dat er zeer grote variaties kunnen optreden in de grootte van de oppervlakte-afvoer. Voor de 18 jaren die zijn doorgerekend bedraagt de oppervlakte-afvoer gemiddeld 22.4 mm/jaar. Uit tabel 4 blijkt dat ook de ontwateringssituatie veel invloed heeft op de grootte van de oppervlakte-afvoer. De ontwateringssituatie bepaalt of de grondwaterstand al dan niet het maaiveld kan bereiken. De invloed van de maaiveldsberging op de hoeveelheid oppervlakte-afvoer is aangegeven in fig. 2. De mate waarin de oppervlakte-afvoer wijzigt bij verandering van de ontwateringssituatie of de maaiveldsberging wordt uiteraard in belangrijke mate bepaald door de neerslagverdeling en -intensiteit.

Wind (1986) toonde aan dat bij ondiepe grondwaterstanden oppervlakte-afvoer in veenweidegebieden een grote rol kan spelen bij de afvoer van het neerslagoverschot. Hij leidde dit af uit grondwaterstandswaarnemingen op een aantal proefvelden waar onderzoek werd gedaan naar het effect van slootpeilverlaging op draagkracht, opbrengst en inklinking van veengrasland. Tijdens dat onderzoek was gebleken dat na slootpeilverlaging de grondwaterstanden minder dalen dan de peilverlaging bedraagt, veelal slechts ongeveer 60% daarvan. De belangrijkste oorzaak bleek te zijn dat de

grootte van de oppervlakte-afvoer sterk wordt beïnvloed door peilverlaging. Dit werd gevonden door toepassing van het model FLOW (Wind en van Doorne, 1975). FLOW is een niet stationair model voor stroming in de onverzadigde zone, dat ook oppervlakte-afvoer kan simuleren. De bodemfysische eigenschappen, die bij de berekeningen zijn gebruikt, zijn afkomstig van een veengrond bij Zegveld, beschreven door Beuving (1984). Voor de weersomstandigheden werd een standaardbestand gebruikt (zie tabel 5). Dit bestaat uit 12 maanden van 30 dagen, waarbij zowel de jaarsom van de neerslag als de potentiële verdamping gelijk is aan de langjarig gemiddelde waarden van De Bilt.

Tabel 5. Grondwaterstand, neerslag, werkelijke verdamping, infiltratie vanuit de sloot, ondergrondse en oppervlakte-afvoer voor een veengrond met een ontwateringsdiepte van 25 cm en een drainageweerstand van 200 dagen, gesimuleerd met het bestand AVERAINS (naar Wind, 1986).

Maand	Gem. grond- waterstand (cm-mv)	Neerslag (mm. mnd ⁻¹)	Infil- tratie (mm. mnd ⁻¹)	Werkelijke verdamping (mm. mnd ⁻¹)	Ondergrondse afvoer (mm. mnd ⁻¹)	Oppervlakte afvoer (mm. mnd ⁻¹)
Oktober	10	70	1	15	20	23
November	2	100	0	3	31	68
December	0	35	0	0	33	5
Januari	1	110	0	1	32	72
Februari	13	26	1	8	18	17
Maart	16	55	5	34	16	13
April	24	55	6	55	8	4
Mei	36	50	18	84	4	1
Juni	51	50	34	104	1	0
Juli	68	80	54	99	0	0
Augustus	26	105	12	68	10	17
September	25	45	6	48	6	0
Jaar- gemiddelde	23	781	137	519	179	220

Binnen het jaar is een variatie van droge en natte dagen en maanden.

Tabel 5 geeft een voorbeeld van de berekeningsresultaten voor een veengrond met een ontwateringsdiepte van 25 cm en een drainageweerstand van 200 dagen. De drainageweerstanden van de betreffende proefvelden liggen waarschijnlijk tussen 100 en 200 dagen (Wind, 1986). Het blijkt dat zowel de grondwaterafvoer als de oppervlakte-afvoer vrijwel beperkt zijn gebleven tot het winterhalfjaar.

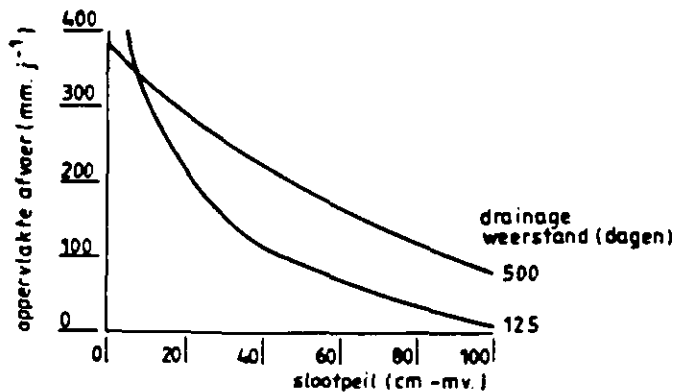


Fig.3. Verband tussen de oppervlakte-afvoer en het slootpeil voor twee drainageweerstanden in een standaardjaar (naar Wind, 1986).

In fig 3. is de met FLOW berekende oppervlakte-afvoer uitgezet tegen het slootpeil voor twee waarden van de drainageweerstand. Duidelijk blijkt dat de oppervlakte-afvoer sterker daalt naarmate de ontwatering dieper of intensiever is. Tengevolge van peilverlagingen neemt de oppervlakte-afvoer af; dat heeft tot gevolg dat de gemiddelde grondwaterstanden minder dalen dan de verlaging van het slootpeil. Bij diepere ontwatering is het neerslagoverschot dat door de grond moet worden afgevoerd derhalve groter en daardoor is een hogere opbolling vereist dan bij ondiepe ontwatering. Het verschijnsel doet zich het sterkst voor bij de verlaging van zeer ondiepe peilen; bij ontwateringen tussen 0 en 60 cm onder maaiveld dalen de grondwaterstanden met 45 tot 75% van de slootpeilverlaging. Het percentage is groter naarmate de drainageweerstand kleiner is. Bij diepere ontwateringen is het effect van de oppervlakte-afvoer veel geringer; grondwaterstanden dalen in die gevallen dan ook met 70 tot 90% van de polderpeilverlaging.

Uit de bovengegeven rekenvoorbeelden uit de literatuur blijkt dat het optreden van oppervlakte-afvoer met name afhankelijk is van de

maaiveldsberging, de infiltratiecapaciteit, de ontwateringssituatie en de neerslagverdeling en -intensiteit. Zoals reeds eerder opgemerkt is de maaiveldsberging behalve van de maaiveldshelling ook afhankelijk van de toestand waarin zich de bouwvoor bevindt (bouwland) en van het gewas. Voor bouwland zullen de waarden sterk kunnen variëren. Voor grasland geeft fig. 1a waarschijnlijk een goede indicatie. Voor de meeste percelen in Nederland is de maaiveldshelling $\leq 2\%$. Uit onderzoek (Fonck, 1968; van Hoorn, 1960 en RIJP, 1979) blijkt dat de infiltratiecapaciteit veelal nauwelijks gerelateerd is aan bodemfactoren, doch zeer sterk samenhangt met het bodemgebruik. Zeer lage waarden van de infiltratiecapaciteit kunnen het gevolg zijn van verslemping en van intensieve beweiding en berijding.

Fig. 4 geeft de frequentieverdeling van de resultaten uit 63 infiltratiemetingen in grasland op zand door Fonck (1968). Uit deze figuur blijkt dat in 30% van enkeerd-, veldpodzol- en laarpodzolgraslanden maximale infiltratiesnelheden voorkomen van minder dan 10 mm per etmaal.

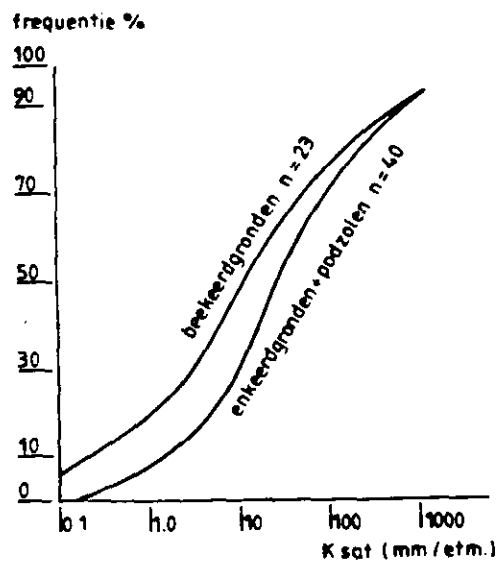


Fig. 4. Frequentieverdeling van infiltratiesnelheden in graslandpercelen op zandgrond (naar Fonck, 1968, bewerkt door Huinink, 1986).

Voor de graslanden op beekerdgronden is dit zelfs 50%. Aangenomen mag worden dat deze percentages sinds 1968 nog zijn toegenomen. Ook de RIJP (1979) vond in grasland op lichte en zware zavel maximale infiltratiesnelheden die variëren van 100 tot 1000 mm/dag, indien de percelen nauwelijks werden betreden, tot minder dan 10 mm/dag bij intensieve betreding. Fonck (1968) heeft ook infiltratiemetingen uitgevoerd op bouwlandpercelen. Hier worden over het algemeen infiltratiesnelheden

gevonden die hoger zijn dan op grasland.

Omdat een slechte ontwateringssituatie zich voornamelijk 's winters doet gelden is de kans op het optreden van oppervlakte-afvoer het grootst in het winterseizoen. In dit seizoen is bovendien de verdamping gering waardoor plassen langer op het maaiveld blijven staan. In het zomerhalfjaar zal oppervlakte-afvoer alleen optreden na een hevige regen en dan alleen op percelen met een relatief geringe infiltratiecapaciteit.

2.2 Chemische samenstelling van over het maaiveld afstromend water op enkele graslandpercelen in de Gelderse Vallei

2.2.1 Algemeen

Door Oosterom (1979) zijn van enkele percelen langs de Barneveldse Beek monsters genomen van over het maaiveld afstromend water (zie tabel 6.). Uit deze tabel blijkt dat de concentratie aan meststoffen in het over het maaiveld afstromende water duidelijk afneemt naarmate het tijdstip van toediening van de laatste mestgift langer is geleden. Vlak na het uitrijden van drijfmest kan de belasting van het oppervlaktewater via oppervlakte-afvoer aanzienlijk zijn, met name bij een bevroren ondergrond (perceel AR op 12/2/79).

Door Oosterom en Steenvoorden (1980) zijn een aantal veldexperimenten uitgevoerd, waarbij met behulp van een beregeningsinstallatie neerslaggebeurtenissen zijn gesimuleerd. De experimenten zijn uitgevoerd op een aantal percelen langs de Barneveldse Beek te Achterveld. De betreffende percelen liggen in grasland en hebben een beekeerdprofiel met Gt II en III. Er is berekend met diep mineraalarm grondwater. Enkele resultaten zullen hieronder worden besproken.

Tabel 6

Gehalten in over het maaiveld afstromend water op percelen langs de Barneveldse Beek tijdens lichte dooi (naar Oosterom, 1979).

Bemonsteringstijdstip	2/2/79				12/2/79	
					(12.00)	(18.00)
Perceelscode*	FR	AR	ER	DR	AR	AR
analyses						
tot.-P (mg P.l ⁻¹)	0,13	0,46	1,2	15,2	26,4	10,6
tot.-N (mg N.l ⁻¹)	2,3	3,5	4,6	30,3	610	280
K (mg l ⁻¹)	-	-	-	-	1150	500
COD (mg O ₂ . l ⁻¹)	25	25	25	445	6830	2790
Cl (mg l ⁻¹)	1	1	1	9	470	232
EC(μmho.cm ⁻¹ , 25°C)	30	43	75	276	6650	3431
Fosfor in bodem						
(P-Al-getal)	18	40	31	35	-	-

* perceel FR: in november 1978 gediepploegd, ingezaaid en bemest (500 kg 18 + 7 + 7 + 7)

AR: op 12/2/79 20 ton RDM ontvangen om 10.00 v.m.

ER: half december 1978 20 ton RDM uitgereden

DR: 20 ton RDM uitgereden op 17 januari 1979

2.2.2 Resultaten berekeningsexperimenten

In fig. 5a t/m 5d is het verloop van de gemiddelde gehalten van een aantal stoffen en van het geleidingsvermogen van over het maaiveld afstromend water van vier veldjes met een verschillende bemestingstoestand weergegeven per beregeningsgift. De drijfmestgiften zijn toegediend op 11 februari 1980, de beregeningsgiften op 12, 14, 19 en 26 februari 1980. De beregeningsgiften verschilden enigszins per veldje maar bedroegen gemiddeld 25 mm. Het blijkt dat de gehalten die voorkomen in het over het maaiveld afstromende water bij landbouwgrond sterk worden bepaald door de mestgift en de tijd die is verstreken sinds het uitrijden van de mest. Tijdens de

derde berekening verschillen de gehalten van de meeste stoffen in het afstromend water op de bemeste percelen zelfs weinig meer van de gehalten in het water dat afstroomt op het "onbemeste" perceel. De factor tijd werkt enerzijds in op de biochemische omzettingen, anderzijds op de hoeveelheid geïnfiltreerde neerslag als gevolg waarvan mestbestanddelen vanaf het bodemoppervlak dieper de bodem in worden verplaatst en in mindere mate zijn blootgesteld aan het risico van oppervlakte-afvoer. De kationen in het over het maaiveld afstromende water geven met uitzondering van kalium een geringe verhoging te zien ten opzichte van onbemest. Aangezien de K-gehalten in het grondwater altijd lager liggen dan die in het afstromende water zal het optreden van oppervlakte-afvoer een duidelijke verhoging van het K-gehalte in het oppervlaktewater tot gevolg hebben. De concentraties van de ionen Ca, Mg en Na in het afstromende water zullen echter, gemengd met het toestromende grondwater, een verlaging veroorzaken. De gehalte van de anionen HCO_3 , SO_4 , SiO_2 en Cl^{-1} zijn tijdens de eerste berekening bij de hoogste bemesting (27 ton, RDM. ha⁻¹) hoger dan wat normaal is voor grondwater in dit gebied, zodat enkel in dit geval een verhoging optreedt van de concentratie in het oppervlaktewater. Deze bemestingsgift ligt voor de praktijk echter vrij hoog. Voor grasland wordt per keer 10 á 15 ton geadviseerd.

De concentraties van P-verbindingen in het over het maaiveld afstromende water van de bemeste percelen veroorzaken in alle gevallen een verhoging van de concentratie van het oppervlaktewater. Voor de N-verbindingen en organische stof (COD) treden deze verhogingen alleen op tijdens de eerste twee of drie berekeningen.

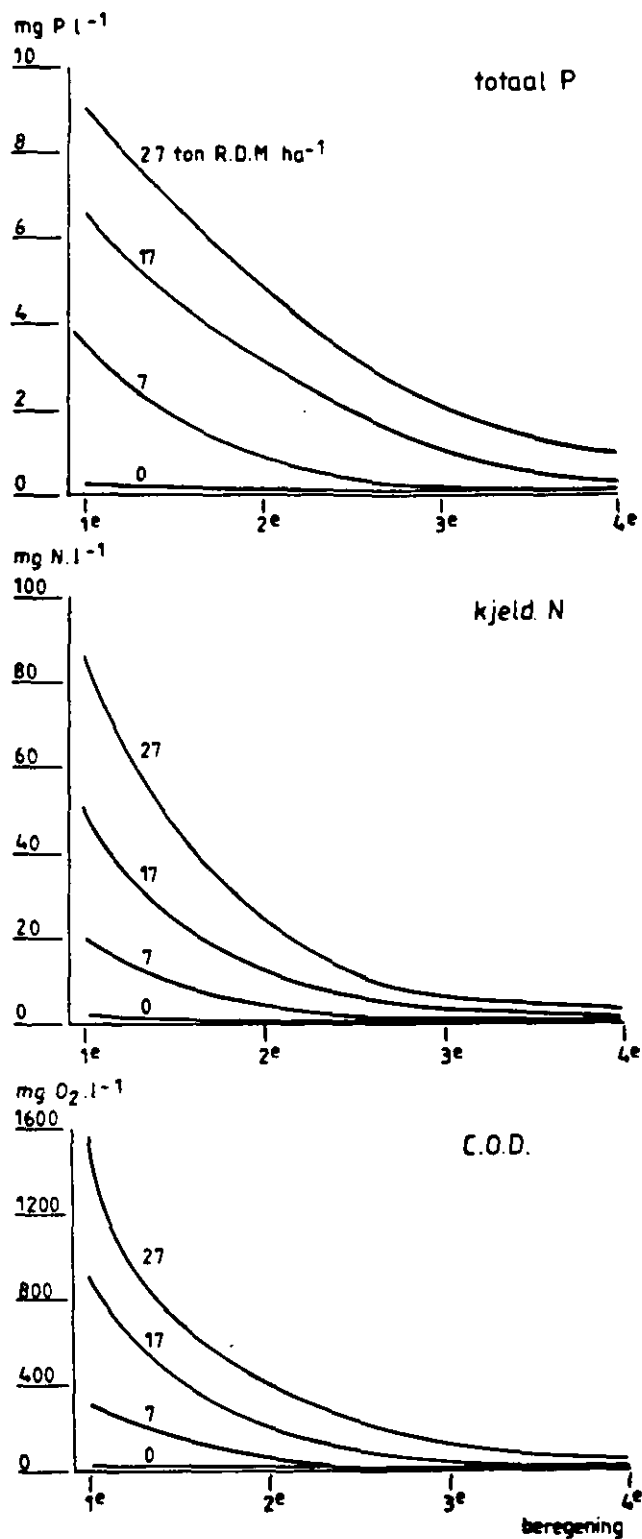


Fig.5a. Verloop van de totaal-P, Kjeldahl-N en organische stofgehalten in over het maaiveld afstromend water van verschillend bemeste veldjes bij vier beregeningen in februari 1980 (naar Oosterom en Steenvoorden, 1980).

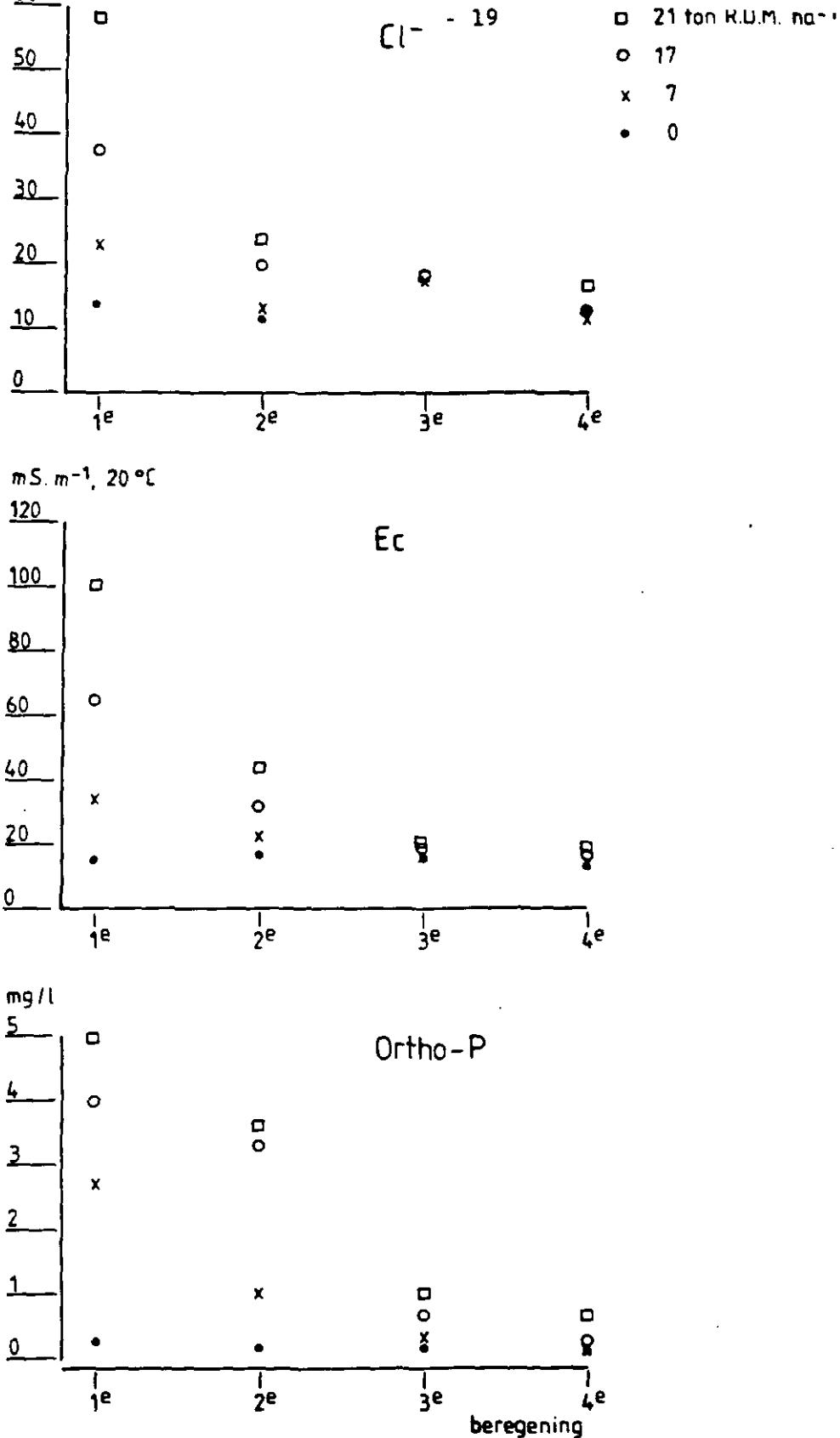


Fig.5b. Verloop van het chloride en Ortho-P gehalte en van het geleidingsvermogen in over het maaiveld afstromend water van verschillend bemeste veldjes bij vier beregeningen in februari 1980 (naar Oosterom en Steenvoorden, 1980).

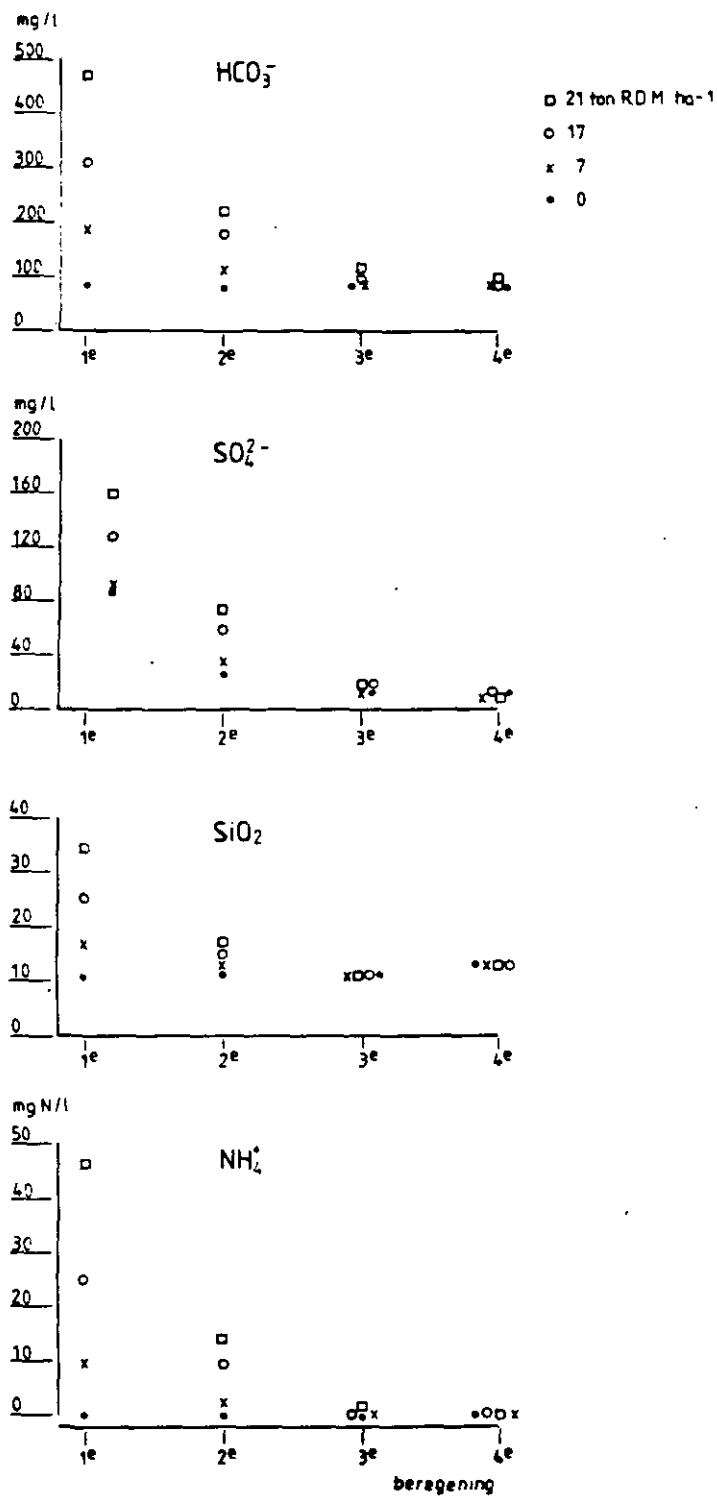


Fig.5c. Verloop van gehalten van HCO_3^- , SO_4^{2-} , SiO_2 en NH_4^+ in over het maaiveld afstromend water van verschillende bemeste veldjes bij vier beregeningen in februari 1980 (naar Oosterom en Steenvoorden, 1980).

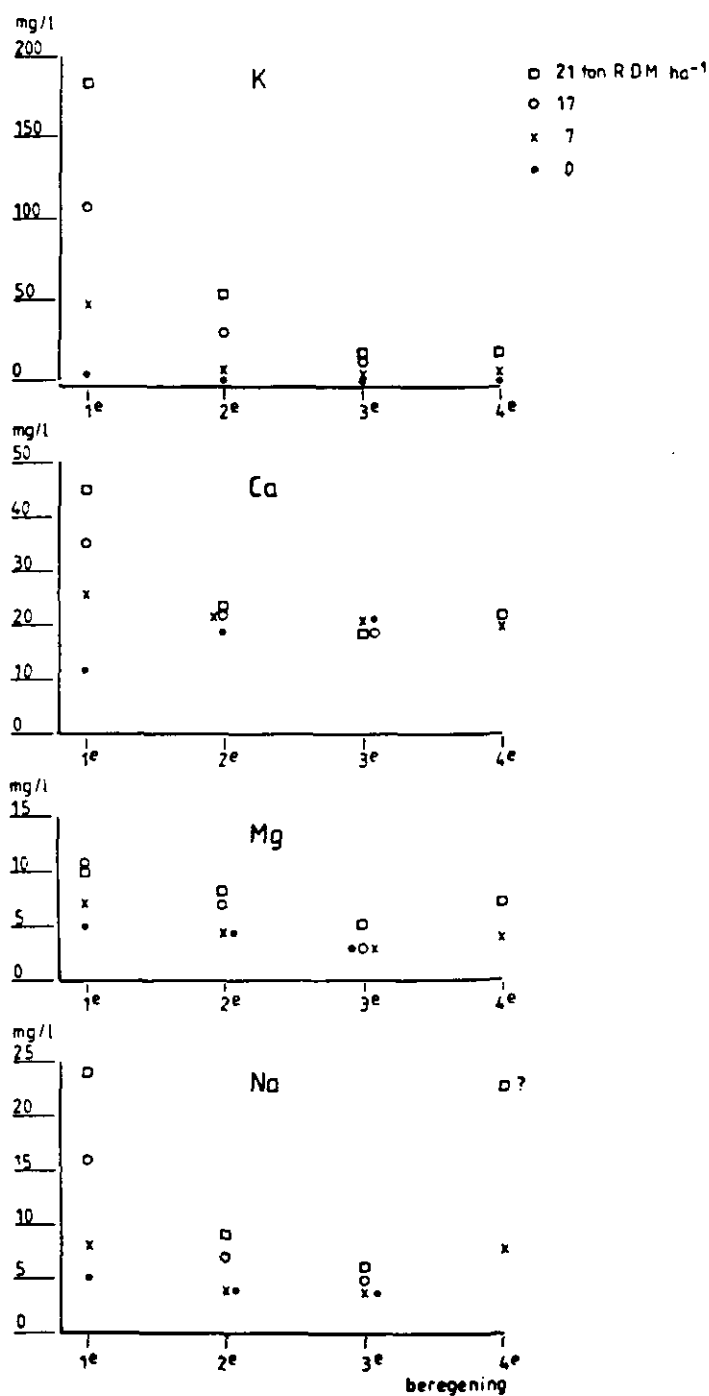


Fig. 5d. Verloop van de gehalten van K, Ca, Mg en Na in over het maai-
veld afstromend water van verschillende bemeste veldjes bij
vier beregeningen in februari 1980 (naar Oosterom en Steenvoorden
1980).

De concentraties in het afstromende water op het "onbemeste" perceel benaderen over het algemeen de concentraties in het beregeningswater. De concentraties aan ortho-P, NH_4 , kjeld-N en SO_4 wijken echter tijdens de eerste beregening(en) nog enigszins af van die in het beregeningswater. Voor tot-P blijft de concentratie in het afstromende water op het "onbemeste" perceel gedurende alle beregeningen duidelijk hoger dan die in het beregeningswater.

Vergelijkbare experimenten zijn uitgevoerd door Sherwood en Fanning (1981). De resultaten van deze experimenten waarbij alleen is gekeken naar BOD, orthofosfaat en ammonium komen in grote lijnen overeen met de bevindingen van Oosterom en Steenvoorden (1980). De gegevens weergegeven in fig. 5 kunnen ook nog op een andere wijze worden gepresenteerd, zodat inzicht wordt verkregen in de relatie tussen de gehalten in het over het maaiveld afstromend water en het bemestingsniveau.

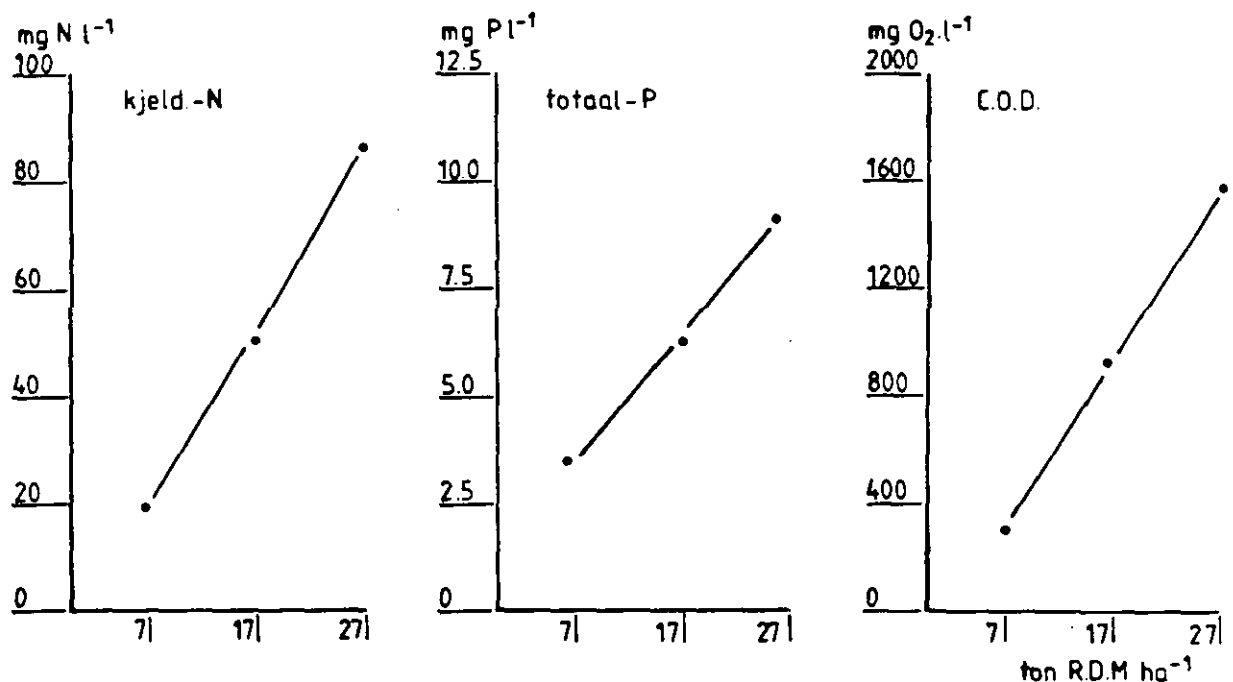


Fig.6. Relatie tussen bemestingsniveau en gemiddeld gehalten in het over het maaiveld afstromend water bij een afvoer van ca. 8 mm en een neerslag van ca. 25 mm. Bemesting heeft daags tevoren plaatsgevonden (naar Oosterom en Steenvoorden, 1980).

In fig. 6 zijn de gehalten aan kjeld-N, totaal-P en organische stof uitgezet tegen de drijfmestgift. Het blijkt dat er een nagenoeg rechtlijnig verband aanwezig is tussen de gehalten en het bemestingsniveau.

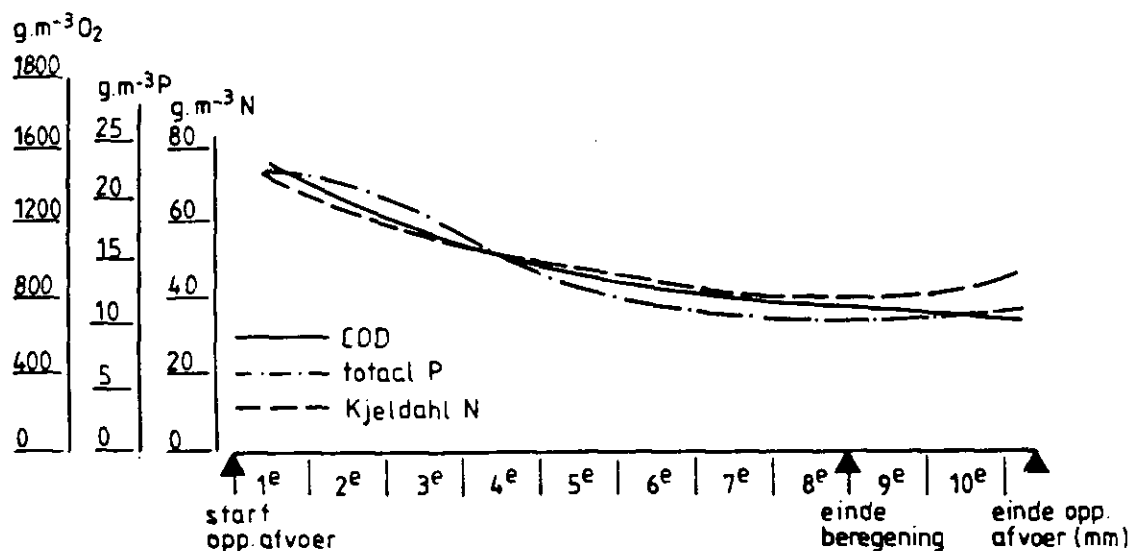


Fig.7a. Totaal-P, Kjeldahl-N en COD Gehalten in over het maaiveld afstromend water op veldje A en in de 1ste, 2e, 3e enz. afgevoerde mm water tijdens de beregening op 6 december 1979 (bemesting 35 ton RDM/ha) (naar Oosterom en Steenvoorden, 1980).

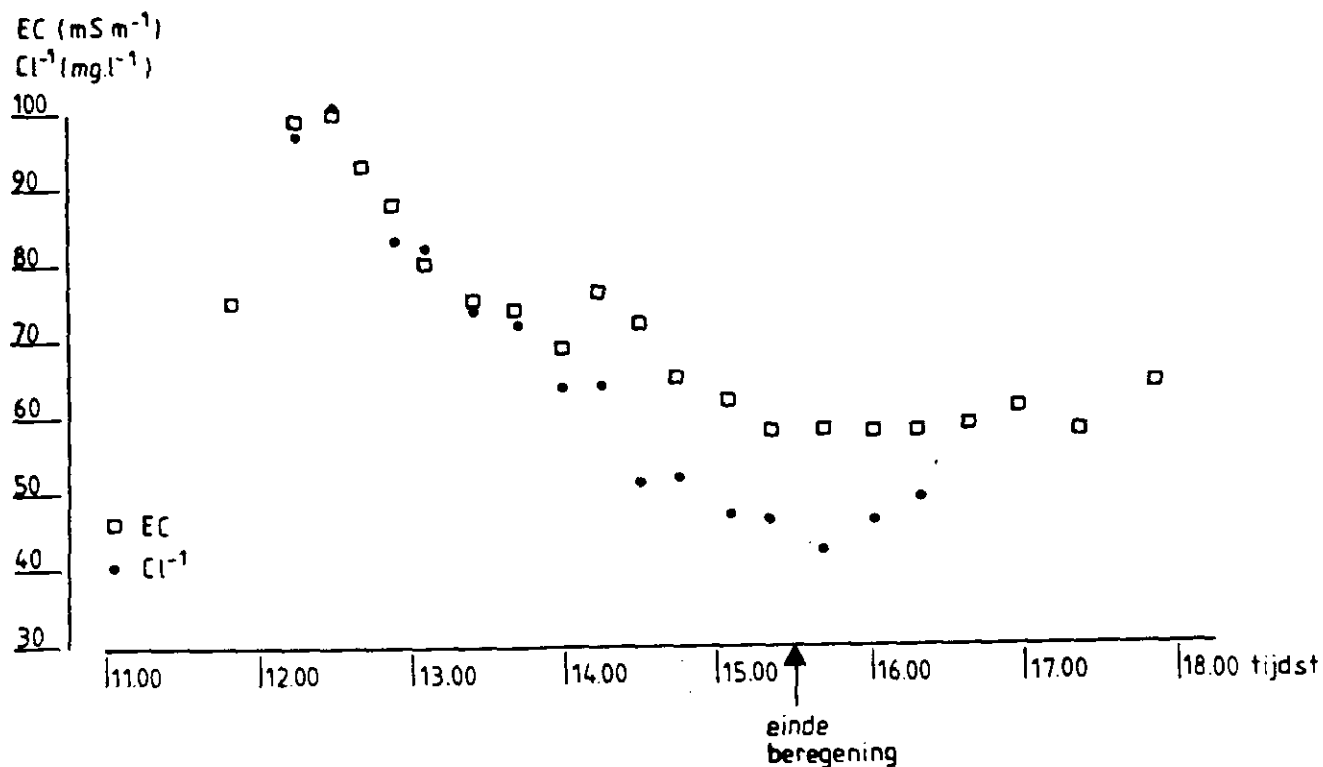


Fig. 7b. Chlorideconcentratie en geleidingsvermogen van het over het maaiveld afstromende water op veldje A tijdens de berekening op 6 december 1979 (bemesting 35 ton RDM/ha) (naar Oosterom en Steenvoorden, 1980).

In fig. 7a en 7b zijn de COD en de gehalten aan totaal-P en Kjeldahl N, respectievelijk het geleidingsvermogen en het chloridegehalte in over het maaiveld afstromend water uitgezet tegen de hoeveelheid oppervlakte-afvoer. Het betreffende perceel is op 3 december 1979 bemest met 35 ton RDM/ha. De beregeningsproef is uitgevoerd op 6 december.

In de periode tussen bemesting en berekening is er 4,4 mm natuurlijke neerslag gevallen. De hoeveelheid toegediend beregeningswater bedraagt 27,9 mm. Hiervan is 10,4 mm over het maaiveld afgevoerd. Uit fig. 7a en 7b blijkt dat bij toenemende afvoer de concentraties geleidelijk afnemen. Daling van de concentraties zal het gevolg zijn van de voortdurende toevoer van regenwater, waardoor er steeds een verdunning van het water dat zich op het maaiveld bevindt, optreedt. Vanuit de toplaag van de bodem en uit op de bodem aanwezige mestdeeltjes gaan verbinding in oplossingen, waardoor mogelijk de geringe stijging na stopzetting van de berekening (verdunning

speelt nu geen rol meer) valt te verklaren. Om inzicht te verkrijgen in de invloed van de bergingsmogelijkheden op het maaiveld op de samenstelling van het over het maaiveld afstromend water zijn enkele proeven gedaan met een regensimulator en containers met grond. In fig. 8 zijn voor een aantal stoffen de concentraties in over het maaiveld afstromend water uitgezet tegen de berging op het maaiveld. Het blijkt dat de concentratie nagenoeg lineair afneemt met toenemende berging. Onder normale omstandigheden zijn bij grasland de bergingsmogelijkheden op het maaiveld groter dan 10 mm. Hierdoor ontstaat reeds een sterke verdunning voordat er afvoer optreedt. Onder ongunstige omstandigheden in de wintermaanden (bv. na vorst) kan de berging geringer worden, waardoor de gehalten vele malen hoger komen te liggen (tabel 6). Uit proefnemingen bleek verder dat bij een diepere grondwaterstand de bergingsmogelijkheden in de bodem toenemen. Met name de gehalten aan stikstof en opgeloste organische stof in het over het maaiveld afstromende water worden op deze wijze sterk verminderd. De fosfaatgehalten worden in mindere mate door de grondwaterstandsdiepte beïnvloed. Verder bleek dat de gehalten aan fosfaat en stikstof in het bovenste bodemlaagje (0-5 cm) geen duidelijke relatie vertonen met de gehalten in het afstromende water.

2.3 Chemische samenstelling van over het maaiveld afstromend water op enkele bouwlandpercelen met verschillen in bodemvruchtbaarheid

Oosterom (1983) beschrijft de resultaten van een veldproef waarbij over het maaiveld afstromend water van een begrensd oppervlak braakliggend bouwland ($1/2 \text{ m}^2$) is opgevangen. De veldjes zijn aangelegd op percelen, waarop in voorgaande jaren verschillend bemest is, variërend van 50 ton tot 300 ton RDM/ha. Het verzamelde over het maaiveld afgevoerde water is geanalyseerd op stikstof en fosfaat. Hiermee kan worden nagegaan wat het effect is van de verhoogde bodemvruchtbaarheid door jarenlang bemesten met dezelfde hoeveelheden op de samenstelling van het over het maaiveld afstromend water. Er zijn zowel proeven genomen bij een verdichte als bij een losgemaakte bodem.

De analyseresultaten zijn onderworpen aan een regressieanalyse. Enkele resultaten hiervan zijn uitgezet in fig. 9.

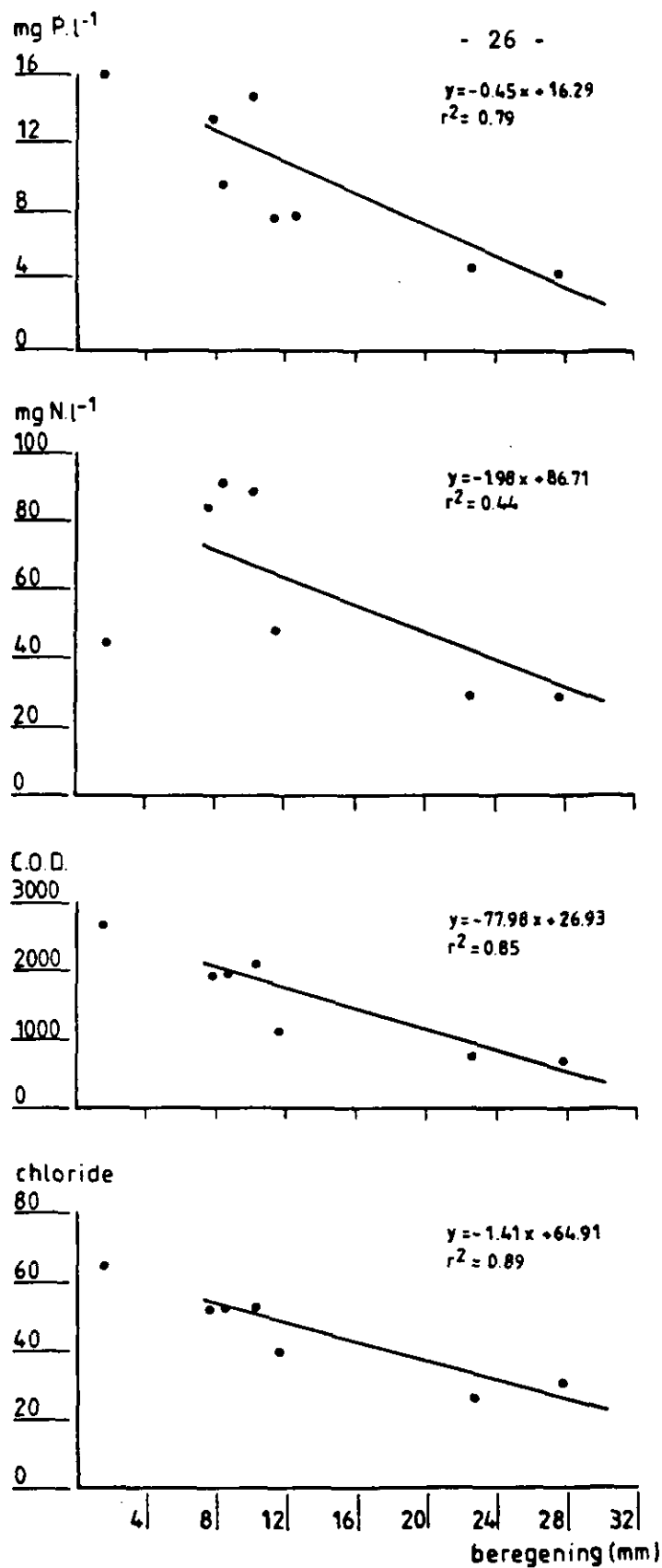


Fig.8. Totaal-P, Kjeldahl-N, COD en chloride-gehalten in over het maaiveld afstromend water onder een regensimulator bij verschillende bergingsmogelijkheden op de zode en een oppervlakte-afvoer van 26 mm (naar Oosterom en Steenvoorden, 1980).

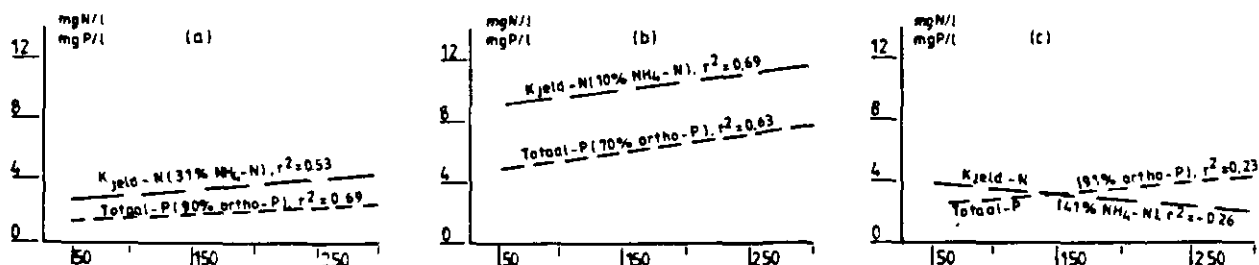


Fig.9a. Stikstof- en fosfaatgehalten in oppervlakte-afvoer (4 mm) over een verdichte bodem bij bouwland met een verschil in bodemvruchtbaarheid als gevolg van jarenlange bemesting met rundveedrijfmest, helling 3 à 4%.

b. Stikstof- en fosfaatgehalten in oppervlakte-afvoer (4 mm) bij bouwland met een verschil in bodemvruchtbaarheid als gevolg van jarenlange bemesting met rundveedrijfmest na een oppervlakkige grondbewerking, helling 3 à 4%.

c. Stikstof- en fosfaatgehalten in het watermonster (b) na een bezinkperiode van 3 weken onder gekoelde omstandigheden (naar Oosterom, 1983).

Het blijkt dat de stikstof- en fosfaatgehalten in het over het maaiveld afstromend water enigszins beïnvloed worden door de aanwezige bodemvruchtbaarheid. Na bezinking van de zwevende delen (fig. 2.9c) is de invloed van de jarenlange bemesting nihil te noemen. Klaarblijkelijk is de mate waarin organische stof wordt meegevoerd verantwoordelijk voor de concentratieverschillen. Hoewel de spreiding in de sedimentaanvoer, waaronder de organische stof, groot is (zie fig. 10), is toch een duidelijk verband met het verschil in de bemesting waarneembaar. Opvallend is de sterke toename in de concentraties en de sedimentaanvoer na losmaking van de bovengrond.

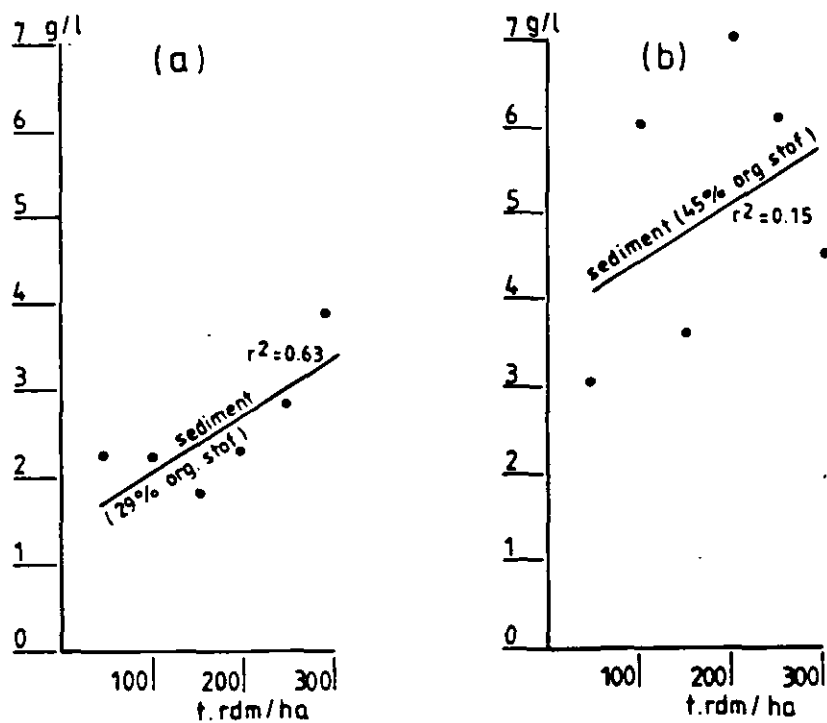


Fig.10. Hoeveelheid meegevoerd bodemmateriaal bij een oppervlakte-afvoergebeurtenis van 4 mm op bouwland (zandgrond) met een verschil in bodemvruchtbaarheid door jarenlange bemesting met rundveedrijfmest (helling 3 à 4%):

a) verdichte bodem

b) oppervlakkig losgemaakte bodem

(naar Oosterom, 1983).

3. ANALYSE VAN DE HOEVEELHEID OPPERVLAKTE-AFVOER AAN DE HAND VAN DE CONCENTRATIES VAN MESTSTOFFEN IN HET OPPERVLAKTEWATER

In de vorige hoofdstukken is gebleken dat oppervlakte-afvoer een grote rol kan spelen bij de belasting van het oppervlaktewater met meststoffen. Het is daarom belangrijk enig inzicht te hebben in het percentage van het neerslagoverschot dat via oppervlakte-afvoer z'n weg vindt naar het oppervlaktewater. In dit hoofdstuk wordt aan de hand van metingen in drie stroomgebieden nagegaan in hoeverre gehalten van (mest)stoffen in het oppervlaktewater gebruikt kunnen worden als tracers bij de bepaling van de grootte van de oppervlakte-afvoer.

Eerst wordt echter in de volgende paragraaf ingegaan op de eisen, waaraan

een tracer in het ideale geval zou moeten voldoen. Verder wordt bekeken welke stoffen eventueel als tracer in aanmerking komen.

3.1 Het gebruik van tracers

Bij toepassing van een "ideale tracer" kan de oppervlaktewaterafvoer op eenvoudige wijze worden gesplitst in een grondwater- en een oppervlakte-afvoercomponent door het opstellen van de water- en stofbalans:

$$Q_t = Q_g + Q_o \quad (1)$$

$$Q_t C_t = Q_g C_g + Q_o C_o \quad (2)$$

Hierin is Q de afvoer (L^3/T), C de tracerconcentratie en verwijzen de indices t , g en o , respectievelijk naar de totale waterafvoer, de grondwaterafvoercomponent en de oppervlakte-afvoercomponent. De oppervlakkige afvoer zal wat samenstelling betreft over het algemeen niet te onderscheiden zijn van de grondwaterafvoer. Deze beide componenten werden daarom samengenomen (Q_g).

Indien Q , C_t , C_g en C_o bekend zijn dan kunnen Q_g en Q_o worden berekend. De vergelijkingen (1) en (2) kunnen worden toegepast indien aan de volgende drie voorwaarden is voldaan:

- De concentratie van de tracer in het grondwater verschilt significant van die in het over het maaiveld afstromende water.
- De concentraties van de tracer in het grondwater en de oppervlakte-afvoer zijn bekend.
- De bijdragen van eventuele andere bronnen (water inlaat, industrie, RWZI e.a.) aan de tracerconcentratie en het debiet van het oppervlakte-water zijn verwaarloosbaar of bekend.

Wat betreft de laatste voorwaarde kan gesteld worden dat de bijdrage van lozingen door de industrie, RWZI's e.a. aan de stofconcentraties in het oppervlaktewater vaak niet of slechts bij benadering bekend is. Het is daarom zaak stoffen als tracer te kiezen waarvan de concentraties in het grond- en oppervlaktewater slechts in geringe mate worden beïnvloed door deze lozingen of studiegebieden te kiezen waar de lozing door genoemde bronnen een ondergeschikte rol speelt. Opwoeling van stoffen in het

bodemslib is ook te beschouwen als een bron en opneming van voedingstoffen door waterplanten als een "sink", evenals afbraak, vastlegging en omzetting van stoffen.

De concentraties van stoffen in het grondwater zijn veelal duidelijk gerelateerd aan hun herkomst. Met name wordt een duidelijke relatie gevonden tussen de samenstelling van het grondwater enerzijds en de grondsoort en het bodemgebruik anderzijds. In gebieden waar sprake is van infiltratie van oppervlaktewater is de kwaliteit van het grondwater hieruit te herleiden (zie Eindrapport landelijk meetnet grondwaterkwaliteit, Van Duyvenbooden e.a., 1985). Als gevolg van de geringe stroomsnelheid van het grondwater (lange verblijftijden) en de optredende menging zal de samenstelling van het water langs een stroomlijn slechts zeer geleidelijk van samenstelling veranderen. Dit zou betekenen dat de concentraties in het grondwater dat uittreedt in het oppervlaktewaterstelsel over het algemeen gedurende perioden van enige dagen tot enkele weken constant kunnen worden beschouwd. Deze verwachting wordt bevestigd door de over het algemeen zeer geleidelijke verandering van de samenstelling van het oppervlaktewater gedurende perioden dat alleen grondwaterafvoer een rol speelt. Tijdens perioden met langdurige, hevige regenval kan er als gevolg van vermelde toestroming van neerslag naar het grondwaterreservoir, echter een verdunning van het uittredende grondwater optreden. Dit verdunningseffect moet dan worden geschat door vergelijking van de concentraties in het oppervlaktewater vóór en na afloop van de neerslaggebeurtenis.

De concentratie van stoffen in het over het maaiveld afstromend water kunnen geenszins als constant worden beschouwd, vooral niet kort na het toedienen van drijfmest (zie paragraaf 2.2.2). Een aantal stoffen geven echter door verhoging of verlaging van de concentratie in het oppervlaktewater kwalitatieve informatie over het al dan niet optreden van oppervlakte-afvoer. Met name stoffen waarvan de concentratie in de oppervlakte-afvoer sterk verschilt met die in het grondwater zijn geschikt als "kwalitatieve" tracer. Of dit het geval is, is onder andere afhankelijk van grondsoort en bodemgebruik en zal derhalve per gebied verschillen. Een aantal stoffen lijkt echter in de meeste gebieden geschikt om het al dan

niet het optreden van oppervlakte-afvoer aan te tonen. Zo vertoont oppervlakte-afvoer na bemesting een veel hoger kaliumgehalte dan het grondwater. Pas na enkele tientallen mm neerslag sinds de laatste bemesting zal het kaliumgehalte in het over het maaiveld afstromende water gelijk of lager zijn dan dat in het grondwater. Stoffen als K, Na, Cl, HCO_3 , SO_4 en SiO_2 komen, behalve direct na bemesting, in het over het maaiveld afstromende water over het algemeen in lagere concentraties voor dan in het grondwater.

Wil een stof in aanmerking komen als "kwantitatieve tracer" dan is het echter niet voldoende dat het gehalte van de betreffende stof in het over het maaiveld afstromende water duidelijk verschilt van dat in het grondwater. Het is dan tevens vereist dat de concentratie in de oppervlakte-afvoer een bekende, liefst constante concentratie heeft. Wanneer bemesting invloed heeft op de concentratie van een stof in de oppervlakte-afvoer dan zal de concentratie zowel in de ruimte als in de tijd sterk variëren. We hebben echter in paragraaf 2.2.2 gezien dat van veel stoffen de gehalten in de oppervlakte-afvoer bij toenemend neerslagoverschot snel afnemen en zelfs gelijk worden aan de gehalten in het beregeningswater, met name indien de berging op het maaiveld en in de bodem relatief groot zijn. Wanneer kan worden aangenomen dat de concentratie van een stof in de oppervlakte-afvoer gelijk is aan die in het neerslag dan kan deze stof, indien de concentratie in de neerslag weinig varieert in de tijd en duidelijk verschilt van die in het grondwater, gebruikt worden als kwantitatieve tracer. Deze stoffen mogen niet betrokken zijn bij omzettingprocessen in het oppervlaktewater. Stoffen die mogelijk geschikt zijn als kwantitatieve tracer zijn Ca, Na, Cl, SO_4 en SiO_2 . Ook het geleidingsvermogen is mogelijk geschikt als kwantitatieve tracer. Of een stof in een bepaald gebied werkelijk geschikt is als tracer hangt echter af van de plaatselijke omstandigheden (zoals concentraties van de tracer in de neerslag en het grondwater, lozingen door RWZI's en industrie e.d.). Informatie over gehalten en concentratievariaties in de neerslag kan worden verkregen via het meetnet regenwater (van de Meent, e.a., 1984). Bij specifieke studies verdient het echter aanbeveling de neerslag ter plaatse te bemonsteren. Over de concentraties van SiO_2 in grondwater en neerslag geven zowel het Meetnet Grondwaterkwaliteit als het Meetnet Regenwater geen informatie. Metingen naar de chemische samenstelling van de neerslag te Wageningen door Steenvoorden en Oosterom (1975) laten echter zeer lage SiO_2

concentraties (≤ 1 mg/l) zien. De mogelijkheden van SiO_2 als kwantitatieve tracer moeten verder worden nagegaan. Een tracer die ook mogelijkheden biedt om de grootte van de oppervlakte-afvoer te bepalen is het zuurstofisotoop ^{18}O . Dit isotoop komt in het winterhalfjaar over het algemeen in lagere concentraties in de neerslag voor dan in het zomerhalfjaar (zie fig. 11).

De ^{18}O concentratie in het grondwater is meestal gelijk aan de jaargemiddelde ^{18}O concentratie van de neerslag. Op dit verschil in concentratie tussen neerslag en grondwater berust de toepassing van ^{18}O als tracer ter bepaling van de hoeveelheid oppervlakte-afvoer. Voor de betekenis van de parameter δ in fig. 11 wordt verwezen naar bijlage 1.

3.2 Oppervlakte-afvoer in het stroomgebied van de Berkel

3.2.1 Inleiding

De Berkel ontspringt in Duitsland in de omgeving van Billerbeck en passeert in de omgeving van Rekken de grens. De lengte van het Duitse gedeelte is ca. 65 km, het stroomgebied is ruim 38 000 ha. Het hoogteverschil tussen de oorsprong en de grens is met 97 m aanzienlijk.

Kernen van enige omvang die in Duitsland op de Berkel lozen zijn Billerbeck, Coesfeld, Gescher, Stadt Lohn en Vreden. De capaciteit van zuiveringsinstallaties die op de Berkel lozen is ruim 240.000 i.e. Het aantal inwoners in het Duitse stroomgebied is ca. 90.000.

Mede door het sterke verval in Duitsland worden door de Berkel aanzienlijke hoeveelheden sediment meegevoerd. Er is daarom op Nederlands gebied (2 km over de grens) een zandvang aangelegd. De monsters zijn genomen vóór de zandvang op Duits grondgebied. In alle monsters werden bepaald: NH_4 , NO_2 , NO_3 , ortho- en totaalfosfaat, Cl, pH, geleidingsvermogen en zwevende stof (filtratie over $0.45 \mu\text{m}$ membraanfilter). Wanneer het bezinksel meer dan 0.3 ml was (1 uur bezinken in Imhoff glas) werd bovendien het totaal fosfaatgehalte na bezinking bepaald.

De bemonsteringsfrequentie was eenmaal per uur. Gedurende juni 1983 werden de monsters samengesteld tot 24-uurs monsters, gedurende de periode juli-november 1983 werden de monsters in verband met lage afvoeren samengesteld tot 48 uurs monsters en gedurende de periode medio november 1983 - april 1984 werden de monsters samengesteld aan de hand van het afvoerproces.

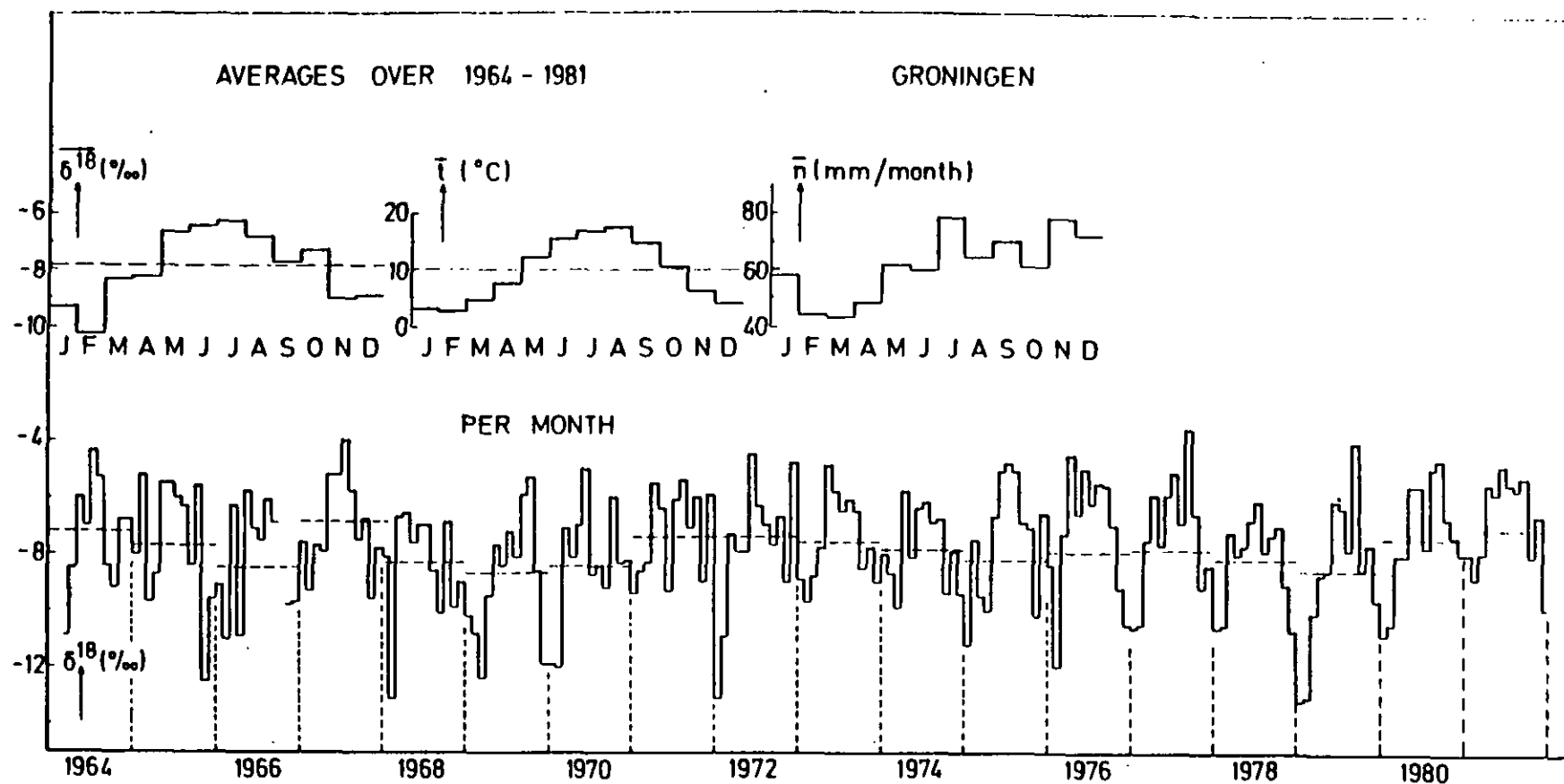


Fig.11. δ^{18} data for monthly precipitation samples at Groningen. The dashed lines represent the weighted averages over the various years (annual effect). The upper part of the figure shows the weighted averages of δ^{18} and the average temperatures and amounts of precipitation. The upper dashed lines are the annual averages over the entire period (naar Mook, 1984).

De monsters zijn verzameld en geanalyseerd door het zuiveringsschap Oostelijk Gelderland.

Hoewel het bemonsterde stroomgebied geheel in Duitsland ligt, werden de gegevens toch nader geanalyseerd, omdat continu bemonsteringsgegevens over een aaneengesloten periode van bijna een jaar slechts in beperkte mate beschikbaar zijn. De gegevens van de Berkel kunnen wellicht inzicht verschaffen in de mogelijkheden om uit dergelijke metingen informatie af te leiden over het al dan niet optreden van oppervlakte-afvoer. Een deel van de gegevens is reeds geanalyseerd door het zuiveringsschap Oostelijk Gelderland en TAUW Infra Consult B.V. (1986). Van deze analyse, die tot doel had meer inzicht te krijgen in de fosfaatbelasting van de Berkel, wordt in de volgende paragraaf dankbaar gebruikt gemaakt.

3.2.2. Analyse van het optreden van oppervlakte-afvoer aan de hand van het concentratieverloop in het oppervlaktewater

Het concentratieverloop van een aantal stoffen in het water van de Berkel gedurende de periode 2 november-15 maart 1984 is samen met de afvoer weergegeven in figuur 12. De totale meetperiode loopt van juni 1983 t/m april 1984.

Na een lange tijd met geringe afvoer volgt eind november 1983 t/m begin maart 1984 een periode met sterk wisselende afvoeren. In de droge periode voorafgaand aan de eerste afvoergolf neemt het debiet geleidelijk af, terwijl de stofconcentraties toenemen. Zo stijgt de totaal-P concentratie van gemiddeld 0.67 mg P/l in de eerste week van juni naar gemiddeld 2.73 mg/l in de derde week van november. De chlorideconcentratie stijgt in dezelfde periode van gemiddeld 52 mg/l naar gemiddeld 90 mg/l.

Deze toenamen kunnen voor een groot deel worden verklaard door een daling van de grondwaterafvoer (d.w.z. concentrering van de vracht). Er treedt echter ook enige toename op van de totaal-P vracht, terwijl de Cl vracht daalt. Deze bedragen bv. in de maand juli gemiddeld 132 kg P/dag, respectievelijk 7526 kl Cl/dag tegen gemiddeld 183 kg P/dag en 6687 kg Cl/dag in de maand oktober. De oorzaak hiervan is niet duidelijk. Uit de optredende concentrering blijkt dat het grondwater geringere fosfaat- en chlorideconcentraties heeft dan het water dat wordt geloosd door RWZI's e.d.

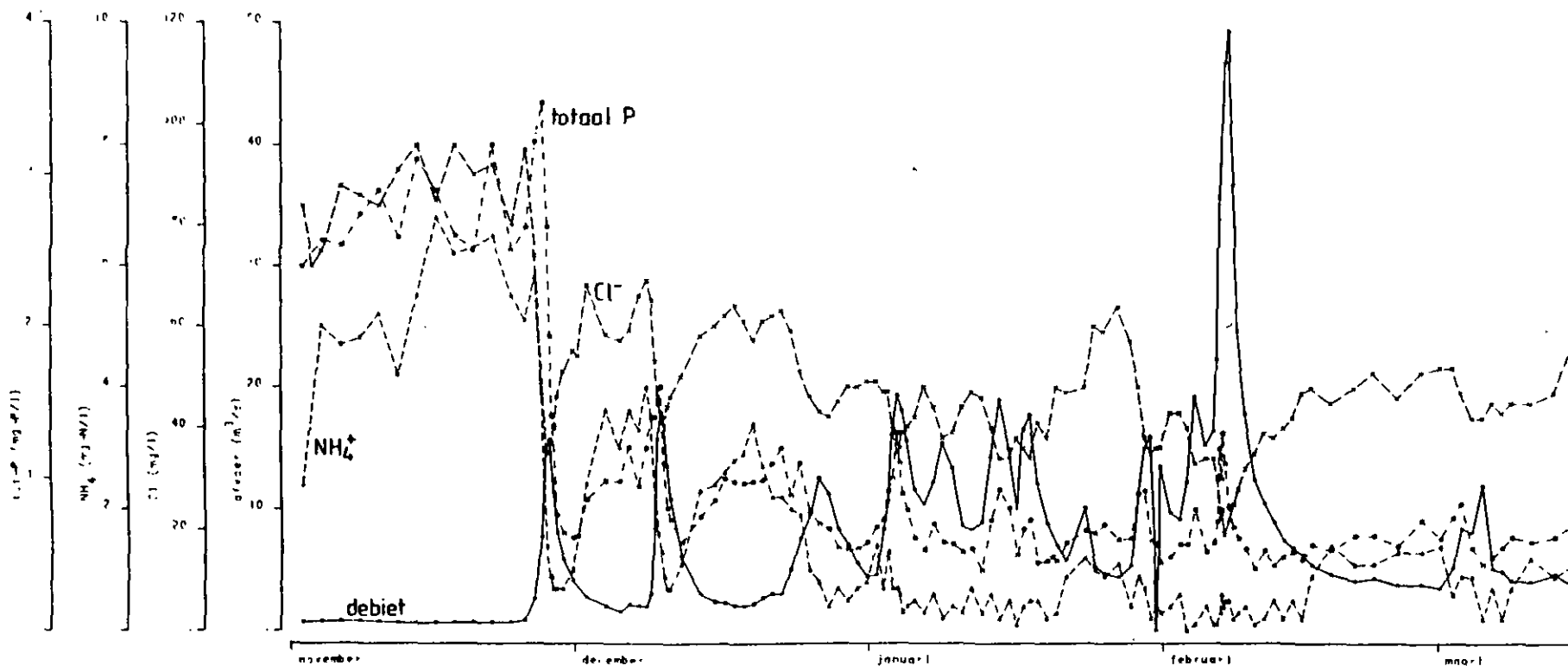


Fig.12a. Verloop van het debiet en de concentraties van chloride, ammonium en totaal-P in de Berkel gedurende de periode 2 november 1983 - 15 maart 1984.

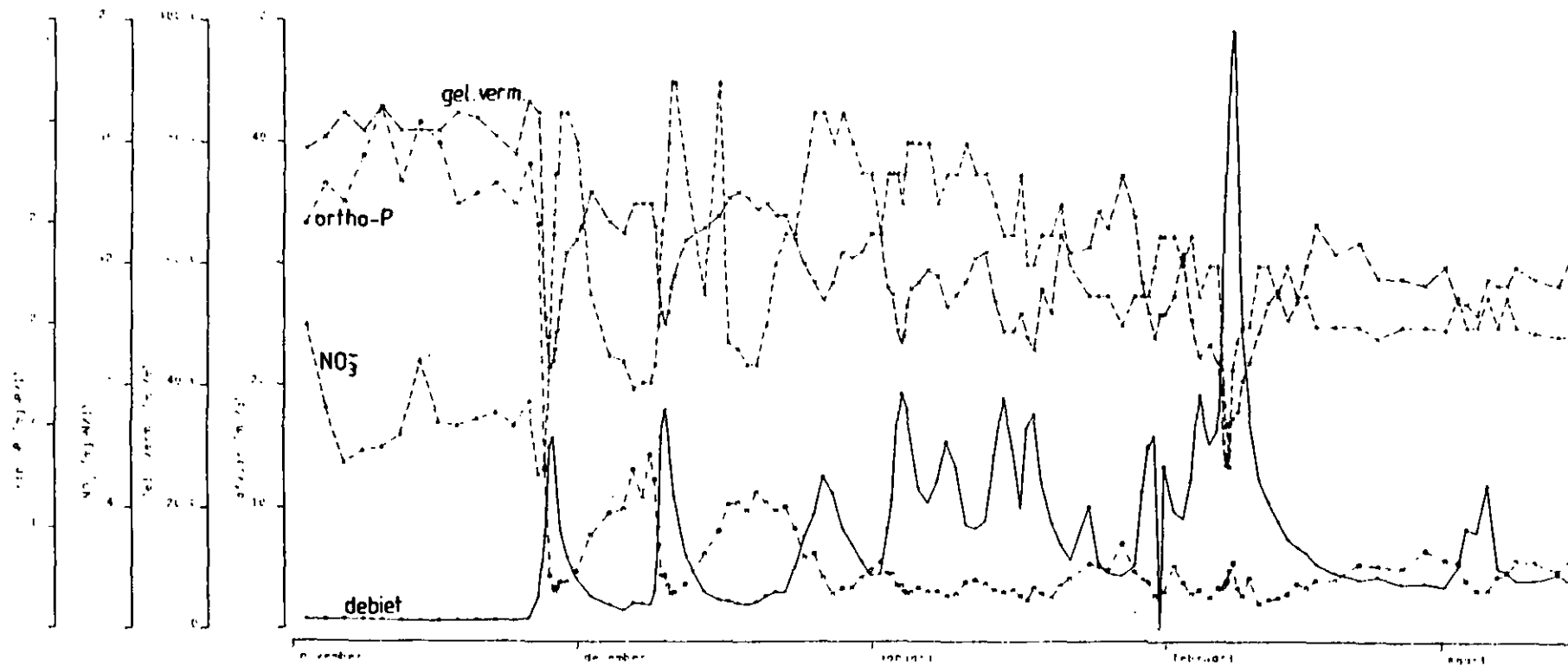


Fig.12b. Verloop van het debiet, het geleidingsvermogen en de concentraties van nitraat en ortho-P in de Berkel gedurende de periode 2 november 1983 - 15 maart 1984.

Dat blijkt trouwens ook overduidelijk uit de zeer hoge fosfaat- en chlorideconcentraties die omstreeks half november in het oppervlaktewater worden aangetroffen (zie fig. 12). Deze hoge concentraties worden zelfs onder zeer zwaar bemeste percelen niet in het grondwater aangetroffen.

Tijdens de eerste afvoergolf, die begint op 26 november 1983, treedt een sterke verlaging op van de concentraties van alle stoffen behalve van nitraat, waarvan de concentratie toeneemt. Ook het geleidingsvermogen vertoont een sterke daling. De verlaging van de concentraties is het gevolg van verdunning door toestromend grondwater en mogelijk oppervlakte-afvoer. De toename van de nitraatconcentratie in het oppervlaktewater is mogelijk veroorzaakt door versnelde nitrificatie van aanwezige ammonium als gevolg van beluchting die optreedt bij verhoogde afvoer. Vanwege het mogelijk optreden van dit omzettingsproces zullen nitraat en ammonium niet verder in de beschouwing worden betrokken.

Vanwege de grote invloed van lozingen door RWZI's, industrie e.d. is het niet mogelijk een kwantitatieve uitspraak te doen over het optreden van oppervlakte-afvoer (zie paragraaf 3.1). In het vervolg van deze paragraaf zal daarom worden nagegaan of het aan de hand van het verloop van de chloride- en fosfaatconcentraties in samenhang met het debiet mogelijk is aan te tonen of oppervlakte-afvoer optreedt.

Tijdens het optreden van de eerste afvoergolf, neemt de totaal-P concentratie aanvankelijk nog iets toe als het debiet stijgt. De daling van het totaal P-gehalte begint 1 tot 2 dagen later dan de daling van de overige gehalten. De piek in het totaal-P gehalte valt echter niet samen met de afvoerpiek, maar loopt hierop vooruit. Dit betekent dat de grootste hoeveelheden fosfaat worden afgevoerd in het voorste gedeelte van de afvoerpiek, hetgeen wijst op opwerveling van bodemslib en wel met name van de lichtere fosfaatbevattende deeltjes. In fig 13. is voor een aantal afvoergolven de totaal-P concentratie tijdens het stijgen en dalen van de afvoer uitgezet tegen het debiet. Indien er alleen sprake zou zijn van aanvoer van fosfaat met het grondwater en met lozingen door RWZI's en industrie dan moeten de fosfaatgehalten bij gelijke afvoerhoeveelheden tijdens stijgende en dalende afvoer min of meer samenvallen. Grote verschillen in de fosfaatconcentraties tussen perioden met stijgende en dalende afvoer, bij overigens gelijke debieten, kunnen worden verwacht indien opwerveling van bodemslib een grote rol speelt. Doordat bij oppervlakte-afvoer toenemende neerslag zal zorgen voor een verlaging van de

concentraties in het over het maaiveld afstromende water (zie 7) en oppervlakte-afvoer bij stijgende afvoer een grotere rol speelt dan bij dalende afvoer (zie fig. 14), kan ook het optreden van oppervlakte-afvoer veroorzaken dat de fosfaatconcentraties tijdens dalende afvoer enigszins lager zijn dan die tijdens stijgende afvoer.

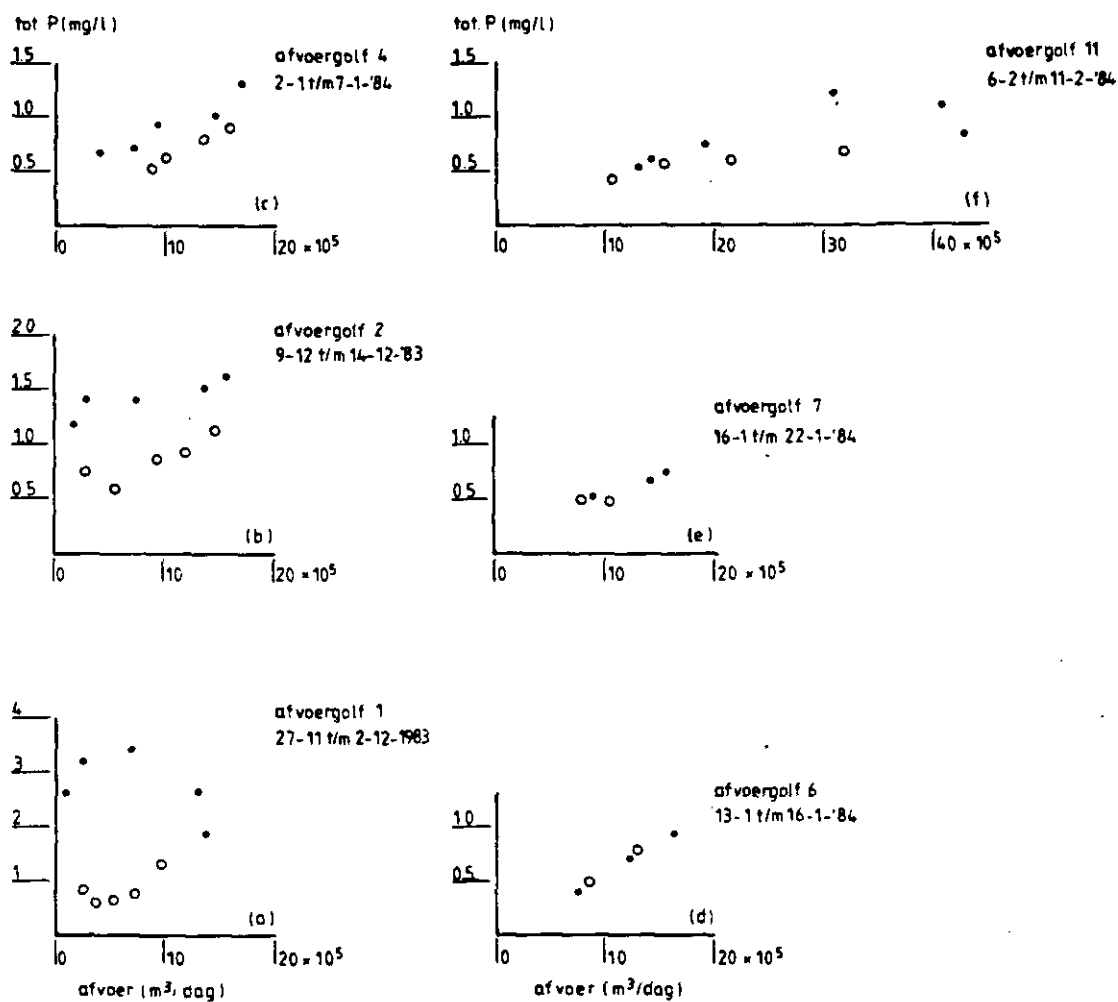


Fig. 13 Relatie tussen het totaal-P gehalte en het debiet tijdens stijgende (.) en dalende (o) afvoer voor een aantal afvoergolven in de Berkel (zie fig. 12a).

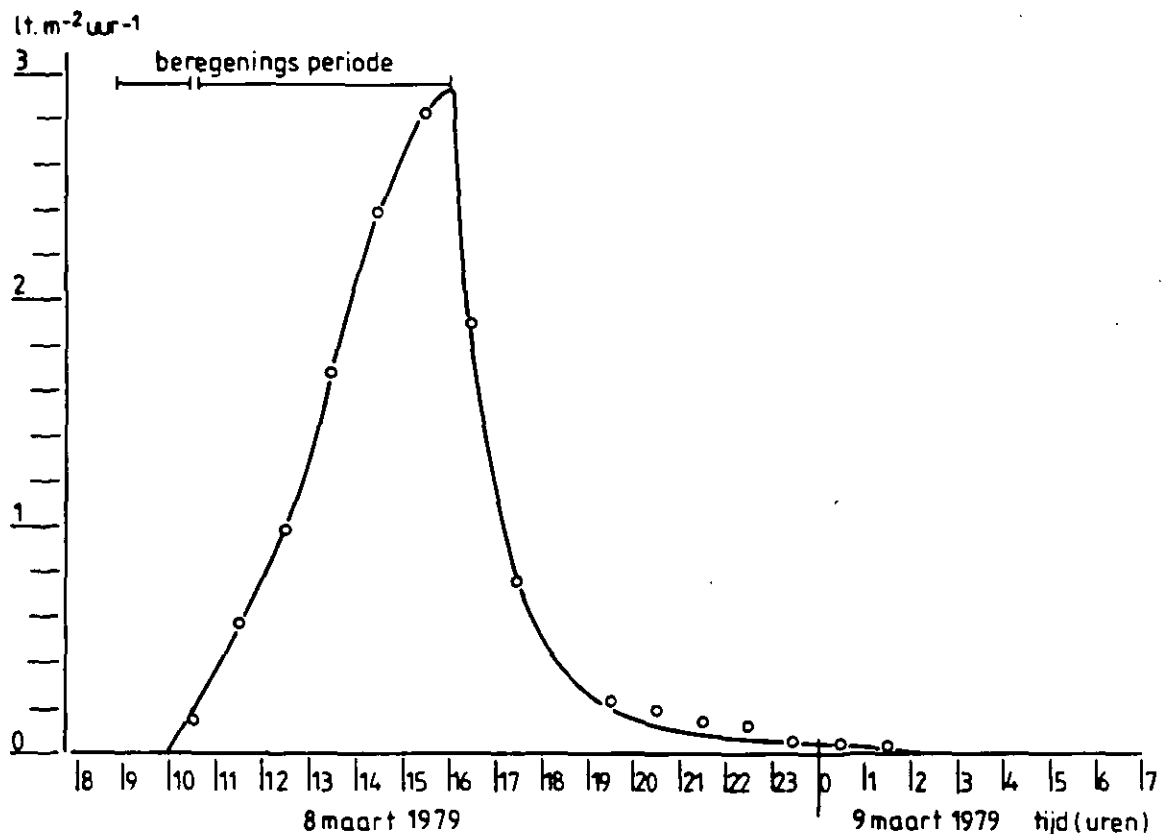


Fig. 14 Berekende oppervlakte-afvoer tijdens een beregeningsexperiment op een graslandperceel in de Gelderse Vallei (naar Oosterom, 1979).

Dit zal echter over het algemeen minder effect hebben dan opwerveling van bodemslib.

Uit fig. 13a blijkt duidelijk het vooruitlopen van de fosfaatpiek op de afvoerpiek en de relatief lage concentraties bij dalende afvoer tijdens de eerste afvoergolf. Ook tijdens de tweede en vierde afvoergolf (zie fig. 13b en c) zien we tijdens dalende afvoer lagere fosfaatconcentraties in het oppervlaktewater dan tijdens stijgende afvoer. De verschillen in concentratie zijn echter een stuk minder dan tijdens de eerste afvoergolf. Blijkbaar is het effect van opwerveling van bodemslib op het fosfaatgehalte in het oppervlaktewater groter wanneer er gedurende een langere periode voorafgaande aan de afvoergolf geen andere afvoergebeurtenis van betekenis is geweest. Naarmate deze periode langer is, zal er meer fosfaat sedimenteren. Overigens zal dan ook het effect van oppervlakte-afvoer groter zijn (zie fig. 5a). Tijdens het optreden van de tweede en vierde afvoergolf vallen de afvoer- en fosfaatpiek samen (zie fig. 13b en c). Dit zou kunnen wijzen op het optreden van oppervlakte-afvoer. Gedurende het

optreden van de zesde en zevende afvoergolf (zie fig. 13d en e) is er geen verschil waarneembaar in de fosfaatconcentraties gedurende stijgende en dalende afvoer. Blijkbaar is er nauwelijks nog sprake van opwerveling van bodemslib. Het is daarom niet onwaarschijnlijk dat de toename in de totaal-P concentratie in het oppervlaktewater gedurende de zesde en zevende afvoergolf voornamelijk worden veroorzaakt door oppervlakte-afvoer. Het aantal waarnemingen tijdens de zesde en zevende afvoergolf is echter gering. Tijdens de elfde afvoergolf (zie fig. 13f) zijn alleen bij zeer hoge afvoeren de totaal-P concentraties tijdens stijgende afvoer hoger dan tijdens dalende afvoer. Bij deze extreem hoge afvoeren zullen ook zwaardere slibdeeltjes worden opgewoeld.

Dat oppervlakte-afvoer een rol van betekenis zou spelen, wordt tegengesproken door de totaal-P/ortho-P verhouding tijdens afvoerpieken. (Zuiveringsschap Oostelijk Gelderland en TAUW Infra Consult bv., 1986). In de periode met lage afvoeren (1-6 t/m 26-11-1983) schommelt deze verhouding rond 1.2, het fosfaat bestaat dus in hoofdzaak uit opgelost ortho-P. Tijdens afvoerpieken in deze verhouding gemiddeld 4,3 en daarmee beduidend hoger dan de verhouding van ca. 2, gemeten in oppervlakte-afvoer van recent bemeste akkers. Dit wijst erop dat het fosfaat dat tijdens de piekafvoeren getransporteerd wordt in hoofdzaak aan slibdeeltjes gebonden fosfaat is.

Omdat adsorptie aan het bodemslib bij chloride geen rol speelt, is het interessant voor een aantal afvoergolven ook het chloridegehalte bij dalende en stijgende afvoer uit te zetten tegen het debiet (zie fig. 15a t/m e). Tijdens de eerste en met name tijdens de tweede en derde afvoergolf zijn de chloride concentraties in het oppervlaktewater tijdens stijgende afvoer enigszins hoger dan tijdens dalende afvoer, overigens bij gelijke debieten. Dit zou kunnen wijzen op oppervlakte-afvoer. Bij de vierde en elfde afvoergolf zijn de chlorideconcentraties tijdens stijgende en dalende afvoer nagenoeg aan elkaar gelijk. Van verdunning van eventueel over het maaiveld afstromend water door de neerslag is dan dus minder waarneembaar. Het is echter goed mogelijk dat de in de mest aanwezige mobiele chloride ionen grotendeels met de neerslag zijn geïnfiltreerd of reeds zijn afgespoeld, zodat de chlorideconcentratie in het over het maaiveld afstromende water, die in de neerslag benadert.

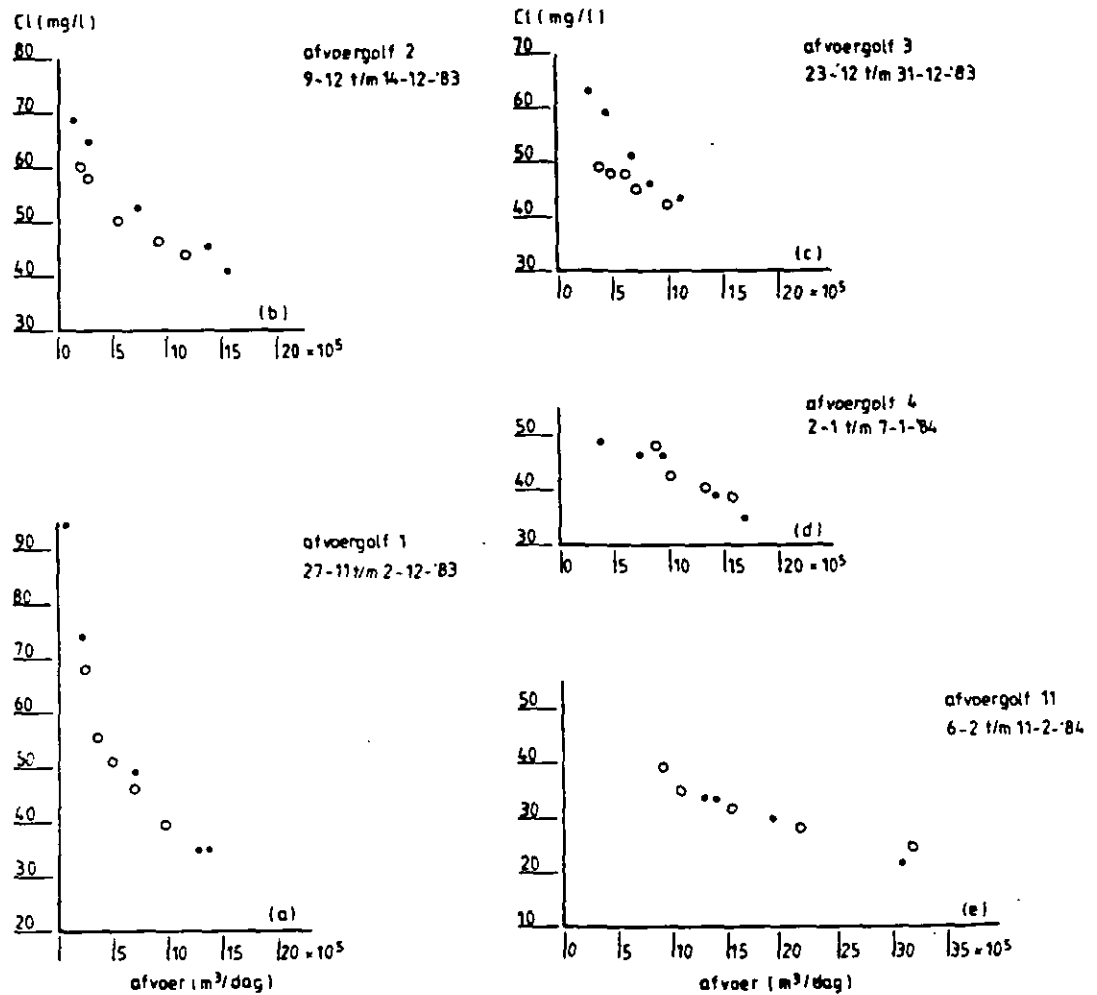


Fig. 15 Relatie tussen het chloridegehalte en het debiet tijdens stijgende (.) en dalende (o) afvoer voor een aantal afvoergolven in de Berkel (zie fig.12a).

3.2.3 Conclusies

Als gevolg van de aanzienlijke lozingen door RWZI's, industrie e.d. bovenstrooms van het meetpunt in de Berkel kan door analyse van de chloride- en fosfaatconcentraties in samenhang met het debiet geen informatie worden verkregen over de grootte van eventuele oppervlakte-afvoer. De capaciteit van de bodem om fosfaat vast te leggen is in het algemeen nog zodanig, dat het transport van fosfaat naar het oppervlaktewater via het grondwater gering is (zie ook § 4.1). De pieken die bij verhoogde afvoer optreden zullen daarom grotendeels veroorzaakt zijn door oppervlakte-afvoer en opwerveling van bodemslib. Uit een analyse van de fosfaatconcentraties tijdens stijgende en dalende afvoer kan worden geconcludeerd dat beide waarschijnlijk een rol spelen. Relatief hoge totaal-P/ortho-P verhoudingen tijdens afvoerpieken zouden er echter op wijzen dat oppervlakte-afvoer een ondergeschikte rol speelt ten opzichte van opwerveling van bodemslib. Meer inzicht in het effect van de opwerveling van bodemslib kan worden verkregen door Bemonstering van het bodemsediment. Kouwe (1982) toonde aan de hand van onderzoek aan de Beerze aan dat de fosfaatconcentraties in het bodemsediment sterk varieerden met de afvoer.

Analyse van de chlorideconcentratie in samenhang met het debiet levert evenmin harde bewijzen voor het optreden van oppervlakte-afvoer. Een dergelijke analyse kan wellicht wel een overtuigend bewijs leveren, indien de bijdrage van lozingen door RWZI's, industrie e.d. aan de chlorideconcentratie in het oppervlaktewater verwaarloosbaar is (zie § 3.3).

3.3 Oppervlakte-afvoer in het stroomgebied van de Nattegatsloot

3.3.1 Inleiding

Om inzicht te verkrijgen in de N- en P-belasting van het oppervlaktewater door diffuse bronnen in het landelijk gebied is door het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, de Dienst Waterhuishouding van de Provincie Gelderland en het Zuiveringsschap Veluwe een onderzoek opgezet in het stroomgebied van de Nattegatsloot. In de periode januari 1979 tot en met maart 1980 zijn debieten gemeten en watermonsters genomen. Van 30 juni tot 12 oktober 1979 is het debiet op 3 dagen in augustus na 0 geweest. Gedurende een vorstperiode van 11 dagen in januari 1980 zijn geen debieten gemeten.

De watermonsters zijn genomen met een automatisch bemonsteringsapparaat. Er werd elk uur een watermonster genomen. Afhankelijk van het optredende debiet zijn mengmonsters samengesteld over perioden van minimaal 6 uur en maximaal 24 uur. De monsters zijn geanalyseerd op chloride, nitraat, kjeldahl-stikstof en totaalfosfaat. In deze studie zullen voornamelijk chloride en totaal-P in de beschouwing worden betrokken. Gedurende 36 dagen in de periode 1 maart 1979 t/m 29 februari 1980 zijn er geen monsters genomen of zijn de monsters verloren gegaan. Het verloop van het debiet en de nitraat, kjeldahl-N, totaal-P en chloride concentraties zijn voor de perioden 20 februari - 1 juli 1979 en 25 oktober 1979 - 24 maart 1980 uitgezet in fig 16a t/m d. Het stroomgebied van de Nattegatsloot is gelegen ten noorden van Scherpenzeel in de Gelderse Vallei en heeft een oppervlakte van ca. 850 ha. In het gebied staan 70 woonhuizen waarin ca. 250 mensen woonachtig zijn. Het huishoudelijk afvalwater wordt binnen het gebied geloosd. Er is geen industriële activiteit en bovendien vinden geen effluentlozingen van rioolwaterzuiveringsinstallaties plaats. De landbouwkundig gebruikte oppervlakte bedraagt 560 ha, ca. 480 ha bestaat uit grasland en 80 ha uit bouwland, waarvan ca. 50 ha snijmaïs. De veebezetting in het gebied kan als hoog worden gekwalificeerd. De grondwaterstand beweegt zich tussen maaiveld in de winterperiode en ongeveer 1.5 m diepte in de zomerperiode.

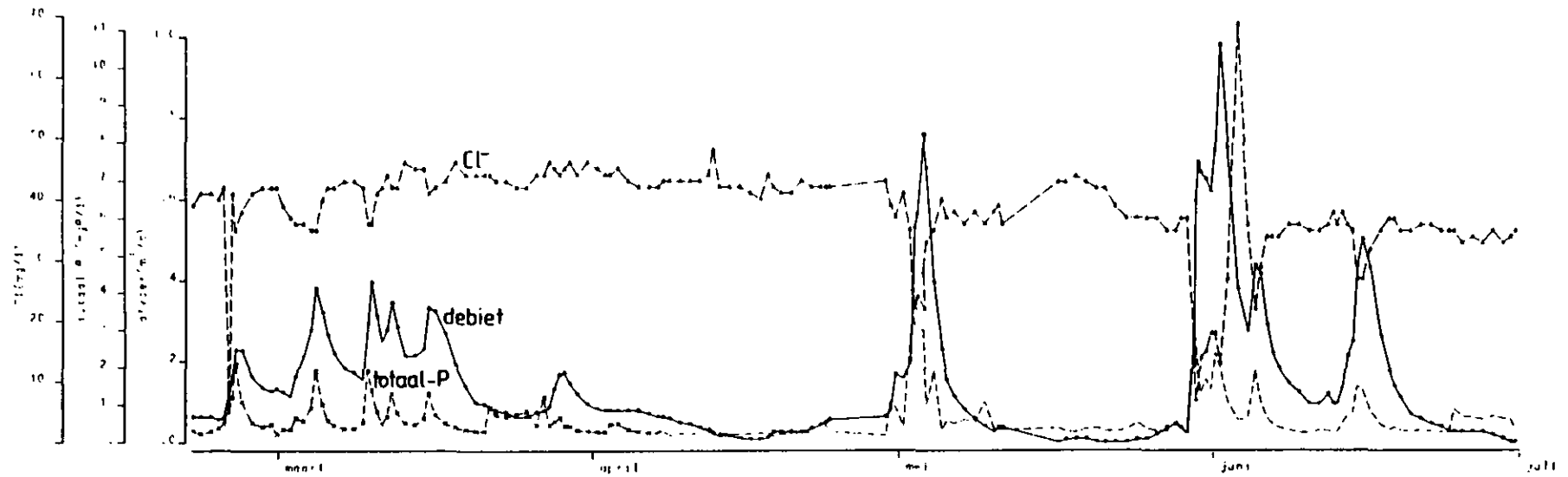


Fig.16a. Verloop van het debiet en de concentraties van totaal-P en chloride in de Nattegatsloot gedurende de periode 20 februari - 1 juli 1979.

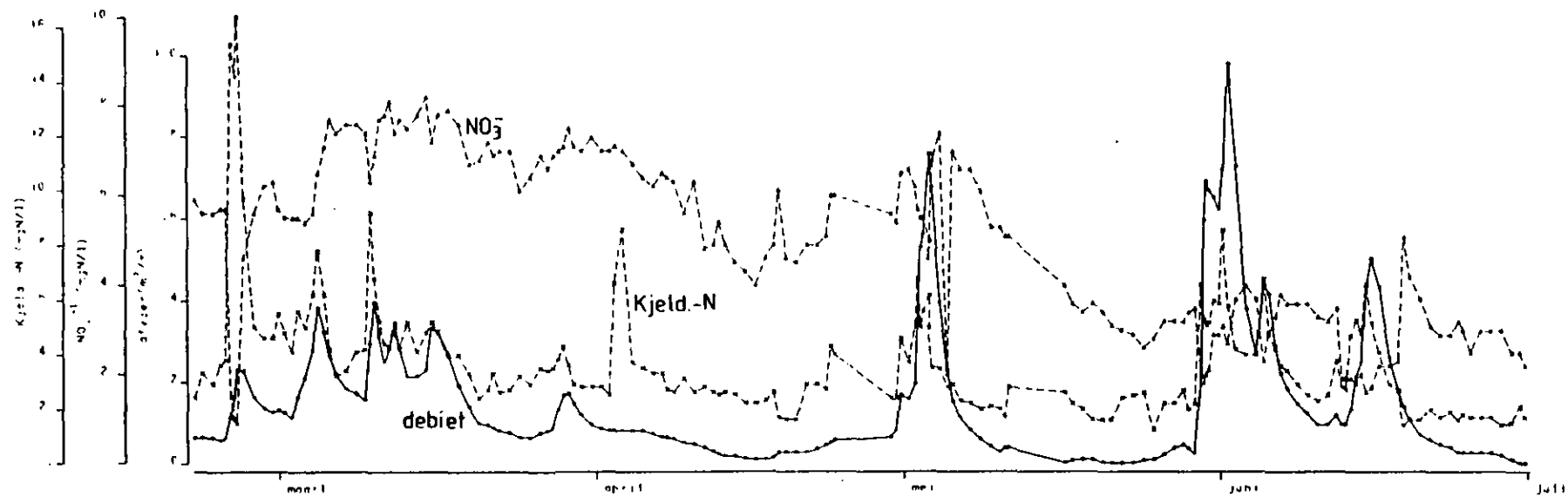


Fig.16b. Verloop van het debiet en de concentraties van nitraat en Kjeldahl-N in de Nattegatsloot gedurende de periode 20 februari - 1 juli 1979.

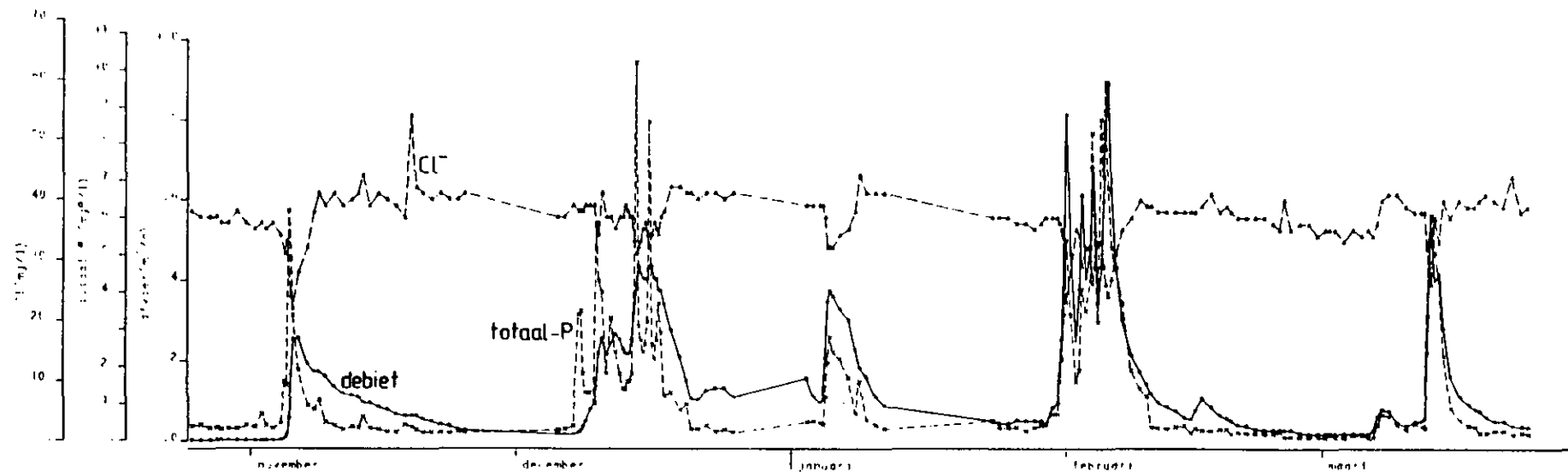


Fig.16c. Verloop van het debiet en de concentraties van totaal-P en chloride in de Nattegatsloot gedurende de periode 25 oktober 1979 - 24 maart 1980.

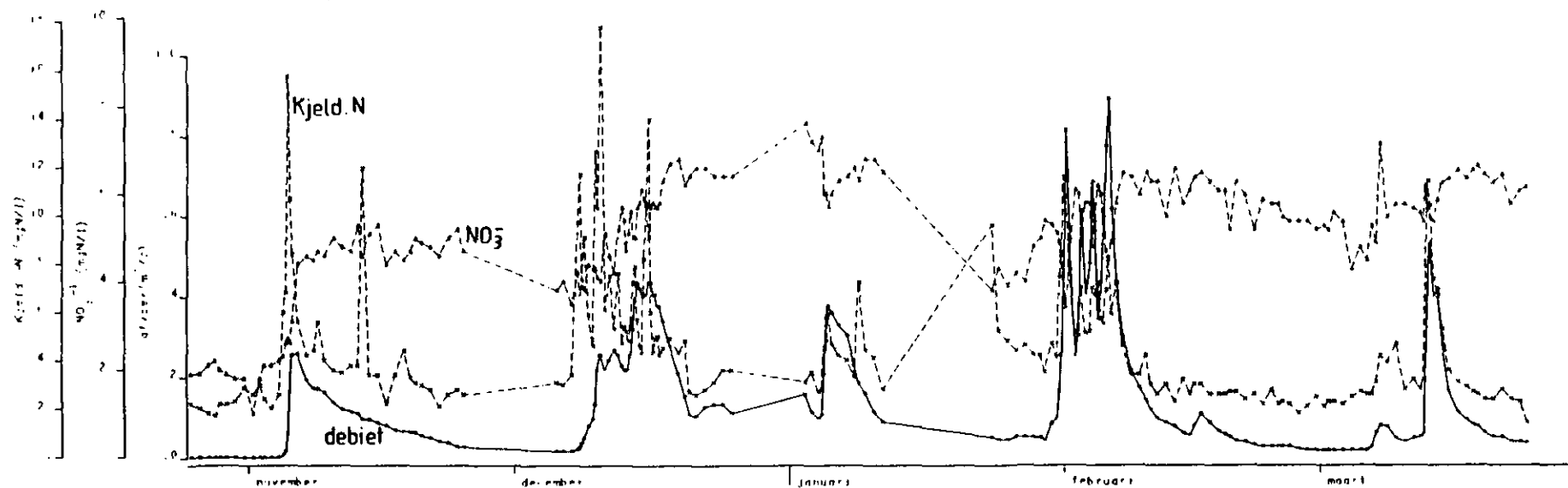


Fig.16d. Verloop van het debiet en de concentraties van nitraat en Kjeldahl-N in de Nattergatsloot gedurende de periode 25 oktober 1979 - 24 maart 1980.

De belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfaat in de periode 1 april 1979 t/m 31 maart 1980 is berekend op 25.7 kg N en 5.2 kg P per ha (Hoekstra en Steenvoorden, 1981). De vrachten kwamen tot stand via een afvoer van 295 mm bij een totale hoeveelheid neerslag van 838 mm. Van de totale N- en P-belasting is ca. 85% afkomstig van landbouwkundige activiteiten. Slechts ca. 2% van de totale P-belasting is afkomstig van lozingen van huishoudelijk afvalwater.

Om een indruk te geven van de hoeveelheid neerslag gedurende de meetperiode zijn in tabel 7 de neerslagcijfers per maand voor het nabijgelegen KNMI-station Woudenberg gegeven. Tevens is de langjarig gemiddelde hoeveelheid neerslag gegeven.

Tabel 7. Neerslagsommen per maand gedurende de periode maart 1979 t/m maart 1980, gemeten op het KNMI-station te Woudenberg. Tevens zijn de langjarig gemiddelde neerslagsommen gegeven.

maand	neerslag- som (mm)	langjarig gemiddelde neerslagsom (mm)
maart 1979	107.9	46.1
april	64.5	50.7
mei	110.4	51.0
juni	95.6	58.5
juli	32.3	80.3
augustus	69.2	93.2
september	27.9	69.4
oktober	43.5	72.1
november	81.8	74.3
december	126.7	68.1
januari 1980	56.4	72.2
februari	65.8	55.6
maart	<u>63.9</u>	<u>46.1</u>
Totaal	945.9	837.6

3.3.2 Analyse van het optreden van oppervlakte-afvoer aan de hand van het concentratieverloop in het oppervlaktewater

Een verhoogde waterafvoer gaat veelal samen met een verhoogde concentratie voor totaal-P en kjeldahl-N, terwijl de chloride- en nitraatgehalten juist op een lager niveau liggen (zie fig. 16). Gezien de geringe invloed van afvalwaterlozingen op de oppervlaktewaterkwaliteit kunnen de sterke verlagingen van de chloride- en nitraatconcentraties tijdens afvoergolven slechts worden verklaard door het optreden van oppervlakte-afvoer. Opvallend zijn de zeer lage chloride- en nitraatgehalten op 24 februari 1979. Dit hangt samen met de matig strenge vorst in de voorafgaande periode, waardoor een deel van de gronden waarschijnlijk bevroren was. Oppervlakte-afvoer speelt hierdoor een relatief grote rol. Tijdens de afvoergebeurtenis gedurende de periode eind mei - begin juni 1979 wordt op 3 juni in één monster een chloridegehalte aangetroffen van 69 mgCl/l. Omdat de gehalten van de overige stoffen op dit tijdstip geen duidelijk afwijkende waarden vertonen, betreft het waarschijnlijk een meetfout. In fig. 17 is voor enkele afvoergolven de chlorideconcentratie tijdens stijgende en dalende afvoer uitgezet tegen het debiet. Het blijkt dat de chlorideconcentratie tijdens dalende afvoer in enkele gevallen hoger is dan tijdens de stijgende afvoer, bij overigens gelijke afvoerhoeveelheden. Dit wijst op een asymetrische vorm van de bijdrage van de oppervlakte-afvoer; een geleidelijke toename tijdens neerslag en een snelle afname zodra de neerslag is gestopt (zie ook fig. 14). Dit betekent dat de oppervlaktewaterafvoer bij stijgende afvoer voor een groter deel uit over het maaiveld afgevoerd water bestaat dan tijdens dalende afvoer.

De capaciteit van de bodem om fosfaat, ammonium en organisch-N vast te leggen is in het algemeen nog zodanig dat de afvoer van deze stoffen via het grondwater naar het oppervlaktewater gering is (zie ook § 4.1). De pieken in de concentraties van de genoemde stoffen die bij verhoogde afvoer optreden, worden daarom grotendeels veroorzaakt door oppervlakte-afvoer en opwerveling van bodemslib. Bij de meeste afvoergolven blijkt de fosfaatpiek vooruit te lopen op de afvoerpiek. Bovendien zijn de totaal-P gehalten in het oppervlaktewater bij stijgende afvoer over het algemeen hoger dan bij dalende afvoer, bij overigens gelijke debieten (zie fig. 18).

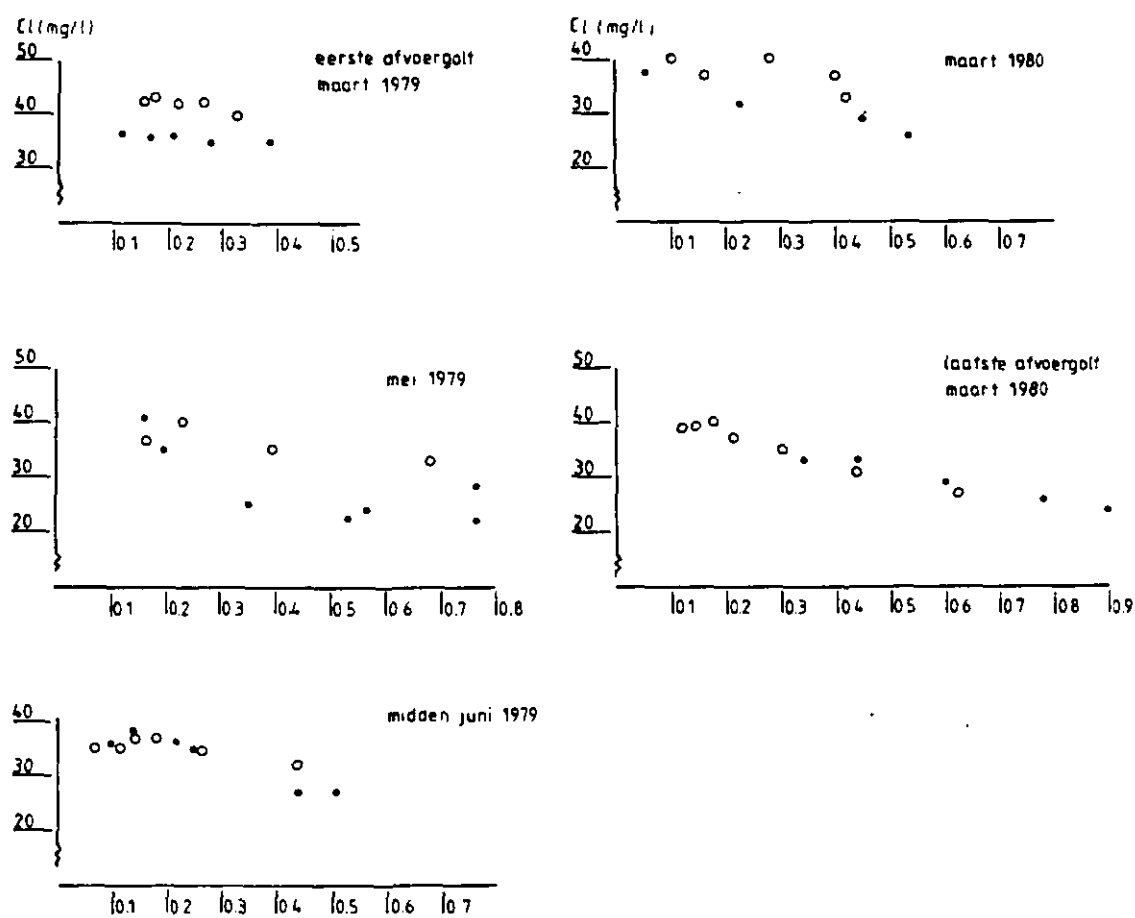


Fig. 17 Relatie tussen chloridegehalte en het debiet tijdens stijgende (.) en dalende (o) afvoer voor een aantal afvoergolven in de Nattegatsloot (zie fig. 16a en 16c).

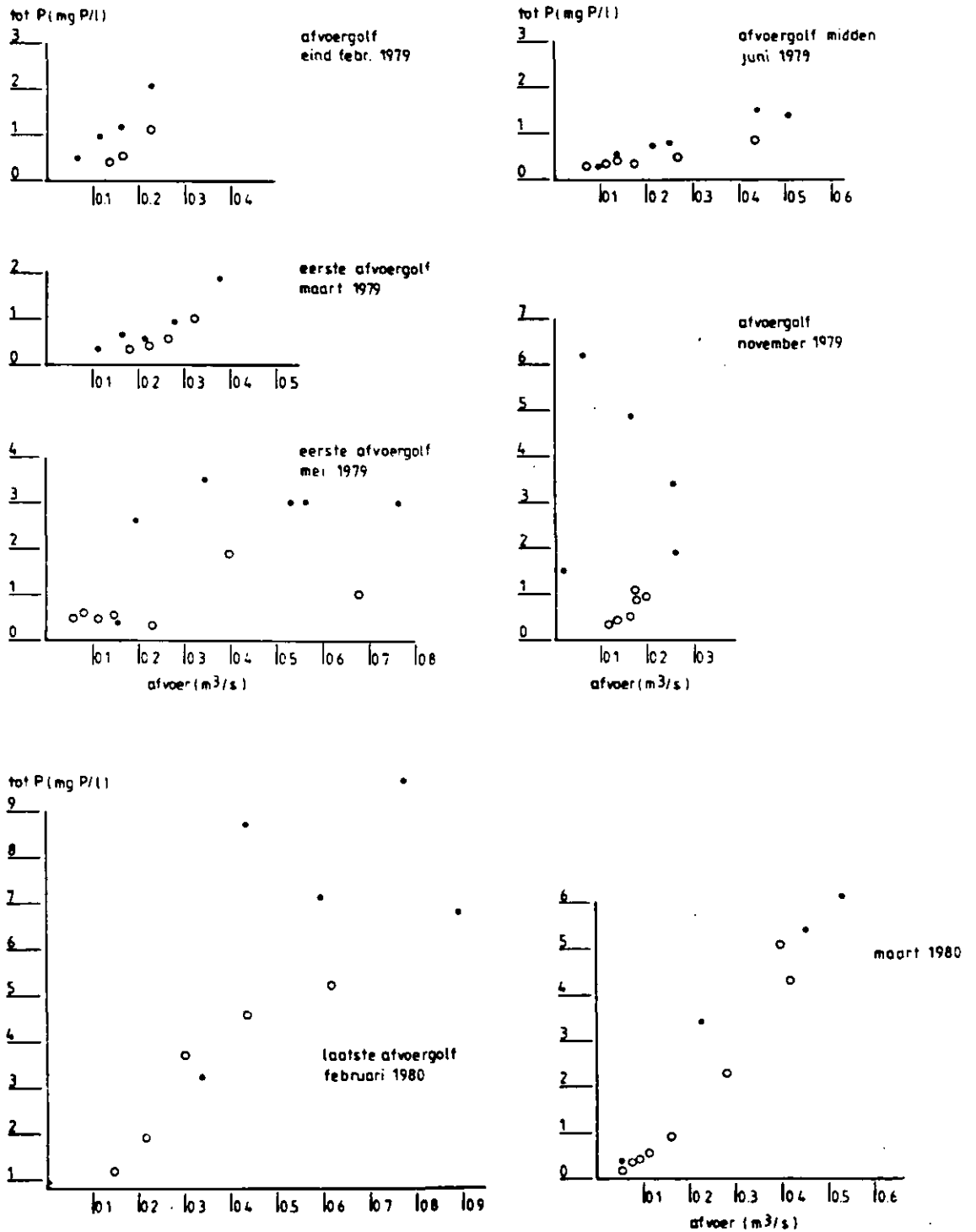


Fig. 18 Relatie tussen het totaal-P gehalte en het debiet tijdens stijgende (.) en dalende (o) afvoer voor een aantal afvoergolven in de Nattegatsloot (zie fig. 16a en 16c).

Dit wijst op opwoeling van fosfaathoudende slibdeeltjes van de bodem. Ook de asymmetrische vorm van de oppervlakte-afvoer bijdrage zorgt voor hogere concentraties bij stijgende afvoer ten opzichte van de concentraties bij dalende afvoer. De mate waarin de fosfaatpiek vooruitloopt op de afvoerpiek neemt meestal af wanneer meerdere afvoergolven elkaar snel opvolgen. Het effect van de opwoeling van bodemslib is blijkbaar groter naarmate het langer geleden is dat een afvoergolf is opgetreden.

Opvallend is dat tijdens de vrijwel constante hoge afvoeren tussen 14 en 17 december 1979 uitgesproken pieken in het totaal-P gehalte van het oppervlaktewater optreden (zie fig. 16c). Omdat geen duidelijk toename in de afvoer optreedt, kan opwoeling van bodemslib hier niet de oorzaak van zijn. Als gevolg van de aanhoudende neerslag gaan blijkbaar steeds meer percelen bijdragen aan de oppervlakte-afvoer en veroorzaken zo nieuwe fosfaatpieken. Het chloridegehalte is hiermee in overeenstemming. Tijdens de afvoergebeurtenis tussen 29 januari en 10 februari 1980 blijken de fosfaatpieken groter te worden bij nagenoeg gelijkblijvende en afnemende grootte van de afvoerpieken. Ook dit wijst op een met de tijd toenemende bijdrage van oppervlakte-afvoer.

Steenvoorden en Hoeymakers (1983) hebben voor de perioden 25 mei t/m 25 juni 1979 en 1 januari t/m 1 maart 1980 de relaties tussen debiet en nitraat, kjeldahl-N, totaal-N (fig. 19a en b), totaal-P en chloride (fig. 19c en d) weergegeven.

Met name in de maanden januari en februari 1980 blijken Kjeldahl-N en totaal-P veel sterker toe te nemen met een stijging van het debiet dan in de periode mei/juni 1979. Dit hangt waarschijnlijk samen met de grotere bergingscapaciteit van de bodem in de laatstgenoemde periode (Steenvoorden en Hoeymakers, 1983). Het effect van opwoeling van bodemslib zal voor het zomer- en winterhalfjaar immers niet verschillen. Als gevolg van deze grotere bergingscapaciteit zullen de nog op de bodem aanwezige mestdeeltjes met de neerslag iets dieper de wortelzone inspoelen, zodat de oppervlakte-afvoer die daarna kan optreden minder mestbestanddelen zal opnemen (zie ook § 2.2.2). Deze veronderstelling wordt bevestigd door het gedrag van het chloride-ion, waarvan de concentraties in de periode mei/juni veel sterker dalen met toenemend debiet dan in januari en februari.

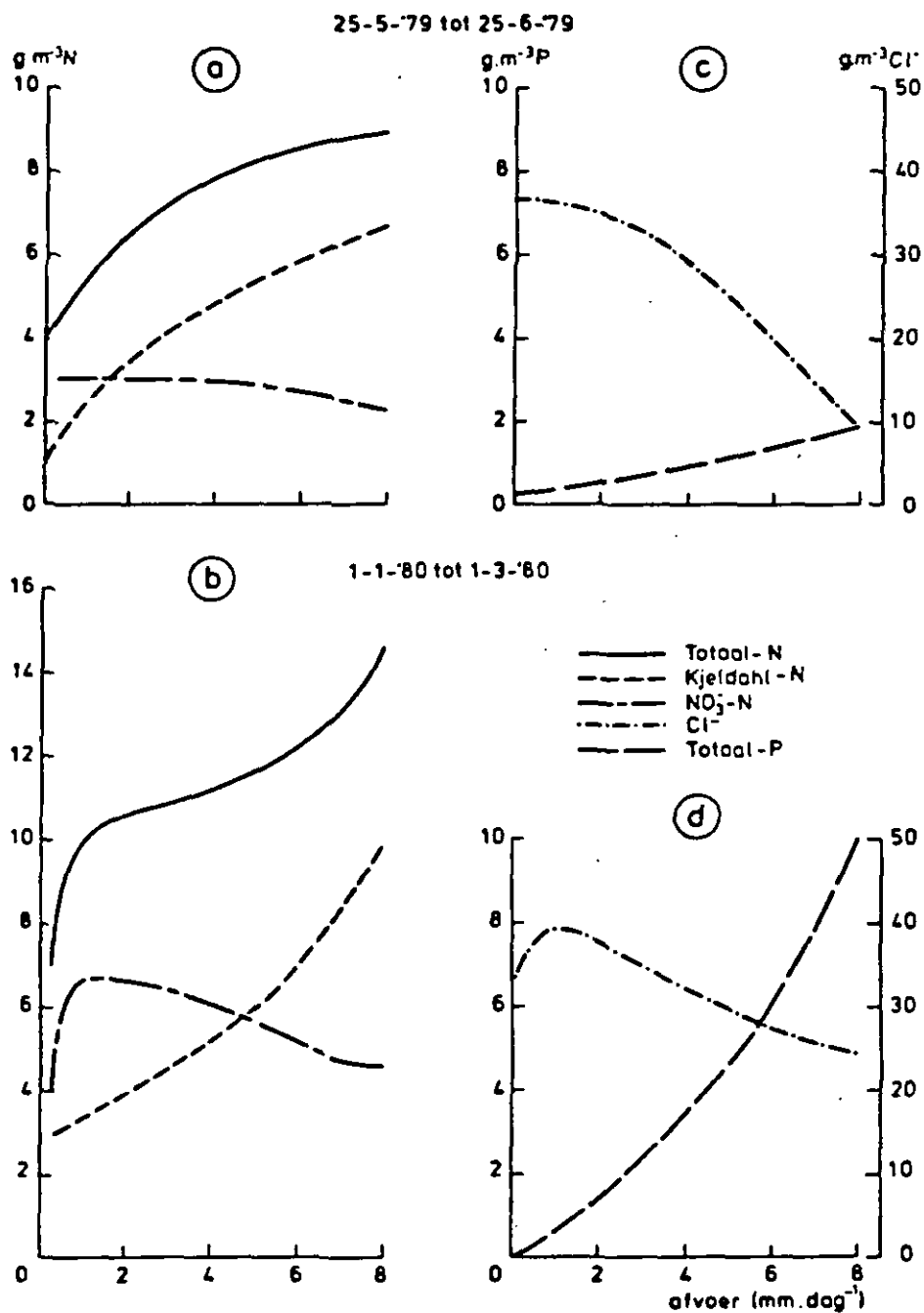


Fig. 19 Relatie tussen het debiet en de concentratie van Kjeldahl-N, nitraat en totaal-N (a,b) en totaal-P en chloride (c,d) in de Nattergatsloot in de periode 25 mei tot 25 juni 1979 en in de periode 1 januari tot 1 maart 1980 (naar Steenvoorden en Hoeymakers, 1983).

Door aan te nemen dat het chloridegehalte in het over het maaiveld afstromende water gedurende de maanden mei en juni 1979 nagenoeg gelijk is aan het gehalte van de neerslag kan met behulp van de vergelijkingen (1) en (2) een schatting worden gemaakt van de hoeveelheid oppervlakte-afvoer. Het chloridegehalte in de neerslag gemeten op enkele nabijgelegen meetstations bedraagt gemiddeld ca. 3 mg/l. De spreiding in de meetwaarden is gering, hoewel incidenteel gehalten hoger dan 10 mg/l mogelijk zijn. De chlorideconcentratie van het grondwater wordt gelijkgesteld aan de gemiddelde concentratie van het oppervlaktewater gedurende perioden met lage afvoer voorafgaand aan en na afloop van de betreffende afvoergolven. Omdat een chlorideconcentratie van 3 mg/l voor de oppervlakte-afvoer een benedengrens is (over het algemeen zal enige invloed van bemesting merkbaar zijn) wordt de hoeveelheid oppervlakte-afvoer op deze wijze waarschijnlijk enigszins onderschat. Verder moet worden opgemerkt dat er bij de berekeningen van uit gegaan is dat geen (illegale) lozingen van stal- en mestwater hebben plaatsgevonden. Door de berekende oppervlakte-afvoer af te trekken van de totale oppervlakte-afvoer wordt een schatting verkregen van de grondwaterafvoercomponent.

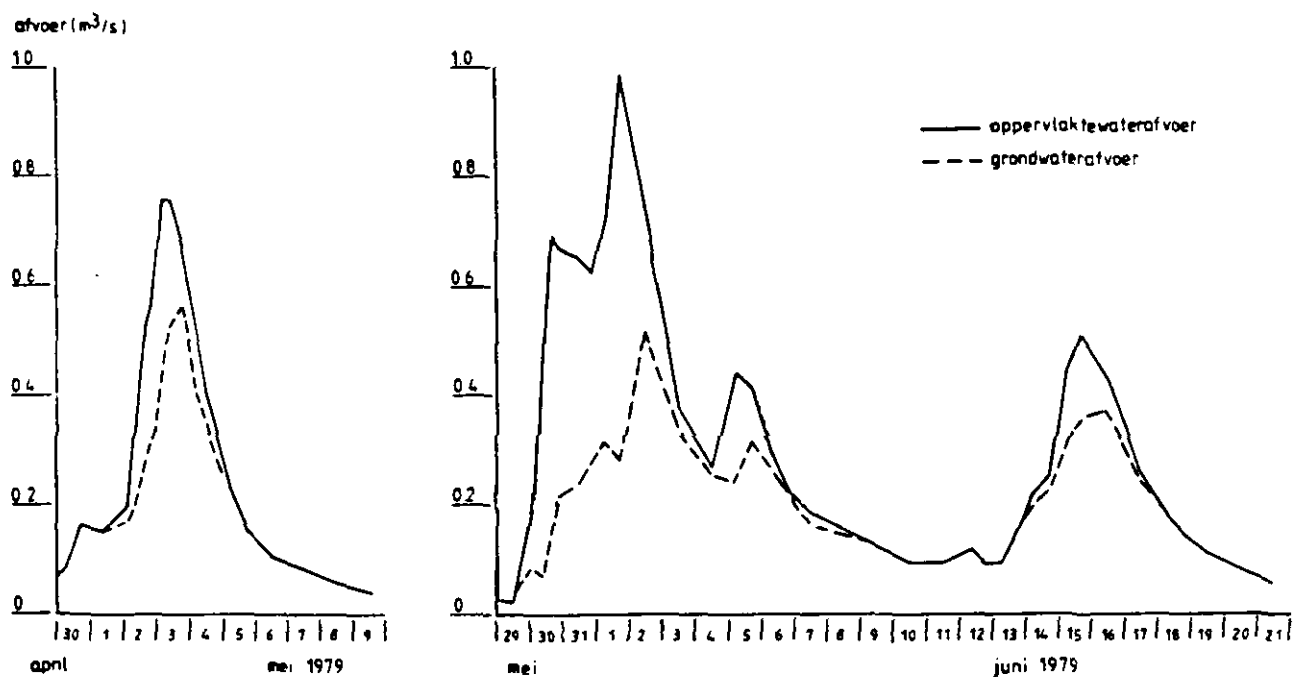


Fig. 20 De berekende grondwaterafvoercomponent en de gemeten oppervlakte-waterafvoer voor de Nattegatsloot gedurende de perioden 30 april tot 10 mei 1979 en 29 mei tot 22 juni 1979.

In fig. 20 is voor de perioden 30 april t/m 9 mei en 29 mei t/m 21 juni 1979 de berekende grondwaterafvoercomponent samen met de totale oppervlaktewaterafvoer uitgezet tegen de tijd. Gedurende de eerste periode wordt de hoeveelheid over het maaiveld afstromend water geschat op ca. 18% van de totale oppervlaktewaterafvoer. Dit betekent dat ca. 8% ($\approx$ 4 mm) van de gevallen neerslag over het maaiveld is afgestroomd. Voor de tweede periode bedragen deze percentages respectievelijk ca. 30 en 18 ($\approx$ 20 mm). Wanneer alleen de afvoergolf van 29 mei t/m 3 juni wordt beschouwd dan is zelfs ca. 27% van de neerslag ($\approx$ 16 mm) over het maaiveld afgevoerd. Tijdens topafvoeren bestaat ca. 70 à 80% van de totale oppervlaktewaterafvoer uit over het maaiveld afstromend water. Uit tabel 7 blijkt dat de maanden mei en juni 1979 relatief nat zijn.

Gedurende beide beschouwde perioden in mei en juni 1979 bedraagt de totale oppervlaktewaterafvoer ca. 45 respectievelijk 59% van de gevallen neerslag. De rest van de neerslag is geborgen in het bodemprofiel. Aangenomen kan worden dat in het winterhalfjaar, wanneer de bergingsmogelijkheden over het algemeen veel geringer zijn, de oppervlakte-afvoer een groter aandeel van de gevallen neerslag zal bedragen dan gedurende het zomerhalfjaar.

Gedurende de drie opeenvolgende dagen 30, 31 mei en 1 juni 1979 is er in totaal ca. 61 mm neerslag gevallen. Vanwege deze hoge neerslagintensiteit en de al redelijk vochtige omstandigheden (in de 9 dagen voorafgaand aan 30 mei is reeds ca. 28 mm neerslag gevallen) komt de oppervlakte-afvoer zeer snel op gang (zie fig. 20). Als gevolg hiervan stijgt het peil in de open waterlopen, waardoor de grondwaterafvoer moeilijk op gang komt. Snelle toename in de grondwaterafvoer treedt dan ook pas op als de neerslag geëindigd is en de oppervlakte-afvoer snel afneemt.

Uit fig. 16 en 19 blijkt dat de chlorideconcentraties in de oppervlakte-afvoer gedurende de maanden januari en februari duidelijk hoger zijn dan die gedurende de maanden mei en juni. Ook indien kort tevoren reeds enige malen oppervlakte-afvoer is opgetreden, is geen duidelijke afname van de chlorideconcentratie in het over het maaiveld afgevoerde water gedurende de wintermaanden waarneembaar, laat staan dat deze de concentratie in de neerslag benadert. Een mogelijke verklaring hiervoor is, dat als gevolg van de veelal slechte ontwatering in het gebied de grondwaterstand bij veel neerslag in het winterhalfjaar tot aan het maaiveld reikt. Hierdoor bevat het over het maaiveld afstromende water steeds een grondwatercomponent. Deze veronderstelling zou kunnen worden bevestigd door bestudering van

gemeten grondwaterstanden.

3.3.3 Conclusie

Vanwege de afwezigheid van industrie en bevolkingscentra in het stroomgebied van de Nattegatsloot zijn landbouwkundige activiteiten de belangrijkste factoren die de oppervlaktewaterkwaliteit beïnvloeden. Dit maakt het gebied uitermate geschikt om aan de hand van bestudering van stofconcentraties, verkregen door continue bemonstering, in samenhang met het debiet informatie te krijgen over het optreden van oppervlakte-afvoer. Het is waarschijnlijk dat in het stroomgebied van de Nattegatsloot de hoeveelheid over het maaiveld afstromend water tijdens perioden met veel neerslag in het winterhalfjaar kan oplopen tot meer dan 50% van de gevallen neerslag en in het zomerhalfjaar tot maximaal ca. 30%. Gedurende korte perioden met topafvoeren zijn deze percentages nog veel hoger (tot maximaal 80 à 90%). Over het gehele winter- en zomerhalfjaar zullen deze percentages natuurlijk een stuk lager zijn. Het blijkt verder dat het optreden van oppervlakte-afvoer een grote invloed kan hebben op de concentraties in het oppervlaktewater van veel verbindingen en dat de grootte van de invloed afhankelijk is van de periode in het jaar.

3.4 Oppervlakte-afvoer in het stroomgebied van de Hupselse Beek

3.4.1 Inleiding

In het kader van de mestoverschotten problematiek is in 1983 in opdracht van de provincie Gelderland door het Zuiveringsschap Oostelijk Gelderland in samenwerking met de Landbouwhogeschool een onderzoek gestart in het stroomgebied van de Hupselse Beek. In het kader van dit onderzoek zijn gedurende de periode 1 juni 1983 t/m 30 april 1984 oppervlakte-watermonsters genomen en is het debiet bepaald. Het waterpeil van de Hupselse Beek wordt per 15 minuten automatisch geregistreerd. Hieruit kan het debiet worden berekend.

De watermonsters zijn verzameld via steek- en continue bemonstering. De steekbemonsteringen zijn gedurende de gehele meetperiode genomen, aanvankelijk elke dag, later minder frequent. Eind november 1983 is er een continubemonsteringsapparaat geplaatst. Het apparaat heeft niet altijd goed

gefunctioneerend. Met de minimaal ieder uur genomen deelmonsters zijn mengmonsters samengesteld over 2, 4, 6, 8 en 24 uur. Alle monsters zijn geanalyseerd op temperatuur, NH_4 , NO_2 , NO_3 , ortho-fosfaat, totaal fosfaat, Cl, pH en geleidend vermogen.

De bestudering van de concentraties van ortho- en totaal-fosfaat, NO_3 en Cl in relatie tot het debiet is reeds uitgevoerd door Lammers (1985). De belangrijkste resultaten van deze studie, aangevuld met nadere analyses, worden hieronder besproken. Eerst wordt echter een korte beschrijving van het studiegebied gegeven.

Het 650 ha grote stroomgebied van de Hupselse Beek is gelegen ten oosten van de lijn Groenlo-Eibergen in Gelderland. De Hupselse Beek is 7 km lang en heeft 7 kleine aftakkingen, variërend in lengte van 300 m tot 1500 m. De maaiveldshoogte van het gebied varieert tussen 24 en 33 m +NAP.

Het gebied is overwegend een grondmorenelandschap. In de ondergrond vindt men een pakket Miocene klei. Deze klei komt in het zuidoostelijk deel van het gebied tot op minder dan 40 cm van de oppervlakte. Naar het noordwesten duikt deze klei weg naar grotere diepte (8-10 m). Over deze Miocene klei ligt een afzetting behorende tot de Formaties van Sterksel en Enschede. Deze formaties bestaan over het algemeen uit grijze, matig grove en middelgrove zanden met soms fijn en grof grind. Deze afzettingen worden afgewisseld door fluvioglaciale en interglaciale afzettingen waaronder een hydrologisch storende keileemlaag. Deze leemlaag komt niet overal voor en is niet overal even dik (enkele decimeters of meer). Op deze oude afzettingen komt nog een betrekkelijk dunne laag dekzanden voor met een uniforme korrelgrootte van ca. 180 μm , die werden aangevoerd met overwegend westenwinden (Pape en Ebbers, 1970). De zandige ondergrond was voor de landbouw niet erg gunstig, zodat dit gebied pas laat ontsloten is.

Het gebied heeft een landbouwkundig karakter. Er komen geen industrie en woonkernen voor. Het gebied bestaat voor $\pm 70\%$ uit grasland, voor $\pm 20\%$ uit bouwland en voor $\pm 10\%$ uit overig gebied.

Hydrologisch gezien is het een vrij complex gebied als gevolg van:

- de wisselende dikte van de ondiepe aquifer
- de storende keileemlaag
- de wisselende textuur van de horizontaal gelaagde fluvioglaciale afzettingen
- de hoogte verschillen op korte afstand
- de ingrepen van de mens (drainage, kanalisatie, diepploegen)

Door de ondiep voorkomende Miocene klei en de keileemlaag is de afwatering altijd slecht geweest, ondanks de hoge ligging van het gebied. Veel percelen zijn nu voorzien van drains en door diepploeg en zijn storende lagen voor de waterhuishouding gebroken. De laatste grote verbeteringen vonden plaats in 1967, waarbij onder andere de Hupselse Beek gekanaliseerd is.

In het gebied komen vooral grondwatertrappen V en VI voor. Wat minder frequent voorkomend zijn III en VII, zie verder Ettema (1983).

3.4.2 Analyse van het optreden van oppervlakte-afvoer aan de hand van het concentratieverloop in het oppervlaktewater

Om het verloop van de concentratie van een aantal stoffen in de tijd te kunnen bestuderen zijn de concentraties van totaal-P, NO_3 , Cl en NH_4 samen met het debiet voor de periode 1 november 1983 tot 1 maart 1984 uitgezet tegen de tijd (fig. 21). In de rest van de meetperiode vertoonde zowel het debiet als de concentraties over het algemeen weinig variatie.

De eerste afvoergolf treedt eind november 1983 op. Gedurende de lange periode met lage afvoer die hieraan voorafgaat, worden de concentraties in het oppervlaktewater bepaald door de samenstelling van het grondwater en van eventuele lozingen van ongezuiverd afvalwater door verspreide bebouwing en van stalwater. Door Lammers (1985) wordt geschat dat via woningen 0.4 kg P/ha/jaar rechtstreeks op het oppervlaktewater wordt geloosd. Omdat deze lozingen plaatsvinden op greppels die het grootste deel van het jaar droog staan, zal de werkelijke bijdrage van deze lozingen een stuk lager zijn. Tijdens de eerste afvoergolf blijken alle concentraties sterk te stijgen. Gezien de relatief lage frequentie van de oppervlaktewaterbemonsteringen en de korte reactietijd van de afvoer op de neerslag wordt echter veel informatie gemist. Toch lijkt het erop dat de stijging van de totaal-P en ammoniumgehalten vooruitloopt op de stijging van de chloride en nitraatgehalten. Dit zou kunnen worden verklaard door de opwerveling van fosfaat en ammonium bevattende slibdeeltjes van de bodem.

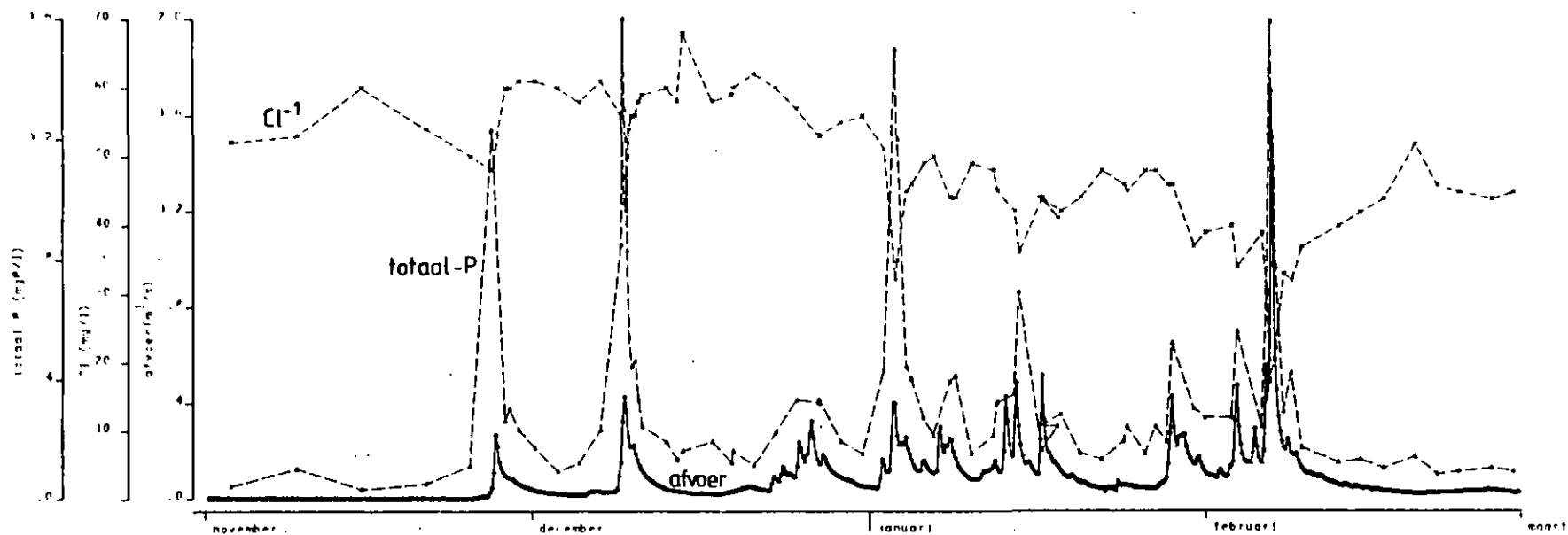


Fig.21a. Verloop van het debiet en de concentraties van totaal-P en chloride in de Hupselse Beek gedurende de periode 1 november - 1 maart 1984.

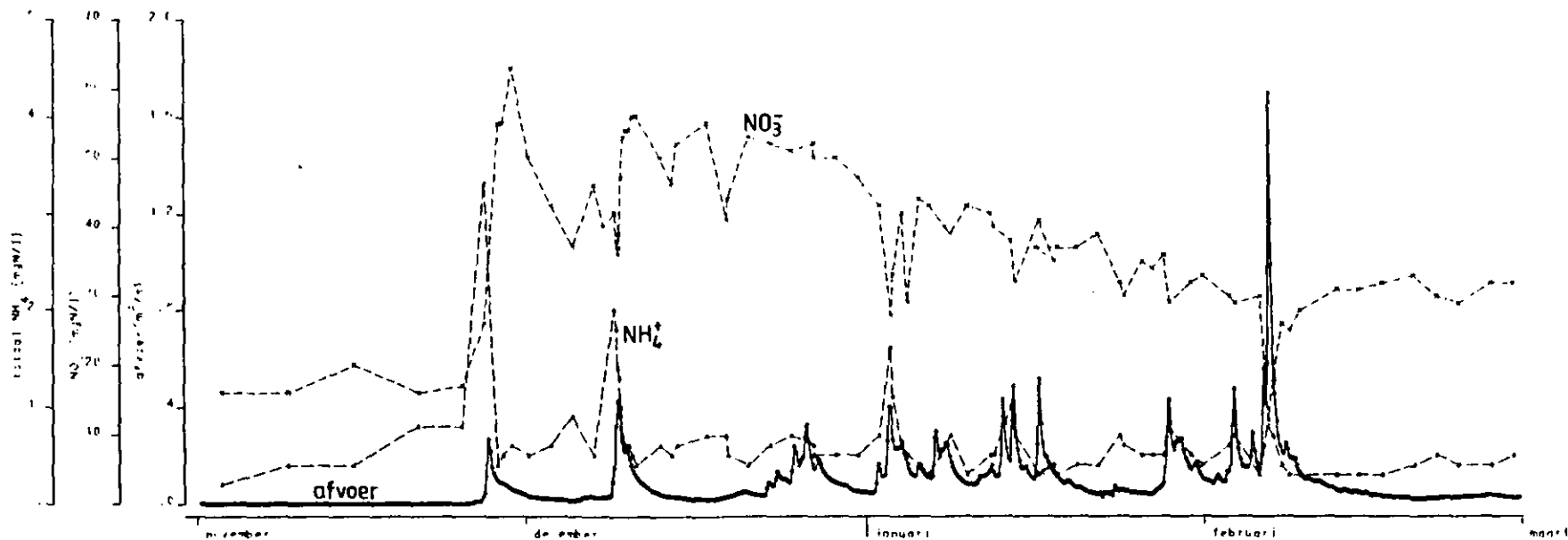


Fig.21b. Verloop van het debiet en de concentraties van ammonium en nitraat in de Hupselse Beek gedurende de periode 1 november - 1 maart 1984.

Een verhoging van de nitraat- en chloridegehalten bij verhoogde afvoer is niet in overeenstemming met wat zou worden verwacht, namelijk een verlaging van deze concentraties. Een mogelijke verklaring zou kunnen zijn het optreden van oppervlakte-afvoer na recente bemesting. Gezien de hoeveelheid neerslag die is gevallen (68.5 mm in drie dagen!) is het optreden van oppervlakte-afvoer zeer waarschijnlijk. Ook een verhoogde aanvoer van nitraat en chloride met het grondwater behoort tot de mogelijkheden. De relatief hoge nitraat- en chlorideconcentraties in het oppervlaktewater gedurende perioden met lage afvoer in december na de afloop van de eerste afvoergolf zouden deze veronderstelling kunnen bevestigen. Dergelijke variaties in de grondwaterkwaliteit kunnen samenhangen met de relatief korte verblijftijden van het grondwater in het stroomgebied.

Bij alle volgende afvoergolven wordt steeds een verlaging van de nitraat- en chlorideconcentraties in het oppervlaktewater waargenomen, terwijl de totaal-P en ammoniumgehalten over het algemeen een verhoging te zien geven. Wat betreft nitraat en ammonium kunnen ook omzettingsprocessen in het oppervlaktewater een rol spelen.

Behalve voor de tweede afvoergolf is het voor de overige afvoergolven niet met zekerheid vast te stellen of de stijging van de totaal-P en ammoniumgehalten vooruitloopt op de afvoergolf. Dit is het gevolg van de lage bemonsteringsfrequentie waardoor, met name bij steekbemonstering, zeer waardevolle informatie wordt gemist.

Wat betreft de chloride- en nitraatconcentraties treedt er behalve een sterke concentratieverlaging tijdens afvoergolven ook een geleidelijke verlaging van de concentraties op gedurende perioden met uitsluitend grondwaterafvoer. Dit wijst op een toenemende verdunning van het grondwater als gevolg van het neerslagoverschot. Slechts tijdens de tweede afvoergolf zijn er voldoende bemonsteringsgegevens beschikbaar om met behulp van de verg. (1) en (2) een schatting te maken van de hoeveelheid over het maaiveld afstromend water. Hierbij wordt weer aangenomen dat de chlorideconcentratie in het over het maaiveld afstromend water gelijk is aan die in de neerslag (ca. 3 mg/l). De chlorideconcentratie in het grondwater wordt gelijkgesteld aan de gemiddelde concentratie in het oppervlaktewater, gedurende de perioden met lage afvoer voorafgaand aan en na afloop van de afvoergolf ($C = \text{ca. } 60 \text{ mg/l}$). Op deze wijze wordt geschat dat ca. 15% van de afvoergolf ^gtussen 8 en 11 december 1983 bestaat uit over het maaiveld afgevoerd water. Dit betekent dat ca. 16% ($\approx 6 \text{ mm}$) van de

gedurende deze periode gevallen neerslag over het maaiveld is afgestroomd. Omdat de concentratie in het over het maaiveld afgevoerde water waarschijnlijk hoger is dan 3 mg/l en er bij de berekeningen vanuit is gegaan dat de verdunning van het oppervlaktewater uitsluitend wordt veroorzaakt door de oppervlakte-afvoer en niet door het grondwater, moeten bovenstaande cijfers worden beschouwd als een indicatie van de hoeveelheid oppervlakte-afvoer.

3.4.3 Analyse van het optreden van oppervlakte-afvoer aan de hand van ¹⁸O gehalten

Gedurende het winterseizoen vertoont de isotopenverhouding $\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}$ in de neerslag over het algemeen een lagere waarde dan die in het grondwater. De isotopensamenstelling van de grondwaterafvoer is over het algemeen gelijk aan de gemiddelde samenstelling van de jaarlijkse neerslag. Het bovenstaande impliceert dat het isotoop ¹⁸O kan worden gebruikt als tracer bij de schatting van de hoeveelheid oppervlakkig afstromend water, dat wil zeggen zowel de oppervlakte-afvoer als de afvoer over slechtdoorlatende lagen in de onverzadigde zone.

Gedurende de periode 10 t/m 24 november 1972 is het oppervlaktewater van de Hupselse Beek iedere 8 uur bemonsterd en is de neerslag in het stroomgebied gedurende perioden van 8 uur verzameld (Mook e.a., 1974). Alle monsters zijn geanalyseerd op de verhouding $\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}$. De neerslag en oppervlaktewater-afvoer gedurende de genoemde periode zijn weergegeven in fig. 22.

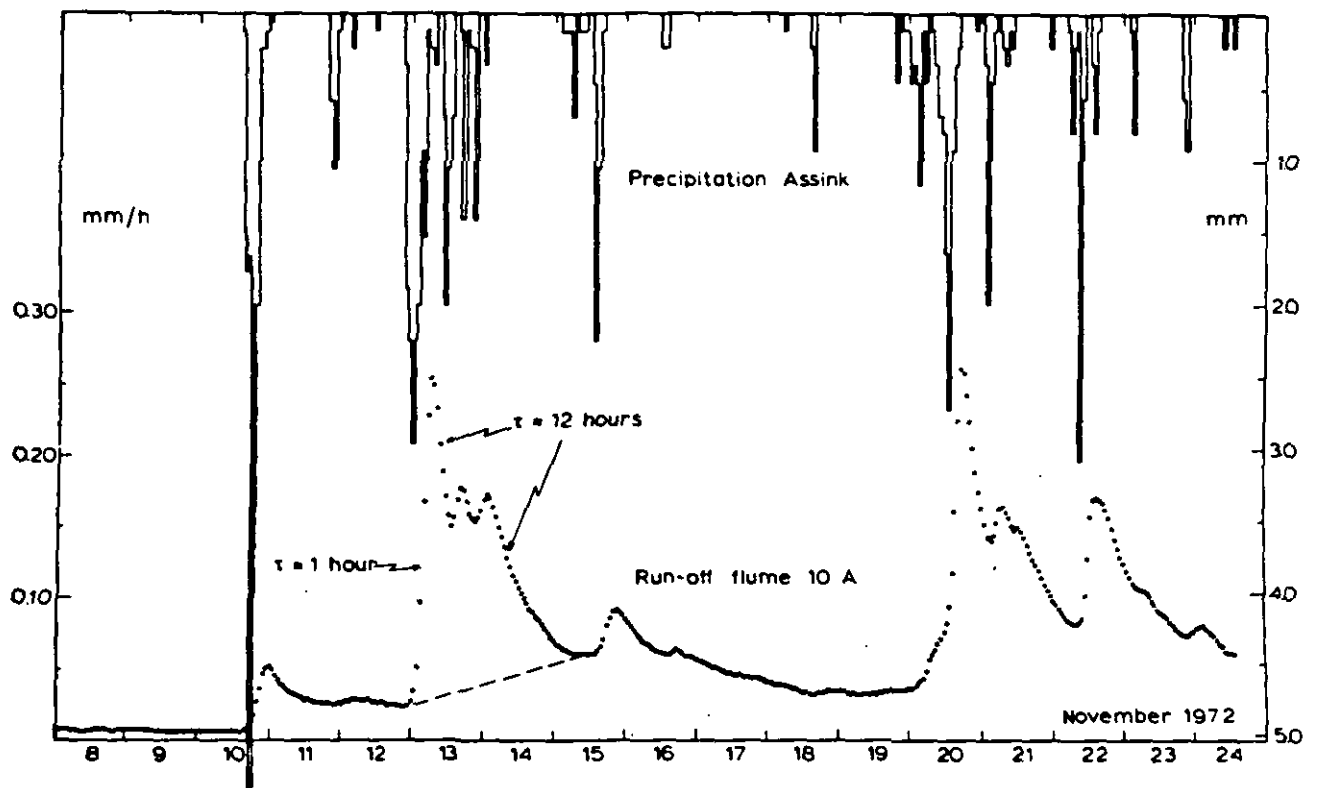


Fig.22. Neerslag gemeten op station Assink en oppervlaktewaterafvoer gemeten bij stuw 10A voor het stroomgebied van de Hupselse Beek gedurende de periode 8 tot 25 november 1972 (naar Mook e.a., 1974).

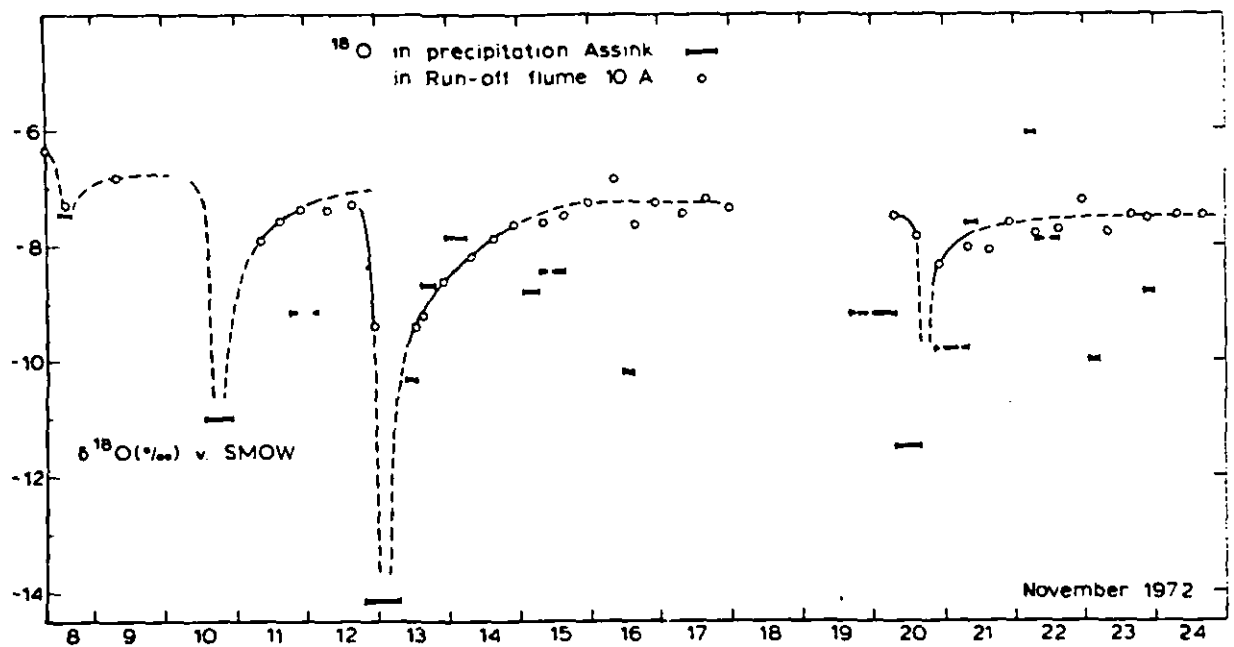


Fig.23. $\delta^{18}\text{O}$ in de neerslag op station Assink en in de oppervlakte-waterafvoer bij stuw 10A (naar Mook e.a., 1974).

De resultaten van de ¹⁸O analyses van de neerslag- en oppervlaktewatermonsters zijn gegeven in fig. 23. Voor de betekenis van parameter δ in fig. 23 wordt verwezen naar bijlage 1.

Alleen de afvoergolf gedurende de periode 12 tot 15 november is door de auteurs nader geanalyseerd. Deze afvoergolf bestaat uit één grote en twee kleinere afvoerpieken. Als gevolg van de te grote bemonsteringsintervallen is het ¹⁸O gehalte van het oppervlaktewater tijdens de eerste afvoerpiek niet bekend. Door aan te nemen dat de grondwaterafvoer tijdens de eerste afvoerpiek nog nauwelijks is toegenomen, kan echter een schatting worden gemaakt van dit gehalte. De δ ¹⁸ waarde van de grondwaterafvoer gedurende de genoemde periode is gelijkgesteld aan -7‰ (zie fig. 22). Nu kan worden berekend dat 13% (ca. 3 mm) van de in de periode 12 tot 15 november gevallen neerslag oppervlakkig is afgevoerd.

3.4.4 Conclusies

Aan de hand van concentraties van chloride, totaal-P, ammonium, nitraat en ¹⁸O in het water van de Hupselse Beek tijdens perioden met hoge afvoer is aangetoond dat bij intensieve neerslag oppervlakte-afvoer in het stroomgebied kan optreden. De eerste afvoergebeurtenis gedurende het winterhalfjaar 1983/1984 vond eind november plaats na een langdurige droge periode. Hoewel de bergingsmogelijkheden in de bodem groot waren, is zeer waarschijnlijk oppervlakte-afvoer opgetreden als gevolg van de zeer hoge neerslagintensiteit. Gedurende een aantal van de vele afvoergebeurtenissen in de daaropvolgende maanden blijkt het optreden van oppervlakte-afvoer duidelijk uit het verloop van de concentraties van verschillende stoffen, met name chloride, in het oppervlaktewater. De bemonsteringsfrequentie was slechts gedurende één afvoergolf (8-11 december 1983) toereikend om met behulp van chloride als tracer een schatting te maken van de hoeveelheid over het maaiveld afstromend water. Van een afvoergolf in november 1972 is een schatting van de hoeveelheid oppervlakkige afstroming bekend. In dit laatste geval is ¹⁸O als tracer gebruikt.

4. ANALYSE VAN HET OPTREDEN VAN OPPERVLAKTE-AFVOER AAN DE HAND VAN FOSFAATBALANSEN

4.1 Inleiding

In een aantal stroomgebieden in Nederland zijn fosfaatbalansstudies uitgevoerd. De termen die in de balansstudies een rol spelen zijn (Steenvoorden en de Heus, 1984):

- effluenten van RWZI's;
- lozingen van ongezuiverd afvalwater (riooloverstorten, huishoudelijk afvalwater van verspreide bebouwing, afvalwaterlozingen door de industrie, recreatie);
- neerslag;
- gas- en koelwaterbronnen;
- kwel- en wegzijging;
- toe- en afvoer van oppervlaktewater;
- plantfixatie;
- natuurlijke bodemuitspoeling;
- landbouw;

De verschillende bronnen kunnen apart bemonsterd worden (bv. zuiveringsinstallaties) of er kan op basis van literatuurgegevens een schatting worden gemaakt.

De verschillende wegen waarlangs P vanuit de landbouw het oppervlaktewater kan bereiken, zijn onder andere de volgende:

- uitspoeling van P uit meststoffen via het grond- en drainwater naar het oppervlaktewater.
- afspoeling van P uit meststoffen over de bodem naar het oppervlaktewater
- toevoer van P via lozing van spoelwater uit melktanks en leidingen en via de lozing van stalwater en mest.

Een directe berekening of meting van de bijdrage door landbouwkundige bronnen is niet goed mogelijk. Slechts onderdelen van de landbouwbijdrage kunnen in bijzondere gevallen worden geschat. De bijdrage van de landbouw wordt daarom meestal als restpost van de balans berekend. Een groot nadeel van deze indirecte methode is dat meet- of schattingsfouten bij andere posten doorwerken in de waarde van de restpost. Uiteraard speelt hierbij de relatieve omvang van de verschillende posten een rol; in gebieden met een overwegend agrarisch karakter is het belang van de overige posten soms

gering.

Uit een studie van Van Riemsdijk e.a. (1983), waarin o.a. onderzoek is gedaan naar de fosfaatgehalten en de fosfaatvastleggingscapaciteit van verschillende gronden in Gelderland (Gelderse Vallei, Achterhoek en Rivierenland) blijkt dat op hoog belaste percelen de laag van 0-50 cm beneden maaiveld in 16% van de gevallen reeds verzadigd is met fosfaat en soms al tot minstens een meter diepte. In het ondiepe grondwater werden plaatselijk zeer hoge fosfaatgehalten gemeten (tot 100 mg P.l⁻¹!). Oosterloo (1986) vond in het stroomgebied van de Lunterse Beek op een aantal plaatsen fosfaat-gehalten in het ondiepe grondwater die aanzienlijk hoger zijn dan de natuurlijke concentratie (gemiddeld 1.39, maximaal 4.8 en minimaal 0.27 mg P.l⁻¹). Uit het onderzoek van Van Riemsdijk e.a. (1983) blijkt verder dat de fosfaatvastleggingscapaciteit in de Gelderse Vallei zeer gering is. De nadelige effecten van uitspoeling zullen het eerst optreden in gebieden met hoge grondwaterstanden waar de weg via het grondwater naar het oppervlaktewater relatief kort is. Van Riemsdijk e.a. (1983) voorspellen dat bij ongewijzigd beleid binnen 5 à 10 jaren op grote schaal doorslag van fosfaat naar het grondwater zal optreden. Steenvoorden en de Heus (1984) veronderstellen dat in de huidige situatie, rekening houdend met de transporttijd in de ondergrond, de fosfaatbalansen voor oppervlaktewater nauwelijks worden beïnvloed door uitspoeling van meststoffen, behalve bij jonge ontginningsgronden onder hoogveen. De fosfaatafvoer van landbouwgronden zou volgens deze auteurs tot stand komen via oppervlakte-afvoer. Geconcludeerd kan worden dat lokaal tijdens hoge grondwaterstanden via de ondiepe grondwaterafvoer uitgespoeld fosfaat naar het oppervlaktewater kan worden getransporteerd. Op stroomgebiedsniveau zal de bijdrage van uitgespoeld fosfaat aan de fosfaatbalans echter nog vrij gering zijn.

Door de controle van de waterbeheerder lijkt het onwaarschijnlijk dat illegale lozingen van mest en stalwater substantieel bijdragen aan de fosfaatbalans. Wat betreft de lozing van spoelwater van melkinstallaties kan voor een bedrijfsoppervlakte van 20 ha de gemiddelde bijdrage aan de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater worden geraamd op maximaal 0.25 kg P per ha grasland, als wordt aangenomen dat bij 50% van de bedrijven het spoelwater naar de mestput wordt gebracht (Steenvoorden en de Heus, 1984). Een deel van de rundveehouderijbedrijven heeft onvoldoende opslagruimte voor de geproduceerde mest. Een deel van de gierproductie tijdens de

stalperiode wordt op deze bedrijven naar open water afgevoerd. In een aantal P-balansstudies is deze lozing van stalwater geschat (zie Steenvoorden en de Heus, 1984). De schattingen variëren van 0 tot 0.8 kg P/ha/jaar, met een gemiddelde van ca. 0.2 kg P ha⁻¹ jaar⁻¹.

Uit het bovenstaande kan worden geconcludeerd dat de bijdrage vanuit de landbouw, die op andere wijze plaats vindt dan via oppervlakte-afvoer over het algemeen niet hoger zal zijn dan 0.4 kg P/ha/jaar met een maximum van ca. 1 kg P/ha/jaar. Dit betekent dat indien de term landbouw in een P-balansstudie meer bedraagt dan ca. 1 kg P/ha/jaar het optreden van oppervlakte-afvoer waarschijnlijk is. Een landbouwbijdrage lager dan 1 kg P/ha/jaar betekent echter niet dat oppervlakte-afvoer geen rol van betekenis speelt. Het optreden van oppervlakte-afvoer is immers sterk afhankelijk van de klimatologische omstandigheden. Bovendien is de fosfaatconcentratie in het over het maaiveld afstromend water afhankelijk van het bemestingsniveau, de lengte van de periode tussen bemesting en het optreden van oppervlakte-afvoer en de totale hoeveelheid over het maaiveld afgevoerde neerslag (zie § 2.2.2). In de volgende paragraaf zal aan de hand van een aantal uitgevoerde fosfaatbalansstudies nagegaan worden of het optreden van oppervlakte-afvoer kan worden aangetoond.

4.2 Analyse van het optreden van oppervlakte-afvoer aan de hand van fosfaatbalansstudies

Steenvoorden en de Heus (1984) hebben een groot aantal onderzoeken naar fosfaatbalansen geëvalueerd. Onderscheid is gemaakt naar zandgebieden en klei- en veengebieden. Van de elf onderzochte balansstudies in zandgebieden komen er in zeven geen RWZI's voor, terwijl daar tevens geen inlaat van water van buiten het gebied heeft plaatsgevonden. De restterm, welke behalve de landbouwbijdrage ook de natuurlijke bodemuitspoeling en de afneming door berging in het beek- of slootbodemslib omvat, varieert bij deze zeven studies van 0.2 tot 5.2 kg P/ha/jaar. Bij zes van de zeven P-balansstudies is de restterm laag en mag de invloed van oppervlakte-afvoer zeer gering worden geacht. De balansperiode van deze studies valt echter samen met een droog jaar. In het zevende balansgebied, het stroomgebied van de Nattegatsloot, wordt de bijdrage vanuit de landbouw geschat op 4.8 kg P/ha/jaar, waarbij oppervlakte-afvoer van landbouwgrond als een belangrijke bron moet worden beschouwd. (Hoekstra en Steenvoorden, 1981; zie ook § 3.3

van dit rapport). Binnen de balansperiode van dit gebied vallen een aantal natte maanden.

Gezien de bijdrage van RWZI-effluenten aan de totale P-afvoer (meer dan 80%) en de nauwkeurigheid waarmee deze bijdragen zijn geschat, is van de vier balansstudies waar RWZI's in voorkomen alleen het Beerze onderzoek van 1980 geschikt om met enige zekerheid de diffuse verontreiniging door de landbouw als restterm te kwantificeren. Uit metingen volgt dat berging in het bodemslib op jaarbasis geen rol speelt. Wordt van de restterm de natuurlijke belasting (ca. 0.3 kg P/ha/jaar) afgetrokken dan resteert voor de bijdrage vanuit de landbouw in het stroomgebied van de Beerze ca. 0.4 kg P/ha/jaar. Hoewel er een aantal natte wintermaanden binnen de balansperiode vallen, is het optreden van oppervlakte-afvoer in dit gebied niet uit de grootte van de landbouwbijdrage af te leiden.

Aangezien de natuurlijk uitspoeling in Holocene gebieden groot kan zijn en sterk kan variëren van gebied tot gebied, met name wanneer veen in de boven- of ondergrond voorkomt, wordt bij de door Steenvoorden en de Heus (1984) behandelde klei- en veengebieden geen inzicht verkregen in de toevoer van fosfaat via landbouwbronnen.

Recent zijn fosfaatbalansen gepubliceerd van de Lunterse Beek (Oosterloo, 1986), de Schuiten Beek (TAUW Infra Consult b.v., 1986), de Laak (Kok, 1984) en de Hupselse Beek (Lammers, 1985). Het stroomgebied van de Lunterse Beek ligt midden in de Gelderse Vallei. De stroomgebieden van de Schuiten Beek en de Laak liggen in het noorden van de Gelderse Vallei. In alle drie deze stroomgebieden komen grote oppervlakken met laaggelegen, slecht ontwaterde gronden voor. Het stroomgebied van de Hupselse Beek is gelegen in Oost Gelderland ten zuidoosten van Eibergen. Het gebied is redelijk goed ontwaterd.

De Lunterse Beek is gedurende de periode 1-4-1982 tot 1-10-1983 dagelijks proportioneel met het debiet bemonsterd. Het debiet van de Lunterse Beek is continu gemeten met behulp van een meetschot. De verschillende fosfaatbronnen in het stroomgebied zijn uitgebreid geïnventariseerd (Oosterloo, 1986). De Schuiten Beek is gedurende de periode mei 1976 tot oktober 1983 wekelijks bemonsterd (steekmonsters). Het debiet werd gelijktijdig met de bemonstering gemeten met behulp van een Ottmolen. Over de verschillende fosfaatbronnen in dit gebied is slechts globale informatie beschikbaar. De gegevens over de Laak zijn overgenomen uit Oosterloo (1986). In deze publicatie zijn geen gegevens over bemonsteringsperiode en

-wijze gegeven. Voor gegevens over de bemonstering van de Hupselse Beek wordt verwezen naar § 3.4.1.

Tabel 8. Fosforafvoer (kg./ha/jaar) vanuit de landbouw in vier stroomgebieden in de Gelderse Vallei en in het stroomgebied van de Hupselse Beek. Tussen haakjes is de afvoer per ha cultuurgrond weergegeven.

Natte- gat- sloot	Laak	Schuiten- beek	Hupselse Beek	<u>Lunterse Beek</u>	
				1-4-'82 tot 1-4-'83	1-10-'82 tot 1-10-'83
4.8(7.3)	4.0(5.3)	(2.8)	0.4-0.8*	3.5(4.2)	6.7(8.1)

* met en zonder bijdrage verspreide bebouwing.

In tabel 8 zijn voor de 4 stroomgebieden de bijdrage vanuit de landbouw aan de fosforafvoer gegeven. Voor de volledigheid is ook de bijdrage uit het stroomgebied van de Nattegatsloot gegeven. De berekende bijdragen van de landbouw in de stroomgebieden van de Schuiten Beek en de Hupselse Beek zijn waarschijnlijk te laag. Dat wordt veroorzaakt door de onregelmatige verdeling van de fosfaatafvoer over het jaar. In kleinere stromende wateren kan een zeer belangrijk deel (bv. 50%) van de jaarlijkse fosfaatvracht tijdens enkele afvoerpieken worden getransporteerd. De kans is groot dat dergelijke afvoerpieken bij steekbemonstering worden gemist.

Uit tabel 8 blijkt dat het optreden van oppervlakte-afvoer in de vier stroomgebieden in de Gelderse Vallei zeer waarschijnlijk is. De eerste 12 maanden van de onderzoeksperiode in het Lunterse Beek gebied (1-4-'82 tot 1-4-'83) vormen een jaar met een normale hoeveelheid neerslag, de laatste 12 maanden (1-10-'82 tot 1-10-'83) vormen een nat jaar (zeer nat voorjaar). De onderzoeksperiode van de Schuiten Beek (ruim 7 jaar!) omvat relatief droge, natte en gemiddelde jaren. Uit de grootte van de landbouwbijdrage aan de fosfaatafvoer in het stroomgebied van de Hupselse Beek kan niet geconcludeerd worden dat oppervlakte-afvoer is opgetreden. Tijdens het onderzoek in het Hupselse Beek gebied viel over de gehele periode een normale hoeveelheid neerslag. De maanden december tot en met februari en

mei waren echter relatief nat, enkele zomermaanden daarentegen relatief droog.

Het blijkt dat in jaren met een normale hoeveelheid neerslag de landbouwbijsdrage vrijwel volledig tot stand komt binnen de periode 1 oktober - 1 april (zie tabel 9). In geval van een nat voorjaar vinden in de maanden april en mei relatief zeer grote fosfaatemissies plaats.

Tabel 9. Procentuele verdeling van de landbouwbijsdrage over een viertal perioden, voor jaren met normale hoeveelheid neerslag en voor natte jaren (met name nat voorjaar). (Naar TAUW, Infra Consult bv., 1986).

a. Normale hoeveelheid neerslag

	Lunterse beek	Schuiten- beek	Hupselse beek
1 okt. - 1 febr.	68,3	51,7	80
1 okt. - 1 mrt.	85,2	57,5	100
1 okt. - 1 april	98,9	93,6	100
1 april - 1 okt.	1,1	6,6	0

b. Natte jaren

1 okt. - 1 febr.	38,1	34,7	-
1 okt. - 1 mrt.	47,5	37,8	-
1 okt. - 1 april	55,2	42,9	-
1 april - 1 okt.	44,8	57,2	-

4.3 Conclusies

Geconcludeerd kan worden dat er van de fosfaatbalansstudies, die in Nederland zijn uitgevoerd, slechts enkele geschikt zijn voor het aantonen van het optreden van oppervlakte-afvoer. Dat wordt voornamelijk veroorzaakt

door het feit dat de landbouwbijdrage aan de fosfaatafvoer als restpost van de balans wordt berekend. Daardoor wordt de betrouwbaarheid van deze bijdrage bepaald door de nauwkeurigheid waarmee de overige balansposten zijn berekend. Slechts in gebieden met een overwegend agrarisch karakter (o.a. Nattegatsloot) en in gebieden waar over de overige balansposten voldoende informatie beschikbaar is (o.a. Lunterse Beek) kan de landbouwbijdrage voldoende nauwkeurig worden bepaald.

5. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

De hoeveelheid oppervlakte-afvoer die in een bepaald gebied zal optreden is afhankelijk van de neerslagintensiteit en -verdeling, maaiveldsberging, infiltratiecapaciteit en ontwateringssituatie. Volgens berekeningen zal op graslandpercelen met een maaiveldshelling van 1 à 2% en overigens voldoende ontwatering oppervlakte-afvoer pas een rol van betekenis spelen indien de infiltratiecapaciteit kleiner is dan ca. 5 mm etm^{-1} . Bij volledig vlakke percelen zal oppervlakte-afvoer pas van betekenis zijn bij zeer lage waarden van de infiltratiecapaciteit (ca. $\leq 1 \text{ mm etm}^{-1}$). Bij onvoldoende ontwatering neemt de gevoeligheid voor oppervlakte-afvoer sterk toe. Zo is berekend dat op graslandpercelen in veenweidegebieden de oppervlakte-afvoer bij slechte ontwatering kan oplopen tot enkele honderden millimeters per jaar. Voor de meeste percelen in Nederland is de maaiveldshelling kleiner of gelijk aan 2%. Bij grotere maaiveldshellingen neemt de maaiveldsberging sterk af en de gevoeligheid van oppervlakte-afvoer sterk toe. Voor bouwlandpercelen zijn de waarden voor de infiltratiecapaciteit over het algemeen hoger dan voor graslandpercelen. Ook de maaiveldsberging kan tussen deze beide bodemgebruiksvormen sterk verschillen.

Uit onderzoek is gebleken dat de infiltratiecapaciteit veelal nauwelijks gerelateerd is aan bodemfactoren doch sterk samenhangt met het bodemgebruik. Zeer lage waarden van de infiltratiecapaciteit kunnen het gevolg zijn van verslemping en van intensieve beweiding en berijding. Het is waarschijnlijk dat de infiltratiecapaciteit als gevolg van de intensieve landbouw steeds verder afneemt. Nader onderzoek hiernaar is gewenst.

Wat betreft de samenstelling van over het maaiveld afstromend water blijkt uit onderzoek dat de gehalten aan meststoffen afhankelijk zijn van het bemestingsniveau, de lengte van de periode tussen bemesting en het optreden van oppervlakte-afvoer, de berging op het maaiveld en in de bodem en de

totale hoeveelheid over het maaiveld afgevoerde neerslag. Vlak na het uitrijden van drijfmest kan de belasting van het oppervlaktewater via oppervlakte-afvoer aanzienlijk zijn met name bij bevroren ondergrond. De concentraties van de meeste stoffen in het over het maaiveld afstromende water nemen snel af naarmate meer tijd verstrijkt sinds de laatste bemestingsgift en benaderen na verloop van enige tijd de concentraties in de neerslag. Een uitzondering hierop wordt gevormd door fosfaat waarvan de concentratie minder snel afneemt en waarvan ook in de oppervlakte-afvoer van "onbemeste" percelen vaak hogere concentraties worden gevonden dan in de neerslag.

Door bestudering van concentraties van (mest)stoffen in het oppervlaktewater in samenhang met het debiet kan in gevallen waarin andere lozingen dan door de landbouw verwaarloosbaar klein zijn informatie worden verkregen over het optreden van oppervlakte-afvoer. In sommige gevallen is het zelfs mogelijk voor enkele afvoergolven een schatting te maken van de hoeveelheid over het maaiveld afgestroomd water. Voorwaarde is dat er voldoende monsters genomen zijn tijdens een afvoergebeurtenis. Stoffen die hierbij als tracer kunnen dienen, zijn o.a. kalium, chloride en het zuurstofisotoop ¹⁸O.

De capaciteit van de bodem om fosfaat vast te leggen is in het algemeen nog zodanig dat de belasting van het oppervlaktewater met uitgespoeld fosfaat gering is. De pieken in fosfaatconcentraties die bij verhoogde oppervlaktewaterafvoer optreden, zijn daarom grotendeels veroorzaakt door oppervlakte-afvoer en opwerveling van bodemslib. De invloed van deze beide effecten is moeilijk te scheiden. Fosfaat is daarom wat minder geschikt als tracer.

Voor drie beken, waarvan gedurende een zekere periode het oppervlaktewater intensief is bemonsterd en tevens het debiet is gemeten, zijn voorbeeldstudies uitgevoerd. Het betreffen de Berkel, de Nattegatsloot en de Hupselse Beek. Voor de Berkel kon als gevolg van aanzienlijke lozingen door RWZI's, industrie e.d. het optreden van oppervlakte-afvoer niet eenduidig worden aangetoond. Voor de stroomgebieden van de Nattegatsloot en de Hupselse Beek waar lozingen door andere bronnen dan de landbouw gering zijn, kon het optreden van oppervlakte-afvoer worden aangetoond. Voor het stroomgebied van de Nattegatsloot wordt geschat dat tijdens natte perioden gedurende het zomer- en winterhalfjaar maximaal 30, respectievelijk 50% van de in de betreffende periode gevallen neerslag over het maaiveld kan worden

afgevoerd. Voor het gehele zomer- en winterhalfjaar liggen deze percentages natuurlijk een stuk lager. Omdat de oppervlaktewaterafvoer in het stroomgebied van de Hupselse Beek zeer snel reageert op een neerslaggebeurtenis en de bemonsteringsfrequentie van het water van de Hupselse Beek relatief laag was, kon in dit gebied slechts een indicatieve schatting worden gemaakt van de hoeveelheid oppervlakte-afvoer.

Ook is nagegaan of de vele fosfaatbalansstudies, die in Nederland zijn uitgevoerd, gebruikt kunnen worden om het optreden van oppervlakte-afvoer aan te tonen. Dit bleek slechts voor enkele gebieden, gelegen in de Gelderse Vallei, mogelijk. De oorzaak hiervan is dat de landbouwbijdrage aan de fosfaatafvoer als restpost van de balans wordt berekend. Daardoor wordt de betrouwbaarheid van deze bijdrage bepaald door de nauwkeurigheid waarmee de overige balansposten zijn berekend.

Om voor grote delen van het Nederlandse zandgebied een schatting te maken van de hoeveelheid oppervlakte-afvoer kunnen modellen voor de onverzadigde grondwaterstroming die ook oppervlakte-afvoer simuleren, worden gebruikt. Voor de toepassing van deze modellen zijn met name meer gegevens nodig over de waarden van de infiltratiecapaciteit als functie van bodemgebruik en bodemtype. Deze gegevens kunnen met veldmetingen worden verkregen. Als onderrandvoorwaarden voor de modelberekeningen kunnen relaties tussen de grondwaterstand en de afvoer door de onderzijde van het model worden gebruikt. Deze relaties moeten als functie van de grondwatertrap worden bepaald op soortgelijke wijze als is beschreven door Van Lanen (1985) en Thunnissen en Siemonsma (1987). De in dit rapport gegeven schattingen van de hoeveelheid oppervlakte-afvoer in een aantal stroomgebieden kan worden gebruikt ter toetsing van de modelberekeningen.

Literatuur

- Beuving, J. 1984. Vocht- en doorlatendheidskarakteristieken, dichtheid en samenstelling van bodemprofielen in zand, klei en veengronden. Rapporten n.s.10 ICW, Wageningen.
- Duijvenbooden, W. van, J. Taat en L.F.L. Gast, 1985
Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit, eindrapport van de inrichtingsfase. Rapport 840382001, RIVM.
- Ettema, M., 1983. Tien jaar grondwaterstanden te Hupsel, Docteraalscriptie Hydraulica en Afvoerhydrologie Landbouwhogeschool, Wageningen.
- Fonck, H., 1968. Een onderzoek naar de infiltratiecapaciteit van gronden in de Gelderse Achterhoek. Nota 455 ICW, Wageningen.
- Hoekstra, J.T. en J.H.A.M. Steenvoorden, 1981. Phosphorus load from diffuse sources for surface waters in the "Nattegatsloot" watershed. In: J.H.A.M. Steenvoorden and W. Rast (eds.). Impact of nonpoint sources on water quality in watersheds and lakes: field measurements and the use of models. Programme on man and biosphere. Project 5 Unesco, Parijs: 198-214.
- Huinink, J.T.M., 1968. Grasland: rond of vlak? De Buffer, contactorgaan van het consulentenschap I.A.D. voor bodem-, water- en bemestingszaken in de veehouderij, 32-1: 1-27.
- Hoorn, J.W. van, 1960. Grondwaterstroming in komgrond en de bepaling van enige hydrologische grootheden in verband met het ontwateringssysteem. Versl. Landbouwk. Onderz. 66.10.
- KNMI, 1957. Frequenties van k-daagse neerslagsommen op Nederlandse stations.
- Kouwe, F.A., 1982. Fosfaat en eutrofiëring in een laaglandbeek, een chemisch en hydrobiologisch onderzoek naar het effect van defosfatering op fosfaatgehalte en waterplanten in de Beerze. G.T.D. Oost-Brabant, Boxtel.
- Kok, G., 1984. Fosfaat- en stikstofhuishouding in het stroomgebied van Wiel en Laak (gemeente Nijkerk). Stageverslag Zuiveringsschap Veluwe.

- Lammers, B., 1985. De invloed van de landbouw op de grond- en oppervlaktewaterverontreiniging in het Hupselse Beekgebied: een eerste aanzet. Doctoraalverslag, Vakgroep Waterzuivering en vakgroep Hydraulica en Afvoerhydrologie van de Landbouwhogeschool, Wageningen.
- Lanen, H.A.J. van, 1985a. Grondwaterstand-afvoerrelaties als onderrandvoorwaarde voor bodemvochttekortberekening en met onverzadigde grondwaterstromingsmodellen. Cultuurtechnisch tijdschrift (25) nr. 3.
- Lexmond, T., W.H. van Riemsdijk en F.A.M. de Haan, 1982. Onderzoek naar fosfaat en koper in de bodem in het bijzonder in gebieden met intensieve veehouderij. Sectie Bodemhygiëne en Bodemverontreiniging, Landbouwhogeschool, Wageningen.
- Meent, D. van de, J. van Oosterwijk en T. Aldenberg, 1984. Meet-net Regenwater 1978-1982; deel 1: Samenvatting en statistische bewerking van de meetresultaten: deel 1a. De meetgegevens, Ecowad-84-01, RIVM.
- Mook, W.G., 1984. Principles of isotope hydrology. Introductory course on isotope hydrology. Department of Hydrogeology and Geographical Hydrology V.U. Amsterdam.
- Mook, W.G., D.J. Groeneveld, A.E. Brouwn en A.J. van Ganswijk, 1974. Analysis of a run-off hydrograph by means of natural ¹⁸O. In: Isotope Techniques in Groundwater Hydrology, IAEA, Vienna: 145-153.
- Oosterloo, W., 1986. Een eutrofiëringsonderzoek in het stroomgebied van de Lunterse Beek (Gelderse Vallei) Zuiveringsschap Veluwe.
- Oosterom, H.P., 1979. Opzet en uitvoering van een vooronderzoek naar oppervlakkige afstroming op lage zandgrond. Nota 1149 ICW, Wageningen.
- Oosterom, H.P., 1983. Enkele analyses in oppervlakte-afvoer van bouwlandpercelen met verschil in bodemvruchtbaarheid. Nota 1483 ICW, Wageningen.
- Oosterom, H.P. en J.H.A.M. Steenvoorden, 1980. Chemische samenstelling van oppervlakkig aftromend water (proefveld onderzoek te Achterveld). Nota 1237 ICW, Wageningen.

- Reuling, T.H.M., 1986. Oppervlakkige afstroming van neerslag bij verschillende maaiveldshellingen. De Buffer, contactorgaan van het consultantschap I.A.D. voor bodem-, water en bemestingszaken in de veehouderij, 32-1:1-27.
- Riemsdijk, W.H. van, T.M. Lexmond en F.A.M. de Haan, 1983. Fosfaat- en koperbestand van de cultuurgrond in de provincie Gelderland. Sectie Bodemhygiëne en Bodemverontreiniging. Vakgroep Bodemkunde en Plantenvoeding Landbouwhogeschool, Wageningen.
- Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, 1979. Rond of vlak grasland in de Flevopolders. Rijp rapport 1979-20 Abw, Lelystad.
- Rijtema, P.E., 1965. Analysis of actual evapotranspiration, Agric. Res. Rep. 659. Pudoc, Wageningen.
- Sherwood, M. and A. Fenning, 1981. Nutrient content of surface run-off water from land treated with animal wastes. In: J.C. Brogan (ed). Nitrogen losses and surface run-off from land spreading of manures. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publ., The Hague, Boston, London: 5-18.
- Steenvoorden, J.H.A.M. en J. Buitendijk, 1980. Oppervlakte-afvoer. In: Waterkwaliteit en grondwaterstromingsstelsels. Rapporten en Nota's 5. CHO-TNO, Den Haag: 87-92.
- Steenvoorden, J.H.A.M. en M.J. de Heus, 1984. Fosfaatbalansstudies en de bijdrage van diffuse bronnen. Rapport 8 ICW, Wageningen.
- Steenvoorden, J.H.A.M. en H.P. Oosterom. De chemische samenstelling van de neerslag te Wageningen (augustus 1973 t/m juli 1975). Nota 882 ICW, Wageningen.
- TAUW Infra Consult, 1986. De effectiviteit van restricties aan het uitrijden van mest voor de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater.
- Thunnissen, H.A.M. en M. Siemonsma, 1987. Hydrologische effecten van berekening uit het grondwater in een studiegebied in west en midden Noord-Brabant. Rapport nr. 840358001, RIVM.
- Wind, G.P., 1979. Analog modelling of transient moisture flow in unsaturated soil. Agric. Res. Rep. 894, Pudoc, Wageningen.
- Wind, G.P., 1986. Slootpeilverlagingen en grondwaterstandsaling in veenweidegebieden. Cultuurtechnisch tijdschrift 25, 5:321-330.

- Wind, G.P. and W. van Doorne, 1975. A numerical model for the simulation of unsaturated vertical flow of moisture in soils. J. Hydrol. 24, 1/2: 1-20. Tech. Bull. 93 ICW, Wageningen.
- Zuiveringsschap Oostelijk Gelderland en TAUW Infra Consult, 1986. Grensoverschrijdende fosfaten in het beheersgebied van het Zuiveringsschap Oostelijk Gelderland. Fosfaatbalansstudie van de Berkel 1983-1984, Doetinchem/Deventer.

Bijlage 1

Het ^{18}O gehalte wordt over het algemeen uitgedrukt als een afwijking (δ) van de isotopenverhouding R van monster A ten opzichte van een standaard S.

$$\delta_s (A) = (R_A - R_s) / R_s \quad (\times 10^3 \text{ o/oo})$$

De isotopenverhouding R is als volgt gedefinieerd:

$$R = \frac{\text{concentratie van het zeldzame isotoop}}{\text{concentratie van het in overvloed aanwezige isotoop}}$$

$$\text{bv. } R(^{18}\text{O}) = \frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}$$

Als referentie S wordt het ^{18}O gehalte gebruikt van "Standard Mean Ocean Water" (SMOW).