

NOTA 1074

mei 1978

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

ONDERZOEK NAAR DE UITSPOELING VAN MINERALEN BIJ BOUWLAND OP KALKARME
ZANDGROND (oktober 1975 - oktober 1977)

ing. H.P. Oosterom

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

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

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

I N H O U D

	blz.
1. INLEIDING EN PROBLEEMSTELLING	1
2. OPZET VAN HET ONDERZOEK	2
3. BESCHRIJVING VAN DE PLAATS VAN ONDERZOEK	3
4. RESULTATEN	6
4.1. Waterafvoer	6
4.2. Gehalten in het grondwater	6
4.2.1. Chloride en natrium	7
4.2.2. Stikstof	10
4.2.3. Fosfaat	12
4.2.4. Kalium	13
4.2.5. Calcium, magnesium en sulfaat	13
4.2.6. Bicarbonaat en zuurgraad	14
4.2.7. Totaal-zout en geleidingsvermogen	15
4.2.8. Chemisch zuurstofverbruik (COD)	16
5. ALGEMENE DISCUSSIE	17
6. SAMENVATTING	19
LITERATUUR	21
BIJLAGEN	

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

1. INLEIDING EN PROBLEEMSTELLING

Door bemesting van landbouwgronden worden stoffen aan de bodem toegevoegd, die onder invloed van de neerslag zich kunnen verplaatsen naar diepere lagen om zich tenslotte bij het grondwater te voegen. Het CONSULENTSCHAP VOOR BODEMAANGELEGENHEDEN (1977) geeft adviezen omtrent de noodzakelijke bemesting op basis van gewasonttrekking en bodemvruchtbaarheid. De belangrijkste voedingsstoffen zijn stikstof, fosfaat en kali. Mineralen, die naar behoefte en op het juiste tijdstip gestrooid zijn, zullen grotendeels door de plant opgenomen worden. Bij gebruik van kunstmeststoffen worden, naast deze noodzakelijke stoffen, ook vulstoffen gedoseerd zoals CaCO_3 in kalkammonsalpeter, CaSO_4 in superfosfaat en NaCl in 'chloorhoudende' kalimeststoffen (PROEFSTATION VOOR DE AKKER- EN WEIDEBOUW, 1965). Bij gebruik van mengmeststoffen komen vulstoffen vrijwel niet voor, doordat de combinatie van voedingsmineralen gunstiger is. In gebieden waar dierlijke mest in ruime mate voorhanden is, zal kunstmeststikstof voornamelijk als aanvullende bemesting worden aangewend. De samenstelling van dierlijke mest is meestal zodanig, dat de verhouding van de aanwezige voedingsstoffen niet overeenkomt met de behoefte van het gewas. Bij een dosering naar stikstofbehoefte, gerekend met een werkingscoëfficiënt van 55%, vindt bij alle dierlijke mestsoorten overdosering plaats van fosfaat; kali wordt slechts overgedoseerd bij gebruik van runderdrijfmest (tabel 1). Sommige gewassen kunnen echter zonder schade grotere hoeveelheden verdragen dan noodzakelijk is voor een optimale groei. Op zandgrond kan dit aanleiding geven tot uitspoeling van de overgedoseerde bestanddelen, afhankelijk van de interactie van de verbinding met de bodem en de mate waarin wordt overgedoseerd.

Tabel 1. Hoeveelheden dierlijke mest ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) en de daarmee gegeven hoeveelheden stikstof, fosfaat en kali (Consulentschap voor Bodemaangelegenheden in de Landbouw, 1974), gebaseerd op de stikstofbehoefte bij een bedrijf met een bouwplan dat uit 25% aardappelen, 33% suikerbieten en 42% granen bestaat

	Kunst- mest	Runder- drijfmest	Varkens- drijfmest	Kippe- mest (vast)	Mestkuiken- mest (vast)
Mestgift ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	-	60	40	22	12
Drogestofgehalte ($^{\circ}/_{\text{oo}}$)	-	95	80	320	560
Stikstof ($\text{N kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	145	265*	280*	275*	280*
Fosfaat ($\text{P}_2\text{O}_5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	70	120	190	410	250
Kali ($\text{K}_2\text{O kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	120	300	160	200	190

*werkingscoëfficiënt circa 55%

Op de proefboerderij Vredepeel is in 1971 door het Proefstation voor de Akkerbouw te Lelystad een meerjarige proef opgezet om de invloed van hoge drijfmestgiftten op de opbrengst en kwaliteit van diverse gewassen na te gaan. Naast een kunstmestobject zijn er 4 drijfmesttrappen geprojecteerd, namelijk 60, 80, 100 en 120 $\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1}$. De drijfmest wordt in het voorjaar toegediend. Bij deze proef komen eveneens vraagstukken naar voren over de mate van bodemverontreiniging en de mate van aanrijking van mineralen uit de bouwvoor naar de ondergrond. Naar aanleiding van deze problematiek heeft het ICW het onderzoek gestart naar de verplaatsing van mineralen in het bodemprofiel.

2. OPZET VAN HET ONDERZOEK

In het najaar van 1975 is op 4 objecten het onderzoek gestart naar de uitspoeling van mineralen. De 4 objecten verschilden in bemesting. Eén ervan kreeg een normale kunstmestgift, verder is er een object met een jaarlijkse drijfmestgift van 60 ton en één met 120 ton,

terwijl van een bedrijf in De Rips een praktijkperceel in het onderzoek is opgenomen, waar zowel kunstmest als organische mest wordt gebruikt.

Voor het verkrijgen van bodewater zijn filterkaarsen gebruikt waarvan de methode beschreven is in Nota ICW 942. De kaarsen zijn om de 20 cm in de bodem aangebracht tot op 2,00 m -mv. De zuigslangetjes zijn ondergronds naar een centraal putje geleid, waar de bemonstering plaatsvond. Alleen in bodemlagen, die vrij veel vocht bevatten, is het mogelijk om voldoende water te onttrekken. In het groeiseizoen daalt het vochtgehalte in de bodem sterk. Bemonstering blijft dan beperkt tot het grondwater en enkele tientallen cm's daarboven.

Het grondwater is bemonsterd uit pvc-buizen, waarvan de onderkant zich op 2,65 m -mv bevond. De onderste 40 cm van de buis was geperforeerd. Gelijktijdig met de bodemvochtbemonstering is eveneens een grondwatermonster getrokken. Ook werd de grondwaterstand in de buis gemeten.

In de watermonsters zijn de volgende bepalingen uitgevoerd: NO_3^- , NH_4^+ , Kjeld-N, Cl^- , chemische zuurstofbehoefte (COD), elektrisch geleidingsvermogen en zuurgraad. Op 1,00 m en 2,00 m -mv en van het grondwater is bovendien het SO_4^{2-} , ortho-P- en totaal-P-gehalte bepaald. In de 2e onderzoeksperiode zijn op de diepte 1,00 m -mv ook de analyses van de overige ionen verricht, zoals Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} en HCO_3^- . De analyses zijn uitgevoerd door het Waterleidinglaboratorium-Oost te Doetinchem volgens de NEN-voorschriften nr. 3235 en nr. 1056.

3. BESCHRIJVING VAN DE PLAATS: VAN ONDERZOEK

De proefboerderij Vredepeel is gelegen op de grens van Limburg en Noord-Brabant op circa 26,00 m +NAP. De ontginning van dit gebied is in de jaren vijftig tot stand gekomen. Naar de aard van de opbouw van het profiel (tabel 2) is deze grond een veldpodzol in dekzand. De minerale samenstelling wijst op een leemarm, matig fijnzandig profiel met een humeuze bouwvoor. Uit eigen onderzoek is gebleken dat de ondergrond eveneens fijnzandig is ($M_{50} = 160$). De effectieve beworteling blijft beperkt tot 35 cm, zodat de vochtvoorraad in de doorwortelbare

Tabel 2: Opbouw en minerale samenstelling van de bodem op de proefboer-depeel, derijgVredepeel in het huidige grondwaterstandgebied met begroeiing pijpestrootje

Horizont	pH-KCl	Humus (%)	% minerale delen					
Bepaling			<50µ	50-75µ	75-105µ	105-150µ	150-210µ	>210µ
A _p 0-25	6,4	5,3	8,9	3,2	9,0	29,2	30,7	19,1
B ₂ 25-35	4,5	1,6	4,9	3,7	11,0	30,7	30,8	19,0
C 35-60	4,5	0,7	2,6	1,9	8,5	31,8	34,0	21,3
G >60	4,5	0,3	4,3	1,6	10,5	35,3	32,0	16,4

chloride (mg. l⁻¹) 100
nitraat (mg N. l⁻¹) 1,3
zone circa 80 mm bedraagt, hetgeen in het groeiseizoen in de meeste gevallen onvoldoende is. Berekening is dan noodzakelijk om een redelijke opbrengst te waarborgen. Op het bedrijf in De Rips komt de bodem overeen met Vredepeel. Een beregeningsinstallatie is daar niet aanwezig.

org.-NH₄ 1,2
totaalstikstof 1,0
ortho-fosfaat (mg P. l⁻¹) 0,5
totaal-fosfaat 0,6
calcium (mg. l⁻¹) 1,0
magnesium 1,0
kalium 1,0
natrium 1,0

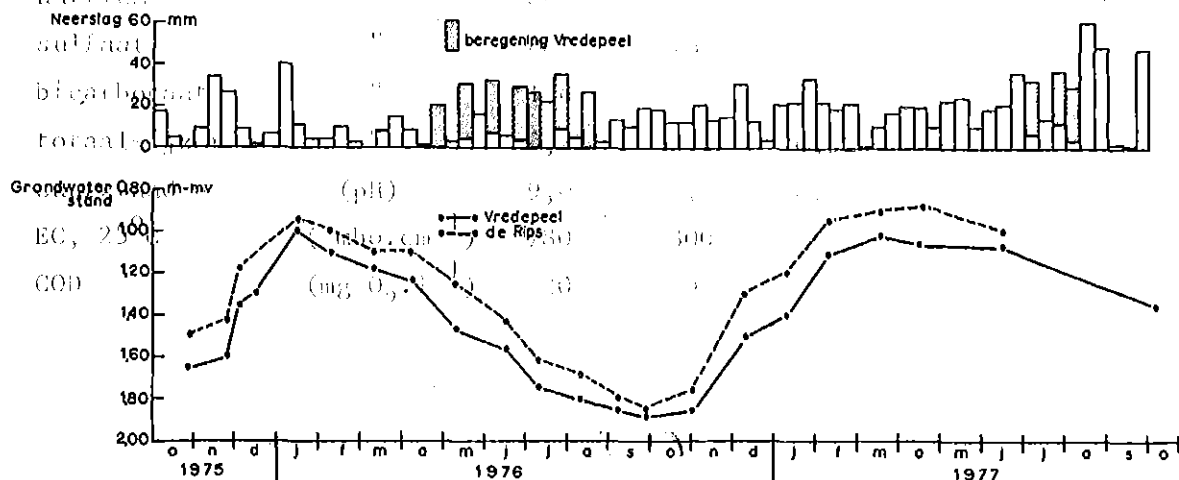


Fig. 1. Neerslag (mm) te Vredepeel en grondwaterstandsverloop op Vredepeel en De Rips

Het verloop van de grondwaterstand is weergegeven in fig. 1. Het niveau schommelt tussen 0,80 en 1,80 m -mv. In De Rips ligt het niveau gemiddeld 15 cm hoger. Gedurende het droge jaar 1976 trad er vanaf 1 april tot 10 oktober een permanente daling op. Bij de aanvang van het groeiseizoen stond het grondwater op 1,40 m -mv. Capillaire opstijging zal bij de aanvang gering zijn geweest en bij verdere daling zelfs te verwaarlozen. Aangezien het gebied deel uitmaakt van de Peelhorst is de daling te beschouwen als wegzijging. De regressieberekening geeft als uitkomst dat de grondwaterstands daling over deze periode gemiddeld 4 mm.etm^{-1} bedraagt. Dezelfde waarde is gevonden in De Rips, eveneens op de Peelhorst gelegen op 10 km afstand ten noordwesten van Vredepeel.

Met behulp van de vocht karakteristiek voor matig fijn zand (RIJTEMA, 1970) is het bergend vermogen van de ondergrond bekend (tabel 3).

Tabel 3. Toename bergend vermogen en bergingscoëfficiënt van de ondergrond op de proefboerderij Vredepeel bij daling van de grondwaterstand

Diepte (cm -mv)	Grondwaterdaling in cm						
	60-80	60-100	60-120	60-140	60-160	60-180	60-200
Bergend vermogen (mm)	6	14	29	50	77	109	146
Bergingscoëfficiënt (%)	3	4	5	6	8		10

Het bergend vermogen bij een daling van 1,20 m -mv naar 1,80 m -mv bedraagt 80 mm. De wegzijging over deze periode bedraagt dan circa 0.5 mm.etm^{-1} , hetgeen te beschouwen is als een permanente kwelstroming. De richting van de grondwaterstroming is noord-west en staat derhalve dwars op de proefveldjes.

De landbouwkundige gegevens van de percelen, zoals bouwplan en bestemming op de proefboerderij, zijn vermeld in bijlage 1a. Van het perceel in De Rips staan de gegevens in bijlage 1b.

4. RESULTATEN

4.1. Waterafvoer

De waterafvoer (A) naar de ondergrond wordt bepaald door de grootte van de neerslag (N), verdamping (E) en de verandering van de vochtberging in de wortelzone (ΔB) volgens de formule:

$$A = N - E + \Delta B$$

Per decade is met behulp van voornoemde grootheden de afvoer berekend. Daarbij is ervan uitgegaan dat de verdamping van braakland gelijk is aan $0,3 E_0$ en dat de verdamping bij een volledig gesloten gewas gelijk is aan $0,8 E_0$. In de periode tussen 10 dagen na inzaai tot aan een goede bodembedekking is geïnterpoleerd. Voor de maximale vochtleverantie van het profiel is uitgegaan van 100 mm. De resultaten van de berekening staan vermeld in tabel 4.

Tabel 4. Neerslag, verdamping en afvoer (mm) tijdens de periode 1 november 1975 tot 31 oktober 1977

	Neerslag + berekening	Verdamping kale grond en gewas*	Afvoer		Toe/afname bergend vermogen
			wi	zo	
1/11/75 - 31/10/76					
De Rips	357+ 0	14+291 ¹⁾	82	-	+30
Vredepeel	357+170	89+325 ²⁾	123	-	+10
1/11/76 - 31/10/77					
De Rips	681+ 0	46+370 ³⁾	176	52	-37
Vredepeel	681+ 75	58+326 ³⁾	209	123	-40

*restpost

1) gewas: wintertarwe + kunstweide

2) gewas: waspeen

3) gewas: c. aardappelen

4.2. Gehalten in het grondwater

In de watermonsters op de diepte 1,00 m -mv is een uitgebreide

reeks bepalingen verricht, waarvan de uitkomsten vermeld staan in bijlage 2. De waterafvoer tussen 2 bemonsteringen is vastgesteld op basis van de berekening van de waterbalans en de verandering van de grondwaterstand. Met behulp van de afvoer per bemonsteringsperiode is het gewogen gemiddelde van de gehalten bepaald, genoemd in tabel 5.

Tabel 5. Gehalten (gewogen gemiddelde) in het grondwater op circa 1,00 m -mv bij verschillende bemestingsniveaus op zandgrond (periode november 1975 tot oktober 1977)

	1 nov. 1975 - 31 okt. 1976				1 nov. 1976 - 31 okt. 1977			
	kunst- mest	60 ton drijfm.	120 ton drijfm.	kunstm + drijfm.	kunst- mest	60 ton drijfm.	120 ton drijfm.	kunstm. drijfm.
NO_3^- (mg N.l ⁻¹)	9,2	13,6	20,7	89,0	44,9	55,7	137,5	82,0
NO_2^- (mg N.l ⁻¹)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
NH_4^+ (mg N.l ⁻¹)	0,09	0,20	0,06	0,02	0,23	0,21	0,25	0,55
Kjeld.-N (mg N.l ⁻¹)	5,7	3,0	3,8	2,7	2,6	2,6	3,6	2
Ortho-P (mg P.l ⁻¹)	0,10	0,05	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Totaal-P (mg P.l ⁻¹)	0,21	0,08	0,06	0,03	0,23	0,03	0,06	0,02
Ca^{2+} (mg.l ⁻¹)	-	-	-	-	199	122	206	143
Mg^{2+} (mg.l ⁻¹)	-	-	-	-	24	20	56	21
Na^+ (mg.l ⁻¹)	-	-	-	-	21	21	37	35
K^+ (mg.l ⁻¹)	-	-	-	-	19	20	79	21
HCO_3^- (mg.l ⁻¹)	-	-	-	-	7	7	5	26
SO_4^{2-} (mg.l ⁻¹)	184	101	119	90	402	149	310	109
Cl^- (mg.l ⁻¹)	68	30	36	10	61	52	99	74
COD (mg O ₂ .l ⁻¹)	290	150	205	100	110	110	170	180
EC (µmho.cm ⁻¹ , 25°C)	756	421	585	1187	1360	1010	2033	1301
Zuurgraad (pH)	6,1	6,6	5,8	5,3	5,4	5,1	4,8	6,2
Totaal-zout (mg.l ⁻¹)	510	280	395	735	940	545	1426	805
Afvoer (mm)	123	123	123	82	332	332	332	228

Achtereenvolgens zullen de verschillende bepalingen behandeld worden in samenhang met bemesting en/of andere factoren, die van invloed zijn.

4.2.1. Chloride en natrium

Het natrium en chloride-ion worden biologisch en chemisch nauwelijks vastgelegd. De concentratie in het bodemwater verandert slechts

ten gevolge van fysische omstandigheden, zoals de grootte van de neerslag en verdamping. Chloride wordt om die reden veelal als indicator gebruikt om een verontreiniging op de bodem in het profiel te vervolgen. De natrium- en chloridegehalten zijn sterk afhankelijk van de gebruikte meststoffen. De 'chloorhoudende' kalimeststoffen bestaan voor 50% uit chloride en voor 7 à 26% uit natrium, afhankelijk van het percentage kalizout (PROEFSTATION VOOR DE AKKER- EN WEIDEBOUW, 1965). Op de suikerbieten te Vredepeel is K-40 gestrooid en op de waspeen patentkali. Chilisalpeter is bij deze gewassen niet gebruikt (bijlage 1a). Het chloridegehalte van de 2 drijfmestgiften tijdens de onderzoeksperiode is beide keren bepaald. De gemiddelde samenstelling bedroeg tijdens de onderzoeksperiode 1,8 g Cl^- en 0,5 g Na^+ per liter. In natuurgebieden wordt de belasting op de bodem bepaald door de gehalten in het regenwater en de hoeveelheid neerslag. Indien de bodem chemisch arm is worden de gehalten in het grondwater sterk beïnvloed door de verdamping van de begroeiing. Gelet op het chloridegehalte in regenwater en in het ondiepe grondwater kan geconcludeerd worden dat de verdamping van pijpestrootje overeenkomt met de verdamping van landbouwgewassen (OOSTEROM en VAN SCHIJNDEL, 1978). De natrium- en chloridegehalten in het grondwater zijn bij deze begroeiing respectievelijk 4 en 9 mg.l^{-1} (zie ook bijlage 4). De afvoer van chloride uit het profiel wordt bepaald door de belasting op de bodem, berging in het profiel en opname door het gewas. Voor de periode 13/1/76 tot 13/1/77 is een balans opgesteld waarin de posten die hierin een aandeel hebben genoemd worden (tabel 6). De voorraad in de bodem op 13/1/76 en 13/1/77 is bepaald uit de concentraties in het bodemvocht en de bijbehorende vochtgehalten bij veldcapaciteit (RIJTEMA, 1970). Het neerslagoverschot in voorgaande herfstperioden van voornoemde data komen met elkaar overeen. Opname door het gewas waspeen wordt geschat op circa 0,1% van het droge stofgehalte (MASCHHAUPT, 1941). Uit de balans blijkt dat de chloridehoeveelheid in het profiel ten gevolge van de droge zomer van 1976 sterk is toegenomen. Vermoedelijk zullen de geaccumuleerde zouten in perioden met neerslagoverschot afgevoerd worden naar het grondwater.

Tabel 6, Chloridebalans ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) van het profiel tot 2,00 m -mv op 3 bemestingsobjecten te Vredepeel op basis van concentraties in het bodemvocht en grondwater (13 januari 1976 - 13 januari 1977)

	Kunstmest	60 ton D.M.	120 ton D.M.
Voorraad 13/1/76	382	190	318
Neerslag	16	16	16
Berekening (170 mm)	80	80	80
Bemesting	20	123	236
	498	409	650
Afvoer uit profiel	88	81	73
Gewasopname	4	4	4
Voorraad 31/1/77	370	374	356
	462	459	633

De Na-bepaling is niet om de 20 cm in het profiel verricht, zodat men voor de uitspoeling van dit ion aangewezen is op de hoeveelheden die gedurende het onderzoek van 2 jaar, 1,00 m -mv gepasseerd zijn. In tabel 7 staat naast de Na-belasting eveneens de chloridebelasting genoemd. De gemiddelde opname door het gewas is voor Na en Cl respectievelijk 40 en 20 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (MASCHHAUPT, 1941). De afvoer van chloride wordt niet sterk beïnvloed door de gewasopname. Onafhankelijk van bemestingsniveau blijkt dat van de toegediende hoeveelheden chloride na aftrek van gewasopname circa 50 à 60% is uitgespoeld. Het overige deel zal nog in het profiel aanwezig zijn. Dit betekent tevens dat voor de overige zouten eveneens nog een gedeelte in het profiel aanwezig is.

Tabel 7. Bijdrage van de verschillende bronnen aan de natrium- en chloridebelasting op de bodem ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) met vermelding van de uitspoeling (oktober 1975 - oktober 1977)

Object	Kunstmest		60 ton dr.m.		120 ton dr.m.	
	Na^+	Cl^-	Na^+	Cl^-	Na^+	Cl^-
Bijdrage door						
kunstmest, c.q. drijfmest	85	312	60	220	120	440
1000 mm neerslag	20	40	20	40	20	40
300 mm berekening	63	140	63	140	63	140
Totale belasting	162	492	137	400	197	620
Uitspoeling (450 mm)						
landbouwgebied	95	283	95	208	166	370
natuurgebied	23	40	23	40	23	40

4.2.2. Stikstof

De uitspoeling na de suikerbietenteelt op Vredepeel in 1975 blijft beperkt tot $11 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ op het kunstmestobject en $25 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ op het 120-ton object (tabel 8). De stikstof, die op het 120 ton-object extra toegediend wordt, zal mogelijk een hoger N-gehalte in het gewas veroorzaken. Ook zal een gedeelte nodig zijn voor de meeropbrengst die voor de suikerbieten circa 20% bedraagt. Het resterende deel zal uitspoelen voorzover het niet aan het bodemcomplex gebonden is, of is opgenomen in de organische stoffractie. Door het geringe neerslagoverschot en lage NO_3 -gehaltes is er weinig stikstof in de wintermaanden uitgespoeld. Na de verbouw van het gewas waspeen is in het daarop volgende seizoen de N-uitspoeling aanzienlijk groter. Tijdens deze wintermaanden was de uitspoeling op de 3 veldjes respectievelijk 75, 90 en $335 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tabel 8). Ook op het kunstmestobject is ondanks een N-gift van $45 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ het verlies nog aanzienlijk. Door ziekte in het gewas bleef de opbrengst laag. Een normale opbrengst is $60 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$, de opbrengst bleef nu beperkt tot $30 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$. Mede door de gehalveerde stikstofopname van het gewas, de vroege oogstdatum (bijlage 1a) en de klimatologische omstandigheden (tabel 4) is de stikstofuitspoeling extreem hoog.

Op het perceel in De Rips zijn in 1975 tuinbonen verbouwd. De hierop volgende stikstofuitspoeling is het gevolg van bemesting en stikstofbinding door het vlinderbloemige gewas. In het najaar is wintertarwe ingezaaid. De oogst in juli 1976 viel niet tegen. Na de graanoogst is 30 ton drijfmest uitgereden en ondergeploegd, waarna gras is ingezaaid. Ondanks de redelijke opbrengsten is ook op het praktijkperceel in De Rips de uitspoeling nog aanzienlijk. De oorzaak ligt hier mogelijk in een na-effect van de voorvrucht (tuinbonen) en de klimatologische omstandigheden.

Onderstaand schema (tabel 8) laat zien welk gedeelte van de toegediende stikstof bij de verschillende gewassen is uitgespoeld.

Tabel 8. Stikstofuitspoeling ($\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) tijdens de winterperioden 1975/76 en 1976/77 bij verschillende N-giften en verschillend bouwplan

Winter- periode	Voorvrucht	N-gift ($\text{N kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	N-uitspoeling	
			($\text{N kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	(% v.d. gift)
1975/76	suikerbieten (Vredepeel)	160 (kas) + 50 (schuimaarde)	11	5
		250 (dr.m.) + 50 (schuimaarde)	17	6
		500 (dr.m.) + 50 (schuimaarde)	25	5
	tuinbonen (De Rips)	32 (kas) + 400 (kippenmest)	73	17
1976/77	waspeen (Vredepeel)	45 (kas)	75	167
		200 (dr.m.)	90	45
		400 (dr.m.)	335	84
	wintertarwe + gras (De Rips)	60 (kas) + 120 (dr.m.)	150	83

Een eenvoudige stikstofbalans voor de 3 proefveldjes op Vredepeel (bijlage 3) laat zien, dat ook de nitraat-stikstof evenals chloride in het profiel gedurende deze periode sterk toenam. Op het drijfmest-object komt de belasting na aftrek van gewasopname vrij goed overeen met de uitspoeling en toename in het profiel. Op het kunstmestobject is het verschil circa 40%. De voorraad van de minerale stikstof is

toegenomen, vermoedelijk door mineralisatie van organische stof. Het overzicht in bijlage 3 geeft slechts een beperkt beeld omdat gegevens over humificatie, mineralisatie en denitrificatie ontbreken.

4.2.3. Fosfaat

Reeds vele onderzoekers hebben aangetoond dat het voorkomen van fosfaat in grondwater niet of nauwelijks verband houdt met de mate van bemesting. De mobiliteit van fosfaat in de bodem is zeer gering en de oplosbaarheid sterk pH-afhankelijk. De maximale waarden in de bouwvoor bleven zowel voor ortho-P als totaal-P beneden 1 mg P.l^{-1} . De pH varieerde van 6 tot 7. De fosfaatgehalten, die op Vredepeel en in De Rips in het grondwater op 1,00 m -mv voorkomen zijn laag (tabel 9). Na februari 1976 lag het orthofosfaatgehalte bij alle bemonsteringen beneden de detectiegrens (dit is $<0,01 \text{ mg P.l}^{-1}$). De totaal-P gehalten lagen na die datum in de meeste gevallen eveneens beneden de meetbare waarde. Van één bemonstering (april 1977) was het totaal-P gehalte op het proefveld van 120 ton drijfmest hoger dan bij de andere proefvelden, namelijk $0,13 \text{ mg.l}^{-1}$. Uitspoeling van organisch fosfaat bij langdurige overdosering met drijfmest moet niet uitgesloten worden geacht. Drijfmest, zoals die op de proefboerderij gebruikt wordt, bevat circa $25 \text{ kg P}_2\text{O}_5$ per 10 ton.

Tabel 9. Gemiddelde (rekenkundig) fosfaatgehalten (mg P.l^{-1}) in het bodemvocht van de bouwvoor en op circa 1,00 m -mv (februari 1976 tot juni 1977) op zandgrond (* = schuimaarde)

Jaarl. gem. P_2O_5 -gift (kg. ha^{-1})	Bouwvoor		1,00 m -mv		Aantal bemonste- ringen	
	ortho-P	tot.-P	ortho-P	tot.-P	bouwv. 1,00m-	mv
Vredepeel						
130 (sup) + 50 (s.a.) [*]	0,27	0,29	<0,01	0,02	4	8
150 (dr.m.) + 50 (s.a.)	0,08	0,19	<0,01	0,02	5	8
300 (dr.m.) + 50 (s.a.)	0,24	0,46	<0,01	0,05	6	7
De Rips						
400 (k.m. + dr.m.)	0,27	0,35	<0,01	0,02	2	7

4.2.4. Kalium

Op de zandgronden zal kalium gemakkelijk uitspoelen door het geringe adsorptievermogen. In de landbouw wordt met de gift reeds rekening gehouden met verliezen door uitspoeling. Op Vredepeel bedroeg de jaarlijkse gift voor suikerbieten 240 en voor waspeen 260 kg $K_2O \cdot ha^{-1}$. Op de suikerbieten werd K-40 gestrooid en op de waspeen patentkali (bijlage 1a). Door de gedeeltelijk mislukte teelt van de waspeen is de helft van de kali niet opgenomen. Op het 120 ton object wordt door de overdosering extra hoeveelheden toegevoegd (samenstelling drijfmest: 40 kg K_2O per 10 m³).

Het kaliumgehalte in het grondwater bij normale bemesting bedroeg circa 20 mg.l⁻¹. Bij het object dat 120 ton/ha krijgt is het 79 mg.l⁻¹ (tabel 5). In natuurgebieden, waar de enige belasting met de neerslag meekomt (8 kg $K_2O \cdot ha^{-1}$) is het gehalte in het grondwater van zandgronden <1 mg K.l⁻¹.

4.2.5. Calcium, magnesium en sulfaat

Kalkzouten zijn in de landbouw noodzakelijk om de pH van de bouwvoor op peil te houden, hetgeen indirect de groei van de gewassen bevordert. De meeste kalk- en magnesiakalkmeststoffen worden toegediend als calcium- en magnesiumcarbonaat. Als nevenbestanddeel zijn kalkzouten aanwezig in verschillende kunstmeststoffen. Kalkammonsalpeter bestaat voor 26% uit $CaCO_3$, superfosfaat voor 65% uit $CaSO_4$ (gips) en patentkali (52% K_2SO_4) voor 28% uit $MgSO_4$ (PROEFSTATION VOOR DE AKKER- EN WEIDEBOUW, 1965). In de drijfmest, die in Vredepeel wordt toegediend, is het Ca-, Mg- en SO_4 -gehalte respectievelijk 0,9, 0,5 en 1,7 g.l⁻¹. De gehalten hebben betrekking op het totale gehalte. De gehalten in het grondwater (tabel 5) vertonen tussen de percelen onderling grote verschillen. De hoge gehalten onder het kunstmestobject kunnen worden verklaard door de aanwezigheid van de vulstoffen. Op het 120-ton object worden door overdosering met drijfmest extra hoeveelheden van voornoemde mineralen toegediend. De gehalten in het grondwater van Vredepeel worden eveneens bepaald door de kalkbemesting van 1975, die voor elk object 10 ton schuimaarde (43% $CaCO_3$, 1% MgO) en 2 ton dolocal (96% $CaCO_3$ en 5% MgO) per ha omvatte. Op het kunstmestobject bedroeg in de twee opeenvolgende jaren de bemesting: 205 kg N (kas), 244 kg P_2O_5

(super), 240 kg K_2O (K-40) en 260 kg K_2O (pat.) per ha. Neerslag en berekening dragen slechts in geringe mate bij aan de belasting van de bodem (tabel 10).

Tabel 10. De bijdrage van de verschillende bronnen aan de Ca-, Mg- en SO_4 -belasting ($kg \cdot ha^{-1}$) van de bodem met vermelding van de uitspoeling ($kg \cdot ha^{-1}$) op de 3 bemestingsobjecten te Vredepeel voor de periode oktober 1975 - oktober 1977

Object	Kunstmest			60 ton drijfm.			120 ton drijfm.		
	Ca	Mg	SO_4	Ca	Mg	SO_4	Ca	Mg	SO_4
Bijdrage:									
kalkbemesting	2200	120	-	2200	120	-	2200	120	-
kunstmest, c.q. drijfm.	360	56	1180	110	60	204	220	120	408
1000 mm neerslag	20	10	60	20	10	60	20	10	60
300 mm berekening	30	16	225	30	16	225	30	16	225
Totale belasting	2610	202	1465	2360	206	489	2470	266	693
Uitspoeling (450 mm):									
landbouwgebied	900	108	1547	549	90	492	927	252	1165
natuurgebied	19	5	200	19	5	200	19	5	200

De aanwezigheid van Ca en Mg in het grondwater bij verschillende objecten is grotendeels het gevolg van bemesting. De bodem bestaat uit kalkarm dekzand, waarin de gehalten onder natuurlijke omstandigheden zeer laag zouden zijn, respectievelijk circa 4,2 en 1,2 $mg \cdot l^{-1}$. De sulfaatbelasting komt voor een belangrijk deel voor rekening van de kunstmest, terwijl ook de hoeveelheid via neerslag en berekening niet onbelangrijk is (23 tot 64%). Onder natuurlijke omstandigheden is het SO_4 -gehalte circa 45 $mg \cdot l^{-1}$.

4.2.6. Bicarbonaat en zuurgraad

In de bodem ontstaat bij mineralisatie en ademhalingsprocessen door de gewaswortels koolzuurgas. Gedeeltelijk zal dit naar de atmosfeer ontwijken en voor een ander deel oplossen in water, aangezien het goed oplosbaar is. De carbonaten van de kalkzouten kunnen onder

invloed van koolzuur in regen en bodemwater in oplossing gaan in de vorm van HCO_3^- -ionen. Het koolzuurgehalte is in evenwicht met de HCO_3^- -concentratie. De evenwichtsconstante wordt bepaald door de pH-waarde. Bij daling van de pH verschuift het evenwicht in de richting van koolzuur en bijstijging van de pH in tegengestelde richting. De carbonaten gaan bij pH-waarden $< 8,5$ in oplossing als HCO_3^- -ionen. In het grondwater van kalkaard dekzand is onder invloed van de CO_2 -productie en door afwezigheid van kalkzouten in de bodem de pH 4,0 à 4,3, waardoor het aanwezige koolzuur volledig als CO_2 -gas in oplossing is. In het grondwater op Vredepeel (2,50 m -mv) liggen de pH-waarden in het traject 4,5-5,0 evenals in het grondwater, dat van 15 m diepte wordt opgepompt voor de belevening (bijlage 4). De gemeten pH-waarden in de bouwvoor variëren van 6,0 tot 7,0. Na correctie voor de invloed van de filterkaarsen komt de waarde op 5,0 à 6,0. Op 1,00 m -mv liggen de pH-waarden direct in het grondwater gemeten tussen 4,5 en 5,0. Bemesting en bekalking hebben op deze diepte geen duidelijke invloed gehad op de pH. De verschillen in pH-waarde tussen de percelen onderling (tabel 5) wekken de indruk dat gebruik van organische mest wel degelijk invloed kan hebben op de pH van het percolatiewater. Langdurig onderzoek in de praktijk heeft uitgewezen, dat er geen verband bestaat tussen bemesting van organische mest en de pH van de bodem (DE LA LANDE CREMER, 1967). De samenstelling van de runderdrijfmest bijvoorbeeld is zodanig, dat de zuurbindende waarde nagenoeg 0 is, zodat het niet aannemelijk is dat de pH van de bodem door drijfmest wordt beïnvloed. Berekenen we uit de samenstelling van de toegediende drijfmest op Vredepeel de zuurbindende waarde (mg CaO.l^{-1}) volgens de formule:
 $1 \text{ CaO} + 1,4 \text{ MgO} + 0,6 \text{ K}_2\text{O} + 0,9 \text{ Na}_2\text{O} + 1 \text{ N} + 0,4 \text{ P}_2\text{O}_5 + 0,7 \text{ SO}_3 + 0,8 \text{ Cl} = \dots \text{mg CaO.l}^{-1}$ (SLUYSMAN, 1968), dan blijkt dat deze negatief uitvalt (circa -800 mg CaO.l^{-1}).

4.2.7. Totaal-zout en geleidingsvermogen

Het geleidingsvermogen ($\mu\text{mho.cm}^{-1}$) is een maat voor het totaal-zoutgehalte van de meest voorkomende ionen. De relatie tussen deze twee grootheden in het grondwater van Vredepeel is als volgt:

$$1000 \text{ mg zout per liter} \approx 1490 \mu\text{mho.cm}^{-1} (25^\circ\text{C})$$

De uitspoeling van de zouten tijdens de 2-jarige onderzoeksperiode is met behulp van tabel 5 voor alle proefveldjes berekend (tabel 11). Opvallend hierbij is dat kunstmestgebruik een hogere zoutbelasting veroorzaakt dan de drijfmestgift van dezelfde bemestingswaarde. Ook de belasting op de bodem door het gebruik van de enkelvoudige N, P en K-meststoffen ligt hoger. Bij de berekening van de hoeveelheid zouten in drijfmest is geen rekening gehouden met verliezen van welke aard dan ook; wel zijn de elementen zoals N en P, die organisch gebonden zijn, erin betrokken. Uit tabel 11 volgt dat er een duidelijk verband aanwezig is tussen de grootte van de gift en de mate van uitspoeling.

Tabel 11. De zoutbelasting op de bodem en het grondwater op 1,00 m -mv van de 4 proefveldjes (oktober 1975 - oktober 1977)

Object	Zoutbelasting ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	
	bodem	grondwater op 1,00 m -mv
Vredepeel:		
kunstmest	3990	3750
60 ton drijfmest	3880	2485
120 ton drijfmest	7760	5200
De Rips:		
kunstmest + drijfmest	-	2440

4.2.8. Chemisch zuurstofverbruik (COD)

Het chemisch zuurstofverbruik van drijfmest is zeer hoog en kan een waarde hebben van wel enkele 100 000-den $\text{mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$. Oplosbare organische bestanddelen in drijfmest kunnen zich onder invloed van de neerwaartse waterbeweging in het profiel verplaatsen. De COD-waarden in het bodemvocht van de bouwvoor kunnen soms sterk variëren. Na een drijfmestgift valt duidelijk een verhoging te constateren. In het najaar en vroege voorjaar komen eveneens verhoogde waarden voor, ook op het kunstmestobject met maximale waarden van $300 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$, vermoedelijk door mineralisatie van wortelresten en achtergebleven loof. Lage-

re waarden worden gevonden in de wintermaanden ($15 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$). Bij het 120 ton-object is er voortdurend sprake van hogere COD-waarden. Na de drijfmestgift bedroeg de waarde circa $600 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$ en in de wintermaanden kwam het beneden $100 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$. De gemiddelde waarden (rekenkundig) in het bodemvocht van de bouwvoor waren in de onderzoeksperiode op de 4 proefveldjes als volgt:

Vredepeel:

kunstmestobject	$127 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$	(min. 15, max. 230)
60 ton drijfmest	$127 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$	(min. 15, max. 290)
120 ton drijfmest	$231 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$	(min. 25, max. 595)

De Rips:

kunstmest + drijfmest $210 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$ (min. 35, max. 350)

De zuurstofbehoefte van het grondwater op 1,00 m -mv (tabel 5) loopt het eerste jaar voor de verschillende objecten sterk uiteen. Mogelijk is hier sprake van verontreiniging door het installeren van de filterkaarsen. In de 2e onderzoeksperiode vindt er een verhoging plaats bij overdosering van drijfmest. De gemiddelde COD-waarde onder het kunstmest- en 60 ton-drijfmest object komen met elkaar overeen. In gebieden met een zandondergrond zal de COD-waarde in het algemeen $< 50 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$ zijn.

5. ALGEMENE DISCUSSIE

De uitspoeling van mineralen wordt beïnvloed door een complex van factoren. In de eerste plaats: de klimatologische omstandigheden. Geringe neerslag in de eerste winterperiode veroorzaakte een geringe grondwatervoeding. Het aansluitende voorjaar was eveneens droog, gevolgd door een zeer droge zomer, hetgeen een accumulatie van zouten in het profiel tot gevolg had. Deze zouten verplaatsten zich in de volgende winterperiode slechts geleidelijk naar grotere diepten (bijlage 3). Bovendien is de bodem in de droge zomer extra belast door zouten afkomstig uit beregeningswater. Met name geldt dit voor sulfaat, natrium en chloride (bijlage 4). In de tweede plaats is de uitspoeling beïnvloed door de vruchtwisseling. In het vruchtwisselingsschema werd

na de teelt van suikerbieten waspeen verbouwd. De oogstdatum van deze twee gewassen verschilt sterk. Bij een vroege oogstdatum (bij waspeen) zal de hoeveelheid stikstof, die na deze datum door mineralisatie vrijkomt groter zijn dan bij een lagere oogstdatum (bij suikerbieten). Op het praktijkperceel in De Rips is een verhoogde stikstofuitspoeling geconstateerd na het gewas tuinbonen ten opzichte van het gewas suikerbieten. De invloed van stikstofbinding door leguminosen (vlinderbloemigen) is duidelijk aanwezig. Naast deze twee factoren is het van groot belang hoe de opbrengst ligt. Een gedeeltelijk mislukte oogst betekent dat de voedingsstoffen in de bodem niet volledig benut worden. Aangezien het gewas waspeen aangetast werd door een schimmelziekte bleef de opbrengst ver beneden de verwachtingen. Al deze omstandigheden dragen bij tot extreme waarden in de uitspoeling, met name voor nitraat en in mindere mate voor kali (tabel 6). De uitspoeling van de mineralen moet dus in nauw verband gezien worden met voornoemde factoren en niet als zodanig alleen toegeschreven worden aan de verschillende meststoffen en de grootte van de gift.

Kunstmest en drijfmest

Uit tabel 5 blijkt dat de concentraties in het grondwater bij het kunstmest- en 60 ton drijfmest-object (equivalent aan de kunstmest-N bemesting) sterk uiteen kunnen lopen. Deze verschillen kunnen worden toegeschreven aan de oorspronkelijke samenstelling van kunstmest en drijfmest. Voor Na, Cl, NO_3 , K, Ca, Mg, SO_4 en totaal-zout geldt, dat de mate van uitspoeling gecorreleerd is aan de belasting op de bodem. De hogere SO_4 -, Ca- en Cl-concentraties onder het kunstmestobject zijn het gevolg van vulstoffen in de kunstmest. Bij gebruik van mengmeststoffen zou de verhouding gunstiger uitkomen en een geringere belasting voor het milieu betekenen. Doordat een gedeelte van de stikstof in de drijfmest buiten het groeiseizoen vrijkomt, veroorzaakt drijfmest een hogere stikstofuitspoeling.

Uitspoeling van fosfaat is zowel bij de kunstmest- als drijfmest-gift niet geconstateerd.

De gemeten pH-waarden in het water zijn niet geheel betrouwbaar in verband met de toegepaste bemonsteringsmethode. Uit de samenstelling van de drijfmest kan een zuurbindende waarde ontleend worden

(SLIJSMAN, 1968), die negatief uitvalt. In de ondergrond, waar het organisch stofgehalte gering is, zou dit een duidelijke stijging van de pH tot gevolg hebben gehad, gezien de lage pH-waarden in het natuurgebied van circa 4,0.

De afbreekbaarheid van dierlijke meststoffen is zodanig, dat er geen aantoonbare verschillen gevonden zijn in COD-waarden van het grondwater.

Overmatige belasting met drijfmest

Op het 120 ton-objekt worden door overdosering meer voedingsstoffen toegediend dan noodzakelijk is voor de groei van de plant. Dit kan leiden tot een grotere opname van het gewas, hetgeen enerzijds tot een hogere opbrengst leidt en anderzijds verhoogde concentraties in wortel en blad tot gevolg kan hebben. Mineralen, die na het groeiseizoen in de bodem achterblijven zullen, voorzover ze niet aan het bodemcomplex gebonden zijn, uitspoelen. Vergeleken met het 60 ton-objekt is er een duidelijk verhoogde uitspoeling geconstateerd voor Cl, Na, N, K, Ca, Mg, SO_4 en totaal-zout. De hoeveelheden overtreffen in de meeste gevallen de kunstmestuitspoeling; sulfaat blijft hierin achter. Toename van organisch fosfaat in de ondergrond is niet duidelijk aanwezig, hoewel op langere termijn uitspoeling niet uitgesloten moet worden geacht. Ook de aanwezigheid van opgeloste organische verbindingen in het grondwater is niet duidelijk toe te schrijven aan overdosering, hoewel in het bodemvocht van de bouwvoor de concentratie van organische verbindingen bij het 120 ton-objekt duidelijk hoger ligt dan bij het 60 ton-objekt.

6. SAMENVATTING

Op de proefboerderij 'Vredepeel' te Vredepeel en op een akkerbouwbedrijf te De Rips is gedurende 2 jaar (oktober 1975 tot oktober 1977) onderzoek gedaan naar de uitspoeling van zouten onder proefvelden, die verschilden in bemesting: te weten een perceel dat een normale kunstmestgift ontvangt, verder een objekt dat jaarlijks in het voorjaar 60 ton en een objekt dat jaarlijks 120 ton dierlijke meststoffen toegediend krijgt. Op het praktijkperceel wordt zowel kunstmest als drijfmest gebracht.

Voor het bemonsteren van het bodemwater zijn filterkaarsen ge-

bruikt. Om de 20 cm zijn deze in het profiel aangebracht. Met behulp van de gemeten concentraties bleek het mogelijk om over het tijdsbestek januari 1976 tot januari 1977 een chloridebalans van het profiel samen te stellen (tabel 6). Ook zijn op deze diepten de nitraatgehalten gemeten, waarvan in bijlage 3 een eenvoudige balans is weergegeven. Van het monster op de diepte 1,00 m -mv is een meer uitgebreide analyse verricht, bestaande uit N- en P-verbindingen en de kationen en anionen (bijlage 2, tabel 5). Met behulp van het neerslagoverschot (tabel 4) en grondwaterstandsverandering (fig. 1) kon de afvoer uit het profiel berekend worden (tabellen 7, 8, 9, 10 en 12). Ook is de uitspoeling weergegeven van een natuurgebied, dat qua grondslag en verdamping overeenkomt met het landbouwgebied. In het natuurgebied vormen de zouten in het regenwater (bijlage 4) de belasting van de bodem. In landbouwgebieden is deze bijdrage zeer gering vergeleken met de hoeveelheden die via bemesting en beregening op de bodem komt. In het natuurgebied (begroeiing pijpestrootje) vindt enkel afvoer van mineralen plaats door uitspoeling, terwijl in landbouwgebieden bovendien mineralen afgevoerd worden door de oogst van gewassen. De gehalten in gewassen zijn in dit onderzoek gebaseerd op gegevens van anderen (bijlage 3). Om bij de uitspoeling factoren als klimatologie, vruchtwisseling en beregening enigszins uit te sluiten, is in tabel 12 deze gerelateerd aan de uitspoeling van het kunstmestobject (100%).

Tabel 12. Uitspoeling van mineralen (%) bij een natuurgebied met pijpestrootje en bij percelen met een landbouwkundige bestemming, gerelateerd aan normaal kunstmestgebruik (100%) over de periode november 1975 - oktober 1977

	Natuur- gebied	Kunstmest	60 ton dierl. mest	120 ton dierl. mest	Dierl. mest + Aanv. kunstm.	
Chloride	14	100	73	131	71 (100 = 285 kg.ha ⁻¹)	
Natrium	24	100	100	175	114 (100 = 95 "	)
Stikstof	3	100	122	282	154 (100 = 177 "	)
Kalium	3	100	105	405	76 (100 = 86 "	)
Calcium	2	100	61	103	49 (100 = 900 "	)
Magnesium	22	100	83	233	60 (100 = 108 "	)
Sulfaat	13	100	51	74	32 (100 = 1550 "	)
Totaal-zout	7	100	66	139	65 (100 = 3750 "	)

LITERATUUR

- CONSULENTSCHAP VOOR BODEMAANGELEGENHEDEN, 1977. Adviesbasis voor bemesting van landbouwgronden.
- CONSULENTSCHAP VOOR BODEMAANGELEGENHEDEN, 1974. Samenstelling van organische meststoffen van dierlijke oorsprong. S64. Wageningen.
- KOLENBRANDER, G.J. en L.C.N. DE LA LANDE CREMER, 1967. Stalmest en gier, waarde en mogelijkheden. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren.
- MASCHHAUPT, J.G., 1941. Lysimeteronderzoekingen aan het Rijkslandbouwproefstation te Groningen en elders. Deel II. De scheikundige samenstelling van het drainwater. Verslag Landbouwk. Onderz. nr. 47(4)A. 's-Gravenhage.
- PROEFSTATION VOOR DE AKKERBOUW EN CONSULENTSCHAP VOOR DE RUNDVEEHOUDERIJ EN DE AKKERBOUW (1971-1976). Technische verslagen van de proefboerderij 'Vredepeel' over 1971-1976. Roermond.
- PROEFSTATION VOOR DE AKKERBOUW EN WEIDEBOUW, 1965. Handboekje voor de landbouwvoorlichter.
- RIDDER, T.B. DE, 1978. Over de chemie van de neerslag. Vergelijking van meetresultaten. W.R. 78-4. KNMI, De Bilt.
- RIJTEMA, P.E., 1970. Soil moisture forecasting. Nota ICW 513, Wageningen.
- SLUYSMANS, C.M.J., 1968. Einfluss von Düngemitteln auf den Basenzustand des Bodens. Landwirtsch. Forsch. 21, Sonderh. 22: 175.
- SCHIJNDEL, J.H.W.M. VAN en H.P. OOSTEROM, 1978. Onderzoek naar de chemische samenstelling van het bovenste grondwater bij natuurlijke begroeiingen op kalkarme zandgrond. Nota ICW 1075, Wageningen.
- STEENVOORDEN, J.H.A.M. en H.P. OOSTEROM, 1975. De chemische samenstelling van de neerslag te Wageningen (augustus 1973 - juli 1975). Nota ICW 882, Wageningen.
- WERKGROEP BEMESTING EN BODEMVERONTREINIGING, 1977. Jaarverslag.

gegevens van het proefveld 'meerjarige drijfmestgiftten' op de proefboerderij Vredepeel (Stichting Proefboerderij Vredepeel, 1971 - 1976)

Berekening			Kunstmestgift			Drijfmestsamenstelling				Opbrengst (kg.ha ⁻¹)
datum	mm		N-gift	fosfaat	kali	per 10 ton				
			kg N/ha	kg P ₂ O ₅ /ha	kg K ₂ O/ha	N*	P ₂ O ₅	K ₂ O	%ds	
14/7	30	1971/1972	160	130	240	25	15	40	0 : 46 390	
9/8	25	suikerbieten (KWP)	+		(K-20)				60 : 46 830	
15/8	30	zaaidatum 8/4	40(ch.s.)						80 : 48 430	
	85	oogstdatum 16/11							100: 49 360	
									120: 53 640	
geen		1972/1973								
		korrelmais (L.G.11)	140	130	200	25	25	40	0 : 5034 (15% vocht)	
		zaaidatum 2/5	(kas)	(super)	(K-40)				60 : 5356	
		oogstdatum 10/11							120: 5576	
16/6 tot		1973/1974								
eind aug.		c. aardappelen (Bint-	140	130	200	25	35	40	0 : 51 440	
5 giften	150	je, Saturna, Hansa)							60 : 52 940	
		zaaidatum 16/4							120: 55 780	
		oogstdatum 9/10								
25/5	30	1974/1975								
26/6	30	wintertarwe (Clement)	100	geen	120	geen drijfmest				gem.: korrel
	60	zaaidatum 12/11	(70+30)		(K-40)				4487 kg (17% vocht)	
		oogstdatum begin aug.	(kas)							
5/7	30	1975/1976								
25/7	35	suikerbieten ¹⁾	160	100	240	25	33	60	0 : 56 158	
5/8	40	(Monohil)	(kas)		(K-40)			6,4	60 : 55 942	
25/8	35	zaaidatum 23/4							120: 66 379	
5/9	20	oogstdatum 29/10								
	160									
eind		1976/1977								
april		waspeen (A'damse bak)	45	144	260	20	17	?	30 ton	
- 1/2	170	zaaidatum 13/4	(kas)	(super)	(pat.)			3,6	vers gewicht	
aug.		oogstdatum 19/8								
5/7	25	1977/1978								
22/7	25	c. aardappelen (Bint-	400	129	180	18	24	42		
2/8	25	je)	(kas)	(triple su-	(pat.)					
	75	zaaidatum eind april		perfosfaat)						
		oogstdatum 8/10								
		1978/1979								
		snijmais ²⁾								

*werkingscoëfficiënt 60%

1) extra bemesting: 2 ton dolocal (54% z.b.b.) + 10 ton schuimaarde (20% z.b.b.)

2) vloeibare schuimaarde toegediend (10 ton/ha; z.b.b. 40%)

bijlage 1b

Bemesting van het perceel in De Rips bij opeenvolgende teelten

Jaar	Gewas	Kunstmest (kg.ha ⁻¹)	Organische mest (m ³ .ha ⁻¹)
1971	stamslabonen	150 kg N (kas)	25 m ³ kippemest
1972	tarwe	30 kg N (kas) 300 kg K ₂ O	geen
1973	aardappelen	1000 kg (12-10-18)	
1974	suikerbieten	150 kg N (chilisal- peter)	40 m ³ kippemest
1975	tuinbonen	150 kg N (kas)	25 m ³ drijfmest
1975/76	wintertarwe	60 kg N (kas) in april/mei 1977	
1976	gras	geen	30 m ³ drijfmest
1977	c. aardappelen		30 m ³ drijfmest

Bijlage 3

Overzicht van de bodembelasting, berging in en afvoer uit het profiel (tot 2,00m-mv) van chloride en stikstof op 3 bemestingsobjecten te Vredepeel aan de hand van de gehalten in watermonsters op de verschillende diepten (13 januari 1976 tot 13 januari 1977)

	Kunstmest		60 ton drijfm.		120 ton drijfm.	
	Cl	N	Cl	N	Cl	N
Voorraad 13/1/76	382	78	190	91	318	129
Neerslag (400 mm)	16	19	16	19	16	19
Berekening (170 mm)	80	5	80	5	80	5
Bemesting	20	45	123	240	236	480
	498	147	409	355	650	633
Afvoer op 2 m -mv	88	18	81	17	73	19
Opname gewas*	4	45	4	63	4	72
Voorraad 13/1/77	370	163	374	259	556	570
	462	226	459	339	633	661

*samenstelling waspeen:

- stikstof: kunstmestobj.: 1,0% van het droge stofgehalte
60 ton drijfmest: 1,4% van het droge stofgehalte
120 ton drijfmest: 1,6% van het droge stofgehalte
(WERKGROEP BEMESTING EN BODENVERONTREINIGING, 1977)
- chloride: 0,1% van het droge stofgehalte (MASCHHAUPT, 1941)

Bijlage 2

Gehalten in het grondwater c.q. bodemvocht op circa 1,00 m -mv onder 3 proefvelden met verschillende bemestingen op de proefboerderij 'Vredepeel' (V_0 = kunstmest, V_1 = 60 ton drijfmest en V_2 = 120 ton drijfmest per ha) en onder een perceel op een bedrijf in De Rips (R)

Periode	Bemon. datum	Vredepeel		De Rips		Chloride (mg.l ⁻¹)				Nitraat (mg N.l ⁻¹)				Ammonium (mg N.l ⁻¹)				Kjeldahl-N (mg N.l ⁻¹)				COD (mg O ₂ .l ⁻¹)				Geleidingsvermogen (µmho.cm ⁻¹ , 20°C)					Zuurgraad (pH)						
		grw.st. m -mv	afvoer mm	grw.st. m -mv	afvoer mm	V ₀	V ₁	V ₂	R	V ₀	V ₁	V ₂	R	V ₀	V ₁	V ₂	R	V ₀	V ₁	V ₂	R	V ₀	V ₁	V ₂	R	V ₀	V ₁	V ₂	D	V ₀	V ₁	V ₂	R				
1975																																					
1/11-25/11	25/11	1,60	19	1,43	13	71	21	25	21	11,2	13,2	13,4	28,2	-	-	-	-	8,4	2,8	4,2	2,9	-	-	-	-	490	310	368	510	6,7	7,0	7,5	7,6				
-15/12	15/12	1,29	32	1,12	20	68	32	28	45	8,6	19,4	16,5	34,8	-	-	-	0,12	-	-	-	1,8	-	-	225	110	800	444	380	940	7,8	7,8	7,1	6,1				
1976																																					
-13/1	13/1	1,02	39	0,95	24	51	28	36	50	5,7	8,4	29,7	165,0	0,23	<0,04	<0,04	6,3	3,6	4,0	3,9	460	185	250	90	800	364	780	1720	6,7	6,5	6,8	4,0					
-10/2	10/2	1,10	8	1,00	8	50	32	46	39	8,6	11,7	16,5	104,9	0,34	0,23	0,18	1,7	1,5	3,0	2,0	100	150	190	100	700	380	600	1380	6,4	7,0	7,3	5,2					
- 8/3	8/3	1,18	8	1,10	4	79	28	55	31	12,2	12,2	20,1	98,3	0,22	<0,04	-	1,7	2,3	3,1	-	20	25	30	25	760	440	660	1160	6,4	6,6	6,3	6,3					
- 6/4	6/4	1,23	8	1,10	5	91	35	61	31	12,3	15,0	19,6	91,5	0,04	<0,04	<0,04	2,1	2,5	3,0	2,9	95	118	143	105	860	540	740	1200	6,5	6,4	5,0	5,0					
- 1/12	10/5	1,85	9	1,75	8	118	44	15	41	17,4	19,4	19,1	75,7	0,04	<0,04	0,03	1,9	2,6	3,2	1,3	115	155	164	150	926	726	707	1119	5,0	5,9	5,0	6,0					
- 7/12	7/12	1,53	71	1,30	46	52	45	123	81	24,2	23,5	86,2	85,1	0,07	-	-	3,3	3,4	-	-	160	135	-	-	942	671	1851	1743	6,9	6,7	7,4	7,2					
1977																																					
-12/1	12/1	1,34	38	1,15	38	84	84	128	68	29,5	56,1	115,0	73,7	0,35	0,27	0,37	3,1	4,0	3,7	4,2	110	95	182	170	1828	1458	2711	1526	5,4	6,5	4,8	6,7					
- 8/2	8/2	0,96	64	1,11	38	110	42	138	91	44,0	59,4	247,5	104,5	0,27	0,18	0,64	3,0	2,4	3,3	4,1	32	90	135	165	2010	940	3078	1014	5,6	6,2	4,3	6,5					
- 9/3	9/3	1,08	27	1,02	25	135	29	138	89	54,8	43,3	215,6	94,6	0,40	0,38	0,34	2,0	2,0	2,2	4,3	80	90	135	225	2322	724	2867	1444	4,7	6,0	6,5	6,5					
-14/4	14/4	1,06	31	0,88	22	44	31	77	50	32,3	42,9	158,4	57,6	0,42	0,62	0,93	2,4	3,2	3,3	4,6	205	100	130	160	1181	871	2009	842	5,2	5,7	5,5	5,5					
-15/6	15/5	1,07	36	0,99	21	15	19	29	48	35,9	37,4	71,3	60,3	0,23	0,08	0,57	2,0	1,7	3,3	3,5	110	130	175	180	581	667	1080	790	6,2	5,6	5,9	5,9					
-25/10	11/10	1,51	65	1,20	38	10	88	52	-	84,5	108,2	45,1	-	0,04	0,16	-	1,9	1,8	4,7	-	110	115	225	-	1020	1560	1000	-	5,4	4,4	4,6	-					

vervolg Bijlage 2

Periode	Bemon. datum	Vredepeel		De Rips		Ortho-fosfaat (mg P.l ⁻¹)				Totaal-fosfaat (mg P.l ⁻¹)				Kalium (mg K.l ⁻¹)				Calcium (mg Ca.l ⁻¹)				Magnesium (mg Mg.l ⁻¹)				Natrium (mg Na.l ⁻¹)				Sulfaat (mg SO ₄ .l ⁻¹)				Bicarbonaat (mg HCO ₃ .l ⁻¹)			
		grw.st. afvoer		grw.st. afvoer		V ₀	V ₁	V ₂	D	V ₀	V ₁	V ₂	D	V ₀	V ₁	V ₂	D	V ₀	V ₁	V ₂	D	V ₀	V ₁	V ₂	D	V ₀	V ₁	V ₂	D	V ₀	V ₁	V ₂	D				
		m -mv	mm	m -mv	mm																																
1975																																					
1/11-25/11	25/11	1,60	19	1,43	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-15/12	15/12	1,29	32	1,12	20	-	-	-	<0,01	-	-	-	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1976																																					
-13/1	13/1	1,02	39	0,95	24	0,18	0,07	0,03	<0,01	0,36	0,13	0,08	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-10/2	10/2	1,10	8	1,00	8	0,02	-	<0,01	<0,01	0,06	0,07	0,13	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
- 8/3	8/3	1,18	8	1,10	4	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
- 6/4	6/4	1,23	8	1,10	5	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
- 1/12	10/5	1,85	9	1,75	8	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
- 7/12	7/12	1,53	71	1,30	46	<0,01	<0,01	-	-	<0,01	<0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1977																																					
-12/1	12/1	1,34	38	1,15	38	-	-	-	-	-	-	-	-	17	24	105	16	224	156	270	160	18	23	58	18	19	25	38	30	-	-	-	-	470	250	653	119
- 8/2	8/2	0,96	64	1,11	38	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	18	15	106	22	280	126	323	185	20	14	84	19	23	16	43	33	-	-	-	-	548	135	324	113
- 9/3	9/3	1,08	27	1,02	25	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	0,02	0,02	16	18	93	28	332	83	252	151	92	30	146	50	34	16	47	45	-	-	-	-	946	154	400	173
-14/4	14/4	1,06	31	0,88	22	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,13	<0,01	15	11	62	16	210	110	270	93	21	16	42	10	21	17	34	26	-	-	-	-	446	180	311	71
-15/6	15/5	1,07	36	0,99	21	-	-	-	-	-	-	-	-	16	13	41	25	75	72	98	79	8	11	19	10	31	36	50	44	-	-	-	-	145	113	203	42
-25/10	11/10	1,51	65	1,20	38	<0,01	<0,01	<0,01	-	0,06	0,06	0,09	-	24	30	62	-	113	147	62	-	13	25	18	-	11	12	20	-	-	-	-	114	121	117	-	

Gehalten (mg.l^{-1}) in het beregeningswater van de proefboerderij 'Vredepeel', in regenwater en in het ondiepe grondwater van een natuurgebied met begroeiing rijpestrooitje

Bepaling		Beregenings- water		Natuur gebied	Regenwater	
		opp.w.	grond- water	grond- water		
		10/8/76	13/7/76	3/78		
chloride	(mg.l^{-1})	108	40	9	4	(De Ridder, 1976)
nitraat	(mg N.l^{-1})	1,3	0,2	0,6	0,7	(De Ridder, 1976, Steenvoorden e.a., 1975)
nitriet	"	0,039	0,006	-	0,01	"
anorg.- NH_4	"	0,04	1,2	-	1,6	"
org.- NH_4	"	1,2	1,6	-	2,5	"
totaal-stikstof	"	2,6	3,1	-	4,8	"
ortho-fosfaat	(mg P.l^{-1})	0,5	0,01	-	0,03	"
totaal-fosfaat	"	0,6	0,03	0,06	0,09	"
calcium	(mg.l^{-1})	90*	10	4,2	2	"
magnesium	"	11	5	1,2	<1	"
kalium	"	7	5	0,6	1	"
natrium	"	80	18	5,5	2	(De Ridder, 1976)
sulfaat	"	86	75	45	6	"
bicarbonaat	"	184*	9	0	0	
totaal-ijzer	"	0,23*	33,2	0,52	-	
zuurgraad	(pH)	9,0	4,7	4,2	4,4	"
EC, 25°C	(mho.cm^{-1})	780	300	-	-	
COD	($\text{mg O}_2.\text{l}^{-1}$)	20*	10	-	19	Steenvoorden e.a., 1975)

*geschat op basis van ingelaten Maaswater in het gebied van de Astense Peel