

INHOUD

INLEIDING

	Blz.
a. Doel der Groninger lysimeter-onderzoekingen	165
b. De betrouwbaarheid der drainwater-analyses in den loop der jaren	172
c. Bemonstering van het drainwater en conserveering der monsters .	182

HOOFDSTUK I

<i>De scheikundige samenstelling van het drainwater in den loop der jaren .</i>	184
---	-----

§ 1. Het gehalte van het drainwater aan stikstof (N)	191
a. De invloed der aanwezigheid van grondwater in de lysimeters 1—4	199
b. Verklaringen der stijgingen en dalingen in het N-gehalte van het drainwater	200
c. Verschillen in het N-gehalte van het drainwater der afzonderlijke lysimeters	205
d. Invloed van het jaargetijde op de nitraatvorming	208
e. Invloed van den aard der stikstofbemesting op het N-gehalte van het drainwater	209
f. Het N-gehalte van het drainwater der Groninger lysimeters vergeleken met de elders bij lysimeter-onderzoekingen verkregen cijfers en met het N-gehalte van het in het vrije veld opgevangen drainwater	211
g. In hoeverre is het N-gehalte van het drainwater een maatstaf voor de productiviteit van den grond, althans voor de stikstofvoorziening der gewassen?	231
§ 2. Het sulfaatgehalte (SO_3) van het drainwater	233
a. Verschillen in het SO_3 -gehalte van het drainwater der afzonderlijke lysimeters. Uitspoeling van het bij de lysimeters 1 en 5 met ammoniumsulfaat in den grond gebrachte SO_3	243
b. Invloed van het jaargetijde op het SO_3 -gehalte van het drainwater	247
§ 3. Het gehalte van het drainwater aan koolzuur der hydrocarbonaten (CO_2)	248
§ 4. Het gehalte van het drainwater aan chloor (Cl)	254
a. De beteekenis der bepaling van dit bestanddeel	254

	Blz.
b. De daling van het chloorgehalte en de schommelingen in het chloorgehalte	255
§ 5. Het gehalte van het drainwater aan fosforzuur (P_2O_5) . . .	263
§ 6. Het gehalte van het drainwater aan kiezelzuur (SiO_2) . . .	263
§ 7. Het gehalte van het drainwater aan kalien natron (K_2O en Na_2O) . . .	264
a. Daling van het gehalte aan beide bestanddeelen en schommelingen in de gehaltecijfers	264
b. Na_2O -verliezen uit de lysimeters met $NaNO_3$ -bemesting in vergelijking met die der overige lysimeters	268
c. Verrijking van den grond met Na door herhaalde bemestingen met $NaNO_3$ en de beteekenis daarvan voor de cultuur	272
§ 8. Het gehalte van het drainwater aan kalk en magnesia (CaO en MgO)	273
a. De gehaltecijfers in de verschillende proefperioden . . .	273
b. De invloed van den aard der N-bemesting op het CaO -gehalte van het drainwater	280
c. Invloed der aanwezigheid van grondwater op het CaO -gehalte van het drainwater	286
d. Het gehalte van het drainwater aan MgO	287
§ 9. De invloed der reductie-verschijnselen in den grond op de samenstelling van het drainwater gedurende de eerste jaren	289
a. Gehalte van het drainwater aan P_2O_5 en Fe_2O_3	289
b. De cijfers voor stikstof en sulfaat en voor de oxydeerbaarheid in de periode van reductie	293
c. Het gehalte van het drainwater aan mangaan (Mn_3O_4)	297
d. Het aanslag aan de wanden der verzamelflesschen	297
§ 10. Het gehalte van het drainwater aan zink (ZnO)	303

HOOFDSTUK II

<i>De door drainwater en gewassen aan den grond onttrokken bestanddeelen</i>	305
§ 1. Verbouwde gewassen en bemesting. Opbrengsten	305
De opbrengsten der afzonderlijke lysimeters en de invloed van den aard der N-bemesting op de opbrengsten	310
§ 2. De samenstelling der verbouwde gewassen en de door deze aan den grond onttrokken bestanddeelen	313

	Blz.
a. De samenstelling der gewassen	313
b. De door de gewassen aan den grond onttrokken bestanddeelen	318
§ 3. De bestanddeelen, welke met het drainwater aan den grond onttrokken werden	324
§ 4. De bestanddeelen, welke door plantengroei en drainage tezamen aan den grond onttrokken werden	331

HOOFDSTUK III

<i>De met den atmosferischen neerslag, de bemesting en met het zaaizaad aan den grond toegevoerde bestanddeelen</i>	341
§ 1. De samenstelling van het opgevangen regenwater	341
§ 2. Hetgeen er per ha met den regen in den grond komt	354
§ 3. De met de bemesting in den grond gebrachte bestanddeelen	356
§ 4. De met het zaaizaad in den grond gebrachte bestanddeelen	357
§ 5. De gemiddelde jaarlijksche winsten van den grond door regenval, bemesting en zaaizaad	357

HOOFDSTUK IV

<i>De door den grond geleden verliezen ten opzichte van de in den grond aanwezige voorraden aan de verschillende bestanddeelen</i>	358
<i>De wijziging der samenstelling van den grond in de eerste twintig proefjaren</i>	358
§ 1. De stikstof	359
a. Inleiding	359
b. Berekening van de gedurende de periode 1919—1938 door den grond der lysimeters vastgelegde stikstof	362
c. De in de literatuur vermelde waarden voor de vastlegging van stikstof uit de lucht	374
d. De betrekking tusschen de omzetting van de organische stof in den bodem en de stikstofbinding	378
e. Heeft er bij uitsluitend gebruik van anorganische stikstofmeststoffen rooibouw plaats ten aanzien van de stikstof?	387
§ 2. De humus	390
§ 3. Het fosforzuur (P_2O_5)	397
a. Totaal-fosforzuur; de P_2O_5 -voorraad in den grond	397

	Blz.
b. Het fosforzuur oplosbaar in 1-proc. citroenzuur	402
c. Enkele opmerkingen over het P-citroenzuur-cijfer in het algemeen	405
§ 4. De zwavel (SO_3)	408
a. Inleiding; het zwavelvraagstuk	408
b. Het zwavelgehalte van den grond in 1918 en in 1938. .	414
c. De zwavelbalans van den grond in de lysimeters	416
§ 5. Het kalium (K_2O)	419
a. Inleiding; beschouwingen over den kali-voorraad in den grond.	419
b. Het gehalte aan K_2O , oplosbaar in 5-proc. HCl in 1918 en in 1938	420
c. Het gehalte aan K_2O , oplosbaar in $\frac{n}{10}$ - HCl (K_{HCl} -cijfer) en dat aan uitwisselbare kali	425
§ 6. Het natrium (Na_2O)	429
a. Inleiding; beschouwingen over den natrium-voorraad in den grond	429
b. Het gehalte aan Na_2O , oplosbaar in 5-proc. HCl in 1918 en in 1938	431
§ 7. Het calcium (CaO en CaCO_3)	433
a. Het gehalte aan in 10-proc. HCl oplosbaar CaO	433
b. Het gehalte aan carbonaten	439
§ 8. Het magnesium (MgO)	443
a. De magnesiumvoorraad in den grond	443
b. Het gehalte aan MgO , oplosbaar in 10-proc. HCl in 1918 en in 1938	445
NABETRACHTING	447
SAMENVATTING	454
SUMMARY IN THE ENGLISH LANGUAGE	480
LITERATUURLIJST	505

BIJVOEGSEL

BESCHRIJVING VAN DE BIJ HET SCHEIKUNDIG ONDERZOEK
 DER DRAINWATER-, REGENWATER-, GEWAS- EN GROND-
 MONSTERS GEVOLGDE VOORSCHRIFTEN, door J. TEN HAVE 510

RIJKSLANDBOUWPROEFSTATION EN BODEMKUNDIG INSTITUUT
TE GRONINGEN

LYSIMETERONDERZOEKINGEN AAN HET RIJKSLANDBOUWPROEFSTATION TE GRONINGEN EN ELDERS

DOOR

Ir. J. G. MASCHHAUPT

(Ingezonden 3 April 1941)

II. DE SCHEIKUNDIGE SAMENSTELLING VAN HET DRAINWATER ¹⁾

INLEIDING

a. Doel der Groninger lysimeteronderzoekingen

„De bodem is geen entrepôt, maar een trafik.”

Zoo luidt een der vele kernachtige gezegden, van welke G. J. MULDER zich omstreeks het midden der vorige eeuw bediende in zijn strijd tegen de „plompe quantiteitsleer” van LIEBIG (66, III, blz. 430).

Er bestond toentertijd alle reden, om met nadruk op de activiteit van den bodem te wijzen! De scheikunde was na het optreden van LIEBIG een groote rol gaan spelen op landbouwkundig gebied; men meende door scheikundig onderzoek van den bodem diens vruchtbaarheid, door de scheikundige ontleding der gewassen de mestbehoefte der verschillende gewassen te kunnen leeren kennen. De scheikunde was volgens MULDER ten opzichte van den landbouw „eene soms aanmatigende wetenschap” (l. c. blz. 404). Zij was het inderdaad.

Was echter toentertijd, in een periode van krachtigen groei van het natuurwetenschappelijk onderzoek, anders te verwachten? De fout was niet zoozeer, dat men voor den landbouw *te veel* van de scheikunde verwachtte, als wel dat men de vraagstukken op het gebied van bodem, bemesting en plantenvoeding veel te eenvoudig zag. Het is de verdienste van MULDER, dat hij in zijn in 1860 verschenen werk: „De scheikunde der bouwbare aarde” hierop met grooten nadruk de aandacht vestigde. „Eene gezonde agrologie is physiologie” (III, 434) en „in de physiologie staan wij op het terrein van complexiteit” (I, blz. X). En LIEBIG stond steeds buiten de physiologie (III, 409).

Maar MULDER zag niet slechts de verwarrende samengesteldheid der

¹⁾ Deel I, Regenval, Drainage en Verdamping, verscheen in deze Verslagen N°. 44 (1) A 1938.

2079262

(1) A 41

mm

vraagstukken, omdat hij ervan doordrongen was, dat de bemestingsvraagstukken ten deele *physiologische* vraagstukken zijn, hij was tevens overtuigd van de ingewikkelde scheikundige veranderingen, welke voortdurend in den grond plaats grijpen, onder invloed van atmosferische invloeden, van den plantengroei en tengevolge van het in den grond brengen van meststoffen door den mensch. Vooral de onderzoekingen van WAY in 1850 hadden hem de beteekenis van het „zeolithische deel” van den bodem doen beseffen. 't Is, aldus MULDER, een voortdurende wisseling, substitutie, metamorphose in de bouwbare aarde. Wij bemesten de planten niet, maar den *grond*; de kunstmeststoffen zijn „scheikundige middelen ter onderhouding der bouwbare aarde” (III, 455). Dit geldt althans voor *goede* bouw-aarde, die zeolithische bestanddeelen bevat. De bodem is geen entrepôt, maar een trafik!

Ook zij, die slechts oppervlakkig kennis namen van de geschriften van LIEBIG en van MULDER, zullen begrijpen — al zullen ze het ook betreuren —, dat de eerste „school” moest maken, terwijl laatstgenoemde op landbouwkundig gebied nimmer een plaats van beteekenis kòn innemen. Hoe voortreffelijk de „Scheikunde der bouwbare aarde” in velerlei opzicht ook was, hoe meesterlijk en met hoeveel hartstocht de leer van LIEBIG ook aan een meedoogenlooze kritiek werd onderworpen, invloed van beteekenis kon deze kritische studie uit den aard der zaak niet hebben: het was leetuur voor kritisch wetenschappelijke menschen, niet voor de practisch georiënteerde massa. Maar de invloed van dit geschrift moest vooral daarom gering zijn, omdat MULDER de juistheid zijner kritiek niet door het landbouwkundige experiment aantoonde. Hij heeft dit misschien wel gewenscht, maar, èn door zijn leeftijd èn door de omstandigheden, niet meer gekund. Ik schrijf: *misschien*, want of MULDER wel zoo doordrongen was van de noodzakelijkheid van het experiment, valt m.i. nog te betwijfelen. LIEBIG, de dogmaticus en de man met den greep op de massa, had het experiment niet noodig om zijn discipelen te overtuigen, zijn tegenstander echter had slechts door het experiment gehoor kunnen krijgen.

Voor de ontwikkeling van het landbouwkundig onderzoek is het ten zeerste te betreuren geweest, dat MULDER niet meerdere onderzoekers tot proefondervindelijk landbouwkundig onderzoek in de vele door hem aangeduide richtingen heeft kunnen stimuleeren; VAN BEMMELEN is in dien tijd de eenige gebleven. Toen MULDER het werk voltooid had, naderde het einde van zijn wetenschappelijke loopbaan en hij had geen school van jongere chemici meer om zich heen om de vraagstukken, welke in zijn boek voor het grijpen lagen, in onderzoek te nemen; andere hoofdstukken der chemie,

vooral de organische chemie, trokken trouwens meer de aandacht.¹⁾ Ook ontbraken nog in ons land de instituten, waar men zich speciaal met landbouwkundige vraagstukken bezighield.

Dat MULDER zich te uitsluitend tot kritiek beperkte en verzuimde tegelijkertijd met denzelfden hartstocht te pleiten voor proefondervindelijk onderzoek ter bestrijding van de volgens hem onjuiste zienswijzen, kan wellicht het beste worden aangetoond door hetgeen hij aan het slot van deel III schrijft over „intensieve kultuur”. En dit voert ons tevens tot den oorsprong van de Groninger lysimeteronderzoekingen.

Bij de intensieve kultuur, zegt MULDER, gaat het om de opbrengst, niet om den bodem. „Wat het geeft, heeft men altoos gevraagd, evenals nu; maar thans vraagt men wat het geeft in het eerste jaar, in de eerste jaren, en daar men niet den bodem, maar de opbrengst voor oog en heeft, kan het wel zijn, dat de uitkomst niet gelukkig wezen zal..... Dat die grondslag fout is, behoeft nauwelijks betoog. Ik wil de zaak niet zoo scherp opnemen, dat ik op het „après nous le déluge” zou willen wijzen, maar ik mag herinneren, dat er eene toekomst is..... In den landbouw, het middel van levensonderhoud van ons geslacht, thans te vragen naar de meeste vruchten, en niet te vragen: wat zal er van den bodem worden, bijaldien die steeds wordt *geforceerd*, komt mij voor eene ernstige zaak te zijn, en die dus ook niet lichtzinnig mag worden behandeld.” En dan volgt even verder: „De uitkomst kan gunstig zijn, maar in een tak van bedrijf, waarin niet jaren, maar eeuwen spreken mogen, weet men in jaren niet wat het nieuwe gegeven heeft, wat het nieuwe aan waarde bezit. En is de uitkomst ongunstig, dan zal het nageslacht wraak roepen over de lichtzinnigheid, waarmede men in dezen tijd gehandeld heeft met het meest uitnemende der bedrijven van ons geslacht” (III, 497—99).

Na een dergelijke sombere profetie zou men verwachten, dat MULDER proefvelden aanlegde, en, zoo hij zelf daartoe niet in de gelegenheid was, althans al het mogelijke heeft gedaan om anderen daartoe aan te sporen. Doch niets van dit alles, niettegenstaande zijn gedachten wel gericht zijn geweest op proefvelden; hij wijdt er een drietal bladzijden (III, 486—88) aan en citeert met instemming een pleidooi van DE GASPARIN voor proefveld-onderzoek.

Het slot van deze passage over proefvelden is buitengewoon merkwaardig; MULDER schrijft n.l.: „Eene opmerking moet ik echter hier nog maken, dat

¹⁾ Zie de verhandeling van VAN BEMMELN over den inhoud van dit, voor den landbouwkundigen onderzoeker nog steeds belangrijke boek van MULDER in het Landbouwkundig Tijdschrift van 1901 (5) — Het werk van 1900 bladzijden, getuigende van een grondige studie der landbouwkundige literatuur in haar vollen omvang, werd in één jaar tijds geschreven! (67).

n.l. een proefveld niet leert, hoe men de gronden in een voortdurenden staat van vruchtbaarheid bewaart. Een proefveld stelt op den voorgrond: verhoogde opbrengst in den eerstvolgenden tijd, en vraagt niet: „hoe zal de bodem daarbij duurzaam blijven”. Hier staat men toch inderdaad verbaasd! Hoe nu, was MULDER hier uitsluitend in staat tot kritiek? Indien hijzelf geen nieuwe wegen kon gaan, kon hij die dan tenminste niet voor anderen uitstippelen? Is de gedachte niet bij MULDER opgekomen om een *ander* type proefveld aan te bevelen, waarop onderzocht zou kunnen worden, in hoeverre er door de gewijzigde bemestingsmethode in den loop der jaren veranderingen in den grond kunnen optreden, met de door hem geprofeteerde schadelijke gevolgen?

Voor een klein deel is MULDER's houding misschien te verklaren uit het feit, dat hij de schadelijke gevolgen van de „geforceerde kultuur” niet zóó aanstaande achtte, dat er *periculum in mora* was; op de laatste bladzijde van deel III verschoof hij althans de vervulling van zijn sombere profetie tot over 1000 jaren! Maar waarom dan de zaak zoo dramatisch voorgesteld?

De nadeelige gevolgen van het voortdurend gebruik van bepaalde kunstmeststoffen (MULDER noemde op de laatste bladzijde van deel III onder meer chili-salpeter) hebben zich veel eerder geopenbaard dan MULDER blijkbaar vermoed heeft. Nog geen halve eeuw nadat hij het boven aangehaalde over de mogelijke gevolgen der „intensieve kultuur” schreef, stelden SJOLLEMA en HUDIG vast, dat de ernstige moeilijkheden, waarmede men in de Veenkoloniën bij den verbouw van haver te kampen had, een uitvloeisel waren van een te ruim gebruik van kalkhoudende meststoffen en van het bij herhaling bemesten van den grond met chili-salpeter („veenkoloniale haverziekte”). Slechts enkele jaren later trok een andere ziekte, die eveneens als een gevolg van het herhaald gebruiken van een bepaalde meststof (zwavelzure ammoniak) onderkend werd, de aandacht („Hooghalensche ziekte”).

Toentertijd was het kunstmestgebruik in de Veenkoloniën nog niet ouder dan 20 à 30 jaren en thans weten wij, dat genoemde verschijnselen in luttele jaren door het gebruik van bepaalde meststoffen te voorschijn geroepen kunnen worden. Het in onderzoek nemen van de door MULDER naar voren gebrachte vraagstukken was dus veel urgenter dan hij in 1860 vermoed heeft.

Het is begrijpelijk, dat na de ontdekking van zulke merkwaardige gevolgen van eenzijdig kunstmestgebruik als de Veenkoloniale haverziekte en de Hooghalensche ziekte, de belangstelling van het Groninger Proefstation vooral uitging naar de veranderingen, welke tengevolge van plantengroei, bemesting en regenval in den grond optreden. HUDIG bepaalde zich daarbij

tot de zand- en veengronden, terwijl schrijver dezes zijn aandacht schonk aan de kleihoudende gronden.

Ook bij de laatstgenoemde grondsoorten werden reeds in het begin dezer eeuw veranderingen geconstateerd, welke door het gebruik van kunstmeststoffen veroorzaakt werden. Ik noem hier de veranderingen, welke optraden op een permanent graslandproefveld te *Rothamsted* tengevolge van jarenlang voortgezette bemesting met ammoniumsulfaat en -chloride (31). Een dergelijk geval deed zich voor op een gerstproefveld te *Woburn* na een 15-jarige bemesting met dezelfde zouten (91). Verder kan hier verwezen worden naar de onderzoeken van KRÜGER in 1905 (45).

Maar de verandering van de kleigronden onder invloed van bepaalde meststoffen trok ook reeds de aandacht van de landbouwers. Vooral op de oude, kalkarme zavelgronden namen de klachten over structuurbederf (verslempen) door herhaalde bemestingen met chili-salpeter toe, terwijl de steeds voortschrijdende ontkalking der kleigronden door de uitloogende werking van het regenwater en de daarmee gepaard gaande verandering der geaardheid van den kleigrond, reeds omstreeks het midden der vorige eeuw voor VAN BEMMELEN in de Dollardpolders een onderwerp van studie was geweest (3).

Omstreeks 1910 nam het onderzoek in de bedoelde richting een aanvang. Reeds in de eerste publicatie van 1911 wees ik erop, dat het vraagstuk niet zonder de hulp van *lysimeters* grondig bestudeerd kon worden (56, blz. 19).¹⁾

Het duurde echter nog tot Augustus 1918 eer een dergelijke installatie in werking gesteld kon worden.

Waarnemingen met behulp van met grond gevulde bakken omtrent de betrekking, welke er tusschen den regenval en de hoeveelheid zak- of drainwater bestaat, werden reeds aan het einde der 18de eeuw verricht (DALTON). Doch eerst omstreeks het midden der vorige eeuw is men aandacht gaan schenken aan de *scheikundige samenstelling* van het drainwater. Zoo werden omstreeks dien tijd door WAY (96), WILSON, KROCKER en E. WOLFF (66, II 254—257) drainwatermonsters in het veld opgevangen en geanalyseerd.

FRAAS (26) was, voor zoover mij bekend, de eerste, die voor het onderzoek van drainwater van „Lösungsmesser” gebruik maakte. Het woord *lysimeter* is vermoedelijk ook van hem afkomstig (101, blz. 28). Deze *lysimeters*, eerst van aardewerk, later van verzinkt ijzer vervaardigd, hadden een oppervlakte

¹⁾ Een desbetreffend voorstel werd in October 1914 bij den Minister ingediend. Dank zij den steun, welke de toenmalige Commissie van Advies voor de Rijkslandbouwproefstations aan het voorstel verleende, verklaarde de Minister zich reeds in October 1915 bereid de kosten, begroot op f 2950,— zooveel mogelijk ten laste van het loopende dienstjaar te brengen.

van 9 dm² en bevatten een aardlaag ter dikte van slechts 15, later van 30 cm. De aarde rustte op een zeefbodem; het zich daaronder verzamelende drainwater kon door middel van een kraan worden afgetapt. De lysimeters waren buiten tot een paar cm onder den bovenrand ingegraven. Tweemaal per jaar werden ze uitgegraven om het gedurende den zomer en gedurende den winter verzamelde drainwater af te tappen.

FRAAS stelde zich ten doel aard en hoeveelheid der bodembestanddeelen, welke in den ondergrond wegzakken, te leeren kennen, alsmede den invloed, welken plantengroei en bemesting daarop uitoefenen.

Zoowel het opgevangen drainwater als de geoogste gewassen werden door ZÖLLER (101) geanalyseerd. Hij trekt uit de analyse-resultaten de conclusie, dat de belangrijkste plantenvoedende bestanddeelen door den grond worden vastgehouden; chloor, zwavelzuur en salpeterzuur zakken echter als Ca- en Mg-zouten in den grond weg. Verder merkt hij op, dat de hoeveelheden phosphorzuur (het drainwater bevatte hiervan niets of slechts sporen) en kali, welke de granen voor korrel- en stroovorming behoeven, veel grooter zijn dan zij mogelijkerwijze uit oplossingen van de gevonden samenstelling zouden kunnen bemachtigen, waaruit hij afleidt, dat de planten haar voedsel niet in een oplossing toegevoerd krijgen.

MULDER heeft deze onderzoekingen en de daaruit getrokken conclusies aan een uitvoerige bespreking onderworpen en op de hem eigen wijze bescreven (II, blz. 230 e.v.).

In de eerste plaats merkte hij op, dat deze proeven niets kunnen leeren omtrent de veranderingen, welke de bouwvoor ondergaat, omdat het water, hetwelk de dunne grondlaag is gepasseerd en zich onder in den lysimeter heeft verzameld, niet meer bij droogte daarin capillair kan opstijgen zooals in den natuurlijken grond gebeurt. „Juist dat gemis aan verschuiven, aan dat op- en nedergaan van het water, waardoor voortdurend opgelost en onopgelost telkens wisselt en voorbij de wortels der planten schuift; juist dat opheffen van het physiologisch verband, verplichten „de Schule”¹⁾ om hier te verklaren: het is kunstwerk en niet hetgeen in natura bestaat” (l.c. blz. 232).

Verder bestrijdt MULDER, dat de samenstelling van het in de lysimeters verzamelde water in tegenspraak zou zijn met de meening, als zouden de planten hare bestanddeelen in oplossing uit den bodem bekomen (l. c. 244).

Sedert FRAAS zijn er in talloze instituten, over de geheele wereld verspreid, lysimeters ingericht om de samenstelling van het drainwater te bestudeeren; in hoofdstuk I, § 2 van deel I dezer verhandeling gaf ik een beknopt

¹⁾ FRAAS duidde hiermede min of meer spottend „de officieele wetenschap” aan. Hij keerde zich tegen het theoretiseeren der wetenschappelijke mannen op het gebied der agricultuurchemie: men moest experimenteeren onder *natuurlijke* omstandigheden.

overzicht van enkele der belangrijkste buitenlandsche installaties en van de daarmede verrichte onderzoekingen. Voor zoover daartoe bij de bespreking van de resultaten der Groninger onderzoekingen aanleiding bestaat kom ik op deze, en wellicht ook nog op andere, onderzoekingen terug.

Bij het meerendeel der lysimeteronderzoekingen was het er voornamelijk om te doen, te weten te komen, hoeveel plantenvoedende stoffen met het drainwater verloren gaan en het was, zooals wel vanzelf spreekt, in de eerste plaats het *stikstof-verlies*, dat de belangstelling trok.

Degene, die het doel van lysimeteronderzoek in dezen zin het scherpst formuleerde, was DÉHÉRAIN, toen hij omstreeks 1890 te Grignon met zijn drainwateronderzoekingen begon. Het drainwater, aldus DEHÉRAIN, bevat slechts één bestanddeel, dat ons belang inboezemt, n.l. het salpeterzuur. De sporen P en K, welke het bevat, zijn te gering dan dat wij er ons mee bezig behoeven te houden. En bovendien kunnen wij ons P, K en Ca goedkoop genoeg verschaffen; overvloed of gebrek aan N bepaalt in een normaal seizoen de opbrengst. Het is dus van het grootste belang te weten, hoe de stikstof, welke als mest op het land wordt gebracht, zich tusschen de plant, het drainwater en den grond zal verdeelen. Slechts als we de beide eerste grootheden kennen, kunnen we de laatste berekenen en dan kunnen we ook door analyse van den grond nagaan, of er gasvormige stikstof uit den grond verloren gaat dan wel in den grond wordt vastgelegd. Uit de aldus verkregen gegevens zullen we eenmaal aanwijzingen kunnen afleiden, die voor de door de praktijk te volgen gedragslijn van belang zijn (18, blz. 66).

Dit is het probleem, zooals DEHÉRAIN het zag en formuleerde, en hij heeft op voortreffelijke wijze naar de oplossing gestreefd.

Het waren deze onderzoekingen, welke SJOLLEMA inspireerden tot bestudeering van de N-verliezen bij de Nederlandsche gronden. Hiertoe werd te Uithuizermeeden op het bedrijf van den heer H. WELT een drainageproefveld ingericht, waarop van 1901—1910 waarnemingen werden verricht. De uitkomsten hiervan werden door HUDIG en WELT gepubliceerd (38). In deel I (blz. 15) maakte ik reeds melding van dit proefveld.

Het vraagstuk, dat ik mij voorstelde te bestudeeren, had uit den aard der zaak óók betrekking op de N-huishouding. Maar het omvatte daarnaast de huishouding van alle andere bestanddeelen van den grond en van de gebruikelijke meststoffen. Het ging erom de veranderingen in den grond ten aanzien van alle bestanddeelen in den loop der jaren na te gaan. Voor ieder bestanddeel diende de balans opgemaakt te kunnen worden. Van den beginne af werden de drainwatermonsters (als regel kwartaalmonsters) en de gewassen dan ook zoo volledig mogelijk genalyseerd.

Gaarne herdenk ik hier de voortreffelijke wijze, waarop Mej. A. HUIZINGA — destijds assistente aan het proefstation en aan wier zorgen tot September 1924 het analytische werk, aan dit onderzoek verbonden, was toevertrouwd — de toe te passen analyse-methoden op betrouwbaarheid en nauwkeurigheid toetste en zoo noodig verbeterde. Bij de verwerking van de gedurende 20 jaren verzamelde analysecijfers heeft zich bij mij de overtuiging gevestigd, dat we, dank zij de toewijding en kritischen zin van Mej. HUIZINGA, de beschikking hebben gekregen over door de jaren heen zeer betrouwbare analytische gegevens.

Vanaf September 1924 tot September 1931 werden de analyses verricht door Mej. A. BRONKEMA, en vanaf laatstgenoemden datum tot heden door de heeren J. TEN HAVE en A. J. MULLER en door mej. G. ROEDE; ook dezen medewerkers betuig ik op deze plaats mijn dank voor de zorg, waarmede zij de analytische en andere aan het lysimeteronderzoek verbonden werkzaamheden steeds verrichtten. Indien men niet over toegewijde en in het laboratoriumwerk bedreven krachten beschikt, hoeft men een dergelijk werk niet te beginnen.

Bij de verwerking van de analyse-uitkomsten kwam duidelijk naar voren, van hoeveel belang het is geweest dat van den aanvang af ook die bestanddeelen geregeld bepaald werden, die naar aard of hoeveelheid geen rol of slechts een rol van ondergeschikte beteekenis spelen, zooals Fe, Mn, Si en Cl.

b. De betrouwbaarheid der drainwateranalyses in den loop der jaren

Het steeds volledig analyseeren der drainwatermonsters, het geregeld bepalen ook van die bestanddeelen, welke landbouwkundig of bodemkundig van minder belang schenen te zijn, verdiende nog om een andere reden aanbeveling: *de volledige analyse van het drainwater stelt ons in staat om contrôle uit te oefenen op de juistheid der verrichte analyses.*

Een dergelijke contrôle is zeer gewenscht, daar de bepalingen als regel slechts in enkelvoud uitgevoerd kunnen worden in verband met den omvang van het aan dit onderzoek verbonden analytische werk. Eenige contrôle heeft men reeds door de omstandigheid, dat steeds naast elkaar het drainwater uit de 8 lysimeters onderzocht wordt. Traden er onderling onverwacht groote verschillen op, dan werden de analyses herhaald.

Aankankelijk werd de contrôle op deze wijze uitgevoerd, dat de som der gevonden zuur- en basenbestanddeelen per liter vergeleken werd met de gloeirest per liter, welke ook steeds bepaald werd. Tengevolge van de aanwezigheid van hydro-carbonaten en vermoedelijk ook tengevolge van de aanwezigheid van organische bestanddeelen in de te gloeien verdampingsrest

(ontleding der nitraten), is de samenstelling van de gloeirest echter dermate afhankelijk van de wijze van gloeien, dat zij niet ter controle kan dienen.

Een zeer goede controle krijgt men echter bij omrekening der gehaltecijfers (mg per liter) op aequivalenten (mE per 10 liter). Bij een analyse, welke zich uitstrekt over alle bestanddeelen, welke inderdaad aanwezig zijn, moet de som der base-aequivalenten gelijk zijn aan die der zuur-aequivalenten.

Het aantal milliaequivalenten koolzuur werd berekend uit de titratie van het drainwater met zoutzuur en methyloranje als indicator. Hierbij werd aangenomen, dat al het gebonden koolzuur aanwezig was als hydro-carbonaten, een veronderstelling, welke gebaseerd is op het feit, dat het drainwater steeds een ruime hoeveelheid vrij koolzuur bevat.

Verder werd aangenomen, dat het gevonden SiO_2 aanwezig was als silicaat, hetwelk bij de titratie een aan de gevonden hoeveelheid SiO_2 aequivalente hoeveelheid zoutzuur bond en die derhalve van de bij de titratie verbruikte hoeveelheid zoutzuur afgetrokken diende te worden.

Deze controle is in de eerste plaats uitgevoerd bij de gemiddelde samenstelling der achtereenvolgende drainwatermonsters, welke berekend werd uit de analyses van het uit de 8 lysimeters afzonderlijk opgevangen drainwater. Men moet aannemen, dat bij dit middelen meerdere afwijkingen, die bij de afzonderlijke analyses optraden, genivelleerd werden, zoodat de overeenstemming tusschen het aantal base- en zuur-aequivalenten in 't algemeen beter werd.

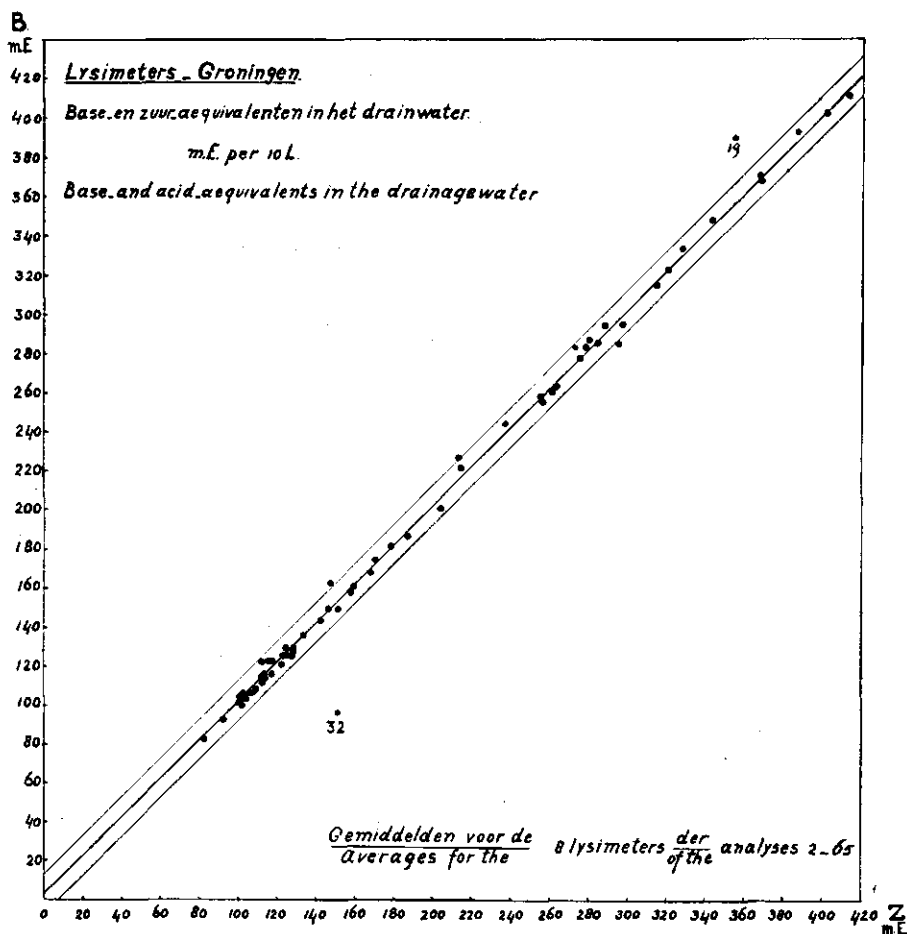
In fig. 1 zijn de aantallen B- en Z-aequivalenten tegen elkaar uitgezet. Indien de gemiddelden der telkens 8 analyses volkomen juiste uitkomsten hadden gegeven, zou steeds $B = Z$ moeten zijn en zouden alle punten derhalve op de lijn moeten liggen, welke door het kruispunt der assen gaat en een hoek van 45° met beide assen maakt.

In de grafische voorstelling ziet men in de eerste plaats, dat de punten op een paar uitzonderingen na zich alle groepeeren om een lijn, welke de *ij*-as even boven het nulpunt snijdt, hetgeen beteekent, dat het aantal base-aequivalenten, een paar uitzonderingen daargelaten, steeds grooter is dan het aantal zuur-aequivalenten. Dit verschil bedraagt gemiddeld 2,9 mE. Voor de 58 analyses van 1 September 1918 tot 1 Januari 1938 is n.l. Z gemiddeld 205,0 mE, B 207,9 mE per 10 liter.

Feitelijk overheerschen de base-aequivalenten nog wat meer, omdat in de grafiek de gevonden hoeveelheden ZnO , Mn_3O_4 , $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{Al}_2\text{O}_3$ en CuO niet in rekening zijn gebracht; gemiddeld is de som der base-aequivalenten dientengevolge nog ± 2 mE grooter. Aanvankelijk, tot 1923 ongeveer, was dit bedrag wat grooter.

Het schijnt dus, dat er in de uitvoering der analyses of in de berekening

der milliaequivalenten of in beide bewerkingen een kleine systematische fout schuilt, waardoor het aantal base-aequivalenten iets te hoog of het aantal



Figuur 1

zuur-aequivalenten iets te laag gevonden wordt, waarbij misschien ook gedacht moet worden aan de aanwezigheid van organische zuren. Groot is deze fout echter niet; zij is voor de beschouwingen in de volgende hoofdstukken zelfs van geen betekenis.¹⁾

Beschouwt men verder de spreiding der punten in de stippenfiguur 1, dan blijkt, dat deze met slechts enkele uitzonderingen gering is. Dit komt

¹⁾ Bij de 8 van 1 September 1933 tot 1 Januari 1938 verrichte series van telkens 8 analyses was de overeenstemming nog beter. Z—B lag bij deze analyses tusschen + 1,3 en — 3,1 en bedroeg gemiddeld — 1,1 mE per 10 l.

ook naar voren, indien men voor de waarden $Z-B$ de middelbare fout van de afzonderlijke bepaling uitrekent en de afwijkingen der $Z-B$ -waarden van het gemiddelde voor $Z-B$ daarmee vergelijkt. Men ziet dan, dat slechts in 5 van de 58 gevallen de afwijking van het gemiddelde grooter is dan éénmaal de middelbare fout en slechts in 2 gevallen grooter dan driemaal de middelbare fout, zoodat men van een foutieve analyse moet spreken.¹⁾ Deze beide analyses komen ook duidelijk op de grafiek naar voren: het zijn de analyses 19 en 32.

Het is wel van belang, deze beide afwijkende analyses wat nader te beschouwen, want men heeft hier te doen met gemiddelden van telkens 8 analyses, waarbij de kans op een fout toch aanmerkelijk geringer wordt. Schenken we eerst onze aandacht aan analyse 32.

Het betreffende punt ligt aanmerkelijk onder de lijn, hetgeen wil zeggen, dat in tegenstelling met bijna alle andere analyses niet de base- doch de zuur-aequivalenten overheerschen en wel in sterke mate ($Z-B = +54$) en dit is het geval bij de 8 afzonderlijke analyses: $Z-B$ schommelt tusschen $+42$ en $+70$. Het heeft er dus allen schijn van, dat er bij de 8 gelijktijdig uitgevoerde analyses dezelfde en ongeveer even groote fout werd gemaakt, waardoor te veel zuur-aequivalenten of te weinig base-aequivalenten werden gevonden. Welke base of welk zuur is dit nu geweest?

Indien men in plaats van de som van alle base-aequivalenten (B) uit te zetten tegen de som van alle zuur-aequivalenten (Z), zooals in fig. 1 is gedaan, $\text{CaO} + \text{MgO}$ uitzet tegen $\text{N}_2\text{O}_5 + \text{SO}_3 + \text{CO}_2$, of CaO tegen de genoemde zuur-aequivalenten, of CaO tegen $\text{N}_2\text{O}_5 + \text{SO}_3$ dan wel tegen SO_3 alleen, steeds ziet men het punt voor analyse 32 dezelfde afwijkende positie innemen. Uit de laatste grafiek, welke in fig. 1a²⁾ wordt weergegeven, volgt, dat de afwijking veroorzaakt wordt, doordat bij de analyses 32 het gehalte aan CaO te laag of het gehalte aan SO_3 te hoog werd gevonden.

Ik breng in herinnering, dat men hier te maken heeft met waarden, die gevonden werden door de uitkomsten van 8 CaO - resp. 8 SO_3 -bepalingen te middelen. Nu is het onwaarschijnlijk, dat bij 8 naast elkaar uitgevoerde SO_3 -bepalingen belangrijke en ongeveer gelijke fouten gemaakt zouden zijn geworden.³⁾

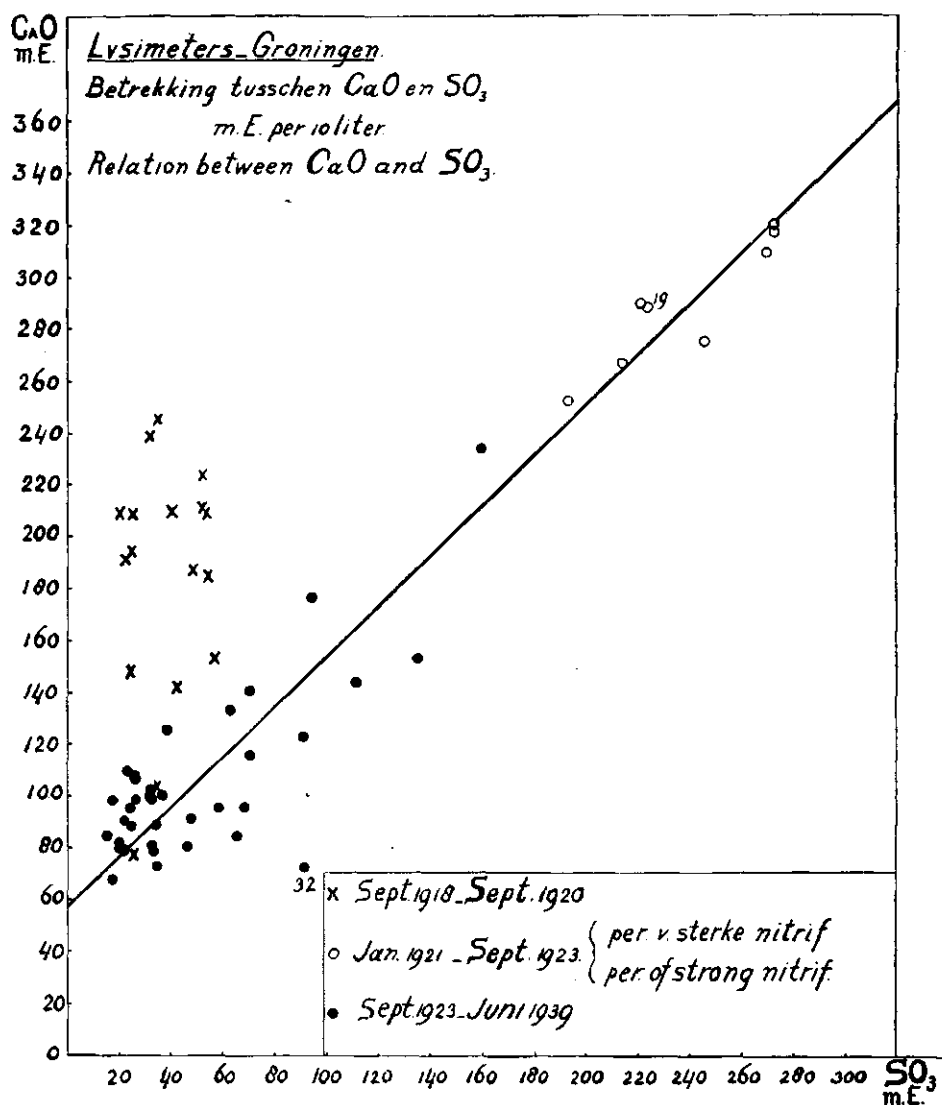
Een gemeenschappelijke fout bij de CaO -bepaling is eerder denkbaar:

¹⁾ Een en ander is ook te lezen uit fig. 1, waarin evenwijdig aan de lijn, welke het verband tusschen B en Z weergeeft, lijnen zijn getrokken op een afstand gelijk aan eenmaal de standaardafwijking $S (= 9,6)$.

²⁾ De punten, welke door kruisjes zijn aangegeven, moet men buiten beschouwing laten. Ik kom later op de afwijkende positie dezer punten terug.

³⁾ Bij het narekenen der oorspronkelijke analyse-notities werden in de berekeningen geen fouten ontdekt.

er behoeft slechts een fout te zijn gemaakt bij de titerstelling der gebruikte kaliumpermanganaatoplossing om alle bepalingen met een gelijke fout te bedeelelen.



Figuur 1a

Dat de fout in de CaO -bepaling schuilt, vindt verder steun in het feit, dat in de grafiek, welke het verband $\text{CaO} : \text{N}_2\text{O}_5$ weergeeft, het punt voor analyse 32 eveneens een te lage positie heeft, hoewel dit minder overtuigend is,

daar de lijn, welke genoemd verband weergeeft, een zeer steil verloop heeft. Maar bovendien kan als steun voor de meening, dat de fout in de CaO-bepaling schuilt, nog aangevoerd worden:

1°. dat het gehaltcijfer voor CaO bij analyse 32 in verhouding tot de voorafgaande en volgende cijfers laag is (134—96—**73**—124—116 mE) ;

2°. dat de waarde voor de verhouding tusschen de aequivalenten CaO en MgO, die vanaf analyse 22 vrij constant is (gemiddeld 9,9) alleen bij analyse 32 aanmerkelijk lager is, n.l. 7,5.

Bij analyse 19 treedt een afwijking naar boven op (zie fig. 1); hier werd dus de som der base-aequivalenten te hoog of die der zuur-aequivalenten te laag gevonden ($Z - B = -37$). De waarden voor $Z - B$ zijn bij de afzonderlijke analyses wel alle negatief, maar de onderlinge verschillen zijn grooter dan bij analyse 32; bij een der analyses 19 is $Z - B = -6$, terwijl bij de overige 7 analyses deze waarden tusschen 28 en 69 liggen.

Op grond van dezelfde overwegingen komt men tot de conclusie, dat ook hier de fout vermoedelijk schuilt in de CaO-bepalingen, welke alle te hoog gevonden zouden moeten zijn, ofschoon hier de zekerheid geringer is dan bij analyse 32.

Op dezelfde wijze als bij de gemiddelde analyses voor de 8 lysimeters, is getracht een beeld te krijgen van de *nauwkeurigheid der afzonderlijke analyses*. De analyses zijn hierbij verdeeld in drie groepen, te weten:

groep 1, de analyses 2—31 der drainwatermonsters, verzameld van 1 September 1918 tot 1 September 1924,

groep 2, de analyses 32—49 der drainwatermonsters, verzameld van 1 September 1924 tot 1 September 1931, en

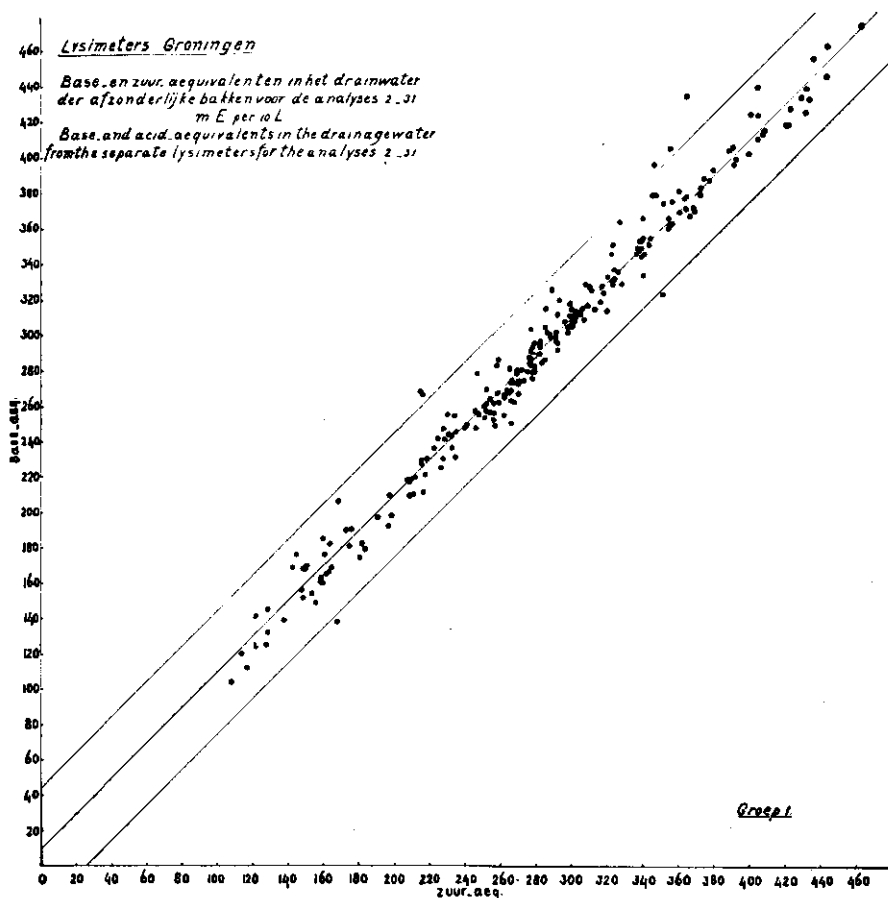
groep 3, de analyses 50—65 van de monsters, welke genomen werden van het tusschen 1 September 1931 en 1 Juni 1939 opgevangen drainwater.

De betrekking tusschen base- en zuur-aequivalenten bij deze drie groepen is in de figuren 2—4 grafisch voorgesteld. Opgemerkt zij, dat, in tegenstelling met fig. 1, in deze grafieken onder de base-aequivalenten ook zijn opgenomen de aequivalenten Fe_2O_3 , (Al_2O_3) , Mn_2O_4 en ZnO , terwijl ook de eventueel aanwezige, steeds zeer geringe hoeveelheden ammoniak-stikstof, pour acquit de conscience, bij de basen in rekening werden gebracht; in totaal gaat het hier slechts om enkele mE per 10 liter (gem. ± 3 mE).

Vergelijkt men deze drie grafieken met elkaar, dan blijkt, dat de spreiding voor de eerste groep grooter is dan voor de beide andere groepen. Hiervoor kunnen twee oorzaken bestaan:

1°. een minder nauwkeurig analyseeren in de eerste periode;

2°. in de eerste jaren waren sommige der analytische methoden nog minder nauwkeurig, doch gaandeweg werden deze methoden verbeterd.



Figuur 2

Base- en zuur-aequivalenten in het drainwater der afzonderlijke bakken voor de analyses 2—31. mE per 10 l

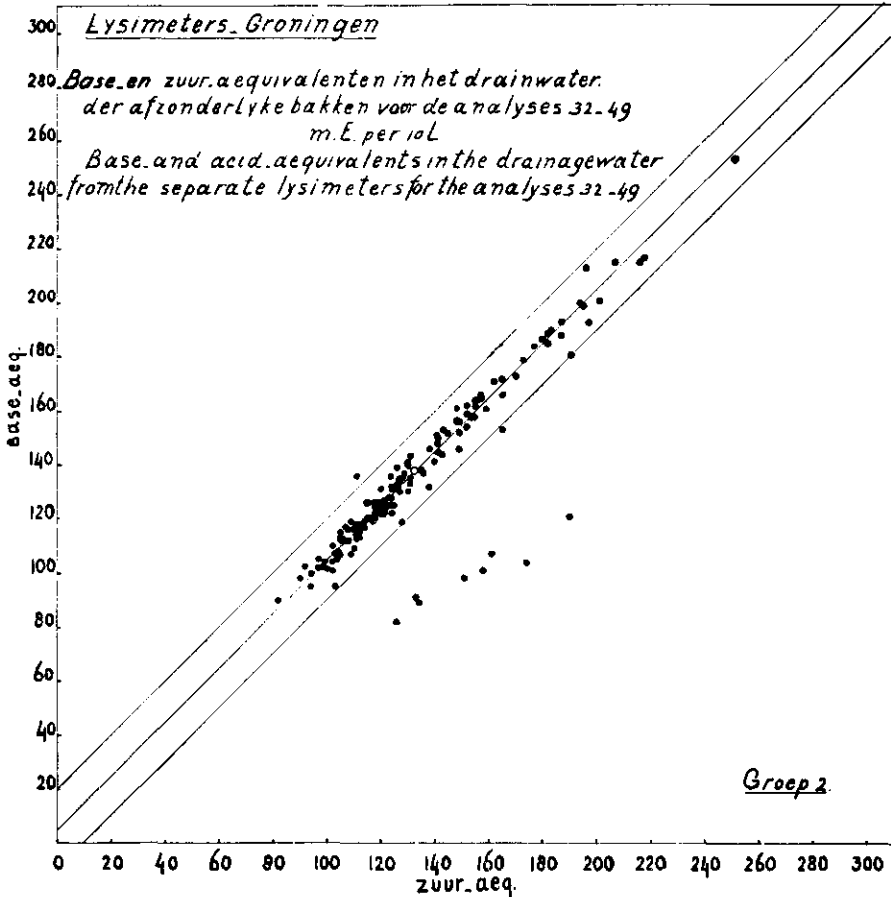
Base- and acid-aequivalents in the drainagewater from the separate lysimeters for the analyses 2—31. mE per 10 l

Ik vermoed, dat we hier in hoofdzaak met de tweede oorzaak te doen hebben.

In de figuren zijn weer onder een hoek van 45° met de assen lijnen getrokken, welke door de punten gaan (aangegeven door cirkeltjes), die de gemiddelde waarden voor B en Z aangeven.

In fig. 2, die betrekking heeft op de 1ste groep analyses, snijdt genoemde

lijn de *ij*-as weer boven het nulpunt: gemiddeld is het aantal mE basen n.l. 10 grootter dan het aantal zuur-aequivalenten.

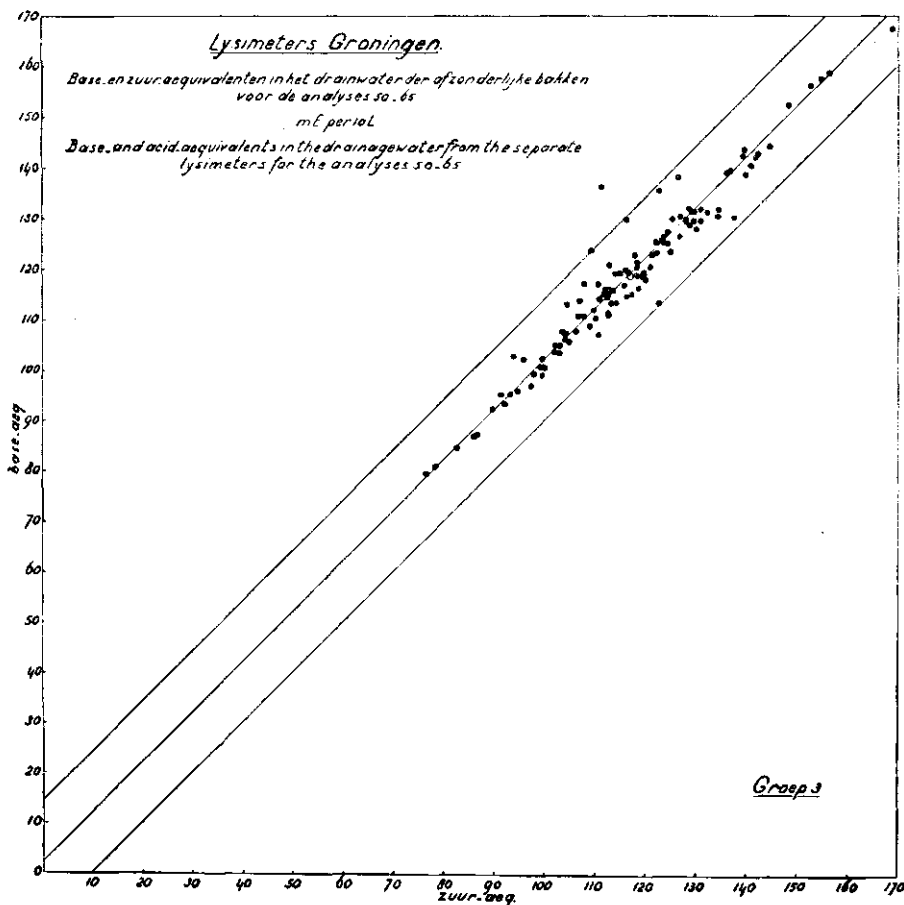


Figuur 3

Evenwijdig aan deze lijn zijn twee lijnen getrokken op een afstand, gelijk aan 3 maal de standaardafwijking (S) der afzonderlijke analyses, welke waarde hier 11,5 is.

Zeven van de 240 punten vallen buiten deze grenslijnen, zoodat de betreffende analyses als foutief beschouwd moeten worden. Vijf dezer punten vertoonen een afwijking naar boven, waaruit volgt, dat het base-gehalte te hoog of het zuur-gehalte te laag gevonden werd. De 3 punten buiten de 3 S-lijn boven in de figuur hebben betrekking op de reeds besproken analyse n°. 19, welke ook in fig. 1 een belangrijke afwijking vertoonde.

Twee punten liggen buiten de onderste 3 S-lijn; bij de betreffende analyses werd het totaal der basen dus te laag, of dat der zuren te hoog gevonden.



Figuur 4

Base- en zuur-aequivalenten in het drainwater der afzonderlijke bakken voor de analyses 50—65. mE per 10 l

Base- and acid-aequivalents in the drainagewater from the separate lysimeters for the analyses 50—65. mE per 10 l

In fig. 3, welke betrekking heeft op de 144 analyses der tweede groep, vertoonen 8 punten een zeer afwijkende positie: deze punten hebben betrekking op de reeds besproken 8 analyses van het drainwatermonster n°. 32. Bij het trekken van de lijn door den zwerm punten en bij de berekening van de S-waarde, zijn deze analyses, als zijnde klaarblijkelijk fout, buiten beschouwing gelaten.

De lijn, welke het verband tusschen B en Z weergeeft, snijdt de *ij*-as op 5 mE: gemiddeld is het aantal base-aequivalenten, dat bij deze analyses gevonden werd, 5 grooter dan het aantal zuur-aequivalenten; bij groep 1 was dit verschil 10.

De duidelijk geringere spreiding der punten in deze figuur (de 8 punten van analyse 32 blijven buiten beschouwing) vergeleken met die in fig. 2, blijkt ook uit de veel kleinere S-waarde, die hier 4,8 bedraagt tegen 11,5 bij groep 1.

Ook hier zijn de 3 S-lijnen getrokken; slechts 3 punten vallen even buiten deze lijnen, n.l. 1 met een afwijking naar boven en 2 met een afwijking naar beneden. Afgezien van de 8 analyses n°. 32 zijn dus van de overige 136 analyses vermoedelijk 3 foutief geweest.

Fig. 4 heeft betrekking op de 128 analyses van groep 3. De spreiding is hier ongeveer gelijk aan die van groep 2, hetgeen ook blijkt uit de S-waarde, die hier 4,0 is, dus nog iets gunstiger dan bij groep 2.

De base-aequivalenten overheerschen bij deze analyses gemiddeld nog maar met 2,4 mE, zoodat het schijnt alsof dit verschil tengevolge van verbeteringen in de analytische methoden gedaald is.

Bij 2 analyses is de afwijking van het gemiddelde grooter dan 3 S (B te groot of Z te laag).

Op dezelfde wijze als dit gedaan werd bij de gemiddelde analyses 19 en 32, zou men ook bij de afwijkende afzonderlijke analyses kunnen nagaan, bij de bepaling van welk bestanddeel vermoedelijk een fout werd gemaakt. Of men daarin steeds zal slagen, is echter de vraag, omdat de afwijkingen tusschen de B- en Z-aequivalenten óók een gevolg kunnen zijn van een opeenstapeling van foutjes, bij de bepaling van meerdere bestanddeelen gemaakt. We kunnen dit punt hier echter laten rusten, want het beeld, dat de grafieken ons van de nauwkeurigheid der analyses geven, is zeer bevredigend.

Natuurlijk moet men niet uit het oog verliezen, dat de uitgevoerde contrôle slechts betrekking heeft op de totale hoeveelheden basen en zuren. Ook indien $B = Z$ is, kunnen er fouten schuilen in de analyses, maar dan moeten deze fouten elkaar compenseeren. De kans op een dergelijke compensatie van toevallige ¹⁾ fouten is echter gering en kan niet van invloed zijn op het verkregen beeld.

Voor enkele bestanddeelen geeft de betrekking, welke er tusschen de concentraties dier bestanddeelen blijkt te bestaan, eenige contrôle op de juistheid der analysecijfers. Zoo bestaat er, zooals we later zullen zien, tusschen de CaO- en de MgO-concentratie in het drainwater een vrij constante ver-

¹⁾ Compensatie van systematische fouten in de analyses zou zich steeds bij *alle* analyses doen gelden.

houding; afwijking van deze verhouding bij een bepaalde analyse kan dus twijfel doen rijzen aan de juistheid van een der beide bepalingen. Op blz. 177 zagen wij b.v. dat dit bij analyse 32 het geval was; hier hadden blijkbaar de CaO-bepalingen te lage uitkomsten gegeven.

c. Bemonstering van het drainwater en conservering der monsters

Voor de beschrijving der Groninger lysimeters kan verwezen worden naar hoofdstuk I, § 3, van deel I dezer verhandeling.

Aankankelijk werd het opgevangen drainwater vrijwel maandelijks bemonsterd; was de hoeveelheid onvoldoende (minder dan 3 liter), dan werd gewacht tot er een voldoende hoeveelheid voor de analyse was doorgelopen. Zoo moest b.v. vanaf 1 April 1921 tot 1 April van het volgende jaar gewacht worden, alvorens een monster van voldoende grootte genomen kon worden.

Vanaf 1 September 1922 tot 1 September 1931 werden zoo mogelijk kwartaalmonsters genomen (herfst, winter, voorjaar, zomer). Vanaf laatstgenoemden datum tot 1 September 1936 moesten wij ons noodgedwongen tot jaarmonsters bepalen, omdat in verband met de uitbreiding der werkzaamheden beperking van het aantal analyses noodig was. Vanaf 1 Januari 1937 is de analyseering van kwartaalmonsters echter weer hervat.

Steeds werd het water der 8 lysimeters afzonderlijk geanalyseerd. Slechts in de jaren 1931/1932 tot en met 1934/1935 werden de monsters der ten aanzien van de stikstof gelijk bemeste lysimeters, twee aan twee samen-gevoegd.

In de verzamelflesschen bevond zich een rolletje kopergaas teneinde bacterieele omzettingen der stikstofverbindingen tegen te gaan. Van 23 December 1920 tot 1 September 1924 werd het kopergaas vervangen door chloroform, omdat betwijfeld werd, of met kopergaas het doel wel ten volle bereikt werd. Toen echter bleek, dat de toevoeging van chloroform moeilijkheden opleverde bij de bepaling van de oxydeerbaarheid van het drainwater en een ingesteld onderzoek leerde, dat drainwater meer dan een jaar op kopergaas bewaard kan worden zonder dat er wijziging optreedt in het gehalte aan NO_3' , NO_2' , NH_4 en organische stikstof, werd tot het gebruik van kopergaas teruggekeerd.

Uit de volgende cijfers, welke betrekking hebben op het drainwater uit bak 2, doorgelopen van 1 December 1922—1 Maart 1923, en vermoedelijk eerst meerdere maanden na laatstgenoemden datum genalyseerd, volgt, dat de beide genoemde conserveringsmiddelen een gelijk resultaat geven t. o. van de N-verbindingen.

Milligrammen per liter

Drainwater bewaard met:	N als:			
	NO ₃ '	NO ₂ '	NH ₄ '	Organ.
Kopergaas	56,51	0,004	2,5	0,39
Chloroform	56,27	0,004	2,5	0,39

Uit de onderstaande gegevens volgt, dat men drainwater in aanraking met kopergaas langen tijd kan bewaren, zonder dat er een merkbare verandering in de aanwezige N-verbindingen optreedt.

Op 29 September en op 3 November 1930 werd uit lysimeter 2 een hoeveelheid drainwater opgevangen en onmiddellijk op de verschillende N-verbindingen onderzocht. De restanten werden daarna met een kopergaasje in den drainkelder weggezet en 8 Maart 1932, dus ongeveer anderhalf jaar later, opnieuw onderzocht.

Milligrammen per liter

	N als:				
	NO ₃ ¹⁾	NH ₄ ' met MgO afgedest.	NH ₄ ' direct in drainw. (Nessler)	Organ. + NH ₄ '	Totaal Jodlbauer
29 September 1930	44,10	0,30	0,25	0,62	45,03
8 Maart 1932	44,33	0,27	0,32	0,53	42,23
	44,57	0,22	0,33	0,34	44,57
		0,33			
		0,21			
3 November 1930.	60,43	0,19	0,21	0,64	59,97
	60,67	0,27	0,21	0,64	59,03
8 Maart 1932	60,67	0,29	0,33	0,65	59,63
	60,67	0,29	0,33	0,65	59,50

¹⁾ NO₂ steeds afwezig.

Ten overvloede werd nog het volgende onderzoek verricht.

Op 8 en 9 October 1938 werden uit de lysimeters 6 en 7 watermonsters opgevangen, zonder dat het water met koper in aanraking kwam. Deze monsters werden in zevenen verdeeld; een der monsters werd direct op stikstof onderzocht, terwijl de zes overige monsters bij kamertemperatuur (resp. in den drainkelder) bewaard werden, en wel zonder eenige toevoeging, met kopergaas en met chloroform. Deze laatste monsters werden begin Mei 1939,

dus na 7 maanden, genalyseerd. De resultaten zijn in de volgende tabel opgenomen; deze leeren, dat, moge er al bij bewaren zonder conserveeringsmiddel gedurende 7 maanden sprake zijn van afnemen van het N-gehalte, deze daling toch in ieder geval zeer gering is (ongeveer 1 mg totaal N). De verschillen tusschen bewaren met en zonder Cu-gaas, resp. chloroform zijn in vergelijking met de analyseverschillen zoo gering, dat hieruit geen conclusie is te trekken ten aanzien van de vraag of toevoeging van een der stoffen

	Lysimeter	N			
		NH ₄ ⁺	Totaal	met Cu-gaas Totaal	met chloroform Totaal
Direct geanalyseerd . . .	6	0	46,53		
			46,35		
	7	0	49,68		
			49,68		
Na 7 maanden	6	0	45,73	46,20	46,20
			45,73	45,03 ¹⁾	45,97 ¹⁾
			44,80 ¹⁾	45,27 ¹⁾	
			45,27 ¹⁾		
	7	0	48,78	48,78	49,72
			48,77 ¹⁾	49,27 ¹⁾	48,30
			48,30 ¹⁾	48,07 ¹⁾	48,77 ¹⁾

¹⁾ Monsters bewaard in den drainkelder, dus bij lagere temperatuur.

gewenscht is en welk der beide conserveeringsmiddelen de voorkeur verdient. Veiligheidshalve zal echter worden doorgegaan met het bewaren op Cu-gaas.

HOOFDSTUK I

De scheikundige samenstelling van het drainwater in den loop der jaren

Bij de bespreking der samenstelling van het drainwater in den loop der jaren zullen we uitgaan van de gemiddelde samenstelling van het drainwater der 8 lysimeters. Hierbij wordt dus afgezien van het verschil in den aard der stikstofbemesting. Zooals n.l. reeds in deel I werd medegedeeld, ontvingen sedert 1923 de lysimeters twee aan twee de stikstof in den vorm van NaNO₃, (NH₄)₂SO₄, NH₄NO₃ en Ca(NO₃)₂ (zie deel I, blz. 41, tabel 2). In de gemiddelde cijfers voor de samenstelling komen de eventueele specifieke invloeden dezer vier zouten elk slechts voor een vierde tot uitdrukking. Later zullen deze specifieke invloeden der N-meststoffen nader besproken worden.

De bedoelde gemiddelde gehaltecijfers zijn in tabel 1 verzameld. Ter toelichting dezer tabel diene het volgende.

TABEL 1

Gemiddelde samenstelling van het drainwater der 8 lysimeters in de achtereenvolgende perioden (mg per liter)
Average composition of the drainagewaters collected from the 8 lysimeters at Groningen in successive periods (milligrams per liter)

Anal. n ^o .	Periode	R mm	D mm	CO ₂ bicarb.	N		SO ₄	Cl	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃	Mn ₂ O ₄	ZnO	Gloeirest
					NO ₃ +	Total											
2	28 Aug. 1918—20 Sept. 1918 . .	139	13	248	9	11	100	94	23	44	65	219	26	2	n.b.	n.b.	691
3	20 Sept. 1918—5 Nov. 1918 . .	114	12	309	12	12	139	126	25	52	86	289	33	2	"	"	886
4	5 Nov. 1918—18 Dec. 1918 . .	67	26	476	9	9	166	148	18	44	83	401	44	n.b.	"	"	1152
5	18 Dec. 1918—25 Jan. 1919 . .	104	37	653	8	9	194	165	21	55	95	527	52	"	"	"	1390
6	25 Jan. 1919—24 Febr. 1919 . .	41	5	637	10	10	214	173	19	65	99	522	60	"	"	"	1412
7	24 Febr. 1919—15 Mrt. 1919 . .	53	28	781	6	7	209	168	20	36	103	630	60	"	"	"	1602
8	15 Mrt. 1919—22 April 1919 . .	44	18	736	5	5	211	170	19	51	104	591	58	"	"	"	1561
9	22 April 1919—13 Mei 1919 . .	39	8	762	7	7	210	167	19	55	100	596	59	"	"	"	1592
10	13 Mei 1919—1 Sept. 1919 . .	210	9	498	8	8	229	195	18	114	125	432	53	3	4	23	1404
11	1 Sept. 1919—1 Nov. 1919 . .	124	28	818	4	4	161	156	20	54	106	592	64	3	8	10	1538
12	1 Nov. 1919—1 Dec. 1919 . .	47	34	1048	3	4	139	138	22	46	107	690	67	7 ¹⁾	10	11	1669
13	1 Dec. 1919—1 Jan. 1920 . .	98	57	1060	2	3	126	115	23	42	105	672	69	7 ²⁾	9	10	1591
14	1 Jan. 1920—1 Febr. 1920 . .	74	46	946	4	4	100	91	22	42	93	589	61	7 ²⁾	8	10	1399
15	1 Febr. 1920—1 Mrt. 1920 . .	51	33	893	5	6	98	88	21	39	93	547	62	6 ²⁾	7	11	1421
16	1 Mrt. 1920—1 April 1920 . .	18	12	943	6	6	81	99	20	43	102	588	65	4 ²⁾	7	10	1400
17	1 April 1920—1 Mei 1920 . .	92	23	874	7	9	90	81	21	41	92	539	58	5 ²⁾	5	12	1252
18	1 Mei 1920—1 Sept. 1920 . .	300	15	662	7	9	95	94	20	67	111	419	55	4 ²⁾	4	9	1127
	1 Sept. 1920—1 Jan. 1921 . .	88	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19	1 Jan. 1921—1 Febr. 1921 . .	115	61	302	61	61	882	54	19	66	145	822	75	1	4	9	2290
20	1 Febr. 1921—1 April 1921 . .	53	22	302	77	78	895	53	15	58	109	813	70	0	3	18	2339
21	1 April 1921—1 Mei 1922 . .	484	10	117	76	78	780	56	11	86	106	587	49	0	sp.	11	1881
22	1 Mei 1922—1 Sept. 1922 . .	52	14	121	95	97	1082	61	11	71	109	873	65	0	"	17	2590
23	1 Sept. 1922—1 Dec. 1922 . .	301	9	179	84	86	986	59	14	105	123	777	62	0	"	17	2539
24	1 Dec. 1922—1 Jan. 1923 . .	134	21	270	80	82	1091	60	15	70	127	904	70	0	"	19	2743
25	1 Jan. 1923—1 Juni 1923 . .	157	142	240	73	76	1093	54	19	53	123	894	69	0	"	11	2635
26	1 Juni 1923—1 Sept. 1923 . .	186	78	271	70	74	855	43	17	55	125	750	60	0	0	9	2237
27	1 Sept. 1923—1 Dec. 1923 . .	248	32	314	66	71	774	39	18	66	121	712	57	0	sp.	11	2141
28	1 Dec. 1923 . .	192	70	470	26	30	639	18	22	54	76	658	52	0	"	15	1749

¹⁾ Bij 4 lysimeters = 0.

²⁾ Bijna uitsluitend aanwezig in water van lys. 7.

TABEL 1 (vervolg)

Anal. n.º	Periode	R mm	D mm	CO ₂ bicarb.	N		SO ₂	Cl	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃	Mn ₂ O ₃	ZnO	Gloeirest
					NO ₃ +	Total											
29	1 Dec. 1923—1 Mrt. 1924 . . .	105	122	478	5	7	375	4	21	39	52	497	40	0	0	8	1293
30	1 Mrt. 1924—1 Juni 1924 . . .	153	60	404	8	10	252	5	18	34	43	375	27	0	sp.	4	927
31	1 Juni 1924—1 Sept. 1924 . . .	195	2	318	9	11	234	15	18	143	78	269	22	0	0	14	1037
32	1 Sept. 1924—1 Dec. 1924 . . .	171	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
33	1 Dec. 1924—1 Mrt. 1925 . . .	172	38	125	35	35	366	8	12	21	29	205	20	0	2	4	1037
34	1 Mrt. 1925—1 Sept. 1925 . . .	334	57	147	36	36	365	18	11	46	49	347	25	0	4	4	1023
35	1 Sept. 1925—1 Dec. 1925 . . .	234	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
36	1 Dec. 1925—1 Mrt. 1926 . . .	205	189	179	36	38	281	16	12	28	52	326	22	0	12	4	932
37	1 Mrt. 1926—1 Sept. 1926 . . .	396	32	206	16	16	138	11	15	42	45	204	16	0	9	2	599
38	1 Sept. 1926—1 Dec. 1926 . . .	208	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
39	1 Dec. 1926—1 Mrt. 1927 . . .	131	85	194	19	20	185	3	12	30	43	227	15	0	4	3	715
40	1 Mrt. 1927—1 Juni 1927 . . .	158	74	215	21	21	133	4	13	32	38	223	16	0	4	4	645
41	1 Juni 1927—1 Sept. 1927 . . .	380	77	310	29	29	97	10	15	40	39	268	19	0	4	4	732
42	1 Sept. 1927—1 Dec. 1927 . . .	159	86	396	30	31	92	9	16	44	42	308	22	0	5	6	814
43	1 Dec. 1927—1 Mrt. 1928 . . .	178	176	270	23	24	129	5	18	22	32	276	20	0	2	3	693
44	1 Mrt. 1928—1 Juni 1928 . . .	114	26	236	27	27	134	7	13	37	32	250	19	0	2	2	743
45	1 Juni 1928—1 Sept. 1928 . . .	178	3	289	27	27	129	10	14	99	61	227	17	0	1	8	841
46	1 Sept. 1928—1 Mrt. 1929 . . .	299	23	108	21	22	260	9	12	31	35	239	18	0	6	2	772
47	1 Mrt. 1929—1 Sept. 1929 . . .	239	8	179	22	23	272	13	11	65	51	269	19	2	3	10	900
48	1 Sept. 1929—1 Dec. 1929 . . .	351	53	81	31	32	540	24	13	30	38	431	29	0	1	1	1313
49	1 Dec. 1929—1 Mrt. 1930 . . .	409	26	132	33	33	445	34	12	49	41	407	27	0	4	8	1237
50	1 Mrt. 1930—1 Sept. 1930 . . .	327	217	177	63	64	280	29	20	25	38	398	31	0	2	3	1169
51	1 Sept. 1930—1 Dec. 1930 . . .	188	187	249	36	37	129	15	19	16	29	289	19	0	4	5	810
52	1 Dec. 1930—1 Mrt. 1931 . . .	460	36	254	22	22	85	12	16	32	26	225	17	0	1	3	609
53	1 Mrt. 1931—1 Sept. 1931 . . .	722	269	267	16	16	129	12	13	20	31	280	18	1	1	n.b.	644
54	1 Sept. 1931—1 Dec. 1931 . . .	744	209	245	22	22	144	11	15	19	30	284	16	1	1	"	681
55	1 Dec. 1931—1 Sept. 1932 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
56	1 Sept. 1932—1 Dec. 1932 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
57	1 Dec. 1932—1 Mrt. 1933 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
58	1 Mrt. 1933—1 Juni 1933 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
59	1 Juni 1933—1 Sept. 1933 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
60	1 Sept. 1933—1 Dec. 1933 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
61	1 Dec. 1933—1 Mrt. 1934 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
62	1 Mrt. 1934—1 Juni 1934 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
63	1 Juni 1934—1 Sept. 1934 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
64	1 Sept. 1934—1 Dec. 1934 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
65	1 Dec. 1934—1 Mrt. 1935 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
66	1 Mrt. 1935—1 Juni 1935 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
67	1 Juni 1935—1 Sept. 1935 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
68	1 Sept. 1935—1 Dec. 1935 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
69	1 Dec. 1935—1 Mrt. 1936 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
70	1 Mrt. 1936—1 Juni 1936 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
71	1 Juni 1936—1 Sept. 1936 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
72	1 Sept. 1936—1 Dec. 1936 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
73	1 Dec. 1936—1 Mrt. 1937 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
74	1 Mrt. 1937—1 Juni 1937 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
75	1 Juni 1937—1 Sept. 1937 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
76	1 Sept. 1937—1 Dec. 1937 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
77	1 Dec. 1937—1 Mrt. 1938 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
78	1 Mrt. 1938—1 Juni 1938 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
79	1 Juni 1938—1 Sept. 1938 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
80	1 Sept. 1938—1 Dec. 1938 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
81	1 Dec. 1938—1 Mrt. 1939 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
82	1 Mrt. 1939—1 Juni 1939 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
83	1 Juni 1939—1 Sept. 1939 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
84	1 Sept. 1939—1 Dec. 1939 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
85	1 Dec. 1939—1 Mrt. 1940 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
86	1 Mrt. 1940—1 Juni 1940 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
87	1 Juni 1940—1 Sept. 1940 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
88	1 Sept. 1940—1 Dec. 1940 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
89	1 Dec. 1940—1 Mrt. 1941 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
90	1 Mrt. 1941—1 Juni 1941 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
91	1 Juni 1941—1 Sept. 1941 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
92	1 Sept. 1941—1 Dec. 1941 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
93	1 Dec. 1941—1 Mrt. 1942 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
94	1 Mrt. 1942—1 Juni 1942 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
95	1 Juni 1942—1 Sept. 1942 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
96	1 Sept. 1942—1 Dec. 1942 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
97	1 Dec. 1942—1 Mrt. 1943 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
98	1 Mrt. 1943—1 Juni 1943 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
99	1 Juni 1943—1 Sept. 1943 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100	1 Sept. 1943—1 Dec. 1943 . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

TABEL 1 (vervolg)

Anal. n.º	Periode	R mm	D mm	O ₂ bierb.	N		SO ₃	Cl	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃	Mn ₂ O ₄	ZnO	Gloeirest
					NO ₃ ⁺	Totaal											

Onbeboorde periode 1933—1939

(Uncropped period 1933—1939)

52	1 Sept. 1933—1 Sept. 1934 . . .	549	80	195	25	25	188	7	17	27	30	257	18	0	1	—	653
53	1 Sept. 1934—1 Sept. 1935 . . .	752	433	287	58	58	153	13	21	18	30	353	23	0	1	—	850
54	1 Sept. 1935—1 Sept. 1936 . . .	804	461	246	48	48	102	14	25	14	29	301	22	1	1	—	767

Lysimeters 5—8 met vrijen waterafloop
(Lysimeters 5—8 with free waterdischarge)

55	1 Sept. 1936—1 Jan. 1937 . . .	317	239	246	46	47	102	14	26	13	20	304	21	1	2	n.b.	760
56	1 Jan. 1937—1 April 1937 . . .	255	266	164	32	32	81	17	20	8	13	224	16	1	1	"	587
57	1 April 1937—1 Juli 1937 . . .	193	73	189	15	15	66	15	20	16	17	190	13	0	0	"	435
58	1 Juli 1937—1 Oct. 1937 . . .	191	79	261	21	21	60	12	23	21	18	237	15	0	0	"	538
59	1 Oct. 1937—1 Jan. 1938 . . .	131	97	257	36	36	69	12	24	14	17	277	15	0	0	"	629
60	1 Jan. 1938—1 April 1938 . . .	144	148	191	46	46	83	11	22	9	15	256	17	0	0,3	1	650
61	1 April 1938—1 Juli 1938 . . .	117	14	181	42	42	82	12	21	32	22	223	14	3	0	4	600
62	1 Juli 1938—1 Oct. 1938 . . .	137	9	207	42	42	79	13	19	49	26	229	15	2	1	9	659
63	1 Oct. 1938—1 Dec. 1938 . . .	201	140	214	54	54	107	14	26	12	17	305	19	0	0	n.b.	793
64	1 Dec. 1938—1 Mrt. 1939 . . .	195	191	191	48	48	104	16	22	10	15	277	17	3	0,1	n.b.	606
65	1 Mrt. 1939—1 Juni 1939 . . .	135	69	168	38	38	95	18	20	12	15	247	17	1	0	2	650
1 Sept. 1936—1 Juni 1939 . . .		2016	1324	206	40	40	89	15	23	12	16	262	17	0,9	0,6	0,2	
1 Sept. 1933—1 Juni 1939 . . .		4121	2299	225	44	44	107	14	23	14	22	287	19				

TABEL 1 (vervolg)

Anal. n ^o .	Periode	R mm	D mm	CO ₂ bicarb.	N		SO ₄	Cl	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃	Mn ₂ O ₄	ZnO	Gloeitrest
					NO ₃ ⁺	Total											
55	1 Sept. 1936—1 Jan. 1937 . . .	317	138	307	54	55	115	18	25	30	38	338	29	1	1	n.b.	907
56	1 Jan. 1937—1 April 1937 . . .	255	256	262	42	42	88	16	20	20	26	280	21	1	1	"	783
57	1 April 1937—1 Juli 1937 . . .	193	63	241	24	24	80	16	18	18	26	234	17	0	0,4	"	575
58	1 Juli 1937—1 Oct. 1937 . . .	191	66	274	18	18	73	14	19	18	27	235	15	0	0	"	518
59	1 Oct. 1937—1 Jan. 1938 . . .	131	93	325	19	19	75	15	20	16	28	268	16	0	0	"	617
60	1 Jan. 1938—1 April 1938 . . .	144	141	330	29	30	83	14	19	15	27	292	21	2	0,3	7	731
61	1 April 1938—1 Juli 1938 . . .	117	11	251	37	37	93	13	23	16	27	266	20	3	0	13	702
62	1 Juli 1938—1 Oct. 1938 . . .	137	8	245	37	37	88	13	18	17	28	257	19	2	1	8	677
63	1 Oct. 1938—1 Dec. 1938 . . .	201	159	305	38	38	96	12	23	18	27	301	19	0	0	n.b.	790
64	1 Dec. 1938—1 Mrt. 1939 . . .	195	179	299	46	46	106	16	22	14	24	324	21	3	0,3	"	747
65	1 Mrt. 1939—1 Juni 1939 . . .	135	58	252	42	42	102	16	18	13	22	292	19	2	0,4	9	765
	1 Sept. 1936—1 Juni 1939 . . .	2016	1172	291	38	38	93	15	21	18	28	292	21	1,2	0,5		

Lysimeters 1—4 met grondwater
Lysimeter 1—4 with groundwater table

De gehaltecijfers zijn opgegeven in milligrammen per liter. Bij de berekening der gemiddelde cijfers voor de 8 lysimeters is rekening gehouden met de verschillen tusschen de hoeveelheden drainwater, welke in de betreffende perioden uit de 8 bakken afvloeiden. De 8 lysimeters zijn dus feitelijk beschouwd als één lysimeter met een oppervlakte van 7 à 8 m², waarvan elk watermonster in 8-voud werd genalyseerd. Hierdoor heeft de betrouwbaarheid der cijfers veel gewonnen; in de inleiding werd van de betrouwbaarheid der analysecijfers reeds een beeld gegeven.

Ook de gemiddelde gehaltecijfers voor de periode 28 Augustus 1918—1 September 1933 en die van laatstgenoemden datum tot 1 Juni 1939 zijn niet gevonden door de som der bovenstaande 50 resp. 14 cijfers door 50 resp. 14 te deelen, doch door het totaal aantal milligrammen N enz., dat in de genoemde perioden per m² oppervlakte uitspoelde, door de in die perioden per m² grondoppervlak in totaal opgevangen hoeveelheid drainwater in liters (= mm) te deelen (2916 resp. 2299 mm). Deze cijfers geven dus de samenstelling van het drainwater aan, die gevonden zou zijn geworden indien al het drainwater der 8 lysimeters van 28 Augustus 1918 tot 1 September 1933, resp. van alle 8 lysimeters van laatstgenoemden datum tot 26 October 1936 en van de lysimeters 5—8 van 26 October 1936 af tot 1 Juni 1939, in een gemeenschappelijk reservoir verzameld en daarna geanalyseerd was geworden.

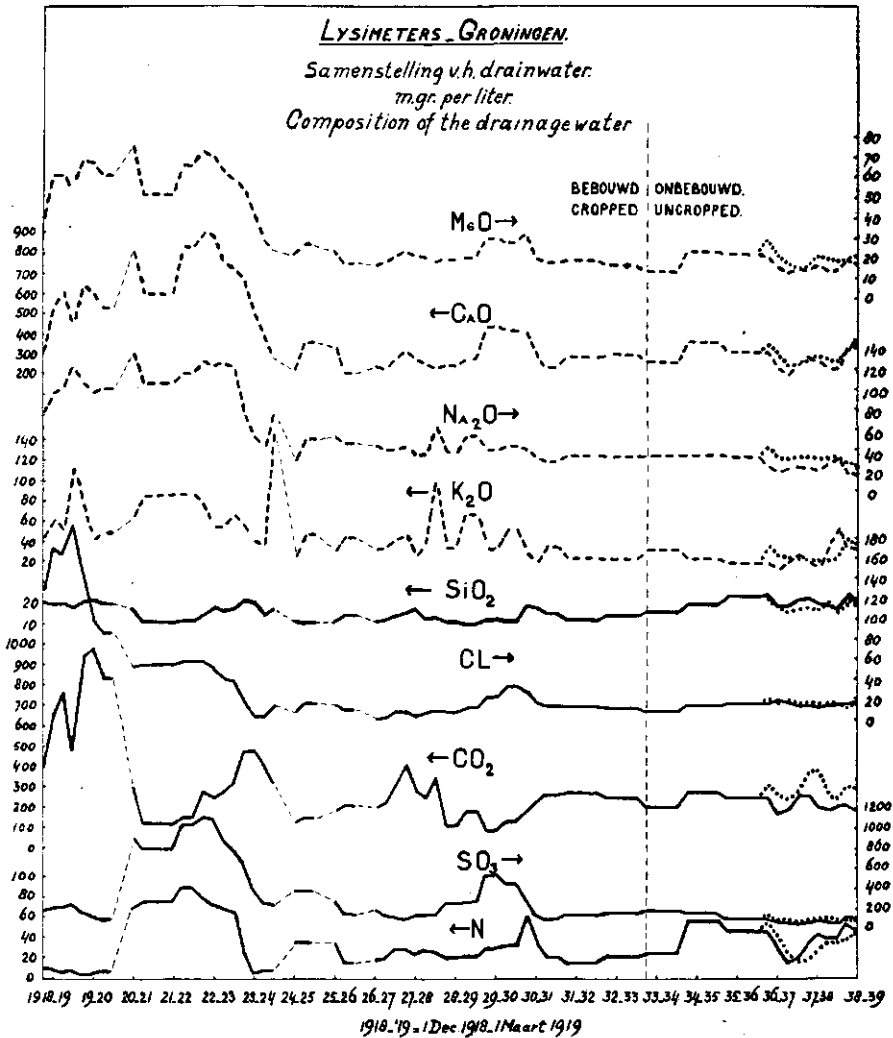
Rekent men deze laatste cijfers om op milliaequivalenten per 10 liter, dan vindt men voor de periode met begroeiing voor de zuren 189,6 mE en voor de basen 196,6 mE, zoodat $Z - B = -7$ is. Voor de braakjaren vindt men $Z = 120,9$, $B = 122,0$, dus $Z - B = -1,1$. In de inleiding werd reeds op deze verschillen de aandacht gevestigd.

Verder zij opgemerkt, dat de braak-periode (1 September 1933—1 Juni 1939) is gesplitst in twee perioden, n.l. een periode van 1 September 1933—1 September 1936, waarin bij alle lysimeters het drainwater vrij afvloeide, en de periode September 1936—1 Juni 1939, waarin deze toestand voor de lysimeters 5—8 bestendigd werd, terwijl in de lysimeters 1—4, door wijziging van den waterafvoer, steeds grondwater werd vastgehouden. Voor deze wijziging der inrichting zij verwezen naar deel I, blz. 38.

Om den invloed van de handhaving van een grondwaterspiegel op de samenstelling van het drainwater te kunnen beoordeelen, zijn in de laatste periode de gemiddelde cijfers voor de lysimeters 1—4 naast die voor de lysimeters 5—8 opgegeven.

In fig. 5 is het verloop der verschillende gehaltecijfers (mg per liter) door lijnen voorgesteld. Hierbij zijn de kwartaalcijfers uitgezet. De punten op de horizontale as duiden de winterkwartalen aan. Tot September 1922, toen nog geen onderzoek per kwartaal plaats vond, werden de kwartaalcijfers bij

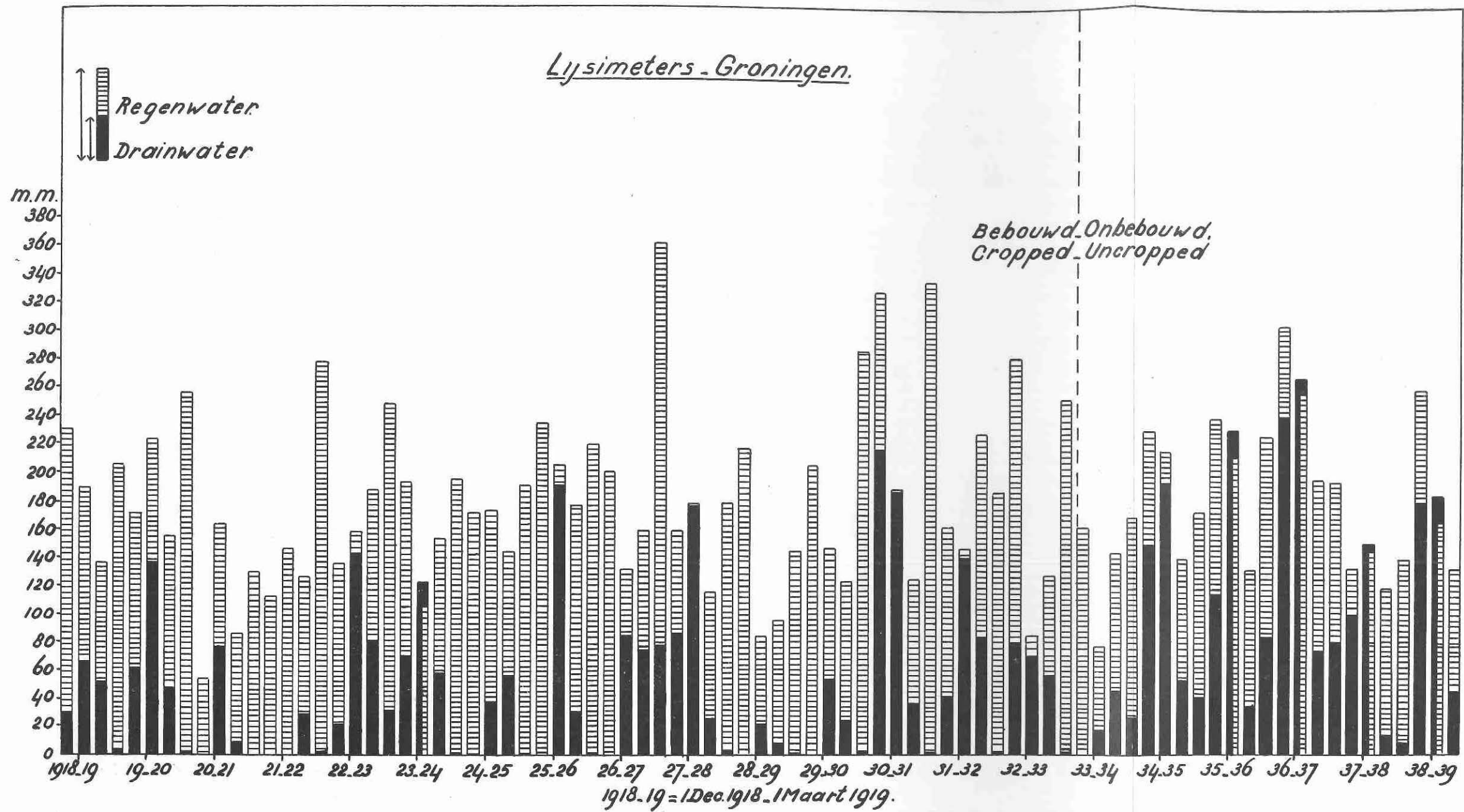
benadering berekend uit de cijfers in tabel 1, met inachtneming der hoeveelheden drainwater, waarop de afzonderlijke cijfers betrekking hebben.



Figuur 5

Indien er over één of meer kwartalen geen drainwater afvloeide, werden de lijnen door een stippellijntje onderbroken.

Tenslotte zij opgemerkt, dat de pijltjes bij de formules der bestanddeelen aangeven, aan welke zijde van de figuur zich de schaal bevindt, waarop de concentratie van het bestanddeel in mg per liter kan worden afgelezen.



Figuur 6

Regenval en drainage bij de Groninger lysimeters
Rainfall and drainage for the Groningen lysimeters

Fig. 6 geeft een beeld van regenval en drainage in de opeenvolgende kwartalen; zij kan dienstig zijn — naast fig. 5 — bij de beantwoording van vragen omtrent den invloed van regenval en drainage op de gehaltecijfers.

We zullen thans overgaan tot de bespreking van de samenstelling van het drainwater in den loop der jaren aan de hand van tabel 1 en de bijbehorende grafiek fig. 5.

§ 1. HET GEHALTE VAN HET DRAINWATER AAN STIKSTOF (N)

De stikstof komt, zooals ook elders verrichte onderzoeken steeds weer leerden, in het drainwater overwegend voor als *nitraat*. Stikstof in andere vormen (nitriet, ammonium en organische verbindingen) is in zóó geringe hoeveelheden aanwezig, dat men feitelijk met de bepaling der nitraatstikstof kan volstaan, althans bij gronden, die in goeden cultuurtoestand verkeerden. Een blik op de cijfers in de beide kolommen voor N in tabel 1 overtuigt ons hiervan; over de periode 1918—1933 was het gemiddelde gehalte aan totaal-N 32, aan $\text{NO}_3' + \text{NO}_2'$ stikstof 31 mg per liter, waarbij de nitriet-stikstof, zooals we hieronder zullen zien, te verwaarloozen is.

Ondanks dit feit wordt toch steeds de stikstof in de genoemde vormen afzonderlijk bepaald, omdat eenige verhooging van het nitrietgehalte of van het gehalte aan ammoniakstikstof, welke soms optreedt, hoewel quantitatief van geringe beteekenis, toch een licht werpt op in den grond optredende processen. Ik kom hier later op terug.

Het *nitriet*-gehalte is meestal nul of beperkt zich tot sporen; slechts enkele malen bedroeg het ongeveer 1 mg per liter en éénmaal werd bij een der lysimeters een gehalte van 3 mg bereikt. Deze laatste gevallen deden zich voor in de eerste paar jaren na het ingang-zetten der proef. Vanaf 1926 is het gehalte als regel nul, enkele uitzonderingen daargelaten.

Ammoniakstikstof is een meer regelmatig voorkomend bestanddeel van het drainwater. Sedert September 1931 blijven de gehaltecijfers als regel beneden 0,1 mg per liter. In de periode Januari 1921 tot September 1924, dat is dus tijdens de later te bespreken krachtige nitrificatie en nog een jaar daarna, komen hogere cijfers voor. Zoo schommelde in het drainwater, opgevangen tusschen 1 Juni en 1 September 1923 (anal. 27), het gehalte bij de 8 lysimeters tusschen 4,2 en 5,4 mg per liter.

Het gehalte aan *organische stikstof* bereikte nimmer het bedrag van 2 en slechts zelden dat van 1 mg per liter. Het schijnt wel, alsof in de eerste jaren het gehalte over het algemeen iets hooger was.

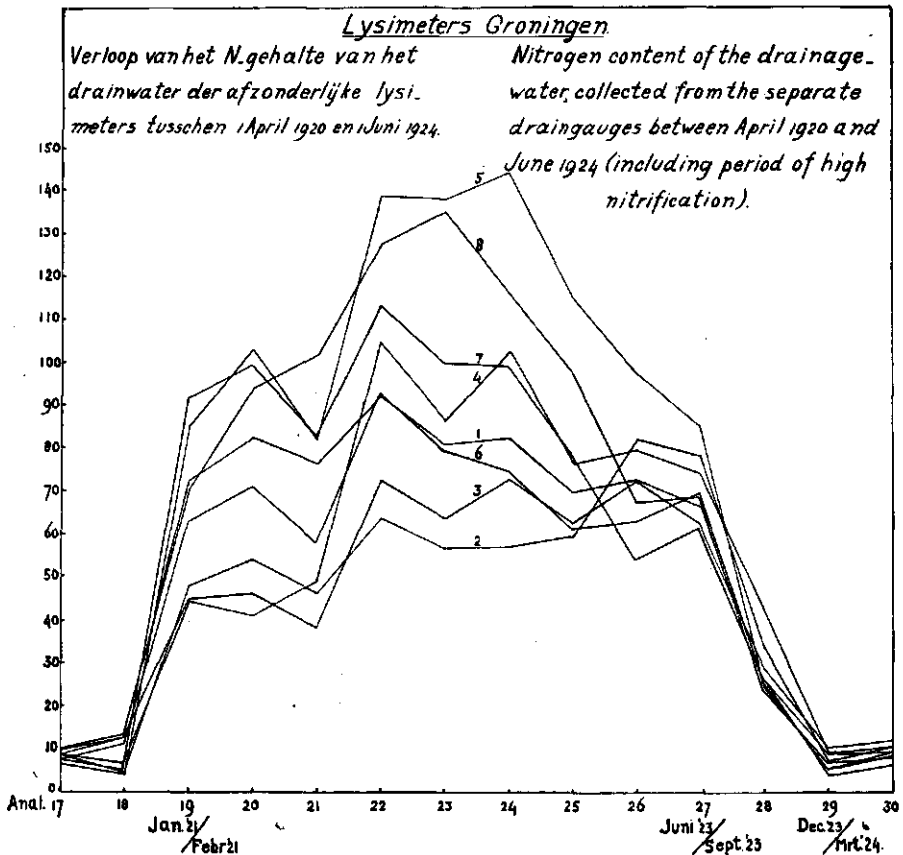
Beschouwen we thans de cijfers in tabel 1 en de N-lijn in fig. 5, dan blijkt, dat het N-gehalte zich aanvankelijk op een laag niveau beweegt. Men ziet

eerst een daling tot Januari 1920 (anal. 13), die door een geringe stijging gevolgd wordt.

Nadat van 1 September 1920 tot 1 Januari 1921 geen drainwater was afgevoerd, bevat het in Januari 1921 opgevangen drainwater (61 mm) plotse-ling de 7-voudige hoeveelheid totaal N en de 8-voudige hoeveelheid nitraat N. In April 1922 (anal. 22) wordt zelfs het zeer hoge gehalte van 97 mg per liter bereikt. Dit is een zeer merkwaardig verschijnsel!

Niet minder merkwaardig is de scherpe daling, welke in September 1923 (anal. 28 en 29) intreedt, nadat het gehalte zich ongeveer twee en een half jaar op het hoge niveau heeft gehandhaafd!

Fig. 5a, waarin de N-lijnen in deze periode voor de afzonderlijke lysimeters geteekend zijn, toont aan, dat men hier te doen heeft met verschijnselen, die zich gelijktijdig in alle 8 lysimeters voordoen. Het is dus geen verschijnsel,



dat zich, misschien toevallig, voordoet in een bepaalde hoeveelheid grond, waarmede men experimenteert, neen, het verschijnsel treedt gelijktijdig op in 8 op zich zelf staande hoeveelheden grond, hoewel er tusschen de afzonderlijke lysimeters vrij groote verschillen in de N-concentratie vallen op te merken. Op dit laatste punt kom ik nog terug.

In het drainwater 1 December 1923—1 Maart 1924 (anal. 29) wordt weer het lage niveau der paar eerste jaren bereikt; dit blijft zoo tot September 1924 (anal. 31), waarna weer een vrij belangrijke stijging volgt.

Ook daarna treden nog vrij groote schommelingen op, zooals fig. 5 duidelijk laat zien. Zoo liep het gehalte in het drainwater van 1 September—1 December 1930 (anal. 47) plotseling van 33 tot 64 omhoog om in het daaropvolgende winterkwartaal weer van 64 op 37 terug te vallen.

Het feit, dat vanaf 1 September 1931 tot 1 September 1936 jaarmonsters onderzocht werden, geeft mogelijk de N-lijn een strakker verloop, dan zij bij onderzoek van kwartaalmonsters zou vertoond hebben. Doch zelfs nu springt de lijn op 1 September 1934 omhoog, om eerst in het voorjaar 1937 (anal. 56 en 57) weer sterk te dalen.

Het *onbebouwd* laten van den grond heeft tot nu toe geen merk-baren invloed op het nitraatgehalte van het drainwater gehad. Men zou misschien een vrij sterke daling verwachten op grond van de veronderstelling, dat in den onbebouwen grond de hoeveelheid nitrificeerbare organische stof wel spoedig zal afnemen. Bovendien is het drainwater-debiet bij den onbebouwen grond ongeveer tweemaal zoo groot als bij den bebouwen grond (zie deel I, blz. 87). Hier staat echter weer tegenover, dat er geen stikstof door de gewassen wordt opgenomen, terwijl de mogelijkheid bestaat, dat in den onbebouwen grond gedurende de zomermaanden de nitrificatie bevorderd wordt door het hogere vochtgehalte van den grond; het waterverlies, dat de grond door de groeiende gewassen lijdt, is stellig belangrijk grooter dan dat door directe verdamping aan het onbebouwde oppervlak. Wellicht hebben deze laatste factoren aanvankelijk overwogen: de analyses 52—55 gaven immers hoge cijfers.

Met betrekking tot de vermindering der nitraatproductie tengevolge van het afnemen van den voorraad nitrificeerbare organische stof in den onbebouwen grond zij vermeld, dat de lysimeteronderzoekingen te *Rothamsted* met *onbebouwen* grond leeren, dat het N-gehalte van het drainwater uiterst langzaam daalt, indien men althans uit de beschikbare cijfers, die betrekking hebben op de jaren 1877—1915, reeds met zekerheid tot een werkelijke daling mag besluiten. Omdat het mij toeschijnt, dat deze kwestie van belang is, laat ik in tabel 2 de cijfers uit *Rothamsted* volgen; deze cijfers zijn ontleend

aan publicaties van MILLER (65, blz. 388) en van RUSSELL en RICHARDS (80, blz. 39); het zijn gemiddelden voor de 3 lysimeters.

TABEL 2

N-gehalte (nitraat) van het drainwater uit de lysimeters te Rothamsted

Gemiddelden voor de 3 lysimeters

Yearly amounts of nitrogen as nitrates in the drainage from the lysimeters at Rothamsted
Averages for the 3 lysimeters

Jaar (Year)	Regen (Rain- fall) mm	Drai- nage mm	N		Cl	Jaar (Year)	Regen (Rain- fall) mm	Drai- nage mm	N		Cl
1 Sept.— 31 Aug.			kg p. ha	mg p. l	mg p. l	1 Sept.— 31 Aug.			kg p. ha	mg p. l	mg p. l
1877—1878	829	389	48,65	12,5	4,7	1902—1903	794	432	36,40	8,4	6,3
1878—1879	1043	634	62,34	9,8	3,6	1903—1904	801	456	23,03	5,1	4,2
1879—1880	543	176	24,33	13,8	3,8	1904—1905	643	262	25,00	9,5	6,1
1880—1881	934	563	56,78	10,1	3,7	1905—1906	603	303	25,60	8,4	5,6
1881—1882	821	391	37,33	9,5	3,6	1906—1907	745	316	25,95	8,2	4,8
1882—1883	882	527	39,99	7,6	3,8	1907—1908	765	398	27,24	6,8	6,1
1883—1884	655	297	31,03	10,4	4,5	1908—1909	633	290	22,09	7,6	5,6
1884—1885	680	372	41,15	11,1	4,4	1909—1910	785	396	22,70	5,7	4,7
1885—1886	788	443	37,79	8,5	3,4	1910—1911	720	427	24,70	5,8	5,0
1886—1887	600	296	26,96	9,1	3,8	1911—1912	1013	641	34,68	5,4	5,0
1887—1888	775	374	43,23	11,6	5,9	1912—1913	694	393	15,49	3,9	4,0
1888—1889	764	379	34,27	9,0	4,2	1913—1914	636	325	23,14	7,1	5,5
1889—1890	697	335	30,26	9,0	3,9	1914—1915	962	625	33,94	5,4	4,9
1890—1891	595	249	25,28	10,2	4,4						
1891—1892	754	427	34,10	8,0	3,9	1877—1915	735	380	32,62	8,6	4,7
1892—1893	612	305	24,93	8,2	4,0						
1893—1894	751	352	39,97	11,4	5,6						
1894—1895	735	413	39,11	9,5	5,1						
1895—1896	619	262	25,68	9,8	4,7						
1896—1897	946	580	42,52	7,3	4,1						
1897—1898	496	162	17,62	10,9	5,2						
1898—1899	627	313	34,67	11,1	6,8						
1899—1900	788	426	40,56	9,5	5,0						
1900—1901	617	298	34,07	11,4	6,4						
1901—1902	591	233	27,23	11,7	6,6						
7-jarige perioden (7 year periods)											
						1877—1884	815	425	43	10,5	
						1884—1891	700	350	34	9,8	
						1891—1898	702	357	32	9,3	
						1898—1905	694	346	31	9,5	
						1905—1912	752	396	26	6,8	

Uit deze cijfers schijnt wel te volgen, dat het N-gehalte van het drainwater afneemt; de cijfers vanaf 1915, die nog niet gepubliceerd werden, zullen evenwel moeten leeren, of de daling, welke omstreeks 1908 begonnen schijnt te zijn, doorzet en niet geheel of voor een groot deel een gevolg was van de weersomstandigheden in deze jaren.

Het is jammer, dat men te *Rothamsted* de maandelijksche N-bepalingen in het drainwater niet aanstonds bij het in werking stellen dezer drainage-

installatie (1870) is begonnen; nu blijft de vraag onbeantwoord, hoe het N-gehalte van het drainwater zich wijzigde in den eersten tijd nadat de grond van den geregeld bebouwd in den onbebouwd toestand was overgegaan. Wel onderzocht FRANKLAND (46, blz. 335) enkele maanden na het gereed komen der lysimeters drainwatermonsters, maar deze waren in het verloop van slechts enkele dagen opgevangen en de gevonden cijfers behoeven dus in het geheel geen beeld te geven van de N-concentratie in de eerste maanden of in het eerste jaar. Het gehalte bleek veel hooger te zijn dan in de jaren 1877—1915, zooals blijkt uit tabel 3, welke ontleend is aan de tabel op blz. 335 der publicatie van LAWES, GILBERT en WARINGTON (46).

TABEL 3

Analyses van FRANKLAND van het drainwater der 3 lysimeters te Rothamsted (mg per liter)

Analyses by Dr. FRANKLAND of drainagewater from the three draingauges, 20, 40 and 60 inches deep, at Rothamsted (parts per million)

	Datum van opvangen (Date of collection)	N ($\text{NO}_3' + \text{NO}_2'$)			Cl		
		L 20	L 40	L 60	L 20	L 40	L 60
1	20—23 November 1870	49	23	29	22	29	26
2	15—17 December 1870	32	24	25	38	30	22
3	30—31 October 1872	26	21	24	6	8	11
4	25—26 Februari 1873	6	8	8	10	10	10
5	2—30 April 1874	21	16	17	10	10	10

De toelichting, welke de genoemde schrijvers bij deze tabel geven, verklaart de hooge nitraatcijfers. De eerste opvang had n.l. plaats twee maanden nadat de lysimeters gereed kwamen. De voorafgaande zomer was zeer droog en vóór het opvangen der monsters vloeide geen drainwater van beteekenis af. Het eerste uitsijpelende water was dus zeer geconcentreerd, hetgeen ook blijkt uit de hooge Cl-gehalten. De hooge Cl-cijfers zouden, zooals de schrijvers veronderstellen, echter ten deele ook het gevolg kunnen zijn van een voorafgaande bemesting van den grond met guano.

Ik acht het ook niet buitengesloten, dat het blootstellen van de grondblokken aan alle zijden aan de lucht, vóór de ommuring plaats had, de nitrificatie bevordert heeft.

De tweede opvang vond een maand later plaats, nadat een matige hoeveelheid drainwater was afgevoerd.

Twee jaar later, toen ten derde male monsters genomen werden, was ook

een zeer droge zomer voorafgegaan, terwijl in October slechts 2 à 3 inches water waren afgevloeid.

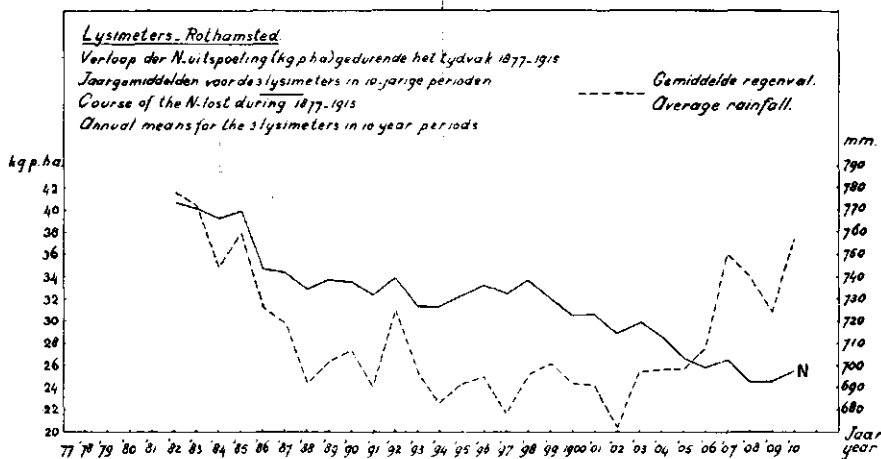
Geheel anders waren de omstandigheden, waaronder de vierde bemonstering plaats vond: de voorafgaande vier maanden waren zeer nat en uit L 20 vloeide 12 inches water af.

De omstandigheden, onder welke de laatste monsters werden opgevangen, kunnen weer een hooger nitraat-gehalte doen verwachten: de voorafgaande winter was n.l. droog en in April was de drainage geregeld, doch zeer langzaam, n.l. bij L 20 slechts $\frac{1}{3}$ inch.

Nogmaals zij gezegd, dat deze cijfers ons in 't onzekere laten omtrent het nitraatgehalte van het drainwater der lysimeters te Rothamsted in de eerste jaren na de inwerkingstelling.

Beter dan uit de cijfers zelf kan men zich uit een grafische voorstelling der cijfers uit tabel 2 een oordeel vormen omtrent de vraag, in hoeverre er bij deze cijfers van een zekeren gang sprake is.

In fig. 7 zijn daartoe de gemiddelde jaarlijksche stikstofverliezen (kg per ha)



Figuur 7

voor tienjarige perioden, die telkens één jaar verschuiven, op de verticale as uitgezet. De aldus verkregen lijn vertoont een duidelijke daling, waaruit men allicht tot een afnemende nitraat-productie zal willen besluiten. Verder zal men geneigd zijn uit de sterkere helling der lijn in 't begin af te leiden, dat het N-verlies en dus de N-productie in de eerste jaren na het braakleggen van den grond (1870) aanmerkelijk grooter is geweest.

Teekent men op dezelfde wijze de lijn voor den gemiddelden jaarlijkschen

regenval¹⁾ in tienjarige perioden, dan ziet men, dat het beloop dezer lijn groote overeenkomst vertoont met dat der stikstoflijn. Vanaf 1877-1887 tot 1897-1907 is de gemiddelde jaarlijksche regenval dus gedaald, aanvankelijk sneller, later langzamer. Vanaf de periode 1897-1907 treedt bij den regenval weer een stijging op²⁾; de uitspoeling blijft dan echter afnemen.

De daling der stikstofverliezen zou dus ook, met uitzondering van die in de decennia vanaf 1897, geheel of grootendeels een gevolg kunnen zijn van een daling van den regenval en van de daarmee gepaard gaande vermindering van het drainwaterdebiet en niet of althans slechts ten deele van een verandering, welke zich in den grond heeft voltrokken (afnemende nitrificatie). Ook de aanvankelijk sterkere vermindering der N-verliezen zal dus misschien eveneens uit de daling van den regenval verklaard kunnen worden.

Fig. 7a stelt ons in staat het verloop der N-uitspoeling nog iets beter te beoordeelen door haar met de chloor-uitspoeling te vergelijken.³⁾ In deze figuur zijn voor dezelfde 10-jarige perioden de cijfers uitgezet voor het N-gehalte, het Cl-gehalte en voor de drainage en wel in procenten dezer grootheden in de eerste periode.

Beschouwt men eerst de Cl-lijn, dan ziet men, dat deze tot de periode 1897-1907 stijgt, zooals de dalende drainage, tengevolge van dalenden regenval, doet verwachten. Aanvankelijk, en wel tot de periode 1888-1898, is deze stijging in overeenstemming met de daling der drainage; daarna stijgt het Cl-gehalte echter meer dan met de daling der drainage overeenkomt.⁴⁾ Dit is een gevolg van de in de periode 1887-1897 intredende stijging van het Cl-gehalte van het regenwater, welke in fig. 22 (zie blz. 349) zoo duidelijk zichtbaar is. Vanaf de periode 1898-1908 daalt het Cl-gehalte tengevolge van de stijgende drainage (regenval) en mede door een geringe daling van het Cl-gehalte van het regenwater (zie fig. 22).

In tegenstelling met het Cl-gehalte vertoont het N-gehalte aanvankelijk een geringe *daling*, om daarna, tot 1897-1907, vrijwel constant te blijven.

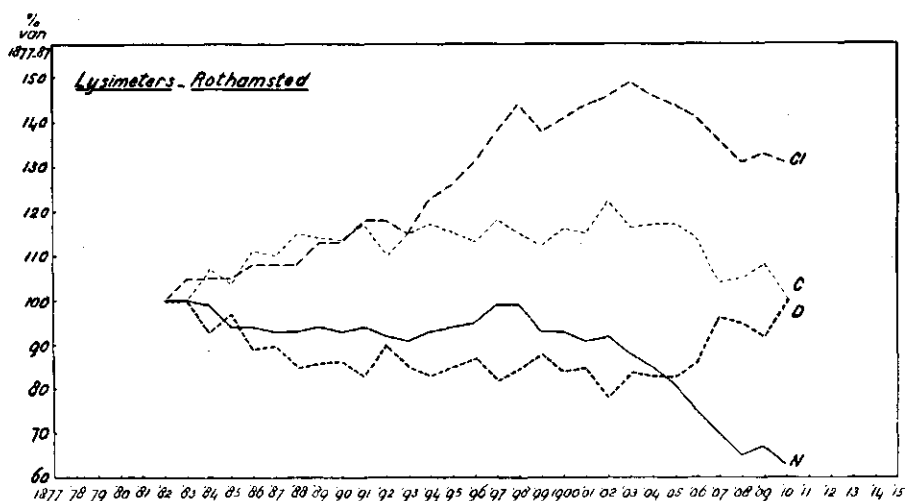
¹⁾ Men kan inplaats van de regenlijn ook de lijn teekenen voor de hoeveelheden drainwater, waarvan de uitgespoelde hoeveelheden N direct afhankelijk zijn. Doet men dit aan de hand der cijfers in tabel 2 dan blijkt echter, dat deze lijn slechts zeer weinig van de regenlijn verschilt, doch gemiddeld 352 mm (= de gemiddelde verdamping) lager ligt. Men kan dus voor dit doel beide lijnen uitzetten. De paralleliteit tusschen de regen- en de drainwater lijn, toont nogmaals aan, dat de verdamping uit den onbegroeiden grond een vrijwel constante waarde heeft.

²⁾ Zie ook Dl. I fig. 11, blz. 83.

³⁾ Cl wordt noch biologisch gebonden, noch door den grond geadsorbeerd, terwijl de gewassen slechts weinig Cl-opnemen. De chlooruitspoeling wordt dus bijna uitsluitend door het oplossingsproces beheerscht. Dit punt komt nog meermalen ter sprake.

⁴⁾ Zie lijn C, welke de veranderingen in de concentratie van eenig bestanddeel zou weergeven, indien deze laatste uitsluitend afhankelijk ware van de veranderingen in het volume drainwater. Lijn C is dus het spiegelbeeld van lijn D (= drainage).

Deze tegenstelling met het gedrag van het Cl-gehalte wijst feitelijk op een geringe concentratievermindering van de nitraatstikstof. Ware de nitraat-productie in den grond gelijk gebleven, dan zou de N-lijn, evenals de Cl-lijn,



Figuur 7a

N- en Cl-gehalte van het drainwater, alsmede hoeveelheid drainwater (D)
Gemiddelde jaarcijfers voor 10-jarige perioden, uitgedrukt in procenten der cijfers
voor de periode 1877—1887

C = verandering der concentratie van een bestanddeel van het drainwater, uitsluitend
tengevolge van verandering der afgevoerde hoeveelheid drainwater

N- and Cl contents of the drainage water and amounts of drainage (D)

Mean yearly data for 10-year periods in percentages of the data in the first period. (1877—1887)

C = change in the concentration of a constituent of the drainwater, exclusively in consequence
of the change of the discharged quantity of drainwater

bij dalenden regenval en dalende drainage een stijging hebben moeten vertoonen.

Vanaf de periode 1897-1907, als regenval en drainage gaan stijgen, *daalt* zoowel de Cl- als de N-concentratie. Dat ook de Cl-lijn daalt, bewijst m.i., dat de sterke daling der N-lijn grotendeels moet worden toegeschreven aan de stijging van den regenval, met als gevolg een ruimeren afvoer van drainwater. Behalve de hoeveelheid regen kan hier ook de *regenverdeling* in de perioden vanaf 1897-1907 een rol gespeeld hebben.

Voorloopig ¹⁾ kom ik dus tot de conclusie, dat, moge er bij de lysimeters te Rothamsted tengevolge van het niet bebouwen van den grond al eenige

¹⁾ Het is jammer, dat de cijfers na 1915 nog niet gepubliceerd werden. Op mijn verzoek om de betreffende gegevens ten behoeve dezer studie te mijner beschikking te willen stellen, kreeg ik van den directeur van het instituut te Rothamsted, Sir. E. JOHN RUSSELL, ten antwoord, dat men momenteel aan het instituut zoo overkropt was met urgent werk, dat men de verlangde gegevens thans niet kon verschaffen (April 1940).

daling der nitraatproductie (nitraat-uitspoeling) plaats hebben, deze toch van 1877—1915 gering was. Blijft de nitraatproductie dus vrijwel op peil, dan ligt het voor de hand de oorzaak hiervan te zoeken in de voortdurende binding van atmosferische stikstof. Hoeveel stikstof er jaarlijks door bacteriën en algen gebonden wordt, is moeilijk te zeggen. Bleef het gehalte van het drainwater constant, dan zou den grond zooveel stikstof moeten worden toegevoerd, als er met het drainwater wordt weggevoerd, dat is dus ongeveer 30 kg/ha per jaar. Hiervan komt ongeveer 5 kg voor rekening van den regen, zoodat 25 kg atmosferische stikstof zou moeten worden vastgelegd. Dit cijfer moet dus als de bovenste limiet voor de N-binding in den onbebouwden grond beschouwd worden.

Ik heb de bovenstaande kwestie mede uitvoeriger besproken om duidelijk aan te toonen, hoe voorzichtig men moet zijn met het trekken van conclusies uit de veranderingen in een reeks cijfers, welke betrekking hebben op opeenvolgende waarnemingen van een grootheid, die beïnvloed kan worden door meteorologische factoren. Bij den regenval — en hetzelfde geldt waarschijnlijk ook voor andere meteorologische factoren — schijnen perioden op te treden, welke 20—30 jaar duren. Waarnemingen, welke slechts enkele decennien werden voortgezet, kunnen dus onder den invloed staan van dalenden of van stijgenden regenval en, als men daar niet op bedacht is, aanleiding geven tot onjuiste conclusies.¹⁾

a. *De invloed der aanwezigheid van grondwater in de lysimeters 1—4*

In deel I gaf ik op blz. 9 een korte beschouwing omtrent de mogelijke gevolgen van de aanwezigheid van grondwater in de lysimeters op de samenstelling van het drainwater. En de daar weergegeven overwegingen waren het vooral, die aanleiding gaven om bij 4 der lysimeters de inrichting zoodanig te wijzigen, dat er steeds grondwater in deze lysimeters blijft staan, terwijl bij de andere lysimeters de vrije waterafvoer gehandhaafd bleef. Mijn betoog kwam hierop neer, dat de grond in lysimeters met vrijen waterafloop in zooverre onder abnormale omstandigheden verkeert, dat hij, in tegenstelling met dien op den akker, niet alleen aan de oppervlakte, maar ook aan de onderzijde met de lucht in aanraking is, hetgeen de aeratie kan bevorderen en dus een versterkte mineralisatie en nitrificatie ten gevolge kan hebben. Ik veronderstelde dus de mogelijkheid, dat bij de Groninger

²⁾ Hier zij verwezen naar hetgeen HALL hieromtrent opmerkt naar aanleiding van de opbrengst cijfers voor tarwe in 10-jarige perioden op Broadbalk Field en in het bijzonder naar de grafische voorstelling der tarwe-opbrengsten in fig 2. (HALL, The book of the Rothamsted experiments, Sec. edition, 1917, p. 35).

lysimeters drainwater met een abnormaal hoog nitraat- en sulfaatgehalte gevormd zou kunnen worden; en de verkregen cijfers gaven wel aanleiding tot een dergelijk vermoeden.

Hoe verhouden de N-cijfers voor de lysimeters 1—4 met grondwater zich nu ten opzichte van die voor de lysimeters 5—8 met vrijen waterafloop vanaf November 1936?

Uit de analyses 55—57 (tabel 1) blijkt, dat aanvankelijk juist het tegenovergestelde plaats vond van hetgeen verwacht werd, want bij de lysimeters met grondwater werden *hoogere* gehaltecijfers gevonden.

Vanaf analyse 58 geven deze lysimeters echter, overeenkomstig de verwachting, *lagere* cijfers. Een en ander blijkt ook uit het beloop der beide N-lijnen in fig. 5.

Hoe zijn de aanvankelijk hoogere cijfers bij de lysimeters 1—4 nu te verklaren? Ik meen, dat men van het grondwater, naast de verminderde aeratie, nog een tweeden invloed kan verwachten.

Het grondwater staat tot aan den onderkant van den zavelgrond; het onderliggende grind- en zandbed is steeds met water gevuld. Dientengevolge zijn alle capillairen onder in den grond tot op zekere hoogte voortdurend met water gevuld, ook als er geen water afvloeit. De in dit gedeelte van den grond aanwezige oplosbare stoffen hebben dus alle gelegenheid en allen tijd om in het water over te gaan. Deze gelegenheid is bij den grond met vrijen waterafloop geringer. Hier beweegt zich het water, tot het aan het ondervlak uittreedt, door de in den grond aanwezige kanaaltjes (zie deel I, blz. 11); we mogen toch aannemen, dat in dezen, volkomen gedraineerden grond de wortelkanaaltjes en wormgangen tot de onderzijde doorloopen. Het water komt dus slechts met een beperkt deel van den grond in directe aanraking. De gronddeeltjes, welke niet in de onmiddellijke omgeving der watergangen liggen, kunnen hun wateroplosbare bestanddeelen slechts door diffusie, hetwelk een zeer langzaam proces is, aan het neerdalende water afstaan.

Dat deze verklaring vermoedelijk grootendeels juist is, blijkt hieruit, dat bij alle andere bestanddeelen, een enkele uitzondering daargelaten, de cijfers voor de lysimeters 1—4 steeds boven die voor de lysimeters 5—8 liggen, zooals fig. 5 aantoont. Er zullen zich hier echter wel eens complicaties voordoen, omdat de oplosbaarheid van deze bestanddeelen ook meer of minder afhankelijk zou kunnen zijn van nitrificatie en sulfificatie.

b. Verklaring der stijgingen en dalingen in het N-gehalte van het drainwater

Keeren we thans terug tot de nog niet nader beschouwde stijgingen en dalingen in het N-gehalte.

Het ligt voor de hand, dat de concentratie van het drainwater aan een

of ander bestanddeel afhankelijk moet zijn van de hoeveelheid drainwater, welke afvloeide in de periode, waarop het gehaltecijfer betrekking heeft, m. a. w. de concentratie is mede afhankelijk van *regenval* en *regenverdeling*. In een periode, waarin tengevolge van zwaren regenval veel drainwater afvloeit, terwijl dit ook reeds het geval was in de voorafgaande periode, zal men in 't algemeen geen hoge gehaltecijfers kunnen verwachten. Anders zal het zijn, indien na een periode, waarin geen drainwater afvloeide, een langzame drainage inzet: men kan dan hoge cijfers verwachten.

Het is echter ook mogelijk, dat na een droge periode aanvankelijk aan zouten arm drainwater afvloeit. Dit zal b.v. plaats kunnen vinden, indien in kleihoudende gronden ruime waterkanalen aanwezig zijn, waardoor het regenwater snel afvloeit; dit geval zal zich zeker voordoen, als in een drogen zomer in zwaren kleigrond diepe scheuren zijn ontstaan. Bij zandgronden en venige gronden kan iets dergelijks gebeuren, indien de grond, eenmaal ingedroogd, moeilijk nat wordt. Men ziet dan, dat bij het intreden eener regenperiode de grond niet egaal doordrenkt wordt, doch dat het water slechts hier en daar in den ondergrond wegvloeit.

Dergelijke omstandigheden kunnen de reeds vermelde belangrijke stijging van het N-gehalte van het drainwater in de periode 1 Januari—1 Februari 1921 (anal. 19), welke stijging tot September 1923 (anal. 27) aanhield, niet verklaren. Wel volgt de stijging (anal. 19) inderdaad op een najaar, waarin geen drainwater afgevoerd werd, en volgt op de stijging van 1 April 1921 tot 1 Dec. 1922 een periode met gering drainwaterdebiet, maar de gehaltecijfers blijven hoog wanneer daarna tot September 1923 een periode volgt met zeer ruime drainwaterproductie.

Indien hier regenval en drainwaterdebiet een overheerschende rol zouden spelen, dan zou men ook in het drainwater van 1 September 1929—1 Maart 1930 (anal. 45) een zeer hoog N-gehalte mogen verwachten, want ook toen was er vanaf 1 Maart 1928 weinig drainwater afgevoerd (zie fig. 6).

Ook als men de onderstaande analyses, die betrekking hebben op overeenkomstige maanden tijdens en voor en na de periode met zeer hoge N-cijfers, met elkaar vergelijkt en daarbij let op de hoeveelheid drainwater, dan wordt het vermoeden bevestigd, dat regenval en drainage bij het bedoelde verschijnsel vrijwel geen rol spelen.

Door welke oorzaken dan wel, was het nitraatgehalte van het drainwater tusschen 1 Januari 1921 en 1 September 1923 zoo hoog?

Ik zou voor dit verschijnsel de volgende verklaring willen opperen.

De grond, welke voor het vullen der lysimeters gebruikt werd, is vanaf het najaar 1917 tot Juli 1918, meestal in een dunne laag, onder een afdak aan de lucht blootgesteld geweest. De grond werd gedurende dien tijd her-

TABEL 4

Anal.		R mm	D mm	Totaal N mg p. l
18	1 Mei—1 September 1920	300	15	8,8
23	1 Mei—1 September 1922	301	9	86,3
27	1 Juni—1 September 1923.	248	32	70,8
17	1 April—1 Mei 1920	92	23	8,5
22	1 April—1 Mei 1922	52	14	96,8
25	1 December 1922—1 Maart 1923.	157	142	76,0
29	1 December 1923—1 Maart 1924.	105	122	7,4

haaldelijk verwerkt (fijnmaken, zeven, mengen). Toen in laatstgenoemde maand met het invullen begonnen werd, was de grond stuifdroog, het vochtgehalte bedroeg gemiddeld slechts 6,8 %.

Deze behandeling — beter gezegd mishandeling — van den grond is voor het bacteriënleven in den grond niet gunstig geweest; het aantal levende bacteriën — en dit geldt zeer zeker voor de nitrificeerende bacteriën, die geen sporen vormen — is waarschijnlijk sterk afgenomen, terwijl de overblijvende werden verzwakt. Men heeft hier in versterkte mate te doen gehad met wat men in de praktijk het „doodploegen” van den grond pleegt te noemen (51, blz. 740).

Na het invullen van den grond en nadat het vochtgehalte weer tot de vereischte hoogte gestegen was, trad slechts een zwakke nitrificatie op. Deze werd wellicht nog geremd door onvoldoende aeratie, gevolg van den ongunstigen toestand, waarin de grond verkeerde ten aanzien van de doorlatendheid voor lucht en water (zie I, blz. 37. Ik kom hier nader op terug).

Nadat de grond in de lysimeters een tweetal gewassen had gedragen (1919 en 1920), werd de doorlatendheid voor lucht en water beter (I, blz. 11 e. v.). De levensomstandigheden voor de nitrificeerende bacteriën werden dientengevolge gunstiger en een sterke vermenigvuldiging trad in. Mogelijk ontbraken nog de natuurlijke vijanden van de bacteriën (protozoën), hetgeen dan de vermenigvuldiging nog meer bevorderd moet hebben, met als gevolg een bijzonder krachtige nitrificatie. In den loop van een paar jaar werden ook de levensvoorwaarden voor laatstgenoemde bodembewoners gunstiger en kon de strijd tegen de overheersching der bacteriën aangeboden worden, met het resultaat, dat tenslotte op het einde van 1923 het biologisch evenwicht hersteld werd, waarmede de nitrificatie op een lager niveau kwam.

Het voorafgaande is slechts een poging om de periode van merkwaardig krachtige nitrificatie in de jaren 1921—1923 te verklaren. Bij de bespreking

van het CO₂-gehalte van het drainwater zal ik nog een andere mogelijke verklaring naar voren brengen (zie blz. 251). Het ligt op den weg der bacteriologen zich over de waarschijnlijkheid van de juistheid dezer hypothesen uit te spreken en ze aan het experiment te toetsen.¹⁾

Ik wil hier nog een paar vrij sterke schommelingen in het N-gehalte wat nader beschouwen. De bedoelde schommelingen zijn de volgende:

		Anal.	N
I	1 September 1923—1 December 1923	28	29,5
	1 December 1923—1 Maart 1924	29	7,4
II	1 Juni 1924—1 September 1924	31	10,9
	1 December 1924—1 Maart 1925	32	35,1
III	1 December 1925—1 Maart 1926	34	37,5
	1 Maart 1926—1 September 1926	35	15,9
IV	1 Maart 1930—1 September 1930	46	33,2
	1 September 1930—1 December 1930	47	63,8
	1 December 1930—1 Maart 1931	48	36,7

I. Deze val in het N-gehalte wordt behalve door de hierboven veronderstelde microbiologische verandering in den grond misschien mede veroorzaakt door de omstandigheid, dat November 1923 koud was en in December en Januari vorstperioden van langeren duur voorkwamen; ook Februari was koud. In het voorafgaande kwartaal (September—December) vloeiende ruim drainwater af, nl. 70 mm, waardoor veel van de gedurende den zomer gevormde nitraatstikstof uitspoelde. Maar bovendien moet hier gedacht worden aan de in 1923 verbouwde *voederbieten*, die niet minder dan 300 kg N per ha opnamen.

II. Ook in de beide volgende kwartalen blijft het N-gehalte laag (9,6 en 10,9 mg per l), hetgeen mogelijk samenhangt met de temperatuur, welke tot eind April abnormaal laag bleef, terwijl er veel regen viel. Ook de Meimaand was betrekkelijk koud. Daarna werden de omstandigheden voor nitrificatie en ophooping van nitraten in den grond weer gunstiger: Juni was matig warm en droog, September warm bij normalen regenval. In Juni—September werd nagenoeg geen, van September tot December in 't geheel geen drainwater gevormd; diensgevolge kon de nitraatvoorraad weer aangevuld worden.

¹⁾ Ik vestig er hier ten overvloede nog eens de aandacht op, dat de versterkte nitrificatie hier eerst optrad twee jaar na het invullen van den grond en *niet direct daarna*, zooals meerdere malen door andere onderzoekers (o.a. DEHERAIN) werd waargenomen.

De stijging van het N-gehalte in het drainwater December 1924—Maart 1925 (anal 32) is dus begrijpelijk.

III. Van 1 December 1925 tot 1 Maart 1926 was het drainwaterdebit zeer groot: er vloeide niet minder dan 189 mm water af. Het drainwater, dat in het volgende kwartaal werd opgevangen en geanalyseerd, was bijna geheel afkomstig van April, toen de grond door de sterke drainage in de voorafgaande wintermaanden sterk uitgeoogd moet zijn geweest. Hierin vindt allicht het lage cijfer (15,9) voor 1 Maart—1 September 1926 grootendeels zijn verklaring.

IV. Het hooge cijfer voor 1 September—1 December 1930 (63,8) wordt vermoedelijk ten deele verklaard door het feit, dat vanaf Maart 1928 tot September 1930 zeer weinig drainwater werd afgevoerd; van September 1929 tot September 1930 bedroeg de drainage nog geen 80 mm, waarvan de helft dan nog op rekening komt van Januari 1930 (zie fig. 6).

Maar zou men hier niet vooral moeten denken aan de stikstofrijke wortels, welke de in 1930 verbouwde *erwten* in den grond achterlieten?

Het hooge N-cijfer van analyse 47 trekt te meer de aandacht, omdat de hoeveelheid drainwater in de betreffende periode zeer groot was, nl. 217 mm.

Uit de cijfers in tabel 5 blijkt, dat bij alle 8 lysimeters dezelfde verhooging intrad, zoodat in alle lysimeters de verschillende factoren, welke deze dan ook geweest mogen zijn, even krachtig werkten; de cijfers toonen duidelijk aan, dat men hier niet met toevallige, doch met wezenlijke veranderingen in het N-gehalte te doen heeft.

TABEL 5

N-gehalte van het drainwater der afzonderlijke lysimeters in 3 opeenvolgende perioden (mg per liter)

N-content of the drainagewater from the separate draingauges in 3 successive periods (mg per liter)

Anal.		R mm	D mm	Lysimeters:							
				1	2	3	4	5	6	7	8
46	1 Maart—1 September 1930 . . .	409	26	30	28	29	33	37	37	35	36
47	1 September—1 December 1930 .	327	217	65	58	59	62	71	64	64	69
48	1 December 1930—1 Maart 1931 .	188	187	38	35	35	37	37	37	36	38

Ook in 1922 werden erwten verbouwd; het N-gehalte was toen weliswaar in het najaar nog hooger, nl. 82 mg per l (anal. 24), maar er waren daaraan een paar nog hoogere cijfers voorafgegaan en het is de vraag, of in deze periode

van buitengewoon krachtige nitrificatie nog wel vastlegging van stikstof uit de lucht door de knolletjes bacteriën plaats vond.

In 1925 werd vlas met roode klaver ingezaaid en in 1926 droegen de lysimeters roode klaver, dus eveneens een vlinderbloemige. Het in het najaar 1926 opgevangen drainwater (anal. 36) vertoont echter geen duidelijk hooger N-gehalte.

c. *Verschillen in het N-gehalte van het drainwater der afzonderlijke lysimeters*

In de periode van krachtige nitrificatie traden er ten aanzien van het N-gehalte van het drainwater, tusschen de lysimeters onderling groote verschillen op, zooals uit fig. 5a duidelijk blijkt. Buiten de genoemde periode zijn de onderlinge verschillen over het algemeen van weinig beteekenis.

Het valt op, dat enkele lysimeters in deze periode als regel hooge, andere als regel lage cijfers geven. Dit blijkt ook uit de gemiddelde cijfers voor de analyses 19—27 (1 Januari 1921—1 September 1923) in onderstaande tabel 6.

TABEL 6

	Lysimeters:							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Gemiddelde N-gehalten (mg per liter)							
Voor de anal. 19—27.	77,4	60,7	60,1	73,2	110,4	70,6	85,7	95,4
Volgorde 1—8	4	7	8	5	1	6	3	2
Volgorde der lysimeters naar stijgend drainwaterdebiet in dezelfde periode	3	8	7	5	1	4	6	2
Voor de anal. 2—18 en 28—51	16,9	17,1	17,8	18,4	18,9	18,8	19,8	20,4
Volgorde	8	7	6	5	3	4	2	1

Ook voor de overige analyses uit de periode 1918—1933 (begroeid) ziet men iets dergelijks, zij het ook, dat de onderlinge verschillen veel geringer zijn en de rangorde der lysimeters dus minder vast staat.

In deel I werd op blz. 86 e. v. gesproken over het ongelijke drainwaterdebiet der lysimeters in den loop der jaren. Er zijn lysimeters (2 en 3), die als regel méér drainwater, andere (5 en 8), welke als regel minder drainwater afgeven dan de gemiddelde hoeveelheid voor de betreffende periode. Zoo kan men de lysimeters rangschikken naar opklimmend drainwaterdebiet; dit is in tabel 6 gedaan voor de periode van krachtige nitrificatie. Vergelijkt men deze rangcijfers met die voor het N-gehalte, dan blijkt, dat er een zekere overeenstemming bestaat. Deze overeenstemming wijst er dus op, dat het N-gehalte hooger is, naarmate het drainwater-debiet lager is. Het schijnt dus, dat de verschillen tusschen de gehaltecijfers het gevolg zijn van een meerdere

of mindere verdunning van het drainwater, veroorzaakt door ongelijke verdamping uit de lysimeters, waarvoor de verklaring te zoeken is in verschillen in de doorlatendheid van den grond in de lysimeters (zie deel I, blz. 90).

Indien het verschil in drainwaterdebiet de eenige oorzaak ware voor het verschil tusschen de gehaltecijfers, dan zou in een bepaalde periode de in totaal uitgespoelde *hoeveelheid* stikstof voor alle 8 lysimeters even groot moeten zijn. In tabel 7 zijn deze hoeveelheden vermeld voor de periode van krachtige nitrificatie (1 Januari 1921—1 September 1923).

TABEL 7

1 Januari 1921— 1 September 1923	Lysimeters:							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Uitgespoelde grammen N .	24,482	25,901	21,708	24,205	31,597	22,662	26,642	26,674
In procenten v. h. gem. . .	96,1 %	101,6 %	85,2 %	95,0 %	124,0 %	88,9 %	104,5 %	104,7 %
N mg/l	73,4	62,1	55,5	69,9	108,6	65,7	74,8	91,4
Volgorde	4	7	8	5	1	6	3	2
Drainwater in liters . . .	333,6	416,8	391,4	346,3	291,1	345,1	356,4	291,8
In % v. h. gemiddelde . .	96,3 %	120,3 %	112,9 %	99,9 %	84,0 %	99,6 %	102,8 %	84,2 %
Volgorde	3	8	7	5	1	4	6	2
N mg/l indien gelijke hoeveelheden N waren uitgespoeld	76,3	61,1	65,1	73,6	87,6	73,8	71,5	87,3

Uit de in tabel 7 vermelde cijfers blijkt, dat de hoeveelheid N, welke in de beschouwde periode uitspoelde, bij lysimeter 5 vrij wat hooger is, n.l. 124 %, dan de gemiddelde hoeveelheid (= 25,484 g) en bij 3 en 6 nogal wat lager is (resp. 85 en 89 % van het gemiddelde). Indien de uitspoeling bij alle lysimeters gelijk geweest ware, dan zouden de gemiddelde concentraties door de onder in de tabel geplaatste cijfers worden weergegeven. Vergelijkt men deze met de feitelijke cijfers (derde rij van boven), dan krijgt men den indruk, dat toch wel in hoofdzaak de verschillen in het drainwaterdebiet de concentratie-verschillen beheerschen. Bij den lysimeter 5 — en in geringere mate bij de lysimeters 3 en 6 — zijn dan misschien nog andere factoren werkzaam geweest. Men zou ook kunnen veronderstellen, dat de bij 5 uitgespoelde hoeveelheid N te hoog is, doordat een enkel N-gehalte te hoog gevonden werd.¹⁾ Het valt n.l. op, dat bij lysimeter 8, die zich, wat de hoeveelheid drainwater betreft, vrijwel gelijk aan 5 gedraagt, niet onbelangrijk minder N uitspoelde. Er bestaat echter geen aanleiding, noch bij 5, noch bij 8 een der 9 N-cijfers te

¹⁾ Dit zou dan analyse 25 moeten zijn geweest, waarbij voor lysimeter 5 een belangrijk hooger N-cijfer werd gevonden dan voor de overige lysimeters. Doch ook voor de basen (vooral CaO) werden hogere cijfers gevonden, zoodat de som der zuur- en basea-equivalenten niet minder goed overeenstemmen dan bij de overige lysimeters.

wantrouwen; op één uitzondering na werden bij 5 steeds hogere cijfers gevonden dan bij 8.

We mogen dus ook wel aannemen, dat de onderlinge verschillen bij de overige bestanddeelen, welke een overeenkomstig verband met het drainwater-debiet der afzonderlijke lysimeters vertoonen, eveneens voornamelijk aan verschillen in het drainwaterdebiet zijn toe te schrijven.

De verschillen in snelheid, waarmede het water in de onderscheidene lysimeters door den grond wegzakt, en die, zooals we zagen, de verschillen in drainwaterdebiet veroorzaken, kunnen ook op zichzelf aanleiding geven tot concentratieverschillen. Hoe langzamer het water wegzakt, des te ruimer is de gelegenheid voor het oplossen van stoffen uit den grond. Indien dit inderdaad gebeurt, dan moeten er in een bepaalde periode uit de lysimeters met de geringste doorlatendheid en dus met het geringste drainwaterdebiet, meer oplosbare stoffen uitspoelen dan uit de lysimeters met de grootste doorlatendheid en het grootste debiet. In tabel 7 ziet men, dat dit ten aanzien van de uitgespoelde stikstof bij de lysimeters 5 en 8 opgaat; zij hadden het geringste debiet en verloren de grootste hoeveelheid stikstof. Lysimeter 3 met op een na het hoogste debiet verloor de kleinste hoeveelheid stikstof. Bij de overige lysimeters bestaat dit verband echter niet.

Tenslotte is invloed van de snelheid der waterbeweging, dus van de doorlatendheid van den grond, op nitrificatie niet uitgesloten, omdat de luchtcirculatie in den grond afhankelijk is van de waterbeweging.

Berekent men hetgeen in de geheele periode, waarin de lysimeters bebouwd werden (1918—1933), uit de afzonderlijke lysimeters uitspoelde en bepaalt men het gemiddelde N-gehalte van het drainwater, dat in deze periode afvloeide, dan blijken de verschillen veel geringer te zijn, hetgeen grootendeels zal samenhangen met de geringere verschillen in het drainwaterdebiet tusschen de lysimeters onderling. Maar ook hier valt verband tusschen drainwater-debiet en gehaltecijfer te bespeuren (zie tabel 7a).

TABEL 7a

Juli 1918—Sept. 1933	Lysimeters							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Uitgespoelde grammen N . .	78,051	82,921	84,954	80,984	83,634	79,600	85,384	81,863
In % v. h. gemiddelde . .	95,0	100,9	103,4	98,5	101,8	96,9	103,9	99,6
mg N per liter.	30,4	29,1	30,3	31,4	33,8	30,2	32,9	34,3
Volgorde	5	8	6	4	1	7	2	3
Drainwater in liters . . .	2568	2853	2801	2581	2473	2638	2599	2386
In % v. h. gemiddelde . .	98,3	109,2	107,2	98,8	94,7	101,0	99,5	91,3
Volgorde	3	8	7	4	2	6	5	1

d. *Invloed van het jaargetijde op de nitraatvorming*

Het ligt voor de hand om aan te nemen, dat de nitrificatie niet in alle tijden des jaars even krachtig zal zijn. Hierbij zullen niet slechts meteorologische factoren (temperatuur en regenval) een rol spelen, maar ook de bewerking en de bebouwing van den grond.

Afgaande op hetgeen daaromtrent in de literatuur wordt medegedeeld, schijnt de invloed van de temperatuur in 't algemeen geringer te zijn dan die van het watergehalte van den grond. Het vochtgehalte zou ook van veel grooter belang zijn dan de aëratie, welke niet die beteekenis heeft, welke er veelal aan toegeschreven wordt (LÖHNIS, 51, blz. 615 e. v.).

Uit een en ander zou men de conclusie kunnen trekken, dat in droge zomers de nitrificatie achteruit kan gaan tengevolge van een onvoldoend vochtgehalte van den grond en dat in voor- en najaar de omstandigheden voor een krachtige nitrificatie als regel gunstig zullen zijn.

De bewerking van den grond kan in meerdere richtingen invloed op de nitrificatie uitoefenen (vochtgehalte, temperatuur, luchttoetreding, menging van den grond).

Volgens LÖHNIS is vooral de reguleering van het watergehalte van den grond bij de groundbewerking van groote beteekenis (ibid., blz. 732 e. v.)

In het najaar zal wellicht ook de verrijking van den grond met gemakkelijk ontleedbare organische stof, in den vorm van wortels en plantenresten, van invloed zijn op de nitrificatie. Of het onderploegen van de stoppels van graangewassen soms tijdelijk ongunstig kan zijn voor de nitrificatie door wijziging der C : N-verhouding, is, voor zoover ik weet, niet bekend.

Al de boven aangeroerde vragen zijn, naar 't mij wil voorkomen, uiterst moeilijk toegankelijk voor het experiment. Drainwateranalyses kunnen bezwaarlijk een afdoend antwoord op deze vragen geven, omdat de nitraatproductie in den grond op een zeker oogenblik zich niet onmiddellijk in een wijziging van het nitraat-gehalte van het drainwater afspiegelt. Laatstgenoemde grootheid is, zooals we reeds zagen, niet alleen afhankelijk van de nitraatproductie, doch ook van het drainwaterdebiet, dus van regenval en regenverdeling. Bovendien is de uitloosing, in kleihoudende gronden althans, een proces, dat onverwacht langzaam verloopt, zooals wij later zullen zien. Een verhoogde nitraatproductie, op een gegeven tijdstip, zal zich dus slechts ten deele demonstreeren door verhooging der N-concentratie van het drainwater, dat kort daarna uittreedt. Ook al zou dus de nitraatproductie in de vier jaargetijden duidelijke verschillen vertoonen, dan nog zal dit in de gehaltecijfers van het drainwater der afzonderlijke seizoenen slechts verzwakt tot uiting kunnen komen.

In tabel 8 nu zijn de gemiddelde seizoencijfers voor N vermeld voor de jaren 1918—1933, toen de lysimeters bebouwd werden. Uit den aard der zaak is het aantal analyses van in de zomermaanden (Juni t/m Augustus) opgevangen drainwater veel kleiner dan dat van winter- en lente-drainwater, daar des zomers als regel geen drainwater afvloeit.

Zooals men uit de tabel ziet, zijn de verschillen tusschen de vier N-cijfers niet groot. Bij de beoordeeling van het cijfer voor den zomer, dient men in aanmerking te nemen, dat het betrekking heeft op een geringe hoeveelheid drainwater; indien er 's zomers evenveel water afvloeide als in den herfst en winter, dan zou het cijfer lager liggen en zou het vermoedelijk lager zijn dan die voor de laatstgenoemde jaargetijden. Dit klinkt niet onwaarschijnlijk, daar des zomers belangrijke hoeveelheden nitraat-N door de gewassen worden opgenomen. Ook is de mogelijkheid niet uitgesloten, dat des zomers in den dikwerf drogen grond de nitrificatie geringer is. Maar de cijfers leeren in ieder geval, dat het N-gehalte van het drainwater het geheele jaar door ten naaste bij hetzelfde is.

TABEL 8

Gemiddelde N-cijfers voor de vier jaargetijden

Average nitrogen content of the drainagewater collected in the four seasons (Cropped soil)

	Aantal analyses (Number of analyses)	Drainwater liters	N mg p. l
Zomer (<i>Summer</i>)	5	21,9	27,7
Herfst (<i>Autumn</i>)	9	50,2	26,2
Winter (<i>Winter</i>)	16	71,1	27,9
Lente (<i>Spring</i>)	18	26,1	30,4

e. Invloed van den aard der stikstofbemesting op het N-gehalte van het drainwater

Tabel 8a stelt ons in staat na te gaan in hoeverre de aard der stikstofmeststof invloed heeft op het N-gehalte van het drainwater. De gehalte-cijfers zijn berekend door de in de genoemde perioden uitgespoelde hoeveelheden stikstof te deelen door het aantal afgevoerde liters drainwater.

Opgemerkt zij, dat in de eerste 5-jarige periode alle lysimeters gelijk bemest werden, terwijl in de periode, toen de lysimeters niet bebouwd werden, geen bemesting werd toegediend.

De gemiddelde cijfers voor de vier stikstofverbindingen wijzen er niet op, dat er een bepaalde invloed bestaat; de onderlinge verschillen tusschen de gehalte-cijfers zullen vermoedelijk grootendeels samenhangen met verschillen in drainwaterdebiet.

TABEL 8a

Gemiddeld N-gehalte van het drainwater der afzonderlijke lysimeters in 5(3)-jarige perioden (mg p.p. l)
Average N-content of the drainagewaters collected from the separate lysimeters in 5 (3)-year periods

	Lysimeters:								Gemiddeld:			
	1	2	3	4	5	6	7	8	1-5 (NH ₄) ₂ SO ₄	2-4 NaNO ₃	3-6 NH ₄ NO ₃	7-8 Ca (NO ₃) ₂
Bebouwd (Cropped)												
Juli 1918—Juni 1923 . .	37,4	32,4	34,7	36,6	45,9	34,8	37,5	42,3	41,8	34,3	34,7	39,9
Juni 1923—Juni 1928 . .	23,6	22,2	28,2	27,0	23,7	24,9	29,0	27,5	23,6	26,0	26,6	28,3
Juni 1928—Sept. 1933 . .	32,9	30,6	29,6	32,5	34,9	32,6	33,7	35,4	33,9	31,5	31,0	34,5
Onbebouwd (Fallow)												
Sept. 1933—Sept. 1936 . .	54,0	48,5	48,7	49,1	52,8	47,8	51,8	51,9	53,4	48,8	48,2	51,8
Vrije waterafvoer (Free waterdischarge)												
	Met grondwater (With watertable)											
	1	2	3	4	Gem. (Mean)		5	6	7	8	Gem. (Mean)	
Sept. 1936—Dec. 1938 . .	43,0	35,0	33,9	32,5	35,9		39,4	36,9	38,7	40,1	38,7	
1 Jan. 1938—1 Dec. 1938	39,0	36,7	30,4	30,6	34,0		52,3	45,7	49,2	51,5	49,5	

TABEL 8b

	Lysimeters:								Gemiddeld:			
	1	2	3	4	5	6	7	8	1-5 (NH ₄) ₂ SO ₄	2-4 NaNO ₃	3-6 NH ₄ NO ₃	7-8 Ca (NO ₃) ₂
Juni 1923—Sept. 1933												
Grammen N	53,457	56,869	61,137	57,160	51,019	56,148	59,937	53,816	%	%	%	%
% v. h. gemiddelde . . .	95,1	101,2	108,8	101,7	90,8	99,9	106,7	95,8	93,0	101,5	104,4	101,2
Liters drainwater	1910	2048	2114	1920	1763	1964	1920	1723				
% v. h. gemiddelde . . .	99,4	106,7	110,1	100,0	91,8	102,3	100,0	89,7	95,6	103,4	106,2	94,9

Het is misschien juist(er) om de in totaal gedurende de periode van gedifferentieerde N-bemesting uitgespoelde hoeveelheden stikstof met elkaar te vergelijken, zooals in tabel 8b is gedaan.

Ook deze cijfers wijzen niet op een bepaalden invloed van den aard der stikstofmeststof op de uitspoeling van N. De optredende verschillen hangen vermoedelijk in hoofdzaak samen met het drainwaterdebiet.

f. *Het N-gehalte van het drainwater der Groninger lysimeters vergeleken met de elders bij lysimeter-onderzoekingen verkregen cijfers en met het N-gehalte van het in het vrije veld opgevangen drainwater*

Elders bij lysimeter-onderzoekingen verkregen cijfers voor het N-gehalte van het drainwater. Bij vergelijking van de waarden, welke te Groningen gevonden werden, met die, welke men in de verslagen van elders verrichte lysimeter-onderzoekingen aantreft, blijkt, dat weliswaar soms nog wel hogere en zelfs belangrijk hogere waarden gevonden werden, maar dat in 't algemeen de cijfers aanmerkelijk lager zijn.

Dit komt al direct naar voren bij vergelijking der N-cijfers uit tabel 1 met die, welke de onderzoekingen te *Rothamsted* opleverden en vermeld werden in tabel 2. Hierbij dient echter in het oog gehouden te worden, dat de lysimeters te Rothamsted niet bebouwd werden en dat de eerste cijfers — ik wees hier reeds eerder op — gevonden werden, nadat de proef reeds 7 jaren geloopt had en de grond dus reeds 7 jaren onbebouwd bleef, zoodat ook de Groninger cijfers uit de onbebouwde periode (1933—1939) niet ten volle met die uit Rothamsted te vergelijken zijn.

Ten aanzien van de zeer hoge cijfers, welke men voor het N-gehalte van drainwater in de literatuur vermeld vindt, valt op te merken, dat deze gemeenlijk verklaard kunnen worden uit de bijzondere omstandigheden, waaronder de grond verkeerde. Zoo vond DEHÉRAIN bij zijn eerste drainwater-studies (15, blz. 340), waarbij hij gebruik maakte van geglazuurde potten, gevuld met 30 kg grond van verschillende herkomst, een N-gehalte (nitraat) van 172 tot 332 mg per l. Deze potten waren aan den regen blootgesteld en bleven onbebouwd. Onder de gebreken, welke deze proeven aankleven, noemt DEHÉRAIN o.a., dat de temperatuur van den grond in de potten hoger werd dan in den natuurlijke grond en in een volgende publicatie (16, blz. 49), waarin hij ook melding maakt van de uitspoeling van belangrijke hoeveelheden N (van 1 Maart—7 November niet minder dan 34—197 kg per ha), wijst hij erop, dat deze cijfers feitelijk betrekking hebben op een warmer klimaat dan in de omgeving van Parijs heerscht.

In een daaropvolgende publicatie (17, blz. 286) omtrent dezelfde potproeven worden gehaltecijfers genoemd, welke belangrijk lager zijn, n.l.

18—52, gemiddeld 32 mg/l. Waarschijnlijk doet zich hier de omstandigheid gelden, dat de grond in de potten gedurende een paar jaar gelegenheid heeft gehad zich te zetten.

BERTHELOT nam eveneens proeven in geglazuurde potten (oppervlakte 1550 cm², diepte 50 cm), gevuld met ruim 50 kg grond (6). Hij vond de volgende gehaltecijfers.

		N mg/liter	Drainwater liters
Onbebouwd	24 Mei—20 November	46	14,8
Idem	3 Juni—7 October	63	83,1
Bebouwd	24 Mei—9 October	28	14,6

HANAMANN (14) nam in soortgelijke potten proeven, maar groef deze in. Het N-gehalte van het drainwater varieerde sterk met de grondsoort. De proeven liepen van 1 April—1 October 1896; op elken pot viel 42 l regen.

Grondsoort	Drainwater liters	N mg/liter
Basalterde	7,86	106
Plänerkalkboden	10,10	102
Lösslehm Boden	8,45	29
Alluvialboden	9,11	49

Met laatstgenoemde grondsoort werden ook proeven met bebouwde potten genomen. De resultaten waren de volgende.

	Drainw. liters	N mg/l		Drainw. liters	N mg/l
1 April—1 October 1896			1 April—eind October 1899		
Onbebouwd	9,11	49,0	Onbebouwd	7,08	54
Mais	6,55	0,3	Klaver	2,65	24
Paardeboonen . . .	3,27	0,7	Raapzaad	4,25	9
Suikerbieten . . .	3,14	0,8	Boonen	2,04	4
Zomergerst	3,63	4,7	Zomertarwe	2,04	3
Rode klaver	3,06	6,3			

De proeven in 1899 werden met opnieuw ingevulde potten verricht; op de potten viel 34 l regen (33).

De plantengroei heeft het N-gehalte van het drainwater sterk doen dalen. Vooral bij proeven in betrekkelijk kleine potten, waarbij dus de planten op een klein volume grond zijn aangewezen, is dit wel te verwachten. Ook

is het niet uitgesloten, dat in den begroeiden grond door sterkere uitdroging meer krimpscheuren gevormd worden, resp. de grond van den wand van den pot loslaat, waardoor een deel van het regenwater snel kan wegzakken, zonder den grond uit te loogen; de aard van den grond zal hierbij van grooten invloed zijn.

Thans laat ik enkele cijfers volgen, welke verkregen werden bij proeven met eigenlijke lysimeters, dus met bakken van grootere afmeting, die geheel door grond omgeven zijn en waarin de temperatuur dus niet of slechts zeer weinig verschilt van die in den grond in de omgeving.

In de eerste plaats geef ik enkele cijfers, welke DEHÉRAIN verkreeg met de in 1891 te Grignon door hem ingerichte lysimeters, voor welke beschrijving verwezen kan worden naar deel I, blz. 24; hier zij slechts vermeld, dat deze lysimeters een oppervlakte hadden van 4 m² en een diepte van 1 m, terwijl ze gevuld waren met een zéér zandigen grond, welke eerder van droogte dan van te veel water te lijden had.

In het eerste proefjaar (18) was het drainwater rijk aan nitraatstikstof; bij de onbebouwde bakken schommelde het gehalte tusschen 122 en 158, bij de bebouwde tusschen 31 (suikerbieten) en 143 mg per l (haver + klaver). DEHÉRAIN schrijft de zeer groote stikstofverliezen, welke de grond in dit proefjaar leed, toe aan de meteorologische omstandigheden en aan de zeer krachtige nitrificatie in den pas ingevulden grond. In een latere publicatie (21, blz. 251) trekt hij den invloed van de sterke aëratie van den grond in het eerste proefjaar op de nitrificatie in twijfel en meent hij de overvloedige nitraatvorming op rekening van den overvloedigen regen in den eersten zomer te moeten stellen.

In den volgenden winter (12 November 1892—2 Maart 1893) werden over 't algemeen ook hooge cijfers gevonden (19, blz. 21). Bij de onbebouwde lysimeters was het gehalte 88—137 mg/l. Veel lager, n.l. 15 en 20, zijn de cijfers voor de lysimeters, begroeid met gras en met wintertarwe, hetgeen DEHÉRAIN aanleiding geeft te vermoeden, dat het gras en de wintertarwe de nitraatstikstof hebben vastgehouden. Bij een der lysimeters met wintertarwe was het gehalte hooger, n.l. 42; deze lysimeter ontving in 1892 NaNO₃ naar 625 kg per ha, maar het is de vraag, of dit wel de reden is van het hoogere cijfer. Bij de overige begroeide lysimeters liggen de cijfers tusschen 35 en 91.

In het proefjaar 2 Maart 1893—20 Maart 1894 (19, blz. 451) zijn de gehaltecijfers over 't algemeen aanmerkelijk lager; het gemiddelde gehalte voor de 20 lysimeters is 62 tegen 99 mg/l in het eerste proefjaar.

De onbebouwde bakken vertoonen weer de hoogste cijfers (79—116); bij de bebouwde lysimeters schommelen de cijfers tusschen 38 en 81.

In het daaropvolgende jaar (20 Maart 1894—13 Maart 1895) zijn de cijfers, met uitzondering van die voor de onbebouwde bakken, nog aanmerkelijk lager; het gemiddelde is tot 35 mg/l gedaald.

Bij de onbebouwde lysimeters variëren de cijfers van 86—119, bij de bebouwde van 3 tot 52 (20, blz. 199).

Voor de periode Maart 1896—Maart 1897 vond DEHÉRAIN nog lagere gehaltecijfers (21, blz. 262). Het gemiddelde voor de 20 lysimeters was slechts 23; bij de onbebouwde bakken schommelde het cijfer tusschen 62 en 75, bij de bebouwde tusschen 0,2 en 45 mg/l.

Terloops zij opgemerkt, dat deze lage cijfers in 1896—1897 geenszins insluiten, dat er in dit jaar ook weinig N werd uitgespoeld. Uit de onbebouwde bakken werd gemiddeld ruim 200 kg, uit de bebouwde bakken gemiddeld 21 kg per ha uitgespoeld, dat is bijna zooveel als in het jaar 1892—93 met de zeer veel hogere gehaltecijfers.

De volgende tabel (tabel 9) geeft een overzicht van de N-gehalten, welke VON SEELHORST te Göttingen bij zijn lysimeterproeven vond (zie deel I, blz. 26). De cijfers uit de tabel zijn ontleend aan de tabellen 2 en 8 uit zijn publicatie, genoemd onder n°. 84 in de literatuurlijst, blz. 192 en 207; zij hebben betrekking op onbebouwd grond.

TABEL 9

*N-gehalte van drainwater uit onbebouwd grond (VON SEELHORST)**Nitrogen in drainagewater from uncropped soil (VON SEELHORST)*

	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912
<i>Lysimeter 14 Zand (Sand)</i>								
kg N per ha	92,8	41,2	25,4	19,5	22,1	17,9	15,5	69,1
mg N per liter	21,4	8,9	8,2	8,0	7,2	6,4	11,9	18,0
Drainage in mm	435	463	312	243	304	277	130	385
<i>Lysimeter IV Leem (Loam)</i>								
kg N per ha	116,1	81,3	38,3	38,8	61,9	67,6	29,4	106,7
mg N per liter	29,5	19,0	14,8	18,3	24,2	26,8	26,7	32,5
Drainage in mm	393	428	259	207	256	252	110	328

VON SEELHORST ziet in het afnemen der cijfers bij den *zandgrond* een aanwijzing voor een sterke vermindering van den N-voorraad in deze grondsoort bij braak. Hierbij dient echter opgemerkt te worden, dat in 1912 weer aanmerkelijk hogere cijfers worden gevonden, vermoedelijk tengevolge van meerderen regenval in dat jaar en van de geringe uitspoeling in het droge jaar 1911.

Bij den *leemgrond* is de daling minder duidelijk; wellicht hangt dit samen met de grootere watercapaciteit van deze grondsoort. VON SEELHORST meent, dat ook het hoogere gehalte aan organische stof, alsook de meerdere vastlegging van luchtstikstof door bacteriën in dezen goeden kalkhoudenden leemgrond, hierbij een rol spelen. Ook hier treden, vermoedelijk door dezelfde oorzaken als boven genoemd, in 1912 weer hoogere cijfers op.

De hoogere cijfers in 1905 meent VON SEELHORST te moeten verklaren uit den lossere toestand van den grond, die eerst in het voorafgaande jaar was ingevuld.

In tabel 7 op blz. 202 van genoemde publicatie worden de gehaltecijfers voor de afzonderlijke maanden vermeld. Bij den *zandgrond* komen de hoogste cijfers voor in de maanden Juli—September, in 1909 echter in November en in 1912 in Februari; het laatste zal wel een gevolg zijn van de ophooping van het nitraat in den drogen zomer van 1911. De minimumcijfers komen voor in de maanden Februari—April. Bij den *leemgrond* daarentegen komen de hoogste N-cijfers voor in de drie eerste maanden, de laagste cijfers meestal in de tweede helft des jaars. VON SEELHORST geeft m.i. de juiste verklaring van dit verschil tusschen de beide grondsoorten, te weten: de veel langzamere beweging van het water in den leemgrond en het feit, dat de watercapaciteit van dezen grond 2,5 maal zoo groot was als die van den zandgrond.

Voor den *zandgrond* zijn de hoogste cijfers: 36,2 in September 1905 en 36,0 in Februari 1912 (zie boven), het laagste cijfer is 3,2 in Februari 1910.

Voor den *leemgrond* is het hoogste gehaltecijfer 73,8 (Maart 1905), het laagste cijfer 3,5 (December 1907).

Het drainwater van de *begroeide* lysimeters was veel armer aan N. Zoo bleek het drainwater, dat tusschen 1 April 1903 en 1 April 1904 uit 4 lysimeters, resp. bebouwd met haver, haver, haver + klaver en bieten, opgevangen werd, gemiddeld 5,2, 5,3, 5,8 en 3,7 mg nitraatstof per liter te bevatten. Per ha werd resp. 6,8, 7,7, 3,4 en 6,9 kg N uitgespoeld (85, blz. 385—386).

Het volgende jaar droegen de beide eerste bakken wederom haver, de derde bak de in 1903 ingezaaide klaver, terwijl de vierde bak gebrakkt werd (86, blz. 257).

De gebrakkte bak gaf 244 l drainwater met gemiddeld 25 mg N per l (60 kg per ha). De bebouwde bakken gaven vanaf 1 Mei 1904 tot 1 Februari 1905 geen drainwater af. Het drainwater van 1—25 Februari opgevangen, bevatte resp. 13, 11 en 39 mg N per l; het drainwater uit den gebrakkten bak bevatte in denzelfden tijd 43 mg N per l.

GERLACH geeft in publicatie n°. 28 der literatuurlijst een overzicht van de tusschen 1906 en 1918 te Bromberg verrichte lysimeteronderzoekingen (zie I, blz. 28). Uit de op blz. 709 en 713 vermelde gegevens voor de in de

genoemde periode afgevoerde hoeveelheden drainwater en de daarmee uitgespoelde hoeveelheden totaal N laten zich de in de laatste kolom van tabel 10 genoemde cijfers voor het gemiddelde N-gehalte van het drainwater berekenen.

TABEL 10

N-gehalte in het drainwater der bebouwde lysimeters te Bromberg (GERLACH)

Nitrogen content of the drainagewaters from the cropped lysimeters at Bromberg (GERLACH)

22 April 1907—17 April 1918	Drain- water 1	N uit- gespoeld per 4 m ² g	N mg/l
Lojewo—bemest (<i>manured</i>)	3611	611,37	169
„ —onbemest (<i>unmanured</i>)	6008	1220,67	203
Pentkowo—bemest	6884	137,06	20
„ —onbemest	8330	146,72	18
Bromberg—bemest	8820	145,05	16
„ —onbemest	9779	168,64	17
Mockeln—bemest	4904	90,69	18
„ —onbemest	5812	91,37	16
Kaisersfelde—bemest	6122	116,61	19
„ —onbemest	7179	139,50	19

Uit den veengrond van Lojewo werd dus drainwater afgevoerd met een zeer hoog N-gehalte; het drainwater der leemgronden bevatte slechts ongeveer een tiende dezer hoeveelheid.¹⁾

Sedert ongeveer 20 jaar worden op een proefhoerderij te *Craibstone* bij Aberdeen onderzoekingen verricht met lysimeters, welke op dezelfde wijze zijn ingericht als die te Rothamsted. De oppervlakte bedraagt 4,05 m², de diepte is 1 m. Ook hier zijn grondblokken in de natuurlijke ligging ommuurd geworden, maar in tegenstelling met die te Rothamsted worden deze lysimeters geregeld bebouwd.

De gehaltecijfers voor N, welke door J. HENDRICK en H. D. WELSH (36) vermeld worden, zijn laag en ten deele zeer laag. Nadat de 3 lysimeters in 1918 waren ingericht, bleven ze het eerste jaar onbebouwd. In 1919 werd een der lysimeters niet bemest, de beide andere ontvingen stalmest en kunstmest (een dezer lysimeters ontving bovendien nog kalk); ze werden bebouwd met gerst. De N-gehalten van het drainwater lagen tusschen 10,4 en 11,7 mg per l. In 1920, toen eveneens gerst verbouwd werd, daalde het gehalte tot

¹⁾ Hier zij opgemerkt, dat GERLACH in een tabel op blz. 712 zijner publicatie cijfers voor het gemiddelde N-gehalte geeft, welke belangrijk lager zijn nl. 25,4 en 50,7 voor de beide eerste lysimeters en gemiddeld 5,4 voor de overige. Ik heb niet kunnen vinden, hoe GERLACH aan deze cijfers is gekomen.

4,9—5,2. In 1921 (knollen) waren de cijfers 6,3—10,9, in 1922 (gerst + graszaad) 4,5—5,5, in 1923 (gras; gehooïd) 1,0—1,1.

De beide volgende jaren bleven ze in gras liggen; de gehaltecijfers waren toen 0,6—0,7. Ook het daaropvolgende jaar, 1926, toen weer gerst verbouwd werd, was het gehalte laag, n.l. 0,6 mg per l. Van 1921—1926 werd gemiddeld per ha slechts 7,8 kg N uitgespoeld.

N-gehalte van in het vrije veld opgevangen drainwater. De cijfers, welke men in de literatuur voor het N-gehalte van het te velde opgevangen drainwater vindt opgegeven, vertoonen ook groote variatie. Dit kan wel niet anders, omdat, afgezien van de verschillen in de grondsoorten, waaruit de drainwatermonsters afkomstig zijn, het gehalte aan N (en andere bestanddeelen) afhankelijk is van het tijdstip, waarop de drainwatermonsters verzameld worden. neemt men monsters na een warme, vochtige periode, wanneer de drains juist beginnen te loopen, dan zal het N-gehalte belangrijk hooger zijn dan geruimen tijd later, als de drains ondertusschen overvloedig water hebben afgegeven. Vergelijkbare cijfers krijgt men natuurlijk slechts, wanneer men gemiddelde gehalten bepaalt voor langere perioden.

Reeds WAY (96) heeft omstreeks het midden der vorige eeuw drainwatermonsters van meerdere perceelen op een paar Engelsche bedrijven op nitraat- en ammoniakstikstof onderzocht. De hoeveelheden ammoniakstikstof waren, zooals zijn onderzoekingen omtrent de adsorptie van ammoniak door den grond reeds deden verwachten, zeer gering, n.l. slechts 0,1—0,2 mg/l. Voor nitraat-stikstof vond hij op 8 perceelen resp. 27, 55, 47, 7, 13, 30, 42 en 14 mg/l. WAY meent, dat de hooge cijfers zelden of nooit in gewone landbouwbedrijven zullen optreden. De perceelen met de hooge cijfers werden door den eigenaar zwaar met N-houdende stoffen bemest. Op een ander bedrijf vond WAY de volgende cijfers: 18, 11, 2, 0,4, 2, 17, 16, 4, 4.

De monsters werden eind December verzameld, nadat de buizen langen tijd niet hadden geloopt.

Ook te *Rothamsted* heeft men het door den grond in de natuurlijke ligging afgegeven drainwater geanalyseerd en wel het drainwater afkomstig van de afzonderlijke veldjes van *Broadbalkfield*, waarop sedert 1843 steeds tarwe bij verschillende bemestingen wordt verbouwd (zie deel I, blz. 20). In 1849 werd in het midden van ieder veldje een reeks drainbuizen gelegd (onderlinge afstand 7,5 m; diepte 60—75 cm).

Vanaf 1852 tot heden (zie b.v. Reports 1937, blz. 132—133) zijn de veldjes steeds vrijwel ieder jaar op dezelfde wijze bemest geworden.

LAWES, GILBERT en WARINGTON hebben in 1882 een uitvoerig verslag gepubliceerd omtrent het onderzoek van het drainwater van *Broadbalkfield*.

De gegevens in tabel 11 zijn ontleend aan de tabellen op blz. 8 en 21 van de bedoelde publicatie (47).¹⁾

TABEL 11

Gemiddelden van 10 analyses verricht in het drainwater, afkomstig van Broadbalk field (Rothamsted) in milligrammen per liter

Mean of 10 analyses of Broadbalk drainage-water by VOELCKER and FRANKLAND, in parts per million

Veld- je (Plot)	Bemesting (Manures) (kg per ha)			N (NO ₃)	Cl
		N	Cl		
2	14 ton stalmest (14 tons farmyard-manure) . . .	—	—	11,5	19,4
3 en 4	Onbemest (Unmanured)	—	—	3,9	10,4
5	Minerale bemesting (Mixed mineral manure) ¹⁾ . .	—	—	4,7	10,7
6	Als 5 + 224 NH ₄ -zouten (As 5 + 224 amm. salts) ²⁾	48	67	9,0	23,5
7	Als 5 + 450 NH ₄ -zouten (As 5 + 450 amm. salts) .	96	133	15,9	33,9
8	Als 5 + 670 NH ₄ -zouten (As 5 + 670 amm. salts) .	144	200	20,2	44,8
9	Als 5 + 616 NaNO ₃ (As 5 + 616 NaNO ₃)	96	8	16,0	12,4
10	450 NH ₄ -zouten alleen (450 amm. salts alone) . .	96	133	17,6	37,1
11	450 NH ₄ -zouten + super (450 amm. salts + super-phosph.)	96	133	19,4	38,6
12	450 NH ₄ -zouten + Na ₂ SO ₄ (450 amm. salts + Na ₂ SO ₄)	96	133	17,7	36,3
13	450 NH ₄ -zouten + K ₂ SO ₄ (450 amm. salts + K ₂ SO ₄)	96	133	19,5	41,4
14	450 NH ₄ -zouten + MgSO ₄ (450 amm. salts + MgSO ₄)	96	133	19,8	42,7
15	450 NH ₄ -zouten + min. bem. (450 amm. salts + mixed minerals)	96	133	20,9	22,9
16	Onbemest (Unmanured) ³⁾	—	—	6,9	11,2

¹⁾ 440 super + 224 K₂SO₄ + 112 Na₂SO₄ + 112 MgSO₄ kg per ha.

²⁾ Ammonium-zouten = ½ sulfaat + ½ chloride. De N in 450 kg ammoniumzouten is ongeveer gelijk aan de hoeveelheid N in 616 kg NaNO₃.

³⁾ Van 1852—1864 ontving dit veldje 895 kg ammonium-zouten per ha.

De cijfers in deze tabel doen zien, dat er een duidelijk verband bestaat tusschen de gegeven bemesting en het gehalte van het drainwater zoowel aan Cl als aan N.

In tabel 12 zijn de gemiddelde N-cijfers voor een 3-jarige periode opgenomen, zoowel voor de afzonderlijke seizoenen als voor het geheele jaar (tabel 48 op blz. 41 van publicatie 47). Voor Cl zijn slechts de jaarcijfers vermeld. De jaarcijfers zijn lager dan die in tabel 11, hetgeen de schrijvers verklaren door den velen regen in de jaren 1878—1881 (zie deel I, tabel 8, blz. 52). Ook hier blijkt, evenals uit de cijfers in tabel 11, dat N- en Cl-gehalte duidelijk onder den invloed der bemesting staan.

¹⁾ Cijfers, welke niet wezenlijk van die in tabel 11 verschillen, vindt men vermeld in het werk van HALL over de onderzoekingen te Rothamsted (30a, blz. 237); het zijn gemiddelden voor 5 analyses door VOELCKER verricht in de jaren 1866—1868.

De lage Cl-cijfers voor de onbemeste veldjes 3 en 4 en 16, voor veldje 5 met uitsluitend „minerale bemesting” en voor veldje 9 bemest met NaNO_3 in plaats van met $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NH}_4\text{Cl}$ bewijzen, dat er geen vermenging van drainwater der aangrenzende veldjes plaats heeft. Vooral veldje 9, gelegen tusschen twee veldjes, welke chloriden ontvangen en waarvan 8 nog wel de grootste gift, is in dit opzicht demonstratief.

TABEL 12

Nitraat-N in het drainwater van Broadbalk field op verschillende tijden van het jaar
Gemiddelden voor 3 jaren (Nov. 1878—Oct. 1881)

Nitrogen as nitrates in drainagewaters from Broadbalk Field at different seasons of the year
Average of 3 years (November 1878—Oct. 1881)

Veldje ¹⁾ (Plot) ¹⁾	Lente ²⁾ (Spring) ²⁾	Zomer (Summer)	Herfst (Autumn)	Winter (Winter)	Geheele jaar (Whole year)	Cl
2	3,6	1,4	6,0	9,5	7,5	6,1
3 en 4	3,0	0,1	4,8	5,0	3,9	4,9
5	2,9	0,2	4,8	5,5	4,2	5,2
6	14,7	0,7	6,0	5,4	5,4	14,0
7	27,1	1,4	7,3	5,4	6,8	23,1
8	28,2	4,0	13,5	7,5	9,3	30,8
9	50,4	9,1	15,0	7,8	12,5	5,7
10	31,6	11,4	12,7	6,9	10,7	24,2
11	25,8	5,8	9,0	7,7	9,0	26,1
12	22,6	3,7	8,0	7,1	7,9	25,7
13	26,4	1,9	7,3	6,7	7,6	28,9
14	31,6	3,4	8,1	7,5	8,5	27,8
15	6,7	2,9	7,5	28,1	10,3	32,5
16	3,3	0,1	5,3	5,6	4,5	5,1
17 ³⁾	29,7	1,8	6,6	5,5	7,1	25,4
18 ³⁾	1,5	0,3	5,6	5,5	4,3	6,2
19 ⁴⁾	3,7	0,5	7,7	14,0	10,4	6,3
Gemiddeld (Mean)	18	3	8	8	8	

¹⁾ Zie tabel 11 — *See table 11.*

²⁾ Lente = eerste groei van het gewas tot einde Mei — *Spring = Spring-sowing till end of May.* Zomer = Juni tot den oogst — *Summer = June till harvest.* Herfst = Oogst tot eind October — *Autumn = Harvest till end of October (autumn-sowing).* Winter = Eind October tot begin Maart — *Winter = Autumn-sowing till spring-sowing.*

³⁾ Om het andere jaar als 5 en 10. *As 5 and 10; the manures of these two plots alternate each year.*

⁴⁾ 1900 kg raapkoek (*rape-cake*) p. ha = $\pm$ 96 kg N p. ha.

In tegenstelling met de bevindingen te Groningen, waar de verschillen in het N-gehalte van het drainwater der afzonderlijke seizoenen gering is

(zie tabel 8, blz. 209), merken we hier zeer groote verschillen op. Het voorjaars-drainwater, opgevangen na de voorjaarsbemesting in begin Maart tot einde Mei, vertoont vele hoogere N-cijfers, doch uitsluitend bij de veldjes, welke des voorjaars een N-bemesting ontvangen. Het NaNO_3 -veldje 9 heeft een bijzonder hoog cijfer, hetgeen misschien hiermede samenhangt, dat deze meststof onmiddellijk na het opbrengen uitgespoeld kan worden, terwijl bij de met ammoniumzouten bemeste veldjes het ammonium aanvankelijk ge-adsorbeerd wordt en daarna genitrificeerd moet worden, alvorens de gevormde nitraten in het regenwater oplossen.

Veldje 15 vertoont een laag cijfer; dit komt doordat op genoemd veldje de N-bemesting in het najaar gegeven wordt; hier is dientengevolge het winter-drainwater rijk aan stikstof.

De grootere verschillen in samenstelling tusschen het lente-drainwater en dat der overige seizoenen zijn vermoedelijk ten deele toe te schrijven aan de zware N-bemestingen, welke op Broadbalkfield worden toegediend. De Groninger lysimeters ontvingen van 1918—1933 gemiddeld per jaar slechts 30 kg N per ha (zie deel I, blz. 41, tabel 2), terwijl op Broadbalkfield jaarlijks meer dan de 3-voudige, op veldje 8 bijna de 5-voudige hoeveelheid werd gegeven. Maar waarschijnlijk is daarvoor nog een andere oorzaak.

LAWES, GILBERT en WARINGTON vestigen er n.l. de aandacht op, dat men bij kleigrond twee soorten drainwater moet onderscheiden, n.l. *a.* water, dat onmiddellijk van de oppervlakte door kanaaltjes naar beneden wordt gevoerd („direct channel water”, dat meestal troebel is) en *b.* water, dat zich afscheidt uit den met water verzadigden grond („true discharge from the soil”). Drainwater *a* bestaat ten deele uit water uit de opperste grondlaag, ten deele uit weinig veranderd regenwater; het regenwater zal bij heftigen regen, als er water op het land komt te staan, meer overheerschen. De concentratie van dit water zal geringer zijn dan die van water *b*, behalve ten aanzien van bestanddeelen, waarmede de grond kort van te voren bemest werd (47, blz. 15).

Uit hetgeen de schrijvers verder mededeelen krijgt men den indruk, dat in den leemgrond op Broadbalkfield de beteekenis van het „direct channel water” meer op den voorgrond treedt en vooral, dat het transport van dit water veel sneller plaats heeft dan in den zavelgrond der Groninger lysimeters. Zoo wijzen zij erop, dat de concentratie van het drainwater aan N en Cl in enkele uren tijds sterk afneemt als aanvankelijk de gehaltecijfers, tengevolge van een kort van tevoren uitgevoerde bemesting, hoog waren. Zij vermelden, dat in 8 uren tijds het N-cijfer van 25 tot 11, het Cl-cijfer van 83 tot 38 daalde en op blz. 37 deelen zij mede, dat, toen na de bemesting op 25 October met 450 kg ammoniumzouten op 27 October alle buizen liepen, het water van

veldje 15 om 6.30 a.m. 9 en om 1 p.m. 6,5 mg ammoniak-N per l bevatte, hetgeen zeer hooge waarden zijn. Nadat het was blijven regenen, waren de cijfers op 28 October om 6.30 a.m. 2,5 en op den 29sten d.a.v. om 10.30 a.m. nog slechts 1,5. Uit deze gegevens volgt wel, dat een deel der bemestingszouten na zeer korten tijd in het drainwater wordt teruggevonden.

Dat op Broadbalkfield het regenwater snel door den grond tot aan de drainbuizen, gelegen op 60—75 cm diepte, wegzakt, blijkt ook uit het feit, dat van November 1878 tot October 1881, jaren met hoogen regenval (zie deel I, tabel 8, blz. 52—53), de drainbuizen niet minder dan 49 maal met tusschenpoozen liepen (47, tabel 46—47, blz. 30—31). Dit wijst erop, dat het regenwater snel de buizen bereikt en dan in korten tijd uit den grond is afgevoerd; er treden dus korte perioden met krachtigen afvoer op. Bij de Groninger lysimeters is de toestand geheel anders; daar wordt het water meer geleidelijk afgevoerd, zonder veelvuldige onderbrekingen. In de jaren, dat de lysimeters bebouwd werden (1 September 1918—31 December 1933), kwamen 15 perioden voor, waarin de lysimeters 1 l of minder drainwater per maand afgaven en die dus beschouwd kunnen worden als even zooveel onderbrekingen der drainage. In totaal waren dit 72 van de 184 maanden. Hieronder zijn begrepen 8 perioden van 2 of meer maanden (tezamen 29 maanden), waarin de drainage geheel stop stond (men zie ook fig. 6).

Het verschil in de waterbeweging in beide grondsoorten moet men m.i. zóó verklaren, dat bij den zwaren leemgrond te Rothamsted de eenmaal gevormde wortel- en wormgangen veel langer openblijven dan in den zavelgrond der Groninger lysimeters, waar deze kanaaltjes sneller geheel of gedeeltelijk door fijne bodembestanddeelen worden opgevuld.¹⁾

Bovendien zullen vermoedelijk in den leemgrond bij uitdrogen zich scheuren vormen, die het water ruimeren doorgang verleen, terwijl scheurvorming in den lichten zavelgrond vrijwel uitgesloten is.

Het wil mij voorkomen, dat in het voorafgaande een afdoende verklaring is gegeven voor de sterke seizoenschommelingen op Broadbalkfield tegenover de geringe schommelingen bij de Groninger lysimeters. Verder zal wellicht de krachtiger nitraatproductie in deze lysimeters de seizoenverschillen verklaren.

Ten overvloede vestig ik er nog even de aandacht op, dat de zeer lage zomercijfers in tabel 12 te verklaren zijn door het N-verbruik door het tarwegewas. Het betrekkelijk hooge cijfer voor veldje 10 vindt vermoedelijk zijn

¹⁾ Zou de snellere afvoer van het drainwater in zwaardere gronden, tengevolge van stabielere watergangen en van de in deze gronden optredende krimp-scheuren, geen gunstige factor voor de vruchtbaarheid kunnen zijn, doordat de uitloosing o.a. van nitraten, daardoor beperkt wordt?

verklaring in de geringe opbrengst op dit veldje, dat uitsluitend een N-bemesting ontving. Het gewas onttrok hier, blijkens tabel 51 op blz. 50 (47) niet meer N aan den grond dan op de onbemeste veldjes 3—4 en 16 en slechts ongeveer een derde van de stikstof, welke de gewassen op de volledig bemeste veldjes opnamen.

In de reeds genoemde publicatie van GERLACH (28, blz. 712) vermeldt deze ook cijfers voor de samenstelling van drainwater uit 6 verschillende gronden (Posen) in Maart en April 1908 in het veld opgevangen. Deze cijfers varieeren van 8,5 tot 15,8 mg/l; zij zijn dus wel lager, doch over 't algemeen niet veel lager, dan die, welke GERLACH bij zijn lysimeterproeven met leemgronden vond.

N-gehalte van het drainwater uit enkele Nederlandsche gronden. De onderzoekingen van HUDIG en WELT (38), verricht op het *drainage-proefveld te Uithuizermeeden* (zie deel I, blz. 15) verschaffen ons cijfers betreffende het N-gehalte van drainwater uit een Nederlandschen zavelgrond, die, afgezien van verschil in ouderdom, te vergelijken is met den zavelgrond uit de Groninger lysimeters.

TABEL 13

N- en CaO-gehalte van het drainwater, afkomstig van het drainage-proefveld te Uithuizermeeden (mg/l)

Nitrogen and Cao-content of the drainage water from the drainage experimental field at Uithuizermeeden (mg/l)

Jaar (Year)	N als NO ₃ '	CaO
1901—1902	9,5	217
1902—1903	10,0	226
1903—1904	10,5	236
1904—1905	10,0	190
1905—1906	7,0	141
1906—1907	7,4	211
1907—1908	7,8	213
1908—1909	17,0	186
1909—1910	12,6	204

De gemiddelde jaarcijfers voor de jaren 1901—1910 (zie tabel 13) schommelen tusschen 7 en 17 mg nitraat-N per l (ibid., tab. 10, blz. 52). Opgemerkt moet worden, dat het hoogste cijfer in den winter 1908—1909 optrad, nadat

de 2-jarige klaver in Augustus 1908 gescheurd was geworden. In de beide klaverjaren waren de gemiddelde gehalten 7,4 en 7,8, hetgeen den indruk wekt, dat de klaver gescheurd moet worden, om de in de klaver opgehoopte stikstofverbindingen nitrificeerbaar te maken.

Ook in den winter 1909/10 was het N-gehalte nog hoog, n.l. 12,6, ja, in den daaropvolgenden winter was het gemiddelde cijfer zelfs nog iets hoger (ibid., blz. 118). Indien de hoogere cijfers in de beide laatste jaren inderdaad aan de in 1906 en 1907 verbouwde klaver moeten toegeschreven worden, dan moet de stikstofverrijking van den grond door klaveren toch wel aanzienlijk zijn! Het is te betreuren, dat de onderzoekingen op dit drainage-proefveld niet werden voortgezet; de cijfers na volgende klaverjaren hadden ons hieromtrent nadere gegevens kunnen verschaffen.

De variatie in de gehaltecijfers is over 't algemeen niet groot; het laagste cijfer, dat gevonden werd, was 3,1 op 16 September 1903 (veldje 2), het hoogste cijfer 30,3 op 22/23 Februari 1911 (veldje 6).¹⁾ Maar de geringe variatie blijkt vooral hieruit, dat van de 185 bepalingen in de jaren 1901—1911 in het drainwater van 6 veldjes verricht, dus in totaal 1110 bepalingen, slechts 21 een N-gehalte gaven van minder dan 5, en 40 een gehalte hoger dan 20, waarvan slechts 7 een gehalte hoger dan 25 mg/l. Schakelt men perceel 3 in de jaren 1901—1903 om de in de noot onderaan deze bladzijde genoemde reden uit, dan worden de beide laatstgenoemde aantallen bepalingen 35 en 4 in plaats van 40 en 7.

Het onderzoek te Uithuizermeeden verschaft ons slechts cijfers omtrent het N-gehalte in het winterhalfjaar, omdat buiten de maanden October t/m Maart slechts zeer zelden drainwater afvloeiده. Een bepaalde beweging der gehaltecijfers gedurende het winterhalfjaar kon niet vastgesteld worden: nu eens trad een stijging in het voorjaar op, dan weer een daling. De grenzen, waarbinnen de cijfers, zooals we boven zagen, zich bewegen, sluiten frappante veranderingen trouwens uit. Een stijging van 9,8 en 9,0 in Januari—Februari 1902, naar 14,1 en 11,2 in April d.a.v. noemen HUDIG en WELT op blz. 56 reeds een „aanzienlijke stijging”, waarvoor zij de N-bemesting half en einde Maart gegeven (totaal 54 kg N) of ook wel de hooge temperatuur verantwoordelijk stellen.

Ook deze onderzoekers komen tot de conclusie, dat de nitrificatie 's winters geregeld doorgaat (blz. 67).

Het verdient nog vermelding, dat men te Uithuizermeeden nimmer met

¹⁾ Ik laat hierbij het cijfer 42,4 voor veldje 3 in het 1ste drainwatermonster (22 November 1901) buiten beschouwing, omdat HUDIG en WELT mededeelen (blz. 52), dat de hooge cijfers op genoemd veldje in de jaren 1901—1903 waarschijnlijk te verklaren zijn uit het feit, dat in 1901 op veldje 3 de drainbuizen opgegraven werden, waardoor de grond losser werd.

zekerheid kon constateeren, dat na een periode, waarin de buizen niet liepen, water met een hooger gehalte afvloeide, hetgeen het geval zou moeten zijn, indien in perioden zonder drainwaterafgifte de nitrificatie onverminderd zou doorgaan (blz. 65). In het „naschrift” vinden de schrijvers echter nog gelegenheid mede te deelen, dat op 't allerlaatst, n.l. in Februari 1911, nog een uitzondering in dit opzicht optrad (blz. 119). Bij de 7 bepalingen in Januari stijgen de gemiddelde cijfers (veldje 1, 3, 4 en 6) van 12,1 tot 16,0. Nadat van 21 Januari tot 22 Februari geen water afvloeide, stijgt het gemiddelde in het water van 22 en 23 Februari plotseling tot 24,5 en daalt dan slechts geleidelijk vanaf dien datum tot 21 Maart tot op 18,3 mg/l.

HUDIG en WELT weten voor deze uitzondering geen verklaring te geven. Zou deze misschien niet hierin gelegen zijn, dat gedurende de periode 21 Januari—22 Februari wel geen drainwater afvloeide, maar de grond toch met water verzadigd was, terwijl in de andere perioden, waarin geen drainwater geproduceerd werd, het watergehalte van den grond meestal lager was dan voor een krachtige nitrificatie noodig is?

Dit laatste zal in de zomermaanden zeker het geval kunnen zijn, waarbij dan nog komt, dat de gewassen gedurende den zomer den N-voorraad geducht aanspreken.

In ieder geval bewijst de bovengenoemde stijging van het N-gehalte wel, dat ook in den winter krachtige nitrificatie kan plaats hebben.

In zeer natte perioden zag men de gehalten *nooit dalen*, soms zelfs *stijgen*. „De snelheid, waarmede het water door den grond vloeit, overtreft die der nitraatvorming in den Uithuizermeedenschen grond blijkbaar nooit”, voegen HUDIG en WELT hieraan op blz. 65 toe. In dit opzicht schijnt er dus wel eenig verschil te bestaan tusschen dezen grond en dien in de Groninger lysimeters, waarbij ik zou willen verwijzen naar hetgeen ik op blz. 205 e. v. mededeelde omtrent de verschillen in N-gehalte van het drainwater tusschen de lysimeters onderling.

Dat bij zeer ruimen waterafvoer het N-gehalte zelfs kan stijgen, wordt toegeschreven aan de enorme hoeveelheid lucht, welke met het drainwater door den grond wordt gezogen en die bij dezen grond, volgens HUDIG, wel 40 000 l per uur per ha kan bedragen (blz. 67).

Drainage-proefveld op de Proefboerderij te Nieuw-Beerta (Groningen). In de watermonsters, afkomstig van dit proefveld, waarop J. H. ENGELHARDT (24) waarnemingen omtrent de waterhuishouding in den grond verrichtte, werden vanaf December 1934 tot half Maart 1937, toen de waarnemingen werden stopgezet, aan het Proefstation te Groningen N-, CaO-, droog- en gloeirest-bepalingen uitgevoerd.

TABEL 14

N- en CaO-gehalte van het drainwater, opgevangen op het drainage-proefveld op de Proefboerderij te Nieuw-Beerta

N- and CaO-content of the drainagewaters from one of the plots of the experimental farm at Nieuw Beerta (sea-clay, surrounded with a dike in 1657)

	R mm	D mm	N			CaO
			To- taal Jodlb.	NO ₃ ' + NO ₂ '	NH ₄ '	
3 December 1934—29 December 1934	55,6	15,90	4,0	3,3	0,27	519
31 December 1934—26 Januari 1935 .	49,1	25,90	5,8	3,7	0,33	431
28 Januari 1935—23 Februari 1935 . .	78,9	34,30	7,2	6,8	0,17	355
25 Februari 1935—23 Maart 1935 . . .	17,0	7,35	7,0	5,4	0,05	377
25 Maart 1935—20 April 1935	56,4	14,85	8,4	5,4	0,19	387
22 April 1935—18 Mei 1935	40,4	2,90	4,2	4,0	0,05	457
20 Mei 1935—15 Juni 1935	54,1	7,70	4,2	4,0	0,05	446
17 Juni 1935—13 Juli 1935	27,8	8,80	2,9	2,3	0,14	393
13 Juli 1935—30 September 1935 . . .	249,3	—	—	—	—	—
30 September 1935—26 October 1935 .	44,8	12,45	0,8	0,2	0,14	530
28 October 1935—23 November 1935 .	43,5	17,80	1,0	0,9	0,05	474
3 December 1934—23 November 1935	716,9	148	5,0			428
25 November 1935—21 December 1935	52,0	31,00	2,5	2,1	0,19	376
23 December 1935—18 Januari 1936 .	63,6	49,10	3,4	3,3	0,08	315
20 Januari 1936—15 Februari 1936 . .	57,0	42,55	2,8	3,5	0,05	307
17 Februari 1936—14 Maart 1936 . . .	30,0	24,80	3,0	2,2	0	341
16 Maart 1936—11 April 1936	21,8	6,00	1,2	0,2	0,06	432
13 April 1936—9 Mei 1936	63,9	13,80	2,4	2,8	0,05	381
11 Mei 1936—6 Juni 1936	41,1	11,15	1,5	0,7	0,11	432
6 Juni 1936—25 October 1936	329,7	—	—	—	—	—
25 October 1936—22 November 1936 .	88,6	40,15	5,7	4,9	0,04	397
25 November 1935—22 November 1936	747,7	218,6	3,3			353

Tabel 14 geeft de cijfers voor twee proefjaren; de vier cijfers, welke tusschen 22 November 1936 en 14 Maart 1937 verkregen werden, liepen voor het totaal N-gehalte van 4,0 tot 4,8.

Deze cijfers voor het N-gehalte zijn, vergeleken met die van het drainage-proefveld te Uithuizermeeden, wel bijzonder laag. Dit treft te meer, omdat men hier te maken heeft met drainwater, afgegeven door Dollard-klei, welke de reputatie heeft van zeer vruchtbaar te zijn en waarin men dus een krachtige nitraatvorming zou verwachten. De vraag rijst dan ook, of bij dezen zwaren kleigrond, die aan scheuren onderhevig is, het „direct channel water” ¹⁾ niet

¹⁾ Zie blz. 220.

op den voorgrond treedt, zoodat het opgevangen drainwater, in meerdere mate dan dit bij onze lysimeters en op het drainage-proefveld te Uithuizermeeden het geval is, verdund wordt door onveranderd regenwater. Indien dit zoo is, dan geeft het N-gehalte van het drainwater een te ongunstig beeld van de nitraatproductie in dezen grond. Hier staat tegenover, dat de CaO-cijfers geenszins laag zijn, vergeleken bij die der Groninger lysimeters en van het proefveld te Uithuizermeeden; hetzelfde geldt voor de cijfers voor de droog- en de gloeirest van het drainwater. De gegevens omtrent regenval en drainage zijn tot heden niet verwerkt, zoodat niet beoordeeld kan worden, of de boven geopperde veronderstelling, dat het regenwater dezen grond snel passeert, gegrond is. Voorloopig verkeerden wij dus nog in het onzekere omtrent de oorzaak van het lage N-gehalte.

Ik vestig er tenslotte nog de aandacht op, dat de cijfers van December 1934 tot Juni 1935 duidelijk hooger zijn dan van September 1935 tot Juni 1936. In het najaar 1936 stijgen de cijfers weer. In 1934 werd wintertarwe, in 1935 suikerbieten, en in 1936 zomertarwe verbouwd. Ik acht het niet buitengesloten, dat de lage N-cijfers vanaf September 1935 veroorzaakt zijn door de in dat jaar verbouwde bieten, een gewas, dat zeer veel stikstof aan den bodem onttrekt.

TABEL 15

*Drainwater, afkomstig uit ouden zavelgrond te Eenrum
(bedrijf van Tj. L. WIERSUM)*

Drainagewater collected from an old loamsoil (sea deposit) in the province of Groningen

Monsters genomen:	N			CaO
	Totaal Jodlbauer	NO ₃ '	NH ₄ '	
Begin Maart 1935 I.	8,9	8,2	0,14	205
Enkele dagen later II.	7,7	7,7	0,22	317

Op het perceel, waarvan de in tabel 15 genoemde watermonsters afkomstig zijn, stonden in den zomer, voorafgaande aan de monsterneming, bieten. Aangezien dit een gewas is, dat zeer groote hoeveelheden N opneemt (gemiddeld ruim 200 kg per ha), is het niet buitengesloten, dat na een ander gewas de N-cijfers wat hooger zouden zijn geweest.

Tenslotte zij hier nog vermeld, dat drainwater op 2 Januari 1936 opgevangen uit het *zavelproefveld Pr. 1* in den tuin van het proefstation, waarvan

de grond afkomstig is uit de omgeving van het in tabel 15 genoemde perceel te Eenrum, 7,3 mg/l N bevatte. In 1935 lag het perceel in klaver, die in het najaar werd omgespit, hetgeen misschien het N-gehalte van het drainwater wat verhoogd zal hebben.

Op 4 en 23 November 1938 — het perceel droeg toen voor het tweede jaar lucerne — bevatte het drainwater resp. 5,6 en 5,1 mg/l N. Verwacht mag worden, dat in den komenden winter, als in het najaar de lucerne-stoppel zal zijn ondergespit, hogere cijfers zullen worden gevonden.

Voor al in vergelijking met de cijfers voor het te velde opgevangen drainwater, die ik in de voorafgaande bladzijden mededeelde, zijn de N-cijfers voor het drainwater der Groninger lysimeters hoog. En zoo drong zich steeds weer de vraag op: zou dan toch de op lysimeter-onderzoekingen uitgeoefende kritiek ten deele juist zijn en de omstandigheden, waaronder men experimenteert, o.a. tot versterkte nitrificatie aanleiding kunnen geven?

Van een los invullen van den grond, met als gevolg een aanvankelijk zeer krachtige nitrificatie, zooals deze bij de potproeven van DEHÉRAIN e. a. optrad, was hier geen sprake: de pakking van den grond was in den beginne juist zeer dicht en de doorlatendheid voor lucht en water slecht, zooals ik in deel I, blz. 37, reeds vermeldde en nog nader aan de hand van de samenstelling van het drainwater zal aantoonen. Het nitraatgehalte is bovendien aanvankelijk gering en stijgt eerst na een tweetal jaren, zooals wij zagen.

In een ander opzicht wijkt de grond in de lysimeters echter wel af van dien in de natuurlijke ligging: het grondwater ontbreekt en ook aan de onderzijde is de grond in aanraking met de atmosfeer, zoodat men een sterke aëratie mag verwachten (zie deel I, blz. 9).

Hier kan reeds aanstonds opgemerkt worden, dat dit ook bij de lysimeters te Rothamsted (onbebouwd) en bij die te Craibstone (bebouwd) het geval is, en dat deze lysimeters, zooals we zagen, toch drainwater afgeven met een belangrijk lager stikstofgehalte. Bovendien staat er sedert October 1936 in 4 onzer lysimeters grondwater en weliswaar is hier sedertdien het N-gehalte iets gedaald, maar niettemin blijven de gehalte-cijfers ook bij deze lysimeters nog hoog.

Nu blijft er tenslotte nog één omstandigheid over, die voor de hooge stikstofcijfers aansprakelijk gesteld zou kunnen worden en wel deze, dat de lysimeters van onder tot boven gevuld werden met grond uit de *bouwvoor*, zoodat men mag aannemen, dat de ondergrond in de lysimeters méér nitrificeerbare N-verbindingen bevatte dan de ondergrond in het veld. Vooral bij vrijen waterafvoer zou er dus, in tegenstelling met de lysimeters te Rothamsted en te Craibstone, waar men met den natuurlijken ondergrond te doen heeft,

ook aan de onderzijde nitraatproductie van beteekenis kunnen plaats hebben. Op den duur echter, zoo zou men moeten aannemen, zou de nitrificeerbare organische stof in den ondergrond afnemen en de toestand in dit opzicht gelijk worden aan dien in het veld.

Er bleef dus altijd nog eenige onzekerheid bestaan en eenig wantrouwen ten aanzien van de hooge N-cijfers was gerechtvaardigd.

Zoo stonden de zaken toen ik einde 1938 besloot een paar monsters te nemen van drainwater, dat uit perceelen, gelegen in den Nieuwen Ruigezandster polder afvloeide, o.a. uit het perceel, waarvan de grond onzer lysimeters afkomstig was. De uitkomst van het onderzoek dezer watermonsters was verrassend! Ik laat in tabel 16 de volledige analyses volgen en bovendien de analyse van het drainwatermonster den 23sten November 1938 uit het zavelproefveld Pr. 1 in den tuin van het proefstation opgevangen; bij de bespreking bepaal ik mij voorloopig echter in hoofdzaak tot het N-gehalte.

Het N-gehalte van het water, afkomstig van een perceel op plaats 7, bedroeg niet minder dan 52 mg/l, een bedrag zooals in denzelfden tijd bij de lysimeters gevonden werd. Dit gehalte is n.l. bijna gelijk aan dat van de lysimeters 5—8 met vrijen waterafloop in de maanden October en November 1938 (anal. 63, tabel 1) en overtreft dat der lysimeters 1—4 met grondwater in dezelfde maanden. Bij de lysimeters 5—8 werd n.l. gemiddeld 55, bij de lysimeters 1—4 gemiddeld 38 mg/l gevonden.

Derhalve: de hooge stikstofcijfers, welke in het drainwater der lysimeters gevonden worden, treden ook op bij het drainwater, dat in den Nieuwen Ruigezandster polder, de plaats van herkomst van den grond in de lysimeters, opgevangen werd.

Het drainwater, afkomstig van het perceel op plaats 5, waar indertijd de grond voor de lysimeters werd weggehaald, bevat wel veel minder N, n.l. slechts 12 mg/l, maar hier valt ons aanstonds op, dat het Cl- en het Na₂O-gehalte en ook het SO₃-gehalte buitengewoon hoog zijn ¹⁾; het opgevangen drainwater bevat bijna 1 g NaCl, per liter! Waar wijst dit op? Dat we op dit perceel geen zuiver drainwater opvingen, doch drainwater vermengd met zouthoudend grondwater, vermoedelijk kwelwater van buitendijks. We mogen dus aannemen, dat het N-gehalte van het *onvermengde* drainwater hooger zou zijn geweest. ²⁾

¹⁾ Zie ook de desbetreffende cijfers in tabel 1.

²⁾ Volgens mondelinge mededeeling van Dr. F. C. GERRETSEN zijn de keukenzoutconcentraties waar het hier om gaat, voor de nitrificatie van geen beteekenis, zoodat hier niet aan een remming der nitraatvorming door een te hoog zoutgehalte van den grond gedacht behoeft te worden. Bovendien vindt de nitrificatie toch ook hoofdzakelijk in de bovenste grondlagen plaats.

TABEL 16

Analyses van een tweetal monsters drainwater, 27 Januari 1939 genomen in den Nieuwen Ruigezandster polder en van een monster, 23 November 1938 genomen op het zavelproefveld Pr. 1

Analyses of drainage waters, collected in the Nieuwe Ruigezandster polder (diked in 1877) and from the experimental field Pr 1 in the garden of the Experimental Station at Groningen

Mg per liter	Nw. Ruigezandster polder		Zavel-Proefveld Pr. 1
	Plaats N°. 7	Plaats N°. 5	
Oxydeerbaarheid (Oxidizability) ¹⁾	13	16	25
Droogrest (Drying residue)	938	2072	820
Gloeirest (Glowing residue)	814	1880	672
N (NO ₃ ' + NO ₂ ')	52	12	5
SO ₃	80	455	130
Cl	52	507	17
SiO ₂	28	22	27
CO ₂ (bicarb.)	243	265	342
K ₂ O	3	23	17
Na ₂ O	41	424	34
CaO	308	378	284
MgO	27	93	30
Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃	0	1	4
Mn ₂ O ₄	0	0	2
ZnO	0,5	0,3	0

¹⁾ mg KMnO₄ per liter.

Het verschil in samenstelling tusschen de beide drainwatermonsters vindt zijn verklaring in het verschil in hoogteligging tusschen de beide perceelen. Op plaats 7 moet het drainagevlak boven het zoutrijke grondwater hebben gelegen, niet slechts bij het nemen van het watermonster, doch als regel. Het Cl-gehalte is n.l. aanzienlijk lager dan dat van het drainwater der lysimeters in de eerste jaren (zie tabel 1), niettegenstaande de grond in de lysimeters aan de *bouwvoor* van het perceel op plaats 5 ontnomen werd. Op de cijfers voor het Cl-gehalte kom ik nog nader terug.

De vraag rijst thans: is het hoge nitraatgehalte van het drainwater een verschijnsel, dat toevalligerwijze in den meergenoemden polder optreedt, of behoort deze grond tot een type, waarbij krachtige nitrificatie optreedt, terwijl er andere typen onder de kleihoudende gronden zijn, waarbij de nitraatproductie veel geringer is?

Onmiddellijk dringt zich hier de gedachte op: zou het niet zóó kunnen zijn, dat bij de zeekleigronden, welke een zekeren ouderdom bereikt hebben, de

nitrificatie zich op een laag niveau heeft ingesteld, terwijl bij de jonge, nog kalkrijke kleigronden, de nitrificatie aanvankelijk veel krachtiger verloopt en het drainwater dientengevolge veel rijker aan stikstof is? Hiervoor pleit, dat de grond in de jongere polders een geringere stikstofbehoefte heeft en dat bij bekalking van oude gronden de ontwikkeling van het gewas vaak duidelijk op een betere stikstofvoorziening wijst.

Is de bovenstaande veronderstelling juist, dan is het ook zeer begrijpelijk, dat men doorgaans lage cijfers vindt, omdat de oude gronden bij de verrichte onderzoekingen uit den aard der zaak sterk overheerschen. De gronden, waarvoor ik in het voorafgaande cijfers vermeldde, zijn alle oude tot zeer oude gronden (de grond, waarop het drainage-proefveld te Nieuw-Beerta ligt, werd in 1657 bedijkt). De grond uit den Nieuwen Ruigezandster polder is de eenige beslist jonge grond, waarvan het drainwater tot nu toe onderzocht werd; genoemde polder werd in 1877 bedijkt, de grond is dus nog slechts 60 jaar in cultuur.

Of men hier uitsluitend te maken zal hebben met de gevolgen van verschil in kalkgehalte, dat het dus zou neerkomen op de tegenstelling kalkarme en kalkrijke gronden, is nog de vraag. De grond van het zavelproefveld Pr. 1, dat N-arm drainwater afgeeft, is weliswaar oud ($\pm$ 500—800 n. Chr.), maar bevat nog een ruime hoeveelheid koolzure kalk, te weten: bijna 3 % bepaald volgens SCHEIBLER met azijnzuur, en bijna 4 % bepaald volgens dezelfde methode doch met zoutzuur (53, blz. 601).

Het ligt in mijn bedoeling naar de juistheid der hier geopperde veronderstelling zoo spoedig mogelijk een onderzoek in te stellen.¹⁾ De provincie Groningen biedt daarvoor een prachtige gelegenheid. In de eerste plaats denk ik hier aan de Dollardpolders. Vanaf den Carel Coenraadpolder, welke in 1924 bedijkt werd, heeft men hier een reeks oudere polders, welke met tusschenpoozen van ongeveer 50 jaren bedijkt werden. Verder vindt men in deze provincie ook een reeks polders met zavelgrond, de Wadpolders, van uiteenlopenden ouderdom.

Ook zou het onderzoek uitgestrekt moeten worden tot de polders op de Zuidhollandsche en Zeeuwsche eilanden, waar de grond eigenschappen vertoont, welke afwijken van die der kleigronden langs de Friesch-Groningsche kust. Ik denk hier b.v. aan het verschil in ontkalkingssnelheid, waarop ik reeds meermalen de aandacht vestigde (58, blz. 486).

Aangezien men bij de laatstgenoemde gronden veelal te maken zal hebben met overgangen tusschen zee- en rivierklei, zal het aanbeveling verdienen in het onderzoek ook eigenlijke rivierkleigronden te betrekken.

¹⁾ Met dit onderzoek is ondertusschen reeds een aanvang gemaakt.

De vermelde analyses van de beide drainwatermonsters uit den Nieuwen Ruigezandster polder houden een ernstige waarschuwing in voor hem, die zich gaat bezighouden met het onderzoek van uit den akker opgevangen drainwater. Men dient er op bedacht te zijn, dat de stijging van het grondwater tot aan de drainbuizen, zoodat deze gaan loopen, ook veroorzaakt kan worden door het toevloeien van water uit de omgeving; in ieder geval is het mogelijk, dat zouten uit zoutrijk grondwater capillair worden opgevoerd tot in den grond boven de drainbuizen en met het drainwater afvloeien. In kort bij zee gelegen polders zal men gewaarschuwd worden door het chloorgehalte; men mag dus nimmer verzuimen ook dit te bepalen. Het kan echter ook gebeuren, dat er geen zeewater, maar zout-arm water ondergronds toevloeit en tot boven de drains stijgt; hier zal men niet gewaarschuwd worden door een abnormaal hoog zoutgehalte.

Het spreekt vanzelf, dat men in 't algemeen voorzichtig moet zijn met het trekken van conclusies uit de analyses van een enkel, op een bepaald oogenblik opgevangen monster drainwater. Ik denk hier in 't bijzonder aan sterk scheurende, zware kleigronden. De scheuren zullen vooral optreden in de bovenste lagen, waar de nitrificatie voornamelijk plaats vindt. Vangt men bij een dergelijken grond in het najaar water op, zoodra de buizen gaan loopen, dan is de kans groot, dat men een monster krijgt van de bovenste laag grondwater, die gevormd werd door het regenwater, dat snel door de scheuren omlaag is gestroomd, zonder in de gelegenheid te zijn geweest uit den grond veel van de daarin aanwezige stikstof en andere bestanddeelen op te lossen.

g. In hoeverre is het N-gehalte van het drainwater een maatstaf voor de productiviteit van den grond, althans voor de stikstofvoorziening der gewassen?

Het mag wel als vaststaand aangenomen worden, dat de nitraat-productie in den grond van overwegend belang is voor de productiviteit van den grond. Ik behoef slechts te wijzen op de resultaten, die men op de meeste gronden door ruime stikstofbemesting kan bereiken. Ook zou ik willen herinneren aan de ervaring, welke P. G. MELJERS op zijn vruchtwisselingsproefvelden opdeed, nl. deze, dat de dalingen in opbrengst bij verschillende vrucht-opvolgingen voorkomen kunnen worden door zwaardere stikstofbemesting.

Het gehalte van het drainwater aan nitraat-stikstof is tot op zekere hoogte een afspiegeling van de nitraatproductie van den grond. Ik zeg: tot op zekere hoogte, omdat, zooals bij de bespreking der seizoenschommelingen in het N-gehalte werd uiteengezet, de veranderingen in de nitraatvorming verzwakt en verschoven bij het nitraatgehalte van het drainwater zullen worden teruggevonden. Verder wees ik er bij de bespreking van de N-cijfers voor Broadbalkfield (blz. 217) en voor het drainage-proefveld op de Proefboerderij te Nieuw-

Beerta (blz. 224) op, dat bij zware gronden, waarbij scheurvorming optreedt, het nitraatgehalte van het drainwater wel eens een onjuist beeld kan geven van de intensiteit der nitraat-productie van den grond. Maar in vele gevallen zal toch het nitraatgehalte wel een beeld geven van de nitraatproductie in den grond en van de veranderingen, welke deze in den loop van den tijd ondergaat. En dan rijst de vraag, welke beteekenis aan de verschillen in nitraatgehalte van het drainwater uit verschillende gronden is toe te kennen voor de stikstofvoorziening van de op deze gronden verbouwde gewassen.

Deze vraag is niet te beantwoorden, omdat onderzoekingen omtrent de stikstofbehoefte van bepaalde gronden, waarbij tevens aandacht werd geschonken aan het stikstofgehalte van het drainwater, dat uit de proefperceelen afvloeide, tot dusverre, voor zoover mij bekend is, niet werden verricht.

Ook de beteekenis voor de ontwikkeling der gewassen van de schommelingen, welke bij een en denzelfden grond in den loop des tijds in het N-gehalte van het drainwater, dus in de nitraatproductie optreden, is om dezelfde reden onbekend. Invloed op den plantengroei is zeker te verwachten en daar de nitraatproductie ten deele afhankelijk zal zijn van de weersomstandigheden (temperatuur, regenval en regenverdeling), is het denkbaar, dat de ontwikkeling van een bepaald gewas op deze wijze den invloed ondergaat van de weersomstandigheden in het voorafgaande jaar, ja, misschien nog wel in vroegere perioden.

Het is duidelijk, dat onder dergelijke gecompliceerde verhoudingen experimenteel onderzoek wel heel moeilijk is. *Toch meen ik, dat proefvelden, waarop gedurende een lange reeks van jaren de invloed van verschillende stikstof-giften op de opbrengst der gewassen wordt nagegaan, terwijl het N-gehalte van het drainwater geregeld onderzocht wordt en meteorologische waarnemingen, waaronder begrepen de waarnemingen van grondtemperaturen, verricht worden en waarop tevens periodiek vochtbepalingen in den grond plaats vinden, ons inzicht in de stikstofvoorziening der cultuurgewassen zeer zullen kunnen verruimen.*

Vermeerdering van inzicht in hetgeen er in den bouwgrond onder invloed van de steeds wisselende omstandigheden, waaronder de grond bebouwd wordt, kan veranderen, is voor den landbouwer voor het nemen van die maatregelen, welke het beste succes beloven, van primair belang. Hierin moet bij het landbouwkundig onderzoek het zwaartepunt liggen.

Men denke hier niet aan proefvelden, die tien of twintig jaren worden aangehouden, doch aan proefvelden, welke tot in lengte van dagen met dezelfde zorg en met dezelfde belangstelling worden voortgezet. Het geldt hier vraagstukken, welke hun beteekenis nimmer zullen verliezen.

In enkele tientallen jaren heeft men niet alle combinaties van meteorologische omstandigheden gehad, welke kunnen optreden, daarvoor is een veel

langere reeks van jaren noodig. Men denke slechts aan de geringe frequentie in ons land van uitgesproken warme, droge zomers en van zeer strenge winters! Ook houde men in 't oog, dat sommige gewassen, ik noem hier klaver, slechts na meerdere jaren op hetzelfde veld terugkomen.

De landbouwkundige onderzoekers, die na ons komen, zullen ons dankbaar zijn, indien we op een paar proefboerderijen, waarvan het voortbestaan verzekerd is, een dergelijk proefveld aanleggen. Dat de keuze van het veld, de aanleg en het proefplan ernstig overwogen dienen te worden, spreekt wel vanzelf.

Een andere vraag is: in welke verhouding staat de gebruikelijke stikstofbemesting tot de hoeveelheid nitraatstikstof, welke door den grond geproduceerd wordt? Bij een grond, als die op het drainageproefveld te Uithuizermeeden, waar in een 10-jarige periode gemiddeld 16 kg N per ha uitspoelde, zal een bemesting van b.v. 30 kg N per ha vermoedelijk een andere rol spelen dan bij den grond der Groninger lysimeters, waarbij in de bebouwde periode 1918—1933 gemiddeld 62 kg N jaarlijks met het drainwater uit den grond verdween. Hier vraagt men zich af, of het toedienen van stikstof op een grond, die zoo rijkelijk stikstof produceert, wel zin heeft. Deze vraag stellen is niet haar ontkennend beantwoorden; de werking van toegediende kunstmeststoffen is vaak minder voor de hand liggend dan men wel denkt en berekeningen falen hier meermalen.

In verband met deze vraag verwijs ik naar fig. 8, die beter dan cijfers doet beseffen, hoe gering de toevoer aan stikstof in den vorm van bemesting en regen is, in verhouding tot de hoeveelheid, welke door gewas en drainwater uit den grond wordt weggevoerd.

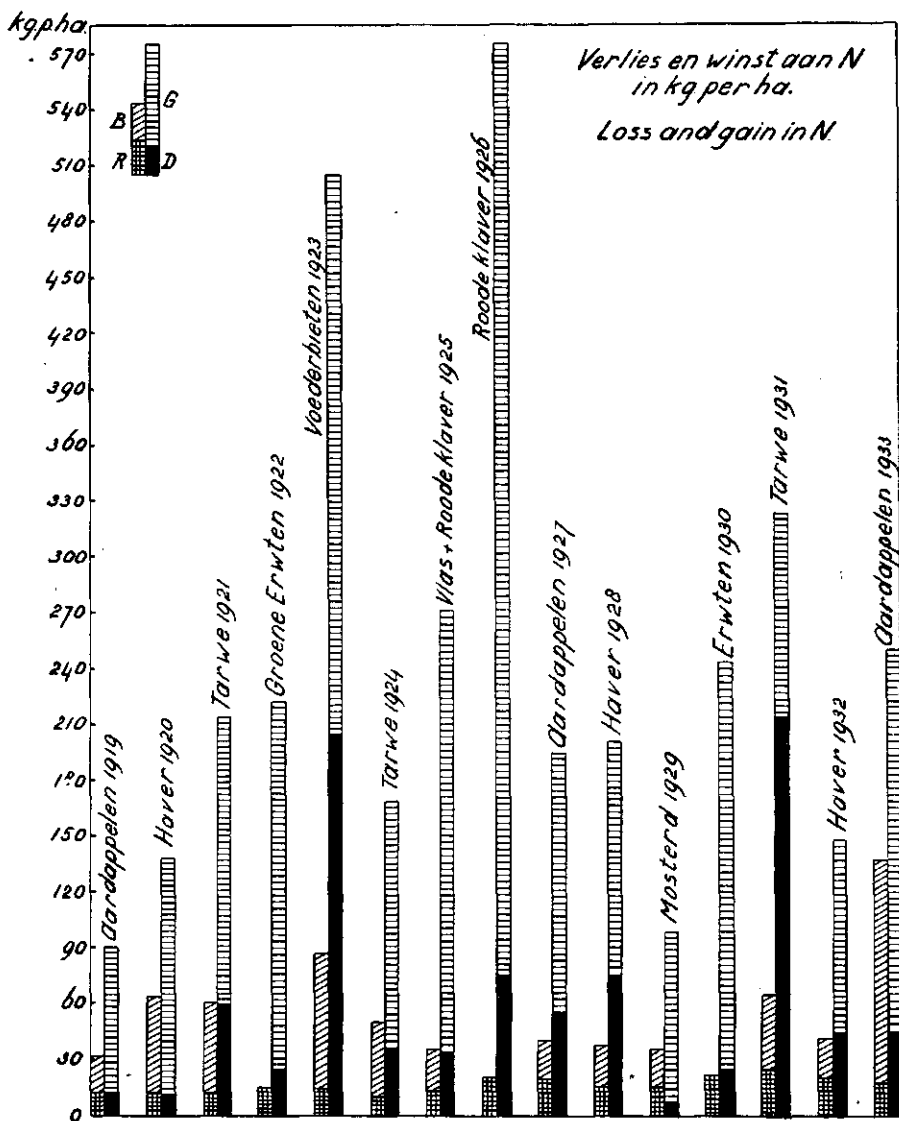
Op de stikstofhuishouding in den grond kom ik in het laatste hoofdstuk nog terug.

§ 2. HET SULFAATGEHALTE (SO_3) VAN HET DRAINWATER

Tusschen de stikstof en de zwavel in den grond bestaat dit verschil, dat het laatstgenoemde element er van huis uit een bestanddeel van heeft gevormd, terwijl het eerstgenoemde element vanuit de lucht in den grond gekomen is. De zwavel was oorspronkelijk slechts als anorganische verbindingen aanwezig; onder den invloed van het leven is een deel dezer zwavel in organische zwavelverbindingen omgezet. Omgekeerd worden deze organische zwavelverbindingen weer vroeger of later gemineraliseerd, waarbij als regel weer sulfaten worden teruggevormd. De zwavel maakt dus een kringloop.

Ook de stikstof maakt een kringloop, maar deze vindt zijn oorsprong in de stikstof uit de lucht en steeds nieuwe hoeveelheden luchtstikstof nemen aan dezen kringloop deel.

Het groote verschil tusschen beide bestanddeelen is dus, dat de stikstofvoorraad ook buiten den mensch om steeds wordt aangevuld, terwijl bij



Figuur 8

B + R = Winst aan N in bemesting (B) en regenwater (R)
Gain in nitrogen in manuring (B) and rainwater (R)
G + D = Verlies aan N in gewas (G) en drainwater (D)
Loss in nitrogen in crops (G) and drainwater (D)

de zwavel geen aanvulling langs den natuurlijke weg plaats vindt, afgezien van de geringe hoeveelheden, welke met het regenwater worden aangevoerd.

Welk deel der zwavel als organische verbindingen aanwezig is, zal van de grondsoort afhangen. Maar wel mag verondersteld worden dat b.v. bij de kleihoudende Nederlandsche gronden de verhouding tusschen organische en anorganische zwavel vrij constant zal zijn, gezien het bij deze gronden constant blijven van het gehalte aan organische stof, waaruit volgt, dat humificatie en mineralisatie in evenwicht zijn.

Aangezien beide elementen onder invloed van het leven een overeenkomstigen kringloop maken, waarbij zij beurtelings naast elkaar in onoplosbare organische en oplosbare anorganische verbindingen (nitraten en sulfaten) verschijnen, is ook wel overeenkomst in de uitspoeling te verwachten.

Inderdaad merkt men bij het sulfaatgehalte van het drainwater hetzelfde merkwaardige verloop der cijfers op als bij de stikstof (zie tabel 1). Aanvankelijk, gedurende de beide eerste jaren na het invullen van den grond, zijn de gehaltecijfers laag. Gelijktijdig met het sprongsgewijze omhoog gaan van het N-gehalte van nog geen 10 mg tot meer dan 60 mg/l in het drainwater van Januari 1921, stijgt het SO_3 -gehalte van nog geen 100 tot bijna 900 mg/l. En na 1 September 1923, als een scherpe daling van het N-gehalte intreedt, daalt het SO_3 -gehalte eveneens belangrijk. Evenals bij de stikstof (zie blz. 192) treden deze stijging en daling gelijkelijk bij alle lysimeters op.

Ook later ziet men nog een paar maal hogere N-cijfers met hogere SO_3 -cijfers gepaard gaan. De betreffende lijnen onderaan in fig. 5 geven een en ander duidelijk weer.

Hoewel de parallelliteit niet volstrekt is, zoo is de bovengenoemde overeenstemming tusschen de veranderingen in het N- en SO_3 -gehalte toch van dien aard, dat aan een gemeenschappelijke oorzaak voor de plotselinge stijging omstreeks 1 Januari 1921 en de ongeveer twee en een half jaar later volgende sterke daling bij beide bestanddeelen gedacht moet worden. Het sulfaat in den grond in de periode van sterke nitrificatie is voor het overgrootste deel een product van bacterieele omzetting van organische stoffen, evenals het nitraat. De gemeenschappelijke stijging en daling wijst er m.i. op, *dat nitrificatie en sulfificatie twee bacterieele processen zijn, welke nauw met elkander verbonden zijn; het zijn twee omzettingen, welke in het mineralisatieproces parallel verlopen.*

Dezelfde verklaring, welke ik voor de periode van krachtige nitrificatie gaf, zou ik hier dus willen geven voor de daarmee samenvallende periode van krachtige sulfificatie.

Den sterken val van het N-gehalte in het drainwater van 1 December 1923—1 Maart 1924 (anal. 29) vindt men bij het SO_3 -gehalte terug. Voor de mogelijke verklaring zou ik dus naar blz. 201 willen verwijzen. De in 1923 verbouwde

voederbieten kunnen ook hier, evenals ten aanzien van het N-gehalte, een rol gespeeld hebben, daar dit gewas 103 kg SO_3 per ha aan den grond onttrok.

De plotselinge verhooging van het N-gehalte in drainwater 47, die ik op blz. 204 besprak, vindt men bij het SO_3 -gehalte *niet* terug; dit is misschien een aanwijzing, dat de *eruten*, in 1930 verbouwd, wél het N-gehalte, doch niet het SO_3 -gehalte van den grond sterk verhoogden.

De op dezelfde en op de voorafgaande bladzijde genoemde sprongen in het N-gehalte II en III gaan echter wel gepaard met overeenkomstige veranderingen in het SO_3 -gehalte; de daar gegeven verklaringen voor de stikstof gelden dus waarschijnlijk ook voor het sulfaat.

Dat de N- en de SO_3 -cijfers niet steeds een gelijk verloop hebben, blijkt ook uit de analyses 44 en 45, waar de stijging bij SO_3 sterker is dan bij N. Daarentegen gaat bij de analyses 52 en 53 een sterke stijging van het N-gehalte gepaard met een daling van het SO_3 -gehalte.

Evenmin als bij het N-gehalte is bij het SO_3 -gehalte de overgang van den bebouwd in den onbebouwd toestand merkbaar.

Vanaf September 1935 zijn de schommelingen in het SO_3 -cijfer gering.

Bleven de N-cijfers in de latere jaren hoger dan voor de periode van krachtige nitrificatie, bij de SO_3 -cijfers ziet men juist het omgekeerde: zij waren althans tot Januari 1920 beslist hoger dan sedert September 1936. Waarschijnlijk houdt dit laatste in de eerste plaats hiermede verband, dat de grond in de lysimeters aanvankelijk abnormaal rijk was aan sulfaten, afkomstig uit het grondwater van het laag gelegen perceel, waarvan de grond afkomstig was (zie blz. 228). Ik kom hier nog nader op terug.

In hoeverre de daling van het SO_3 -gehalte van het drainwater na September 1934 een gevolg is van het onbebouwd blijven van den grond, is niet te zeggen. Wel zal dit het SO_3 -verlies bevorderen, 1e. omdat de hoeveelheid drainwater bij onbebouwd grond grooter is, en 2e. omdat een kleiner deel van de S door vastlegging in niet-oplosbare organische verbindingen voor uitloosing wordt behoed.

Gegevens om den invloed van het al of niet bebouwd zijn van den grond te kunnen beoordeelen, ontbreken. Het is jammer, dat men te Rothamsted naast het nitraatgehalte ook niet geregeld het sulfaatgehalte van het drainwater uit de lysimeters onderzocht heeft; men zou dan hebben kunnen zien, hoe het sulfaatgehalte zich gedurende een lange reeks van jaren bij onbebouwd grond gedroeg. Maar ook hier weer zouden de cijfers in de eerste jaren na den overgang van den bebouwd in den onbebouwd toestand, van het meeste belang zijn geweest.

Indien er met de bemesting geen sulfaten worden toegevoerd, zoo moet het sulfaatgehalte van het drainwater onherroepelijk dalen, in tegenstelling met het stikstofgehalte, omdat vastlegging van atmosferische stikstof ook in onbebouwden grond mogelijk is. Tenslotte moet de hoeveelheid SO_3 , welke, over een niet te korte periode berekend, uitspoelt, gelijk worden aan de hoeveelheid, welke in denzelfden tijd met het regenwater in den grond komt. Bij de Groninger lysimeters is die toestand nog niet bereikt. In de laatste jaren schommelde het SO_3 -gehalte van het regenwater tusschen 10 en 25 mg/l, hetgeen overeen zou komen met 20—50 mg in het drainwater, daar in den onbebouwden grond de drainage ongeveer 50 % van den regenval bedraagt. Het drainwater der laatste jaren, waarin geen bemesting werd gegeven, bevatte echter nog 60—90 mg SO_3 per l.

Zonder twijfel valt er een daling van het SO_3 -gehalte waar te nemen. Dit is, behalve uit tabel 1, te zien uit tabel 17, waarin de gemiddelde jaarcijfers voor SO_3 (en Cl) zijn opgenomen.

De cijfers in deze tabel zijn berekend door het aantal grammen SO_3 , dat jaarlijks uit de gezamenlijke lysimeters uitspoelde, te deelen door het aantal liters drainwater door de 8 lysimeters tezamen afgegeven. Opgemerkt moet worden, dat er op een paar jaren na met de bemesting SO_3 in den grond gebracht werd (zie bemestingstabel deel I, blz. 41).¹⁾ Zoo ontvingen in 1921 alle lysimeters de stikstof als $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ en vanaf 1923 tot en met 1933 ontvingen alleen de bakken 1 en 5 genoemde meststof, hetgeen voor de 8 bakken tezamen neerkomt op een jaarlijksche toevoeging van een vierde der hoeveelheid SO_3 , welke met het ammoniumsulfaat in de lysimeters 1 en 5 werd gebracht. Bovendien ontvingen van 1927 tot en met 1931 alle lysimeters K_2SO_4 . De in totaal op de gezamenlijke lysimeters gebrachte hoeveelheden SO_3 zijn in kg/ha vermeld in de derde kolom van tabel 17.

Dat deze hoeveelheid SO_3 van invloed moet zijn geweest op het SO_3 -gehalte van het drainwater blijkt hieruit, dat, verondersteld dat dit SO_3 ook in de jaren 1920—1933 geheel werd uitgespoeld, het gehalte van het drainwater dientengevolge gemiddeld met 16 mg/l verhoogd zou zijn geworden. Beschouwt men uitsluitend de 5 jaren, waarin alle bakken K_2SO_4 ontvingen, dan zou de verhooging in die jaren gemiddeld 42 mg/l hebben bedragen.

Ik vestig er nog de aandacht op, dat, afgezien van de reeds besproken sterke stijging van het SO_3 -gehalte op 1 Januari 1921 en de omstreeks 1 Januari 1924 optredende sterke daling, het cijfer verder ook nog aan schommelingen onderhevig is. Ik wijs hier b.v. op de hoge cijfers in 1928—

¹⁾ Zie ook: tabel 45 op blz. 306.

TABEL 17

Gemiddelde jaarcijfers voor het SO₃- en Cl-gehalte van het drainwater der Groninger lysimeters (mg/l)

Average SO₃- and Cl-content (mg/l) of the drainage waters from the 8 Groninger lysimeters in the succeeding years

Periode September—September	Drai- nage mm	SO ₃ ¹⁾ i. d. bemes- ting kg/ha	SO ₃	Cl	
<i>Bebouwd (Cropped)</i>					
1918—1919	169	—	175	147	Alle lys. (NH ₄) ₂ SO ₄ .
1919—1920	248	—	116	110	
1920—1921	86	135,8	883	54	
1921—1922	30	—	977	59	
1922—1923	272	52,0	988	50	
1923—1924	254	28,0	417	8	Alle lys. K ₂ SO ₄ . Idem. Idem. Idem. Idem.
1924—1925	95	16,0	365	14	
1925—1926	221	—	260	15	
1926—1927	237	141,8	134	5	
1927—1928	290	78,1	118	7	
1928—1929	30	78,1	263	10	
1929—1930	79	101,1	509	27	
1930—1931	440	112,9	199	22	
1931—1932	269	14,3	129	12	
1932—1933	209	85,8	144	11	
<i>Onbebouwd (Fallow)</i>					
1933—1934	80	—	189	7	
1934—1935	434	—	153	13	
1935—1936	461	—	102	14	
Sept. 1936—1 Jan. 1937 . .	239	—	102	14	
1937	515	—	73	15	
1938	365	—	89	12	

¹⁾ SO₃ given with the manure.

1930, vooral in 1929—1930. Dat men hier te maken heeft met den invloed van den regenval, blijkt wel uit het cijfer voor het Cl-gehalte. Biologische processen zijn bij dit bestanddeel buiten spel en toch is ook het Cl-cijfer in de genoemde jaren aanmerkelijk gestegen. Een en ander is dus wel het gevolg van den geringen regenval in 1928—1929 (539 mm), die een drainage van slechts 30 mm, in het volgende jaar van slechts 79 mm veroorzaakte.

Duidelijker nog treedt de daling van het SO₃-gehalte aan den dag in tabel 18, waarin de gemiddelde gehaltecijfers voor meerjarige perioden berekend zijn. Ik geef de cijfers voor de afzonderlijke lysimeters en stel de gemiddelde cijfers voor de lysimeters 1 en 5, die van 1923 tot en met 1933 met (NH₄)₂SO₄ bemest werden, tegenover de gemiddelde cijfers voor de

overige lysimeters, welke de stikstof in anderen vorm ontvingen. De per ha in den grond gebrachte hoeveelheden SO_3 zijn ook in de tabel vermeld.

In het tweede gedeelte der tabel zijn de lysimeters 1—4 (met grondwater) gescheiden van de lysimeters 5—8 (met vrijen waterafvoer).

TABEL 18

Gemiddelde SO_3 -gehalten van het drainwater in 5(3)-jarige perioden (mg/l)

Average SO_3 -content of the drainage waters collected from the separate lysimeters in 5 (3)-year periods

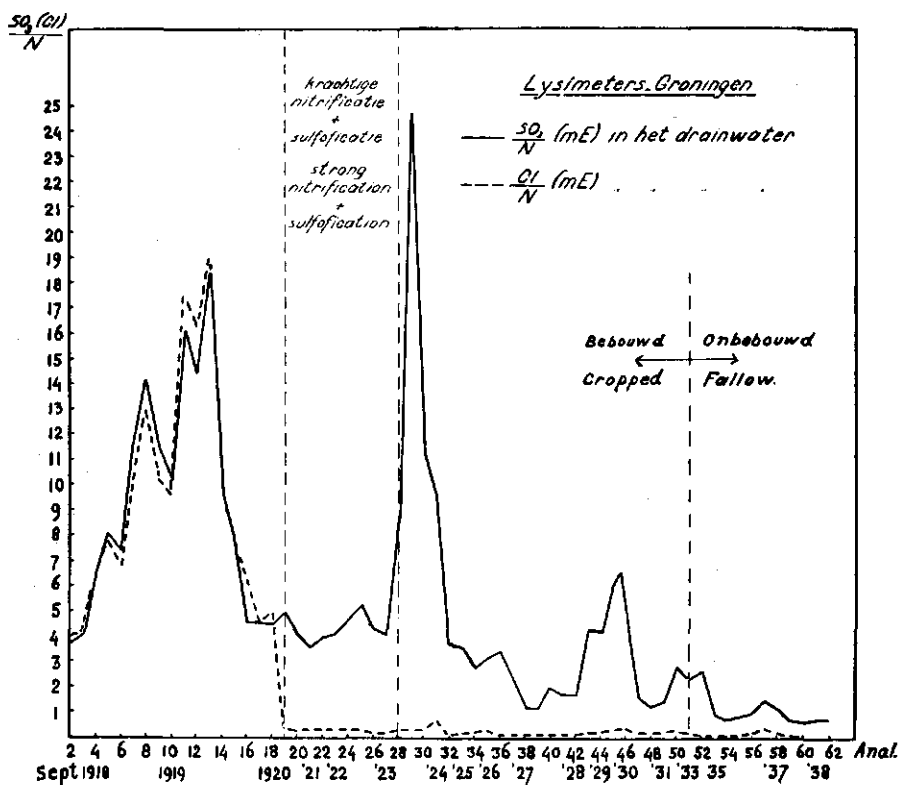
	Lysimeters								1 en 5		Overige lysimeters	
	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem.	Bem. SO_3 kg/ha	Gem.	Bem. SO_3 kg/ha
Juli 1918—Juni 1923.	524	480	554	559	478	556	565	514	500	342,9	536	135,9
Juni 1923—Juni 1928.	286	207	227	275	280	241	243	300	284	481,2	247	191,4
Juni 1928—Sept. 1933.	217	176	167	198	234	178	195	211	225	819,4	186	249,3
Sept. 1933—Sept. 1936 (onbebouwd).	167	120	115	122	168	119	121	125	168	—	120	—
	Met grondwater (With watertable)					Vrije waterafvoer (Free waterdischarge)						
	1	2	3	4	Gem. 2, 3 en 4	5	6	7	8	Gem. 6, 7 en 8		
Sept. 1936—1 Jan. 1939 . . .	84	83	87	95	88	88	83	85	92	86		

In deze periode staat dus lysimeter 1, die tot en met 1933 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ontving, tegenover de lysimeters 2, 3 en 4 en de lysimeter 5 om dezelfde reden tegenover 6, 7 en 8. Alle gehaltecijfers, ook de gemiddelde cijfers, zijn berekend door de in totaal in de betreffende periode uitgespoelde hoeveelheid SO_3 te deelen door de in totaal afgegeven hoeveelheid drainwater.

Behalve de algemeene daling van het SO_3 -gehalte ziet men in tabel 18 ook duidelijk den invloed der bemesting met ammoniumsulfaat op het SO_3 -gehalte van het drainwater. In de jaren, waarin 1 en 5 de stikstof in dezen vorm ontvingen, zijn de cijfers voor deze lysimeters aanmerkelijk hooger dan voor de overige lysimeters en zelfs in de drie daaropvolgende jaren (1933—1936) is dit nog het geval. Eerst in de laatste periode is het verschil verdwenen

en men mag dus wel aannemen, dat 3 à 6 jaar nadat de laatste ammonium-sulfaat-bemesting op 1 en 5 werd gegeven (voorjaar 1933) het meerdere SO_3 , dat 1 en 5 met deze bemesting ontvingen, was uitgespoeld.

Wanneer men bij de opeenvolgende drainwatermonsters de verhouding uitreken tusschen het aantal milliequivalenten N en SO_3 , dan valt er een daling van SO_3 ten opzichte van N waar te nemen. In fig. 9 is het verloop



Figuur 9

der verhouding $\text{SO}_3 : \text{N}$ grafisch voorgesteld; de daling is hier duidelijk zichtbaar. Hieruit volgt m. i., dat het SO_3 hetwelk in oplossing gaat, niet uitsluitend afkomstig is van de sulfocatie, welke nauw met de nitrificatie verbonden is en waarbij N_2O_5 en SO_3 in een bepaalde verhouding gevormd worden, maar dat het SO_3 in het drainwater ten deele afkomstig is van een afnemenden voorraad van anorganische S-verbindingen, n.l. van sulfaten, welke van den beginne af in den grond aanwezig zijn geweest.

Beschouwt men fig. 9 wat nader, dan valt in de eerste plaats een sterke stijging op, die vanaf het begin der proef tot Januari 1920 aanhoudt; daarna

daalt de lijn snel. Deze stijging van de verhouding is een gevolg hiervan, dat in den beginne het gehalte aan N daalt, aan SO_3 daarentegen stijgt, zooals trouwens ook in tabel 1 te zien is. De daling van het N-gehalte is, na hetgeen ik reeds opmerkte omtrent de nitrificatie in de beide eerste jaren, niet zoo vreemd. Stijging van het SO_3 -gehalte is echter niet zoo voor de hand liggend: indien we in deze periode geen toeneming van de nitrificatie aannemen, dan geldt dat óók voor de sulfocatie. Er moet dus langzamerhand meer van de reeds in den grond aanwezige sulfaten in oplossing gaan. Maar hoe komt dat?

Teekent men een dergelijke grafiek voor Cl, een bestanddeel, dat quantitief geheel buiten de biologische omzettingen staat, dan blijkt (zie stippellijn in fig. 9), dat deze lijn in den beginne eveneens stijgt en zelfs een merkwaardige overeenkomst met de SO_3 -lijn vertoont. Dat beide lijnen tot 1 September 1920 bijna volkomen samenvallen houd ik voor toevallig: bij toeval is het aantal mE Cl bij deze analyses gevonden gelijk aan dat der mE SO_3 . Maar de overeenkomst in de stijgingen en dalingen bij beide lijnen is niet toevallig en wijst erop, dat men ook bij SO_3 , evenals dit bij Cl het geval moet zijn, met een eenvoudig oplossingsverschijnsel te doen heeft. Maar de aanvankelijke rijkdom van den grond aan chloriden en sulfaten, waar ik reeds op wees, zou van stonde aan bij uitloosing door het regenwater een *daling* en niet een stijging van het gehalte aan de zoo oplosbare sulfaten en chloriden doen verwachten. Dat dit niet zoo is, vindt, naar verondersteld mag worden, zijn verklaring in het feit, dat de grond bij het laagsgewijze invullen gedrenkt werd met Cl- en SO_3 -arm leidingwater en wel met zooveel water, dat de grond daarmede verzadigd was (zie deel I, blz. 37). Dit water (250 l) moest door het regenwater, dat daarna op den grond viel, verdrongen worden. Eerst werd het water uit het zandbed (15 cm), dat in het geheel geen oplosbare bestanddeelen bevatte, uitgedreven. Daarna volgde het water uit de onderste grondlagen; dit water had, doordat het slechts een dunne grondlaag passeerde, nog weinig gelegenheid gehad om veel zouten uit den grond op te lossen. Langzamerhand, naarmate het water een dikkere grondlaag gepasseerd was, steeg het zoutgehalte van het uittredende water. 1 September 1919 was echter nog slechts gemiddeld 138 l per lysimeter afgevoerd, terwijl er 250 l leidingwater was toegevoegd. Indien het water zich zuiver door verdringing door regenwater benedenwaarts bewogen en er geen diffusie plaats gevonden had, zou de concentratie in 't eerst nog lager zijn geweest en de stijging dus nog veel sterker.

Ik meen, dat op deze wijze de aanvankelijke stijging van het SO_3 - en Cl-gehalte van het drainwater, die trouwens ook bij Na_2O , CaO en MgO valt waar te nemen, verklaard kan worden.

Vanaf drainwater (anal.) 18 treedt er tusschen het gedrag van het chloor en dat van het sulfaat een groot verschil op. Het Cl trekt zich van de dan intredende krachtige nitrificatie niets aan: de daling van het Cl-gehalte gaat verder (zie tabel 1) en de lijn valt snel tengevolge van de stijging van het N-gehalte.

Met het SO_3 is het anders gesteld. Bij de dan intredende krachtige mineralisatie treedt ook een sterke sulfocatie op en de verhouding $\text{SO}_3 : \text{N}$ handhaaft zich op ongeveer gelijke hoogte.

Als men afziet van een paar hooge toppen, dan bespeurt men in 't algemeen een daling van de lijn, d.w.z. het SO_3 vermindert ten opzichte van de stikstof, hetgeen erop wijst, dat het in het drainwater gevonden SO_3 ten deele afkomstig is van de sulfocatie en ten deele van als zoodanig reeds aanwezige sulfaten. Deze laatste voorraad neemt gedurig af, vandaar de daling der verhouding $\text{SO}_3 : \text{N}$. Raakt deze voorraad grootendeels uitgeput, dan mag men verwachten, dat de verhouding geruimen tijd vrijwel constant blijft. Er is dan in hoofdzaak slechts een hoeveelheid S in den grond, die een kringloop maakt: zij wordt opgenomen door de planten (bacteriën) en komt vervolgens bij de omzetting van de organische stof weer als sulfaat te voorschijn. In den vorm van sulfaat is echter de zwavelvoorraad steeds aan uitspoeling onderhevig.

Het is niet te gewaagd te veronderstellen, dat met het dalen van den S-voorraad in den grond tenslotte ook de nitrificatie zal gaan dalen, waarbij de verhouding $\text{SO}_3 : \text{N}$ in het drainwater ongeveer gelijk zal blijven. Tenslotte zou dus de S-voorraad in den grond en daarmee het geheele organische leven in en op den grond bepaald worden door de hoeveelheid S, welke met den regen in den grond komt. In het laatste hoofdstuk zullen we trachten een raming te maken van het aantal jaren, waarvoor de S-voorraad in den grond van den Nieuwen Ruigezandster polder toereikend zou zijn voor de cultuur op het tegenwoordige peil, indien de mensch, zij het dan ook onopzettelijk, den S-voorraad niet aanvulde door bemesting met superphosfaat en door aanwending van zwavelzuren ammoniak.

In de lijn in fig. 9 neemt men nog twee belangrijke stijgingen waar. De eerste betreft de analyses 28—31. Uit tabel 1 blijkt, dat deze stijging van de verhouding $\text{SO}_3 : \text{N}$ het gevolg is van een scherpe daling van het N-gehalte, waarmede een minder sterke daling van het SO_3 -gehalte gepaard gaat. Voor de vermoedelijke oorzaak dezer daling van het N-gehalte verwijs ik naar blz. 203. De daling van het SO_3 -gehalte moet naar verhouding geringer zijn, omdat naast het SO_3 , dat door de, evenals de nitrificatie, *verzwakte* sulfocatie gevormd werd, ook nog sulfaat als zoodanig van den beginne af in den grond aanwezig was.

De tweede minder groote stijging loopt over de analyses 43—46. Zij wordt veroorzaakt door een stijging van het sulfaatgehalte, die, zooals op blz. 237 reeds werd medegedeeld, waarschijnlijk verband houdt met den geringen regenval, aangezien in die periode (zie ook tabel I) ook hooge Cl-cijfers werden gevonden.

Eigenlijk is deze verklaring niet juist, althans niet volledig. Hetzelfde wat hier van het SO_3 - en het Cl-gehalte wordt gezegd, zou natuurlijk ook voor het in den grond aanwezige nitraat gelden. De zaak is dus deze, dat de stijging van de nitraatconcentratie bij die van het SO_3 is achtergebleven. Waarschijnlijk werd de nitraatproductie door den geringen regenval tusschen Maart 1928 en Maart 1930 geremd; in de beide jaren (Maart tot Maart) viel n.l. resp. slechts 591 en 590 mm regen. In den zomer van 1928 moet het watergehalte van den grond tamelijk laag zijn geweest; maar vooral moet dit ook het geval zijn geweest van Januari—Augustus 1929, toen slechts 275 mm regen viel.¹⁾ Ook de lage temperatuur in de drie eerste maanden van 1929 zal de nitrificatie vermoedelijk geremd hebben, zoodat tenslotte de nitraatproductie te gering is geweest om het nitraatverbruik door de gewassen te dekken en de aanwezige voorraad dus afnam.

Aangezien de hier besproken stijgingen in de verhouding $\text{SO}_3 : \text{N}$ vastzitten op den voorraad sulfaten, die van den aanvang af in den grond als zoodanig aanwezig was, zullen deze stijgingen met het afnemen van den sulfaatvoorraad ook steeds geringer worden.

a. *Verschillen in het SO_3 -gehalte van het drainwater der afzonderlijke lysimeters*

Tabel 19 geeft een overzicht van de uit de afzonderlijke lysimeters uitgespoelde hoeveelheden SO_3 in de periode 1918—1933, waarin de lysimeters bebouwd en bemest werden. Men ziet, indien men deze hoeveelheden uitdrukt in procenten van het gemiddelde, dat de verschillen niet groot zijn; lysimeter 1, sedert 1923 bemest met zwavelzuren ammoniak, blijft 3,5 % boven het gemiddelde, en lysimeter 2, die de stikstof steeds als NaNO_3 ontving, 2,7 % eronder. Lysimeter 5, die in dezelfde conditie verkeerde als lysimeter 1, verloor in de genoemde periode iets minder dan de gemiddelde hoeveelheid sulfaat.

In de betreffende periode ontvingen de lysimeters 1 en 5 met de N-bemesting 95,5 g SO_3 meer dan de overige lysimeters. Zou dit SO_3 in deze periode ook volledig zijn uitgespoeld, dan zouden deze lysimeters, uitgaande van de gemiddelde uitgespoelde hoeveelheid bij de overige lysimeters, $797 + 95,5 = 893$ g SO_3 verloren moeten hebben. Daar is geen sprake van: lysimeter 5 blijft bijna 100, lysimeter 1 63 g beneden dit bedrag.

¹⁾ Hier komt weer het voordeel van *weegbare lysimeters* aan den dag! Met weegbare lysimeters had men precies *geweten*, hoeveel water de grond op de verschillende tijdstippen bevatte.

TABEL 19

*SO₃-verlies in grammen met het drainwater in de periode 1918—1933
(bebouwd, bemest)*

*Quantities in grams of SO₃ leached out from the separate lysimeters at Groningen in the years
1918—1933 (Cropped and manured)*

	1	2	3	4	5	6	7	8
Uitgespoeld (<i>Leached out</i>)	829,0	779,5	797,3	823,5	795,9	789,0	807,1	785,5
In % v. h. gemiddelde	103,5	97,3	99,6	102,8	99,4	98,5	100,8	98,1
mg SO ₃ per liter	324	275	286	321	323	301	312	331
Rangorde (<i>Successive number</i>)	2	8	7	4	3	6	5	1
Drainagewater in liters	2557	2839	2786	2568	2467	2625	2585	2372
Rangorde	3	8	7	4	2	6	5	1

Moet hieruit de conclusie getrokken worden, dat de bemesting met ammoniumsulfaat geen verhooging, althans geen belangrijke verhooging der uitspoeling van sulfaten tengevolge heeft gehad? We zullen straks, als we de uitgespoelde hoeveelheden SO₃ nader beschouwen, zien dat dit niet zoo is.

Uit de overeenstemming tusschen de hoeveelheden SO₃, welke van 1918—1933 uit de afzonderlijke lysimeters met het drainwater verwijderd werden, volgt, dat de SO₃-concentraties hooger zullen zijn naarmate de hoeveelheden drainwater, welke afvloeiden, kleiner waren. Men ziet dit ook als men de concentratiecijfers (mg/l) rangschikt naar afnemende, die voor de hoeveelheden drainwater naar toenemende grootte; de rangorde der lysimeters blijkt in beide gevallen dezelfde te zijn, afgezien van de verwisseling der plaatsen 2 en 3.

Uit het voorafgaande volgt, dat de meerdere of mindere doorlatendheid van den grond voor water en dus ook voor lucht, binnen de hier optredende grenzen, niet van invloed is op de sulfaatproductie in den grond.

Welk deel der tusschen 1923 en 1933 met het ammoniumsulfaat in den grond der lysimeters 1 en 5 gebrachte hoeveelheid SO₃ werd tot 1 Januari 1938 uitgespoeld en met de gewassen uit den grond verwijderd?

Deze vraag kunnen we aan de hand van tabel 20 benaderend beantwoorden.

Van 1923 tot en met 1933 werd er met de N-bemesting in de lysimeters 1 en 5 95,465 g SO₃ gebracht.

Tot Januari 1938 zou hiervan, volgens de tabel, 76,385 g in het drainwater en in de gewassen zijn teruggevonden, dat is slechts 80 %, niettegenstaande de lysimeters 1 en 5 sedert het voorjaar 1933, op 1 Januari 1938 dus reeds in vijf jaren, geen sulfaatbemesting meer ontvingen. Hieruit zou men moeten opmaken, dat de uitspoeling van wateroplosbare bestanddeelen in den grond niet zoo snel plaats heeft als men wel zou denken. Inderdaad is de uitloosing van zelfs zeer oplosbare bestanddeelen een proces, dat onverwacht langzaam verloopt, zooals bij de bespreking van het Cl- en Na₂O-gehalte van het drainwater nog nader zal blijken.

TABEL 20

*SO₃-verlies der lysimeters 1 en 5 (met ammoniumsulfaat)
tegenover dat der andere lysimeters*

SO₃-loss (drainage and crop) from the lysimeters 1 and 5 with sulfate of ammonia-manuring since 1923 in contradistinction to the SO₃-loss from the other lysimeters (without sulfate of ammonia)

	Bebouwd, gelijk bemest (Cropped, same manuring)	Bebouwd (Cropped) 1 en 5 (NH ₄) ₂ SO ₄		Onbebouwd (Fallow) Onbemest (Unmanured)	
	Juli 1918 tot Juni 1923	Juni 1923 tot Juni 1928	Juni 1928 tot Sept. 1933	Sept. 1933 tot Sept. 1936	Sept. 1936 tot Jan. 1938

Uitgespoeld met het drainwater (Removed by drainage)

Gem. voor (Mean for)	1 en 5	342,418	275,155	194,911	138,550	51,29
Gem. voor (Mean for)	2, 3, 4, 6, 7 en 8	371,712	251,059	174,212	106,382	52,64
Meer uitgesp. bij 1 en 5 (More leached out from 1 and 5.)		— 29,294	24,096	20,699	32,168	— 1,35
Totaal 75,613 g SO ₃						

Onttrokken door de gewassen (Removed by the crops)

	1919—1922	1923—1933
Gem. voor 1 en 5 . . .	17,098	66,057
Gem. voor 2, 3, 4, 6, 7 en 8	17,481	65,285
1 en 5 meer.	— 0,383	0,772

Meerder verlies aan SO₃ der lysimeters 1 en 5 } 75,613 + 0,772 = 76,385 g of
tusschen 1 Juni 1923 en 1 Januari 1938: } 80 % v. h. ingebrachte SO₃.
(From June 1923 till Januari 1938 the lysi- } (= 80 % of the SO₃ added as sulfate
meter 1 and 5 lost more SO₃ than the others): } of ammonia).

Maar of hier nu wel inderdaad op 1 Januari 1938 slechts 80 % van het ingebrachte sulfaat is uitgespoeld en door de planten is opgenomen, staat niet absoluut vast. Bij de uitgevoerde berekening is uitgegaan van de veronderstelling, dat de lysimeters 1 en 5 zonder de ammoniumsulfaatbemesting evenveel SO_3 zouden afgegeven hebben als de overige lysimeters. Mag men dit inderdaad aannemen? Zekerheid daaromtrent is uit den aard der zaak niet te verkrijgen, maar misschien kan men dit eenigermate beoordeelen aan de hand van de cijfers voor de Cl-uitspoeling, omdat men bij dit bestanddeel met een zuiver oplossingsproces te maken heeft en omdat geen der lysimeters met de bemesting Cl ontving; alle ontvingen zij met den regen een gelijke geringe hoeveelheid chloor.

In tabel 21 is de gemiddelde Cl-uitspoeling vermeld voor de lysimeters 1 en 5 en voor de overige lysimeters in dezelfde perioden als in tabel 20 voor

TABEL 21

Met het drainwater uitgespoelde hoeveelheden Cl in grammen

Quantities of Cl leached out with the drainagewater (grams)

	Juli 1918 tot Juni 1923	Juni 1923 tot Juni 1928	Juni 1928 tot Sept. 1933	Sept. 1933 tot Sept. 1936	Sept. 1936 tot Jan. 1938
Gem. voor (Average for) } 1 en 5	61,525	9,143	16,217	11,702	9,536
Gem. voor (Average for) } 2, 3, 4, 6, 7 en 8	63,657	10,080	15,411	11,325	9,203
Vershil (Difference) .	— 2,132	— 0,937	0,806	0,377	0,333

SO_3 . Men ziet, dat ook bij het chloor de uitspoeling bij 1 en 5 aanvankelijk kleiner is. Berekent men nu aan de hand dezer cijfers uit de SO_3 -cijfers voor de lysimeters 2, 3, 4, 6, 7 en 8, wat er gemiddeld uit de lysimeters 1 en 5 uitgespoeld zou zijn, indien er geen ammoniumsulfaatbemesting gegeven ware, en brengt men deze bedragen vervolgens in mindering van hetgeen in werkelijkheid uit de lysimeters 1 en 5 uitspoelde, dan vindt men wellicht juistere cijfers voor hetgeen méér uitspoelde tengevolge van de ammoniumsulfaatbemesting. Dit laatste is in tabel 22 gedaan.

Van de sedert Mei 1923 tot het voorjaar van 1933 met de ammoniumsulfaatbemesting in den grond der lysimeters 1 en 5 gebrachte 95,465 g SO_3 , werd dus volgens deze berekening in het drainwater en in de gewassen vanaf Juni 1923 tot 1 September 1936 een hoeveelheid van 88,425 g teruggevonden, of 92,6 %.

TABEL 22

	Juni 1923 tot Juni 1928	Juni 1928 tot Sept. 1933	Sept. 1933 tot Sept. 1936	Sept. 1936 tot 1 Jan. 1938
Gemiddeld uitgespoeld uit 1 en 5 . Berekende uitspoeling zonder za.bem.	275,155 227,726	194,911 183,323	138,550 109,914	51,29 53,15
Meer uitgespoeld bij 1 en 5 tengevolge v. d. bemesting met zwav.ammon.	47,429	11,588	28,636	— 1,86
Meer uitgespoeld bij 1 en 5 van Juni 1923—Sept. 1936				87,653 g
Met de gewassen meer aan 1 en 5 onttrokken				0,772 „
Totaal				88,425 g SO ₃

Op deze wijze berekend nadert men dus de ingebrachte hoeveelheid SO₃ al tamelijk dicht, zoodat het wel schijnt alsof 3 jaar na de laatste bemesting vrijwel al het SO₃ is uitgespoeld. Zekerheid heeft men, gezien de beperkte nauwkeurigheid der berekening, natuurlijk nog niet, maar bij voortzetting der proeven zal men in de toekomst dergelijke berekeningen kunnen herhalen, waardoor de zekerheid groter wordt. Dit mag men echter, meen ik, uit deze cijfers nu reeds wel afleiden, dat het op den grond gebrachte SO₃ na enkele jaren in ieder geval door uitspoeling praktisch uit de bouwkruijn verwijderd is, gebonden aan basen, waarvoor in de eerste plaats kalk in aanmerking komt. Bij de bespreking van de CaO-uitspoeling zullen we nagaan, in hoeverre het meerdere SO₃-verlies bij 1 en 5 overeenstemt met het meerdere CaO-verlies (blz. 281).

b. *Invloed van het jaargetijde op het SO₃-gehalte van het drainwater*

Tabel 23 geeft, evenals tabel 8 voor N, de seizoencijfers voor SO₃.

TABEL 23

Gemiddelde SO₃-cijfers voor de vier jaargetijden

Average SO₃-content of the drainage water collected in the four seasons (cropped soil)

	Aantal analyses (Number of analyses)	Drainagewater liters	SO ₃ mg/l
Zomer (<i>Summer</i>)	5	21,9	293
Herfst (<i>Autumn</i>)	9	50,2	312
Winter (<i>Winter</i>)	16	71,1	367
Lente (<i>Spring</i>)	18	26,1	357

De beteekenis van de onderlinge verschillen moet men niet te hoog aanslaan, omdat het aantal analyses, vooral van het zomer- en herfstdrainwater, klein is. De betrekkelijk lage zomer- en herfstcijfers vinden hun verklaring grootendeels in het feit, dat van de hoge cijfers tusschen 1 Januari 1921 en 31 December 1923 gevonden (periode van krachtige nitrificatie en sulfoficatie), er slechts telkens één voor rekening komt van het zomer- en van het herfstkwartaal, tegen 3 en 4 voor rekening van het winter- en lente-kwartaal.

Men mag uit deze cijfers wel de conclusie trekken, dat, zoo er seizoenverschillen in de concentratie van het drainwater t. o. van SO_3 bestaan, deze niet groot zullen zijn.

§ 3. HET GEHALTE VAN HET DRAINWATER AAN KOOLZUUR DER HYDRO-CARBONATEN (CO_2)

Het drainwater bevat steeds aanmerkelijke hoeveelheden koolzuur en wel in den vorm van hydrocarbonaten (voornamelijk Ca-hydrocarbonaat) en als vrij koolzuur. De bepaling van het vrije koolzuur heeft alleen dan zin, indien de bepaling onmiddellijk nadat het water den grond verlaten heeft, wordt uitgevoerd.

Bij de bepaling van het gebonden koolzuur werd uitgegaan van de veronderstelling, dat slechts hydrocarbonaten aanwezig zijn, omdat het drainwater steeds vrij CO_2 bevat. Dit volgt bovendien uit het feit, dat het drainwater als regel volkomen helder is, hetgeen slechts mogelijk is, indien CO_3 ''-ionen afwezig zijn.

De juistheid dezer veronderstelling wordt nog gesteund door de uitkomsten van een kunstmatig samengesteld „drainwater”, waaraan naast Ca-hydrocarbonaat ook Na-carbonaat en vrij CO_2 werd toegevoegd. Bracht men hier de bij de analyse gevonden hoeveelheid gebonden CO_2 uitsluitend in rekening als HCO_3' , dan stemden de gevonden hoeveelheden base- en zuuraequivalenten volkomen overeen.

Ik acht het derhalve onwaarschijnlijk, dat het als regel overwegen van de base-aequivalenten, waar ik op blz. 174 op wees, toegeschreven zou moeten worden aan de omstandigheid, dat het gebonden CO_2 niet uitsluitend aanwezig is als HCO_3' , doch ten deele ook als CO_3 ''.

Om de hoeveelheid bicarbonaat- CO_2 te leeren kennen, werd de z.g. „carbonaathardheid” van het water bepaald, d.w.z. de alcaliteit van het water, gevonden door titratie met $n/10$ HCl en methyloranje als indicator.

De alcaliteit wordt echter niet uitsluitend bepaald door de aanwezige hydrocarbonaten, doch ook door de aanwezigheid in het drainwater van *silicaten*. De alcaliteit, voor zoover deze door de silicaten veroorzaakt wordt,

is in rekening gebracht door van het uit de titratie berekende aantal mg CO_2 het aantal mg CO_2 , dat gelijkwaardig is met het in het drainwater aanwezige aantal mg SiO_2 , af te trekken.¹⁾

Beschouwen we thans de voor CO_2 gevonden cijfers, dan valt onmiddellijk op (zie tabel 1 en fig. 5), dat deze zeer groote verschillen vertoonen. Aanvankelijk ziet men het gehalte stijgen. De hoogste cijfers werden in de laatste maanden van 1919 (analyses 12 en 13, tabel 1) bereikt; het gehalte is dan 3 à 4 maal zoo hoog als bij de eerste watermonsters. Ik zou deze stijging in hoofdzaak willen verklaren door het zich langzaam herstellen van de activiteit der bacteriënflora in den grond, na de verstoring, welke plaats vond bij het drogen van den grond. In den zomer van 1919 kan de activiteit nog verhoogd zijn geworden door de, mede onder invloed van het eerste gewas, verbeterde luchttoetreding in den grond.

In den zomer van 1920 treedt echter een daling in, welke vanaf Januari 1921 tot April 1922 krachtig doorzet (anal. 18—21).

Nu is het opvallend, dat deze sterke val in het hydrocarbonaatgehalte (18—19) samengaat met de plotselinge sterke stijging van het N_2O_5 - en SO_3 -gehalte van het drainwater. En bij de in het najaar 1923 intredende sterke daling van de N- en SO_3 -cijfers, ziet men het CO_2 -cijfer weer omhoog schieten (anal. 27—29).

Dit tegenovergestelde gedrag der CO_2 -cijfers eenerzijds en der N- en SO_3 -cijfers anderzijds, komt ook later nog weer naar voren. De lijn voor het CO_2 -gehalte (fig. 5) blijkt dan ook tot op zekere hoogte het spiegelbeeld te zijn van de lijnen, welke het verloop van het N- en SO_3 -gehalte van het drainwater weergeven.

De hier geconstateerde afhankelijkheid van het CO_2 -gehalte van het drainwater van de nitrificatie en sulfificatie in den grond is niet zoo vanzelfsprekend.

Men zou kunnen verwachten, dat het oplossingsproces van het in zoo ruime mate in dezen grond aanwezige CaCO_3 (7 %) door het CO_2 -houdende water vrijwel onafhankelijk verloopt van de oplossing van het calciumcarbonaat door de bij de nitrificatie en sulfificatie gevormde zuren.²⁾

Men kan zich hetgeen hier plaats heeft ook nog op de volgende wijze voorstellen.

¹⁾ Zie verder het Bijvoegsel waarin de toegepaste analytische methoden beschreven worden. De titratie dient uit den aard der zaak plaats te hebben alvorens, tengevolge van CO_2 -verlies, zich CaCO_3 uit het water afzet.

²⁾ Bij de bepaling van de oplosbaarheid van CaCO_3 in koolzuurhoudend water bij aanwezigheid van $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ en CaSO_4 in de hoogste concentraties, welke bij het drainwater werden vastgesteld, bleek wel, dat de oplosbaarheid door deze zouten eenigszins gedrukt werd; de daling bedroeg echter niet meer dan ongeveer 5 %.

Het door de bacteriologische processen gevormde salpeter- en zwavelzuur wordt in de eerste plaats gebonden door de in den grond in oplossing aanwezige hydrocarbonaten en misschien, doch voor een ondergeschikt deel slechts, ook nog door als zoodanig in den grond aanwezig calciumcarbonaat. Het komt mij voor, dat deze veronderstelling wel overeenkomstig de werkelijkheid zal zijn. Het in oplossing gaan van het calciumcarbonaat in de CO_2 -houdende bodemvloeistof — zoo zou men verder moeten aannemen — is echter een proces, dat te langzaam verloopt om de door het gevormde salpeter- en zwavelzuur verbruikte hoeveelheid Ca-hydrocarbonaat weer aan te vullen vóór de bodemvloeistof den grond als drainwater heeft verlaten.

Het hooge koolzuurgehalte van het drainwater naast een laag nitraatgehalte in de paar eerste jaren en de daarop volgende krachtige nitrificatie bij naar verhouding geringe koolzuurproductie, doet de vraag rijzen, of men bij 't begin der proef niet met een zóó ruime verhouding tusschen C en N te maken heeft gehad, dat aanvankelijk slechts weinig stikstof buiten den kringloop trad en als nitraat in het drainwater verscheen. Aan het einde van 1920 zou deze verhouding zich dan zoodanig gewijzigd moeten hebben, dat er een krachtige nitrificatie kon optreden, terwijl de CO_2 -productie op den achtergrond trad.

Is het echter wel waarschijnlijk, dat de verhouding C : N bijzonder ruim was? Ik acht dit niet slechts onwaarschijnlijk, maar zelfs buitengesloten en wel op grond van de volgende overwegingen.

Men heeft hier te doen met een zavelgrond (bouwvoor) met een normaal laag humusgehalte (1,4 %). In 1917, toen de grond er werd weggehaald, droeg het perceel zomertarwe en in de aan 1917 voorafgaande jaren achtereenvolgens erwten, kanarie, spinazie en in 1912 en 1913 witte klaver. In 1918 was het dus al 5 jaar geleden, dat 't perceel in klaver lag. Er bestaat dus geen enkele reden om een bijzonderen rijkdom aan gemakkelijk ontleedbare organische stof te verwachten. Evenmin bestaat er m. i. grond voor de veronderstelling, dat het stikstofgehalte bijzonder laag zou zijn geweest.

Nu is het echter een feit, dat het CO_2 -gehalte van het drainwater de beide eerste jaren buitengewoon hoog was, vooral in verhouding tot het nitraat- en sulfaatgehalte. Dit blijkt duidelijk uit tabel 24a, waarin voor de opeenvolgende perioden de gehalten voor CO_2 , N en SO_3 , uitgedrukt in milliequivalenten per 10 liter, naast elkaar vermeld zijn.

Het hooge CO_2 -cijfer der beide eerste jaren keert niet meer terug, ook niet als na de periode van krachtige nitrificatie het nitraat- en het sulfaatgehalte van het drainwater sterk gedaald zijn, zoodat de som der equivalenten voor de drie bestanddeelen, na een aanvankelijke stijging in de tweede periode, belangrijk kleiner wordt.

TABEL 24a

Gehalte aan hydrocarbonaat- CO_2 , N en SO_3 van het drainwater in meerjarige perioden (mE per 10 l)

CO_2 (hydrocarb.), N and SO_3 -content of the drainage water, collected in periods of several years (mE per 10 l)

Anal. n°.	Periode	CO_2 mE	N mE	SO_3 mE	Som mE
Bebouwd (Cropped)					
2—18	September 1918—September 1920	183	4	36	223
19—27 ¹⁾	Januari 1921—September 1923	59	53	241	353
28—51	September 1923—September 1933	58	21	55	134
Onbebouwd (Fallow)					
55—64	September 1936—Maart 1939				
	Lysimeters 5—8 ²⁾	47	29	22	98
	„ 1—4 ³⁾	67	27	23	117

¹⁾ Periode van krachtige nitrificatie — *Period of strong nitrification.*

²⁾ Vrije waterafvoer — *Free waterdischarge.*

³⁾ Met grondwater — *With watertable.*

Uit het voorafgaande blijkt dus wel, dat er in de beide eerste jaren omstandigheden waren, welke een zeer krachtige CO_2 -productie veroorzaakten. Aan een hoog gehalte aan organische stof valt, zooals gezegd, niet te denken.

Kan het drogen van den grond aan de lucht de daarin aanwezige organische stof zoodanig veranderd hebben, dat zij gemakkelijker oxydeerbaar werd, hetgeen dus feitelijk verruiming der verhouding C : N zou beteekenen? Dat de organische stof in den grond door indrogen aan de lucht een zoodanige ingrijpende verandering zou kunnen ondergaan, dat zij gedurende twee jaren aan een veel krachtiger afbraak zou blootstaan, is echter niet wel aan te nemen.

Misschien kan op de volgende wijze een redelijke verklaring der feiten gegeven worden.

Er blijft m. i. n.l. nog een mogelijkheid over, en wel deze, dat de overvloedige CO_2 -productie en de geringe nitraatproductie in de beide eerste jaren, samenhangen met de omstandigheid, dat de lysimeters *van onder tot boven* gevuld werden met grond, afkomstig uit de *bouwvoor*.

Neemt men nu aan, dat de nitrificatie zich aanvankelijk in hoofdzaak beperkte tot de bovenste grondlaag (men denke aan de slechte doorlatendheid van den grond in de paar eerste jaren), terwijl de afbraak van de organische stof onder vorming van CO_2 echter van den beginne af aan ook in de diepere

grondlagen krachtig verliep, dan kan men de geconstateerde verschijnselen op de volgende wijze verklaren.

Het in de bovenste grondlaag gevormde nitraat dringt met het water in dieper gelegen lagen door. In tegenstelling met den grond in de natuurlijke ligging, zijn deze diepere grondlagen betrekkelijk rijk aan organische stof, welke door micro-organismen wordt afgebroken. De in het neerdalende water aanwezige nitraatstikstof wordt door deze organismen opgenomen en in een sterk vermeerderd aantal organismen vastgelegd. Het water, verarmd aan nitraat, doch verrijkt met koolzuur in den vorm van hydrocarbonaten, zakt verder en verlaat den grond als drainwater, rijk aan CO_2 , arm aan N en SO_3 . Dit is de gang van zaken in de beide eerste jaren.

Van bovenaf voortschrijdende wordt een groot deel van de organische stof afgebroken, terwijl de nitrificatie dieper in den grond doordringt.

Eindelijk, na ongeveer twee jaren, was de overmaat organische stof in de diepere lagen verbruikt; dientengevolge verminderde de CO_2 -productie. Maar tevens stierf een groot deel der micro-organismen, welke aan de humusafbraak hadden deelgenomen, de opgehoopte stikstof kwam weer vrij en werd genitrificeerd; dientengevolge steeg het nitraatgehalte van het drainwater. Dit was de periode van krachtige nitrificatie.

Toen de opgehoopte stikstof geheel vrijgekomen en als nitraat uitgespoeld was, stelde zich een voor dezen grond natuurlijk evenwicht in.

De bovenstaande verklaring sluit m. i. die, welke op blz. 202 voor het aanvankelijk lage, daarna sterk stijgende en vervolgens weer dalende N-gehalte van het drainwater gegeven werd, niet beslist uit. 't Is best mogelijk, dat de beide veronderstelde omstandigheden naast elkander optraden en het is niet onwaarschijnlijk, dat er zelfs nog meer factoren werkzaam waren: de complexiteit der verschijnselen, waarmede men hier te doen heeft, kan men niet licht overschatten.

Tabel 24b geeft een overzicht van het gemiddelde CO_2 -gehalte van het drainwater in de onderscheidene perioden in mg per liter.

Uit de cijfers in deze tabel blijkt nogmaals, dat in de eerste twee jaren het CO_2 -gehalte aanzienlijk hooger was dan daarna. In de 10-jarige periode, volgende op die der krachtige nitrificatie (19—27) blijft het gemiddelde cijfer gelijk aan dat gedurende de krachtige nitrificatie.

Gedurende den tijd, dat de lysimeters onbebouwd bleven, is bij de lysimeters 5—8, waarbij de vrije afvoer gehandhaafd bleef, het gemiddelde CO_2 -gehalte lager. Dit is mogelijk een gevolg van de omstandigheid, dat toen de voorraad organische stof in den grond niet jaarlijks werd aangevuld met plantenwortels en met stoppelresten.

TABEL 24b

Gehalte van hydrocarbonaat-CO₂ van het drainwater in meerjarige perioden
CO₂-content (hydrocarb.) of the drainagewater collected in periods of several years

Anal. n°.	Periode	D mm	CO ₂	
			g per m ²	mg/l
Bebouwd (<i>Cropped</i>)				
2—18	September 1918—September 1920	404,2	326,024	807
19—27 ¹⁾	Januari 1921—September 1923	388,7	100,410	258
28—51	September 1923—September 1933	2123,6	542,916	256
Onbebouwd (<i>Fallow</i>)				
55—64	September 1936—Maart 1939			
	Lysimeters 5—8 ²⁾	1255,4	260,837	208
	„ 1—4 ³⁾	1114,1	326,162	293

¹⁾ Periode van krachtige nitrificatie — *Period of strong nitrification.*

²⁾ Vrije waterafvoer — *Free waterdischarge.*

³⁾ Met grondwater — *With groundwatertable.*

Bij de lysimeters 1—4, met grondwater, daarentegen, blijkt het gemiddelde CO₂-gehalte duidelijk hoger te zijn, het is zelfs hoger dan tijdens de bebouwing. Wat is hiervan de oorzaak?

Het komt mij voor, dat men in de eerste plaats moet denken aan de mogelijkheid, dat er meer CaCO₃ als hydrocarbonaat in oplossing is gegaan, doordat bij de lysimeters met grondwater het contact van den grond met het koolzuurhoudende water inniger en langduriger is geweest. Daarnaast is ook te denken aan de geringere nitraatproductie in deze lysimeters, waarop ik reeds de aandacht vestigde (blz. 200), hetgeen dan gepaard zou moeten gaan met het verbruik van minder hydrocarbonaten voor binding van het gevormde salpeterzuur.

Tabel 25 geeft een overzicht van de uitspoeling en van de gemiddelde samenstelling van het drainwater bij beide groepen lysimeters. Uit de cijfers blijkt wel, dat de geringere nitraatproductie bij 1—4 slechts voor een gering deel de verklaring geeft voor het hoge bicarbonaat(CO₂)-gehalte. Op SO₃ en Cl heeft de aanwezigheid van grondwater praktisch geen invloed gehad. Uit de gelijkheid der Cl-uitspoeling volgt m. i., dat men bij bestanddeelen, waarbij wel duidelijke verschillen optreden, niet aan eenvoudige oplossingsverschijnselen moet denken.

Zoo zij de aandacht gevestigd op de belangrijk meerdere uitspoeling van K₂O en vooral van Na₂O bij 1—4.

Zou hier de verklaring wellicht niet gezocht moeten worden in meerdere uitwisseling van deze basen door het inniger en langduriger contact van het Ca-rijke grondwater met den grond?

TABEL 25

Vergelijking van de uitspoeling en van de samenstelling van het drainwater bij de lysimeters met en zonder grondwater (anal. 56—64)

Comparison with regard to the leaching out and the composition of the drainage water between the lysimeters with and without groundwater (Anal 56—64)

1 Jan. 1937—1 Maart 1939	D mm	CO ₂	N	SO ₃	Cl	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO
Lysimeters 1—4, met grondwater (<i>with watertable</i>)										
Uitgespoeld (<i>Leached out</i>) g/m ² (a)	976,1	283,8	34,2	87,1	14,4	20,0	16,6	25,7	278,9	19,1
mg/l	290,7	35,0	89,2	14,7	20,3	17,0	26,3	285,7	19,5	
mE per 10 liter.	66,1	25,0	22,3	4,1	6,8	3,6	8,5	101,9	9,7	
Lysimeters 5—8, met vrijen waterafvoer (<i>with free water discharge</i>)										
Uitgespoeld (<i>Leached out</i>) g/m ² (b)	1016,7	202,1	39,2	86,8	14,6	22,4	12,1	15,7	257,6	16,6
mg/l	198,8	38,6	85,3	14,4	22,1	11,9	15,5	253,3	16,3	
mE per 10 liter.	45,2	27,6	21,3	4,1	7,4	2,5	5,0	90,3	8,1	
a in percenten van (<i>in percentage of</i>) b	96,0	140,4	87,1	100,3	98,1	89,3	137,8	163,1	108,3	114,9

§ 4. HET GEHALTE VAN HET DRAINWATER AAN CHLOOR (Cl)

a. *De beteekenis der bepaling van dit bestanddeel*

Aan het instituut te Rothamsted heeft men vanaf het begin der lysimeter-onderzoekingen naast het N-gehalte ook steeds het Cl-gehalte van het drainwater bepaald. „Hoewel landbouwkundig van weinig belang, — aldus LAWES, GILBERT en WARINGTON in hun publicatie over hoeveelheid en samenstelling van het te Rothamsted verzamelde drainwater (47, blz. 28) — zoo is de bepaling van het gehalte aan chloor toch van groote beteekenis, omdat het, aangezien dit bestanddeel noch door den grond wordt teruggehouden, noch door het meerendeel der gewassen in belangrijke hoeveelheden wordt opgenomen, een aanwijzing geeft omtrent de uitspoeling van de andere oplosbare bestanddeelen.” En dan vervolgen de genoemde schrijvers: „Facts ascertained with regard to Cl will be equally true of the other soluble diffusible salts present in the soil.”

Inderdaad ligt hierin de beteekenis van het bepalen van het Cl-gehalte bij drainwateronderzoek; aan de door LAWES c.s. aangevoerde gronden dient men echter nog toe te voegen, dat het chloor *buiten de bacteriologische processen staat*. De veranderingen in het Cl-cijfer in den loop van den tijd kunnen ons aanwijzingen geven omtrent de vraag, in hoeverre gelijktijdige veranderingen in de gehalte-cijfers voor andere bestanddeelen, bij welke bacteriologische processen of waarbij het adsorptievermogen van den grond een rol speelt, een gevolg zijn van factoren, welke het simpele oplossingsproces beïnvloeden. Bij de bespreking van het SO_3 -gehalte heb ik reeds een paar maal de Cl-cijfers in dezen zin in mijn beschouwingen betrokken; ook aan het slot der vorige paragraaf was dit het geval.

Moeilijk oplosbare chloriden komen in den grond praktisch gesproken niet voor. De aanwezige chloriden zijn afkomstig uit het zeewater, waaruit de grond werd afgezet, en uit het regenwater. De uit het zeewater afkomstige chloriden zullen na afsluiting van het zeewater door bedijking langzamerhand uitspoelen. Tenslotte zal, indien geen kwel van zout water optreedt en geen bemesting met chloorhoudende meststoffen plaats vindt, de hoeveelheid Cl, welke over een niet te korte periode, b.v. enkele jaren, met het drainwater werd afgevoerd en met de gewassen aan den grond werd onttrokken, gelijk moeten zijn aan de hoeveelheid Cl, welke over dezelfde periode met den regen in den grond werd gebracht.

Dit laatste maakt het ook mogelijk om bij drainwateronderzoekingen in het vrije veld, indien geen kwel optreedt, de afgevoerde hoeveelheid drainwater over niet te korte perioden te ramen of, indien de afgevoerde hoeveelheid drainwater gemeten wordt, hetgeen, zooals ik vroeger reeds zeide, steeds moeilijkheden oplevert, te controleeren, in hoeverre de gemeten hoeveelheden juist kunnen zijn. Hiervoor is noodig het geregeld bemonsteren van het afvloeiende drainwater en het bepalen van het Cl-gehalte der monsters, het meten van den regenval en de bepaling van het Cl-gehalte van het regenwater en de bepaling van de hoeveelheden Cl, welke met de oogsten uit den grond verwijderd en met de bemesting erin gebracht worden.

b. *De daling van het Cl-gehalte en schommelingen in het Cl-gehalte van het drainwater*

Indien men de cijfers voor het Cl-gehalte vanaf 1918 beschouwt (tabel I en fig. 5), dan blijkt, dat het verloop dezer cijfers sterk afwijkt van dat der N- en SO_3 -cijfers. In het eerste jaar zijn de gehaltecijfers hoog; daarna dalen ze langzamerhand. Vanaf September 1923 vindt geen werkelijke verandering meer plaats: de cijfers blijven, meestal met kleine, soms echter met wat grootere afwijkingen, om 12 mg/l schommelen.

Het feit, dat de ingetreden daling van het Cl-gehalte zich voortzet, ook als het N- en het SO_3 -gehalte in Januari 1921 plotseling sterk stijgen, moet wel elken twijfel ten aanzien van de vraag, of deze sterke stijging aan biologische processen moet worden toegeschreven, wegnemen.

Dat het Cl-gehalte van het drainwater aanvankelijk hooger zou zijn, was wel te verwachten, aangezien de grond in de lysimeters afkomstig was van een akker, welke op slechts 500 m ten Oosten van de Lauwerszee gelegen was. Het is toch bekend, dat het regenwater in de nabijheid der zee steeds rijker is aan chloriden dan meer landwaarts in. Ik verwijs hiervoor naar een recente publicatie van Ir. K. W. H. LEEFLANG (48). Hierin wordt medegedeeld, dat het regenwater, hetwelk van 16 November 1932—22 December 1937 op 440 m van de kust opgevangen werd, 16,2 mg Cl per l bevatte, terwijl in het regenwater, in dezelfde periode op 48 km van de kust opgevangen, gemiddeld slechts 4,0 mg/l gevonden werd.

Het aan het Proefstation te Groningen (25 km van de zee verwijderd) opgevangen regenwater bevatte in de jaren 1919—1938 gemiddeld bijna 8 mg¹⁾, terwijl in het regenwater van 27 Januari—11 April 1939 door ons in den Nieuwen Ruigezandster polder verzameld, 17,0 mg Cl per l gevonden werd.

De zeer hooge Cl-cijfers voor het drainwater in de beide eerste jaren hebben echter grotendeels een andere oorzaak: de grond op het perceel van Plaats n°. 5 in den Nieuwen Ruigezandster polder, welke voor de vulling der lysimeters gebruikt werd, was waarschijnlijk rijk aan Cl, tengevolge van de aanwezigheid van zoutrijk grondwater op geringe diepte. Ik verwijs hier naar de Cl-cijfers van de in den genoemden polder opgevangen drainwater-monsters in tabel 16 en naar hetgeen daaromtrent op blz. 228 werd opgemerkt. Door capillaire stijging van het zoutrijke grondwater was ook de bouwvoor, naar men mag aannemen, met keukenzout verrijkt.

Ik vestig er nog de aandacht op, dat er tweemaal een duidelijke val in de Cl-concentratie optreedt, n.l. bij het begin en bij het einde der periode van krachtige nitrificatie (zie tabel 1). Ik geloof niet, dat dit verschijnsel enig verband houdt met de nitrificatie: het samenvallen met begin en einde der nitrificatie-periode is *toeval*. Beide plotselinge dalingen worden m.i. veroorzaakt door regenval en regenverdeling en derhalve door drainwaterafvoer; de cijfers betreffende de drainage (zie tabel 1) wijzen trouwens wel in deze richting.

Reeds enkele malen wees ik er op, dat het Cl ten opzichte van de uitspoeling een bijzondere plaats inneemt. Bij de beantwoording van de vraag,

¹⁾ Er komen soms belangrijk hogere cijfers voor. Zoo werd van 11 Sept. 1921—1 Maart 1922 25,7 mg gevonden. Vermoedelijk doet zich hier, evenals bij andere abnormaal hoge cijfers, de invloed van de nabijheid der groote stad en van fabrieken gevoelen.

in hoeverre in een bepaalde periode verschillen in het gehalte van het drainwater aan een of ander bestanddeel, of verschillen in de hoeveelheden, welke in een bepaalde periode uit de afzonderlijke lysimeters uitspoelden, toegeschreven moeten worden aan verschillen in drainwater-debiet dan wel aan den invloed van verschil in N-bemesting, is het van veel belang de cijfers te kunnen vergelijken met die voor het Cl. Ik geef daarom alsnog in tabel 25a de gehaltecijfers voor het Cl en in tabel 25b de uitgespoelde hoeveelheden Cl in de opeenvolgende perioden.

TABEL 25a

*Gemiddeld Cl-gehalte van het drainwater der afzonderlijke lysimeters
in 5(3)-jarige perioden (mg/l)*
*Average Cl-content of the drainage waters collected from the separate lysimeters
in 5 (3)-year periods*

	Lysimeters:								Gemiddeld (Mean)			
	1	2	3	4	5	6	7	8	1 en 5 (NH ₄) ₂ SO ₄	2 en 4 NaNO ₃	3 en 6 NH ₄ NO ₃	7 en 8 Ca(NO ₃) ₂
Bebouwd, bemest (Cropped, manured)												
Juli '18-Juni '23	89,0	81,9	95,9	95,6	90,7	96,8	90,5	92,4	89,9	88,0	96,4	91,4
Juni '23-Juni '28	10,4	9,2	9,8	10,6	8,3	10,0	10,1	10,0	9,4	9,9	9,9	10,1
Juni '28-Sept. '33	18,1	16,3	15,7	15,7	19,4	17,2	16,7	17,6	18,7	16,0	16,4	17,1
Onbebouwd, onbemest (Fallow, unmanured)												
Sept. '33-Sept. '36	14,1	12,5	13,0	12,9	14,2	12,8	12,9	13,0	14,2	12,7	12,9	12,9
Sept. '36-Dec. '38	Met grondwater (With watertable)				Vrije waterafvoer (Free waterdischarge)							
	17,1	14,6	14,5	14,0	14,2	14,0	13,7	13,8				

Zooals deze tabel leert, zijn de onderlinge verschillen gering. Indien men de gehaltecijfers vergelijkt met de drainwaterdebiet-cijfers uit tabel 36, dan valt er meermalen verband tusschen deze cijfers te bespeuren, zooals te verwachten is.

De hoogere gehalte-cijfers in de periode 1928—1933 vergeleken met de voorafgaande periode worden verklaard door de omstandigheid, dat in deze periode ongeveer 60 kg meer Cl per ha met den regen in den grond kwam, hetgeen bij een debiet van 1000 mm drainwater een verhooging moet geven van 6 mg/l.

In tabel 25b zijn vermeld de uit de afzonderlijke lysimeters uitgespoelde hoeveelheden Cl, uitgedrukt in procenten van de gemiddelde hoeveelheid in de betreffende periode.

TABEL 25b

*Uitgespoelde hoeveelheden Cl in procenten van het gemiddelde
voor de betreffende periode*

Quantities of chlorine leached out in the different periods in percentage of the average quantity

I.

	Lysimeters:								Gem. hoev. in g
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Juli '18—Juni '23 .	92,9	104,4	104,4	98,5	102,1	103,5	97,3	97,0	63,1
Juni '23—Juni '28 .	106,2	98,0	105,3	108,8	79,5	103,7	105,6	92,9	9,8
Juni '28—Sept. '33 .	105,4	103,9	106,1	92,1	102,4	103,5	95,9	90,7	15,6
Sept. '33—Sept. '36 .	104,5	97,7	104,2	96,8	100,3	103,9	95,6	96,9	11,4
	Met grondwater (With watertable)				Vrije waterafvoer (Free waterdischarge)				
Sept. '36—Dec. '38 .	103,0	96,4	101,7	98,9	98,5	110,4	96,0	95,0	12,5 13,2

II.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Juli 1918—September 1936								
Drainage in l .	3413	3746	3720	3437	3281	3565	3449	3239
% v. h. gem. .	98,1	107,6	106,9	98,7	94,2	102,4	99,1	93,0
Grammen Cl .	97,472	102,956	104,738	98,343	99,701	103,554	97,712	95,397
% v. h. gem. .	97,5	103,0	104,8	98,4	99,7	103,6	97,7	95,4
mg per liter .	28,6	27,5	28,2	28,6	30,4	29,1	28,3	29,5
Juni 1923—September 1936								
Drainage in l .	2755	2941	3033	2786	2570	2890	2770	2577
% v. h. gem. .	98,7	105,4	108,7	99,8	92,1	103,6	99,3	92,3
Grammen Cl .	38,858	37,047	38,836	36,164	35,264	38,242	36,297	34,374
% v. h. gem. .	105,3	100,4	105,3	98,0	95,6	103,7	98,4	93,2
mg per liter .	14,1	12,6	12,8	13,0	13,7	13,2	13,1	13,3

Indien men met een ideaal uitloogingsproces te maken had, zou men ondanks de verschillen in drainwaterdebiet mogen verwachten, dat er uit alle acht lysimeters in perioden van enkele jaren gelijke hoeveelheden chloor zouden uitspoelen. Uit de cijfers in tabel 25b ziet men, dat dit niet het geval is.

Vergelijkt men de procentcijfers voor de uitgespoelde hoeveelheden met de procentcijfers voor het drainwaterdebiet in de jaren 1918—1936 (zie tabel 25b, II), dan blijkt er een zekere overeenstemming te bestaan: bij hooger debiet dan het gemiddelde wordt meer, bij lager debiet wordt minder Cl dan de gemiddelde hoeveelheid uitgespoeld. M. a. w., het gehalte van het drainwater is vrijwel constant en stijgt niet overeenkomstig de verhouding, waarin de hoeveelheid afgevoerd drainwater kleiner wordt, de doorlatendheid dus afneemt.

Misschien doet men beter de eerste 5-jarige periode, toen de doorlatendheid van den grond nog niet normaal — dit geldt althans voor de beide eerste jaren — en het Cl-gehalte nog abnormaal hoog was, uit te schakelen. Beschouwt men dus de periode 1923—1936, dan blijkt, dat het bovenstaande ten naastebij geldt voor de lysimeters 3 tot en met 8. De lysimeters 1 en 2 maken echter een uitzondering op dezen regel. Lysimeter 1 gaf minder drainwater af dan het gemiddelde, desniettegenstaande lag de uitgespoelde hoeveelheid chloor in diezelfde periode ruim 5 % boven het gemiddelde. Blijkbaar is dus, tengevolge van de minder snelle beweging van het water door den grond, het Cl-gehalte nogal gestegen (zie ook tabel 25a). Bij de lysimeters 5 en 8 met een nog langzamere waterbeweging heeft dit, door onbekende oorzaak, niet plaats gehad.

Bij lysimeter 2 met een hoog waterdebiet spoelde slechts weinig meer dan de gemiddelde hoeveelheid Cl uit; hier moet men dus denken aan snel afstroomen van regenwater door vrij wijde kanalen in den grond, waarbij de gelegenheid tot het opnemen van oplosbare verbindingen uit den grond gering was.

In de laatste jaren is het Cl-gehalte van het drainwater in overeenstemming met dat van het regenwater; het oorspronkelijk uit het grondwater afkomstige Cl is dus sedert enkele jaren uitgespoeld. Het regenwater, tusschen 1 September 1934 en 1 December 1938 opgevangen, bevatte n.l. gemiddeld 7 mg Cl per l. In dezen tijd bleef de grond onbebouwd, er werd dus geen chloor door de gewassen aan den grond onttrokken. Aangezien de hoeveelheid drainwater in deze periode gemiddeld 57 % van den regenval bedroeg, moet het gehalte van het drainwater dus $100/57 \times 7 = 12,3$ mg/l zijn geweest. In werkelijkheid was het gemiddelde Cl-gehalte van het drainwater sedert September 1934 13,4 mg, zoodat er dus thans wel nagenoeg een evenwichtstoestand schijnt te zijn ingetreden.

Bij de bespreking van het SO_3 -gehalte wees ik er reeds op, dat men zoowel bij dit bestanddeel als bij het Cl van den beginne af een *daling* en niet een aanvankelijke stijging zou verwachten (blz. 241). De overeenstemming van

de SO_3 - met de Cl-lijn in fig. 9 wijst erop, dat men hier voor beide bestanddeelen een gemeenschappelijke oorzaak moet aannemen, welke naar mijn meening hierin gelegen is, dat de grond tijdens het vullen met SO_3 - en Cl-arm leidingwater werd verzadigd (blz. 241).

Bijzondere aandacht zou ik willen vragen voor de *onverwacht langzame daling van het Cl-gehalte van het drainwater*. Eerst op het einde van 1923, dus 5 jaren na den aanvang der proef, bereikt het Cl-gehalte een hoogte, welke meer in overeenstemming is met het Cl-gehalte van het regenwater. *De uitloosing van den voorraad chloriden in den grond is, ondanks de voor uitloosing zoo gunstige omstandigheden bij deze lysimeters (vrije waterafvoer), derhalve een proces, dat, bij deze grondsoort althans, meerdere jaren in beslag neemt.*

Dit is een bevestiging van de juistheid der veronderstelling, dat de waterbeweging in kleihoudende gronden — bij zandgronden is de toestand waarschijnlijk anders — vrijwel uitsluitend plaats heeft door in den grond aanwezige kanalen (wortelkanalen, wormgangen, krimpscheuren) en dat de zoutbeweging uit het inwendige van den grond naar het water in de kanalen plaats vindt door het zoo langzaam verloopende proces der diffusie.

Tabel 26 geeft een duidelijk beeld van het uitspoelingsproces. Hierin is telkens voor 3-jarige perioden de verrijking van den grond met Cl door het regenwater naast het verlies aan Cl door drainage en gewassen gesteld. Nu blijkt, dat in de beide eerste driejarige perioden het verlies aanmerkelijk grooter is dan de winst. Van de 5 volgende perioden vertoonen er 2 een winst.

TABEL 26

Chloor-huishouding in den grond der Groninger lysimeters
Cl-balance for the soil in the lysimeters at Groningen

Periode September—September	R mm	D mm	Cl kg per ha		
			Winst (Gain) R	Verlies (<i>Loss</i>) D + gewas (D + crop)	Vershil (Difference)
Bebouwd (<i>Cropped</i>)					
1918—1921.	1995	489	121	748	+ 627
1921—1924.	2027	557	166	281	+ 115
1924—1927.	2363	552	155	178	+ 23
1927—1930.	1928	400	146	128	— 18
1930—1933.	2442	918	183	271	+ 88
Onbebouwd (<i>Fallow</i>)					
1933—1936.	2105	974	129	128	— 1
1936—1 Dec. 1938 . . .	1686	1064	120	149	+ 29

Bij de periode 1927—1930 is deze klaarblijkelijk een gevolg van de geringe hoeveelheid drainwater, welke werd afgevoerd, terwijl de regenval niet in dezelfde verhouding daalde. Bovendien was de Cl-opname door de gewassen in deze periode gering t. o. v. die in de andere perioden (84 tegen gemiddeld 132 kg per ha). In 3 der laatste 5 perioden is het verlies echter nog grooter dan de winst, zoodat men den indruk krijgt, dat het evenwicht met den Cl-toevoer in het regenwater zich nog niet volkomen heeft ingesteld en dat er tot December 1938 nog een zeker surplus was.

Maar hoe dit ook zij, in ieder geval mag men uit de cijfers in de laatste kolom de conclusie trekken, dat de aanvankelijk in den grond aanwezige Cl-voorraad eerst na 6 jaren grootendeels was uitgespoeld.

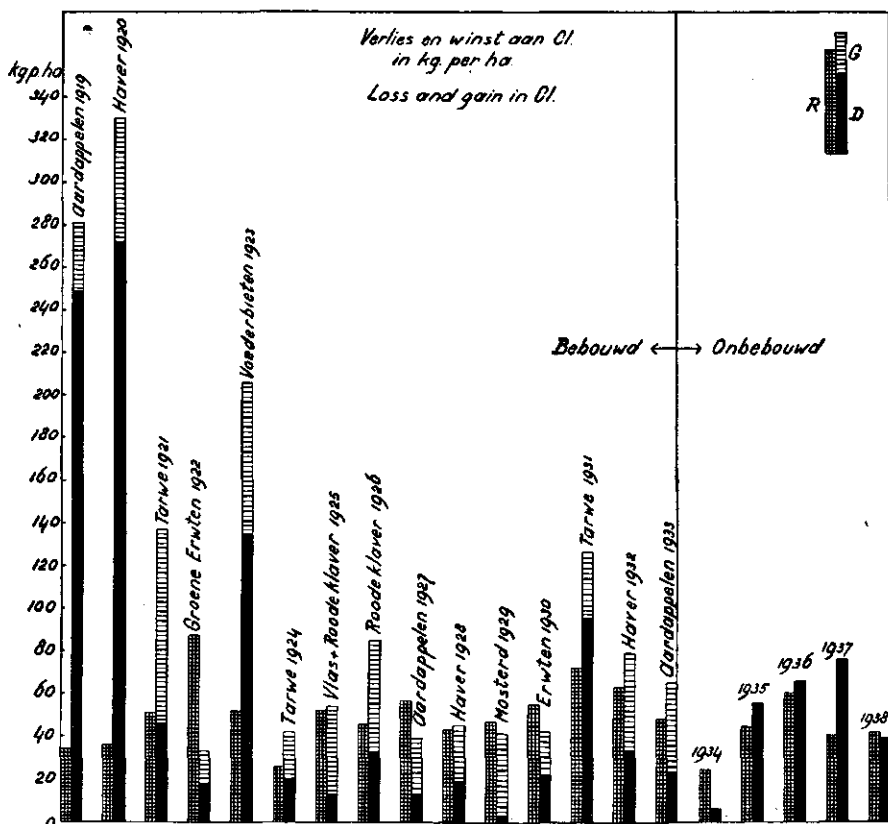
Of een periode van 3 jaar lang genoeg is om de verschillen, welke tengevolge van schommelingen in regenval en regenverdeling en tengevolge van verschil in Cl-opname door de gewassen tusschen winst en verlies kunnen optreden, te nivelleren, zal de toekomst moeten leeren.

Fig. 10 stelt de jaarlijksche verliezen (gewas en drainwater) en winsten (regenwater) aan Cl aanschouwelijk voor. Men ziet er uit, dat, met uitzondering van 1922, tot en met 1926 de jaarlijksche verliezen grooter zijn dan de winsten. Het schijnt dus wel, dat er ongeveer acht jaren noodig zijn geweest om den aanvankelijk aanwezigen chloor-voorraad uit te spoelen.

Uit de hier gebleken onverwacht langzame uitspoeling van de zoo oplosbare chloriden zou men kunnen afleiden, dat, althans bij *kleihoudende* gronden, de vrees voor snelle uitspoeling van op den akker gebrachte in water oplosbare bemestingszouten, b.v. chilisalpeter, ongegrond is, dat in ieder geval het gevaar voor verlies door uitspoeling, abnormale omstandigheden daargelaten, veelal sterk overdreven wordt. In meerdere mate zou dit natuurlijk gelden voor ammonium- en kalizouten, waarvan de waardevolle bestanddeelen door de klei geadsorbeerd worden. Hierbij moet men echter toch bedenken, dat het effect eener bemesting wellicht voor een deel verband houdt met haar aanwezigheid *in het zaadbed*. En dan rijst de vraag, of een geringe benedenwaartsche verplaatsing door zwaren regenval toch het effect der bemesting niet zou kunnen verkleinen.

Na 1 September 1923 treedt nog slechts éénmaal, n.l. van 1 September 1929—1 December 1930 (drainwatermonsters 45—47) een stijging van het Cl-gehalte van eenige beteekenis op. Als men nu ziet, dat ook bij N, SO_3 , CaO en MgO (bij K_2O slechts bij anal. 46, doch merkwaardigerwijze niet bij Na_2O) in deze periode een stijging valt waar te nemen, dan ligt de veronder-

stelling voor de hand, dat regenval en drainage in de voorafgaande periode een hogere concentratie van het drainwater veroorzaakten.



Figuur 10

R = Winst aan Cl in regenwater
Gain of Cl in rainwater

G + D = Verlies aan Cl in gewas en drainwater (resp. drainwater alleen)
Loss of Cl in crops and drainwater (resp. drainwater only)

Uit de kolom voor de drainage (D) in tabel 1 (zie ook fig. 6) nu blijkt, dat vanaf 1 Maart 1928 tot 1 September 1929 weinig drainwater afvloeide, in totaal slechts 59,3 mm of evenveel liters per m². Hiermede werd gemiddeld over de 8 bakken gerekend 510 mg Cl per m² uitgespoeld, terwijl er met de 830 mm regen 7758 mg per m² in den grond kwam, zoodat de grond verrijkt werd met 7758 — 510 = 7248 mg Cl.

In de daaropvolgende periode, September 1929—1 December 1930, vloeide 295,4 mm af. De drainwatervorming ging in deze periode geregeld door,

zij het in de zomermaanden van 1930 ook langzaam; slechts in September en November 1929 gaven de lysimeters geen water af. De omstandigheden waren dus gunstig voor de uitspoeling van de 7248 mg Cl, waarmee in de voorafgaande periode de voorraad in den grond steeg. Verondersteld, dat deze hoeveelheid Cl in deze periode volkomen zou zijn uitgespoeld, dan zou dit een verhooging met 24,5 mg per liter beteekenen, waarmee de gevonden gehaltecijfers voor Cl, nl. 24, 34 en 29 bij de analyses 45—47 m. i. wel verklaard zijn.

Voor den invloed van de handhaving van grondwater in de lysimeters op de Cl-uitspoeling kan ik verwijzen naar tabel 25 en hetgeen daaromtrent reeds op blz. 253 gezegd werd. Op de Cl-uitspoeling heeft de aanwezigheid van grondwater nagenoeg geen invloed; het iets geringere drainwaterdebiet bij de lysimeters met grondwater ($\pm 4\%$) zal het Cl-gehalte nauwelijks verhoogen.

§ 5. HET GEHALTE VAN HET DRAINWATER AAN FOSFORZUUR (P_2O_5)

Bij de vele elders verrichte drainwateranalyses werd bijna steeds gevonden, dat fosforzuur afwezig of slechts in geringe sporen aanwezig was. Ook bij de Groninger lysimeters werd deze ervaring opgedaan. De verliezen aan dit bestanddeel door uitspoeling zijn uiterst gering: in de periode 1918—1933 ging, berekend per ha, gemiddeld slechts 100 g P_2O_5 per jaar verloren. En dit verlies komt dan nog voor rekening der eerste jaren, toen meermalen te bepalen hoeveelheden P_2O_5 in het drainwater werden aangetroffen. Vermoedelijk houdt dit verband met de reductieprocessen, welke toen in den grond optraden; ik kom hier later nog op terug, als het gehalte aan ijzer en mangaan ter sprake komt, in verband met de aanvankelijk in den grond optredende reductie (zie § 9, blz. 289).

Met het oog op de verliezen aan plantenvoedende stoffen moge het P_2O_5 -gehalte van het drainwater ons dus niet interesseeren, als aanduiding voor een minder overvloedige aëratie, voor een minder goede doorlatendheid van den grond voor lucht en water, kan het toch wellicht van belang zijn er aandacht aan te schenken.

§ 6. HET GEHALTE VAN HET DRAINWATER AAN KIEZELZUUR (SiO_2)

De gehalte-cijfers voor dit bestanddeel schommelen in de periode 1918—1933 tusschen 11 en 25, terwijl het gehalte gemiddeld 16,7 mg/l bedraagt. In de daaropvolgende onbebouwde periode liggen de cijfers tusschen 17 en 26 mg/l en bedraagt het gemiddelde 22,7. Vermoedelijk is het verschil tusschen de beide gemiddelde cijfers een gevolg van het opnemen van belangrijke hoeveelheden kiezelzuur door de gewassen.

De variatie in het SiO_2 -gehalte is dus gering, ook in de periode van krachtige nitrificatie.

In hoofdstuk II, § 4, kom ik nader op het SiO_2 terug.

§ 7. HET GEHALTE VAN HET DRAINWATER AAN KALI EN NATRON (K_2O EN Na_2O)

a. *Daling van het gehalte aan beide bestanddeelen en schommelingen in de gehaltecijfers*

Bij beschouwing van de beide betreffende lijnen in fig. 5 blijkt, dat er tusschen het verloop dezer lijnen een zekere overeenkomst bestaat. Het gehalte aan beide bestanddeelen begint op een tamelijk hoog niveau; na 5 jaren volgt een daling. Bij Na_2O treedt dit echter meer naar voren dan bij K_2O (zie ook de cijfers in tabel 1).

Vanaf December 1923 blijven beide lijnen een neiging tot verdere daling vertoonen; de overeenkomst tusschen de lijnen is nu nog duidelijker.

De hoofdrichting der lijnen vindt men terug in de cijfers van tabel 27. Hierin zijn voor de opeenvolgende perioden de gehalten berekend van de gedurende die perioden uit de gezamenlijke lysimeters afgevoelde hoeveelheden drainwater.

TABEL 27

Gehalten aan K_2O en Na_2O van het drainwater in meerjarige perioden
 K_2O - and Na_2O -content of the drainage water collected in several year periods

Anal. n°.	Periode	D mm	K ₂ O	Na ₂ O	K ₂ O	Na ₂ O
			g per m ²		mg/l	
Bebouwd (<i>Cropped</i>)						
2—18	September 1918—September 1920	404,2	19,239	39,681	47,6	98,2
19—27	Januari 1921—September 1923 ¹⁾ .	388,7	23,483	48,654	60,4	125,2
28—51	September 1923—September 1933	2123,6	60,821	82,745	28,6	39,0
Onbebouwd (<i>Fallow</i>)						
55—64	September 1936—1 Maart 1939					
	Lysimeters 5—8	1255,4	15,184	20,520	12,1	16,3
	Lysimeters 1—4 met grondwater (with groundwater)	1114,1	20,784	30,929	18,7	27,8

¹⁾ Periode van krachtige nitrificatie — *Period of strong nitrification.*

De daling van het gehalte aan K_2O en Na_2O in den loop der jaren treedt hier duidelijk naar voren.

In de tweede periode, dat is die der krachtige nitrificatie, is het gehalte echter beslist hooger dan in de voorafgaande, hetgeen trouwens ook in tabel I

te zien is. Men is misschien geneigd om tusschen de sterke nitrificatie (sulfocatie) en de verhooging der kali- en natroneijfers een *direct* verband te leggen. Immers, zoo zal men redeneeren, voor de binding van de in deze periode gevormde ruime hoeveelheden salpeterzuur en zwavelzuur zijn basen noodig; dit kunnen ook K en Na zijn, al blijkt wel, zooals we later zullen zien, dat vooral Ca uit den ruim aanwezigen voorraad CaCO_3 tot binding der gevormde zuren heeft gediend. Straks zullen we echter zien, dat men in de eerste plaats aan een *indirect* verband met de versterkte nitrificatie zal moeten denken.

Opgemerkt dient te worden, dat de plotselinge stijging van het N- en SO_3 -gehalte bij drainwater (anal.) 19 zich slechts zwak in de gehaltecijfers voor K_2O en Na_2O afspiegelt, terwijl het CaO -gehalte wel sprongsgewijze omhoog gaat. Het is evenwel mogelijk, en de cijfers in tabel 27 maken dit wel waarschijnlijk, dat de gehalten aan K_2O en Na_2O van het begin af dalende waren en dat hierdoor dus de stijging, tengevolge van de versterkte nitrificatie en sulfocatie, verdoezeld werd. Deze veronderstelling vindt ook steun in het feit, dat na de periode van krachtige nitrificatie de K_2O - en Na_2O -cijfers wel een plotselinge *daling* vertoonen (zie tabel 1).

Thans is nog de vraag te beantwoorden: hoe komt het gehalte aan K_2O en Na_2O aanvankelijk zoo hoog? Hiervoor moet wel een bijzondere reden bestaan. De oorzaak is m. i. ten deele dezelfde als die voor het aanvankelijk hoge Cl-gehalte van den grond, te weten: de aanwezigheid van zoutrijk grondwater op geringe diepte. Voor Na_2O ligt dit evenzeer voor de hand als voor Cl, gezien het hoge gehalte van het zeewater aan NaCl. Maar ook voor het K_2O -gehalte geldt dit, niettegenstaande het kaligehalte van het zeewater zeer veel geringer is (100 mol NaCl tegen ruim 2 mol KCl). Echter dient men hierbij in het oog te houden, dat het adsorptie-complex in den grond K bindt, en wel sterker dan Na; het is dus in de gelegenheid geweest uit het betrekkelijk kalirijke grondwater K op te nemen.

Het adsorptievermogen van den grond verklaart nog meer verschijnselen, die wij hier waarnemen.

Indien Na evenmin geadsorbeerd werd als Cl, zou men een groote overeenkomst in de uitspoeling der beide ionen mogen verwachten. We zien echter, dat de concentratie van het niet geadsorbeerde Cl-ion in het drainwater spoedig snel daalt, terwijl die van het Na-ion nog hoog blijft. Hoe is dit te verklaren?

Een deel van het natrium is, evenals het chloor, in het bodemvocht aanwezig, maar daarnaast bevatte de grond aanvankelijk een aanmerkelijke hoeveelheid adsorptief gebonden Na. Dit Na werd verdrongen door Ca en dit zal vooral plaats gehad hebben in de periode van sterke nitrificatie, toen het bodemvocht zeer rijk was aan calciumnitraat en -sulfaat.

Hetzelfde geldt voor K. De hoogere K_2O - en Na_2O -gehalten in deze periode (zie tabel 27) zijn dus niet in de eerste plaats een gevolg van de aantasting van de mineralen door het in ruime mate geproduceerde salpeter- en zwavelzuur, maar door verdringing van deze bestanddeelen uit het complex.

Hetgeen hier in den grond der lysimeters plaats greep, is dus te vergelijken met de verandering, welke in de zeeklei na bedijking optreedt, te weten: de omzetting van natron(kali)-klei in kalk-klei.

Ik vestig er nog de aandacht op, dat althans bij het Na_2O aanvankelijk een stijging van het gehalte plaats vindt. Ik zou hiervoor dezelfde verklaring willen geven als voor de aanvankelijke stijging van het Cl-gehalte, n.l. de verdringing van het bij het invullen van den grond toegevoegde Na-arme leidingwater (blz. 241). Maar ook moet hier gedacht worden aan de toenemende verdringing van Na uit het complex door de toenemende Ca-concentratie van het bodemwater, tengevolge van toenemende CO_2 -productie (zie de CO_2 - en CaO-cijfers in tabel 1).

Uit fig. 5 blijkt, dat de K_2O -lijn meerdere verheffingen vertoont, welke corresponderen met, zij het ook minder sterke, verheffingen in de Na_2O -lijn. In tabel 1 ziet men, dat deze hoge concentratiecijfers voor beide bestanddeelen optreden in de drainwatermonsters 10, 23, 31, 42 en 44. Deze monsters zijn afkomstig uit zomermaanden met een zeer gering drainwaterdebiet. Ware de oorzaak uitsluitend in de laatste omstandigheid gelegen, dan zou ook de concentratie der andere bestanddeelen, althans van het chloor, hooger moeten zijn, en dit blijkt niet steeds zoo te zijn.

Ook in de overige monsters van zomerdrainwater werden hoogere K_2O -cijfers gevonden, hoewel deze niet zoo onmiddellijk in het oog springen; in al deze gevallen was het drainwaterdebiet ruimer.

De hoogere K_2O -cijfers in het zomerdrainwater treden ook op in de jaren, dat de lysimeters niet bebouwd werden, tenminste bij de lysimeters 5—8 (zie de anal. 58, 61 en 62). Dat deze verschillen bij de lysimeters 1—4 met grondwater niet teruggevonden worden, vindt zijn oorzaak in de aanwezigheid van ruim 100 liter grondwater, waardoor concentratie-veranderingen van de bodemvloeistof vertraagd en verzwakt in het overvloeiende grondwater optreden.

Wat is de oorzaak van dit verschijnsel? Aan den invloed van de gewassen gedurende den zomer hoeft men niet te denken, want ook in den onbebouwd grond treedt het verschijnsel op. Ook niet aan het geringe drainwaterdebiet, dat in den zomer vrijwel regel is, want uit tabel 1 blijkt, dat er geen verhoogde K_2O (en Na_2O)-cijfers optreden, indien in andere deelen des jaars

weinig drainwater afvloeit. Blijft er dus geen andere mogelijkheid ter verklaring over, dan een invloed van de temperatuur aan te nemen? De zomers van de jaren 1919, 1922, 1924 en 1928 met zeer hoge kalieijfers, waren echter geenszins warme zomers.

Ik moet hier nog even terugkomen op de boven gemaakte opmerking, dat bij de lysimeters met grondwater de schommelingen in de samenstelling van het drainwater vertraagd en verzwakt in de analyses tot uiting komen. Dit is voor de bestudeering van veranderingen in de samenstelling van het drainwater, die plotseling optreden en van korten duur zijn, een nadeel. Om deze te kunnen waarnemen dient de inrichting van lysimeters met grondwater zoo gemaakt te worden, dat de hoeveelheid grondwater zoo klein mogelijk is; het grind- en zandbed zal men dus niet dikker mogen maken dan noodig is om te voorkomen, dat gronddeeltjes meegevoerd worden en aanleiding zouden kunnen geven tot verstopping van den afvoer. Maar hoe klein men de hoeveelheid grondwater ook maakt, toch zullen de concentratieveranderingen in het neerzijgende water door dit grondwater min of meer afgebufferd worden. Bij lysimeters met vrijen waterafvoer is men in dit opzicht steeds in gunstiger condities.

Het spreekt echter vanzelf, dat men ook met de lysimeters 1—4 de veranderingen over langeren termijn kan bestudeeren en ook berekeningen omtrent de uitspoeling kan uitvoeren, mits men de perioden maar niet te kort neemt.

Zoo is m. i. de onderaan in tabel 27 uitgevoerde berekening van de gemiddelde gehalten aan K_2O en Na_2O van het gedurende de periode September 1936—1 Maart 1939 uit de lysimeters 1—4 opgevangen drainwater wel gerechtvaardigd en er bestaat m. i. geen bezwaar tegen, deze cijfers met die voor de lysimeters 5—8 in dezelfde periode te vergelijken. Doet men dit laatste, dan ziet men, dat 1—4 (met grondwater) hoogere cijfers hebben gegeven dan 5—8 (met vrijen afvoer). Hoe moet dit verklaard worden? Zou men ook hier niet moeten denken aan de meer volledige uitwisseling van beide basen tegen kalk in de blijvend met capillair water gevulde onderste grondlaag in de lysimeters 1—4, waarin het contact tusschen de kalkhoudende vloeistof en de gronddeeltjes dus inniger en langduriger is dan bij het neer dalende en onmiddellijk uit den grond wegvloeiende water bij de lysimeters 5—8?

Bij de beoordeeling van het belangrijke verschil tusschen de Na_2O -cijfers (27,8 tegen 16,3 mg/l) moet men bedenken, dat de lysimeters 2 en 4 tot en met 1933 steeds bemest werden met $NaNO_3$, terwijl geen der lysimeters 5—8 een natriumzout ontvingen.

b. Na_2O -verliezen uit de lysimeters met NaNO_3 -bemesting in vergelijking met die der overige lysimeters

In tabel 28 zijn de Na_2O -cijfers voor de afzonderlijke lysimeters in opeenvolgende perioden vermeld. ¹⁾ Zij stelt ons in staat den invloed van de NaNO_3 -bemesting, welke de lysimeters 2 en 4 in de jaren 1923 tot en met 1933 ontvingen, op het Na_2O -gehalte van het drainwater na te gaan, evenals dit bij tabel 18 het geval was t. o. van de SO_3 -cijfers voor de bakken 1 en 5, welke de stikstof als ammoniumsulfaat ontvingen.

TABEL 28

Gemiddeld Na_2O -gehalte van het drainwater der afzonderlijke lysimeters in 5(3)-jarige perioden (mg/l)
Average Na_2O -content of the drainage waters collected from the separate lysimeters in 5(3)-year periods (mg/l)

	Lysimeters:								2 en 4		1, 3, 5, 6, 7, 8			
	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem. (Mean) Na_2O kg/ha		Gem. (Mean) Na_2O kg/ha			
Bebouwd (Cropped)														
Juli 1918—Juni 1923 . . .	114	106	111	110	109	111	111	112	108		312	111	152	
Juni 1923—Juni 1928 . . .	47	47	41	56	40	45	50	47	51		225	45	—	
Juni 1928—Sept. 1933 . . .	31	45	26	47	31	27	26	27	46		442	28	—	
Onbebouwd (Fallow)														
Sept. 1933—Sept. 1936 . . .	27	42	23	43	27	24	24	24	43		—	25	—	
	Met grondwater (With watertable)								Vrije afvoer (Free waterdischarge)					
	1	2	3	4	Gemiddeld			5	6	7	8	Gem.		
					2 en 4		1 en 3							
Sept. 1936—Jan. 1938 . . .	22	38	21	37	37		21	17	17	16	17	17		
Jan. 1938—Dec. 1938 . . .	23	33	20	32	32		21	18	16	16	16	16		

¹⁾ Als NaNO_3 -bemesting — As NaNO_3 -manuring.

Om te beginnen zij nog even de aandacht gevestigd op de reeds besproken sterke daling, welke de Na_2O -cijfers in den loop van het 20-jarig onderzoek ondergingen.

In de eerste 5-jarige periode zijn de verschillen tusschen de lysimeters

¹⁾ Deze cijfers zijn weer berekend door de in de onderscheidene perioden uitgespoelde hoeveelheden Na_2O in mg te deelen door het aantal liters drainwater, dat in die perioden door de afzonderlijke bakken werd afgegeven.

onderling gering. Er was toen feitelijk ook nog geen verschil in de bemesting; in 1918 en 1920 ontvingen immers (zie tabel 45 op blz. 306) *alle* lysimeters een bemesting met NaNO_3 , waarmede 152 kg Na_2O per ha in den grond werd gebracht. Eerst vanaf Mei 1923 werd verschil gemaakt in de N-bemesting; de lysimeters 2 en 4 kregen toen voor de eerste maal de stikstof in den vorm van NaNO_3 , waarmede, berekend per ha 160 kg Na_2O in den grond kwam. Deze bemesting kan nog geen merkbaaren invloed gehad hebben op de samenstelling van het drainwater in deze periode, die enkele weken later werd afgesloten.

In de tweede 5-jarige periode, waarin 2 en 4 alle jaren met uitzondering van 1926 (roode klaver) NaNO_3 ontvingen, heeft het drainwater van 4 wel het hoogste gehalte, maar dat van 2 wordt nog door het gehalte van 7, die echter geen NaNO_3 -bemesting ontving, overtroffen. Gemiddeld ligt het gehalte van 2 en 4 echter boven dat van de overige bakken, terwijl in de voorafgaande periode het omgekeerde het geval was.

Het is merkwaardig, dat in de eerste 5 jaren der bemesting met NaNO_3 de invloed op het Na_2O -gehalte van het drainwater zoo gering is, in ieder geval veel kleiner dan in de volgende perioden. Vordert het transport van het in de *bouwvoor* gebrachte Na-zout tot op diepte van 1 m zooveel tijd en speelt de adsorptie daarbij een rol?

Om nog wat nauwkeuriger na te gaan, wanneer de invloed van de NaNO_3 -bemesting zich in de samenstelling van het drainwater doet gevoelen, is in tabel 29 de tweede periode in afzonderlijke jaren gesplitst.

TABEL 29

Milligrammen Na_2O per liter

Jaren Maart—Maart	Lysimeters:								Gemiddeld	
	1	2	3	4	5	6	7	8	2 en 4	overige
1923—1924.	80	73	78	99	72	83	90	94	86	83
1924—1925.	36	35	36	41	30	39	50	48	38	40
1925—1926.	58	53	48	52	44	52	52	51	53	51
1926—1927.	45	46	37	49	41	41	46	45	47	42
1927—1928.	34	41	31	45	34	34	34	40	43	34

Uit deze tabel blijkt, dat eerst in het vijfde jaar bij de lysimeters 2 en 4 een duidelijk hooger Na_2O -cijfer gevonden wordt. In het eerste jaar staat het gemiddelde voor 2 en 4 sterk onder den invloed van het abnormaal hooge Na_2O -gehalte in het drainwater van 4; er is reden om te vermoeden, dat dit cijfer te hoog werd gevonden, aangezien bij deze analyse (no. 29) de som der basenaequivalenten een meer dan normale afwijking vertoonde van de som der zuur-aequivalenten.

In de derde 5-jarige periode (tabel 28) stijgt het Na_2O -gehalte bij de lysimeters 2 en 4 aanmerkelijk boven dat in het drainwater der overige lysimeters.

Dit verschil handhaaft zich, ook nadat in het voorjaar 1933 voor het laatst NaNO_3 werd toegediend, nog 3 jaar lang. Ja, zelfs in het jaar 1938 is het verschil nog duidelijk, zooals uit de cijfers onderaan in tabel 28 blijkt, dat is dus 5 jaren nadat voor het laatst NaNO_3 werd gegeven.

Om nog een beter beeld te geven van het lot van het aan 2 en 4 in den vorm van NaNO_3 toegevoegde natrium, worden in tabel 30, evenals vroeger

TABEL 30

Na_2O -verlies in grammen der met NaNO_3 bemeste lysimeters 2 en 4 in vergelijking met dat der overige lysimeters

Na_2O -loss in grams (drainage and crop) from the lysimeters 2 and 4 (NaNO_3 -manuring since 1923) in contradistinction to the Na_2O -loss from the other lysimeters (without NaNO_3)

	Bebouwd, gelijk bemest (Cropped, same manuring)	Bebouwd (Cropped)		Onbebouwd (Fallow) Onbemest (Unmanured)	
	Juli 1918 tot Juni 1923	Juni 1923 tot Juni 1928	Juni 1928 tot Sept. 1933	Sept. 1933 tot Sept. 1936	Sept. 1936 tot Dec. 1938
Uitgespoeld met drainwater (Removed by drainage)					
Gem. voor } 2 en 4	78,654	53,064	44,030	37,260	30,320
Average for } 2 en 4					
Idem 1, 3, 5, 6, 7, 8 . .	75,014	45,423	25,258	21,540	17,406 ¹⁾
Meer uitgespoeld bij 2 en 4 (Leached out more from 2 and 4)	3,640	7,641	18,772	15,720	12,914
Totaal 55,047					
Onttrokken door de gewassen (Removed by the crops)					
	1919—1922	1923—1933			
Gem. voor } 2 en 4	3,633	43,633			
Average for } 2 en 4					
Idem 1, 3, 5, 6, 7, 8 . .	3,700	38,818			
2 en 4 meer (More removed by 2 and 4)	— 0,067	4,815			

Meerder verlies aan Na_2O der lysimeters 2 en 4) $55,047 + 4,815 = 59,862$ g of
tusschen 1 Juni 1923 en 1 December 1938: } 81 % v. h. ingebrachte Na_2O .
(From June 1923 till December 1938 the lysimeters } (81 % of the Na_2O added as
2 and 4 lost more Na_2O than the other :) } nitrate of soda.)

¹⁾ = gemiddelde voor de lys. 1 en 3, evenals 2 en 4 met grondwater.

voor het SO_3 , de Na_2O -verliezen berekend voor de lysimeters 2 en 4 eenerzijds en de overige lysimeters anderzijds.

In de jaren 1923 tot en met 1933 ontvingen de lysimeters 2 en 4 in den vorm van NaNO_3 73,88 g Na_2O . Tot 1 December 1938 werd hiervan nog slechts 59,862 g met het drainwater uitgespoeld en door de gewassen opgenomen. Dus $5\frac{1}{2}$ jaar nadat de laatste bemesting met NaNO_3 plaats vond (April 1933) was er nog 14,02 g of rond 19 % van het ingebrachte Na_2O in den grond der lysimeters aanwezig.

Deze berekening is opgezet in de veronderstelling, dat de gemiddelde Na_2O -uitspoeling van 2 en 4 gelijk zou zijn geweest aan die der overige lysimeters, indien geen bemesting met NaNO_3 had plaats gehad. In hoeverre deze veronderstelling als juist beschouwd mag worden, kan men eenigermate beoordeelen aan de hand der Cl-uitspoeling. Tabel 31 geeft, evenals tabel 21 in de paragraaf betreffende de SO_3 -uitspoeling, de gemiddelde Cl-verliezen voor 2 en 4 en voor de overige lysimeters.

Nu leeren de cijfers in tabel 31, dat de Cl-uitspoeling uit de lysimeters 2 en 4 in de beschouwde perioden slechts weinig verschilt van de gemiddelde Cl-uitspoeling uit de overige lysimeters in dezelfde perioden; alleen in de voorperiode is het verschil wat grooter.

TABEL 31

Met het drainwater uitgespoelde hoeveelheden Cl in grammen
Quantities of Cl (grams) leached out with the drainage water

	Juli 1918 tot Juni 1923	Juni 1923 tot Juni 1928	Juni 1928 tot Sept. 1933	Sept. 1933 tot Sept. 1936	Sept. 1936 tot Dec. 1938
Gem. voor Average for Idem 1, 3, 5, 6, 7, 8 .	64,044	10,183	15,305	11,085	12,230
2 en 4	62,817	9,733	15,715	11,531	12,818
Vershil (Difference) .	1,227	0,450	— 0,410	— 0,446	— 0,588

De berekening, in tabel 30 ten aanzien van de Na_2O -uitspoeling uitgevoerd, was dus wel verantwoord. Berekent men echter ten overvloede met deze cijfers uit de Na_2O -cijfers voor de lysimeters 1, 3, 5, 6, 7, 8, hoeveel er gemiddeld uit de lysimeters 2 en 4 uitgespoeld zou zijn, *indien er geen NaNO_3 -bemesting gegeven ware*, en brengt men deze hoeveelheden vervolgens in mindering van hetgeen in werkelijkheid uit 2 en 4 met het drainwater werd afgevoerd, dan krijgt men de in tabel 32 vermelde cijfers.

TABEL 32

	Juni 1923 tot Juni 1928	Juni 1928 tot Sept. 1933	Sept. 1933 tot Sept. 1936	Sept. 1936 tot Dec. 1938
Gemiddeld uitgespoeld uit 2 en 4 .	53,064	44,030	37,260	30,320
Berekende uitspoeling zonder NaNO_3 - bemesting	47,523	24,599	20,707	16,608
Meer uitgespoeld bij 2 en 4 tengevolge van bemesting met NaNO_3 . . .	5,541	19,431	16,553	13,712
Meer uitgespoeld uit 2 en 4 van Juni 1923—December 1938	55,237 g Na_2O			
Met de gewassen meer aan 2 en 4 onttrokken	4,815 „ „			
Totaal	60,052			

Zooals men ziet bedraagt het totale meerdere Na_2O -verlies tengevolge van de NaNO_3 -bemesting volgens deze berekening 60,052 g tegen 59,862 g volgens de berekening in tabel 30. We mogen dus wel aannemen, dat er op 1 December 1938 nog 19 % van het in den grond gebrachte Na_2O aanwezig was.

c. *Verrijking van den grond met Na door herhaalde bemesting met NaNO_3 en de beteekenis daarvan voor de cultuur*

Uit het voorafgaande blijkt dus duidelijk, dat bemesting met NaNO_3 den grond met Na verrijkt, doch niet slechts tijdens de jaren, dat deze meststof toegediend wordt, maar nog gedurende meerdere jaren nadat men deze meststof door een andere, natriumvrije, meststof vervangen heeft. Dit treedt bij de lysimeterproeven reeds bij een 10-jarige aanwending van NaNO_3 op treffende wijze naar voren. In het landbouwbedrijf, waar men, toen chilisalpeter nog de belangrijkste stikstofmeststof was, in meerdere streken deze meststof enkele tientallen jaren achtereen vrij regelmatig op den grond bracht, zal zich dientengevolge in den grond een natriumvoorraad gevormd hebben, die zelfs vele jaren nadat het chilisalpeter door andere N-meststoffen op den achtergrond gedrongen werd, nog niet uitgeput was.

Voor den plantengroei was dit niet zonder beteekenis. Want, hoewel bijna steeds aan het natrium in het chilisalpeter weinig aandacht geschonken werd en men dit bestanddeel — gevangen als men zat in den ban van de N-P-K-voedingstheorie voor de planten — bloot als een „ballast-stof” beschouwde, zoo is het Na voor de cultuurgewassen toch niet van zoo weinig belang als men in 't algemeen wel meent. Ik moge hier voor de vervanging van K door Na in de plant verwijzen naar mijn publicatie n°. 55 der

literatuurlijst. In een volgende publicatie (53, blz. 639—641) wees ik erop — gezien de hogere bemestingswaarde, welke aan NaNO_3 boven $\text{Ca(NO}_3)_2$ blijkens de resultaten van een veeljarige bemestingsproef moest toegekend worden — dat de voorrang, welken eerstgenoemde N-meststof boven kalksalpeter en andere N-meststoffen verdient, aan de beteekenis van het Na-ion voor den plantengroei zal moeten worden toegeschreven.

Verder sprak ik in deze publicatie het vermoeden uit, dat het sedert 1925 meer en meer aan den dag treden van kaligebreksverschijnselen op de Groninger zavelgronden, mede een gevolg is van het verminderd gebruik van chilisalpeter. De invloed van het uitgeput raken van den natriumvoorraad in den grond, gevormd door jarenlang chilisalpeter-gebruik, zal zich eerst na een reeks van jaren hebben doen gevoelen. Men dient er dus op bedacht te zijn, dat vergelijkende bemestingsproeven op gronden, waarin deze voorraad nog niet is uitgeput, mogelijk geen zuiver beeld zullen geven van de waarde der natriumvrije N-meststoffen.

Een en ander moge dus een aansporing zijn om aan de beteekenis van het natrium voor onze cultuurgewassen meer aandacht te schenken en om zich niet zonder meer van dit element af te wenden door het als „ballaststof” te brandmerken. Hier moge nog verwezen worden naar een onlangs verschenen publicatie van v. ITALLIE (39a).

Naast dezen gunstigen invloed van het natrium uit de meststoffen dient hier echter ook de minder gunstige werking van het natrium op de structuur van kleihoudende gronden vermeld te worden. Deze laatste openbaart zich door verslempen van den grond bij gebruik van natriumhoudende meststoffen, b.v. chilisalpeter, vooral op kalkarme gronden. Ook deze werking van het Na-ion zal dus nog meerdere jaren na het stopzetten van geregelde bemesting met chilisalpeter kunnen optreden, als de weersomstandigheden daarvoor gunstig zijn.

§ 8. HET GEHALTE VAN HET DRAINWATER AAN KALK EN MAGNESIA (CaO EN MgO)

a. *De gehaltecijfers in de verschillende proefperioden*

Bij beschouwing van de CaO -cijfers blijkt, dat ook bij deze belangrijke verschillen optreden: zij schommelen tusschen 190 (anal. 57) en 904 (anal. 24) mg per liter.

Kort na het in werking stellen der lysimeters beginnen de aanvankelijk vrij lage cijfers te stijgen. Na ruim 2 jaren treedt plotseling een belangrijke stijging op (anal. 19), die ongeveer 3 jaar later door een sterke daling wordt gevolgd.

Een en ander blijkt ook duidelijk uit tabel 33, waarin voor de opeen-

volgende hoofdperioden de gemiddelde gehaltecijfers voor de 8 lysimeters berekend zijn. De hoge cijfers tijdens de periode van krachtige nitrificatie, maar ook die uit de daaraan voorafgaande eerste periode, keeren dus na September 1923 niet meer terug. Dit geldt zoowel voor CaO als voor MgO, bestanddeelen tusschen welker gehalte-cijfers, zooals we nog zullen zien, een nauwe betrekking blijkt te bestaan.

TABEL 33

Gehalten aan CaO en MgO van het drainwater in de verschillende perioden
CaO- and MgO-content of the drainage waters collected in successive periods

Anal. n°.	Periode	D mm	CaO	MgO	CaO	MgO
			g per m²		mg/l	
Bebouwd (<i>Cropped</i>)						
2—18	September 1918—September 1920	404	225,141	23,573	557	58
19—27	Januari 1921—September 1923 (Krachtige nitrif. <i>Strong nitrif.</i>)	389	319,996	25,845	823	67
28—51	September 1923—September 1933	2124	687,872	48,765	324	23
Onbebouwd (<i>Fallow</i>)						
55—64	September 1936—Maart 1939					
	Lysimeters 5—8	1255	330,155	21,614	263	17
	Lysimeters 1—4 met grondwater (<i>with watertable</i>)	1114	325,533	23,075	292	21

De hoge CaO-cijfers in de eerste paar jaren zijn toe te schrijven aan de reeds besproken hoge CO₂-productie in deze jaren.

Er bestaat, gezien de plotselinge stijging van het CaO-gehalte bij het intreden der nitrificatieperiode en de plotselinge daling aan het einde dezer periode, dus blijkbaar verband tusschen de hoeveelheden CaO en de hoeveelheden N en SO₃ in het drainwater (zie ook fig. 5). Dit verband behoeft ons uit den aard der zaak niet te verwonderen: tijdens de krachtige salpeterzuur- en zwavelzuurvorming in de periode van Januari 1921 tot September 1923 was er ook veel base noodig om de gevormde zuren te binden en dat daarvoor het rijkelijk in den grond aanwezige CaCO₃ in de eerste plaats dienst heeft gedaan, spreekt vanzelf.

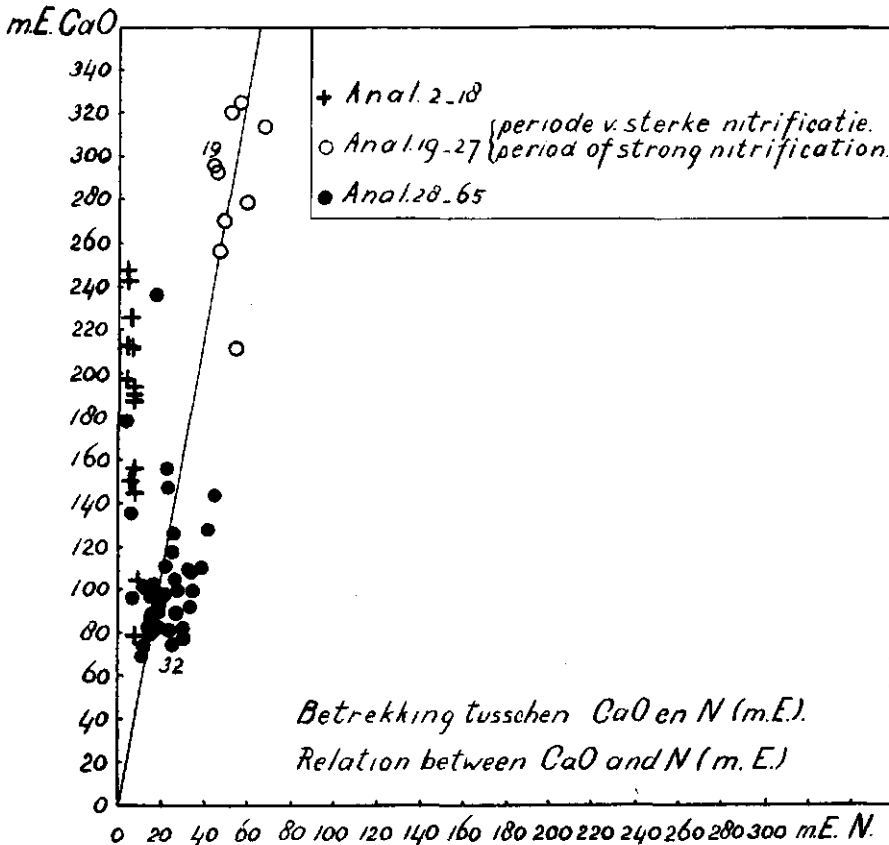
Zooals we reeds zagen, was de verhooging van het gehalte aan K₂O en Na₂O in de periode van versterkte nitrificatie slechts gering. In dit opzicht onderscheiden deze beide basen zich van CaO.

Ook later ziet men verband tusschen N-gehalte en CaO-gehalte van het drainwater. Zoo gaan de verhoogde N-cijfers bij de analyses 33 en 34 ¹⁾ en

¹⁾ Ook drainwater 32 heeft reeds een verhoogd N-cijfer doch geen hooger CaO-cijfer. Op blz. 175 werd echter reeds uiteengezet, dat er gegronde reden bestaat om aan te nemen, dat het in drainwater 32 gevonden CaO-cijfer *te laag* is.

45—48 ook weer met hogere CaO-cijfers gepaard. Dit verband bestaat echter niet in alle gevallen en dit spreekt ook wel vanzelf, omdat de hoeveelheid CaO, welke in een bepaalde periode oplost, niet slechts afhankelijk is van de gevormde hoeveelheid salpeterzuur, maar ook van het gevormde koolzuur en zwavelzuur.

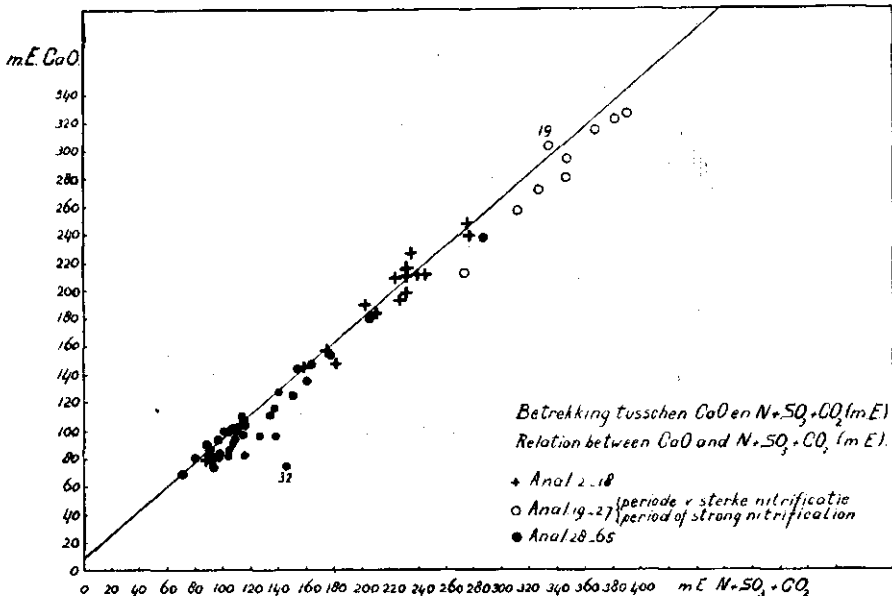
Zoo ziet men, dat in de periode vóór de krachtige nitrificatie, toen weinig salpeterzuur, doch veel koolzuur gevormd werd, de hoeveelheden CaO t. o. v. de hoeveelheden N zeer hoog zijn. Duidelijk springt dit in 't oog als men de betrekking tusschen de aequivalenten N en CaO grafisch uitzet; de punten voor de analyses 4—18 nemen dan een afwijkende positie in (zie fig. 11¹⁾, evenals die voor enkele andere analyses (28—30, 21, 47 en 53).



Figuur 11

¹⁾ Zie ook fig. 1a.

mindere mate het geval is. Vermoedelijk is dit daaraan toe te schrijven, dat in de bedoelde periode, toen het drainwater zeer rijk aan Ca-ionen was,



Figuur 13

geadsorbeerde K-, maar vooral door den grond geadsorbeerde Na-ionen tegen Ca-ionen werden uitgewisseld.

TABEL 34

*Samenstelling van het drainwater in opeenvolgende perioden,
uitgedrukt in milliequivalenten per 10 liter*

Composition of the drainage waters collected in the successive periods (milliequivalents per 10 liter)

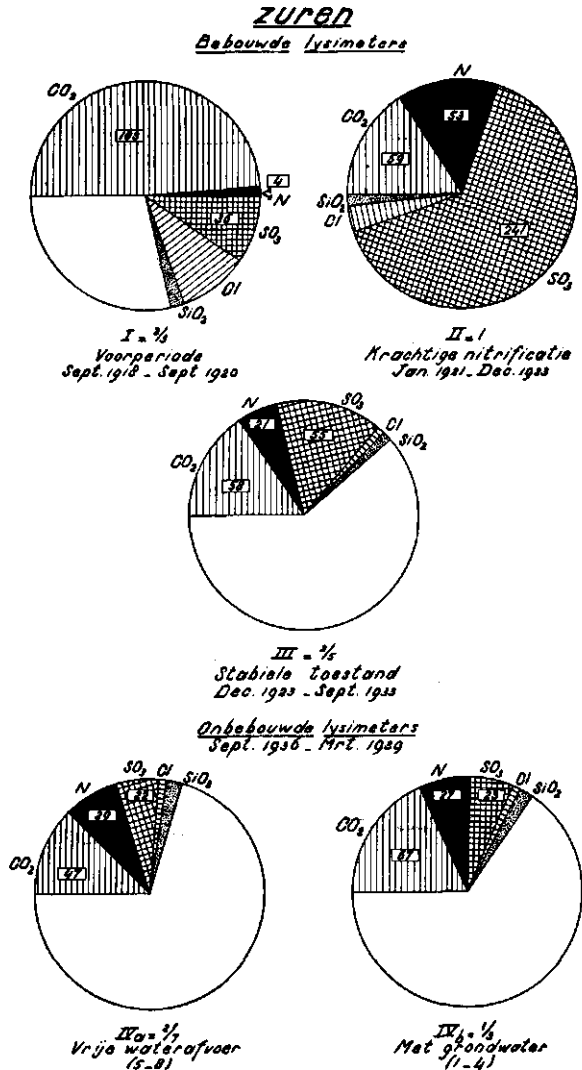
Anal. n°.		CO ₂	N	SO ₃	Som	CaO	MgO	Som	Cl	SiO ₂	Som	K ₂ O	Na ₂ O	Som	Z-B
Bebouwd (Cropped)															
2-18	1918-1920	183	4	36	223	199	29	228	36	7	43	10	32	42	4
19-27 ¹⁾	1921-1923	59	53	241	353	294	33	327	14	6	20	13	40	53	7
28-51	1923-1933	58	21	55	134	116	11	127	4	5	9	6	13	19	3
Onbebouwd (Fallow)															
55-64	1936-1939														
	Lys. 5-8 ²⁾ . . .	47	29	22	98	94	9	103	4	8	12	3	5	8	1
	" 1-4 ³⁾ . . .	67	27	23	117	104	10	114	4	7	11	4	9	13	+1

¹⁾ Periode van krachtige nitrificatie — Period of strong nitrification.

²⁾ Vrije waterafvoer — Free water discharge.

³⁾ Met grondwater. — With watertable.

In fig. 14 zijn de gehaltcijfers uit tabel 34 grafisch weergegeven. Op deze wijze krijgt men in één oogopslag een duidelijk beeld van de essentiële ver-



Grafiek der samenstelling van het drainwater in achtereenvolgende perioden (mE p. 101)

I = First period
II = Period of strong nitrification } Cropped
III = Stationary state

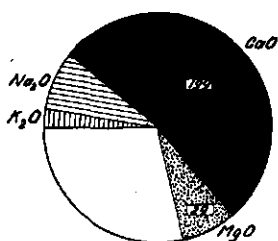
Toelichting: Het totaal oppervlak der ingevulde sectoren is een maat voor
beslaan de zuren resp. basen het geheele ci
19:

The total surface of the filled up sectors is a measure for the concentration of the drain
complete are

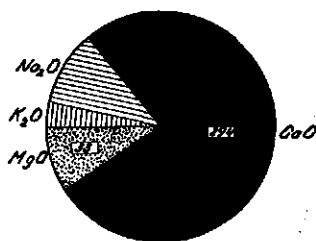
schillen in de samenstelling van het drainwater in de opeenvolgende perioden. Men lette b.v. bij de zuren op het overheerschen van SO_3 en N in de periode

BASEN

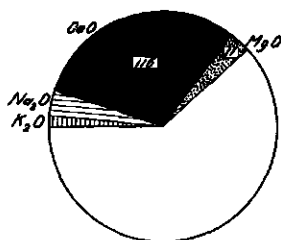
Bebouwde lysimeters



I. $\frac{2}{5}$
Voorperiode
Sept. 1918 - Sept. 1920

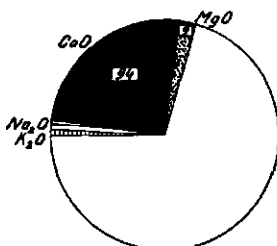


II. 1
Krachtige nitrificatie
Jan. 1921 - Dec. 1923

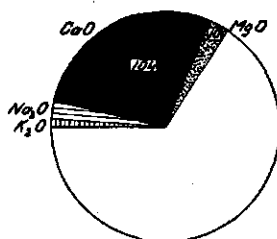


III. $\frac{2}{5}$
Stabiele toestand
Dec. 1923 - Sept. 1925

Onbebouwde lysimeters Sept. 1926 - Mrt. 1929



IVa. $\frac{2}{5}$
Vrije waterafvoer
(5-6)



IVb. $\frac{2}{5}$
Met grondwater
(1-4)

phs representing the composition of the drainage water in successive periods (m.E. p. 10 liter)

IVa = Free waterdischarge
IVb = With groundwater table
B = Bases
Z = Acids

concentratie van het drainwater. In de periode met de hoogste concentratie (II) ervlak (zie verhoudingsgetallen onder de cirkels).

m.E. In the period with the highest concentration (II) the bases resp. acids fill the circle.

van krachtige nitrificatie en sulfocatie, terwijl CO_2 , dat in de voorafgaande periode zoo'n groote plaats innam, op den achtergrond treedt. Ook ziet men het Cl-gehalte vanaf het begin duidelijk afnemen.

Bij de basen treedt de overheerschende positie van de kalk naar voren. Verder ziet men, dat de aanvankelijk reeds hooge kalkconcentratie in de nitrificatieperiode nog toeneemt, doch daarna afneemt. Het afnemen van de natriumconcentratie is ook duidelijk zichtbaar.

b. De invloed van den aard der N-bemesting op het CaO-gehalte van het drainwater

Invloed der N-bemesting op het Ca-(basen-)verlies van den grond is ongetwijfeld te verwachten en bij herhaald gebruik van zwavelzuren ammoniak uit dit zich ook, althans bij gronden met een gering bufferend vermogen, door een daling van het pH-getal, terwijl de door de bemesting veroorzaakte veranderingen in den grond zich dikwerf afspiegelen in de ontwikkeling der gewassen.

Op het zavelproefveld in den tuin van het Proefstation te Groningen kon een grootere daling van het CaCO_3 -gehalte der bouwvoor van de gedurende het tijdvak 1911—1933 jaarlijks met $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ bemeste veldjes tegenover de met NaNO_3 bemeste veldjes aangetoond worden. Dat men in dergelijke gevallen te maken heeft met de uitspoeling van kalk in den vorm van CaSO_4 , ligt voor de hand.

Bij bemesting met NH_4NO_3 kan men tengevolge van de nitrificatie der ammoniakstikstof en de vorming van een molecuul $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ uit ieder molecuul van genoemde stikstofverbinding, stijging van het CaO-gehalte van het drainwater en dus kalkverlies verwachten, tenzij deze bemesting tengevolge heeft, dat er een hoeveelheid N méér opgenomen wordt, die minstens aan de toegevoegde hoeveelheid gelijk is waarbij de opgeloste kalk weer in CaCO_3 overgaat.

Hetzelfde geldt voor een bemesting met $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Ook deze kan een stijging van het CaO-gehalte van het drainwater tengevolge hebben, tenzij deze bemesting een vermeerdering der N-opname door het gewas, die minstens gelijk is aan die, welke de nitraat-N voorraad in den grond door de bemesting ondergaat, tengevolge heeft.

Bemesting met NH_4NO_3 of met $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ komt dus in dit opzicht op hetzelfde neer, met dit onderscheid, dat bij laatstgenoemde bemesting de kalkvoorraad in den grond eenigszins wordt aangevuld, hetgeen bij den grond der lysimeters met circa 7 % CaCO_3 van geen beteekenis is. ¹⁾ Het zou echter

¹⁾ Bij kalkarme gronden kan de kalk in den vorm van kalksalpeter in den grond gebracht praktisch wel van beteekenis zijn. Ik denk hier aan oude, dus kalkarme slempige zavelgronden.

kunnen zijn, dat het tenslotte uit het $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ gevormde CaCO_3 ¹⁾ (hetzelfde geldt voor het bij bemesting met NH_4NO_3 en $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ gevormde CaCO_3) door grotere fijnheid *sneller* in het CO_2 -houdende bodemvocht zou oplossen, dan het van huis uit in den grond aanwezige CaCO_3 .

Bij NaNO_3 liggen de feiten anders. Hier blijft, als de planten het NO_3 -ion hebben opgenomen, Na-carbonaat, waarschijnlijker is Na-bicarbonaat, in den grond achter, hetgeen de oplosbaarheid van het CaCO_3 eenigermate kan terugdringen.

De gang van zaken is hierboven vermoedelijk wel te simpel voorgesteld. In een milieu als de bouwgrond, waarin adsorptie en uitwisseling een rol spelen en dat bevolkt is met een heirleger van micro-organismen, zullen de processen, naar men mag aannemen, wel veel gecompliceerder zijn, zoodat de resultaten wel eens geheel anders zouden kunnen zijn dan die, welke men op grond van redeneeringen als boven zou verwachten.

Tabel 35 geeft een overzicht van het CaO-gehalte van het drainwater in de opeenvolgende perioden in verband met de verschillen in de stikstofbemesting.

In de eerste periode, toen de bemesting nog voor alle lysimeters dezelfde was, is het gemiddelde gehalte van het drainwater voor de bakken 1 en 5 vrijwel gelijk aan dat der bakken 7 en 8; bij de overige bakken is het gehalte wat lager.

In de tweede 5-jarige periode, toen de lysimeters twee aan twee een verschillende N-bemesting ontvingen, valt op lager niveau ongeveer hetzelfde op te merken, met dit onderscheid echter, dat het verschil met de bakken 2—4 en 3—6 grooter is, terwijl het cijfer voor 7—8 boven dat voor 1—5 uitkomt.

In de derde 5-jarige periode is het gehalte voor de met $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ bemeste bakken echter duidelijk hooger dan dat voor de overige bakken. Dit verschil handhaaft zich in de daaropvolgende 3-jarige periode, waarin de lysimeters geen bemesting meer ontvingen, daar ze onbebouwd bleven. Zelfs in de periode 1 September 1936—1 December 1938 is nog een verschil in deze richting merkbaar.

Deze hoogere kalkcijfers voor de lysimeters 1 en 5 schijnen op een versterkte kalkuitspoeling onder invloed der bemesting met zwavelzuren ammoniak te wijzen. Toch blijft er reden tot twijfel bestaan, of men deze verschillen wel op rekening van genoemde meststof mag stellen. Ik heb er n.l. reeds enkele malen op gewezen, dat over 't algemeen bij de lysimeters, welke de geringste

¹⁾ Het is natuurlijk zeer de vraag, of het wel tot de vorming van CaCO_3 komt; veel waarschijnlijker is de vorming van calciumbicarbonaat.

TABEL 35

Gemiddeld CaO-gehalte van het drainwater der afzonderlijke lysimeters in 5(3)-jarige perioden (mg/l)

Average CaO-content of the drainage waters collected from the separate lysimeters in 5 (3)-year periods (mg/l)

	Lysimeters:								Gemiddeld (Mean)			
	1	2	3	4	5	6	7	8	1 en 5 (NH ₄) ₂ SO ₄	2 en 4 NaNO ₃	3 en 6 NH ₄ NO ₃	7 en 8 Ca(NO ₃) ₂
Bebouwd, bemest (Cropped, manured)												
Juli 1918—Juni 1923 .	690	639	684	700	682	669	718	655	685	666	677	687
Juni 1923—Juni 1928 .	354	304	331	359	351	321	357	374	352	331	326	365
Juni 1928—Sept. 1933 .	349	283	307	296	355	310	314	325	352	289	308	320
Onbebouwd, onbemest (Fallow, unmanured)												
Sept. 1933—Sept. 1936 .	353	300	325	320	347	302	305	314	350	310	313	310
	Met grondwater (With watertable)					Met vrije waterafloop (With free waterdischarge)						
	1	2	3	4	Gem. 2, 3 en 4	5	6	7	8	Gem. 6, 7 en 8		
Sept. 1936—Dec. 1938 .	299	283	282	284	283	264	252	252	275	259		
Jan. 1938—Dec. 1938 .	299	293	296	292	293	284	263	264	295	273		

hoeveelheid drainwater afgeven, tengevolge van geringere doorlatendheid van den grond (zie deel I, blz. 86), de hoogste gehaltecijfers optreden, daar het water langer in contact blijft met den grond.

Om na te gaan in hoeverre er verband bestaat tusschen de CaO-cijfers en het drainwaterdebiet der afzonderlijke lysimeters, zijn in tabel 36 de debiet-cijfers, uitgedrukt in procenten van het gemiddelde, vermeld voor dezelfde periodes.

Uit deze cijfers nu blijkt, dat het debiet der lysimeters 1 en 5 en 7—8 in 't algemeen lager is dan dat van de overige lysimeters. Uit dien hoofde mogen we dus reeds bij de lysimeters 1 en 5 en 7—8 hogere cijfers verwachten en wij zien, dat dit bij Cl ook inderdaad het geval is (zie tabel 25b, II).

In de eerste periode, waarin nog geen verschil bestond in N-bemesting, zijn de verschillen in de gehaltecijfers in overeenstemming met die in de debietcijfers.

TABEL 36

Drainwaterdebiet der afzonderlijke lysimeters in procenten van het gemiddelde debiet voor alle lysimeters in de opeenvolgende perioden ¹⁾

Drainage from the separate draingauges calculated as percentages on the average drainage from the gauges in successive periods

	Lysimeters								Gemiddeld (Mean)			
	1	2	3	4	5	6	7	8	1 en 5 (NH ₄) ₂ SO ₄	2 en 4 NaNO ₃	3 en 6 NH ₄ NO ₃	7 en 8 Ca(NO ₃) ₂
Bebouwd (Cropped)												
Juli 1918—Juni 1923 .	95,3	116,5	99,4	94,2	102,9	97,6	98,3	95,9	99,1	105,4	98,5	97,1
Juni 1923—Juni 1928 .	100,0	104,8	105,3	101,0	93,5	101,9	102,1	91,5	96,8	102,9	103,6	96,8
Juni 1928—Sept. 1933 .	98,7	108,5	115,2	99,9	89,8	102,6	97,5	87,7	94,3	104,2	108,9	92,6
Onbebouwd (Fallow)												
Sept. 1933—Sept. 1936 .	97,3	102,7	105,8	98,5	92,9	106,6	97,9	98,2	95,1	100,6	106,2	98,1
	Met grondwater (With watertable)					Vrije waterafvoer (Free waterdischarge)						
	1	2	3	4	Gem. 2, 3 en 4	5	6	7	8	Gem. 6, 7 en 8		
	90,3	99,0	105,0	105,8	103,3	96,6	109,9	97,7	95,7	101,1		

De hoogere gehaltecijfers voor 1 en 5 in de drie volgende perioden zullen ongetwijfeld ten deele verklaard moeten worden uit het geringe debiet dezer lysimeters, maar mogelijk wijzen de cijfers voor de derde en vierde periode toch ook wel op een verhoogd CaO-gehalte van het drainwater tengevolge van de bemesting met (NH₄)₂SO₄. Deze verhooging zou dan ook nog in de drie jaren na het stopzetten der bemesting optreden; bij de SO₃-uitspoeling neemt men hetzelfde waar (blz. 239).

Gezien de moeilijkheden, welke zich bij de interpretatie dezer gehaltecijfers voordoen, laat ik hier nog een overzicht volgen van de *hoeveelheden* CaO, welke in de genoemde perioden uitspoelden.

¹⁾ Bij de berekening der procentcijfers werd geen rekening gehouden met de geringe verschillen in oppervlakte tusschen de lysimeters onderling. De invloed daarvan is echter gering. Zoo vindt men bij de tweede periode met toepassing dezer correctie resp. 99,8 — 104,7 — 105,5 — 100,8 — 93,2 — 101,9 — 102,4 en 91,7 %.

TABEL 37

*Uitgespoelde hoeveelheden CaO in procenten van het gemiddelde
voor de betreffende periode*

Quantities of CaO leached out in the different periods in percentages of the average quantity

	Lysimeters:								Gem. hoeveel- heid in grammen
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	I								
Juli 1918—Juni 1923 . . .	96,8	109,7	100,2	97,1	103,3	96,2	104,0	92,6	468,9
Juni 1923—Juni 1928 . . .	103,2	92,8	101,4	105,8	95,6	95,3	106,3	99,6	344,2
Juni 1928—Sept. 1933 . . .	109,1	97,2	111,9	93,5	100,7	100,4	96,9	90,3	290,4
Sept. 1933—Sept. 1936 . . .	107,3	96,2	107,3	98,5	100,8	100,4	93,2	96,4	278,2
	Met grondwater (With watertable)				Vrije waterafvoer (Free waterdischarge)				
Sept. 1936—Dec. 1938 . . .	94,4	97,0	104,5	104,2	98,5	105,1	95,7	100,7	155,3 170,8
	II. Juni 1923—September 1936								
Drainage in liters	2755	2941	3033	2786	2570	2890	2770	2577	
% v. h. gemiddelde	98,7	105,4	108,7	99,8	92,1	103,6	99,3	92,3	
Grammen CaO	970,5	869,4	972,4	909,8	901,9	898,9	906,5	873,2	911,5
% v. h. gemiddelde	106,3	95,2	106,5	99,7	98,8	98,5	99,3	95,7	

Volgens deze tabel ligt de hoeveelheid CaO, welke uit lysimeter 1 vanaf Juni 1923, toen kort tevoren tot verschil in de N-bemesting werd overgegaan, uitspoelde, duidelijk boven de gemiddelde hoeveelheid. Bij lysimeter 5 is dit echter niet het geval. In de periode 1923—1936 verloor 1 ruim 6 % meer CaO dan de gemiddelde hoeveelheid, lysimeter 5 echter ruim 1 % minder (tabel 37, II).

Vergelijkt men deze cijfers met die voor de Cl-uitspoeling in tabel 25 b, II, dan blijkt, dat ook van dit bestanddeel lysimeter 1 meer, n.l. 5,3 %, heeft afgegeven dan de gemiddelde hoeveelheid voor alle lysimeters, terwijl voor lysimeter 5 het bedrag 4,4 % beneden het gemiddelde ligt. Men vergelijke ook de anders cijfers voor CaO met die voor het Cl-verlies.

Van 1923—1933 zou het uit het $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ gevormde zwavelzuur 66,86 g CaO gebonden kunnen hebben. Lysimeter 1 gaf in de periode 1923—1936 970,515 g CaO af, d. i. 65,5 g meer dan het gemiddelde voor de lysimeters, welke geen $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ontvingen. Lysimeter 5 gaf in dezelfde

periode 901,912 g CaO af of 3,1 g *minder* dan het gemiddelde voor de overige lysimeters.

Als men dit alles overweegt, rijst er twijfel ten aanzien van de vraag, welke men aanvankelijk op grond van de gehaltecijfers uit tabel 35 allicht meende bevestigend te moeten beantwoorden, te weten de vraag, *of de bemesting met zwavelzuren ammoniak de kalkuitspoeling wel bevorderde.*

Gezien de bovenvermelde feiten ben ik thans geneigd deze vraag ontkennend te beantwoorden, hoe vreemd dit velen, vertrouwd met „de ont-kalkende werking van zwavelzuren ammoniak” ook in de ooren moge klinken.¹⁾

Ik breng hier in herinnering hetgeen ik op blz. 249 schreef in verband met het tegenovergestelde verloop van het CO₂- en van het N- en SO₃-gehalte van het drainwater. Ik veronderstelde, dat het door bacteriologische processen gevormde salpeter- en zwavelzuur in de eerste plaats gebonden zou worden door het in den grond in oplossing aanwezige Ca-hydrocarbonaat en pas in de tweede plaats door onopgelost CaCO₃. Ditzelfde moet dan ook gelden voor het door het nitrificatie-proces uit (NH₄)₂SO₄ gevormde salpeter- en zwavelzuur. *Volgens deze voorstelling brengt het gevormde zwavelzuur dus geen nieuwe hoeveelheid CaO in oplossing, doch verbindt het zich met kalk, die anders als hydrocarbonaat zou zijn uitgespoeld.*

Men kan zich den gang van zaken ook zóó voorstellen, dat zoodra het ammoniumsulfaat in de Ca-bicarbonaat houdende bodemvloeistof komt, zich ammoniumcarbonaat vormt, dat ten deele snel genitrificeerd, ten deele door het klei-humus-complex geadsorbeerd wordt. Het resultaat is echter hetzelfde.

Met nadruk moet ik erop wijzen, dat men deze beschouwing niet op andere grondsoorten moet overdragen: de ontkalkende werking van zwavelzuren ammoniak is bij tal van grondsoorten met te groote zekerheid vastgesteld geworden dan dat daaraan zou zijn te twijfelen. Maar dit zijn alle *kalkarme* gronden! Bij gronden, waarbij het in den grond circuleerende water steeds een ruime hoeveelheid Ca-hydrocarbonaat bevat, doordat in den grond niet alleen een ruime voorraad CaCO₃ aanwezig is, maar tevens een krachtige CO₂-productie steeds zorgt voor de vorming van Ca-hydrocarbonaat, mag men echter verwachten, dat bemesting met ammoniumsulfaat geen vermeerdering van de uitspoeling van kalk tengevolge heeft.

¹⁾ De aandacht zij erop gevestigd, dat hier de grond in zijn geheel, tot een diepte van 1 m, beschouwd wordt. Een sterkere uitspoeling der kalk bij bemesting met ammoniumsulfaat aan de *oppervlakte*, is hiermee niet uitgesloten. Deze kalk moet dan echter, indien deze uitspoeling bij de lysimeters heeft plaats gehad, weer dieper in den grond zijn afgezet of vastgelegd. Bij de lysimeters 1 en 5 kon echter geen sterkere ontkalking der bouwvoor worden aangetoond (zie de tabellen 101, 105, 106 en 107).

Bij gronden, welke geen CaCO_3 bevatten, zal bij bemesting met ammonium-sulfaat Ca uit het complex tegen NH_4 uitwisselen en dus kalk-mobiel worden. Ook zal Ca uitgewisseld worden tegen H-ionen van het gevormde salpeter- en zwavelzuur.

Het is geenszins buitengesloten, dat er kleigronden bestaan, waarin weliswaar een ruime voorraad CaCO_3 aanwezig is, maar waarbij de CO_2 -productie, door welke oorzaak dan ook, zoo gering is, dat de koolzure kalk slechts langzaam gemobiliseerd wordt. Bij dergelijke gronden zou bemesting met zwavelzuren ammoniak de mobilisatie van kalk, met als gevolg vermeerderde kalkuitspoeling, wel kunnen bevorderen. Ik denk hier in de eerste plaats aan de kleigronden der Zuidhollandsche- (en Zeeuwsche-) eilanden. Reeds vroeger (58) heb ik de aandacht gevestigd op het, den ouderdom in aanmerking genomen, hooge gehalte aan CaCO_3 dezer kleigronden en opperde ik enkele veronderstellingen omtrent de mogelijke oorzaken. Onder meer wees ik op de mogelijkheid, dat slechte ontwatering, waardoor ook de CO_2 -productie, en dienvolge de vorming van Ca-hydrocarbonaat, in den grond geremd kan worden, een vertraging in de ontkalking veroorzaakt kan hebben.

Dit was echter slechts een veronderstelling. *Voor een juist inzicht in het ontkalkingsproces, hetwelk bij verschillende gronden dus met zeer verschillende intensiteit verloopt, is een studie van het mineralisatieproces, waarbij koolzuur, salpeterzuur en zwavelzuur gevormd worden, van het grootste belang. Het is zeer gewenscht, dat de voornaamste Nederlandsche grondsoorten in dit opzicht met elkander vergeleken worden!*

Ik acht het niet buitengesloten, dat hierbij zou blijken, dat in de rivierkleigronden, waartoe ook de gronden op de Zuidhollandsche eilanden grootendeels te rekenen zijn, het mineralisatieproces langzamer verloopt dan in de zeekleigronden, tengevolge van verschil in den humus naar aard en hoeveelheid en tengevolge van verschillen in de bacterienflora.

c. *Invloed der aanwezigheid van grondwater op het CaO-gehalte van het drainwater*

Terwijl in de voorafgaande perioden het drainwater der lysimeters 1—4 gemiddeld iets minder CaO bevatte dan dat der lysimeters 5—8, ziet men, dat na het handhaven van een grondwaterspiegel in de lysimeters 1—4 het drainwater in 't algemeen een duidelijk hooger CaO-gehalte vertoont; een uitzondering vormen de drainwatermonsters 58, 59 en 63 (tabellen 1 en 25).

Voor de verklaring verwijs ik naar hetgeen ik hieromtrent opmerkte bij de bespreking van het CO_2 -gehalte (blz. 253).

d. *Het gehalte van het drainwater aan MgO*

Het MgO-gehalte van het drainwater bedraagt gemiddeld nog geen tiende van het CaO-gehalte.

Zeer merkwaardig is het, dat de stijgingen en dalingen in het CaO-gehalte in dezelfde verhouding door het MgO-gehalte gevolgd worden, hetgeen treffend uitkomt bij de grafische voorstelling van het verloop der gehaltecijfers voor beide bestanddeelen (fig. 5). Ook LAWES, GILBERT en WARINGTON (47, blz. 24) bemerkten bij onderzoek van het drainwater, opgevangen uit Broadbalkfield, dat het MgO-gehalte met het CaO-gehalte op en neer gaat; het bedroeg 3,5 tot 5,5 % van het CaO-gehalte.

Berekent men de verhouding tusschen de aequivalenten CaO en MgO in de drainwatermonsters, dan vindt men aanvankelijk ruim 6. Geleidelijk stijgt dit cijfer tot ruim 9 in de jaren 1922—1924. Vanaf 1924 schommelt de waarde met betrekkelijk geringe afwijkingen om het getal 10 en voor het tijdperk 1924—1938 vindt men gemiddeld 10,3. *Deze vrijwel constante verhouding tusschen de mE CaO en MgO treedt op ondanks zeer groote verschillen in het CaO-gehalte!*

Er doet zich nog een andere merkwaardigheid voor. CaO en MgO gaan in oplossing zoowel in den vorm van bicarbonaten als van nitraten en sulfaten.¹⁾ Maar het aandeel, dat deze zuren in de verschillende perioden in de binding van CaO en MgO hebben, vertoont zeer groote verschillen. Bij de analyses 19—27 treden N_2O_5 en SO_3 sterk op den voorgrond, terwijl het CO_2 op den achtergrond blijft; het CaO-gehalte is in deze periode van krachtige nitrificatie hoog. Desondanks wijken de verhoudingscijfers voor CaO : MgO niet af van die in de voorafgaande en de volgende periode. Het schijnt dus wel dat, *onafhankelijk van den aard van het oplosmiddel*, CaO en MgO steeds in dezelfde verhouding oplossen.

Nu is het echter zeer de vraag, of deze onafhankelijkheid van den aard van het oplosmiddel geen schijn is. Het is aan twijfel onderhevig, of het in den grond aanwezige $CaCO_3$ en $MgCO_3$ wel door gevormd salpeterzuur en zwavelzuur in oplossing wordt gebracht. Op blz. 250 veronderstelde ik de mogelijkheid, dat primair het koolzuur optreedt als oplosmiddel van de koolzure kalk en dat het gevormde Ca-hydrocarbonaat dient ter neutralisatie van het geleidelijk door de bacteriologische processen gevormde salpeter- en zwavelzuur. In dit geval zou dus de constante verhouding tusschen CaO

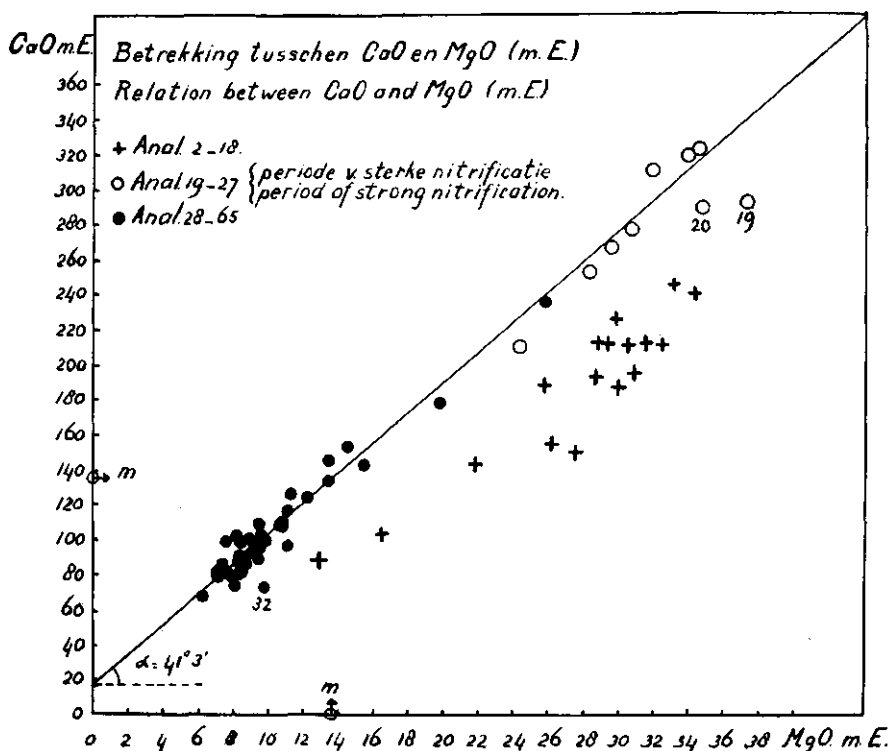
¹⁾ Om een indruk te geven van de zuur-concentratie, waarmede men hier te doen heeft, zou ik het volgende willen opmerken. Indien de geheele hoeveelheid N_2O_5 en SO_3 als vrije zuren op eenmaal in de vloeistof aanwezig zou zijn geweest, dan zou de concentratie op zijn hoogst, nl. bij de analyses 22 en 24, ongeveer 330 mE per 10 liter hebben bedragen, d.i. 0,03 normaal. Deze concentratie zal echter wel nimmer bereikt zijn geweest, daar N_2O_5 en SO_3 geleidelijk door de bacterieele processen gevormd worden.

en MgO samenhangen met een oplossingsproces van in den grond aanwezige Ca- en Mg-verbindingen in CO_2 -houdend water.

Aan toeval behoeft, gezien de wisselende omstandigheden waaronder de bedoelde verhouding in den loop der jaren optreedt, niet gedacht te worden. De gedachte dringt onmiddellijk naar voren, dat men hier met een bepaald scheikundig evenwicht te doen heeft. Met een onderzoek naar den aard van dit evenwicht werd bereids een aanvang gemaakt.

Ik moet nog even terugkomen op het verschijnsel, dat de verhouding $CaO : MgO$ in de eerste 5 jaren een toeneming vertoont, hetgeen dus beteekent, dat er in de eerste jaren naar verhouding méér Mg in oplossing ging dan in de latere jaren.

Men mag, naar 't mij voorkomt, wel aannemen, dat de oorzaak hiervan gelegen is in het aanvankelijk abnormaal hooge $MgCl_2$ -gehalte van den grond tengevolge van de aanwezigheid van zoutrijk grondwater op geringe diepte, waarvan ik reeds enkele malen melding maakte (zie blz. 256). Deze veronder-



Figuur 15

stelling wordt gesteund door het feit, dat omstreeks denzelfden tijd, dat het Cl-gehalte van het drainwater het lagere niveau heeft bereikt, ook de verhouding $\text{CaO} : \text{MgO}$ tot ongeveer 10 is genaderd.

In fig. 15 zijn de milliaequivalenten CaO en MgO tegen elkaar uitgezet. Vanaf drainwatermonster 21 is het verband duidelijk rechtlijnig. ¹⁾ De punten voor de watermonsters 2 tot en met 20 (19 en 20 behooren reeds tot de nitrificatieperiode) vallen buiten de lijn: het MgO -gehalte is hooger dan volgens het rechtlijnig verband met het betreffende CaO -gehalte overeenkomt. De verklaring voor deze afwijking werd hierboven reeds gegeven.

§ 9. DE INVLOED DER REDUCTIE-VERSCHIJNSELEN IN DEN GROND OP DE SAMENSTELLING VAN HET DRAINWATER GEDURENDE DE EERSTE JAREN

a. *Gehalte van het drainwater aan P_2O_5 en Fe_2O_3*

In deel I dezer verhandeling werd op blz. 37 gewezen op de minder goede doorlatendheid van den grond voor lucht en water in de paar eerste jaren nadat de lysimeters gevuld waren.

Dat er aanvankelijk reductieverschijnselen in den grond optraden, bleek o.a. toen eind April 1919 de grond gespit werd, nadat het in Augustus 1918 gezaaide koolzaad als mislukt te beschouwen was. Op ongeveer 15 cm diepte was de grond in enkele bakken geheel, in andere meer plaatselijk blauwzwart gekleurd door de vorming van ijzersulfide. Volgens een aantekening in het journaal dd. 23 April 1919 was de blauwkleuring bij de lysimeters 3, 4 en 7 het sterkst.

Bij het spitten van den grond op 31 October van hetzelfde jaar was er van blauwe plekken niets meer te bespeuren.

Het optreden van reductie in den grond bleek ook uit het uiterlijk en de samenstelling van het drainwater van enkele lysimeters. Zoo was in het najaar van 1919 het drainwater van de lysimeters 4 en 7 zeer troebel, terwijl zich uit het drainwater een bruin bezinsel afzette; ook bak 3 gaf troebel water af, doch minder troebel dan de beide eerstgenoemde. Ik vestig er de aandacht op, dat dit dezelfde lysimeters zijn, waarbij in het voorjaar 1919 de sterkste blauwkleuring werd waargenomen. Het drainwater der overige bakken was, zooals ook bijna steeds in den vervolge, volkomen helder of slechts uiterst weinig troebel.

Bij onderzoek bleek, dat het drainwater uit 4 en 7 een duidelijke *ferro*- en een sterke *ferri*-reactie vertoonde, terwijl heldere drainwatermonsters uit

¹⁾ Punt 32 vertoont door de reeds meer genoemde oorzaak een betrekkelijk groote afwijking.

5 en 6 noch ferro noch ferri bleken te bevatten. De bruine kleur van het bezinksel wees op afzetting van ijzerverbindingen. Verder vertoonden de watermonsters uit 4 en 7 met metapenyleendiamin een *nitriet*-reactie.

In Mei en Juni 1920 vertoonde de haver op de lysimeters duidelijke verschijnselen van de „*veenkoloniale haverziekte*”, dat wil dus zeggen van *mangaangebrek*, hetgeen waarschijnlijk ook verband hield met een minder goede doorlatendheid van den grond. Genoemd verschijnsel ziet men immers op de kleihoudende gronden in Groningen vooral daar optreden, waar de structuur van den grond, hetzij door kalkarmoede, hetzij door verrijden van den grond in natten toestand, of door beide omstandigheden te zamen, bedorven is.

In tabel 38 zijn de P_2O_5 -cijfers, voor zoover ze in de eerste jaren bepaald werden, vermeld naast die voor Fe_2O_3 en Mn_3O_4 . Achteraf beschouwd is het jammer, dat het P_2O_5 -gehalte in de eerste jaren niet geregeld in alle watermonsters werd bepaald. Maar uit de beschikbare gegevens is toch wel te zien, dat aanvankelijk het drainwater van alle lysimeters, zij het geringe, toch te bepalen hoeveelheden P_2O_5 bevatte. Voor lysimeter 7 blijft dit het geval tot 1 September 1920, d. i. tot 2 jaar na het vullen der bakken.

TABEL 38

P_2O_5 -, Fe_2O_3 -, ¹⁾ en Mn_3O_4 -gehalte van het drainwater (mg/l) in de drie eerste jaren
 P_2O_5 -, Fe_2O_3 - and Mn_3O_4 -content of the drainage waters (mg/l) in the first three years)

	1	2	3	4	5	6	7	8	
Anal. 2. 28 Aug.—20 Sept. 1918									
P ₂ O ₅	2,5	1,4	3,2	0,6	0,6	1,1	1,5	1,0	
Fe ₂ O ₃	1,4	0,9	1,0	2,1	1,1	1,6	1,4	2,3	
Mn ₃ O ₄	— ²⁾	—	—	—	—	—	—	—	
Anal. 10. 13 Mei—1 Sept. 1919									
P ₂ O ₅	—	—	—	—	—	—	—	—	
Fe ₂ O ₃	1,3	5,7	6,0	1,7	0	2,3	4,7	0	
Mn ₃ O ₄	2,0	4,0	7,8	3,3	4,3	3,3	4,3	1,7	
Anal. 11. 1 Sept.—1 Nov. 1919									
P ₂ O ₅	—	—	—	—	—	—	—	—	
Fe ₂ O ₃	1,0	4,0	2,7	3,0	1,0	0,7	6,7	1,0	2, 3 en 4 troebel; 7 sterk troebel. 5 en 6 volkomen helder.
Mn ₃ O ₄	3,7	15,7	15,0	4,3	3,7	1,0	15,0	2,3	
Anal. 12. 1 Nov.—1 Dec. 1919									
P ₂ O ₅	0,2	0,6	1,1	0,6	—	—	1,6	0,2	3 en 4 troebel. 7 sterk troebel.
Fe ₂ O ₃	0	1,0	3,7	16,7	0	0	32,0	0	
Mn ₃ O ₄	4,3	8,0	15,0	22,0	5,7	0	24,0	5,3	

¹⁾ Feitelijk $Fe_2O_3 + Al_2O_3$.

²⁾ Niet bepaald — *Not estimated*.

TABEL 38 (Vervolg)

	1	2	3	4	5	6	7	8	
Anal. 13. 1 Dec. 1919—1 Jan. 1920									
P ₂ O ₅	—	—	—	—	—	—	2,4	—	4 en 7 troebel, vooral 7.
Fe ₂ O ₃	0	0	0	7,7	0	0	48,7	0	
Mn ₃ O ₄	2,7	7,3	11,3	16,3	6,7	5,0	21,3	3,3	
Anal. 14. 1 Jan.—1 Febr. 1920									
P ₂ O ₅	—	—	—	—	—	—	2,1	—	6 opaliseerend; 7 zeer troebel en bruin.
Fe ₂ O ₃	1,6	0	1,0	0	0	1,1	53,9	0	
Mn ₃ O ₄	4,3	5,0	5,3	6,3	6,7	1,7	16,3	6,3	
Anal. 15. 1 Febr.—1 Maart 1920									
P ₂ O ₅	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,4	2,4	0,2	7 troebel en bruin.
Fe ₂ O ₃	0,5	0	0	0	0	0,9	55,0	0	
Mn ₃ O ₄	7,7	4,7	5,7	4,7	5,3	5,0	16,7	5,0	
Anal. 16. 1 Maart—1 April 1920									
P ₂ O ₅	—	—	—	—	—	—	2,3	—	6 en 8 iets troebel. 7 bruin en zeer troebel.
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	1,0	41,3	0	
Mn ₃ O ₄	8,3	5,0	7,7	5,7	6,7	4,7	15,7	3,7	
Anal. 17. 1 April—1 Mei 1920									
P ₂ O ₅	—	0,2	0,3	—	—	—	2,5	—	Alle bruin geel gekleurd; 7 zeer troebel en bruin; 6 iets opaliseerend.
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	2,3	0	37,8	0	
Mn ₃ O ₄	5,3	4,0	3,3	5,0	6,7	1,7	11,7	3,3	
Anal. 18. 1 Mei—1 Sept. 1920									
P ₂ O ₅	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	3,1	0,1	3 en 4 hard, bruin afzetsel; 7 zeer troebel en bruin.
Fe ₂ O ₃	0,2	0,6	1,9	1,1	sp.	0,1	34,9	0,2	
Mn ₃ O ₄	4,0	3,0	3,3	3,7	5,7	3,0	6,0	3,0	
Anal. 19. 1 Jan.—1 Febr. 1921									
P ₂ O ₅	0,2	0,1	0,1	0,1	—	0,1	0,2	0,1	Drainwater van alle bakken vanaf dit oogenblik steeds helder.
Fe ₂ O ₃	1,1	0,9	1,6	0	1,7	0	2,5	1,6	
Mn ₃ O ₄	4,0	0	1,3	8,3	3,7	2,3	8,3	4,7	
Anal. 20. 1 Febr.—1 April 1921									
P ₂ O ₅	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	
Mn ₃ O ₄	4,3	3,3	1,7	1,3	3,7	5,3	0	1,7	

Vanaf September 1920 tot Maart 1924 bevatte het drainwater van alle lysimeters slechts geringe hoeveelheden P₂O₅, die 0,2 mg/l niet overschreden. Na dien datum werd, voor zoover het water op dit bestanddeel onderzocht werd, geen P₂O₅ meer gevonden.

Uit tabel 38 schijnt verder te volgen, dat er verband bestaat tusschen

P_2O_5 -gehalte en Fe_2O_3 -gehalte van het drainwater. Men ziet althans, dat de aanwezigheid van betrekkelijk veel P_2O_5 in het drainwater van lysimeter 7 tot 1 September 1920 gepaard gaat met een aanmerkelijk hoger Fe_2O_3 -gehalte. Na dien datum valt met het ijzergehalte ook dat aan P_2O_5 .

Dat Fe en P elkander in het grondwater vergezellen, is geen onbekend verschijnsel; ik herinner hier slechts aan het fosforzuurgehalte van ijzeroer, dat zich dikwerf reeds door de blauwe kleur van het vaak in ijzeroer aanwezige vivianiet verraaft. ¹⁾ Maar hoe is het mogelijk, dat beide stoffen een tijdlang naast elkaar in oplossing in het grondwater aanwezig kunnen zijn? En dit moet toch bij onze lysimeters evenals bij de vorming van ijzeroer het geval zijn geweest.

Vermoedelijk ligt de verklaring hiervan in de aanwezigheid van humusstoffen in het water. VAN BEMMELEN (4) wees er reeds in 1889 op, dat bij aanwezigheid van humuskoloiden kiezelzuur ijzer- en aluminiumoxyde, oxyden der aardalkalimetalen en fosforzuur naast elkaar in oplossing aanwezig kunnen zijn. Voor verdere bijzonderheden omtrent dit „humaat-effect” zij verwezen naar een publicatie van FLIEG (25). Ook zij hier verwezen naar de publicaties van O. DE VRIES en medewerkers, waarin de grootere beweeglijkheid van het fosforzuur in dalgrond wordt toegeschreven aan de humusstoffen, welke uit deze grondsoort in het bodemvocht oplossen (zie 92, blz. 181, en 93, blz. 789 en 794). ²⁾

Het schijnt wel, dat ijzer- en fosforzuur als ferro-fosfaat in oplossing gaan en uitspoelen, en dat eerst daarna, bij de lysimeterproeven in de verzamel-flesschen, het ferro-fosfaat in de ferri-verbinding omgezet en neergeslagen wordt. Dat het in de drainwatermonsters gevonden fosforzuur zich niet meer in oplossing bevond, doch aanwezig was in het bruin gekleurde praecipitaat, ³⁾ volgt hieruit, dat het heldere drainwater steeds vrij was van P_2O_5 of daarvan slechts zeer geringe sporen bevatte.

Bij beschouwing van de cijfers voor het Fe_2O_3 -gehalte blijkt, dat tot 1 November 1919 het drainwater uit alle lysimeters ijzer bevat. Daarna wordt het water uit de meeste bakken ijzervrij, doch bij dat uit de bakken 4 en 7 stijgt het gehalte daarentegen belangrijk, vooral bij bak 7. Bij dezen laatsten bak handhaven de hoge cijfers zich tot 1 September 1920 (anal. 18); daarna

¹⁾ In een bruine, sterk ijzerhoudende massa, welke zich in drainbuizen had afgezet, trof ik ook een belangrijke hoeveelheid fosforzuur aan.

²⁾ Over de beweeglijkheid van het fosforzuur in den grond in het algemeen verscheen in 1938 een samenvattend artikel van EHRENBURG (22).

³⁾ Bij het nemen der watermonsters voor de analyses werd het gevormde praecipitaat door schudden in het water verdeeld. Slechts hetgeen zich vast aan den wand der flesschen had afgezet, werd van tijd tot tijd in HCl opgelost en afzonderlijk geanalyseerd.

treedt ook bij bak 7 een sterke daling in. Vanaf 1 Februari 1921 (anal. 20) is het drainwater van alle lysimeters ijzervrij. Dit blijft zoo tot 1 September 1931 (anal. 49), met uitzondering van drainwater 44 (Maart—September 1929), toen 0,8—2,8 mg/l Fe_2O_3 aanwezig bleek te zijn. Daarna wisselen ijzervrije perioden en die, waarin geringe hoeveelheden ijzer aangetroffen werden, elkander af (zie tabel 1). Drainwater 61 gaf wat hogere cijfers, nl. 2,1—4,5 mg/l. Nu en dan treedt dus ook in latere jaren een geringe reductie in den grond op.

Ik vestig er de aandacht op, dat het verdwijnen van het ijzer uit het drainwater in het begin van 1921 (zie tabel 1) samenvalt met het intreden van de krachtige nitrificatie en sulfificatie. Beide verschijnselen, sterke nitrificatie (sulfificatie) en afwezigheid van ijzer in het drainwater, wijzen op ruime luchttoetreding in den grond; vanaf 't begin van 1921 liet de doorlatendheid van den grond in alle lysimeters dus blijkbaar niets meer te wenschen over.

b. *De cijfers voor stikstof, sulfaat en voor de oxydeerbaarheid in de periode van reductie*

Vergelijkt men in de periode November 1919—September 1920 (anal. 12—18), toen het Fe_2O_3 -gehalte bij lysimeter 7 zeer hoog was (bij lysimeter 4 was het gehalte slechts vrij hoog in de watermonsters 12 en 13), de cijfers voor nitraat-N, ammoniak-N en SO_3 bij de lysimeters 4 en 7 met de gemiddelde cijfers voor de overige lysimeters (zie tabel 39), dan ziet men, dat de hoge Fe_2O_3 -cijfers gepaard gaan met relatief lage N- en SO_3 -cijfers en enkele malen ook met hoge cijfers voor ammoniak-N. Ook dit zou erop kunnen wijzen, dat het zuurstofgebrek in den grond, dat aanleiding gaf tot het in beweging komen van ijzer, óók van invloed was op het nitrificatie- en sulfificatieproces.

Verder is uit tabel 39 te zien, dat de cijfers voor *nitraat-N* voor lysimeter 7 na het intreden der versterkte nitrificatie aanvankelijk (anal. 19—24) boven de gemiddelde cijfers stijgen; daarna liggen zij er nu eens boven, dan weer onder.

De SO_3 -cijfers voor lysimeter 7 liggen in laatstgenoemde periode aanvankelijk ook hoger dan het gemiddelde voor de overige lysimeters; later schommelen de cijfers om elkander.

De waarden voor *ammoniak-N* liggen bij de drainwaters 13—15 duidelijk boven het gemiddelde; bij lysimeter 4 is dit slechts bij drainwater 13 het geval.

TABEL 39

mg per liter

Anal.	Nitraat-N			Ammoniak-N			SO ₃			Oxydeerbaarheid (Oxidizability ¹)		
	Lysimeters			Lysimeters			Lysimeters			Lysimeters		
	4	7	Overige 2)	4	7	Overige 2)	4	7	Overige 2)	4	7	Overige 2)
12	1,4	2,1	4,0	0,12	0,14	0,13	86	136	145	86	96	64
13	0,8	1,2	3,0	1,80	3,20	0,66	106	127	123	76	101	67
14	2,5	3,0	4,0	0,08	1,64	0,18	103	84	98	69	132	68
15	5,1	1,4	4,9	0,25	1,85	0,34	110	81	96	72	114	72
16	6,8	5,1	6,1	0,20	0,14	0,25	89	66	82	69	100	69
17	7,0	5,9	7,1	0,08	0,08	0,08	82	62	96	68	91	58
18	5,4	3,3	8,4	0,08	0,12	0,09	94	62	100	55	82	53

Periode van krachtige nitrificatie (Period of strong nitrification)

19	44,1	91,4	64	0,25	0,25	0,04	874	1061	858
20	39,6	98,6	75	0,71	0,57	0,49	848	1027	883
21	47,7	81,4	65	0,82	0,82	1,30	685	836	803
22	103,7	111,1	96	0,82	1,07	0,91	1066	1071	1098
23	84,7	97,7	90	0,78	1,39	1,60	1017	989	987
24	101,4	97,0	84	0,82	1,64	1,23	1190	1192	1100
25	72,6	65,4	74	2,05	3,30	3,29	1157	1175	1071
26	76,6	50,4	72	2,87	3,69	3,35	892	953	842
27	70,3	55,8	68	4,18	5,44	4,81	746	811	771
28	38,5	23,1	24	3,49	4,10	3,38	574	595	665
29	7,0	6,3	5	2,05	2,46	1,42	385	283	390

¹) mg KMnO₄ required to oxidize 1 liter of water.²) Average for the other lysimeters.

De aandacht zij er verder op gevestigd, dat de cijfers voor de oxydeerbaarheid van het drainwater (per l verbruikte aantal mg KMnO₄) vanaf het begin tot aan het intreden der krachtige nitrificatie veel hooger waren dan daarna. Van September 1918 tot September 1920 was de oxydeerbaarheid gemiddeld 60 (anal. 3 en 4 resp. 37 en 41 en verder van 51 tot 84), van 1 December 1924—1 September 1933 gemiddeld 20 en van September 1933—Juli 1938, toen de grond onbebouwd bleef, gemiddeld 13.¹)

Omtrent het verloop van de verandering der oxydeerbaarheid, dus van het gehalte aan organische stoffen in het drainwater, zou ik het volgende willen doen opmerken.

¹) Van 1 Januari 1921 tot September 1924 werd de oxydeerbaarheid niet steeds bepaald en de beschikbare cijfers verdienen geen vertrouwen, daar het drainwater in deze periode geconserveerd werd met CHCl₃ inplaats van met kopergeas. Er kan dus niet nagegaan worden, hoe de oxydeerbaarheid in de periode van krachtige nitrificatie is geweest.

De lysimeters werden van beneden tot boven gevuld met grond uit de bouwvoor, die steeds rijker is aan organische stof dan de natuurlijke ondergrond. Aanvankelijk was dus al uit dien hoofde drainwater, rijker aan organische stof dan onder normale omstandigheden, te verwachten. Maar daar komt bij, dat in de beide eerste jaren reductieverschijnselen, wijzende op een zeker gebrek aan zuurstof, optraden, waardoor de mineralisatie van de organische stof langzamer moest verlopen, met als gevolg een hooger gehalte aan organische stof in het drainwater. Daarna is plotseling een sterke mineralisatie ingetreden, hetgeen een sterke vermindering der oplosbare humusstoffen tengevolge moest hebben.

Dat in de periode, waarin de grond onbebouwd bleef en dus geen verdere aanvoer van nieuw organisch materiaal meer plaats vond, het gehalte van het drainwater aan organische stoffen nog verder daalde, was wel te verwachten, ofschoon het niet is buitengesloten dat, afgezien daarvan, de evenwichtstoestand nog niet bereikt was en dus ook bij voortzetting der bebouwing nog een verdere daling der oxydeerbaarheid zou hebben plaats gevonden.

De oxydeerbaarheid van het drainwater kan vermoedelijk tot op zekere hoogte wel beschouwd worden als een maat voor de intensiteit, waarmede de mineralisatie verloopt. Treedt dit verband ook aan den dag bij de cijfers voor de oxydeerbaarheid eenerzijds en N- en SO_3 -gehalte anderzijds?

TABEL 40

Gemiddelde cijfers (mg/l) voor de oxydeerbaarheid en het gehalte aan nitraat-N en SO_3 voor de periode Augustus 1918—September 1920 (anal. 2—18)

Average figures for the oxidizability and the nitrate-N and SO_3 -content (mg/l) in the period August 1918—September 1920 (anal. 2—18)

	Lysimeters:							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Oxydeerbaarheid	63	57	71	64	57	51	85	63
Nitraat-N	5	5	5	4	7	7	3	8
SO_3	129	141	120	128	164	157	131	140

Eenig verband in de genoemde richting schijnt er wel te bestaan. Zoo gaat het hoogste oxydeerbaarheidscijfer gepaard met het laagste gemiddelde N-cijfer, terwijl de laagste oxydeerbaarheidscijfers bij 5 en 6 met de hoogste N-cijfers (dat voor lysimeter 8 uitgezonderd) samengaan. Volkomen is het

verband niet, want van 4 en 8 met vrijwel gelijke waarden voor de oxydeerbaarheid, heeft 4 een laag nitraat-cijfer (hetgeen in overeenstemming is met de waargenomen reductieverschijnselen in den grond van dezen lysimeter) en 8 juist een hoog nitraateijfer.

Vergelijkt men de SO_3 -cijfers met de beide reeds besproken cijfers, dan blijkt er ook wel eenig verband te bestaan; ik wijs er b.v. op, dat 5 en 6 hooge SO_3 -cijfers vertoonen bij hooge nitraateijfers en lage cijfers voor de oxydeerbaarheid.

Dat de betrekking tusschen de drie besproken grootheden steeds uit de cijfers zou moeten blijken, is nauwelijks te verwachten. Men heeft hier immers te doen met bacteriologische processen, die onder den invloed van vele factoren staan.

Wij hebben gezien, dat de lysimeters 4 en vooral 7 zich speciaal gekenmerkt hebben door duidelijke reductieverschijnselen (bruin gekleurd troebel water, hoog ijzergehalte, laag N_2O_5 - en SO_3 -gehalte). Het is echter niet duidelijk, waaraan dit bijzondere gedrag moet worden toegeschreven. Het ligt voor de hand in de eerste plaats aan een minder goede doorlatendheid van den grond in de beide lysimeters te denken. Nu behooren inderdaad, zooals in Deel I, blz. 86 e. v., is uiteengezet, deze lysimeters tot die waarbij in de periode 1918—1933 de doorlatendheid beneden het gemiddelde bleef. Ook voor het tijdvak September 1918—September 1920 geldt dit, zooals tabel 41 doet zien.

TABEL 41

Drainwaterdebit in het tijdvak September 1918—September 1920
Drainage from September 1918 till September 1920

	Lysimeters:							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Liters.	336	401	304	317	438	339	353	381
% van het gemiddelde . .	93,7	111,8	84,8	88,4	122,1	94,5	98,4	106,2

Wel blijft bij 7 de afgegeven hoeveelheid drainwater onder het gemiddelde, maar voor 4 en vooral voor 3 geldt dit nog in veel sterkere mate. De doorlatendheid bij deze laatste lysimeters stond dus bij die van 7 beslist ten achter en men zou derhalve in de eerste plaats bij 3 en 4 reductie verwachten. Zij trad hier, zooals we zagen, ook wel op, doch in mindere mate dan bij 7.

Er zijn dus nog andere factoren in 't spel; men zou hier kunnen denken aan verschillen in den micro-biologischen toestand van den grond tusschen de lysimeters onderling.

c. *Gehalte van het drainwater aan mangaan (Mn_2O_3)*

Uitgezonderd bij de eerste 9 drainwatermonsters, werd ook steeds Mn_2O_3 bepaald (tabellen 1 en 38). Het valt op, dat het mangaangehalte in de watermonsters 10 tot en met 19 betrekkelijk hoog is. Bij analyse 20, dus na de sterke stijging der nitrificatie, treedt een daling in en vanaf analyse 21 tot en met analyse 31 bevat het drainwater van alle lysimeters nog slechts sporen mangaan of is geheel vrij daarvan.

Merkwaardig is, dat in de periode vóór de krachtige nitrificatie het weer lysimeter 7 is, welke Mn-cijfers heeft, die in vergelijking met de andere geregeld hoog zijn (het hoogste cijfer is 24 in drainwatermonster 12), hetgeen samengaat met hoge Fe-cijfers. Doch ook bij de andere lysimeters komen soms vrij hoge cijfers voor. Vanaf analyse 20 bevat het water van 7, evenals dat der andere lysimeters, sporen of geen mangaan.

Vanaf analyse 32 treedt weer als regel Mn in het drainwater op; vooral bij de watermonsters 34 en 35 werden hoge cijfers gevonden. IJzer was in deze monsters niet aanwezig, zoodat Fe en Mn elkaar niet geregeld vergezellen, zooals we aanvankelijk meenden.

Vanaf April 1937 is het water weer vrij of nagenoeg vrij van Mn.

Welke factoren het in beweging komen van het Mn beheerschen, is niet duidelijk. Indien slechts door reductie mangaan mobiel zou worden, zou men naast Mn ook steeds Fe verwachten en dit is zooals wij zagen niet het geval.

d. *Het aanslag aan de wanden der verzamelflesschen*

In tabel 38 is aangeteekend, in welke gevallen het drainwater in de verzamelflesschen een troebeling vertoonde. Voornamelijk waren het de lysimeters 4 en 7, waarbij in den beginne troebeling optrad; na Januari 1921 bleef het opgevangen drainwater bij alle lysimeters helder of nagenoeg helder.

De samenstelling van deze in het drainwater zwevende en daaruit neerslaande stoffen is niet bekend, daar deze niet afzonderlijk geanalyseerd werden; vóór het afmeten van de voor de analyses benodigde hoeveelheden vloeistof werden de zwevende stoffen door schudden zorgvuldig door de vloeistof verdeeld. Dat de zwevende stoffen ijzer bevatten, viel wel reeds uit de bruine kleur af te leiden en bij analyseering bleek dan ook, zooals we reeds zagen, dat de meest troebele watermonsters ook het hoogste ijzergehalte bezaten.¹⁾

¹⁾ De bruinkleuring kan natuurlijk ook het gevolg zijn van Mn.

Het is echter niet waarschijnlijk, dat bedoelde stoffen uitsluitend uit ijzer- en mangaanverbindingen bestonden; vermoedelijk zullen zij ook voor een deel, en wellicht voor een groot deel, uit CaCO_3 bestaan hebben, door CO_2 -verlies uit het opgeloste calciumbicarbonaat gevormd.

Niet alleen vertoonde het water van meerdere lysimeters een troebeling, maar ook zette zich aan de wanden der flesschen meer of minder van een vaste stof af, die zich door schudden daarvan niet liet verwijderen. Van tijd tot tijd, later meestal jaarlijks, werd dit aanslag met HCl in oplossing gebracht en quantitatief geanalyseerd. De gevonden hoeveelheden der verschillende bestanddeelen werden bij hetgeen per proefjaar uitspoelde in rekening gebracht.

Zooals verwacht mocht worden, bestond dit aanslag voor een groot deel uit CaCO_3 . Maar bij beschouwing der cijfers voor CaO in tabel 42 treden nog een paar merkwaardige verschijnselen naar voren.

TABEL 42

*Hetgeen zich in de verzamelflesschen tegen den wand afzette
Gemiddeld aantal mg per lysimeter*

	P_2O_5	SO_3	SiO_2	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	Fe_2O_3	Mn_2O_4
Sept. 1918—Sept. 1919	— ¹⁾	—	42	—	—	543	5	13	—
" 1919—" 1920	2	21	17	9	29	1130	20	37	55
" 1920—April 1922	sp.	20	7	—	—	251	7	28	2
April 1922—Sept. 1923	1,9	14	6	4	11	94	3	sp.	—
Sept. 1923—" 1924	sp.	11	6	5	11	133	2	sp.-1	—
" 1924—" 1925	"	11	6	5	9	40	4	2	3
" 1925—" 1926	"	5	5	7	19	23	3	5	3
" 1926—" 1927	"	2	15	9	16	19	4	2	4
" 1927—" 1928	0,3	4	7	11	2	17	4	3	3
" 1928—" 1929	0,2	5	21	11	6	19	5	3	3
" 1929—" 1930	0,2	9	8	7	4	14	3	2	3
" 1930—" 1931	0,3	6	7	9	4	20	4	2	3
" 1931—" 1932	0,3	4	8	4	3	11	2	3	0
" 1932—" 1935 ²⁾	0,3	2	7	1	1	38	0,1	2	0
" 1935—" 1936	0,3	6	10	2	2	27	1	3	0
Sept. 1936—Jan. 1938									
Lysimeters 5—8 ³⁾	0,5	4	7	3	3	21	15 ⁵⁾	4	0
Lysimeters 1—4 ⁴⁾	1	1	111	4	5	307	27	20	0

¹⁾ Niet bepaald.³⁾ Met vrijen waterafvoer.²⁾ Gemiddeld per jaar.⁴⁾ Met grondwater.⁵⁾ Dit cijfer is vermoedelijk veel te hoog.

In de eerste plaats blijkt, dat de hoeveelheid CaO , welke zich in de flesschen afzette, de beide eerste jaren belangrijk grooter was dan in de latere jaren. Dit zal wel een gevolg zijn van het hooge gehalte aan calciumbicarbonaat van het drainwater in de beide eerste jaren, waardoor het dus bij koolzuur-verlies eerder tot afzetting van calciumcarbonaat moest komen.

Na de beide eerste jaren daalt de hoeveelheid CaO snel en blijft dan een reeks van jaren op dezelfde hoogte.

Ook de hoeveelheid ijzer in het afzetsel is in de drie eerste jaren hoog; daarna daalt het cijfer aanmerkelijk.

In de jaren zonder begroeiing — voor het laatst droegen de lysimeters in 1933 een gewas — schijnt de hoeveelheid CaO , welke zich afzette, aanvankelijk weer wat te stijgen, hetgeen verband zou kunnen houden met de verminderde CO_2 -productie, doordat de wortels der gewassen geen CO_2 meer in den grond brachten en geen aanvoer van plantenresten (wortels en stoppels) meer plaats vond. Na 1935 schijnt er echter weer een daling op te treden; hierbij moet men voor de periode September 1936—Januari 1938 slechts het cijfer voor de lysimeters 5—8, bij welke de vrije waterafvoer gehandhaafd bleef, in aanmerking nemen.

Merkwaardig zijn de verschillen in het tijdvak September 1936—Januari 1938 tusschen hetgeen zich afzette in de verzamelflesschen der lysimeters 1—4 met grondwater en der lysimeters 5—8 zonder grondwater. Dat de lysimeters met grondwater zich geheel anders gedroegen dan die met vrijen waterafvoer, bleek al spoedig, doordat zich in de flesschen, welke den grondwaterstand bij 1—4 regelen (zie deel I, fig. 3, flesch B), een bruin aanzetsel vormde. Bij de lysimeters 1 en 3 was dit aanzetsel dikker en bruiner gekleurd dan bij de lysimeters 2 en 4.¹⁾

Bij de bakken 1—4 ziet men een sterke stijging der hoeveelheid afgezette kalk tot een bedrag als in de paar eerste jaren. Dit gaat gepaard met een eveneens belangrijke stijging der hoeveelheid ijzer.

Het ligt voor de hand, gezien het weder mobiel worden van ijzer, te denken aan het wederom optreden van reductie, doordat het grondwater de luchttoetreding tot de onderste grondlaag afsneed, terwijl bovendien de grond tot op zekere hoogte boven het grondwater voortdurend met capillair water gevuld bleef. Verder zal vermoedelijk door het inniger en langduriger contact van het drainwater met den kalkrijken grond het gehalte aan vrij CO_2 gedaald zijn, waardoor het spoediger tot afzetting van CaCO_3 kon komen.

¹⁾ De bestanddeelen van dit afzetsel zijn niet begrepen in de cijfers van tabel 42, die slechts betrekking hebben op hetgeen zich in de verzamelflesschen D afzette. De samenstelling van het afzetsel, dat in Juli 1939 uit de grondwaterregulateurs verwijderd werd, wordt afzonderlijk besproken.

Ik vestig er ten overvloede de aandacht op, dat deze frappante verschillen niet optreden bij één lysimeter met en één enkelen lysimeter zonder grondwater, doch beiderzijds bij vier lysimeters, die zich vrijwel gelijk gedragen, zooals uit tabel 43 blijkt.

TABEL 43

*Afgezet aan de wanden der verzamelflesschen in mg per lysimeter
September 1936—Januari 1938*

Lysimeters	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃
Met grondwater			
1	196	253	33
2	94	382	15
3	67	300	20
4	86	293	11
Vrije waterafvoer			
5	8	21	4
6	6	19	3
7	9	23	4
8	6	20	3

Verder trekt het de aandacht, dat er zich ook ten opzichte van de hoeveelheden afgezet SiO₂ een treffend verschil voordoet tusschen de lysimeters met en zonder grondwater.

Ook in het eerste jaar na het in werking stellen der lysimeters zetten zich bij 4 der bakken grootere hoeveelheden SiO₂ in de flesschen af, n.l. van 41—80 mg; daarnaast kwamen echter ook cijfers voor van 16—24 mg. Eenig verband tusschen SiO₂- en CaO-hoeveelheid bestond er echter evenmin als nu. Zoo werd bij lysimeter 7 een hoeveelheid SiO₂ gevonden van 16 mg naast 1147 mg CaO en bij lysimeter 5 van 80 mg SiO₂ naast 392 mg CaO. Mogelijk zal ook hier het inniger en langduriger contact van het water met den grond een rol spelen, maar met welk oplossingsproces men hier te doen heeft en welke factoren daarop invloed uitoefenen, is niet duidelijk. Het is niet buitengesloten dat het kiezelzuur in kolloidale oplossing of als gesuspenderde kleideeltjes is meegevoerd geworden.

Beschouwt men de hoeveelheid CaO, welke zich in de afzonderlijke flesschen heeft afgezet, dan treft het, dat het weer voornamelijk de lysimeters 4 en 7 zijn, waarbij de kalkafzetting van belang is, zooals uit tabel 44 te zien is.

In de eerste beide jaren zijn de cijfers voor lysimeter 3 hooger dan voor lysimeter 4. In verband hiermede zij erop gewezen, dat uit tabel 38 blijkt,

dat ook in lysimeter 3 een vrij sterke reductie optrad en dat de in April 1919 geconstateerde blauwe verkleuring van den grond op 15 cm diepte bij 3,4 en 7 het sterkst was.

In de volgende jaren zijn de cijfers voor 4 en 7 belangrijk hooger dan voor de overige lysimeters. Deze afwijking handhaaft zich, voor zoover het lysimeter 4 betreft, tot September 1926; bij lysimeter 7 blijft zij nog een paar jaar langer bestaan.

TABEL 44

CaO-afzetting in de afzonderlijke verzamelflesschen in mg per flesch

Lysi- me- ter	1918 tot 1919	1919 tot 1920	Sept. 1920— April 1922	April 1922— Sept. 1923	1923 tot 1924	1924 tot 1925	1925 tot 1926	1926 tot 1927	1927 tot 1928	1928 tot 1929	1929 tot 1930
1	284	1038	289	— ¹⁾	30	13	—	9	16	—	10
2	423	641	183	21	33	20	13	18	7	20	6
3	1041	2235	234	23	25	13	11	26	11	17	14
4	551	1238	388	162	376	191	37	20	11	14	12
5	392	550	167	—	21	18	10	8	10	20	17
6	225	342	231	86	43	14	10	6	9	32	16
7	1147	2731	331	253	509	48	75	55	64	19	24
8	278	263	181	20	29	6	9	6	9	10	13

¹⁾ Niet bepaald.

Het afwijkend gedrag der lysimeters 4 en 7, dat zich meerdere jaren lang openbaart, is wel merkwaardig. Ik wees hierop reeds op blz. 296 en sprak daarbij de veronderstelling uit, dat de microbiologische toestand van den grond in deze beide bakken in de eerste jaren wellicht van dien in de overige bakken, door welke oorzaak dan ook, afweek.

Zooals boven (blz. 299) reeds werd medegedeeld, vormde zich reeds spoedig bij de lysimeters met grondwater in de grondwaterregulateurs een dik bruin aanslag; vooral bij de lysimeters 1 en 3 was dit belangrijk. Dat hierbij het ijzer op den voorgrond trad, blijkt uit de cijfers in tabel 44a.

Uit deze tabel volgt nog duidelijker dan uit de tabellen 42 en 43, dat er in den grond der lysimeters met grondwater aanvankelijk geheel andere omzettingen plaats grepen dan in de lysimeters met vrijen waterafvoer.

Dat reductie hierbij op den voorgrond treedt, blijkt uit de groote hoeveelheden ijzer, welke in beweging kwamen. Voor het feit, dat vooral bij de lysimeters 1 en 3 de reductie belangrijk was, is moeilijk een verklaring te geven. Ook de hoeveelheden afgezet SiO_2 zijn voor dezelfde lysimeters hooger; misschien geldt dit ook voor SO_3 .

TABEL 44a

*Afgezet in de grondwaterregulateurs in mg per lysimeter
van eind October 1936 tot 1 Juni 1939*

Lysi- meter	SO ₃	P ₂ O ₅	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Mn ₂ O ₄	ZnO	CuO
1	57	7	229	0,3	3	118	4	989	2	277	48
2	19	4	103	0,3	2	168	4	58	1	199	24
3	23	11	185	0,2	2	159	4	629	0	129	22
4	16	6	80	0,3	2	166	3	134	0,4	155	19

De belangrijke hoeveelheden ZnO en CuO moeten wel afkomstig zijn van de rolletjes kopergaas in de regulateurs. Hoe het komt, dat hier zooveel meer zink en koper uit het kopergaas werd opgelost dan in de verzamel-flesschen, is echter niet duidelijk.

Aan het voorafgaande zou ik nog een enkele opmerking willen toevoegen.

De hier besproken verschijnselen, zooals het voorkomen van geringe hoeveelheden ijzer en organische stof in het drainwater en het zich afzetten van meer of minder, maar steeds zeer kleine hoeveelheden kalk en andere bestanddeelen uit het drainwater, zijn op zichzelf beschouwd van geringe beteekenis. Als *symptomen* van hetgeen er in den grond plaats grijpt, vooral microbiologisch, acht ik deze verschijnselen echter van belang; de beteekenis ervan is bij deze lysimeteronderzoekingen duidelijk aan den dag getreden.

Het drainwater is te beschouwen als een stofwisselingsproduct van den grond, van de tallooze daarin levende lagere organismen. Zoo kan het drainwater-onderzoek ons iets leeren over de processen, welke zich in den grond afspelen en omtrent de vraag, in hoeverre deze processen normaal dan wel in ongewenschte richting verlopen.

Het is dus wel gewenscht, dat bij het bestudeeren van normale en abnormale gronden aandacht worde geschonken aan de samenstelling van het drainwater, hetgeen tot nu toe niet geschiedde.

Indien er uit een eigenlijke klei- of zavelgrond troebel water afvloeit, of indien er zich, nadat het drainwater met de lucht in aanraking is gekomen, een bruin bezinksel afzet, dan kan men de conclusie trekken, dat er zich in den grond reductieprocessen afspelen en dat derhalve de luchttoetreding, hetzij door een ondoelmatige bewerking van den grond, hetzij door een

slechte structuur of door onvoldoende ontwatering, te wenschen overlaat althans niet overvloedig is, hetgeen in het algemeen als een ongewenschte toestand beschouwd moet worden. In hoeverre dit in een bepaald geval voor de productiviteit van den grond van belang is, is een andere vraag, die afzonderlijk onderzoek vereischt; veel zal afhangen van den graad, waarin de reductieprocessen optreden.

Ik wil dan ook voorloopig nog allerminst het drainwater-onderzoek als een voor de praktijk nuttige contrôle op den gezondheidstoestand van den grond aanbevelen. Maar niet slechts het grondonderzoek, dat voor de praktijk direct bruikbare gegevens verschaft, is voor den praktischen landbouw van belang! Het zou er, als dit zoo ware, vrij droevig uitzien met de beteekenis van het wetenschappelijk grondonderzoek voor de praktijk. Want het aantal analyse-cijfers, dat den landbouwer een betrouwbaar richtsnoer geeft bij de beslissing omtrent toe te passen cultuurmaatregelen, is nog uiterst gering. De beteekenis van het wetenschappelijk grondonderzoek ligt misschien dan ook veeleer in de vermeerdering en verdieping van het inzicht der landbouwers en van hen, die geroepen zijn de landbouwers van voorlichting te dienen ten aanzien van de verschijnselen en processen, scheikundige, physische en micro-biologische, welke zich in den grond afspelen.

De landbouwer, die het uit zijn akkers loopende drainwater, met begrip van de hier besproken processen, geregeld waarneemt, zal vroeger of later, meer of minder bewust, bij het nemen van maatregelen tot verhooging der productiviteit van zijn land (verbetering der drainage, bekalken, bewerking van den grond), gebruik maken van hetgeen hij opmerkte.

§ 10. HET GEHALTE VAN HET DRAINWATER AAN ZINK (ZnO)

Vanaf drainwatermonster 10, toen bij de reactie op ferri-ionen met ferro-cyaankalium de aandacht gevestigd werd op de aanwezigheid van zink, werd het gehalte aan dit bestanddeel als regel ook bepaald, waarbij steeds niet onbelangrijke hoeveelheden gevonden werden (zie tabel 1).

Bij de vraag naar de herkomst van het zink werd aanstonds gedacht aan het gegalvaniseerde gaas, waarmede de installatie van boven en aan de zijanten was afgesloten; want ook in het binnen de kooi opgevangen regenwater werden hoeveelheden ZnO gevonden, welke van dezelfde grootteorde waren als die in het drainwater.¹⁾ Om deze reden werd op 12

¹⁾ Blijkens onderzoek van den oorspronkelijken grond bevat deze ongeveer 0,007 % ZnO; in het zand van de Heerlerheide, waarop de zavelgrond rust, werd 0,004 % gevonden. De tegels, waarmede de bakken inwendig bekleed zijn, bleken geen zink aan zoutzuur af te staan. De in grond en zand gevonden hoeveelheden, maken het onwaarschijnlijk, dat dit zink een merkbaar aandeel heeft in het zink, dat in het drainwater gevonden werd.

December 1919 het dak van gegalvaniseerd ijzergaas boven de installatie verwijderd. Dit bracht echter in de volgende jaren geen merkbare verandering in het zinkgehalte van het drain- en regenwater.

In de tweede plaats werd gedacht aan de kopergaasjes, welke zoowel in de verzamelflesschen voor het drainwater als in die voor het regenwater lagen. Inderdaad bleek bij onderzoek, dat althans messinggaas aan CO_2 -houdend water zink kan afstaan. Maar vanaf watermonster 24 tot en met watermonster 31 werd in plaats van kopergaas chloroform ter conserveering toegevoegd en uit tabel 1 blijkt, dat ook in deze periode de ZnO-cijfers op dezelfde hoogte bleven. Het zink uit de gaasjes heeft dus in ieder geval slechts een ondergeschikte rol gespeeld.

Zooals boven werd medegedeeld werd op het eind van 1919 het dak van de kooi over de lysimeterinstallatie verwijderd, de verticale wanden van metaalgaas bleven echter bestaan.

Het is nu de vraag, of het zink in het drainwater en in het binnen de omrastering opgevangen regenwater niet van deze gaasomrastering afkomstig is.

Deze veronderstelling vindt steun in het feit, dat in regenwater van 10 October 1933—7 Februari 1935 *buiten de kooi* verzameld, slechts 0,5 mg ZnO per liter gevonden werd. Wel werd een paar maal ook in het binnen de kooi verzamelde regenwater een dergelijk geringe hoeveelheid zink gevonden, maar dan betrof het regenwater uit perioden van hoogstens enkele maanden, waarin windkracht en windrichting een eenzijdigen invloed uitoefend kunnen hebben. De overige cijfers voor het regenwater liepen uiteen van 1 tot 32 mg en het gemiddelde voor 24 analyses tusschen October 1920 en September 1932 verricht, bedroeg 9,2 mg/l.

Nu is het jammer, dat tijdens het verzamelen van regenwater buiten de kooi niet tevens het binnen de kooi opgevangen regenwater op zink onderzocht werd en ook niet de drainwatermonsters. Er blijft dus voorshands nog eenige onzekerheid bestaan, hoewel het wel waarschijnlijk is, dat het zink van het gaas afkomstig is. Om zekerheid te verkrijgen, wordt thans nog regenwater binnen en buiten de kooi verzameld. Zoodra deze contrôle een positief resultaat heeft opgeleverd en de herkomst van het zink dus vaststaat, zal de afrastering van gegalvaniseerd ijzergaas verwijderd worden, mede omdat onlangs in den tuin van het Proefstation gebleken is, dat dergelijk gaas, waarschijnlijk tengevolge van de afgifte van zink, een schadelijke werking kan uitoefenen op den plantengroei in de nabijheid van het gaas (61a).

Tenslotte zij nog opgemerkt, dat, welke dan ook de herkomst van het zink moge zijn, uit het voorkomen in het drainwater blijkt, dat dit element niet in belangrijke mate door zavelgrond wordt vastgelegd.

HOOFDSTUK II

**De door drainwater en gewassen aan den grond
onttrokken bestanddeelen**

§ 1. VERBOUWDE GEWASSEN EN BEMESTING. OPBRENGSTEN

Na het invullen van den grond in de lysimeters in Augustus 1918 werden deze bezaaid met *koolzaad*. Tengevolge van de slechte doorlatendheid, welke de grond aanvankelijk bezat (zie deel I, blz. 37), had het gewas zooveel overlast van water gedurende najaar en winter, dat het mislukte. In het voorjaar van 1919 werden de bakken met aardappelen bepoet en van toen af aan tot en met 1933 vond geregelde bebouwing plaats.

Verbouwde gewassen en toegepaste bemesting zijn in tabel 45 vermeld.

Zooals uit de cijfers in tabel 45 blijkt, werden in de praktijk gebruikelijke bemestingen gegeven.

Tabel 46 geeft de gemiddelde opbrengsten voor de 8 lysimeters in kg/ha.

Omtrent de opbrengsten valt op te merken, dat de per ha omgerekende opbrengsten in vergelijking met de in de praktijk op soortgelijke zavelgronden verkregen oogsten in de meeste gevallen hoog, soms zeer hoog zijn. In ieder geval blijkt eruit, dat de ontwikkeling der gewassen steeds goed was.

Omtrent de ontwikkeling der gewassen valt verder nog het volgende op te merken.

In 1920 trad bij de haver de „veenkoloniale haverziekte” op. Omtrent de vermoedelijke oorzaak werd op blz. 290 reeds het een en ander gezegd. Nu wel vaststaat, dat dit verschijnsel als een gevolg van Mn-gebrek beschouwd moet worden, wekt het eenige bevreemding, dat het drainwater uit alle lysimeters toentertijd juist vrij hoge mangaancijfers aanwees (tabel 1).

De wintertarwe in 1921 vertoonde aanvankelijk op de lysimeters een iets minder goede ontwikkeling en een wat lichtere kleur dan de tarwe rondom de lysimeters op denzelfden grond. Mogelijk is dit „haverziekte” in zeer lichten graad geweest.

Ik vestig verder de aandacht op de hoge opbrengst aan tarwe in den zeer drogen zomer van 1921. In de lentemaanden bedroeg de regenval 85 mm tegen gemiddeld 139 mm in de jaren 1912—1938, in de zomermaanden 129 mm tegen gemiddeld 227 mm.

Ook het voorjaar en de zomer van 1929 waren droog, zij gaven resp. slechts 95 en 144 mm regen. Zelfs was de toestand in dit jaar in zooverre nog ongunstiger, dat ook in Januari en Februari weinig regen viel (22 en 14 mm),

TABEL 45

Verbonden gewassen en toegediende bemestingen
Crops grown on and manures added to the lysimeters at Groningen

Jaar	Gewas (Crop) ²⁾	Bemesting ¹⁾ in kg per ha			N-bemesting per lysimeter in grammen					Alle lysimeters grammen	
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	1 en 5 (NH ₄) ₂ SO ₄	2 en 4 NaNO ₃	3 en 6 NH ₄ NO ₃	7 en 8 Ca(NO ₃) ₂		K ₂ SO ₄	Ca(H ₂ PO ₄) ₃
1918	(17 Aug. koolzaad)	18,2	—	—	Alle lysimeters 10 g NaNO ₃					—	—
1919	Aardappelen	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1920	Haver	50,4	61,5	—	Alle lysimeters 27,3 g NaNO ₃					—	10
1921	Tarwe (winter-)	47,5	61,5	—	Alle lysimeters 20 g (NH ₄) ₂ SO ₄					—	10
1922	Erwten (groene-)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1923	Voederbieten	72,7	56,1	—	31,11	40,0	19,12	53,11	—	—	8,94
1924	Tarwe (zomer-)	39,3	—	—	16,80	21,60	10,32	28,70	—	—	—
1925	Vlas + klaver	22,4	50,5	—	9,52	12,27	5,90	13,51	—	—	8,86
1926	Roode klaver	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1927	Aardappelen	20	75	150 ³⁾	8,61	11,09	5,37	14,12	24,75	—	12,33
1928	Haver	20	75	75	8,61	11,09	5,37	14,12	12,37	—	12,33
1929	Mosterd	20	75	75	8,61	11,09	5,37	14,12	12,37	—	12,33
1930	Erwten (groene-)	—	100	120	—	—	—	—	19,68	—	16,43
1931	Tarwe (winter-)	40	100	100	16,95	21,89	10,24	28,78	16,40	—	16,43
1932	Haver	20	100	100	8,46	10,93	5,13	14,43	—	—	16,43
1933	Aardappelen	120	100	—	50,73	65,56	30,75	86,56	—	—	16,43

¹⁾ Bemesting — Manuring.

²⁾ For the english names see table 46.

³⁾ Bij vergissing werd van 1927—1931 een kalibemesting gegeven.

TABEL 46

Gemiddelde opbrengst (luchtdroog) der lysimeters in kg per ha
Average yield (air dry) of the lysimeters in kg per ha

(Year)	Gewas (Crop)	Soort (Variety)	Korrel enz. (Grain, tubers, beets)	Stroo enz. (Straw, leaves)	Kaf (Chaff)
1919	Aardappelen (Potatoes)	Ceres	26 200 ¹⁾	900 ⁴⁾	—
1920	Haver (Oats)	Mansholt II	5 400	4 400	700
1921	Tarwe (winter-) (Winterwheat)	Mansholt's witte dikkop III	5 400	9 300	1800
1922	Erwten (groene-) (Peas)	Mansholt's gekruiste kortstroo	2 600	3 400	—
1923	Voederbieten (Mangolds)	Ronde gele Oberndorfer	84 000 ³⁾	9 500 ⁴⁾	—
1924	Tarwe (zomer-) (Summerwheat)	Japhet	3 700	8 600	1200
1925	Vlas (Flax)	Witbloei	1 500	7 300	1400
		Roozendaalsche	—	3 300 ²⁾	—
1926	Klaver (roode) (Red clover)		—	19 300 ²⁾	—
1927	Klaver (roode) (Red clover)		—	900 ⁴⁾	—
1928	Aardappelen (Potatoes)	Ceres	47 500 ¹⁾	5 600	1400
1929	Haver (Oats)	Mansholt III	6 600	2 600	3400
1930	Mosterd (Mustard)	Unica	1 700	2 900	—
1931	Erwten (groene-) (Peas)	Robusta	4 400	10 500	—
1932	Tarwe (winter-) (Winterwheat)	Sterhaver	5 300	4 800	500
1933	Haver (Oats)	Eigenheimers	53 300 ¹⁾	3 800 ⁴⁾	—
1933	Aardappelen (Potatoes)				

¹⁾ Versch gewogen — Fresh weighed. In 1919 en 1933 4 poters, 1927 9 poters per lysimeter. Poter = seed potatoe.

²⁾ Hooi — Hay.

³⁾ Versch gewogen — Fresh weighed. 9 planten per lysimeter.

⁴⁾ Luchtdroog — Air dry.

terwijl het in 1921 in Januari overvloedig regende (115 mm), hetgeen tengevolge had, dat de lysimeters rijkelijk drainwater afgaven, waaruit volgt, dat de grond geheel met water verzadigd was. De toestand in beide jaren ten aanzien van regenval en drainwaterdebiet wordt door de gegevens in tabel 47 weergegeven.

Nu leert de praktijk, dat op de klei en ook op de niet te lichte zavelgronden de droge jaren als regel een goed gewas geven. Men meent vaak, dat in droge jaren de gewassen met hun wortels het grondwater opzoeken en daaruit het voor den groei benodigde water putten. Maar in de lysimeters was geen grondwater aanwezig; het overtollige water kon vrij afvloeien en kwam dus buiten het bereik der wortels.

TABEL 47

	Regenval in mm		Drainage in liters per lysimeter	
	1920—1921	1928—1929	1920—1921	1928—1929
September	34	14	—	0,5
October	8	76	—	0
November	12	126	—	—
December	33	48	—	14,7
Januari	115	22	54,5	4,6
Februari	15	14	13,5	0,9
Maart	38	12	6,6	0,1
April	27	52	1,5	5,3
Mei	20	31	3,6	0,7
Juni	44	44	0,2	0,5
Juli	17	30	0,1	0,2
Augustus	68	70	0,1	0,1

De planten op de lysimeters waren derhalve aangewezen op den in den grond aanwezigen watervoorraad, vermeerderd met den gedurende den groeitijd gevallen regen en verminderd met het direct uit den grond en vanaf de planten verdampte water. Deze voorraad was zelfs in de droge jaren 1921 en 1929 ruim voldoende om in de waterbehoefte van een goed gewas te voorzien.

In Januari 1921 is de watervoorraad, die sedert Augustus 1920 nogal afgenomen moet zijn, door overvloedigen regenval weer aangevuld geworden.

Men mag wel aannemen, dat hierdoor het watergehalte van den grond een maximum bereikte, want er vloeide gemiddeld per lysimeter 54,5 liter drainwater, d. i. 61 mm, af.

Er zij nog op gewezen, dat in droge zomers het sterk uitdrogen van de bovenste grondlaag een gunstige factor is voor het behoud van den watervoorraad in den grond (zie deel I, blz. 55). Hieraan is het vermoedelijk wel

toe te schrijven, dat in de jaren 1921 en 1929, ondanks de groote droogte, de lysimeters gedurende den geheelen zomer nog eenig drainwater afgaven.

Welke hoeveelheid water stond het tarwegewas in het voorjaar en in den zomer van 1921 in den grond ter beschikking?

Een antwoord op deze vraag zou men slechts kunnen geven indien de lysimeters elk oogenblik gewogen hadden kunnen worden, behoudens de onzekerheid ten aanzien van de hoeveelheid water, welke gedurende den groeitijd rechtstreeks uit den grond verdampste. Nu kan men slechts een zeer ruwe raming maken, welke er als volgt uitziet.¹⁾

Half Januari 1921 begonnen de lysimeters, tengevolge van den regenval, welke in de eerste helft van Januari 70,7 mm bedroeg, drainwater af te geven. We mogen derhalve aannemen, dat op 14 Januari de grond met water verzadigd was.

Zooals in deel I, blz. 37, werd medegedeeld, kon volgens waarnemingen tijdens het vullen der bakken de grond plus het onderliggende zandbed blijkbaar rond 350 kg water vasthouden, hetgeen $\pm 25\%$ van den grond uitmaakt, een cijfer, dat voor een fijnzandigen zavelgrond laag schijnt. We nemen echter nu maar aan, dat op 14 Januari 1921 de watervoorraad in den grond inderdaad 350 kg bedroeg; vermoedelijk was de voorraad nog wat grooter.

Van 14 Januari tot eind Juni, een tijdstip waarop, naar men mag aannemen, het waterverbruik door de tarwe vrijwel afgeloopen zal zijn geweest, viel 214,7 mm regen, waardoor, aangezien de oppervlakte der lysimeters ongeveer 0,9 m² bedraagt, 193 kg water in den grond kwam.

Van 14 tot 31 Januari werd 43 kg, en van 1 Februari tot 1 Juli 25 kg drainwater afgegeven, totaal dus 68 kg.

Er was derhalve, de directe verdamping uit den grond buiten beschouwing gelaten, $350 + 193 - 68 = 475$ kg water ter beschikking van de tarweplanten.

De opbrengst aan droge stof bedroeg gemiddeld per lysimeter 1,33 kg. Neemt men aan, dat voor de productie van 1 kg droge stof 350 kg water noodig is (zie deel I, hoofdstuk III), dan verbruikte de tarwe 465 kg water, dus slechts 10 kg minder dan de boven berekende beschikbare hoeveelheid water. Hierbij zou het vochtgehalte van den grond van boven tot beneden tot onder 1% gedaald moeten zijn, hetgeen natuurlijk niet denkbaar is.

Er zijn natuurlijk in deze berekening enkele fouten en meerdere onzekere ramingen. Zoo is de directe verdamping uit den grond, die in het vroege voorjaar, toen de bedekking van den grond door het gewas nog zeer onvol-

¹⁾ Bij de bespreking der onderzoekingen met *weegbare lysimeters*, verricht door HESSELINK en HUDIG, in Deel I, blz. 46—47, werd verzuimd ook melding te maken van een latere publicatie over deze onderzoekingen, welke werd opgenomen in de Med. v.h. Boschbouwproefstation (Wageningen) 3, 1928, 315.

komen was, niet onbeteekenend zal zijn geweest, niet in rekening gebracht. Daar staat weer tegenover, dat aangenomen werd, dat de totale productie van droge stof plaats vond tusschen 14 Januari en 30 Juni, terwijl op 14 Januari het tarwegewas reeds een zekere ontwikkeling had bereikt.

Wellicht was reeds vóór 14 Januari de maximale watervoorraad of zelfs méér dan deze aanwezig, zij het dan ook dat de verdeling van dezen voorraad in verticale richting nog niet overeenkwam met die in den toestand van evenwicht, waarin de grond verder toegevoerd water regelmatig afgeeft.¹⁾

Maar ondanks deze onzekerheden leert de berekening ons naar ik meen toch wel, dat de watervoorraad niet ruim bemeten was voor de eischen van het gewas en dat, indien het in Januari niet overvloedig geregend had, de opbrengst door den beperkten watervoorraad gedrukt zou zijn geworden.

Het voornaamste, dat het jaar 1921 ons heeft geleerd, is echter, dat ook lichtere zavelgronden, mits deze tot op een diepte van 1 m uit fijnzandig materiaal bestaan, zelfs bij de meest ideale drainage, zooveel water vasthouden, dat zij ook in abnormaal droge jaren maximale oogsten kunnen geven. De vrees, dat men bij dergelijke zavelgronden den grondwaterstand te veel zou kunnen verlagen om ook in droge jaren van een goeden oogst verzekerd te zijn, is ongegrond.

Dit sluit natuurlijk niet uit, dat bij zeer hoge uitzondering de regenval vanaf het najaar tot aan het tijdstip, waarop het volgende gewas tot rijpheid komt, de regenval steeds zóó gering zou kunnen zijn, dat onder de genoemde omstandigheden t. a. v. de grondsoort, watergebrek zou kunnen optreden.

Dit geval zou zich wellicht in 1921 hebben voorgedaan, indien ook in Januari, evenals in de voorafgaande en volgende maanden, de regenval aanmerkelijk onder het gemiddelde ware gebleven. Men behoeft de regencijfers over een lange reeks van jaren voor ons land maar door te zien, om tot het besef te komen, dat deze kans echter uiterst gering is.

Voert men voor het droge jaar 1929 een zelfde berekening uit als voor 1921, dan vindt men, dat het gewas *mosterd* de beschikking had over 497 kg water per lysimeter. Aangezien de geproduceerde hoeveelheid droge stof slechts 0,615 kg per lysimeter bedroeg, was voor deze productie slechts 215 kg water noodig. De beschikbare watervoorraad was dus in dit jaar ruimschoots voldoende.

De opbrengsten der afzonderlijke lysimeters en de invloed van den aard der N-bemestingen op de opbrengsten

Het is gewenscht om door cijfers een indruk te gevan van de verschillen,

¹⁾ Het begin van drainwaterafgifte is vermoedelijk niet steeds te beschouwen als het oogenblik waarop de grond van boven tot beneden geheel met water verzadigd is en ook niet meer dan deze hoeveelheid bevat. De bovenlaag kan méér water bevatten (plotselinge zware regenval), maar ook minder (krimpscheuren).

welke tusschen de opbrengsten der afzonderlijke lysimeters optraden (zie tabel 48 blz. 312).

Uit deze cijfers blijkt, dat er veelvuldig groote verschillen in opbrengst optreden. Vooral bij aardappelen in 1919 en 1933, bij erwten in 1922, bij de bieten in 1923, tarwe (korrel) in 1924 en vlas (zaad) in 1925 zijn de verschillen groot. Het is dus niet met zekerheid te zeggen, of sommige der lysimeters een afwijkende productiviteit bezitten. Slechts bij 4 en 8 liggen de opbrengsten als regel boven het gemiddelde en schijnt de productiviteit dus iets grooter te zijn. Bij lysimeter 2, die met 4 wat de N-bemesting betreft overeenkomt, blijft de opbrengst aan korrel evenveel malen boven als beneden het gemiddelde, de stroo-opbrengst echter is overwegend aan den hoogen kant.

Bij dergelijke schommelingen in de opbrengsteijfers is het buitengesloten om met zekerheid iets te zeggen omtrent den invloed van den aard der N-bemesting op de opbrengst. Misschien kan dit nog het best, indien men men de totaal-opbrengsten aan droge stof voor een reeks van jaren, uitgedrukt in procenten der gemiddelde opbrengst, beschouwt; deze cijfers vindt men in tabel 49.

TABEL 49

*Totaal-opbrengst aan droge stof per lysimeter in procenten
van de gemiddelde opbrengst*

Total yield of dry matter in percents of average yield

	NaNO ₃		(NH ₄) ₂ SO ₄		NH ₄ NO ₃		Ca(NO ₃) ₂	
	2	4	1	5	3	6	7	8
1919—1922. N-bemesting gelijk (<i>Same N-manures</i>)								
Korrel (<i>Grain etc.</i>)	97,7	99,3	94,4	95,0	104,3	102,2	102,9	104,2
Stroo (<i>Straw etc.</i>)	97,6	103,4	97,2	97,6	102,8	99,4	98,6	103,4
Tot. opbrengst (<i>Total Yield</i>)	97,7	101,4	95,8	96,3	103,5	100,7	100,7	103,8
Gemiddeld (<i>Mean</i>)	99,6		96,1		102,1		102,3	
1923—1933. N-bemesting verschillend (<i>Different N-manures</i>)								
Korrel (<i>Grain etc.</i>)	98,0	111,1	93,4	99,9	102,3	96,6	97,3	101,4
Stroo (<i>Straw etc.</i>)	104,2	102,1	97,8	98,2	98,0	100,5	96,2	102,9
Tot. opbrengst (<i>Total Yield</i>)	101,5	106,1	95,9	98,9	99,9	98,8	96,7	102,2
Gemiddeld (<i>Mean</i>)	103,8		97,4		99,4		99,5	
Uitsluitend de 4 graangewassen (<i>The four cereals only</i>)								
Korrel (<i>Grain etc.</i>)	103,7	100,2	99,9	97,8	93,5	100,3	102,9	101,8
	102,0		98,9		96,9		102,4	
Stroo (<i>Straw</i>)	104,3	103,2	95,9	96,0	96,0	100,5	101,8	102,4
	103,8		96,0		98,3		102,1	
Tot. opbrengst (<i>Total Yield</i>)	104,1	102,0	97,4	96,7	95,0	100,4	102,2	102,2
Gemiddeld (<i>Mean</i>)	103,1		97,1		97,7		102,2	

Deze cijfers schijnen erop te wijzen — meer valt er niet van te zeggen —, dat de bemesting met NaNO_3 gemiddeld wat hogere opbrengsten heeft gegeven dan die met de beide ammoniakzouten. Dit zou in overeenstemming zijn met de resultaten van meerdere andere bemestingsproeven en met de resultaten, welke in de jaren 1911—1934 op een proefveld in den tuin van het proefstation met een soortgelijken zavelgrond verkregen werden (53).

Dit onderzoek had echter zelfs niet als nevendoel de bemestingswaarde der vier N-meststoffen met elkaar te vergelijken; de inrichting der proef was daartoe ook ongeschikt. De beteekenis van de hier gegeven opbrengstcijfers is voornamelijk hierin gelegen, dat ze de normale ontwikkeling der gewassen aantoonen en doen zien, dat de opbrengstverschillen over 't algemeen niet van dien aard zijn, dat daardoor duidelijke verschillen in de samenstelling van het drainwater verwacht mogen worden, enkele jaren gedurende den groeitijd der gewassen misschien uitgezonderd.

§ 2. DE SAMENSTELLING DER VERBOUWDE GEWASSEN EN DE DOOR DEZE AAN DEN GROND ONTTROKKEN BESTANDDEELLEN

a. *De samenstelling der gewassen*

In het eerste proefjaar (aardappelen) werden mengmonsters der 8 afzonderlijke oogsten onderzocht. In volgende 3 jaren werden de oogsten van 3 en 4 lysimeters geanalyseerd; de gemiddelde samenstelling werd gebruikt voor de berekening van hetgeen aan den grond der 8 lysimeters onttrokken werd. Vanaf 1923 werden steeds de oogsten der 8 lysimeters afzonderlijk onderzocht.

Tabel 50 geeft de gemiddelde samenstelling der op de lysimeters verbouwde gewassen.

Er is geen enkele reden om te vermoeden, dat deze samenstelling zou afwijken van die van op het vrije veld verbouwde gewassen en dus niet zou kunnen dienen voor het berekenen van hetgeen de gewassen op soortgelijken grond in de praktijk per ha aan den grond onttrekken. Uit tal van aschanalyses in den loop der jaren aan het proefstation te Groningen verricht bij gewassen afkomstig van verschillende grondsoorten, is gebleken, dat de samenstelling onzer cultuurgewassen, *mits deze den vollen wasdom bereiken hebben*, over 't algemeen binnen niet ver uiteenliggende grenzen ligt, ondanks belangrijke verschillen in het groeimedium (53, 54 en 55). Bij aardappelen en bieten echter kunnen, vooral ten opzichte van de basenbestanddeelen, verschillen van belang optreden. Vergelijkt men dan ook de in tabel 50 opgegeven analyses met die in de vermelde publicaties, dan zal blijken, dat de cijfers als normaal beschouwd kunnen worden.

TABEL 50

Gemiddelde samenstelling der gewassen in % van de droge stof
Average composition of the crops in percents of drymatter

Jaar (Year)		N	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃ Al ₂ O ₃
Aardappelen (Potatoes)											
1919	Knollen (Tubers) . . .	1,11	0,74	0,34	0,31	0,05	3,10	0,03	0,10	0,20	0,01
1927		1,07	0,75	0,36	0,14	0,06	2,74	0,01	0,11	0,21	0,01
1933		1,30	0,76	0,38	0,10	0,05	2,53	0,02	0,08	0,16	0,02
1919	Loof (Leaves)	1,97	0,53	1,30	1,86	0,80	5,14	0,44	3,82	0,87	0,52
1927		2,36	0,55	2,13	1,29	0,39	4,89	0,10	4,65	1,12	0,35
1933		1,37	0,29	1,23	0,87	0,39	2,64	0,12	3,94	0,77	0,22
Haver (Oats)											
1920	Korrel (Grain)	2,09	0,93	0,43	0,08	1,43	0,65	0,04	0,13	0,29	0,01
1928		1,78	0,92	0,38	0,04	1,80	0,65	0,01	0,14	0,22	0,08
1932		1,77	0,95	0,38	0,12	1,85	0,79	0,02	0,16	0,21	0,02
1920	Stroo (Straw) ¹⁾ . . .	0,43	0,17	0,36	1,25	3,12	3,27	0,34	0,55	0,11	0,10
1928		0,23	0,14	0,32	0,40	3,42	3,03	0,40	0,50	0,10	0,08
1932		0,33	0,27	0,40	0,83	4,00	2,70	0,39	0,63	0,09	0,03
Tarwe (Wheat)											
1921	Korrel (Grain)	2,39	0,88	0,37	0,08	0,02	0,55	0,02	0,05	0,27	0
1924		1,96	0,99	0,42	0,08	0,06	0,68	0,07	0,06	0,28	0,01
1931		1,86	1,03	0,28	0,05	0,11	0,57	0,01	0,05	0,49	0,02
1921	Stroo (Straw) ¹⁾ . . .	0,36	0,12	0,66	0,95	4,69	2,34	0,06	0,36	0,21	0,05
1924		0,82	0,26	0,61	0,23	7,32	1,79	0,05	0,23	0,12	0,17
1931		0,24	0,18	0,31	0,31	8,06	1,49	0,01	0,25	0,12	0,04
Erwten (Peas)											
1922	Erwten (Peas)	4,79	1,11	0,59	0,06	0,10	1,40	0,11	0,15	0,27	0,10
1930		4,43	1,04	0,65	0,11	0,04	1,44	0,08	0,10	0,28	0,02
1922	Stroo (Straw)	2,74	0,50	0,98	0,44	1,30	1,71	0,28	3,07	0,49	0,59
1930		1,92	0,24	0,99	0,61	0,67	1,39	0,20	3,52	0,50	0,27
Voederbieten (Mangolds)											
1923	Biet (Beet)	1,80	0,80	0,33	0,30	0,21	3,60	1,24	0,37	0,35	0,04
	Loof (Leaves)	2,86	0,71	1,55	0,92	0,65	3,88	4,87	2,69	1,15	0,25
Vlas (Flax)											
1925	Zaad (Seed)	4,76	2,00	0,61	0,03	0,09	1,25	0,08	0,39	0,69	0,04
	Stengel (Stalk)	0,57	0,23	0,36	0,28	0,08	1,81	0,27	0,72	0,17	0,05

¹⁾ In 1931 werden stroo en kaf niet afzonderlijk geanalyseerd doch gezamenlijk; overigens geschiedde dit bij de granen wel. Hier zijn slechts de gehaltecijfers voor het stroo vermeld, aangezien die voor het kaf weinig zeggen; kaf is nl. zeer wisselend van aard daar het bestaat uit eigenlijk kaf, onvoldragen korrels en stukgeslagen stroo.

TABEL 50 (Vervolg)

Jaar (Year)		N	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃ Al ₂ O ₃
Roode klaver (<i>Red clover</i>)											
1925	3 sneden (<i>3 cuts</i>) . .	4,00	0,81	0,62	0,51	0,26	2,99	0,10	2,91	0,62	0,23
1926		2,88	0,65	0,52	0,30	0,19	3,09	0,05	2,52	0,52	0,16
Mosterd (<i>Mustard</i>)											
1929	Zaad (<i>Seed</i>)	4,38	2,04	2,96	0,01	0,02	1,01	0,01	0,72	0,54	0,01
	Stroo (<i>Straw</i>)	0,29	0,09	0,65	0,84	0,09	1,39	0,31	1,33	0,09	0,05

Ik zal deze cijfers hier niet aan een nadere bespreking onderwerpen, aangezien dit buiten het bestek dezer verhandeling ligt. Alleen zou ik willen doen opmerken, dat bij stroo en bij aardappelloof in de eerste jaren meestal hogere Cl-cijfers gevonden werden dan in de latere jaren, hetgeen, naar men wel mag aannemen, samenhangt met den reeds meermalen vermelden grooteren Cl-rijkdom van den grond in de eerste jaren.

Vergelijkt men de analyses van de oogsten der afzonderlijke lysimeters, dan blijkt, dat de verschillen gering zijn. Ook de invloed der toediening van verschillende N-meststoffen is gering. Het zou te veel plaatsruimte vorderen om hier het volledige cijfermateriaal te vermelden. Om evenwel toch het voorgaande eenigermate door cijfers te staven, geef ik in tabel 51 de gemiddelden der gehalte-cijfers voor de in de jaren 1923—1933 verbouwde gewassen voor iederen lysimeter afzonderlijk.¹⁾

Uit de gemiddelde cijfers voor de lysimeters met gelijke N-bemesting blijkt, dat de invloed van den aard der N-bemesting op de samenstelling van korrel, aardappelen en bieten niet met zekerheid aangetoond kan worden. Misschien is er een zwakke aanduiding, dat NaNO₃ een iets lager N-gehalte en een iets hooger Na₂O-gehalte geeft. Bij stroo (loof) zien we hetzelfde.

Over 't algemeen schijnen bij het stroo de gemiddelde gehaltecijfers bij bemesting met NaNO₃ wat lager te zijn dan bij bemesting met de andere N-meststoffen (de P₂O₅- en MgO-cijfers zijn voor Ca(NO₃)₂ het laagst). Mogelijk houdt dit verband met het vroeger meermalen geconstateerde feit, dat bij hogere opbrengstcijfers als regel iets lagere gehaltecijfers gevonden worden.

¹⁾ Indien rekening ware gehouden met de gewichten der oogsten, zouden deze cijfers de samenstelling weergeven van de totale massa plantensubstantie (kaf uitgezonderd), welke in de jaren 1923—1933 geoogst werd. De cijfers in tabel 51 dienen echter slechts ter onderlinge vergelijking; verder hebben ze geen beteekenis.

TABEL 51

Gemiddelden van de gehaltecijfers der van 1923 tot en met 1933 op de lysimeters verbouwde gewassen

Mean figures for N-content etc. of the different crops grown on the lysimeters from 1923 till 1933 inclusive

Lys.	N-bemesting (N-manure)	N	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃ Al ₂ O ₃
Korrel enz. (Grain etc.)											
1	(NH ₄) ₂ SO ₄	2,51	1,14	0,68	0,10	0,42	1,50	0,13	0,22	0,35	0,03
5		2,52	1,14	0,69	0,10	0,39	1,55	0,16	0,22	0,34	0,02
	Gemiddeld (Mean) . .	2,51	1,14	0,68	0,10	0,41	1,53	0,15	0,22	0,35	0,02
2	NaNO ₃	2,49	1,15	0,68	0,10	0,44	1,58	0,18	0,21	0,35	0,03
4		2,43	1,13	0,67	0,09	0,49	1,50	0,15	0,22	0,33	0,03
	Gemiddeld (Mean) . .	2,46	1,14	0,68	0,09	0,46	1,54	0,17	0,22	0,34	0,03
3	NH ₄ NO ₃	2,54	1,12	0,66	0,09	0,41	1,49	0,14	0,22	0,34	0,02
6		2,53	1,13	0,66	0,09	0,43	1,61	0,16	0,22	0,35	0,02
	Gemiddeld (Mean) . .	2,53	1,12	0,66	0,09	0,42	1,50	0,15	0,22	0,34	0,02
7	Ca(NO ₃) ₂	2,55	1,12	0,68	0,10	0,44	1,57	0,15	0,23	0,34	0,03
8		2,53	1,11	0,68	0,10	0,41	1,51	0,15	0,21	0,34	0,03
	Gemiddeld (Mean) . .	2,54	1,11	0,68	0,10	0,43	1,54	0,15	0,22	0,34	0,03
Stroo, loof (Straw, leaves)											
1	(NH ₄) ₂ SO ₄	1,51	0,38	0,82	0,62	2,25	2,62	0,54	1,96	0,45	0,16
5		1,48	0,37	0,85	0,65	2,19	2,78	0,59	2,00	0,43	0,16
	Gemiddeld (Mean) . .	1,50	0,38	0,84	0,64	2,22	2,70	0,56	1,98	0,44	0,16
2	NaNO ₃	1,49	0,37	0,75	0,58	2,09	2,53	0,54	1,89	0,44	0,16
4		1,42	0,36	0,82	0,60	2,08	2,45	0,70	1,99	0,46	0,16
	Gemiddeld (Mean) . .	1,46	0,37	0,79	0,59	2,08	2,49	0,62	1,94	0,45	0,16
3	NH ₄ NO ₃	1,51	0,38	0,82	0,62	2,08	2,51	0,52	2,10	0,48	0,16
6		1,49	0,36	0,79	0,63	2,10	2,70	0,57	1,97	0,44	0,15
	Gemiddeld (Mean) . .	1,50	0,37	0,80	0,63	2,09	2,61	0,54	2,04	0,46	0,15
7	Ca(NO ₃) ₂	1,53	0,36	0,87	0,61	2,08	2,57	0,57	1,99	0,43	0,15
8		1,46	0,35	0,81	0,62	2,15	2,56	0,56	2,04	0,44	0,16
	Gemiddeld (Mean) . .	1,50	0,36	0,84	0,62	2,12	2,57	0,57	2,02	0,44	0,16

Bezieet men de cijfers voor de afzonderlijke gewassen (hier dus met 't oog op den omvang niet afgedrukt), dan blijkt, dat bij 8 der van 1920—1933 verbouwde gewassen de verschillen in samenstelling der oogsten van de afzonderlijke lysimeters als regel onwezenlijk zijn. Slechts enkele malen treden verschillen van eenige beteekenis op en soms is daarbij, meer of minder duidelijk, de invloed der N-bemesting te onderkennen, terwijl in andere gevallen gedacht

moet worden aan verschillen in opbrengst of ontwikkeling van het gewas. Ik laat hier enkele voorbeelden volgen.

Wintertarwe 1921. Geanalyseerd werden de oogsten der lysimeters 1, 3 en 7. De N-cijfers voor de *korrel* waren resp. 2,51, 2,16 en 2,51 %.

De stroo-opbrengst was bij 3 hooger; vermoedelijk worden als gevolg daarvan voor 3 bijna alle gehaltecijfers lager gevonden.

	Stroo		
	1	3	7
Opbrengst (dr. st.)	719	768	728
N	0,40	0,28	0,41
SO ₃	0,70	0,51	0,77
K ₂ O	2,59	1,85	2,59

Erwten 1922. De verschillen bij zaad en stroo zijn onbeteekenend, behalve dat bij het *stroo* het K₂O-gehalte voor lysimeter 2 0,54—0,68 % lager was dan voor 4, 6 en 8. Het lagere K₂O-gehalte wordt echter weer gecompenseerd door een vrijwel aequivalente verhooging van het CaO-gehalte, zoodat de som der basenaequivalenten voor de vier oogsten tenslotte slechts weinig verschilt.

Bieten 1923. De opbrengsten aan droge stof der *bieten* loopen bij 4 en 7 sterk uiteen (1029 en 633 gr). Dit zal wel de oorzaak zijn van de over 't algemeen hogere gehaltecijfers bij 7. Vooral bij N en K₂O zijn deze verschillen vrij groot; bij 4 en 7 werd resp. gevonden: voor N 1,47 en 2,22 %, voor K₂O 3,40 en 4,06 %.

Bij het *loof* zijn de verschillen bij N (lys. 3 en 4 = 2,61 %, lys. 7 = 3,37 %), K₂O (lys. 2 = 3,34 % en lys. 3 = 4,54 %) en bij Na₂O (lys. 2 = 3,98 %, lys. 4 = 5,69 %) vrij belangrijk. De uiterste waarden voor Na₂O treden op bij de lysimeters 2 en 4 (NaNO₃) en zijn dus geen gevolg van den aard der N-bemesting.

Vlas 1925. Waarschijnlijk heeft de NaNO₃-bemesting bij stengel en kaf het Na₂O-gehalte eenigszins verhoogd. Bij den stengel wordt n.l. voor lysimeters 2 en 4 een gehalte van 0,39 en 0,38 % tegen 0,14—0,26 % bij de zes andere lysimeters, en bij het kaf 0,36 tegen 0,19—0,25 % gevonden.

Haver 1923. Bij het *stroo* valt vermoedelijk ook een geringe invloed van de NaNO₃-bemesting te bespeuren. Het Na₂O-gehalte is bij lysimeters 2 en 4 wat hooger, 0,61 % tegen gemiddeld 0,33 % bij de overige lysimeters. Het K₂O-gehalte is daarentegen bij 2 en 4 wat lager (2,8 tegen 3,1 %).

Haver 1932. Hier treden overeenkomstige verschillen op. Voor Na_2O zijn de cijfers resp. 0,54 en 0,34 %, voor K_2O 2,51 en 2,76 %.

Aardappelen 1933. Evenals bij de hiervóór genoemde gewassen, ziet men eenigen invloed der NaNO_3 -bemesting op de samenstelling van het aardappelengewas. Bij de *knollen* zijn de Na_2O -cijfers resp. 0,049 en 0,012 %, de K_2O -cijfers 2,508 en 2,54 % (het laatste verschil is onbetekenend). Bij het *loof* zijn deze cijfers resp. 0,18 en 0,09 % en 2,26 en 2,77 %.

Het schijnt wel, dat de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -bemesting het SO_3 -gehalte soms verhoogt en de cijfers in tabel 51 schijnen daar ook eenigszins op te wijzen. Deze hoogere cijfers treft men aan bij de aardappelknollen-1933, bij het stroo van haver-1928 en 1932, bij dat van erwten-1930, van mosterd-1929 en bij het vlaszaad-1925.

Groot zijn deze verschillen echter niet, zoodat ze ook niet steeds vaststaan.

b. *De door de gewassen aan den grond onttrokken bestanddeelen*

In tabel 52 zijn vermeld de hoeveelheden der verschillende bestanddeelen, welke in de jaren 1919—1933 door de gewassen per ha aan den grond werden onttrokken. Deze bedragen zijn berekend uit hetgeen de gewassen uit den grond der 8 lysimeters hebben opgenomen, dus op een totaal oppervlak van 7,133 m².

De vraag dient gesteld te worden, of men met deze cijfers berekeningen mag opstellen voor de praktijk. De samenstelling der verbouwde gewassen ligt binnen de grenzen, welke men bij te velde verbouwde gewassen voor de samenstelling vindt; in dit opzicht zijn de cijfers dus volkomen bruikbaar. Maar de opbrengsten zijn over 't algemeen hoog, soms zelfs buitengewoon hoog in vergelijking met die, welke de genoemde gewassen op overeenkomstige zavelgronden in de provincie Groningen geven. In tabel 53 is daarom met dezelfde analyse-cijfers de berekening gemaakt voor opbrengsten, welke als normaal beschouwd mogen worden. Bij vergelijking der gemiddelde jaarcijfers onderaan in beide tabellen ziet men, dat men zodoende tot belangrijk lagere cijfers komt.

Indien men de cijfers voor N, P_2O_5 , K_2O en CaO uit tabel 53 vergelijkt met die, welke men in de Nederlandsche leerboeken voor bemestingsleer vindt opgegeven — ik noem hier die van ELEMA (23) en van OTTEN (69) —, dan valt het op, dat althans voor N en K_2O de eerstgenoemde cijfers hoger zijn, niettegenstaande aan beide groepen van cijfers ongeveer gelijke oogst-opbrengsten ten grondslag liggen.

TABEL 52

Door het gewas aan den grond der lysimeters onttrokken bestanddeelen in kg per ha
 Constituents removed by the crops from the soil in the lysimeters kg per ha

Gewas (Crop) ⁴⁾	Opbrengst (Yield) q/ha		N	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃
	Korrel etc.	Stroo etc.										
1919 Aardappelen	262 ¹⁾	9 ³⁾	77	45	29	32	9	212	5	36	18	5
1920 Haver	54	52	126	55	40	58	280	177	18	35	21	7
1921 Tarwe (winter-)	54	111	155	56	82	91	543	245	7	39	34	7
1922 Erwtten	26	34	197	42	44	15	42	86	11	98	22	18
1923 Voederbieten	840 ¹⁾	95 ³⁾	299	108	103	71	49	517	339	159	86	15
1924 Tarwe (zomer-)	37	99	133	54	66	22	716	169	7	23	20	15
1925 Vlas	15	87	122	48	48	26	10	170	22	89	25	7
Rode klaver	—	33 ²⁾	116	23	18	15	8	87	3	84	18	7
1926 Rode klaver	—	193 ²⁾	498	112	90	52	32	536	9	437	90	28
1927 Aardappelen	475 ¹⁾	9 ³⁾	140	87	58	26	9	351	1	48	33	4
1928 Haver	66	70	125	66	46	26	413	214	23	46	21	15
1929 Mosterd	17	60	91	39	107	38	6	105	10	168	15	4
1930 Erwtten	44	29	219	46	50	20	18	90	8	92	23	8
1931 Tarwe (winter-)	53	105	110	66	43	32	785	171	2	27	34	4
1932 Haver	53	53	104	60	40	46	318	168	19	39	14	4
1933 Aardappelen	533 ¹⁾	38 ³⁾	204	103	87	42	19	398	7	144	45	9
Totaal			2716	1010	951	612	3257	3696	491	1564	519	157
Gemiddeld per jaar (Year average)			181	67	63	41	217	246	33	104	35	10

¹⁾ Versch. gewogen — Weighed fresh.

³⁾ Luchtdroog — Air dry.

²⁾ Hooi — Hay.

⁴⁾ See table 46.

TABEL 53

Door normale praktijk-oogsten aan zavelgrond onttrokken bestanddeelen in kg per ha
Constituents removed from the soil by crops with for this type of soil normal yields

Gewas (Crop)	Opbr. (Yield) q/ha		N	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO
	Korrel enz.	Stroo enz.									
Aardappelen ¹⁾	220	—	51	34	16	14	2	143	1	4	9
Haver	42	60	104	45	37	73	230	209	20	36	17
Tarwe (w.-) . .	40	60	105	38	49	55	267	148	4	22	21
Erwten	30	40	227	48	51	18	49	99	13	114	25
Voederbieten .	800	200 ²⁾	237	94	64	49	34	438	221	91	58
Tarwe (z.-) . .	40	60	110	47	47	15	393	118	5	15	16
Vlas	12	50	78	32	23	13	4	95	13	37	15
Rode klaver . .	—	25 ³⁾	89	18	14	11	6	67	2	65	14
Rode klaver . .	—	110 ³⁾	285	64	52	30	19	306	5	250	52
Mosterd	14	35	66	29	59	27	3	57	10	51	10

Vruchtwisseling als in tabel 52 (Crop-rotation as in table 52)

Totaal	1909	707	599	434	2039	2528	350	908	333
Gem. per jaar (Year average) . .	127	47	40	29	136	169	23	61	22

¹⁾ Aangenomen werd dat het loof op den akker achterblijft — *Supposing that the leaves remain on the field.*

²⁾ Versch gewogen — *Fresh weighed.*

³⁾ Hooi — *Hay.*

Hetzelfde valt op te merken als men de berekening uitvoert met gelijke oogstopbrengsten als in tabel 53, doch met de gemiddelde gehalte-cijfers, welke VAN ITALLIE (102) berekende uit de het Landbouwproefstation te Groningen vooral uit eigen onderzoekingen ter beschikking staande gegevens. Men vindt dan de in tabel 54 genoemde cijfers.

TABEL 54

Kg per ha aanwezig in de oogsten van onderstaande gewassen. (Opbrengsten als in tabel 53. Gehaltcijfers ontleend aan tabel I van VAN ITALLIE (102))

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Aardappelen (knollen)	77	35	132	7
Haver	98	52	154	19
Wintertarwe	85	42	75	15
Zomertarwe	103	48	80	15
Erwten	165	37	87	89
Voederbieten	144	72	320	82
Vlas	74	42	70	38

Volgens deze cijfers zou bij een vruchtwisseling als op de lysimeters in een 15-jarige periode door de gewassen gemiddeld per jaar aan den grond zijn onttrokken:

116	kg N,
46	„ P_2O_5 ,
136	„ K_2O ,
51	„ CaO.

Inderdaad zijn deze cijfers, dat voor P_2O_5 uitgezonderd, lager dan die in tabel 53. De gehaltecijfers voor de betreffende bestanddeelen der op de lysimeters verbouwde gewassen liggen dus in 't algemeen wat hooger dan de gemiddelde cijfers voor op uiteenlopende grondsoorten verbouwde gewassen, welke de genoemde auteurs voor hun berekeningen gebruikten.

Voor gegevens omtrent den invloed van de grondsoort op de samenstelling der gewassen — vooral doet deze invloed zich bij loof en stroo gevoelen — verwijs ik naar mijn vroegere publicaties over dit onderwerp (54).

Het behoeft ons niet te verwonderen, dat de grond in de Groninger lysimeters N- en K_2O -rijke gewassen levert. Men heeft hier immers te doen met een nog *jongen* zavelgrond, welke een krachtige nitrificatie vertoont en in welken de kalivoorraad nog slechts door een 60-tal gewassen (de Nieuwe Ruigelandster polder werd in 1877 bedijkt) werd aangesproken.

Men ziet dan ook, dat de gewassen, welke op de lysimeters groeiden, steeds kali-rijker waren dan die, welke in den tuin van het Proefstation verbouwd werden op *oude* zavelgronden met ongeveer gelijk kleigehalte, te weten: het zavelperceel Pr. 1 met zavelgrond uit Mensingeweer (53, tabel 19) en het perceel der monierperceelen met zavelgrond uit Eenrum (54, 1918). In tabel 55 zijn de K_2O -gehalten van het loof, resp. stroo der op deze gronden verbouwde gewassen met die der lysimeters naast elkaar geplaatst, terwijl tevens vermeld zijn de gehaltecijfers uit tabel III der tabellen, uitgegeven door het Proefstation Groningen (102).

Het valt in tabel 55 onmiddellijk op, dat de kali cijfers voor Pr. 1 zeer laag zijn, vergeleken met de andere cijfers. In verband hiermede vestig ik er de aandacht op, dat zavelproefveld Pr. 1 zich sedert vele jaren kenmerkt door uitgesproken kali-armoede, waarvoor verwezen kan worden naar de betreffende publicatie (53).

Voor cijfers omtrent den invloed van den ouderdom van den grond op het kaligehalte van bietenloof verwijs ik verder naar publicatie 55, blz. 1039 en 1041, en voor zoover betreft het kaligehalte van klaver naar dezelfde publicatie, blz. 1058.

In de publicatie vermeld onder 54 (1919) vindt men in tabel 85 voor-

beelden van de groote verschillen, welke in het kaligehalte van bietenloof en roode klover kunnen optreden naar gelang deze gewassen op ouden zavelgrond (zavelproefveld Pr. 1) dan wel op jonge Dollardklei (Pr. 2, eveneens in den tuin van het Proefstation) verbouwd werden.

TABEL 55

K₂O-gehalte van het loof, resp. stroo, van op de lysimeters verbouwde gewassen, naast dat der zelfde gewassen, verbouwd op twee oude Groninger zavelgronden

Loof, resp. stroo van:	Lysimeters (68 % zand)		Zavelproefv. Pr. 1 (72 % zand)			Monierperceel (76 % zand) ¹⁾		Volgens tab. III v. Itallie (102)
				zonder K-bem.	met K-bem.			
Voederbieten (Oberndorfer) . .	1923	3,88	1917	1,89		1920	1,72	4,00 ⁴⁾
Aardappelen (Ceres)	1919	5,14	1919	0,59 ³⁾		1914	3,22	1,00
	1927	4,89 ²⁾				1917	1,85 ³⁾	
Roode klover. . .	1925	2,99	1916	1,34				2,75
	1926	3,09	1927	1,61	2,80			
			1928	1,02	1,45			
			1934	1,05	2,28			
			1935	0,71	1,16			
Groene erwten . .	1922	1,71	1924	0,39	0,82	1921	1,04	1,50
	1930	1,39 ²⁾						
Tarwe (zomer-) . .	1924	1,79	1918	0,99				1,20
„ (winter-) . .	1921	2,34	1932	0,75	1,23	1918	0,96	1,10
	1931	1,49 ²⁾						
Haver	1920	3,27				1911	2,04	2,50
	1928	3,03 ²⁾				1916	2,31	
	1932	2,70						
Vlas	1925	1,81	1934	0,42	1,14	1919	1,20	1,30

De cijfers zijn verkregen door onderzoek van meerdere monsters te weten: bij de lysimeters van 8, bij Pr. 1 van 3 en bij het monierperceel van meestal 4 monsters.

¹⁾ De cijfers in deze kolom hebben betrekking op gewassen, verbouwd zonder kalibemesting.

²⁾ Met K-bemesting.

³⁾ Bij het oogsten was reeds veel blad afgevallen. Aangezien de bladeren kalirijker zijn dan de stengels (zie 59, blz. 137, tabel 5) zijn deze cijfers hierdoor mogelijk eenigszins gedrukt. Op de lysimeters werd het dorrende loof steeds zorgvuldig verzameld.

⁴⁾ De kali-cijfers voor bietenloof loopen bij de verschillende soorten soms sterk uiteen (zie 55, blz. 1036). Dit cijfer is dus strikt genomen niet te vergelijken met de overige cijfers, die slechts op Oberndorfer bieten, met een naar verhouding laag K-gehalte, betrekking hebben.

TABEL 56

N-gehalte van het loof, resp. stroo, van op de lysimeters verbouwde gewassen, naast dat der zelfde gewassen, verbouwd op twee oude Groninger zavelgronden

Loof, resp. stroo van:	Lysimeters (68 % zand)		Zavelproefv. Pr. 1 (72 % zand)			Monierperceel (76 % zand)		Volgens tab. III v. Itallie (102)
				zonder K-bem.	met K-bem.			
Voederbieten (Oberndorfer) . .	1923	2,86	1917	2,28		1920	1,86	2,00
Aardappelen (Ceres)	1919	1,97	1919	1,64		1914	0,98	1,20
	1927	2,36				1917	0,89	
Roode klaver . . .	1925	4,00	1916	2,91				2,85
	1926	2,88	1927	3,06	2,57			
			1928	3,19	2,93			
			1934	4,20	3,30			
			1935	3,09	2,63			
Groene erwten . .	1922	2,74	1924	1,81	1,51	1921	1,50	1,70
	1930	1,92						
Tarwe (zomer-) . .	1924	0,82	1918	0,55				0,55
„ (winter-) . .	1921	0,36	1932	0,36	0,33	1918	0,22	0,40
	1931	0,24						
Haver	1920	0,43				1911	0,35	0,45
	1928	0,23				1916	0,23	
	1932	0,33						
Vlas	1925	0,57	1934	0,71	0,70	1919	0,40	0,60

Tabel 56 geeft een overeenkomstige vergelijking voor de N-cijfers als de voorgaande tabel voor de K₂O-cijfers. De N-gehalten der op de lysimeters verbouwde gewassen wijken minder af van die der gewassen, welke op de beide andere zavelgronden verbouwd werden, dan ten aanzien van het kali-gehalte het geval was; bij het stroo en bij den vlasstengel is zelfs geen bepaald verschil aan te wijzen. Bij voederbieten en aardappels schijnen de cijfers voor de lysimeters echter wel weer aan den hoogen kant te zijn. Ten aanzien van de cijfers voor de klaver, verbouwd op Pr. 1, dient opgemerkt te worden, dat de N-cijfers voor de klaver zonder kalibemesting blijkbaar hoog zijn tengevolge van geringere opbrengst onder invloed der kali-armoede van dezen grond; men ziet althans, dat door kali-bemesting, die de opbrengst belangrijk deed stijgen, de stikstofgehalten duidelijk daalden.

Uit het voorafgaande blijkt dus, dat men bij beschouwingen en berekeningen omtrent het verbruik der verschillende gewassen aan kali en aan andere

bodembestanddeelen in verband met de in den grond aanwezige voorraden, voor de vraag komt te staan, van welke gehaltecijfers men daarbij dient uit te gaan. Het zou b.v. niet juist zijn om kali-cijfers, ontleend aan analyses van op lichte zavelgronden verbouwde gewassen, te gebruiken voor berekeningen ten aanzien van de vraag, voor hoeveel eeuwen de kalivoorraad in een zeer klei-rijken grond, b.v. in Dollardklei, toereikend is. Evenmin kan het juist zijn geen rekening te houden met den ouderdom van den grond, waarop de geanalyseerde gewassen groeiden; de boven vermelde cijfers wijzen er tenminste op, dat de gehaltecijfers, althans die voor kali, met het ouder worden van den grond aanmerkelijk kunnen dalen. Kiest men de gehaltecijfers, welke betrekking hebben op gewassen, afkomstig van jongen grond, zooals b.v. die in onze lysimeters, dan krijgt men een te ongunstig beeld van den in den grond aanwezigen voorraad; gaat men echter uit van gehaltecijfers, welke betrekking hebben op oude gronden, dan krijgt men van den voorraad een te gunstigen indruk.

Voor dergelijke berekeningen, waarop ik nog nader terugkom, is het zeer gewenscht, dat systematisch meerdere gegevens verzameld worden omtrent de samenstelling der voornaamste gewassen, welke in de verschillende kleigebieden verbouwd worden. Daarbij dient dan tevens onderscheid gemaakt te worden tusschen oudere en jongere gronden van dezelfde formatie. Zoo zal men b.v. bij de Groninger zavelgronden gegevens dienen te verzamelen omtrent de samenstelling der gewassen uit polders van verschillenden ouderdom en uit de oudste zavelgebieden. Het Dollardgebied is ook hiervoor een bijzonder gunstig studieveld, niet alleen omdat men hier een reeks polders heeft wier ouderdom zich over een viertal eeuwen uitstrekt, maar ook omdat de grond een groote gelijkmatigheid bezit, althans aanvankelijk bezeten heeft.

Een dergelijk gewassenonderzoek als hier bedoeld wordt heeft nog een ander voordeel, waarop ik reeds vroeger wees. Asch-analyses van gewassen, althans van sommige gewassen, verbouwd op gronden van hetzelfde type, van dezelfde formatie, doch van uiteenloopenden ouderdom, zullen wellicht een aanwijzing kunnen geven omtrent den beschikbaren kali-voorraad in den grond. Een geschikt gewas lijkt mij daartoe bieten, en dan weer in 't bijzonder het bietenloof, waarin zich de beschikbare kalivoorraad het duidelijkst schijnt af te spiegelen (zie o.a. 55, blz. 1038).

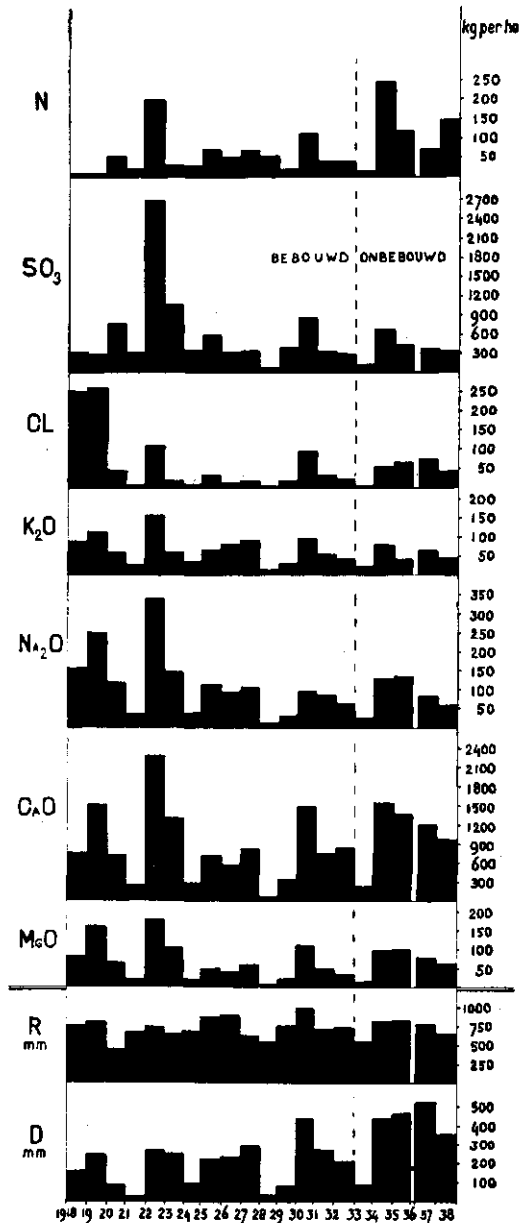
§ 3. DE BESTANDDEELEN, WELKE MET HET DRAINWATER AAN DEN GROND ONTTROKKEN WERDEN

Tabel 57 leert ons hetgeen er in de achtereenvolgende jaren met het drainwater uit den grond der lysimeters verloren ging.

Bij de samenstelling der tabel werd uitgegaan van hetgeen er per jaar uit de gezamenlijke lysimeters, dat is dus per 7,133 m² grondoppervlak, uitspoelde. Deze hoeveelheden werden per ha omgerekend. De jaarcijfers uit de tabel zijn in fig. 16 grafisch voorgesteld.

De jaren, waarin de lysimeters bebouwd werden, zijn gescheiden van de jaren, waarin ze onbebouwd bleven; voor beide perioden afzonderlijk is het gemiddelde verlies per jaar berekend. De omstandigheden ten aanzien van de uitspoeling zijn n.l. zeer verschillend. Want, behalve dat bij bebouwing de opname der in de bodemvloeistof opgeloste bestanddeelen door de planten, invloed kan uitoefenen op de samenstelling van het drainwater, is ook de hoeveelheid drainwater, welke door bebouwd grond wordt afgegeven, veel geringer; zooals de desbetreffende cijfers in de tabel leeren, bedraagt de drainage in de periode van bebouwing gemiddeld ongeveer de helft van die in de periode, waarin de grond onbebouwd bleef.

Voor den bebouwd grond zijn niet alleen de jaargemiddelden berekend voor de geheele 15-jarige periode, maar tevens voor de jaren vanaf December 1923, dus vanaf het



Figuur 16
Jaarlijksche verliezen met het drainwater in kg per ha
Yearly losses by drainage in kg per ha

einde der periode van versterkte nitrificatie, toen blijkbaar een meer stabiele toestand in den grond was ingetreden.

Beschouwt men de hoeveelheden der verschillende bestanddeelen, welke in de afzonderlijke jaren werden uitgespoeld, dan vallen zeer groote verschillen op te merken. Deze verschillen worden grootendeels veroorzaakt door verschillen in den regenval en dientengevolge in de drainage. In deel I (zie blz. 95 e. v.) werd er n.l. op gewezen, dat de verdamping (direct uit den grond en door de gewassen) een tamelijk constante grootheid is,¹⁾ zoodat de verschillen in den regenval met betrekkelijk geringe afwijkingen bij de drainage worden teruggevonden. In de periode September 1928—September 1929 werd slechts 30 mm drainwater afgevoerd, twee jaar later, n.l. in 1930—1931, echter niet minder dan 440 mm, dus 410 mm meer, tengevolge van een regenval, welke 436 mm grooter was (539 tegen 975 mm). Dat de uitgespoelde hoeveelheden in 1930—1931 veel grooter waren ligt, gezien de veel grootere hoeveelheid drainwater, die in dat jaar den grond passeerde, wel voor de hand. Maar bovendien was het N-gehalte en het CaO-gehalte van het drainwater in genoemd jaar hooger, zoodat ruim 2 maal zooveel N en 1,4 maal zooveel CaO uitspoelde als op grond van de zooveel grootere hoeveelheid drainwater verwacht mocht worden (zie blz. 204). Van andere bestanddeelen (SO_3 , K_2O) werd echter naar verhouding minder uitgespoeld.

Weersomstandigheden, waaronder vooral de regenval, niet alleen in het betreffende jaar doch ook in de voorafgaande periode, genoemd moet worden, alsmede de aard der verbouwde gewassen, zullen hier hun invloed doen gelden. Gezien het wisselende karakter dezer factoren kan de vraag gesteld worden, of de periode December 1923—September 1933, een tijdvak dus van nog niet ten volle tien jaren, niet te kort is, om juiste gemiddelden voor de jaarlijksche verliezen uit dezen grond te berekenen.

Neemt men echter het vanaf December 1923 tamelijk regelmatige verloop der gehalte-curven in fig. 5 in aanmerking, dan mag men m. i. wel aannemen, dat de cijfers in tabel 57 een ongeveer juist beeld geven van de gemiddelde verliezen per jaar, indien althans het gemiddelde voor de in de betreffende periode per jaar afgevoerde hoeveelheid drainwater (211 mm) overeenkomt met den gemiddelden regenval te Groningen. Dit laatste is nu inderdaad het geval. De regenval bedroeg volgens de waarnemingen aan het Proefstation te Groningen over het tijdvak 1912—1938 gemiddeld 729 mm per jaar. Volgens de formule: $D = 1,01 R - 526$, welke voor de begroeide lysimeters de betrekking tusschen regenval en drainage weergeeft (deel I, blz. 96), zou

¹⁾ Dit geldt althans voor de *ware* verdamping (zie Deel I).

Jaartijdsche verliezen van den grond door drainage in kg/ha. Gemiddelde cijfers voor de 8 lysimeters
Constituents removed from the soil by drainage. Kg per ha. Means for the 8 lysimeters

327

Jaar (Year) September—September	Drainage mm	N	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Mn ₂ O ₄
<i>Bebouwd, bemest (Cropped and manured)</i>												
1918—1919.	169	13	0,3	297	249	35	86	154	783	80	1,0	0,3
1919—1920.	248	12	1,0	288	272	54	111	249	1508	158	15,0	19,0
1920—1921.	86	59	0,1	760	46	15	56	116	692	63	1,0	3,0
1921—1922.	30	25	0,003	296	18	4	25	34	234	18	0	sp.
1922—1923.	272	205	0,01	2690	135	49	154	337	2266	176	0,01	"
1923—1924.	254	36	0,01	1060	20	51	109	145	1298	102	0,0	0,0
1924—1925.	95	34	0	347	13	10	34	39	276	22	0	3,0
1925—1926.	221	76	0	574	33	26	66	113	682	46	0	26,0
1926—1927.	237	55	sp.	331	13	32	80	95	565	39	0,02	10,0
1927—1928.	290	75	"	343	19	49	89	103	820	59	0,03	9,0
1928—1929.	30	7	"	80	3	4	12	12	75	6	0,2	2,0
1929—1930.	79	25	"	402	22	10	29	31	335	23	0,02	1,0
1930—1931.	440	214	"	878	95	82	94	146	1485	110	0,02	12,0
1931—1932.	269	44	0,003	347	33	25	54	82	752	48	2,6	2,7
1932—1933.	209	46	0,003	301	23	30	40	63	602	33	2,5	2,7
1918—1933.	2330	926	1,43	8994	994	476	1039	1719	12373	983	22,4	90,7
Gem. per jaar	195	62	0,1	600	66	32	69	115	825	66	1,5	6
Gem. Dec. 1923—Sept. 1933.	211	61	0,002	433	27	31	58	79	660	46	0,6	7
<i>Onbebouwd, onbemest (Fallow and unmanured)</i>												
1933—1934.	80	20	0,003	151	6	14	22	24	206	15	0,02	1,0
1934—1935.	434	250	0,003	663	56	92	77	129	1530	98	0,02	3,0
1935—1936.	461	221	0,003	469	66	115	65	133	1385	99	3,0	7,0
1936—1 Jan. 1937 ²⁾	239	111	—	244	34	62	30	48	726	51	2,09	3,6
1937.	515	147	0,007	377	76	110	64	77	1191	77	2,19	1,2
1 Jan.—1 Dec. 1938 . . .	154	154	—	291	39	74	40	51	856	55	0,61	0,5
1 Dec. 1938—1 Juni 1939	260	118	—	264	43	55	27	39	700	44	6,33	0,2
Sept. 1933—Juni 1939 . .	2299	1021	0,016	2459	320	522	325	501	6594	439	14,26	16,5
Gem. per jaar	400	178	0,003	428	56	91	57	87	1147	76	2,5	2,9

¹⁾ December 1923. Einde der periode van sterke nitrificatie.

²⁾ Vanaf September 1936 hebben de cijfers slechts betrekking op de lysimeters 5—8, waarbij de vrije waterafvoer gehandhaafd bleef.

729 mm regen 210 mm drainwater geven, terwijl de gemiddelde drainage in het beschouwde tijdvak gemiddeld 211 mm per jaar bedroeg.

Het is zeker niet geoorloofd om de voor de Groninger lysimeters gevonden jaarlijksche verliescijfers zonder meer te gebruiken voor berekeningen ten aanzien van andere grondsoorten. Men bedenke b.v., dat het stikstofgehalte van het drainwater uit dezen jongen zavelgrond vermoedelijk aanmerkelijk hooger is dan dat van het drainwater, hetwelk uit oudere klei- en zavelgronden afvloeit; een nader onderzoek zal hieromtrent worden ingesteld. Hetzelfde geldt vermoedelijk ook voor het kali-gehalte.

Het kalkgehalte van het drainwater zal waarschijnlijk niet dalen zolang nog 1 tot 2 % CaCO_3 in de bouwkuin aanwezig is. Bij verdere daling van het CaCO_3 -gehalte zal het kalkgehalte van het drainwater misschien beginnen af te nemen. Men dient hierbij te bedenken, dat de ondergrond dan nog aanzienlijk rijker aan CaCO_3 is, waar echter tegenover staat, dat het oplossingsproces der koolzure kalk, naar verwacht mag worden, langzamer verlopen zal naarmate de kalk zich dieper onder de oppervlakte bevindt. Hoe het ontkalkingsproces in het profiel der kleigronden verloopt, is echter niet precies bekend. Wellicht kan het onderzoek van het drainwater der Dollardpolders van verschillende ouderdom ons hieromtrent iets naders leeren.¹⁾

Vergelijkt men de gemiddelde cijfers voor de bebouwen met die voor den onbebouwen grond (tab. 57), dan blijkt, dat uit den laatste veel meer stikstof en kalk uitspoelt. Dit is een gevolg van een belangrijk verschil in het drainwaterdebiet en verder van de activiteit der planten. Deze laatste kan bestaan in het opnemen van bestanddeelen uit de bodemoplossing, hetgeen concentratievermindering tengevolge kan hebben, maar deze activiteit kan ook bestaan in het afbreken van de in den grond aanwezige mineralen, hetgeen stijging der concentratie van het bodemvocht aan bepaalde bestanddeelen zou kunnen veroorzaken. Ook kan gedacht worden aan CO_2 -productie door de plantenwortels.

Verder zij er de aandacht op gevestigd, dat in den bebouwen grond de planten een belangrijk deel van het bodemvocht verdampen, hetgeen een concentratieverhoging met zich brengt, ook tengevolge van de omstandigheid, dat het drainwater in den bebouwen grond veelal langer met den grond in aanraking zal zijn geweest dan in den onbebouwen grond.

Tabel 58 geeft naast elkaar de samenstelling van het drainwater uit den bebouwen en uit den onbebouwen grond. Voor den bebouwen grond is de gemiddelde samenstelling berekend van het drainwater, dat van 1 December 1923 tot 1 September 1933 werd opgevangen, dus in de periode,

¹⁾ Zie ook Hoofdstuk IV, § 7.

welke op die der versterkte nitrificatie volgde (anal. 29 t/m 51), terwijl de cijfers voor den onbebouwd grond betrekking hebben op de geheele onbebouwde periode, September 1933 tot 1 Juni 1939, doch slechts voor zoover betreft de lysimeters 5—8, waarbij de vrije waterafvoer ook na October 1936 gehandhaafd bleef.

TABEL 58

Gemiddelde samenstelling van het drainwater uit bebouwd (December 1923—September 1933) en uit onbebouwd grond (September 1933—Juni 1939)
Average composition of the drainage water from cropped soil (December 1923—September 1933) and from uncropped soil (September 1933—June 1939)

	CO ₂	N	SO ₃	Cl	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO
Bebouwd (<i>Cropped</i>)									
mg per liter . . .	248	29	206	13	16	28	38	313	22
mE per 10 liter . .	56	21	51	4	5	6	12	112	11
Onbebouwd (<i>Uncropped</i>)									
mg per liter . . .	225	44	107	14	23	14	22	287	19
mE per 10 liter . .	51	32	27	4	8	3	7	102	10

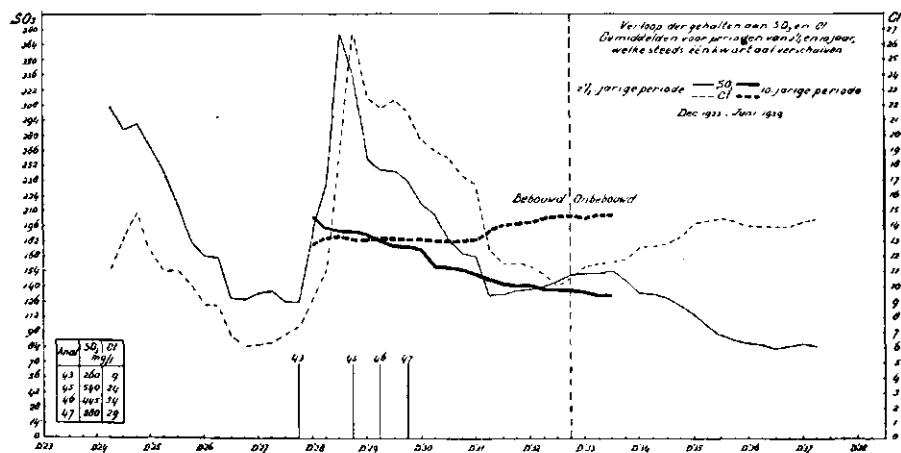
Geheel juist is de vergelijking der gehaltecijfers in tabel 58 vermoedelijk niet, omdat de cijfers voor den bebouwd grond ook betrekking hebben op jaren, toen nog geen stabiele toestand was ingetreden en het gehalte aan enkele bestanddeelen (SO₃, K₂O en Na₂O) van het drainwater nog duidelijk dalende was. Een juiste vergelijking zou slechts mogelijk zijn, indien de cijfers voor den bebouwd en voor den onbebouwd grond op hetzelfde tijdvak, en dus op den grond in denzelfden toestand van verandering betrekking hadden. Men zal echter over enkele jaren de cijfers voor den onbebouwd grond kunnen vergelijken met die, welke betrekking hebben op de in 1939 begonnen nieuwe periode met bebouwing en zodoende meerdere zekerheid kunnen verkrijgen omtrent den invloed der bebouwing op de samenstelling van het drainwater.

Beschouwt men met dit voorbehoud de cijfers in tabel 58, dan blijkt, dat de bebouwing het N-cijfer heeft verlaagd, hetgeen gezien het feit, dat den gewassen praktisch geen andere N-bron ter beschikking staat dan het in de bodemvloeistof opgeloste nitraat, ons niet behoeft te verwonderen.

Bij SO₃ is het omgekeerde het geval. Een deel van het belangrijke verschil zal hier zeker wel gesteld moeten worden op rekening van twee omstandig-

heden, welke maakten, dat het SO_3 -gehalte van het drainwater gedurende de periode met bebouwing duidelijk dalende was, te weten: 1°. het reeds meer genoemde hooge SO_3 -gehalte van den grond bij het invullen, tengevolge van de aanwezigheid van sulfaatrijk grondwater op geringe diepte op het perceel waarvan de grond afkomstig is, en 2°. het vullen der lysimeters van onder tot boven met bouwvoorgrond, zoodat ook de ondergrond organische stof (plantenresten) bevat, welke, zoolang nog geen evenwicht is ingetreden, bij mineralisatie een verhoogde, langzamerhand afnemende SO_3 -productie zal geven.

In fig. 17 is nogmaals het verloop van het SO_3 -gehalte weergegeven en wel op een wijze, welke een beter beeld geeft van dit verloop dan de SO_3 -lijn in fig. 5. Op de verticale as zijn n.l. de gemiddelde gehaltecijfers uitgezet voor 10-jarige perioden, welke steeds één kwartaal verschuiven. Uit het beloop der betreffende dikke lijn treedt de daling sedert December 1923 van het SO_3 -gehalte duidelijk aan den dag. Beschouwt men de SO_3 -cijfers uit tabel 1, dan blijkt dit ook wel, maar de hooge cijfers bij de drainwater-monsters 43 t/m 47 vertroebelen het beeld.



Figuur 17

Verloop der gehalten aan SO_3 en Cl
Gemiddelden voor perioden van $2\frac{1}{2}$ en 10 jaar welke steeds één kwartaal verschuiven
Course of the contents of SO_3 and Cl
Averages for periods of $2\frac{1}{2}$ and 10 years which always shift one quarter of a year

Bebouwd = Cropped
Onbebouwd = Uncropped

Nu wees ik er op blz. 238 reeds op, dat in de genoemde monsters drainwater óók verhoogde Cl-cijfers optreden, zoodat men m. i. mocht aannemen,

hier te maken te hebben met een concentratieverhoging van het drainwater tengevolge van geringen regenval. Dit komt nog eens duidelijk naar voren uit de lijnen voor het gemiddelde gehalte aan SO_3 en aan Cl in perioden van 10 kwartalen, die telkens één kwartaal verschuiven, welke lijnen in dezelfde figuur dun geteekend zijn.

Het SiO_2 -gehalte van het drainwater uit den bebouwd grond is duidelijk lager vergeleken met het cijfer voor den onbebouwd grond. Dit moet wel, óók gezien de cijfers in tabel 1, toegeschreven worden aan de opname van kiezelzuur door de gewassen.

Het K_2O - (en Na_2O -)gehalte is bij den onbebouwd grond aanmerkelijk lager. Heeft men hier slechts te doen met de voortzetting der op blz. 264 e. v. besproken daling van het kaligehalte of speelt de begroeiing hier ook een rol?

§ 4. DE BESTANDDEELEN, WELKE DOOR DRAINAGE EN PLANTENGROEI TEZAMEN AAN DEN GROND ONTTROKKEN WERDEN

Tabel 59 is een samenvatting der tabellen 52, 53 en 57. Het eerste gedeelte der tabel geeft de tengevolge van drainage en plantengroei jaarlijks door den grond geleden verliezen. Van het eene jaar tot het andere loopen deze verliezen soms zeer sterk uiteen, zoowel tengevolge van groote verschillen in de hoeveelheden drainwater als in de door de gewassen opgenomen bestanddeelen.

De veronderstelling is niet gewaagd, dat hetgeen in een bepaald jaar door drainage en gewas aan den grond onttrokken werd, van invloed zal kunnen zijn op de ontwikkeling van het in het volgende jaar verbouwde gewas, m. a. w.: regenval, aard van het gewas en grootte van den oogst in een bepaald jaar, zullen invloed kunnen uitoefenen op de ontwikkeling van het gewas in het volgende jaar. Maar daarnaast staat deze ontwikkeling nog onder den invloed van de meteorologische omstandigheden in het groeijaar zelf, alsmede van andere factoren (zie ook 62).

Het zal dus wel uiterst moeilijk zijn dit ingewikkelde spel van factoren ook maar eenigermate te ontwarren. Observaties op tientallen van jaren voortgezette vruchtwisselingsproefvelden zullen misschien omtrent enkele punten eenig licht vermogen te geven; ik verwijs hier naar hetgeen ik op blz. 232 schreef over proefvelden ter verwerving van inzicht in het verband tusschen de N-huishouding in den grond en de ontwikkeling der gewassen.

Bij de beschouwing der gemiddelden van de jaarlijksche verliezen moet men wel bedenken, dat de toestand van den grond in meerdere opzichten in de eerste jaren abnormaal was. Een meer stabiele toestand trad eerst

TABEL 59

*Jaarlijksche verliezen van den grond door drainage en plantengroei tezamen,
in kg/ha. Gemiddelden voor de 8 lysimeters*

*Constituents removed from the soil by drainage and plantgrowth. Kg per ha.
Means for the 8 lysimeters*

Jaar (Year) Sept.—Sept.	Gewas (Crop) ¹⁾	Drainage mm	N	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO
1918—1919	Aardappelen . .	169	90	45	326	281	44	298	159	819	98
1919—1920	Haver	248	138	56	328	330	334	288	267	1543	179
1920—1921	Tarwe (w.-) . .	86	214	56	842	137	558	301	123	731	97
1921—1922	Erwten	30	222	42	340	33	46	111	45	332	40
1922—1923	Voederbieten . .	272	504	108	2793	206	98	671	676	2425	262
1923—1924	Tarwe (z.-) . .	254	169	54	1126	42	767	278	152	1321	122
1924—1925	Vlas + r. klaver	95	272	71	413	54	28	291	64	449	65
1925—1926	Roode klaver . .	221	574	112	664	85	58	602	122	1119	136
1926—1927	Aardappelen . .	237	195	87	389	39	41	431	96	613	72
1927—1928	Haver	290	200	66	389	45	462	303	126	866	80
1928—1929	Mosterd	30	98	39	187	41	10	117	22	243	21
1929—1930	Erwten	79	244	46	452	42	28	119	39	427	46
1930—1931	Tarwe (w.-) . .	440	324	66	921	127	867	265	148	1512	144
1931—1932	Haver	269	148	60	387	79	343	222	101	791	62
1932—1933	Aardappelen . .	209	250	103	388	65	49	438	70	746	78
Gem. per jaar (Year average)		195	243	67	663	107	249	316	147	929	100
Jaargemiddelden voor de periode (Year averages for the period) December 1923—September 1933											
Drainage		211	61	sp.	433	27	31	58	79	660	46
Gewas (Crop) ²⁾			186	70	65	35	233	246	11	120	34
Totale verliezen per jaar . .			247	70	498	62	264	304	90	780	80
Idem met praktijk-oogsten ³⁾ .			188	43	473	61	152	217	88	723	67
Jaarlijksch verlies uit den onbebouwden grond (Yearly loss from the uncropped soil)											
Sept. 1933—Juni 1939 . . .		400	178	0,003	428	56	91	57	87	1147	76

¹⁾ For the english names see table 46.

²⁾ Gemiddelden voor de gewassen verbouwd in 1924—1933 — Averages for the crops grown in the years 1924—1933 (table 52).

³⁾ Berekend met de hoeveelheden, welke volgens tabel 53 gemiddeld jaarlijks door praktijk-oogsten uit den grond verdwijnen — Calculated with the quantities removed from the soil by practical yields (table 53).

omstreeks 1 Januari 1924 in. Daarom zijn in de tabel ook de gemiddelde jaarcijfers voor de periode 1 December 1923 tot 1 September 1933 vermeld; bij de volgende beschouwingen zal van deze cijfers worden uitgegaan. Onder deze laatste cijfers zijn nog vermeld de verliezen, zooals deze geweest zouden zijn met voor de zavelgronden normale praktijk-oogsten.

Onderaan in de tabel zijn ter vergelijking de gemiddelde jaarlijksche verliezen uit den onbebouwden grond opgenomen.

Beschouwen we thans de vet gedrukte gemiddelde cijfers voor de afzonderlijke bestanddeelen nader.

N. Aan den bebouwden grond is door het gewas en het drainwater samen 69 kg N meer onttrokken dan aan den onbebouwden grond alleen door het afvloeiende drainwater. Hierbij dient men echter te bedenken, dat met de bemesting jaarlijks gemiddeld 31 kg N in den grond werd gebracht, terwijl er door den verbouw van klaver en erwten ook stikstof uit de lucht den grond werd toegevoerd. Zonder N-bemesting en zonder verbouw van vlinderbloemigen zou het verschil in N-verlies tusschen bebouwden en onbebouwden grond vermoedelijk kleiner zijn geweest.

P_2O_5 . Terwijl met het drainwater, zoowel uit den bebouwden als uit den onbebouwden grond, jaarlijks slechts enkele grammen per ha uitspoelden, bedroeg het verlies met de gewassen 70 kg per ha. *Hieruit volgt, dat de plantenwortels over middelen beschikken om bodemfosfaten in oplossing te brengen, waartoe het in den grond wegzakkende water niet in staat blijkt te zijn.*

De aanwezigheid van slechts sporen P_2O_5 ¹⁾ in het drainwater is vermoedelijk mede hieraan toe te schrijven, dat een belangrijk deel van de fosforverbindingen in den grond van organischen aard zijn (wortel- en stoppelresten; wellicht is ook P gebonden aan het humuscomplex). Door nauwgezette studie met behulp van steriele cultures is komen vast te staan, dat verschillende planten, o.a. maïs, in staat zijn om sommige organische P-verbindingen als zoodanig direct op te nemen. Maar alvorens de plantenwortels deze P-verbindingen kunnen bereiken, moeten micro-organismen de plantaardige en dierlijke weefsels, welke deze verbindingen ingesloten houden, afbreken (29, blz. 153—156).

Bij het in oplossing brengen van moeilijk oplosbare fosfaten hebben de microben, welke rondom de wortels, in de z.g. *rhizospheer*, veel talrijker zijn dan op grooteren afstand van de wortels, een belangrijke rol te vervullen. Door uitgeademd koolzuur en geproduceerde organische zuren worden de bodemmineralen in oplossing gebracht; de opgeloste bestanddeelen, b.v. fosforzuur, bevinden zich in nauw contact met de plantenwortels en kunnen dus door deze onmiddellijk opgenomen worden. Dr. GERRETSEN, directeur der Microbiologische Afdeling van het Landbouwproefstation te Groningen, heeft door proeven overtuigend aangetoond, dat de bacteriën een zeer gun-

¹⁾ Organische P-verbindingen konden door ons in het drainwater niet met zekerheid aangetoond worden.

stigen invloed op de fosfaatopname van verschillende planten kunnen uitoefenen, wat vooral bij haver sterk naar voren kwam (ibid. blz. 158; zie ook 30).

Sommige planten schijnen daarentegen ook zonder tussenkomst van bacteriën in staat te zijn het fosforzuur uit moeilijk oplosbare fosfaten op te nemen. Vermoedelijk is daarvoor een direct contact tussen wortels en vaste gronddeeltjes noodzakelijk (13, blz. 367; 71, blz. 141).

Men zal allicht vragen, of de bacteriën op groter afstand van de wortels dan ook de aanwezige fosfaten niet in oplossing brengen, zoodat er fosfaten in het drainwater kunnen oplossen.

In de eerste plaats zal men hierbij denken aan de groote hoeveelheden salpeter- en zwavelzuur, welke bij de nitrificatie en sulfificatie gevormd worden. Deze zuren worden echter onmiddellijk bij de vorming gebonden door den overal in dezen grond rijkelijk aanwezigen koolzure kalk.¹⁾

In de nabijheid der wortels, in de rhizospheer, zal dit ook wel plaats hebben, maar door de ophooping van bacteriën aldaar is het mogelijk, dat er tijdelijk in de zône rondom de wortels zoo'n lage pH ontstaat, dat de minerale fosfaten in oplossing kunnen gaan. Men kan zich nu voorstellen, dat de plantenwortels binnen deze zure zône het opgeloste fosforzuur opnemen, nog vóór door toevloeiing van Ca-bicarbonaat-houdende bodemvloeistof of door diffusie van dit calciumzout neutralisatie en precipitatie van het opgeloste P_2O_5 intreedt.

Wat de vastlegging van het fosforzuur betreft, zij nog het volgende opgemerkt. GERRETSEN (29, blz. 162) onderscheidt directe en indirecte biologische vastlegging. Onder directe vastlegging verstaat hij de ophooping van fosfor in bacteriënlichamen. Niet alleen is deze vastlegging naar de hoeveelheid van minder betekenis, maar zij is bovendien slechts van tijdelijken aard.

Belangrijker is de indirecte vastlegging. Deze vindt plaats, indien onder medewerking van bacteriën reductie in den grond optreedt, waarbij oplosbare ferro-verbindingen ontstaan, die zich met de kleine hoeveelheden fosfaat, welke wel steeds in oplossing zullen gaan, verbinden tot ferrofosfaat, een verbinding, die wel moeilijk maar toch niet geheel onoplosbaar is, althans niet bij aanwezigheid van humusstoffen (zie hoofdstuk I, § 9, handelende over de reductieverschijnselen in den grond). Reductieprocessen nu treden steeds in kleigronden op, ook in die gronden, welke wat de aëratie betreft in goede conditie verkeerden, maar deze reductie wordt spoedig weer gevolgd

¹⁾ Bij zeer kalkarme kleigronden is het niet buitengesloten, dat op deze wijze tijdelijk P_2O_5 mobiel gemaakt wordt. Dit opgeloste fosforzuur zal echter spoedig weer worden vastgelegd, en wel door binding hetzij aan ijzer, hetzij aan kalk, als het wegzakkende water nog kalkrijkere grondlagen bereikt.

door oxydatie, getuige het zich steeds weer vormen van ferri-afzettingen in nieuw gevormde wortel- en andere kanaaltjes. Tot uitspoeling van fosforzuur en ijzer komt het onder dergelijke omstandigheden dus niet.

Men moet wel aannemen, dat de ferri-afzettingen in den grond opnieuw gereduceerd kunnen worden of dat het daarin aanwezige fosforzuur op een of andere wijze ter beschikking van de planten kan komen, want anders zou het spel van reductie en oxydatie tengevolge hebben, dat alle fosfor tenslotte opgehoopt zou worden in de ijzerafzettingen.

Opgemerkt zij tenslotte, dat ferrofosfaat, althans voor een aantal planten, als fosforbron dienst kan doen.¹⁾ Men kan zich dus voorstellen, dat de fosfor, welke ook in den goed doorluchten grond, zij het slechts voor korten tijd, steeds weer als ferrofosfaat optreedt, in dit stadium door de plantenwortels kan worden opgenomen.

SO_3 . Uit de cijfers voor SO_3 zou men wellicht de conclusie willen trekken, dat de verliezen uit den bebouwd grond groter zijn dan uit den onbebouwd grond. Vermoedelijk vindt er echter, zooals op blz. 236 e.v. gezegd werd, nog voortdurend een daling van het sulfaatgehalte plaats en in ieder geval was deze tusschen 1923 en 1933 nog zeer sterk (zie tabel 18); de cijfers voor den bebouwd en den onbebouwd grond zijn derhalve onderling niet goed vergelijkbaar. Om omtrent dergelijke vragen zekerheid te bekomen, zouden naast de bebouwde een paar steeds onbebouwde lysimeters ingeschakeld moeten worden. Overwogen zou kunnen worden, of het misschien geen aanbeveling zou verdienen een der vier N-bemestingen op te offeren, b.v. $Ca(NO_3)_2$, en de betreffende lysimeters (4 en 8) voortaan onbebouwd te laten. Maar ook de cijfers, die in de met Juni j.l. begonnen nieuwe periode met begroeiing verkregen zullen worden, zullen vermoedelijk een afdoend antwoord kunnen geven op de vraag omtrent de SO_3 -verliezen in bebouwd naast die in onbebouwd grond.

Cl. Hier kan dezelfde opmerking gemaakt worden als bij het sulfaat: in de eerste jaren der periode met begroeiing trad nog een verhoogd Cl-gehalte op (zie blz. 255). Men mag verwachten, dat als eenmaal het Cl-gehalte van den grond met dat van het regenwater in overeenstemming zal zijn, er gemiddeld jaarlijks ongeveer evenveel chloor uit den onbebouwd grond zal uitspoelen als er aan den bebouwd grond door drainwater en gewas tezamen onttrokken wordt.

¹⁾ Dr. M. A. J. GOEDEWAAGEN deelde mij mondeling mede, dat hij bij watercultures van tarwe uit de cultuurvloestof van v. D. CRONE, waarin bi-calciumfosfaat als fosfor- en ferro-fosfaat als ijzerbron voorkomt, het bicalciumfosfaat met succes heeft weggelaten. Het onoplosbare ferro-fosfaat was dus in staat in de P-behoefte der tarwe te voorzien.

SiO_2 . Dit bestanddeel onderscheidt zich op treffende wijze van de beide vorige. Uit den bebouwd grond verdwijnt met gewas en drainwater n.l. het 3-voudige der hoeveelheid SiO_2 , welke door het drainwater aan den onbebouwd grond wordt onttrokken! Hieruit moet de conclusie worden getrokken, *dat de planten een rol spelen bij het in oplossing brengen van bodemsilicaten*. Van welken aard zou deze rol kunnen zijn?

Men zou hier, evenals bij het P_2O_5 , kunnen denken aan de werking der bacteriën in de rhizosfeer, waarin de microben zich sterk ophoopen onder invloed van door de wortels afgescheiden organische stoffen. Over de aantasting der silicaten in den grond door microben is echter, voor zoover ik weet, niets bekend, in tegenstelling met de aantasting van fosfaten door bacteriën, die experimenteel bewezen werd.

Men zou zich ook kunnen denken, dat als de planten een deel van het in de bovenvloeistof opgeloste kiezelzuur hebben opgenomen, er weer opnieuw bepaalde silicaten in oplossing gaan, dat men dus te maken zou hebben met een voortdurende verstoring en herstel van een evenwicht. Een aanwijzing voor een dergelijke evenwichtsverstoring door de planten zou gelegen kunnen zijn in het feit, dat het SiO_2 -gehalte van het drainwater door de jaren heen en onder wisselende omstandigheden betrekkelijk geringe schommelingen vertoont, schommelingen, die veel kleiner zijn dan die bij een der overige bestanddeelen (zie tabel 1).

Een andere mogelijkheid is, dat de planten de rol bij het in oplossing brengen van bodemsilicaten niet spelen door tusschenkomst van de *bodenvloeistof*, maar door *direct contact* met de bodemsilicaten, waarop ik bij de bespreking der K_2O -opname nog terugkom.

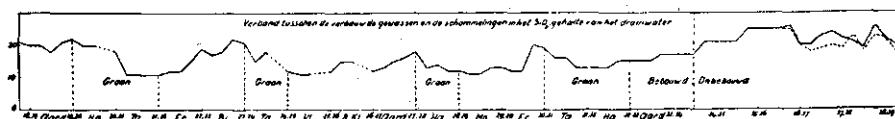
In dit verband zij nog opgemerkt, dat volgens JENNINGS tarweplantjes in staat zijn kolloïdaal SiO_2 uit voedingsoplossingen op te nemen (40).

Het schijnt wel, dat de schommelingen in het SiO_2 -gehalte van het drainwater verband houden met den aard van het verbouwde gewas; er valt n.l. in fig. 18 in de graanjaren telkens een daling, in de jaren met aardappelen, bieten, enz. een stijging der SiO_2 -lijn waar te nemen. Verder ligt in de onbebouwde periode de lijn hooger en vertoont zij minder afwijkingen.

K_2O . Ten aanzien van dit bestanddeel geldt hetzelfde als ten aanzien van het fosforzuur en het kiezelzuur: aan den bebouwd grond wordt door gewas en drainwater veel meer K_2O , n.l. ruim 5 maal zooveel, onttrokken als uit den onbebouwd grond alleen met het drainwater wordt weggevoerd.

Met het drainwater wordt uit den bebouwd grond evenveel kali afgevoerd als uit den onbebouwd grond, niettegenstaande de hoeveelheid drainwater

slechts de helft bedraagt (211 tegen 400 mm). Het K_2O -gehalte van het drainwater uit den bebouwd grond is dus 2 maal zoo hoog als dat van het drainwater uit den onbebouwd grond (tabel 58), ondanks de kali-onttrekking door de gewassen.



Figuur 18

Verband tusschen de verbouwde gewassen en de schommelingen in het SiO_2 -gehalte van het drainwater

Relation between the crops and the oscillations in the SiO_2 -contents of the drainagewater

Graan = Cereals

Bebouwd = Cropped

Onbebouwd = Uncropped

Het is niet buitengesloten, dat de belangrijke opname zoowel van K_2O als van SiO_2 door de gewassen, medewerkt aan de afbraak van de kali-houdende mineralen in den bebouwd grond. De SiO_2 -opname overweegt hierbij: gemiddeld werd jaarlijks door de gewassen 233 kg SiO_2 en 246 kg K_2O per ha opgenomen (tabel 59) of 78 mE SiO_2 tegen 52 mE K_2O .

Dat men, gezien de geringe hoeveelheid geadsorbeerde kali in den grond, bij de kali-voorziening der gewassen in de eerste plaats moet denken aan de kali in de silicaten, komt later nog ter sprake. Meerdere onderzoekers toonden trouwens proefondervindelijk aan, dat verschillende kali-houdende mineralen, zij 't dan ook niet alle in dezelfde mate, in staat zijn in de kali-behoefte der gewassen te voorzien. Voor een overzicht dezer onderzoekingen kan verwezen worden naar het proefschrift van F. A. VAN BAREN en wel naar het tweede hoofdstuk, handelende over de beteekenis van de minerale reserve voor den landbouw (2).

Bij de actieve rol, die de gewassen bij het opnemen van K_2O (en SiO_2) uit den grond blijkbaar spelen, denkt men aan de reeds jaren geleden door COMBER (13) geuite veronderstelling, dat er tusschen wortels en gronddeeltjes een dusdanig innig contact bestaat, dat er feitelijk één kolloidaal systeem gevormd wordt, zoodat onderlinge uitwisseling van bestanddeelen direct, zonder tusschenkomst der bodemvloeistof, plaats vindt.

Kort geleden hebben JENNY en OVERSTREET in deze richting interessante onderzoekingen verricht (42, 43). Zij toonden aan, dat zuiver water, verdunde zoutoplossingen (KCl : 5 mE/l, $NaCl$: 9 en 19 mE/l, $CaCl_2$: 3 mE/l en NH_4HCO_3 : 5 mE/l) en verdund HCl (0,1 mE/l) bij een 10-urig contact met gerstewortels, uit deze slechts onbeteekenende hoeveelheden kali naar buiten doen treden.

Geheel anders was het resultaat indien de wortels werden gebracht in suspensies van geheel onverzadigde klei (H-klei), gedeeltelijk (b.v. NaH-klei) of geheel verzadigde klei (b.v. NH_4 -klei); dan verloren de wortels belangrijke hoeveelheden K. Tengevolge van het *directe contact* tusschen de wortels en de kolloïdale klei was uitwisseling dus wel mogelijk.

Nu geven de wortels aan water wel eenige kali af. Men zou dus kunnen veronderstellen, dat direct contact wortels—kolloïdale klei niet strikt noodzakelijk is en dat de uittreding van kali verder zou gaan, indien de uitgetreden kali maar door de onverzadigde klei uit de vloeistof weggenomen werd. Hoewel de uitkomst van een proef met continue uitloosing der wortels geen steun gaf aan deze veronderstelling, herhaalden JENNY en OVERSTREET de proef met de H-klei zóó, dat direct contact tusschen wortels en klei buitengesloten was, doordat de kleisuspensie zich in een semi-permeabel zakje bevond. Onder deze omstandigheden was er geen sprake van K-verlies onder invloed der H-klei, waaruit wel afgeleid mocht worden, dat daarvoor direct contact noodzakelijk is.

De vraag blijft echter na dit onderzoek nog open, of ook voor de kali-opname een direct contact vereischt is. Kunnen de gewassen zich de vereischte hoeveelheden kali verschaffen uit de *bodemvloeistof*, zonder dat er innig contact tusschen wortels en gronddeeltjes tot stand komt? Wordt de K-concentratie der bodemvloeistof voldoende op peil gehouden vanuit de klei en de mineralen, indien de gewassen er voortdurend kali aan onttrekken? Ook dit zou mogelijk door tusschenschakeling van een membraan onderzocht kunnen worden.

De bodemvloeistof onzer kleigronden is, gezien het kali-gehalte van het drainwater, vermoedelijk wel in staat de gewassen voldoende van kali te voorzien. Volgens de onderzoeken van PARKER en PIERRE (72) is een maximale ontwikkeling, althans van sojaboonen en maïs, reeds gewaarborgd bij kaliconcentraties (ongeveer 2 mg/l), welke ver beneden die van ons drainwater liggen.

Nu is echter, zooals we later zullen zien, de voorraad geadsorbeerde kali in zavelgronden als die der lysimeters zeer beperkt en nauwelijks voldoende voor de kalivoorziening van slechts enkele oogsten. Wordt deze voorraad kali nu voldoende snel vanuit de mineralen aangevuld, om de kali-concentratie der bodemvloeistof ook op den duur op een voldoende hoog peil te houden, of profiteeren de gewassen hoofdzakelijk van den kali-voorraad der mineralen bij direct contact met de wortels?

In het laatste geval zou men dus bij scheiding van wortels en grond door een membraan aanvankelijk wel een ongestoorde kalivoorziening der planten kunnen verwachten, doch op den duur, als de voorraad geadsorbeerde kali uitgeput raakte, zou er kali-gebrek ontstaan.

Onderzoekingen in deze richting zijn gewenscht; het ligt echter voor de hand, dat zich daarbij vele experimenteele moeilijkheden zullen voordoen.

Na₂O. Evenals bij *K₂O* is het gehalte van het drainwater aan *Na₂O* bij den bebouwd grond aanmerkelijk hooger dan bij den onbebouwd grond (zie tabel 58), zoodat er ondanks het geringere drainwaterdebit bij den bebouwd grond gemiddeld jaarlijks maar weinig minder *Na₂O* wordt uitgespoeld dan uit den onbebouwd grond. De opname door de gewassen is in vergelijking met die van *K₂O* gering, zoodat het gemiddelde jaarlijksche verlies bij bebouwd en bij onbebouwd grond vrijwel gelijk is. Men zou geneigd zijn hieruit op te maken, dat het *Na₂O*-verlies uit den grond los staat van de door de gewassen bewerkte afbraak van silicaten en daarmede gepaard gaande groote *SiO₂*- en *K₂O*-verliezen.¹⁾

CaO. Bij de kalk ziet men juist het omgekeerde van hetgeen bij *P₂O₅*, *SiO₂* en *K₂O* valt waar te nemen: bij den bebouwd grond is het *CaO*-verlies slechts 70 % van dat bij den onbebouwd grond.

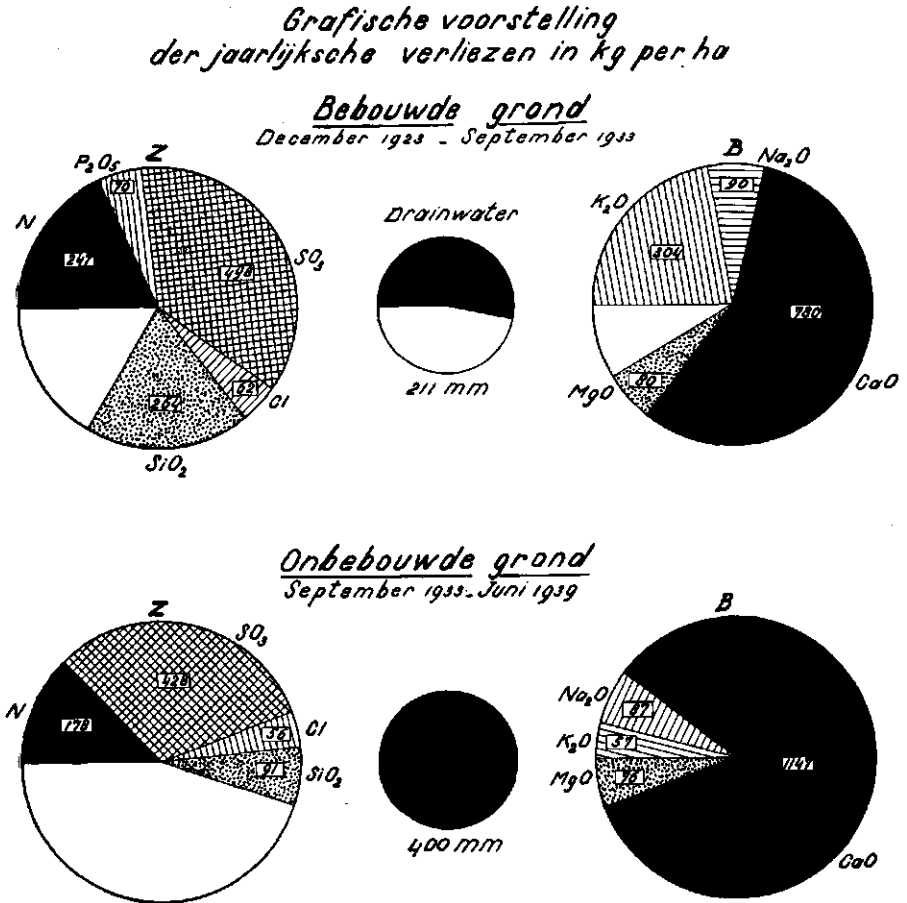
De hoeveelheid *CaO*, welke door de gewassen wordt opgenomen, is, in verhouding tot de met het drainwater meegevoerde hoeveelheid, betrekkelijk gering; in hoofdzaak wordt het verlies dus beheerscht door de uitspoeling.

Nu zijn bij den bebouwd grond de omstandigheden voor laatstgenoemd proces ongunstiger, gezien de geringe oplosbaarheid van *CaCO₃* in koolzuurhoudend water. In onbebouwd toestand bergt de grond zomer en winter een groote hoeveelheid water, waarin de kalk kan oplossen en eenmaal opgelost in dien toestand kan blijven, zoodat het uitspoelingsproces vrijwel ongestoord kan doorgaan. De bebouwde grond verliest in de zomermaanden door het waterverbruik der gewassen echter een belangrijke hoeveelheid water. Het is dus waarschijnlijk, dat het in de zomermaanden weer komt tot afzetting van vroeger opgeloste koolzure kalk, hetgeen vertraging in de uitspoeling tengevolge moet hebben. Ook de grootere hoeveelheid water, welke door den onbebouwd grond passeert, is op zichzelf reeds een gunstige factor voor de oplossing van een stof met zoo'n geringe oplosbaarheid als *CaCO₃*.

MgO. Bij den bebouwd en bij den onbebouwd grond staan de hoeveelheden *MgO*, welke met het drainwater uitspoelden, in dezelfde verhouding tot de in beide perioden uitgespoelde hoeveelheden *CaO* (zie omtrent deze verhouding hoofdstuk I, § 8 d). Aangezien echter ook door de gewassen *MgO* wordt opgenomen, is het totaal verlies bij den bebouwd grond zelfs nog iets grooter dan uit den onbebouwd grond.

¹⁾ Mogelijk bevat geen of slechts een enkele der in aanmerking komende kalihoudende mineralen tevens natrium.

Tot slot zijn in fig. 19 de gemiddelde jaarlijksche verliezen aan de verschillende bestanddeelen in kg per ha grafisch voorgesteld en wel voor de zuren en basen afzonderlijk. Hetgeen boven omtrent de verliezen uit den bebouwd en onbebouwd grond werd opgemerkt, springt hier onmiddellijk in 't oog; ik noem hier slechts de veel belangrijker verliezen aan SiO_2 en K_2O uit den bebouwd grond.



Figuur 19

Diagram of the losses sustained by the soil (crop and drainage). Year average in kg/ha
Above : cropped soil (Dec. 1923—Sept. 1933)
Beneath : uncropped (Sept. 1933—June 1939)

De vulling der cirkeltjes in het midden geeft de verhouding weer tusschen het drainwaterdebit uit den bebouwd en den onbebouwd grond.

HOOFDSTUK III

**De met den atmosferischen neerslag, de bemesting en met het zaai-zaad
aan den grond toegevoerde bestanddeelen**

§ 1. DE SAMENSTELLING VAN HET OPGEVANGEN REGENWATER

Het spreekt vanzelf, dat men bij het opmaken van een balans van verlies en winst aan de verschillende bodembestanddeelen, ook rekening dient te houden met hetgeen er met den neerslag toegevoerd wordt. Uit praktisch oogpunt beschouwd mogen deze hoeveelheden gering zijn, bij een wetenschappelijk onderzoek ten aanzien van de veranderingen, welke in den loop der tijden in den grond plaats grijpen, dienen zij in rekening gebracht te worden.

Voor één der bestanddeelen van het regenwater moet in dit opzicht misschien een uitzondering gemaakt worden. Ik doel hier op het SO_3 , omdat — ik wees er reeds eerder op — de S-voorraad in den grond slechts door de in het regenwater aanwezige sulfaten wordt aangevuld, zoodat ten lange leste de plantengroei voor zijn S-voorziening uitsluitend op den regen is aangewezen indien althans de mensch niet, *meestal zonder dit te bedoelen*, door het gebruik van sulfaathoudende kunstmeststoffen zwavel in den grond brengt (als „ballast-stof” dus!).

Voor sommige drainwater-onderzoekingen is ook de kennis van het Cl-gehalte van het regenwater van veel belang. Bij onderzoek van te velde opgevangen drainwater kan de verhouding tusschen het Cl-gehalte van het drainwater en dat van het in de omgeving opgevangen regenwater een antwoord geven op de vraag, of vermenging van het opgevangen drainwater met zout of zoet kwelwater al dan niet waarschijnlijk is. Ook is het noodig het Cl-gehalte van het regenwater te kennen om uit het gemiddelde chloorgehalte van het te velde opgevangen drainwater over een voldoende lange periode te kunnen berekenen, welk deel van het regenwater als drainwater door den grond wegzakte.¹⁾

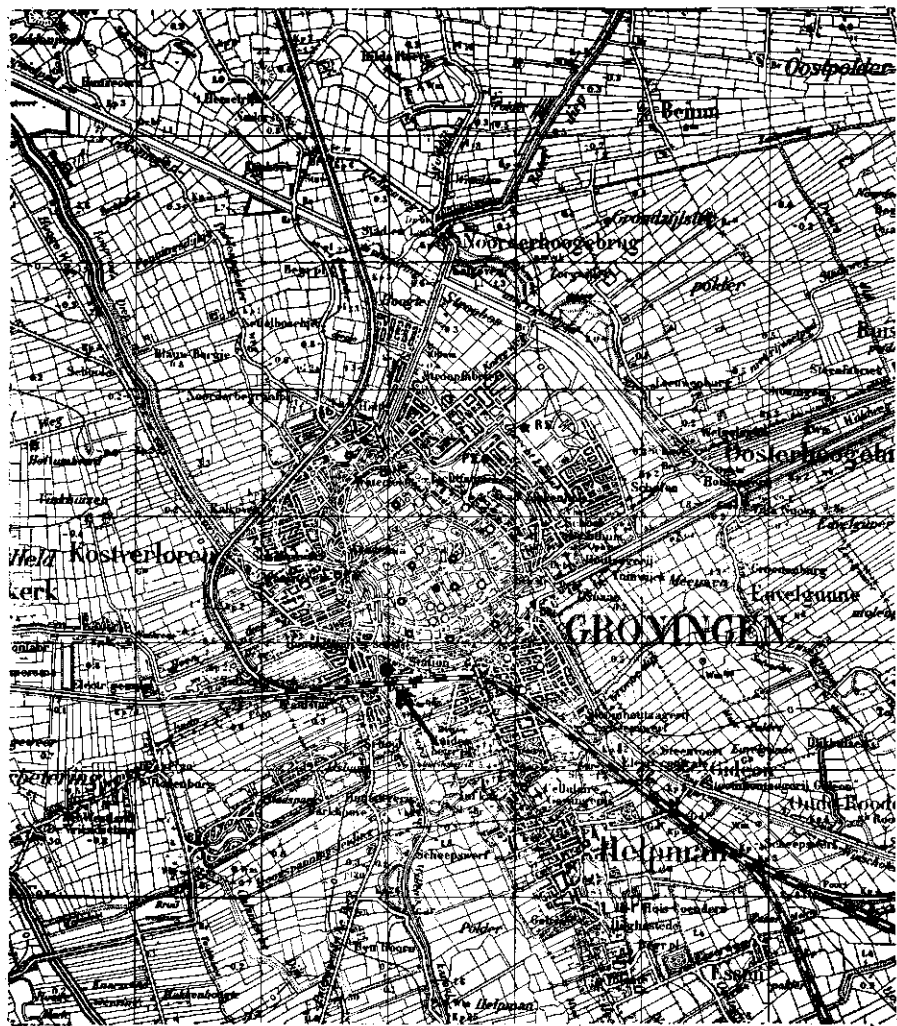
Hoewel het Na_2O -gehalte van het regenwater in het binnenland van geringe beteekenis zal zijn, zoo rijst toch de vraag, of in de kuststreken het gehalte aan dit bestanddeel niet dermate kan stijgen, dat de hoeveelheid, welke jaarlijks met den neerslag in den bodem komt, en voor het gewas en voor den grond van beteekenis wordt.

Dat de belangstelling van landbouwkundige zijde steeds in de eerste plaats

¹⁾ Het is te betreuren, dat indertijd bij het drainwater-onderzoek te Uithuizermeeden (38) geen Cl-bepalingen werden verricht in drain- en regenwater. Met deze cijfers had men de juistheid der waarnemingen omtrent de afgevoerde hoeveelheden drainwater kunnen contrôleeren.

is uitgegaan naar de vraag, hoeveel kilogram stikstof per jaar per hectare met den regen in den grond komt, spreekt wel vanzelf.¹⁾

Er bestond echter bij ons lysimeteronderzoek nog een bijzondere reden



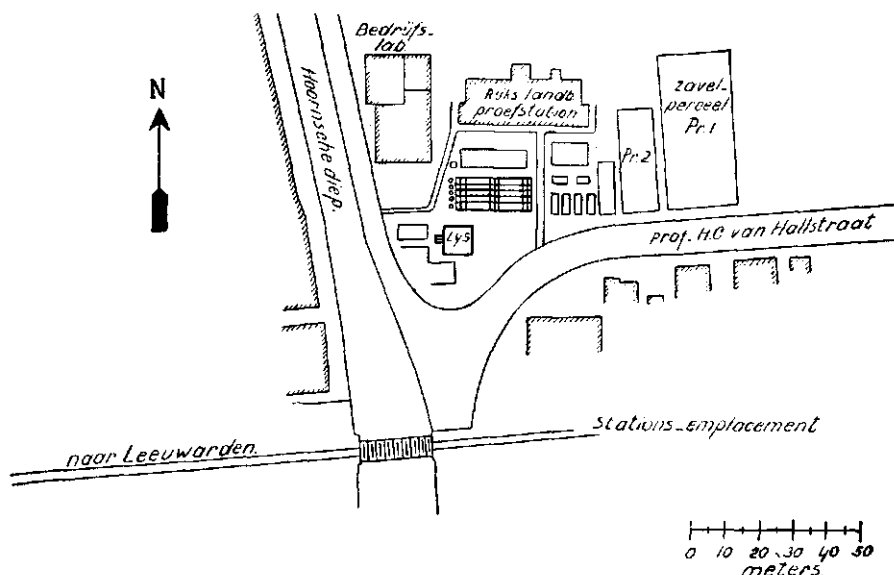
Figuur 20

Ligging van het Rijkslandbouwproefstation ten opzichte van de stad Groningen (zie pijl)

Site of the Experimental Station in relation to the town of Groningen (see arrow)

¹⁾ Het staat m.i. geenszins vast, dat slechts de hier behandelde minerale bestanddeelen van het regenwater voor plant en dier van belang zijn. Ik denk hier o.a. aan „sporen-elementen” waaronder in ieder geval het jodium genoemd moet worden.

om geregeld regenwatermonsters te onderzoeken. De proeven worden te Groningen namelijk onder tot op zekere hoogte abnormale omstandigheden genomen, daar het terrein van het proefstation, waarop de lysimeterinstallatie zich bevindt, aan den rand van een groote stad gelegen is, terwijl het aan de zuidzijde slechts door een weg van het spoorwegemplacement gescheiden is (zie fig. 20 en 21). Elders verrichte onderzoeken leerden, dat de samen-



Figuur 21

Ligging der lysimeters ten opzichte der gebouwen van het Proefstation en omliggende perceelen

Site of the lysimeters (= Lys) in relation to the buildings of the Experimental Station and adjoining area

stelling van onder dergelijke omstandigheden opgevangen regenwater aanmerkelijk kan afwijken van die van regenwater, dat ver van fabrieken en op voldoende afstand van steden en dorpen werd verzameld. Uit het volgende zal blijken, dat het te Groningen vallende regenwater inderdaad een afwijkende samenstelling vertoont en dat de hoeveelheden van enkele bestanddeelen, die jaarlijks met den regen in den grond der lysimeters komen, niet verwaarloosd mogen worden.

Reeds het uiterlijk van het bij het proefstation verzamelde regenwater verraaft, dat het door de bovengenoemde omstandigheden verontreinigd wordt. Zoo bezinken er steeds zwarte vlokken uit, welke naar men mag aannemen, afkomstig zijn van den rook der voorbijrijdende locomotieven.

Enkele der bij het regenwater bepaalde grootheden (zie tabel 60) wijzen

TABEL 60

Samenstelling van het bij de Groninger lysimeters opgevangen regenwater in mg/l
Composition of the rainwater collected on the lysimeter equipment at Groningen (mg/l)

	R mm	Droogrest	KMnO ₄ verbruik	N		P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO
				NO ₃ + NO ₂	NH ₄ + org.								
1 Oct. 1920 ¹⁾ —1 Jan. 1921	53	282	69	0,01	4,81	0,8	47	9	34	10	30	17	5
Januari 1921	115	200	30	0,01	1,44	0,4	17	18	31	n.b.	n.b.	13	3
1 Febr. '21—1 Apr. '21	53	154	76	0,03	3,44	n.b.	26	10	21	3	25	13	3
1 Apr. '21—14 Sept. '21	204	240	55	0,70	2,23	0,8	19	10	49	6	20	13	2
14 Sept. '21—1 Mrt. '22	230	200	24	0,23	1,82	0,2	25	26	84	4	33	16	5
1 Mrt. '22—1 Sept. '22	403	120	n.b.	0,93	1,66	0,3	21	6	20	4	13	7	4
1 Sept. '22—1 Mrt. '23	293	280	"	0,02	2,38	0,1	25	12	11	3	14	10	4
1 Mrt. '23—1 Sept. '23	435	56	"	0,23	0,57	0,2	48	4	12	4	23	7	1
1 Sept. '23—1 Mrt. '24	297	76	"	0,02	1,07	n.b.	35	7	10	5	12	6	4
1 Mrt. '24—1 Sept. '24	348	416	"	0,28	1,64	"	29	2	13	7	9	8	2
1 Sept. '24—1 Mrt. '25	344	146	13	1,75	0,34	"	67	7	11	6	37	6	9
1 Mrt. '25—1 Sept. '25	334	198	15	1,50	0,25	"	52	8	12	9	19	8	4
1 Sept. '25—1 Mrt. '26	439	122	33	1,74	0,51	"	38	7	4	5	18	5	3
1 Mrt. '26—1 Sept. '26	395	96	31	1,84	0,94	"	23	4	7	6	18	4	3
1 Sept. '26—1 Mrt. '27	332	118	24	2,66	0,18	"	18	11	5	7	23	6	4
1 Mrt. '27—1 Sept. '27	519	120	24	1,74	0,27	"	21	4	9	4	13	5	3
1 Sept. '27—1 Mrt. '28	336	126	36	1,98	0,35	0,2	19	7	11	4	17	6	2
1 Mrt. '28—1 Sept. '28	293	156	28	1,88	0,49	0,3	27	7	13	6	20	9	5
1 Sept. '28—1 Mrt. '29	300	156	33	1,61	0,96	n.b.	19	11	9	4	24	6	4
1 Mrt. '29—1 Sept. '29	239	412	71	2,29	0,82	1,3	28	6	28	8	20	7	6
1 Sept. '29—1 Mrt. '30	351	75	24	2,33	0,58	n.b.	22	9	8	3	10	11	2
1 Mrt. '30—1 Sept. '30	409	173	55	2,33	0,58	"	26	6	23	4	9	9	4
1 Sept. '30—1 Mrt. '31	516	140	29	3,03	n.b.	"	22	11	11	4	12	7	3
1 Mrt. '31—1 Sept. '31	459	64	25	1,40	0,62	"	14	4	15	3	6	5	2
1 Sept. '31—1 Sept. '32	722	104	23	2,17	0,83	"	19	9	11	4	9	6	2
1 Sept. '32—1 Sept. '33	744	151	22	2,12	0,26	"	15	6	11	0	4	5	3
1 Sept. '33—1 Sept. '34	550	137	14	1,61	0,26	"	16	4	14	0 ¹⁾	3	6	3
1 Sept. '34—1 Sept. '35	752	120	22	1,30	0,66	"	10	6	15	0	4	4	2
1 Sept. '35—1 Sept. '36	803	74	9	1,40	0,21	"	10	8	13	1 ³⁾	5	4	3
1 Sept. '36—1 Jan. '37	317	74	7	0,70	0,45	"	9	12	13	1	6	2	3
1 Jan. '37—1 Apr. '37	255	51	13	1,03	0,51	"	10	5	10	2	2	2	1
1 Apr. '37—1 Juli '37	193	133	6	0,98	0,90	"	13	4	28	2	4	5	1
1 Juli '37—1 Oct. '37	191	130	3	0,65	0,06	"	12	5	17	2	4	5	0 ³⁾
1 Oct. '37—1 Jan. '38	131	128	0 ³⁾	2,29	0,40	"	16	9	6	2	6	5	1
1 Jan. '38—1 Apr. '38	144	84	8	0,90	1,70	"	12	10	10	1	8	5	1
1 Apr. '38—1 Juli '38	117	171	21	0,70	1,00	"	13	9	51	2	8	9	1
1 Juli '38—1 Oct. '38	182	102	16	0,70	1,50	"	19	2	39	1	3	5	0
1 Oct. '38—1 Dec. '38	201	66	10	0,50	n.b.	"	12	8	13	1	5	4	1
Gemiddeld 1920—1938	708	138	26	1,22	0,98	—	22	7	15	4	12	6	3
Gemiddeld:													
1 Sept. '20—1 Sept. '27	689	162	36	0,81	1,39	—	33	8	17	5	19	8	4
1 Sept. '27—31 Dec. '38	720	123	22	1,54	0,66	—	16	7	14	3	8	6	3

¹⁾ Vóór 1 October 1920 vond nog geen geregeld onderzoek van het regenwater plaats.

ook op de aanwezigheid van een meer dan normale hoeveelheid zwevende vaste stoffen in de lucht dezer omgeving. Bij de beschouwing der betreffende cijfers dient in aanmerking genomen te worden, dat de analyses in het ongefiltreerde water werden uitgevoerd. Voor het afmeten der voor de analyse benodigde hoeveelheden wordt het opgevangen water krachtig geschud om de vaste stoffen zoo gelijk mogelijk over het geheele volume te verdeelen. Dit laatste zal, voor zoover men met grootere en zwaardere vaste deeltjes te maken heeft (zandkorreltjes, versinterde deeltjes, welke door de locomotieven in de lucht gestooten worden,¹⁾ vermoedelijk niet steeds volkomen bereikt worden.

Het behoeft ons dus niet te verwonderen, dat de cijfers voor de *droogrest* in tabel 60 sterke schommelingen vertoonen en doorgaans zeer hoog zijn. Over het tijdvak 1 September 1920—1 Januari 1939 bedroeg de droogrest gemiddeld 138 mg/l, terwijl LEEFLANG (48) hiervoor cijfers vermeld van 44 tot 14 mg/l naar gelang van den afstand van de verzamelplaats tot de kust. Regenwater, door mij in den Nieuwen Ruigezandster polder verzameld, bevatte 76 mg/l (zie tabel 61).

Ook de zeer hoge en eveneens sterk schommelende gehalte-cijfers voor *kieselzuur* (SiO_2) zijn aan de bijzondere ligging der verzamelplaats toe te schrijven. Hierbij dient ook nog in aanmerking genomen te worden, dat de opvangtrechter zich slechts 50 cm boven de oppervlakte van den grond der lysimeters bevond, zoodat instuiven van zandkorreltjes bij drogen grond en krachtigen wind zeer wel mogelijk was. Aangezien men hierdoor een onjuist beeld kan krijgen van hetgeen er met het regenwater in den grond der lysimeters komt — er zullen immers niet uitsluitend zuivere kwartskorreltjes, doch ook kleideeltjes instuiven —, werd de trechter begin November 1939 met zijn opening op 2,5 m boven de lysimeters, d. i. 3,5 m boven terreinhoogte, aangebracht. De verzamelflesch voor het opgevangen regenwater bevindt zich in den kelder onder de lysimeters.

Gezien de SiO_2 -cijfers voor elders opgevangen regenwater mag men wel aannemen, dat het in het bij de lysimeters opgevangen regenwater gevonden kieselzuur voor 90 % afkomstig is van ingestoven zand enz.

Hoewel de cijfers voor de „oxydeerbaarheid” of „verbruik aan KMnO_4 ” slechts een betrekkelijke waarde hebben (de roetvlokken b.v. verdwijnen bij de behandeling met de KMnO_4 -oplossing niet), zoo wijzen de betreffende cijfers toch wel uit, dat het Groninger regenwater ook met organische stoffen verontreinigd is.

¹⁾ Misschien heeft men in het najaar ook te maken met versinterde aschdeeltjes, afkomstig van de op 1,5 km westwaarts gelegen suikerfabriek, welke kolengruis verstoekt.

TABEL 61

Vergelijking van de gemiddelde samenstelling van het regenwater te Groningen met die van elders verzameld regenwater (mg/l)
Average composition of rainwater collected at Groningen and elsewhere (mg/l)

	Groningen			Nw. Ruige- zandster- polder	Uithuizer- meeden ¹⁾	LEEF-LANG (48)					BOUS- SIN- GAULT ²⁾	Rothamsted			Welbel ⁶⁾
	1920 tot 1927	1927 tot 1939				I	II	III	IV	V		3)	4)	5)	
Afst. tot de kust in meters (Distance to the coast in meters)	23000—36000			750	6000	440	2280	3000	5600	48000					
Droogrest (Drying residue)	162	123		76		43,5	25,8	24,8	19,9	14,9		33,1			
Verbruik aan KMnO ₄ (mg/l)	36	22		4,7		6,5	5,7	5,5	5,0	5,7					
N (NO ₃ ' + NO ₂ ')	0,81	1,54		0	0,24	0,074	0,052	0,052	0,022	0,025	0,048	0,14	0,190	0,203	
N (NH ₄ + org.)	1,39	0,86		0,6	0,72	0,33	0,34	0,31	0,45	0,51	0,48	0,56	0,445	0,405	
N totaal	2,20	2,20		0,6	0,96	0,40	0,39	0,36	0,47	0,54	0,53	0,70	0,64*	0,61	0,92
SO ₃	32,6	16,4		8,2		4,7	4,0	3,6	4,2	3,8			2,6		
Cl	7,7	7,1		17,0		16,2	9,1	7,5	6,5	4,0			2,5	2,4	
SiO ₂	16,6	14,3		1,3		1,7	1,5	2,0	1,4	1,4					
K ₂ O	5,2	2,8		1,9		—	—	—	—	—					
Na ₂ O	18,7	8,1		13,4		10,6	5,5	5,3	3,8	2,7					
CaO	7,5	5,6		4,0		3,5	2,7	2,4	2,4	2,4					
MgO	3,8	2,6		1,8		2,8	2,1	2,0	1,8	1,6					

¹⁾ HUDIG en WELT (38).

²⁾ BOUSSINGAULT te Liebfrauenberg i.d. Elzas; nitraat-N Mei—November 1856 en 1857, ammoniak-N Mei—November 1852 (10 blz. 241).

³⁾ FRANKLAND (46 blz. 257); gemiddelde cijfers voor 69 monsters, welke van April 1869—Mei 1870 op willekeurige tijdstippen werden genomen.

⁴⁾ Gemiddelden der maandelijksche bepalingen tussen 1889 en 1903 (30a, blz. 19).

⁵⁾ N.B. De organische stikstof werd niet bepaald; deze zou ongeveer $\frac{1}{3}$ bedragen van nitraat- en ammoniakstikstof tezamen (ibid, blz. 20). Het totale N-gehalte zou derhalve ongeveer 0,85 mg/l bedragen. Het sulfaatcijfer heeft betrekking op de jaren 1881—1887; daarna werden geen bepalingen meer verricht.

⁶⁾ RUSSELL en RICHARDS (81 blz. 59) N-cijfers zijn gemiddelden voor de jaren 1888—1916. Zie opmerking betreffende organische stikstof onder 4. Het Cl-cijfer heeft betrekking op de jaren 1877—1916.

⁷⁾ Waarnemingen aan het landbouwproefstation te Ploty in Z.W. Rusland over de jaren 1900 t/m 1902. Neerslag 422, 550 en 411 mm. 75 % der stikstof was aanwezig als ammoniakstikstof (98).

Gaan we thans over tot de beschouwing van de afzonderlijke en gemiddelde cijfers voor de overige bestanddeelen in vergelijking met de cijfers, welke elders gevonden werden en die vermeld zijn in tabel 61. In laatstgenoemde tabel zijn voor Groningen de gemiddelden ¹⁾ voor de tijdvakken 1 September 1920—1 September 1927 en 1 September 1927—31 December 1938 afzonderlijk berekend, omdat de samenstelling van het regenwater in beide tijdvakken belangrijke verschillen vertoont.

N. In de eerste plaats valt op te merken, dat het totale stikstofgehalte steeds hoger, en in vele gevallen zeer veel hoger gevonden werd dan in de monsters, welke elders op voldoende afstand van steden en fabriekscentra verzameld werden. Het gemiddelde voor de 18-jarige waarnemingsperiode, zijnde 2,2 mg/l, is 4 à 6 maal hoger dan de door LEEFLANG vermelde cijfers en 3 à 4 maal zoo hoog als die, welke te *Rothamsted* gevonden werden. In Engeland en Schotland vond men in het in steden verzamelde regenwater nog hogere cijfers (46, blz. 266; zie ook 81, blz. 319, en 14).

Een andere afwijking van het in het vrije veld verzamelde regenwater betreft de verhouding tusschen de nitraat-(en nitriet-)stikstof en de stikstof in den vorm van ammoniak en van organische verbindingen. Terwijl in het vrije veld de stikstof in den vorm van ammoniak en organische verbindingen sterk overheerscht (de nitraat-N bedraagt zelden meer dan $\frac{1}{3}$ van de ammoniak-N), treedt te Groningen de nitraat-N veel meer op den voorgrond. In de eerste periode bedroeg zij reeds meer dan de helft, terwijl in de tweede periode de verhouding geheel is omgekeerd: de hoeveelheid nitraat-stikstof is dan tweemaal zoo groot als die aan ammoniak- en organische stikstof.

Waarom deze merkwaardige verandering in de verhouding tusschen beide stikstofvormen is toe te schrijven, is moeilijk te zeggen; men mag echter wel aannemen, dat men hier niet met natuurlijke invloeden, doch met veranderingen in den aard der verontreiniging van de lucht te maken heeft. ²⁾

¹⁾ Evenals bij het drainwater zijn ook hier de gemiddelden voor perioden van langeren duur berekend uit de afzonderlijke analysecijfers met *inachtname van de hoeveelheid regenwater waarop elk afzonderlijk cijfer betrekking had*. M.a.w., de totale hoeveelheid N enz., welke in de genoemde perioden met het regenwater per m² op den grond viel, werd gedeeld door den totalen regenval in liters per m², dus in mm.

²⁾ Men vraagt zich onwillekeurig af, of de nabijheid van het scheikundig laboratorium, waar in de latere jaren veel destructies met salpeterzuur worden uitgevoerd, hier geen rol kan spelen. Hierbij zij echter gewezen op de overigens gunstige omstandigheid dat de lysimeters ongeveer 25 m ten Z van het gebouw liggen; de overheerschende winden blazen eventueele laboratorium-dampen in tegenovergestelde richting. (Zie fig. 21).

RUSSELL en RICHARDS (81, blz. 321) vonden indertijd ook, dat te Rothamsted de verhouding tusschen nitraat- en ammoniak-stikstof zich wijzigde. Aanvankelijk bedroeg de nitraat-stikstof $\frac{1}{3}$ van de ammoniak-stikstof, maar in het grootste deel der waarnemingsperiode (1888—1916) was de verhouding als 1 : 2. Vanaf 1912 echter werd de verhouding als 1 : 1. Ook deze onderzoekers meenen, dat hier eerder aan kunstmatige dan aan natuurlijke invloeden gedacht moet worden. Deze wijziging in de verhouding is echter niet, zooals zij schijnen te meenen, uitsluitend toe te schrijven aan stijging van het nitraatgehalte. Dit gehalte begint inderdaad enkele jaren na 1886 vrij regelmatig tot 1916 toe te stijgen, zooals duidelijk blijkt, als men de betreffende cijfers (65a, blz. 282; 81, blz. 332) grafisch voorstelt (fig. 22).

De wijziging in de verhouding sedert 1912, waarop zij de aandacht vestigen, is echter een gevolg van een sterke daling van het gehalte aan ammoniak-stikstof. Maar ook een daling van het gehalte aan ammoniak-N zou m. i. zeer goed een gevolg kunnen zijn van een verandering in den aard der gebruikte brandstoffen bij de verwarming van woonhuizen en groote gebouwen en van wijziging in de stooktechniek in de fabrieken.

Ik vestig er echter de aandacht op, dat ook meteorologische invloeden in 't spel kunnen zijn.¹⁾ En waar deze een rol spelen dient men voorzichtig te zijn met conclusies te trekken uit waarnemingen, welke slechts over enkele decennien loopen.

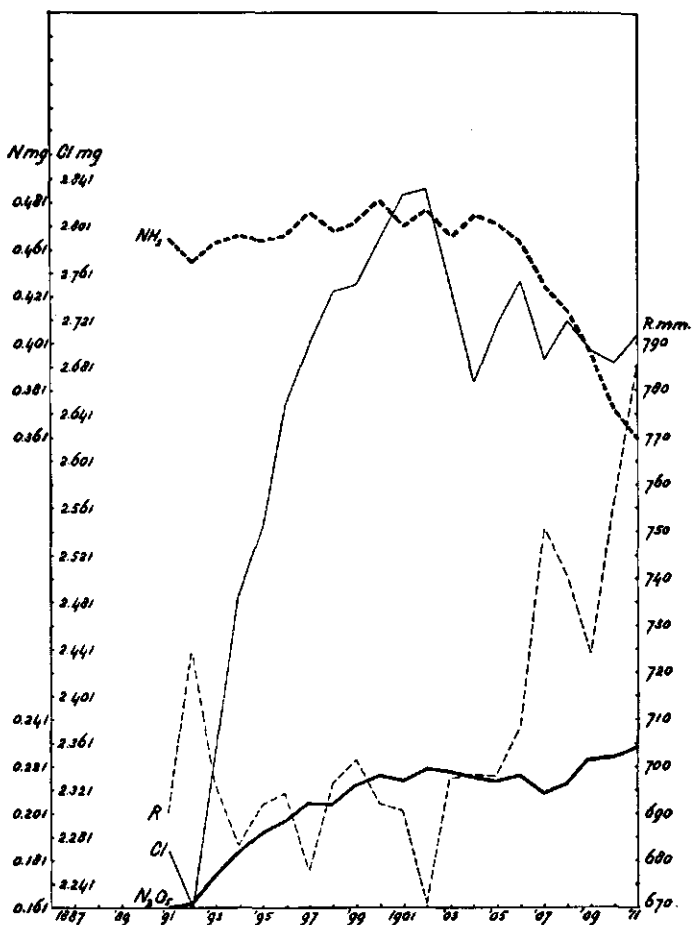
Ook HUDIG en WELT (38) hebben indertijd bij hun drainwateronderzoek aandacht geschonken aan het N-gehalte van het regenwater te Uithuizermeeden. Aangezien deze verzamelplaats slechts ongeveer 24 km in noordelijke richting van Groningen verwijderd ligt, wil ik de door hen verkregen resultaten hier nog even afzonderlijk vermelden.

Genoemde onderzoekers vonden, dat van de totale hoeveelheid N gemiddeld ongeveer 75 % aanwezig was als ammoniak- en organische stikstof en slechts 25 % als nitraat-stikstof, een resultaat, hetwelk overeenstemt met dat in vroegere jaren te Rothamsted verkregen. Uit de tabellen 42 en 43 der betreffende publicatie blijkt echter, dat deze verhouding van geval tot geval nogal kan variëren.

Gemiddeld was het totale gehalte te Uithuizermeeden 0,96 mg/l. Dit is, Groningen uitgezonderd, het hoogste cijfer in tabel 61. De beide laatste cijfers voor Rothamsted zouden, indien ook de organische stikstof bepaald was geworden, ongeveer $\frac{1}{3}$ hooger zijn geweest (zie noot 4 onder tabel 61), dus 0,80—0,85. Bij de door LEEFLANG vermelde cijfers werd echter wel rekening gehouden met de stikstof uit organische verbindingen en deze cijfers

¹⁾ Men lette op de sterke stijging van den regenval in de jaren 1897—1916 (fig. 22).

zijn desniettemin aanmerkelijk lager. De vraag rijst dus, of de te Uithuizermeeden en te Rothamsted verzamelde cijfers toch niet onder den invloed hebben gestaan van de in de nabijheid der verzamelplaats gelegen woningen en bedrijven.



Figuur 22

LYSIMETERS ROTHAMSTED

Gehalte van het regenwater aan NH_3 , N_2O_5 en Cl (mg)

Gemiddelden voor 10-jarige perioden, welke steeds 1 jaar verschuiven, gedurende het tijdvak 1886—1916

NH_3 , N_2O_5 , and Cl-content of the rainwater

Averages for 10 years periods, during 1886—1916 (1886—1896, 1887—1897, etc.)

Tusschen winter- en zomerhalfjaar werden te Groningen slechts geringe verschillen gevonden; in het winterhalfjaar werd over de jaren 1921—1931

gemiddeld een wat hooger ammoniak- en een iets lager nitraatgehalte gevonden. De cijfers waren:

	winter	zomer
Ammoniak-N:	0,91	0,79
Nitraat-N:	1,48	1,52
Totaal-N:	2,39	2,31

SO_3 . Zooals te verwachten is, zijn de te Groningen gevonden sulfaat-cijfers aanmerkelijk hooger dan elders. Men vindt echter voor in de nabijheid van fabriekssteden opgevangen regenwater nog belangrijk hogere cijfers vermeld. In de eerste zeven jaren der waarneming was het gehalte tweemaal zoo hoog als in de laatste elf jaren, inderdaad een merkwaardig verschil.

Het SO_3 -cijfer voor den Nieuwen Ruigezandster polder is in vergelijking met de cijfers van LEEFLANG hoog. Uit deze laatste cijfers blijkt, dat het sulfaat-gehalte van de kust af landwaarts in afneemt; men moet het cijfer voor genoemden polder dus vergelijken met het hoogste cijfer (I); maar ook dan nog is het cijfer hoog.¹⁾

Gemiddeld is het cijfer in het winterhalfjaar te Groningen slechts iets hooger dan in den zomer, n.l. 29,2 tegen 28,9 mg/l (1921—1931).²⁾

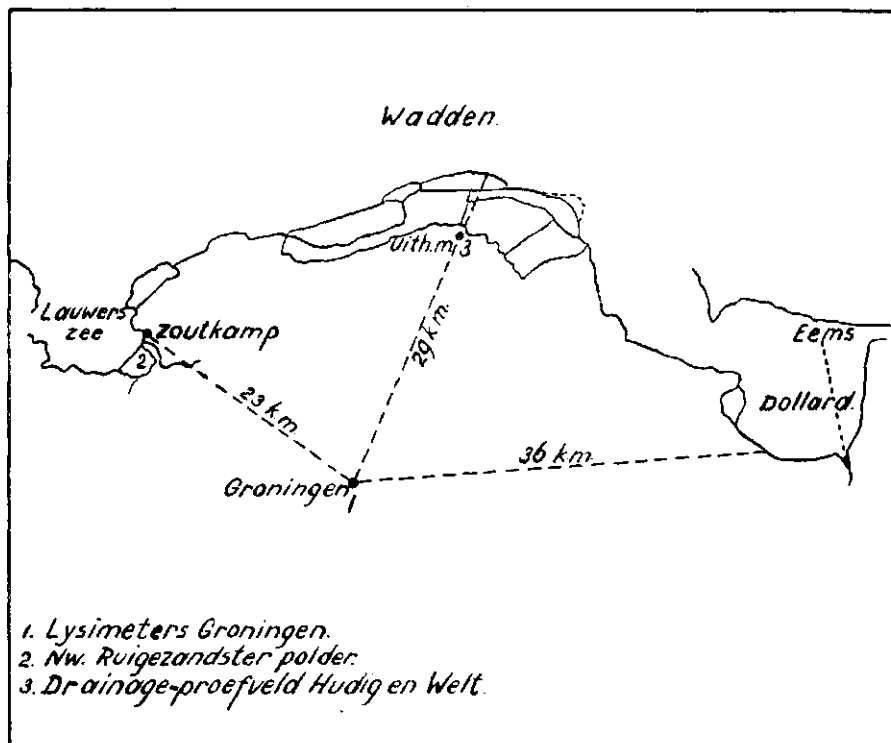
Cl. Het chloorgehalte van het Groninger regenwater is niet zoo bijzonder hoog. In verband met den afstand tot de kust zou het gehalte, afgaande op de cijfers van LEEFLANG, tusschen 6,5 en 4 mg/l moeten liggen. Er werd echter een wat hooger gemiddelde waarde gevonden, te weten: in de eerste zeven jaren 7,7, in de laatste elf jaren 7,1 mg/l. Men dient hierbij echter in aanmerking te nemen, dat Groningen van West tot Oost op betrekkelijk geringen afstand van de zee ligt (23—36 km) (zie fig. 23). Alle winden van W. tot O. kunnen dus zoutdeeltjes door de lucht aanvoeren. Het is zeer wel mogelijk, dat hierdoor het op het eerste gezicht wat hooge cijfer bereikt wordt. Dat men dus vermoedelijk niet te maken heeft met verontreiniging door stad en fabrieken, vindt wellicht ook steun in het feit, dat het chloorgehalte in de eerste periode slechts weinig hooger was, terwijl dit bij alle andere cijfers (N uitgezonderd) wel het geval was.

Er is een duidelijk bijna jaarlijks optredend verschil in Cl-gehalte tusschen het winter- en het zomerhalfjaar. Voor de jaren 1921—1931 waren de gemiddelde cijfers resp. 9,2 en 4,8.

¹⁾ Ik moet erop wijzen, dat de onderscheidene bepalingen van de in zoo geringe hoeveelheden in het regenwater aanwezige bestanddeelen, moeilijkheden opleveren. Onderlinge vergelijking van aan verschillende laboratoria verkregen resultaten is slechts dan ten volle mogelijk, indien aan alle laboratoria precies volgens dezelfde voorschriften gewerkt wordt. Dit laatste zal wel niet steeds het geval zijn.

²⁾ Voor het S-gehalte van regenwater in en nabij een fabrieksstad (Leeds) zie o.a.: CROWTHER en RUSTON (14).

Dergelijke groote seizoenschommelingen, gevolg van verschillen in wind-richting en windkracht, werden ook elders geconstateerd.¹⁾ Zoo vermeldt LEEFLANG (l. e., blz. 659) voor de verzamelplaats V op 48 km uit de kust



Figuur 23

Afstand van Groningen (lysimeters) tot de kust
Distance between Groningen (lysimeters) and coast

als Cl-gehalte van het regenwater, verzameld van 29 April—21 Juni 1935, 1,4 en voor dat, verzameld van 20 October—21 December 1936, 8,8 mg/l.

MILLER (65a, blz. 290) noemt voor de periode 1877—1901 als gemiddelde voor het zomerhalfjaar 1,49 en voor het winterhalfjaar 3,05 mg/l.

Volgens RUSSELL en RICHARDS (81, blz. 324) zou zoowel uit de cijfers te Rothamsted als die, welke verzameld werden te Cirencester (± 40 km ten O. van de Severn) volgen, dat het Cl-gehalte van het regenwater in 't algemeen stijgende is. Het is m. i. echter twijfelachtig, of men gerechtigd is een dergelijke conclusie uit een geringe stijging in een nauwelijks 30-jarige periode

¹⁾ LAWES, GILBERT en WARINGTON (46, blz. 264) achtten, naast het stormachtige karakter van het winterweer, ook invloed van de in steenkolen aanwezige Cl mogelijk. RUSSELL en RICHARDS (81 blz. 324) laten zich met beslistheid in dezen geest uit.

te trekken, indien zooals men toch moet aannemen, meteorologische omstandigheden invloed uitoefenen op het Cl-gehalte van het regenwater.

SiO₂. Zooals reeds werd opgemerkt, zijn de abnormaal hoge cijfers voor het kiezelzuur toe te schrijven aan ingestoven zand. Dit blijkt ook wel duidelijk hieruit, dat bij de vier laatste analyses, vermeld in tabel 60, in het ongefiltreerde water resp. 10, 51, 39 en 31, in het gefiltreerde water echter slechts 0,7, 1,5, 1,8 en 1,7 mg/l gevonden werd. Deze laatste waarden zijn geheel in overeenstemming met die, welke LEEFLANG vermeldt en met de waarde, die wij voor het regenwater uit den Nieuwen Ruigezandster polder vonden.

K₂O. De cijfers voor het kali-gehalte kunnen slechts vergeleken worden met dat voor het regenwater uit den Nieuwen Ruigezandster polder. In de eerste zeven jaren is het bijna tweemaal, in de laatste elf jaren anderhalf maal zoo hoog.

Vanaf 1 September 1932 zijn alle gevonden waarden duidelijk lager dan vóór dien datum. Vermoedelijk houdt dit ten deele verband met de vervanging van de platinachloride- door de kobaltnitriet-methode met ingang van eerstgenoemden datum. Laatstgenoemde methode bleek later bij de lage kali-concentraties, waarmede men hier te maken heeft, te lage uitkomsten te geven, hetgeen aanleiding gaf tot wijziging der methode; afgewacht dient nu te worden, welke waarden in het vervolg gevonden zullen worden.

De methode met platinachloride is bij deze geringe hoeveelheden kalium trouwens ook niet absoluut betrouwbaar. In hoeverre de cijfers vóór 1 September 1932 verkregen van de juiste waarden afwijken, is moeilijk te zeggen.

Na₂O. Het gehalte aan natrium is, de afstand tot de kust in aanmerking genomen en gezien het Cl-gehalte, in de eerste jaren hoog. Uit tabel 61 blijkt echter, dat in de laatste elf jaren het gemiddelde gehalte lager is, n.l. 8,1 mg/l. Dit cijfer is nog wel aan den hoogen kant, doch meer in overeenstemming met het Cl-gehalte (zie LEEFLANG III). Ook bij de natriumbepaling doen zich moeilijkheden voor en het is niet uitgesloten, dat in de eerste periode wat te hoge waarden gevonden werden.

CaO. Dit cijfer is, vergeleken met de andere, eveneens aan den hoogen kant, al is het over de laatste elf jaren wat lager, n.l. 5,6. De mogelijkheid bestaat, dat in de eerste jaren van tijd tot tijd eenige kalk in de lucht kwam vanuit een loods op een aangrenzend terrein (noordkant), waar met kalk werd gewerkt.

MgO. Het gehalte aan magnesium is in de laatste elf jaren ongeveer in dezelfde verhouding gedaald als het kalkgehalte; in die jaren is het gemiddelde slechts weinig hooger dan de gehalten, welke door LEEFLANG vermeld worden, en dan het gehalte, door ons in het regenwater van den Nieuwen Ruigezandster polder gevonden.

In tabel 62 is de samenstelling van het Groninger regenwater naast die der overige volledige analyses uit de beide vorige tabellen vermeld in milliequivalenten per 10 liter, terwijl tevens de verhouding is berekend, waarin de verschillende bestanddeelen ten opzichte van chloor ($\text{Cl} = 100$) voorkomen.

TABEL 62

Samenstelling van het regenwater in mE per 10 l

Composition of the rainwater in mE p. 10 l

	Groningen		Nw. R. polder	LEEFLANG				
	1920—'27	1927—'39		I	II	III	IV	V
N als nitraat . . .	0,58	1,10	0	0,05	0,04	0,04	0,02	0,02
Cl	2,17	2,00	4,79	4,57	2,57	2,12	1,83	1,13
SO ₃	8,14	4,10	2,05	1,17	1,00	0,90	1,05	0,95
SiO ₂	(5,53)	(4,76)	0,43	0,57	0,50	0,67	0,47	0,47
N als ammoniak . .	0,99	0,47	0,43	0,24	0,24	0,22	0,32	0,36
K ₂ O	1,10	0,59	0,40	—	—	—	—	—
Na ₂ O	6,03	2,61	4,32	3,42	1,77	1,71	1,23	0,87
CaO	2,68	2,00	1,43	1,25	0,96	0,86	0,86	0,86
MgO	1,89	1,29	0,89	1,39	1,04	0,99	0,89	0,79
Som zuur-aeq. . . .	(16,42)	(11,96)	7,27	6,36	4,11	3,73	3,37	2,57
.. base-aeq. . . .	12,69	6,96	7,47	6,30	4,01	3,78	3,30	2,88
Cl = 100								
N als nitraat . . .	27	55	0	1	1	2	1	2
SO ₃	375	205	43	26	39	43	57	84
SiO ₂	(255)	(238)	9	12	20	32	25	41
N als ammoniak . .	46	24	9	5	10	10	18	32
K ₂ O	51	30	8	—	—	—	—	—
Na ₂ O	278	131	90	75	69	81	67	77
CaO	123	100	30	27	38	41	47	76
MgO	87	64	19	30	41	47	49	70

Vergelijkt men de som der zuur-aequivalenten ¹⁾ met die der base-aequivalenten, dan blijkt het verschil gering te zijn, behalve bij de Groninger analyses. Dit laatste is een gevolg van de reeds meer genoemde aanwezigheid van zandkorreltjes in het opgevangen regenwater.

¹⁾ Feitelijk had hierbij nog het als bicarbonaat aanwezige hoeveelheden CO₂ in rekening gebracht moeten worden; deze hoeveelheden zijn echter zeer gering.

Het aantal mE chloor is bij zuiver regenwater steeds iets grooter dan het aantal mE natrium; het grootste is het verschil bij I, waar het 1,15 bedraagt. Bij het Groninger regenwater is omgekeerd het aantal mE natrium grooter dan het aantal mE chloor. Vooral in de periode 1920—1927 is het verschil zeer groot; het regenwater was dus vooral in deze jaren zeer rijk aan natrium en de vraag rijst, of er toentertijd wellicht in de omgeving een bedrijf was, dat natriumverbindingen in de lucht bracht.

In verhouding tot het chloor is het te Groningen opgevangen regenwater ook rijker aan CaO. Is de verhouding dicht aan de kust (I en Nieuwe Ruigezandster polder) als 100 : 27 en 100 : 30 en op grootten afstand van de kust als 100 : 40 à 75, te Groningen is de laatste elf jaren het aantal mE calcium gelijk aan dat der mE chloor en voordien was de verhouding zelfs omgekeerd. Ook ten opzichte van het MgO-gehalte is het CaO-gehalte te Groningen hoog.

Uit hetgeen hiervóór werd medegedeeld omtrent de samenstelling van het regenwater, dat op de Groninger lysimeters valt, blijkt, dat deze afwijkingen vertoont ten opzichte van regenwater, dat op grootten afstand van steden, dorpen en fabrieken verzameld werd. Het kenmerkt zich door een hooger gehalte aan N en SO₃ naast een hooger gehalte aan Na₂O en CaO.

Het hoogere gehalte aan SiO₂ kunnen wij buiten beschouwing laten, aangezien het grootendeels geen eigenlijk bestanddeel van het regenwater is; bovendien komt het er in voor als inactieve kwartskorreltjes. Zeer waarschijnlijk is de aanwezigheid dezer zandkorreltjes een gevolg van de te lage plaatsing van den opvangtrechter en het is niet buitengesloten, dat de betrekkelijk hoge Na₂O- en CaO-gehalten ten deele ook hieraan zijn toe te schrijven. In dit opzicht is de verplaatsing van den trechter tot op 2,5 m boven den bovenrand der lysimeters ongetwijfeld een verbetering.

De geconstateerde afwijking van de normale samenstelling is echter niet van dien aard, dat hierdoor een bijzondere werking van het regenwater op den grond der lysimeters verwacht zou kunnen worden. Bij de berekeningen omtrent de door den grond geleden verliezen wordt uit den aard der zaak rekening gehouden met de hoeveelheden der in het regenwater gevonden bestanddeelen; in de volgende paragraaf zullen we zien om welke hoeveelheden per ha het hier gaat.

§ 2. HETGEEN ER PER HA MET DEN REGEN IN DEN GROND KOMT

Geregeld onderzoek van het regenwater stelt ons slechts in staat aard en hoeveelheid vast te stellen der stoffen, welke met *den neerslag* in den grond terecht komen. Wordt de grond vanuit de atmosfeer ook nog buiten den neerslag om met stoffen verrijkt?

Met betrekking tot de *stikstof* moet deze vraag bevestigend beantwoord worden. Het is immers bekend, dat de stikstoftoevoer door symbiotisch levende bacteriën (knolletjesbacteriën) en door vrij levende bacteriën (azotobacter) niet te verwaarlozen is. Verder is adsorptie van stikstofverbindingen uit den dampkring door den grond mogelijk, waar echter weer de mogelijkheid van verliezen tegenover staat (elementaire stikstof, ammoniak).

Van de overige bestanddeelen van het regenwater kan slechts bij de *zwavel* de vraag rijzen, of ook buiten den regen om toevoer van dit element vanuit de lucht plaats heeft. Men zou zich n.l. kunnen denken, dat de als zwavelig- of zwavelzuur in de lucht voorkomende zwavel door den grond geadsorbeerd wordt. In de omgeving van groote steden en fabrieken is dit ook het geval (14) en het is wel gewenscht hiernaar op het terrein van het Proefstation te Groningen eens een onderzoek in te stellen.¹⁾

De eigenlijke winst van den grond aan de beide genoemde elementen langs dezen weg is, zooals gemakkelijk valt in te zien, niet met zekerheid vast te stellen; men zal het niet verder kunnen brengen dan ramingen.

Bij de overige bestanddeelen, Cl, K, Na, Ca en Mg behoeft men, afgezien van de verontreiniging van de lucht bij steden en fabrieken door grovere deeltjes, slechts aan toevoer met den regen te denken. Het schijnt wel vast te staan, vooral na de onderzoekingen van KÖHLER, dat deze stoffen afkomstig zijn uit het zeewater en uiterst fijn verdeeld in het luchtruim rondzweven, tot zij als condensatiekernen voor den waterdamp optreden en met de regendruppels op aarde neerdalen (39).

Tabel 63 leert ons hetgeen er gemiddeld per jaar met den regen in den grond der Groninger lysimeters kwam, uitgedrukt in kg/ha. De bedragen zijn, om de op blz. 347 genoemde reden, ook voor de perioden 1920—1927 en 1927—1939 afzonderlijk vermeld. Bovendien zijn genoemd de hoeveelheden, welke gemiddeld jaarlijks op voldoende afstand van steden en fabrieken, onder meer normale omstandigheden dus, met den regen in den grond gebracht worden; hieraan liggen de in tabel 61 vermelde gehaltecijfers ten grondslag.

Houdt men zich voor de N-binding door azotobacter en door den verbouw van leguminosen aan de cijfers, welke de literatuur daaromtrent vermeldt, dan zou op een N-toevoer van 25 kg per jaar gerekend mogen worden. In totaal zou de winst aan stikstof uit de atmosfeer te Groningen dus ongeveer 40, op het vrije veld 30 kg per ha per jaar bedragen.

¹⁾ Bij het opmaken van de S-balans (Hoofdstuk IV, § 4c) blijkt, dat er zeer waarschijnlijk langs dezen weg een niet te verwaarlozen hoeveelheid zwavel in den grond is gekomen.

TABEL 63

Hetgeen met den regen gemiddeld per jaar in den grond werd gebracht in kg/ha
Average yearly gain of the soil by rain. Kg per ha

	R mm	N	SO ₃	Cl	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO
Groningen									
Sept. 1920—Jan. 1939 . .	708	15,6	158	52	(107)	27	85	45	21
Sept. 1920—Sept. 1927 . .	689	15,2	224	53	(114)	36	129	51	26
Sept. 1927—Jan. 1939 . .	720	15,9	118	51	(103)	16	58	40	18
In het vrije veld (<i>In the open field</i>)	700	5	28	35	10	14	25	18	11

Afgezien van dit verschil treft in de bovenstaande tabel vooral de belangrijke toevoer van SO₃ te Groningen.

De veel hoogere cijfers voor SiO₂ zijn, zooals we vroeger zagen, toe te schrijven aan het instuiven van zanddeeltjes in den verzameltrechter voor het regenwater; deze cijfers zijn daarom tusschen haakjes geplaatst.

§ 3. DE MET DE BEMESTING IN DEN GROND GEBRACHTE BESTANDDEELLEN

In tabel 64 is vermeld hetgeen er in totaal in den loop der jaren met de bemesting (zie tabel 45, blz. 306) aan stikstof enz. per lysimeter in den

TABEL 64

Hetgeen met de bemesting in den grond werd gebracht
Added to the soil with the manures

	1 en 5		2 en 4		3 en 6		7 en 8		Kg per ha per jaar				
	g per lys.	kg/ha	g per lys.	kg/ha	g per lys.	kg/ha	g per lys.	kg/ha	1 en 5	2 en 4	3 en 6	7 en 8	Gem.
1918—1933													
N	43,743	490	43,749	490	43,722	491	43,718	492	32,7	32,7	32,7	32,8	32,7
P ₂ O ₅	76,186	853	76,186	853	76,186	855	76,186	857	56,9	56,9	57,0	57,1	57,0
SO ₃	146,845	1643	51,380	575	51,380	577	51,380	578	109,5	38,3	38,5	38,5	56,2
K ₂ O	46,363	519	46,363	519	46,363	521	46,363	521	34,6	34,6	34,7	34,7	34,7
Na ₂ O	13,535	151	87,415	979	13,535	152	13,535	152	10,1	65,3	10,1	10,1	23,9
CaO	27,543	308	27,543	308	27,543	309	94,343	1061	20,5	20,5	20,6	70,7	33,1
1924—1933													
N	26,911	301	26,905	301	26,890	302	26,884	302	30,1	30,1	30,2	30,2	30,2
P ₂ O ₅	60,224	674	60,224	674	60,224	676	60,224	677	67,4	67,4	67,6	67,7	67,5
SO ₃	116,208	1300	39,269	440	39,269	441	39,269	442	130,0	44,0	44,1	44,2	65,6
K ₂ O	46,363	519	46,363	519	46,363	521	46,363	521	51,9	51,9	52,1	52,1	52,0
Na ₂ O	0	0	59,540	667	0	0	0	0	0	66,7	0	0	16,7
CaO	21,131	237	21,131	237	21,131	237	74,958	843	23,7	23,7	23,7	84,3	38,9

grond kwam; deze hoeveelheden (g per lysimeter) zijn tevens omgerekend op kg/ha, terwijl verder de gemiddelde jaarlijksche hoeveelheden per ha vermeld zijn.

Hetzelfde is voor de jaren 1924—1933 afzonderlijk gedaan, omdat omstreeks 1 Januari 1924 ten aanzien van de uitspoeling een meer stabiele toestand intrad, reden waarom in tabel 59 het gemiddelde jaarlijksche verlies van den grond ook voor deze periode afzonderlijk berekend werd (zie blz. 332).

Aangezien verder bij de berekening voor de gemiddelde jaarlijksche verliezen uitgegaan werd van het totale verlies der 8 lysimeters, waarbij dus als het ware alle lysimeters de stikstof steeds in den vorm der vier zouten, elk voor een vierde deel ontvingen, zijn in tabel 64 ook de gemiddelde winsten per jaar voor de 8 lysimeters tezamen opgenomen. Uit den aard der zaak maakt dit slechts verschil bij SO_3 , Na_2O en CaO .

§ 4. DE MET HET ZAAIZAAD IN DEN GROND GEBRACHT E BESTANDDEELLEN

Hoewel de hoeveelheden der in het zaai- en pootgoed aanwezige bestanddeelen gering zijn, werden ook deze in de balans opgenomen. Voor de berekening dezer hoeveelheden werd uitgegaan van de gemiddelde gehaltecijfers voor het zaaizaad. De betreffende cijfers vindt men in tabel 65.

TABEL 65

Hetgeen met zaai- en pootgoed in den grond werd gebracht

Added to the soil by seed and potatoes

	Grammen per lysimeter						Kilogrammen per ha					
	N	P_2O_5	SO_3	K_2O	CaO	MgO	N	P_2O_5	SO_3	K_2O	CaO	MgO
1918—1933.	5,86	2,85	1,44	6,71	0,43	0,80	65,8	32,0	16,0	75,2	4,6	8,6
Gemiddeld per jaar	0,39	0,19	0,10	0,45	0,03	0,05	4,4	2,1	1,1	5,0	0,3	0,6
1924—1933.	4,18	2,15	1,12	4,83	0,33	0,61	47,0	24,2	12,5	54,2	3,6	6,6
Gemiddeld per jaar	0,42	0,22	0,11	0,48	0,03	0,06	4,7	2,4	1,3	5,4	0,4	0,7

Aangezien in 1924 ruim de dubbele der in de praktijk gebruikelijke hoeveelheid poot aardappelen gebruikt werd, n.l. 9 poot aardappelen per lysimeter, zijn de cijfers voor N en K_2O aan den hoogen kant.

§ 5. DE GEMIDDELDE JAARLIJKSCH E WINSTEN VAN DEN GROND DOOR REGENVAL, BEMESTING EN ZAAIZAAD

Gaat men uit van de gemiddelde samenstelling van het regenwater voor de laatste elf jaren en van de bemesting in de geheele periode van bebouwing

1918—1933 (resp. van die in de jaren 1924—1933), dan komt men voor den grond in de lysimeters tot een gemiddelde jaarlijksche winst als in tabel 66 is aangegeven.

TABEL 66

*Totale jaarlijksche winst (regen + bemesting + zaaizaad)
van den grond in de lysimeters in kg per ha*

Total gain (rain + manure + seed) of the soil in the lysimeters in kg per ha per annum

	N	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO
Regenwater (<i>Rain</i>) .	15,9	0	118,0	51	(103)	16	58	40	18
Bemesting (<i>Manures</i>)	32,7	57,0	56,2	0	0	34,7	23,9	33,1	0
Zaaizaad (<i>Seed</i>) . . .	4,4	2,1	1,1	—	—	5,0	—	0,3	0,6
Totaal 1918—1933 . .	53,0	59,1	175,3	51	(103)	55,7	81,9	73,4	18,6
Regenwater (<i>Rain</i>) .	15,9	0	118,0	51	(103)	16	58	40	18
Bemesting (<i>Manures</i>)	30,2	67,5	65,6	0	0	52,0	16,7	38,9	0
Zaaizaad (<i>Seed</i>) . . .	4,7	2,4	1,3	—	—	5,4	—	0,4	0,7
Totaal 1924—1933 . .	50,8	69,9	184,9	51	(103)	73,4	74,7	79,3	18,7

HOOFDSTUK IV

De door den grond geleden verliezen ten opzichte van de in den grond aanwezige voorraden aan de verschillende bestanddeelen

De wijziging der samenstelling van den grond in de eerste twintig proeff jaren

In dit hoofdstuk zullen de in het tijdperk 1918—1938 door den grond geleden verliezen, verminderd met de gemaakte winsten, beschouwd worden in verband met de hoeveelheden der verschillende bestanddeelen, welke bij het begin der proef in 1918 volgens analyse in den grond aanwezig waren.

Dergelijke beschouwingen werden maar al te weinig gehouden, hetgeen zijn oorzaak vindt in het ontbreken van de daarvoor benoodigde juiste gegevens. Voor de behandeling van meerdere bemestingsvraagstukken zijn ze echter van groote beteekenis.

In 1938 werd de grond voor het eerst na het invullen in 1918 onderzocht; de toen aanwezige voorraden werden opnieuw geïnventariseerd. Men kan dus tegenover elkander stellen, eenerzijds de vermindering der voorraden aan stikstof, fosforzuur enz., en anderzijds de verliezen, welke de grond volgens de drainwater- en gewas-analyses leed, rekening houdende met de baten in

neerslag, bemesting en zaaizaad. Blijkt er tusschen de langs beide wegen gevonden verliezen geen overeenstemming te bestaan, dan rijst de vraag, of er mogelijk onbekende verliezen of winsten zijn opgetreden, dan wel of er soms bij de analyses fouten gemaakt kunnen zijn, die tot het ontbreken van overeenstemming aanleiding konden geven.

Verder zullen in dit hoofdstuk de veranderingen, welke blijkens de in 1918 en in 1938 verrichte grondanalyses in den loop der eerste twintig proefjaren optraden, besproken worden. Hierbij zal bijzondere aandacht geschonken worden aan de veranderingen, welke in het *bodemprofiel* zijn opgetreden. Dit is mogelijk, omdat de lysimeters van onder tot boven gevuld werden met gehomogeniseerden grond; het bodemprofiel was dus aanvankelijk eenvormig. De differentiatie der grondlagen, welke zich voltrok, kan een bijdrage leveren tot de kennis van het natuurlijke bodemprofiel op den akker.

§ 1. DE STIKSTOF

a. *Inleiding*

De grond der lysimeters bevatte bij het invullen in totaal rond 0,11 % N, bepaald volgens de methode-JODLBAUER. Hieruit laat zich met de hoeveelheden grond, welke in de lysimeters gebracht werden (tabel 69) en met de oppervlakte der lysimeters berekenen, dat er aanvankelijk in den grond 17 350 kg N per ha en ter diepte van 1 m aanwezig was.

Het gemiddelde jaarlijksche verlies bedroeg volgens tabel 59 van 1923 tot 1933 per ha 247 kg; houdt men rekening met de lagere oogsten der praktijk, dan wordt deze hoeveelheid 188 kg. Volgens tabel 66 bedroeg de jaarlijksche winst door bemesting, neerslag en zaaizaad gemiddeld 51 kg per ha. Hieruit volgt, dat het jaarlijksche stikstofverlies 196 (resp. 137) kg per ha bedroeg.

De oorspronkelijk in den grond aanwezige voorraad zou dus voor 88 oogsten, zooals op de lysimeters verkregen werden, of voor 127 praktijkooogsten toereikend zijn, bij een gemiddelde jaarlijksche bemesting met 30 kg stikstof.

Nu is, zooals wij vroeger zagen, het stikstofverlies met het drainwater, zoowel te velde als in de lysimeters, bij dezen grond zeer hoog; het bedraagt volgens tabel 57 per ha 61 kg. Neemt men aan, dat het verlies slechts een vierde dezer hoeveelheid is, een volgens het N-gehalte van te velde uit kleigronden opgevangen drainwater zeer normaal bedrag, dan zou het verlies, berekend met praktijkooogsten, van 137 tot 91 kg per ha worden teruggebracht. Onder deze omstandigheden zou de stikstofvoorraad dus toereikend zijn voor 190 jaar.

Houdt men er verder rekening mede, dat de op de lysimeters verbouwde

gewassen over 't algemeen wat rijker aan stikstof zijn dan die, geteeld op doorsnee zavelgronden, dan zal men dus mogen aannemen, dat de geheele stikstofvoorraad in dezen grond slechts toereikend zou zijn voor 200 à 250 oogsten, zooals tegenwoordig gewonnen worden. Hierbij dient men echter te bedenken, dat de stikstofvoorraad per ha bij den grond in de natuurlijke ligging vrij wat *kleiner* zal zijn dan die, welke voor de lysimeters berekend werd, daar deze van onder tot boven gevuld werden met grond uit de bouwvoor, die, zooals bekend is, steeds aanmerkelijk rijker is aan stikstof dan de ondergrond.¹⁾

Deze eenvoudige berekening voert ons dus tot het verrassende resultaat, dat goede zavelgronden tot 1 m diepte een hoeveelheid stikstof bevatten, die slechts voldoende is om gedurende twee tot drie eeuwen goede oogsten mogelijk te maken, ondanks een jaarlijksche stikstofbemesting van gemiddeld 30 kg per ha.

Hoe lang op dezen grond, bij een jaarlijksche bemesting met 30 kg stikstof per ha en bij P- en K-bemesting naar behoefte, het tegenwoordige peil van productiviteit gehandhaafd zal blijven, valt niet te zeggen; daling der productiviteit is niet buitengesloten. Maar dit staat wel vast, dat in geen geval de grond na enkele eeuwen volkomen steriel zal zijn geworden, tengevolge van het verdwijnen van alle stikstof uit den grond, noch dat door sterke daling van den N-voorraad slechts schamele oogsten verkregen zouden worden. Ware dit wel het geval, we zouden reeds voor eeuwen verhongerd zijn. Er moet dus van elders stikstof toegevoerd worden.

De oudheid kende reeds den grondverbeterenden invloed van den verbouw van vlinderbloemige gewassen. In 1885—86 toonden HELLRIEGEL en WILLFAHRT aan, dat in de wortelknolletjes dezer gewassen stikstof uit de lucht door bacteriën gebonden wordt, nadat reeds in 1838 door BOUSSINGAULT, op grond zijner proeven met klaver en erwten, het vermoeden was uitgesproken, dat deze gewassen in staat zijn de stikstof uit de lucht te binden.

In de tachtiger jaren der vorige eeuw kwam BERTHELOT tot het inzicht, dat de vastlegging van stikstof uit de lucht door den grond, welke men vroeger aan scheikundige processen had toegeschreven, plaats vond door vrij in den grond levende micro-organismen. In 1893 gelukte het WINOGRADSKY het bestaan dezer organismen met zekerheid vast te stellen. Daarop volgde in 1901 de ontdekking van onzen landgenoot BEYERINCK, die de Azotobacters als de voornaamste groep der vrij levende stikstofbindende bacteriën deed kennen, onder welke Azotobacter chroococcum de voornaamste en de meest verbreide is.

¹⁾ Een inventarisatie van de voorraden N, P en K, tot op ongeveer 1 m diepte aanwezig in enkele klei- en zavelgronden, ligt in ons voornemen.

Het staat dus thans wel vast, dat de stikstofvoorraad in den grond aangevuld wordt door micro-organismen in symbiose met hoogere planten en door vrij in den grond levende bacteriën, al of niet in symbiose met algen. Nu dringt echter direct de vraag naar voren: hoe groot is de hoeveelheid stikstof, welke langs deze wegen jaarlijks aan den grond wordt toegevoerd? Welke beteekenis heeft de vastlegging van stikstof uit de atmosfeer voor de stikstofhuishouding van den grond? Een vraag, waarover veel gestreden is geworden!

Het is gemakkelijk in te zien, dat het uiterst moeilijk is om de hoeveelheid stikstof, welke van jaar tot jaar door den grond wordt vastgelegd, te bepalen; door laboratoriumproeven slaagt men daarin niet. Wel leeren deze, dat het slechts om betrekkelijk geringe hoeveelheden gaat, welke vermoedelijk onder 100 kg per ha en per jaar blijven. Dit is een hoeveelheid welke, ook indien de grond niet tegelijkertijd verliezen leed, analytisch niet is vast te stellen. Stelt men het gewicht van de bouwkruij ter dikte van 20 cm op 2 000 000 kg, hetgeen voor kleigronden een te laag bedrag is, dan zou de aanvoer van 100 kg N, uitsluitend in de bouwvoor, het gehalte nog slechts met 0,005 % doen stijgen, indien de grond ondertusschen geen stikstof met de gewassen en met het drainwater verloren had. Dit zijn verschillen welke, vooral bij een zoo dishomogene stof als grond, analytisch niet met zekerheid zijn vast te stellen.

Bovendien zou men het onderzoek niet tot de bouwvoor mogen beperken, maar men zou er ook de diepere grondlagen in dienen te betrekken. En tevens zou men de door den grond met gewas en drainwater geleden stikstofverliezen moeten kennen. Experimenteel onderzoek naar de hoegrootheid der stikstofbinding *op den akker* is dus onmogelijk.

Slechts lysimeters, van onder tot boven gevuld met een nauwkeurig bekende hoeveelheid gehomogeniseerden grond, waarbij men geregeld een volledige verlies- en winstrekening bijhoudt, kunnen wellicht de gegevens verschaffen om de hoeveelheid stikstof, welke gedurende een tijdsverloop van vele jaren door den grond werd vastgelegd, te leeren kennen.¹⁾ Daartoe moet de aanvankelijk aanwezige hoeveelheid stikstof nauwkeurig bekend zijn.

Is deze hoeveelheid, verminderd met de verliezen, welke de grond in den loop der jaren leed, kleiner dan de hoeveelheid, welke aan het einde der waarnemingsperiode in den grond aanwezig is, dan mag men aannemen, gesteld dat alle bepalingen voldoende juist waren, dat het verschil gelijk is aan de hoeveelheid stikstof, welke gedurende die jaren door verbouw van leguminosen en door vrij levende bacteriën, mogelijk ook door adsorptie van

¹⁾ SCHNEIDEWIND heeft reeds ruim dertig jaar geleden ingezien, dat dit de eenige weg is, om het vraagstuk, waarover veel gestreden werd, op te lossen en het inrichten van lysimeters voor dit doel bepleit (83 blz. 6).

stikstofverbindingen uit de lucht, den grond werd toegevoerd. Lysimeters zonder leguminosen naast lysimeters met deze gewassen in de vrucht-opvolging, zouden het aandeel der leguminosen in de stikstofbinding kunnen leeren kennen.

De Groninger lysimeters verschaffen ons deze gegevens voor een 20-jarige proefperiode, doch uitsluitend voor een vruchtwisseling met leguminosen. De grond werd n.l. in 1938 in zijn verschillende lagen opnieuw op stikstofgehalte onderzocht. Na verloop van tijd kan dit onderzoek herhaald worden; hierdoor zullen de resultaten aan betrouwbaarheid winnen.

In het volgende gedeelte dezer paragraaf zullen de gegevens voor de periode 1918—1938 worden medegedeeld en zal worden nagegaan, of men hieruit tot vastlegging van stikstof uit de atmosfeer mag besluiten en zoo ja, hoe groot deze vastlegging is geweest.

b. Berekening van de gedurende de periode 1918—1938 door den grond der lysimeters vastgelegde stikstof

Het oorspronkelijke N-gehalte van den grond en de nauwkeurigheid der gevonden waarde. Uit het voorafgaande is al wel duidelijk geworden, dat voor het beoogde doel niet alleen de bepaling der door den grond geleden verliezen (gewas en drainwater) en winsten (bemesting en neerslag) met groote nauwkeurigheid dient te geschieden, maar dat ook aan de bepaling van het N-gehalte van den grond hooge eischen ten aanzien van de nauwkeurigheid gesteld moeten worden; deze vormt feitelijk het fundament der geheele berekening. Zou men, om de gedachten te bepalen, bij de berekening uitgaan van een N-gehalte van den oorspronkelijken grond van 0,1190 % in plaats van 0,1115 %, waarbij men, zooals we later zullen zien, tot een vrij belangrijke stikstofvastlegging moet besluiten, dan zou er van vastlegging geen sprake zijn.

Moge de methode-JODLBAUER ¹⁾ ter bepaling van het totaal-gehalte aan stikstof op zichzelf op groote nauwkeurigheid aanspraak kunnen maken, zoo kunnen er toch bij de toepassing dezer methode op grondmonsters onverwachte omstandigheden optreden, welke de nauwkeurigheid bedreigen, zooals uit het volgende zal blijken.

In 1918 werden 10 der monsters, welke tijdens het vullen der lysimeters genomen werden, onderzocht. In 1940 werd in dezelfde monsters meerdere malen het stikstofgehalte bepaald.

In tabel 67 zijn alle gevonden uitkomsten opgenomen.

Uit de tabel volgt, dat in 1918 de gevonden waarden schommelden tusschen

¹⁾ De bepaling werd steeds uitgevoerd in 5 g grond.

0,101 en 0,116 %, terwijl het gemiddelde 0,1102 % bedroeg. Bij de herhalingen in 1940 (de kolommen a—e) lagen de gevonden waarden tusschen 0,107 en 0,127; het gemiddelde der 30 bepalingen bedroeg 0,1159 % en was dus wezenlijk hooger dan het in 1918 gevonden gemiddelde.

TABEL 67

N-bepalingen in de in 1918 genomen grondmonsters

Monsters	1918	Bepalingen verricht in 1940							
		a	b	c	d	e	f	g	h
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0,111	0,114	0,116	0,108	0,120	0,122			
2	0,111	0,110	0,108	0,108					
3	0,114	0,119	0,121	0,127	0,125				
4	0,111	0,110	0,110						
5	0,116	0,111	0,114						
6	0,114	0,123	0,120	0,127	0,120				
7	0,101	0,117	0,108						
8	0,104	0,110	0,107						
9	0,112	0,118	0,120	0,121	0,122		0,138	0,140	0,133
10	0,108	0,111	0,111						

Analyses verricht in 1940 in monsters, welke sedert 1918 steeds in de kelder bewaard werden

A ₂	0,108							
D ₁	0,115							
F ₁	0,115							
N ₂	0,110							
V ₂	0,101							
Z	0,110							

Als boven; monsters vooraf fijngewreven

			Gem.					
A ₁	0,109	0,112	0,1105					
B ₁	0,108	0,109	0,1085					
D ₂	0,110	0,115	0,1125					
H ₂	0,118	0,118	0,1180					
I ₂	0,122	0,115	0,1185					
L ₁	0,115	0,117	0,1160					
N ₁	0,112	0,113	0,1125					
R ₁	0,114	0,113	0,1135					
T ₂	0,108	0,112	0,1100					
W ₁	0,113	0,121	0,1170					

Bij monster 9 werden aanvankelijk nog aanmerkelijk hoogere cijfers gevonden (zie de kolommen f—k). Dit monster bleek echter reeds door vroeger daarin uitgevoerde analyses tot een zeer geringe hoeveelheid te zijn geslonken. Bij herhaling der bepaling in een nieuw monster uit den voorraad werden lagere cijfers gevonden (a—e).

Verder viel het op, dat in 1940 de hoge cijfers gevonden werden bij de monsters 1, 3, 6 en 9. Dit zijn de monsters, waarin in 1918 de meeste bepalingen verricht werden. Deze monsters werden dus het sterkst aangesproken en verkeerden het langst in het laboratorium, waar de lucht dikwijls met ammoniakdampen bezwangerd is.

De gedachte kwam dus naar voren, of de samenstelling van een grondmonster zich mogelijk wijzigt, naarmate de hoeveelheid door uitscheppen voor analyses kleiner wordt. Bij een volkomen homogeen monster is dit natuurlijk niet mogelijk, maar de betreffende monsters zavelgrond bestaan uit korreltjes, iets kleiner dan 1 mm in doorsnee, bestaande uit samengekitte gronddeeltjes, en uit een zeer fijn poeder. Indien nu de samenstelling van poeder en korrels niet dezelfde is en men bij het uitscheppen als regel meer van het eene dan van het andere deel aan het monster onttrekt, dan moet de samenstelling van het monster zich langzamerhand wijzigen.

Om uit te maken, of er inderdaad verschil in samenstelling tusschen poeder en korrels bestaat, werd monster GM 210 (n°. 7 van tabel 67) door zeven over een zeef met een maaswijdte van 0,25 mm in een grover en een fijner deel gesplitst, waarna beide deelen afzonderlijk genalyseerd werden. De resultaten van dit onderzoek vindt men in tabel 68.

TABEL 68

Samenstelling der grovere en fijnere deelen van GM 210

	Procenten van de droge stof							
	N		Org. stof		Totaal zand		Zand	
		gem.		gem.		gem.	> 100 μ	< 100 μ
Volledig monster . . .	0,111	0,114	1,45	1,43	65,9	66,9	5,4	60,5
	0,112		1,41		67,9		7,2	60,7
	0,120							
Grof; > 0,25 mm . . .	0,131	0,131	1,65	1,66	63,9	63,8	6,0	57,9
	0,129		1,67		63,6		3,2	60,4
	0,134							
Fijn; < 0,25 mm . . .	0,089	0,088	1,07	1,07	74,2	74,2	4,1	70,1
	0,089		1,07		74,1		6,4	67,7
	0,087							

De cijfers toonen aan, dat er een duidelijk verschil in samenstelling bestaat tusschen de fijne en de grove deelen: de laatste zijn rijker aan N en aan humus en armer aan zand, dus rijker aan klei. De korrels in het monster

blijven dus in dezen toestand, omdat zij meer kitmateriaal (klei en humus) bevatten.

Men zou dus uit dit resultaat de conclusie kunnen trekken, dat bij het uitscheppen voor de analyses als regel naar verhouding meer van het poeder dan van de korrels aan het monster worden onttrokken; dit zou experimenteel vastgesteld kunnen worden.

Bij het fijne gedeelte van het monster stemmen de analyse-uitkomsten, behalve bij het zand $> 100\mu$, beter overeen dan bij het volledige monster en bij het grove deel. Aangezien de analyses slechts in triplo, resp. in duplo verricht werden, mag men hier nog niet de conclusie trekken, dat het fijne deel een grotere homogeniteit bezit; daarvoor zou een veel grooter aantal herhalingen noodig zijn; waarschijnlijk is het echter wel.

Het is dus, indien groote nauwkeurigheid vereischt wordt, beslist noodzakelijk, dat men, alvorens tot analyseering over te gaan, een grooter deel van het monster in een mortier fijnwrijft.

Daar bij de in 1940 gevonden hogere cijfers ook gedacht werd aan adsorptie van ammoniak uit de lucht in het laboratorium, werden nog in een zestal monsters (A_2 t/m Z), dat sedert 1918 in den kelder bewaard bleef, stikstofbepalingen uitgevoerd. Zooals uit de cijfers blijkt, lagen de gevonden waarden binnen dezelfde grenzen als bij de analyses uit 1918; het gemiddelde bedroeg 0,1098 tegen 0,1102 in 1918.

Het gemiddelde gehalte der 16 bepalingen (1 t/m 10 en A_2 t/m Z) bedraagt $0,1101 \pm 0,0012\%$.

Neemt men het gemiddelde der 13 bepalingen, uitgevoerd in de monsters 2, 4, 5, 7, 8 en 10, welke in 1918 maar ten deele onderzocht werden, en waarvan de voorraad dus minder werd aangesproken, dan vindt men $0,1104 \pm 0,0008\%$, een bedrag, dat niet noemenswaard hoger is.

Na het bekend worden der in tabel 68 vermelde resultaten werden nog 10 andere monsters (A_1 t/m W_1), welke sedert 1918 steeds in den kelder bleven, onderzocht, nadat een hoeveelheid van 100 à 150 g vooraf in een mortier was fijngewreven; de resultaten vindt men eveneens in tabel 67.

Ik meen, dat men de juiste waarde voor het oorspronkelijke N-gehalte van den grond het best benadert, indien men het gemiddelde der 10 in 1918 en der 16 in 1940 in de steeds in den kelder bewaarde monsters gevonden cijfers neemt. Voor de fijngemaakte monsters A_1 — W_1 neem ik dan de gemiddelde uitkomsten der in duplo verrichte bepalingen. Deze cijfers zijn in tabel 67 cursief gedrukt; zij hebben betrekking op 26 monsters, welke bij het vullen der lysimeters uit alle deelen van den voorraad getrokken werden. Aldus komt men tot een gemiddelde van $0,1115 \pm 0,0009\%$.

De vraag, in hoeverre de in 1940 gevonden hogere waarden een gevolg zijn van adsorptie van stikstofverbindingen, in hoofdzaak ammoniak, waarmee de laboratorium-atmosfeer van tijd tot tijd min of meer bezwangerd is, is nog niet beantwoord. Hiertoe zijn echter de monsters A₂—Z in gesloten houten kistjes in het laboratorium opgesteld; na verloop van tijd zal moeten blijken, of het N-gehalte dezer monsters sedert Juni 1940 gestegen is.

Berekening van de in 1918 en in 1938 in den grond der lysimeters aanwezige hoeveelheid stikstof. Zooals in deel I op blz. 37 vermeld staat, werd de grond tijdens het vullen gewogen, terwijl tevens het vochtgehalte werd bepaald. De vulling geschiedde in hoeveelheden van telkens 120 kg luchtdrogen grond; van iedere hoeveelheid werden twee monsters van 1 l genomen. Met het gemiddelde vochtgehalte (120° C) dezer monsters werd de 120 kg luchtdroge grond op drogen grond omgerekend. Elke lysimeter ontving $12 \times$ de genoemde hoeveelheid grond en tenslotte nog een hoeveelheid, variërende van 40—100 kg, om den grond op de gewenschte hoogte te brengen. Voor elken lysimeter is het gewicht aan drogen grond dus nauwkeurig bekend.

In 1938 werden van de buitenzijde af in horizontale richting monsters gestoken tot op een halven meter in den bak. Dit geschiedde door de gaten, welke in de zijwanden waren aangebracht (zie deel I, blz. 34). Deze gaten bevonden zich op rijen van 5 en 6 op 25, 41, 58, 75 en 92 cm onder de oppervlakte; op elke rij werd steeds door drie gaten bemonsterd. Bovendien werd de bouwvoor van boven af in verticale richting bemonsterd (16 steken per lysimeter) ter diepte van 15 cm (bezakten grond). Aangenomen is, dat het monster, gestoken op 25 cm diepte, de laag 15—25 cm, op 41 cm de laag 25—41 cm vertegenwoordigt, enz. Van het monster op 92 cm diepte gestoken, werd aangenomen, dat het een beeld geeft van de laag 75—100 cm.

Het drooggewicht der afzonderlijke grondlagen is evenredig gesteld met de dikte en is berekend uit het totaalgewicht aan drogen grond in elken lysimeter. Hierbij is dus uitgegaan van de veronderstelling, dat het volumegewicht van alle lagen hetzelfde is. Van deze veronderstelling mag men wel uitgaan, omdat de grond niet merkbaar ingeklonken is. De gewichten der afzonderlijke lagen zijn in tabel 69 vermeld; in deze tabel zijn tevens opgenomen de hoeveelheden stikstof in grammen, die op 1 September 1918 in de lysimeters aanwezig waren.

De bij de laagsgewijze bemonstering in September 1938 gevonden N-gehalten zijn vermeld in tabel 70.

Het eerste, dat bij beschouwing dezer cijfers in het oog springt, is de daling, die het stikstofgehalte sedert 1918 heeft ondergaan; het daalde n.l. van 0,1115 % tot gemiddeld 0,097 % (0,089—0,103).

Dit is voor den ondergrond geen onverwacht resultaat, daar de lysimeters van onder tot boven gevuld werden met grond uit de bouwvoor, die steeds rijker aan gemakkelijk nitrificeerbare stikstofverbindingen is dan de ondergrond. Ook denke men aan de bijzonder krachtige nitrificatie, dezen grond eigen, en aan het feit, dat de grond in de jaren 1934 tot en met 1938 onbebouwd bleef.

Het is niet te verwachten, dat deze daling zich zal voortzetten. Er zal zich, indien dit niet reeds heeft plaats gehad, te eeniger tijd een evenwicht instellen. Ware dit niet het geval en zou de daling zich onverminderd voortzetten, dan zou, bij de tegenwoordige wijze van bebouwing en bemesting, de grond binnen twee eeuwen van alle stikstof beroofd zijn.

Hetgeen verder opvalt is, dat het N-gehalte der onderscheidene lagen slechts geringe verschillen vertoont. Beschouwt men de gemiddelde cijfers voor de 8 lysimeters, dan blijkt echter, dat er een zwakke tendenz is tot daling vanaf de bouwkuin tot 41 cm diepte en tot stijging naar grootere diepte. Bij grondprofielen te velde treedt deze daling en stijging evenwel veel duidelijker aan den dag; vooral de bouwvoor kenmerkt zich steeds door een aanmerkelijk hooger N-gehalte. Ter illustratie doe ik in tabel 71 cijfers volgen, indertijd verkregen bij het onderzoek van bodemprofielen in enkele Dollardpolders.

Terloops zij hier reeds opgemerkt, dat het N-gehalte van den grond in den oudste der onderzochte polders niet lager is, ondanks het feit, dat deze gronden nimmer stalmest van beteekenis ontvingen en stikstofhoudende kunstmeststoffen in de aan het onderzoek voorafgaande jaren daar nog slechts uiterst spaarzaam toepassing vonden.

Het feit, dat, in tegenstelling met den natuurlijke toestand, de bouwkuin in de lysimeters in 1938 niet duidelijk rijker aan stikstof was dan de daaropvolgende lagen, zal, naar men wel mag aannemen, zijn oorzaak vinden in het onbebouwd blijven van den grond in de vijf voorafgaande jaren.

Bij een toekomstig onderzoek, als de grond weer meerdere jaren gewassen heeft gedragen, zal de bouwvoor zich ongetwijfeld kenmerken door een duidelijk hooger stikstofgehalte.

Bij de berekening van de in 1938 aanwezige hoeveelheid stikstof (tabel 70) is rekening gehouden met het gewichtsverlies van den grond sedert 1918. Berekend werd, dat de grond der 8 lysimeters in dien tijd aan organische stof en aan anorganische bestanddeelen gemiddeld 6,906 kg verloor, d. i. gemiddeld 0,49 % van den in 1918 aanwezigen grond. Aangenomen werd, dat het procentische verlies in alle lagen hetzelfde was, hetgeen zeker niet juist is.

TABEL 69

Gewicht aan drogen grond in de lysimeters in kg
Weight of dry soil in the separate soil layers (kg)

Laag (Layer) cm	Lysimeter:							
	1	2	3	4	5	6	7	8
O = 89,30		89,30	89,02	89,30	89,40	89,11	88,95	88,92
0-15	211,26	211,23	214,87	212,87	207,18	208,43	208,88	211,98
15-25	140,84	140,82	143,25	141,91	138,12	139,62	139,25	141,32
25-41	225,34	225,32	229,20	227,06	220,99	223,40	222,80	226,11
41-58	239,43	239,40	243,52	241,25	234,80	237,36	236,73	240,24
58-75	239,43	239,40	243,52	241,25	234,80	237,35	236,72	240,24
75-100	352,10	352,06	358,12	354,78	345,30	349,06	348,13	353,29
Totaal	1408,40	1408,23	1432,48	1419,12	1381,19	1396,22	1392,51	1413,18
								1406,42

Op 1 September 1918 in den grond aanwezige hoeveelheid stikstof in grammen
 (Total amount of nitrogen present in the soil on 1 September 1918 (g))

1570,4 ± 12,7	1570,2 ± 12,7	1597,2 ± 12,9	1582,3 ± 12,8	1540,0 ± 12,4	1556,8 ± 12,6	1552,6 ± 12,5	1575,7 ± 12,7
------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------

TABEL 70

N-gehalte der in September 1938 genomen grondmonsters
N-content of the soil samples taken in September 1938

	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem.
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Bouwvoor 0-15 cm	0,099	0,103	0,102	0,097	0,101	0,099	0,097	0,094	0,099
1e laag 15-25 "	99	93	104	97	96	99	93	94	97
2e " 25-41 "	95	95	100	—	89	—	93	—	94
3e " 41-58 "	96	95	97	—	96	—	93	—	95
4e " 58-75 "	100	96	96	—	96	—	99	—	97
5e " 75-100 "	100	96	99	—	96	—	97	—	98

Op 1 September 1938 aanwezige hoeveelheid stikstof in grammen
 (Total amount of nitrogen present in the soil on 1 September 1938 (grams))

1377,2	1351,2	1415,0	1361,9 ¹⁾	1314,3	1346,8	1325,0	1345,5	1354,6
--------	--------	--------	----------------------	--------	--------	--------	--------	--------

¹⁾ Bij de lysimeters 4, 6 en 8 is als N-gehalte der niet-onderzochte lagen het gemiddelde N-gehalte der betreffende lagen in de overige lysimeters aangenomen.

TABEL 71

N-gehalte van opeenvolgende grondlagen in de Dollardpolders (onderzoek omstreeks 1920)
N-content of the successive soil layers in the Dollardpolders (Investigation about 1920)

Laag (Layer)	Oud Nieuwland 1665 ¹⁾	Nieuwland 1701		Oostwolderpolder 1769			Finsterwolderpolder 1819				Reider- wolder- polder 1862 P ₆	Gem.
		P ₆	P ₈	P ₄	P ₇	P ₁₈	Westelijk deel		Oostelijk deel			
							P ₁	P ₁₁	P ₁	P ₁₃		
cm	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
0-20	0,23	0,24	0,24	0,21	0,22	0,21	0,21	0,20	0,22	0,25	0,26	0,226
20-40	0,18	16	16	17	16	18	16	15	14	17	19	0,165
40-70	—	18	17	18	17	19	17	18	15	19	19	0,177
70-100	—	15	17	18	18	21	18	18	19	18	—	0,180
100-130	—	18	17	23	20	23	18	19	24	24	—	0,207

¹⁾ Gemiddelden van 6 analyses van mengmonsters, betrekking hebbende op 25 afzonderlijke monsters.

TABEL 72

N-balans voor den grond in de lysimeters
Nitrogen balance for the soil in the lysimeters

	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem. (Mean)
	g	g	g	g	g	g	g	g	g
N-voorraad (supply) Sept. 1918	1570,4	1570,2	1597,2	1582,3	1540,0	1556,8	1552,6	1575,7	1568,1
Idem Sept. 1938	1377,2	1351,2	1415,0	1361,9	1314,3	1346,8	1325,0	1345,5	1354,6
Vermindering (Decrease) 1918—1938	193,2	219,0	182,2	220,4	225,7	210,0	227,6	230,2	213,5
Bekende verliezen minus bekende winsten ¹⁾	310,1	309,5	323,5	314,0	315,6	321,4	320,2	332,7	318,4
Werkelijk N-verlies v. d. grond ²⁾	193,2	219,0	182,2	220,4	225,7	210,0	227,6	230,2	213,5
Onbekende winst aan N (Unknown gain of N)	116,9	90,5	141,3	93,6	89,9	111,4	92,6	102,5	104,9
Kg per ha 1918—1938	1309	1013	1587	1048	1006	1250	1041	1153	1177
Gemiddeld per jaar (Yearly average)	65	51	79	52	50	63	52	58	59

¹⁾ Losses with crops and drainage, diminished with gains in manures, rainwater and seed.

²⁾ Decrease of the N-supply in 1918—1933.

De stikstofbalans van den grond

Deze vindt men in tabel 72. Uit deze tabel blijkt, dat van 1918—1938 de N-voorraad in de lysimeters verminderde met 182,2 tot 230,2 g per lysimeter, gemiddeld 213,5 g, hetgeen overeenkomt met 2395 kg per ha in 20 jaar. *Per jaar is er dus gemiddeld 120 kg stikstof uit den grond verloren gegaan.*

Verder zijn in de tabel vermeld de bekende verliezen aan stikstof, welke de grond in de genoemde periode geleden heeft, dat zijn dus de verliezen door uitspoeling (drainwater) en door wegvoeren van stikstof met de gewassen. Deze verliezen zijn verminderd met de bekende winsten, d. w. z. met de hoeveelheden stikstof, toegevoerd met de bemesting, met het regenwater en met het zaai- en pootgoed. Het is uit den aard der zaak niet doenlijk om deze cijfers hier door nadere gegevens te staven; ze zijn ontleend aan de staten F_2B , C_1 en G_2 van de boekhouding dezer proeven. ¹⁾

Het blijkt nu, dat de bekende N-verliezen aanmerkelijk grooter zijn dan de door analyse vastgestelde vermindering van den stikstofvoorraad in den grond. Er is dus een *onbekende winst aan stikstof* en dit kan niet anders zijn dan stikstof, welke door den verbouw van vlinderbloemigen en door directe vastlegging (bacteriologisch en mogelijk ook ten deele chemisch) in den grond is gekomen.

Men heeft hier feitelijk met een proef in 8-voud te doen, en bij alle acht proeven is in de periode 1918—1938 de winst aan stikstof van dezelfde grootte-orde; het bedrag schommelt tusschen 89,9 (lys. 5) en 141,3 (lys. 3) g per lysimeter. Rekent men deze hoeveelheden om op kg N per ha²), dan vindt men, dat ze tusschen 1006 en 1587 liggen. *Per jaar is er dus tusschen 50 en 79, gemiddeld 59 kg N per ha in den grond vastgelegd geworden.*

Gezien het feit, dat men hier te doen heeft met een achtevoudige proef, waarvan de afzonderlijke resultaten een goede overeenstemming vertoonen en dat de berekening gebaseerd is, eenerzijds op een groot aantal goed overeenstemmende N-bepalingen in den grond en anderzijds op analyses van het drainwater, het regenwater en de gewassen, die m. i. den toets der nauwkeurigheid kunnen doorstaan, zoo verdient deze uitkomst naar mijn meening vertrouwen.

Waarschijnlijk zou het gevonden bedrag nog hooger zijn geweest, indien de grond ook in de laatste vijf jaren bebouwd ware geworden. Zeker zou dit het geval zijn geweest, indien de grond in die jaren nogmaals een vlinderbloemig gewas gedragen zou hebben, maar ook mag men aannemen, dat

¹⁾ Belangstellenden zal ik desverlangd gaarne inzage der boekhouding geven.

²⁾ De oppervlakte der lysimeters varieert van 88,92—89,40 dm²; het totale inwendige oppervlak der 8 lysimeters te zamen bedraagt 713,30 dm².

de N-binding door vrij levende bacteriën in de periode 1934—1938 verminderd is, doordat de voor die binding benodigde voorraad organische stof in die jaren niet door stoppels en wortels werd aangevuld. Neemt men aan, dat de lysimeters doorlopend bebouwd waren geworden en daarbij jaarlijks 4500 kg droge stof aan stoppels en wortels in den grond achterbleef en dat vóór September 1938 de organische stof van 4 der 5 gewassen door bacteriën werd omgezet, dan zou daarbij (zie later) 4×45 kg N gebonden kunnen zijn geworden. Onder deze omstandigheden zou dus tusschen 1918 en September 1938 $1177 + 4 \times 45 = 1357$ kg N gebonden zijn geworden of 68 kg per jaar.

Ik herinner eraan, dat de grond tusschen 1918 en 1934 tweemaal erwten en eenmaal roode klaver droeg; welk aandeel deze gewassen in de geconstateerde N-vermeerdering hebben gehad en welk deel gesteld moet worden op de directe N-binding, is uit den aard der zaak niet te zeggen. Men zou, om deze vraag benaderend te kunnen beantwoorden, naast deze lysimeters een stel lysimeters gehad moeten hebben, welke zónder vlinderbloemigen bebouwd werden.

Geeft het bedrag van rond 60 kg N per ha (bij bebouwing in alle 20 proefjaren zou het waarschijnlijk 70 kg zijn geweest) nu een beeld van de stikstofbinding in kleihoudende gronden bij normale bebouwing in 't algemeen, of heeft men hier toevalligerwijze met een uitzonderingsgeval te doen? Op grond van soortgelijke proeven met andere gronden valt deze vraag niet te beantwoorden, om de eenvoudige reden, dat dergelijke proeven tot nu toe niet werden genomen. Maar op grond van de ervaring, dat het N-gehalte van jonge en oude kleigronden, welke op dezelfde wijze gevormd werden en die onder gelijke omstandigheden wat betreft bebouwing, behandeling en ontwatering verkeerden, niet noemenswaard verschilt, moet men wel tot de conclusie komen, dat ook elders op de kleigronden jaarlijks een belangrijke aanvulling van den stikstofvoorraad vanuit de lucht plaats heeft. Ik wijs hier op de in tabel 71 vermelde N-gehalten van den grond in enkele Dollardpolders van uiteenloopenden ouderdom. Deze cijfers bewijzen, dat er in den loop van twee eeuwen geen werkelijke daling van den N-voorraad intrad, ondanks het feit, dat gedurende dien tijd praktisch gesproken geen stalmest en in de aan de bemonstering direct voorafgaande decennia slechts zeer spaarzaam stikstofhoudende kunstmest werd aangewend (89, blz. 283). Hetgeen met drainwater en gewassen aan den grond werd onttrokken, moet dus weer steeds uit de atmosfeer zijn aangevoerd geworden. Kunnen we voor deze verliezen een raming opstellen?

De hoeveelheid drainwater mag men aannemen op ongeveer 200 mm per jaar.¹⁾ Neemt men het N-gehalte van het drainwater aan op 5 mg/l,

¹⁾ Zie deel I, blz. 98 en 165.

hetgeen eerder laag dan hoog is, dan bedraagt het jaarlijksch verlies aan stikstof met het drainwater 10 kg per ha.

Moeilijker is het een raming te maken voor de hoeveelheid stikstof, welke in vroegere tijden in de Dollardpolders met de gewassen aan den grond onttrokken werden, omdat 1°. de vruchtwisseling vermoedelijk een heel andere was (zie GEERTSEMA: 27, blz. 36 en blz. 294), en 2°. de opbrengsten waarschijnlijk geringer waren. Volgens tabel 53 zouden de op de lysimeters verbouwde gewassen bij de tegenwoordige praktijk-opbrengsten jaarlijks gemiddeld 127 kg N aan den grond onttrekken; voor de door GEERTSEMA opgegeven vroegere vruchtopvolging in de Dollardpolders zou men tot 100—120 kg komen. Gaat men nu uit van de voorzichtige raming, dat de oogsten in vroegere tijden gemiddeld ongeveer de helft van de tegenwoordige bedroegen, dan zou de rekening als volgt worden:

verlies met het drainwater	10 kg N per jaar per ha
verlies met de gewassen	60 „ „ „ „
totaal verlies	70 kg N per jaar
jaarlijksche winst door den regen	10 „ „ „ „
jaarlijksch stikstofverlies	60 kg N per ha.

De gronden in het Oud-Nieuwland (1665) en die van den Finsterwolderpolder (1819) en van den Reiderwolderpolder (1862) werden uit hetzelfde materiaal opgebouwd; men mag dus aannemen, dat deze gronden bij bedijking hetzelfde N-gehalte bezaten. Bij het door ons omstreeks 1920 verrichte onderzoek bleek dit nog het geval te zijn. Het kan dus wel niet anders, of de verliezen, welke deze gronden gedurende een tweetal eeuwen leden, moeten door toevoer van stikstof uit de lucht, met en zonder tusschenkomst van vlinderbloemigen, gecompenseerd zijn geworden. Volgens bovenstaande, ongetwijfeld zeer voorzichtige raming, moet dit minstens een hoeveelheid van 60 kg per jaar per ha zijn geweest.

De totale voorraad N in de Dollardpolders, tot een diepte van 130 cm aanwezig, laat zich, indien men het volume-gewicht van alle lagen op 1,25 aanneemt, uit de cijfers in tabel 71 op 31 000 kg per ha berekenen. Bij een jaarlijksche onttrekking van 60 kg/ha, zonder aanvulling vanuit de lucht, zou deze voorraad slechts toereikend zijn voor 5 eeuwen; bij de tegenwoordige cultuur zou deze voorraad in twee tot drie eeuwen opgeteerd zijn.

In hoeverre ook thans nog de verliezen volkomen gedekt worden door stikstof uit de lucht en door bemesting, is niet te zeggen. Hiertoe zullen de uitkomsten der stikstofbepalingen, in de van 1918—1925 op groote schaal in de Dollardpolders genomen grondmonsters mettertijd vergeleken dienen

te worden met die van dan opnieuw te nemen monsters. Het is niet onwaarschijnlijk, dat de landbouwers, door langzamerhand opvoeren van de stikstof-giften, het stikstofkapitaal op peil zullen houden, althans den teruggang zullen vertragen. Of het echter bij de zware eischen, welke tegenwoordig aan den grond gesteld worden, — en in de toekomst zullen de eischen zeker niet verminderen —, mogelijk zal zijn roofofbouw t. a. v. de stikstof in de Dollardpolders te voorkomen, zonder van cultuursysteem te veranderen (meer vlinderbloemigen, groenbemesting, stalmest), blijft een open vraag.

Wij hebben gezien, dat in de lysimeters het stikstofkapitaal van 1918—1938 belangrijk werd aangesproken: het verminderde jaarlijks met gemiddeld 120 kg/ha. Zooals reeds gezegd werd, moet de oorzaak hiervan vooral gezocht worden in de vulling met bouwvoorgrond van onder tot boven. Waarschijnlijk zal mettertijd ook hier blijken, dat er, evenals in de Dollardpolders het geval is, een evenwicht is ingetreden.

Het staat dus wel vast, dat de bouwgrond voortdurend vanuit de lucht met een belangrijke hoeveelheid stikstof verrijkt wordt. Men kan deze hoeveelheid verhoogen door meer vlinderbloemigen te verbouwen. Het aandeel der vlinderbloemigen zou men kunnen leeren kennen door lysimeterproeven, waarbij gedurende een reeks van jaren naast elkander lysimeters met en zonder vlinderbloemigen in de vruchtwisseling bebouwd worden.

De N-verrijkende werking der vlinderbloemigen moet veroorzaakt worden, doordat de wortels en stoppels stikstof bevatten, welke niet afkomstig is uit den grond, doch uit de lucht.¹⁾

Ook indien het praktisch uitvoerbaar zou zijn de wortels met de stoppels quantitatief uit den grond te verzamelen, dan zou analyseering van het aldus verkregen materiaal ons toch nog in 't onzekere laten omtrent de vraag, welk deel der gevonden hoeveelheid stikstof uit de lucht en niet uit den grond afkomstig is. Indien men vindt, dat de hoeveelheid stikstof in erwten- en lupinewortels en stoppels niet veel hooger is dan die voor haver, tarwe en gerst, zooals uit de door GERRETSEN (29, blz. 91) genoemde cijfers zou volgen (erwten en lupine 25, haver, tarwe en gerst resp. 18, 23 en 19 kg/ha), dan mag men daar niet de conclusie uit trekken, dat erwten- en lupinestoppels den N-voorraad in den grond niet verrijken, terwijl lucerne en roode klaver, waarvoor hij 132 en 83 kg N per ha noemt, dit wel zouden doen.²⁾ Men weet niet, welk deel dezer stikstof reeds in den grond aanwezig was en welk deel

¹⁾ Volgens GERRETSEN (29 blz. 92) zouden de wortels der leguminosen ook tijdens den groei N-verbindingen afscheiden.

²⁾ Zie ook de in tabel 76 genoemde cijfers van WEISKE en WERNER en die van SLOTTER c.s.

door de knolletjesbacteriën uit de lucht in deze plantendeelen werd opgehoopt. De vraag kan slechts *benaderend* opgelost worden door de reeds genoemde tweeledige lysimeterproef.

Zou men de cijfers van GERRETSEN aannemen en van de veronderstelling uitgaan, dat *alle* stikstof in wortels en stoppels der leguminosen uit de lucht afkomstig is, dan zou dus in 1922 en 1930 met de erwtenstoppels telkens 25 kg, met de klaverstoppel in 1926 83 kg, totaal 133 kg luchtstikstof aan den grond zijn toegevoegd. Van de voor de periode 1918—1938 berekende jaarlijksche binding (59 kg per ha) zou dus 6,7 kg voor rekening komen der verbouwde leguminosen en 52 kg voor rekening der vrij levende bacteriën.

Legt men echter aan een dergelijke berekening de door WEISKE en WERNER (97 blz. 105; zie ook tabel 76) opgegeven cijfers ten grondslag, dan zou er per jaar berekend gemiddeld 17,1 kg stikstof door de leguminosen gebonden zijn, en 42 kg door vrij levende bacteriën.

Al dergelijke berekeningen hebben echter slechts geringe waarde; ze schijnen evenwel aan te toonen, dat de stikstofwinst door een normalen verbouw van leguminosen niet overheerschend is.

In hoeverre men de directe stikstofbinding door cultuurmaatregelen kan bevorderen, weet men slechts in grove trekken. Vermoedelijk zullen alle maatregelen, die de landbouwers in den loop der eeuwen hebben leeren kennen als gunstig voor de „vruchtbaarheid” van den grond (ontwatering en bewerking, stalmest), wel ten deele hun waarde ontleenen aan de bevordering van de binding der stikstof uit de lucht, gezien de bijzondere beteekenis, welke aan de stikstof moet toegekend worden; door verhoogde stikstofbemesting laten zich immers de gevolgen van vele fouten voor een groot deel opheffen.

De onderzoekingen van HEINZE hebben geleerd, dat het kalkgehalte van den grond van groot belang is voor de N-binding (35, blz. 906; 83, blz. 5). Ook een ruime fosforzuurvoorraad in den grond schijnt van belang te zijn (52, blz. 435).

c. De in de literatuur vermelde waarden voor de vastlegging van stikstof in den grond

Uit de lysimeterproeven te Groningen volgt, dat er in de jaren 1918—1938 rond 60 kg stikstof per jaar per ha werd vastgelegd. Dit bedrag zou ongetwijfeld hooger zijn gevonden, indien de lysimeters niet de laatste 5 jaren dezer 20-jarige periode onbebouwd waren gebleven.

Genoemd bedrag gaat uit boven de bedragen, welke men in de literatuur vermeld vindt. Hierbij dient echter opgemerkt te worden, dat deze laatste slechts zelden berusten op proefnemingen, waarvan men de betrouwbaarheid kan beoordeelen, en niet altijd is het duidelijk, of men uitsluitend het oog heeft op de N-binding door vrij-levende stikstofbinders dan wel op de binding mede door in de vruchtwisseling opgenomen leguminosen.

Een overzicht van de desbetreffende onderzoeken tot 1910 vindt men in het werk van LÖHNIS, in de paragraaf, handelende over de beteekenis der stikstofbinding in den grond (51, blz. 692).

Volgens SCHLÖSING en LAURENT zou de stikstofbinding 40 kg per ha bedragen.

REMY vond bij proeven met grond met verschillend humusgehalte, dat per kg drogen grond bij een humusgehalte van 0,8—0,9 % $12,2 \pm 7,0$ mg N, bij een humusgehalte van 2,0—3,0 % $38,6 \pm 8,2$ mg N werd vastgelegd. Dit komt overeen met een stijging van het N-gehalte van den grond met 0,0012 resp. 0,0039 %, verschillen, welke m. i. uiterst moeilijk met zekerheid zijn vast te stellen. Hij trok, op grond van berekeningen betreffende de afbraak van den humus in den grond, de conclusie, dat als bovenste grens voor de stikstofbinding door bodembacteriën 50 kg per jaar per ha moest worden aangenomen. Volgens LÖHNIS zou dit bedrag echter te hoog zijn, daar volgens hem slechts zelden in een jaar 25 % van den koolstofvoorraad in den grond wordt omgezet; deze bedraagt volgens hem niet meer dan 2500—4500 kg per ha per jaar, waarmede slechts 10—40 kg N zou kunnen worden vastgelegd.

BEYERINCK (9, blz. XXII) vond bij zijn proeven, dat 8 à 9 mg vrije N werd vastgelegd op elk gram cellulose, hetwelk ontleed werd. Dit zou jaarlijks, b.v. in een beukenbosch met een bladval van 4000 kg droge bladeren, een N-winst geven van omstreeks 25 kg per ha.

BERTHELOT (7, blz. 783) was, op grond zijner eerste desbetreffende proeven, tot een bedrag van 16—25 kg per ha gekomen. Hijzelf acht deze cijfers echter veel te laag, omdat ze betrekking hebben op proeven met een grondlaag van slechts 8—10 cm, terwijl de vastlegging evenredig toeneemt met de dikte der laag tot het vijfvoudige bedrag. Hij geeft de cijfers uitsluitend „pour fixer les idées”. Het gaat dus niet aan, zooals LÖHNIS doet, om deze cijfers aan te voeren als bewijs, dat ook volgens de onderzoeken van BERTHELOT de stikstofbinding weinig te beteekenen heeft.

De ervaringen uit de praktijk wijzen er ook op, dat vooral in aan „milden” humus rijke gronden, ook zonder verbouw van leguminosen, stikstof uit de lucht kan vastgelegd worden. LÖHNIS verwijst in dit verband o. a. naar een publicatie van STECHER in „Der chemische Ackersmann” van 1868. Het is interessant te lezen, hoe een praktisch landbouwer toentertijd reeds, op grond zijner berekeningen omtrent aanvoer en uitvoer van N (P, K en Ca) op zijn zonder stalmest en bij spaarzaam verbouw van vlinderbloemigen steeds in vruchtbaarheid toenemend bedrijf, tot de conclusie komt, dat er stikstof uit de lucht moet zijn vastgelegd.

Uit zijn rekening, loopende over 8 jaren, waarin eenmaal roode klaver

voor zaadwinning verbouwd werd, en die betrekking heeft op 8 akkers, ieder groot 0,55 ha, blijkt, dat met de gewassen 219 pond N meer werd weggevoerd dan met de kunstmest werd toegevoerd. Hieruit trekt hij de conclusie: „Die Atmosphäre hat demnach jährlich 219 Pfd. Stickstoff zuzuschiesen oder pr. Acker 27 Pfd. (= 24,5 kg per ha); ohngefähr dieselbe Menge, die nach den neuesten Untersuchungen im günstigsten Falle jährlich auf der Fläche eines Ackers niedergeschlagen werden.”¹⁾ (88, blz. 135).

Natuurlijk heeft een dergelijke berekening op zichzelf geen groote waarde — intering op het N-kapitaal is niet buitengesloten, een periode van 8 jaren is veel te kort om te constateeren dat de vruchtbaarheid niet is afgenomen (periodiciteit in het weer!), verlies door drainwater werd verwaarloosd —, maar het is toch merkwaardig, dat driekwart eeuw geleden een practicus zich reeds op deze wijze met dit probleem bezig hield.

De bewering van LÖHNIS (ibid., blz. 694), als zou HALL uit de berekening van het stikstofverlies van het niet bemeste veldje (n^o. 3) van Broadbalkfield, waarop sedert 1839 steeds tarwe werd verbouwd, afleiden, dat er jaarlijks 22,4 kg N per ha zou worden vastgelegd, is ook niet geheel juist. In de desbetreffende publicatie van HALL (30a, blz. 38) wijst deze erop, dat de tarweopbrengst sedert de periode 1872—1881 tot 1902—1911 op dit veldje vrijwel constant bleef, zelfs iets steeg, en de vruchtbaarheid dus niet afnam. Gemiddeld onttrok het gewas 17, het drainwater 10 lbs per acre aan den grond, tezamen dus 27 lbs. De winst door regen en zaaizaad was 7 lbs per acre, zoodat jaarlijks 20 lbs = 22,4 kg N per ha bij blijkbaar gelijkblijvende vruchtbaarheid uit den grond verloren ging. HALL acht het mogelijk, dat deze hoeveelheid N uit de lucht door vrij levende bacteriën en door vlinderbloemige onkruiden (hopperups) werd vastgelegd. Wel bleef sedert 1893 het N-gehalte van de bouwvoor constant op 0,099 % (= 2800 kg N per ha — 23 cm), „but until the analyses of the soil have been repeated after another long interval, it is not possible to say whether such recuperative agencies have any practical effect, or whether the crop is still being grown out of the original resources of the soil”.²⁾

HALL acht een vastlegging in dit geval van 22,4 kg N per ha *mogelijk*, maar merkt terecht op, dat *zekerheid* slechts door vaststelling van het stikstofgehalte van den grond te verkrijgen is.

LÖHNIS wijst er tenslotte in de hier gevolgde paragraaf van zijn handboek

¹⁾ Toentertijd dacht men nog uitsluitend aan de in het regenwater aanwezige stikstof en aan adsorptie van ammoniak uit de lucht.

²⁾ Over de groote bezwaren, welke verbonden zijn aan het *voor dit doel* met voldoende nauwkeurigheid vaststellen van het N-gehalte van grond *op den akker*, behoef ik hier niet uit te wijden.

op, dat de N-vastlegging onder de klimatologische omstandigheden van Midden-Europa in geen geval zonder beteekenis is, maar toch te gering moet blijven om bij intensieve cultuur de gewassen voldoende van stikstof te voorzien. In warmere landen (Griekenland, Egypte) zou de N-behoefte der cultuurgewassen echter merkbaar afnemen.

In hoeverre er buiten den regen om, dus door adsorptie, *stikstofverbindingen* door den grond uit de atmosfeer worden opgenomen, is nog niet met zekerheid vastgesteld kunnen worden; het zal ook wel uiterst moeilijk zijn dit te doen. Vermoedelijk is deze hoeveelheid gering t. o. v. de bacterieele vastlegging van elementaire stikstof en wellicht vindt compensatie plaats door de geringe hoeveelheid stikstof, welke steeds uit den grond ontwijkt (LÖHNIS, *ibid.* blz. 643).

De boven besproken cijfers, welke dikwerf worden aangevoerd — en ook LÖHNIS doet dit — om te bewijzen, dat de vastlegging van stikstof in den grond niet groot is, en dat als bovenste limiet hoogstens 50 kg per jaar per ha aangenomen moet worden, hebben dus slechts geringe bewijskracht.

THIELE (Breslau) schreef niet ten onrechte in 1906 (90, blz. 209): „Soviel müssen wir allerdings auch zugeben, *ein Beweis welcher uns die Stickstoffanreicherung des Bodens durch den Azotobacter — die heutzutage fast ausnahmslos angenommen wird — einwandfrei klarlegt, existiert zurzeit noch nicht.*”

De strijd, die toentertijd over de beteekenis der stikstofbinding gevoerd werd, in welken strijd PFEIFFER (73 en 74) wel zeer scherp het standpunt innam, dat de waarnemingen en ervaringen, welke men aanvoerde om te bewijzen, dat de N-binding van groote praktische beteekenis was (jarenlang gelijkblijvende oogsten zonder stikstofbemesting), evengoed verklaard konden worden door een langzame mobilisatie van het reeds in den grond aanwezige stikstofkapitaal, moest wel uitermate onvruchtbaar zijn. Ware de verandering in den stikstofvoorraad in den grond binnen het tijdsverloop van luttele jaren met zekerheid vast te stellen geweest, men had ongetwijfeld den weg van het experiment gekozen, in plaats van zijn tijd te verspillen met theoretische beschouwingen en tal van berekeningen van twijfelachtige waarde, die de vraag tenslotte onopgelost lieten.

Maar de juiste bepaling van den voorraad stikstof *in den akker* is nu eenmaal praktisch onuitvoerbaar. De eenig mogelijke weg werd echter reeds in 1908 door SCHNEIDEWIND, evenals PFEIFFER en THIELE te Breslau werkzaam, gewezen. „Hätte man vor Jahrzehnten von jenen nützlichen Vorgängen Kenntnis gehabt, so würde man damals die notwendigen Stickstoffanalysen

ausgeführt und den Stickstoffgehalt verschieden behandelter Böden im Laufe der Zeit analytisch verfolgt haben *und das bei Benutzung von Lysimetern*, um wenigstens nebenher diejenigen Stickstoffverluster festzustellen, welche der Boden durch die Sickerwässer erfährt. Wäre dieser Weg vor Jahrzehnten beschritten worden, so würde man vielleicht jetzt im Besitz greifbarer, zuverlässiger Zahlen sein. Jetzt muss das Versäumte nachgeholt und mit den betreffenden Analysen begonnen werden" (83, blz. 6).

Dit laatste geldt op dit oogenblik, ruim dertig jaren later, nog!

d. *Het verband tusschen de omzetting van de organische stof in den bodem en de stikstofbinding*

Voor de stikstofbinding door bacteriën is energie noodig, welke verkregen wordt door de gelijktijdige omzetting van organische stoffen. Volgens LÖHNIS (51, blz. 692, 52, blz. 427 en blz. 428) zou in het gunstigste geval op 100 deelen verbruikte organische stof 1 deel stikstof gebonden worden, zoodat geen bijzonder groote vastlegging te verwachten is.

Volgens REMY (52, blz. 429; zie ook 78) zou in één jaar 25 % van den humus worden omgezet. Bij grond met 2 % humus is dit 10 000 kg/ha.¹⁾ Neemt men aan, dat hiervan de helft verbruikt wordt door niet N-bindende bacteriën, dan is er 5000 kg voor N-binding beschikbaar; hiermede kan 50 kg N per ha gebonden worden.

LÖHNIS neemt echter aan, dat jaarlijks slechts 10 % van den humus omgezet wordt, dus 4000 kg/ha. Volgens de verschillende proeven zou de beschikbare humus vrijwel volledig voor N-binding dienen, zoodat per jaar 40 kg N per ha gebonden zou kunnen worden (52, blz. 429).

Hij acht echter slechts bij rijkelijke bemesting met organische stof een dergelijke krachtige humusomzetting mogelijk; wortels en stoppels zouden, volgens hem, absoluut geen voldoende aanvulling zijn. Hij wijst erop, dat de cijfers van WEISKE en WERNER omtrent de hoeveelheden wortels en stoppels, door de gewassen in den grond achtergelaten, steeds zonder kritiek worden overgenomen en dat de door BOUSSINGAULT, SCHUMACHER en WOOD gegeven cijfers veel lager zijn (51, blz. 578, en 52, blz. 430). Hij laat dan volgen: „Auf diesem Wege würde also der alljährlich abgebaute Teil des Humusvorrats nur einen ungenügenden Ersatz finden, wie denn auch hinlänglich bekannt ist, dass beim Ausschalten jeglicher organischen Düngung der Boden innerhalb 10—20 Jahren sehr weitgehend an organischer Substanz verarmen kann.

¹⁾ Blijkbaar wordt hier uitsluitend de bouwvoor ter dikte van ongeveer 15 cm beschouwd.

*Es ist selbstverständlich, dass unter solchen Bedingungen von einer ansehnlichen Stickstoffbindung nicht die Rede sein kann."*¹⁾

De uitspraak van LÖHNIS, dat zonder organische bemesting in 10—20 jaar het humusgehalte zeer belangrijk kan dalen, moge misschien voor sommige zandgronden waar zijn, voor kleihoudende gronden geldt ze in 't algemeen zeer zeker niet. Een sterke daling wordt al onwaarschijnlijk als men ziet, hoe gering de verschillen in humusgehalte zijn bij de lichtere en zwaardere normale kleigronden met goede ontwatering van zeer uiteenlopenden ouderdom. Uit de enkele duizenden cijfers, waarover het Proefstation beschikt en die betrekking hebben op de klei- en zavelgronden in de provincie Groningen, blijkt, dat het humusgehalte zich binnen enge grenzen beweegt en binnen deze grenzen hooger is, naarmate de grond meer klei bevat.

Dat bij de kleigronden de wortels en stoppels voldoende zijn om het humusgehalte op peil te houden, blijkt overtuigend uit de humuscijfers (methode-ISTSCHEREKOW) voor de oudere en jongere Dollardpolders, verkregen bij het meergenoemde Dollard-onderzoek, dezerzijds verricht in de jaren 1918—1925. Deze cijfers vertoonen, bij gelijk kleigehalte, geen verschillen, *ondanks het feit, dat ook in vroegere tijden bemesting met stalmest in deze polders van geen betekenis was* (tabel 73).

TABEL 73

Humusgehalte van den grond in de westelijke Dollardpolders

Humus-content of the soil in the western Dollardpolders

Polders	Bedijkt in: (Diked):	Humus		Zand (Sand) > 16 μ		Aantal monsters (Number of samples)
		0—20 cm	20—40 cm	0—20 cm	20—40 cm	
		%	%	%	%	%
Oud Nieuwland . . .	1665	2,77	2,06	24,0	19,6	25
Nieuwland	1701	2,80	2,13	18,1	14,1	53
Oostwolderpolder . . .	1769	2,63	1,94	20,0	17,5	43
Finsterwolderpolder .	1819	2,54	1,81	19,7	19,9	27
Reiderwolderpolder A.	1862	2,83	2,08	20,4	20,1	20
Reiderwolderpolder B.	1874	2,44 ²⁾	1,83	35,5	30,4	6

¹⁾ Herhaaldelijk treft het in de landbouwkundige literatuur, dat de schrijver bij zijne beschouwingen uitgaat van ervaringen bij een bepaalde grondsoort opgedaan zonder dit te vermelden, misschien zelfs zonder zich hiervan bewust te zijn. De betreffende beschouwingen krijgen hierdoor ten onrechte algemeene betekenis en werken dus mede tot de verbreiding van onjuiste opvattingen. Zoo heeft de boven aangehaalde uitleg van LÖHNIS slechts geldigheid voor de *lichtere* gronden en niet voor kleigronden.

²⁾ Mogelijk lager tengevolge van het hoogere zandgehalte van den grond in dezen polder.

Niet minder overtuigend zijn de cijfers voor het zavelproefveld Pr 1 in den tuin van het Proefstation te Groningen (tabel 74). Deze toonen aan, dat het gedurende 29 jaar bebouwen van dezen zavelgrond, *zonder eenige stalmest*, het humusgehalte niet heeft doen dalen. Het onbebouwd laten van een gedeelte van het perceel, heeft echter daarop een duidelijke daling van het humusgehalte tengevolge gehad. De cijfers in tabel 74 voor den bebouwd grond zijn voor de 5 eerste jaren gemiddelden voor 6, voor de 3 laatste jaren voor 18 afzonderlijke monsters (18 veldjes); voor den onbebouwd grond hebben de cijfers betrekking op het onderzoek van telkens 2 monsters (2 veldjes).

Voor de in de jaren 1911 tot en met 1933 verbouwde gewassen zij verwezen naar de tabellen 10 en 12 in publicatie n°. 53; in de daaropvolgende jaren werden achtereenvolgens verbouwd: vlas + roode klaver, roode klaver, aardappelen, 3 jaar lang luzerne en in 1940 koolzaad.

TABEL 74

Humusgehalte (ISTSCHEREKOW) van den zavelgrond (bouwvoor) van het proefveld Pr. 1 in den tuin van het Proefstation te Groningen

Humus-content (Istscherekow) of the surface-soil on the experiment field Pr. 1 in the garden of the Experimental Station-Groningen

	Tijdstip van bemonsteren (<i>Epoch of sampling</i>)	Humus		Voorafgaand gewas (<i>Preceding crop</i>)
		Bebouwd (<i>Cropped</i>)	Onbebouwd (<i>Fallow</i>)	
		%	%	
1911	Voorjaar	1,39	1,49	1910 — Voederbieten (<i>Mangolds</i>)
1916	October	1,48	1,30	1916 — Roode klaver (<i>Red clover</i>)
1923	"	1,43	1,20	1923 — Kanarie (<i>Kanary</i>)
1928	"	1,39	1,10	1927—1928 — Roode klaver (<i>Red clover</i>)
1931	Maart	1,44	1,08	1930 — Kanarie (<i>Kanary</i>)
1932	Augustus	1,41	1,05	1932 — Wintertarwe (<i>Winter wheat</i>)
1933	October	1,40	1,00	1933 — Voederbieten (<i>Mangolds</i>)
1940	September	1,44 ¹⁾	1,08	1940 — Koolzaad (<i>Colza</i>)

Uit de voorafgaande gegevens volgt m. i., dat bij normale klei- en zavelgronden de door de gewassen in den grond achtergelaten wortels en stoppels voldoende zijn om het humusgehalte, ook over langeren tijd, op een constant peil te houden. Nadrukkelijk zij hieraan toegevoegd, dat hierin niet ligt

¹⁾ Vermoedelijk zijn deze cijfers iets hooger ten gevolge van den verbouw van luzerne in de 3 voorafgaande jaren.

opgesloten, dat ook op deze gronden stalmest de productiviteit niet zou kunnen verhoogen.

Waarschijnlijk is het wél mogelijk het humusgehalte van een zavelgrond door zéér ruime bemestingen met stalmest omhoog te brengen. Dit moge blijken uit de uitkomsten van een indertijd door ons ingesteld grondonderzoek op twee aangrenzende bedrijven onder Middelstum (prov. Groningen). Het eene bedrijf, dat van M. DOORNBOSCH te Oosterburen, is groot 37 ha. In de 12 of 13 jaren, welke aan het onderzoek voorafgingen (1935), werden slechts één koe en een paar paarden gehouden; vóór dien tijd bedroeg het aantal koeien 8. Het andere bedrijf, dat van SMEDEMA, is groot 32 ha; deze hield 40 à 50 koeien, een paar paarden en varkens, waarvan alle mest op het onderzochte bedrijf kwam. Op het bedrijf van DOORNBOSCH ontvingen alle perceelen in de aan het onderzoek voorafgaande jaren schuimaarde, terwijl op het andere bedrijf geen kalk werd aangewend. De volgende tabel geeft de cijfers voor humus-, klei- en koolzure-kalk-gehalte voor 10 perceelen van elk dezer bedrijven.

TABEL 75

	DOORNBOSCH				SMEDEMA		
	Humus	Klei	CaCO ₃ azijn- zuur		Humus	Klei	CaCO ₃ azijn- zuur
1	1,4	36	0,23	In 1930 gescheurd gras- land	1,6	34	0,12
2	(3,6)	36	0,25		1,8	32	0,12
3	1,5	32	0,13		1,5	26	0,19
4	1,5	32	0,28		1,6	29	0,07
5	1,4	32	0,17		2,1	30	0,33
6	1,4	31	0,36		1,9	34	0,03
7	1,4	28	0,28		1,6	34	0,18
8	1,4	31	0,12		1,8	32	0,20
9	1,6	29	0,36		1,5	32	0,45
10	1,5	29	0,39		2,2	34	0,08
10a	1,6	29	0,06				
Gem.	1,47	30,9	0,238		1,76	31,7	0,177

Bij de berekening der gemiddelde cijfers is het tweede perceel van DOORNBOSCH uitgeschakeld, als zijnde een perceel grasland, dat 5 jaar vóór de bemonstering werd gescheurd.

Zooals men ziet, is het gemiddelde humusgehalte voor het sterk met stalmest gedreven bedrijf 0,29 % hooger dan voor het bedrijf zonder stalmest; dit verschil mag, gezien de middelbare fout, wel als wezenlijk beschouwd

worden. Het is niet buitengesloten, dat het verschil ten deele veroorzaakt is, doordat op het eerste bedrijf wel, op het tweede niet gekalkt werd. ¹⁾

REINDERS (77, blz. 383) berekende voor een Groninger boerderij de stalmestproductie van 8 koeien per jaar op 17 439 kg droge stof (uitwerpselen en strooisel). Voor het bovengenoemd bedrijf met 40 à 50 koeien zou dit dus ongeveer 85 000 kg per jaar zijn. Gemiddeld zou dus per jaar per ha $85\,000 : 32 = 2700$ kg organische stof in den grond komen, waarmede het gehalte, indien geen omzetting plaats vond, met 0,1 % zou stijgen. Neemt men aan, dat het gevonden verschil, n.l. 0,29 % in 10 jaar ontstaan is, dan zou er dus ongeveer driekwart van den stalmest in den grond worden omgezet.

Voor de merkwaardigheid vermeld ik hier, dat, blijkens een artikel van K. DE VRIEZE uit het jaar 1901 (95, blz. 297), sommige Groninger landbouwers zich toentertijd ongerust maakten, of het humusgehalte hunner gronden door uitsluitend kunstmestgebruik niet te veel zou dalen. Om hieromtrent zekerheid te krijgen werden twee perceelen, die reeds gedurende 15 jaren uitsluitend kunstmest ontvingen (A. G. MULDER te Sappemeer, J. VAN HOORN te Garsthuizen) en een perceel (S. T. HUIZINGA te Middelstum), dat 9 jaar lang op deze wijze bemest werd, aan het Landbouwproefstation te Groningen op humus onderzocht. De uitkomsten werden vergeleken met die van monsters van aangrenzende perceelen, welke sedert vele jaren uitsluitend stalmest ontvingen. Tegen de verwachting bleek er geen verschil in humusgehalte te bestaan; de verklaring zocht men in de bevordering der beworteling door de kunstmest. DE VRIEZE besluit zijn mededeeling met de meening uit te spreken, dat de hoofdbron van den humus in den grond gezocht moet worden in de wortelresten. ²⁾

Uit het voorafgaande moge gebleken zijn, dat eenerzijds bij het onbebouwd laten van den grond het humusgehalte een zeer duidelijke vermindering ondergaat, hetgeen reeds in een tiental jaren merkbaar is, terwijl anderzijds bij uitzonderlijk zware bemesting met stalmest, zooals ook in vroegere tijden in deze streken niet gebruikelijk was, een geringe stijging van het humusgehalte optreedt. Bij normale bebouwing zonder gebruik van stalmest, blijft het humusgehalte, ook op den langen duur (Dollardpolders) gehandhaafd. Hieruit volgt, dat de resten der gewassen (wortels en stoppels), die jaarlijks in den grond achterblijven, steeds weer den humusvoorraad aanvullen.

Misschien moet men het wel zoo zien, dat de voor de micro-organismen in den bodem gemakkelijk aantastbare plantenresten het humuskapitaal

¹⁾ Zie voor de daling van het humusgehalte van den grond bij uitsluitend gebruik van kunstmest ook de publicaties van v. RIEL (79) en van LEMMERMANN (49).

²⁾ De aandacht zij nog gevestigd op een recente publicatie omtrent het humusgehalte van den grond van C. MEYER (61 b).

tegen afbraak beschermen en dat eerst als de grond niet bebouwd wordt, en dus geen toevoer van plantenresten meer plaats vindt, het moeilijker toegankelijke humuskapitaal wordt aangesproken. Mogelijk wijst hierop het feit, dat het humusgehalte van gescheurd oud grasland dikwijls vele jaren één of meer procenten hooger blijft dan voor de betreffende grondsoort normaal is; dergelijke perceelen bouwland kunnen zich lange jaren, ook door de kleur, van de omgeving onderscheiden. Het is natuurlijk ook mogelijk, dat de in de graszode gevormde humus resistenter is dan de humus in bouwland gevormd.¹⁾

Volgens verschillende onderzoekers (51, blz. 676—692) bestaat er dus een zekere verhouding tusschen de hoeveelheid N, welke door de vrij levende bacteriën gebonden wordt, en de hoeveelheid organische stof, welke hierbij wordt omgezet, en wel een verhouding van hoogstens 1 gewichtsdeel N op 100 gewichtsdeelen organische stof. Voor een raming van de hoeveelheid N, welke per ha en per jaar op deze wijze gebonden kan worden, is het dus noodig, dat men de hoeveelheid organische stof, welke jaarlijks wordt omgezet, kent. Dit zou dus hierop neerkomen, dat men beschikt over gegevens omtrent de hoeveelheid organische stof, die de verschillende gewassen als wortels en stoppels in den grond achterlaten.

Nu is het jammer, dat de cijfers, welke ons dienaangaande uit de literatuur ten dienste staan, onderling zeer groote verschillen vertoonen en dus weinig houvast bieden. Bovendien ontbreekt bij sommige gegevens de beschrijving der wijze, waarop het materiaal uit den grond geïsoleerd werd en soms verkeert men in 't onzekere omtrent de vraag, of de cijfers betrekking hebben op stoppels en wortels beiden of op een dezer beiden. Ook is niet steeds het aschgehalte van het geïsoleerde materiaal bepaald en dit kan uit den aard der zaak door aanhangend zand zeer hoog zijn; men kan de opbrengsten dus niet omrekenen op organische stof, hetgeen toch noodzakelijk is. Over 't algemeen verdienen deze gegevens dus weinig vertrouwen.

De in de literatuur vermelde cijfers zijn in tabel 76 samengevat.

De door WEISKE en WERNER (97, blz. 105) genoemde cijfers behooren tot de hoogste, die men vindt opgegeven. Er is echter m. i. geen reden voor de uitlating van LÖHNIS (ibid., blz. 577), dat zij „in keiner Weise den normalen Verhältnissen entsprechen”. De wijze, waarop zij te werk gingen, maakt het mogelijk, dat men cijfers krijgt, welke de waarheid benaderen. Zij groeven n.l. na den oogst op twee of vier plaatsen grondblokken uit met een opper-

¹⁾ Nadrukkelijk zij hier gezegd, dat het voorgaande slechts betrekking heeft op de hier beschouwde grondsoorten, n.l. goed ontwaterde en zich in goeden cultuurtoestand bevindende klei- en zavelgronden; voor andere grondsoorten, bv. voor de zandgronden, zal dit mogelijk niet steeds gelden.

TABEL 76

Hoeveelheid stoppels en/of wortels, welke door de gew.
Quantity of stubbles and/or roots left t

	WEISKE en WERNER				SLOTTER, HERRMANN en STUMPF			
	Dr. stof	Asch CO ₂ -vrij %	Org. stof	N	Dr. stof	Asch %	Org. stof	
Luzerne	10 858	12,4	9513	153,3	13 070	7,38	12 330	2
Rode klaver	10 008	21,5	7866	215,6	9 360	14,64	7 900	1
Lupine	3 969	15,6	3352	70,1				
Serradella	3 515	17,5	2903	72,9				
Wikke								
Wikke + haver					8 360	11,97	7 170	
Erwten	3 618	20,8	2866	63,7				
Paardeboonen								
Tarwe	3 905	31,3	2682	26,6	5 650	8,02	4 850	
Haver	4 245	38,2	2623	30,1	6 990	10,62	5 930	
Gerst	2 237	19,1	1810	25,9				
Rogge	5 914	31,3	4063	73,6				
Mais					380	0,2	360	
Koolzaad	5 008	14,0	4310	68,4				
Weide					13 770	16,37	12 130	1

- ¹⁾ BOUSSINGAULT spreekt uitsluitend van *wortels*. De opgegeven opbrengst aan droge stoffen.
- ²⁾ Met de opgegeven aschgehalten, resp. 33 en 36 %, omgerekend op organische stoffen.
- ³⁾ Vermoedelijk droge stof; aschgehalten worden niet vermeld.
- ⁴⁾ Uitsluitend de *wortels*; aschvrije droge stof.
- ⁵⁾ Droge stof van wortels en stoppels; aschgehalten worden niet vermeld.
- ⁶⁾ Droge stof van koppen en wortels tot 40 cm; aschgehalte werd niet bepaald.

vlaakte van 0,39 m² en een dikte van 26 cm. Stoppels en wortels werden voorzichtig over een fijne zeef van aarde bevrijd, waarbij steenen en verontreinigingen verwijderd werden. De bepaling van het aschgehalte maakte het mogelijk de droge-stof-cijfers om te rekenen op organische stof, waarop het tenslotte hier aankomt. De aschcijfers blijken zeer hoog te zijn, waaruit volgt, dat de uitgespoelde wortelmassa nog zeer veel zand bevatte; een aschbepaling mag dus bij dit onderzoek niet achterwege blijven. Ik vestig er de aandacht op, dat de cijfers slechts betrekking hebben op de bovenste grondlaag ter dikte van 26 cm.

SLOTTER, HERMANN en STUMPF (87) schoren op 't veld 1 m² met de schaar. Hierop werd een blok grond (toniger Lehm) met een oppervlakte van 0,25 m² ter dikte van 50 cm uitgestoken en door zeven en slemmen van zand bevrijd. Naast N bepaalden zij ook P₂O₅, K₂O en CaO.

n grond zouden worden achtergelaten, in kg/ha
e crops in the ground. Kg/ha

BOUSSINGAULT	JOHN ³⁾	SCHUMACHER ³⁾	HEIDEN c. s. ⁴⁾	WOOD ³⁾	STOKLASA en DOERELL ⁵⁾	MEYERS en GOEDE- WAAGEN ⁶⁾
520 ¹⁾			3850	2296	11 432 9 163	4500
		784		1655		
		901		1970		
332 ²⁾		588			4 316	
436 ²⁾	1658	980			4 285	
		509			4 894	
	2206	686	683		4 328	
	1452	1215	1025			

het vermelde aschcijfer (1,95 %) omgerekend op organische stof.
 kt hier uitsluitend van „stoppels”.

BOUSSINGAULT (10, blz. 189) ging veel ruwer te werk dan de voornoemde onderzoekers. Wortels en stoppels werden op een oppervlakte van 1 tot 4,24 are „mit der Hacke” uit den grond gehaald en door wasschen van grond gezuiverd. Op deze wijze moet hij wel in hoofdzaak stoppels en slechts zeer weinig wortels verzameld hebben; dat hij lagere cijfers vond, behoeft ons dus niet te verwonderen. Nochtans kent LÖHNIS aan deze cijfers grootere waarde toe.

Op welke wijze SCHUMACHER (34, blz. 882), wiens cijfers LÖHNIS ook vermeldt, te werk ging, blijkt uit hetgeen over dit onderzoek t. a. p. vermeld wordt niet.

Het onderzoek van HEIDEN c. s. (34, blz. 885) verdient, gezien de toegepaste methode, vertrouwen. Jammer genoeg hebben deze cijfers uitsluitend betrekking op de *wortels*; de stoppels lieten zij buiten beschouwing, omdat deze van streek tot streek verschillen.

De wijze, waarop WOOD (100) te werk ging, wordt in het geraadpleegde referaat niet vermeld; vermoedelijk groef hij grondblokken uit met een oppervlakte van ongeveer 0,36 m² en een dikte van 15—90 cm.

STOKLASA en DOEREEL (88a, blz. 770) geven in het aangehaalde werk cijfers, welke overeenkomst vertoonen met die van WEISKE en WERNER; over de herkomst dezer cijfers deelen ze echter niets mede.

In de publicatie van MEYERS en GOEDEWAAGEN (63) over de beworteling van luzerne worden we volledig ingelicht over de wijze, waarop zij koppen en wortels uit den Groninger zavelgrond isoleerden. Het onderzoek werd verricht in November 1935 bij in 1933 gezaaide luzerne, die telkens drie maal gemaaid werd. Voor de interessante waarnemingen omtrent diepgang der luzerne-wortels (meer dan 1,40 m), het voorkomen der wortelknolletjes (tot op een diepte van 60 cm, in een ander geval tot op 1 m diepte) en omtrent den gunstigen invloed van de luzerne op de structuur van den grond, zij naar de vermelde publicatie verwezen. Ik vermeld hier slechts, dat volgens dit onderzoek in ronde cijfers aan droge stof in den grond achterbleef:

aan wortelkoppen	1500 kg per ha met 49 kg N
„ wortels tot 20 cm diepte . .	2500 „ „ „ „ 69 „ „
„ „ van 20—40 cm . .	500 „ „ „ „ 12 „ „

Tezamen . . . 4500 kg dr. stof met 130 kg N per ha.

In de latere jaren zijn aan het Proefstation te Groningen door Dr. M. A. J. GOEDEWAAGEN ook oriënterende onderzoekingen verricht omtrent hetgeen erbij de *graangewassen* aan stoppels en wortels in den grond achterblijft. Het voorloopige resultaat is, dat dit voor de bouwvoor ter dikte van 20—25 cm 5000 kg droge stof per ha is, waarvan 1700 kg aan wortels. Dit cijfer zou die van WEISKE en WERNER steunen. De hoeveelheid wortels in de diepere lagen wordt door GOEDEWAAGEN, aan de hand zijner gegevens, geschat op ongeveer een vierde van die, welke in de bouwvoor aanwezig is. In totaal zouden de graangewassen derhalve ongeveer 5400 kg droge stof per ha in den grond achterlaten.

Het aschgehalte van de geïsoleerde plantenresten werd niet bepaald, zoodat een berekening van de hoeveelheid organische stof niet mogelijk is. Abnormaal hoog zal het echter wel niet zijn geweest, daar GOEDEWAAGEN zeer veel zorg aan het uitwasschen der wortelmassa besteedde en er zich met den binoculaire-microscop van overtuigde, dat het materiaal zandvrij was.

Het is zeer gewenscht, dat deze onderzoekingen worden voortgezet en dat ze uitgebreid worden tot andere cultuurgewassen, zoodat men de beschikking krijgt over betrouwbare cijfers, die nog al te zeer ontbreken. Het isoleren van de wortels zal, vooral bij zwaardere kleigronden, steeds moeilijkheden

blijven opleveren, maar benaderende cijfers zijn toch wel te verkrijgen. Het onderzoek zal, althans oriënteerend, ook tot diepere grondlagen (1 m of dieper) moeten worden uitgestrekt. Want ook de wortels in de diepere lagen worden vrij spoedig afgebroken en het is niet in te zien, waarom ook dit organische materiaal geen rol zou spelen bij de stikstofbinding.

e. *Heeft er bij uitsluitend gebruik van anorganische stikstofmeststoffen roofofbouw plaats ten aanzien van de stikstof?*

Op blz. 370 werd medegedeeld, dat van 1918—1938 het N-kapitaal in de lysimeters, berekend per ha met 2395 kg, d. i. per jaar met 120 kg gedaald was. Ik stond daar toen niet bij stil, om het betoog omtrent de N-binding niet te onderbreken; ik moet er hier echter nader op terugkomen. Dit verlies, dat gevonden werd uit het verschil van het N-gehalte van den grond in 1918 en in 1938, is immers zoo belangrijk, dat het niet onbesproken mag blijven. Zou de kapitaalvermindering na 1938 op dezelfde wijze doorgaan, dan zou, aangezien er toen 15 193 kg N, per ha berekend, aanwezig was, het N-kapitaal na omstreeks 130 jaren totaal verdwenen zijn.

Men herinnert zich, hoe in 't begin dezer eeuw PFEIFFER, o. a. op grond van berekeningen, welke hij met de gegevens van door WAGNER genomen stikstofbemestingsproeven uitvoerde, tot de zeer besliste uitspraak kwam, dat men zelfs bij bemesting met Chilisalpeter en ammoniakzouten roofofbouw pleegt en teert op het stikstofkapitaal, dat in vroegere tijden door stalbemesting in den grond gevormd werd. „Ein durch Raubbau verursachte Verlust an Stickstoffkapital lässt sich durch Chilisalpeter und Ammoniaksalze nicht vollwertig decken" (73, blz. 52). Op een andere plaats zegt hij: „Der Stallmist und die Gründüngung bilden vielmehr meiner Ueberzeugung nach die einzigen Stickstoffquelle, mit deren Hilfe wir dem Boden die „alte Kraft" zu erhalten vermögen, und sie besitzen von diesen Gesichtspunkten aus eine besonders grosse Bedeutung" (ibid., blz. 47).

Uit zijn berekeningen in een latere publicatie (74) leidt hij af, dat er bij bemesting met chilisalpeter of ammoniumzouten jaarlijks ongeveer 1 % van het stikstofkapitaal verloren gaat.

De bovenstaande op de lysimeters betrekking hebbende cijfers schijnen PFEIFFER in 't gelijk te stellen: hier vond inderdaad van 1918 tot 1938 bij uitsluitend kunstmestgebruik een belangrijke vermindering van het N-kapitaal plaats.

Men dient hierbij echter in 't oog te houden, dat zich hier bijzondere omstandigheden voordeden. Ten eerste de vulling van onder tot boven met grond uit de bouwvoor, waardoor de N-voorraad in de diepere lagen veel grooter was dan op den akker het geval is. Ook deze stikstof werd gemobili-

seerd — men zie de sterke daling van het organische-stof-gehalte van den grond van 1918 tot 1938 ook in de diepere lagen — en voor zoover ze niet door de planten werd opgenomen, uitgespoeld. Ten tweede was gedurende een paar jaar in het begin der 20-jarige periode de nitrificatie abnormaal sterk en waren de N-verliezen dus buitengewoon groot.

De vermindering van het N-kapitaal in de eerste twintig jaren bewijst dus niet, dat onder *normale* omstandigheden op den akker óók een dergelijke kapitaalvermindering plaats grijpt. Het feit, dat in de Dollardpolders het stikstofgehalte gedurende een paar eeuwen tot op een meter diepte niet merkbaar is verminderd, *hoewel geen stalmest van beteekenis in den grond werd gebracht*, bewijst, dat, althans bij de Dollardklei, geen noemenswaardige roofofbouw ten aanzien van de stikstof is gepleegd. Een dergelijk onderzoek zou bij de zavelgronden niet dezelfde zekerheid geven, omdat op deze lichtere gronden in vroegere tijden steeds rijkelijk stalmest werd gegeven. Maar voor dit grondtype kunnen de lysimeters te zijner tijd de beslissing brengen. Zal later, b.v. 20 jaar na de bemonstering in 1938, het grondonderzoek leeren, dat opnieuw het N-gehalte der verschillende lagen belangrijk is gedaald, of zal blijken, dat het N-kapitaal niet, zooals bij de Dollardpolders, of slechts weinig meer is afgenomen, zoodat men tot de slotsom moet komen, dat er zich langzamerhand een evenwicht heeft ingesteld tusschen verlies en winst, winst o. a. door vastlegging van atmosferische stikstof? Is de grond in de lysimeters misschien reeds op weg naar een evenwichtstoestand, m. a. w. zijn de jaarlijksche verliezen thans dalende? De gegevens, welke ons ten dienste staan, zijn onvoldoende om deze vraag te kunnen beantwoorden. Wij kennen slechts de verliezen en winsten aan stikstof in de achtereenvolgende jaren, waarbij echter de winsten door vastlegging uit de atmosfeer ontbreken. Maar ook als de winst in dezen vorm van jaar tot jaar bekend was, zouden de werkelijke verliescijfers ons nog geen uitsluitsel geven, omdat de verliezen van jaar tot jaar sterk varieeren door den aard van het verbouwde gewas en door de schommelingen in de uitspoeling van stikstof. Wij kunnen alleen dit zeggen, dat de stikstofbron, gevormd door de bouwvoor-humus in den ondergrond, eenmaal uitgeput moet raken, zoo dit niet reeds plaats had. En hiermede moeten de stikstofverliezen van den grond dalen en wordt de kans op het bereiken van een evenwicht dus grooter.

Dat uit de jaarlijksche verliescijfers door de bovengenoemde omstandigheden moeilijk is op te maken, of de verliezen zich in dalende richting bewegen, moge nog uit de cijfers in tabel 77 duidelijk worden. ¹⁾ Berekent

¹⁾ De cijfers geven aan de bekende verliezen verminderd met de bekende winsten. Voor het aandeel der gewassen en van het drainwater in de verliezen zie men de tabellen 52 en 57.

men de jaarlijksche verliezen voor 5-jarige perioden, welke steeds één jaar verschuiven, dan krijgt men wel dalende waarden, maar de eerste negen waarden staan sterk onder den invloed der groote verliezen in de jaren 1922—23 en 1925—26, terwijl de 5 laatste waarden den invloed ondergaan van het lage cijfer in 1928—29. Waren in deze jaren gewassen verbouwd, welke een verlies van 200 kg N bewerkt zouden hebben, dan zou er van de daling niets te bespeuren zijn geweest, zooals bij invoering dezer waarde duidelijk blijkt.

TABEL 77

Overzicht van de jaarlijksche stikstofverliezen van den grond in de lysimeters in kg/ha

Yearly nitrogen-loss from the lysimeters at Groningen kg/ha

Gewas	Jaar September—September	N kg/ha	Periode	N kg/ha
Aardappelen	1918—1919	58	Gemiddeld jaarlijksch verlies in 5-jarige perioden	
Haver	1919—1920	73		
Tarwe	1920—1921	154		
Groene erwten	1921—1922	206		
Voederbieten	1922—1923	417		181
Tarwe	1923—1924	119	1919—1924	194
Vlas + roode klaver	1924—1925	236	1920—1925	226
Rode klaver	1925—1926	551	1921—1926	306
Aardappelen	1926—1927	154	1922—1927	295
Haver	1927—1928	166	1923—1928	245
Mosterd	1928—1929	63	1924—1929	234
Groene erwten	1929—1930	222	1925—1930	231
Tarwe	1930—1931	259	1926—1931	173
Haver	1931—1932	107	1927—1932	163
Aardappelen	1932—1933	112	1928—1933	153
Onbebouwd	1933—1934	10		
"	1934—1935	238		
"	1935—1936	206		
"	Sept. 1936—Jan. 1937	108		
"	Jan. 1937—Jan. 1938	135		
"	Jan. 1938—Dec. 1938	143		

De vraag, in hoeverre stalmest noodig is om het stikstofkapitaal in den grond op peil te houden, kan ook slechts door lysimeterproeven, waarbij lysimeters met stalmest tegenover lysimeters zonder eenigen stalmest worden gesteld, beantwoord worden. Of dit bij de Groninger lysimeters te verwezenlijken is, zal ampel overwogen moeten worden; uitbreiding der proef in deze richting brengt echter onherroepelijk inkrumping der proef in de tot nu toe gevolgde richting mede (b.v. prijsgeven van een of twee der vormen van stikstofbemesting) en heeft dus bezwaren. Maar dat men een dergelijke proef dient te nemen, wil men het „stalmestvraagstuk” oplossen, staat voor mij vast.

§ 2. DE HUMUS

In de voorafgaande paragraaf, handelende over de stikstof, is uitvoerig gesproken over de organische stof in den grond als noodzakelijk bestanddeel voor de stikstofbinding. Ik meen dus goed te doen hierbij de bespreking der verandering van het humus-gehalte gedurende de eerste 20 jaren te laten aansluiten.

Van de tijdens het vullen der lysimeters genomen grondmonsters werden aanvankelijk een viertal op humusgehalte onderzocht; ¹⁾ in 1940 werd een grooter aantal monsters onderzocht, waaronder de bij de bepaling der stikstof reeds vermelde fijngemaakte monsters A₁—W₁. De in tabel 68 genoemde

TABEL 78

*Gehalte aan organische stof der tijdens het vullen der lysimeters
genomen grondmonsters*

Organic matter content of the soil samples taken in 1918 during the filling of the lysimeters

Mon- ster	Eerste onderzoek				Bepalingen verricht in de restantmonsters in 1940						
	a	b	c	Gem. (Mean)	d	e	f	g	h	i	Gem. (Mean)
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	1,34	1,32	1,40	1,353	1,40	1,40	1,37	1,41	1,37	1,42	1,395
2							1,45	1,45	1,29	1,29	1,370
3	1,30	1,41	1,40	1,370			1,54	1,58	1,54	1,44	1,525
4							1,50		1,29	1,29	1,360
5							1,50		1,42	1,48	1,460
6	1,25	1,34	1,36	1,317	1,49	1,55	1,54	1,49	1,45	1,44	1,493
7							1,47	1,51	1,44	1,36	1,445
8							1,49	1,48	1,42		1,463
9	1,32	1,34		1,330			1,44		1,40	1,34	1,393
10							1,54		1,44		1,495

Bepalingen verricht in 1940 in een nieuwe serie oorspronkelijke monsters, nadat deze vooraf waren fijngemaakt

A ₁	1,33	1,26		1,295							
B ₁	1,33	1,36		1,345							
D ₂	1,36	1,41		1,385							
H ₂	1,31	1,31		1,310							
I ₂	1,38	1,39		1,385							
L ₁	1,45	1,47		1,460							
N ₁	1,23	1,31		1,270							
R ₁	1,36	1,44		1,400							
T ₂	1,30	1,22	(1,14)	1,260							
W ₁	1,28	1,26		1,270							

¹⁾ De bepaling werd uitgevoerd volgens de methode-ISTSCHEREKOW (oxydeeren met permanganaat, zie blz. 521).

cijfers bewijzen, dat er ook ten aanzien van het gehalte aan organische stof een groot verschil bestaat tusschen de fijnere en grovere deelen van de monsters, zoodat zich hier dezelfde moeilijkheden voordoen als bij de bepaling der stikstof. Uit tabel 78 blijkt dan ook, dat in de restant-monsters van het eerste onderzoek (kolommen d—i) over het algemeen hoogere cijfers werden gevonden dan bij het eerste onderzoek en bij het onderzoek der monsters A_1-W_1 . Als gemiddeld humuscijfer voor de restant-monsters vindt men 1,440 % tegen 1,339 % voor de overige monsters. Ik heb dit laatste cijfer, gemiddelde der in tabel 78 cursief gedrukte cijfers, die m. i. het meeste vertrouwen verdienen, als het humusgehalte van den oorspronkelijken grond aangenomen.

Hieruit laat zich berekenen (zie tabel 69), dat er in de lysimeters aanvankelijk de in tabel 80 genoemde hoeveelheden (kg) humus aanwezig waren.

Per ha (1 m) wordt dit een hoeveelheid van 211 210 kg.

In 1938 werd de grond laagsgewijze op humus onderzocht; de resultaten vindt men in tabel 79.

TABEL 79

Gehalte aan organische stof der in 1938 genomen grondmonsters
Organic matter content of the soil samples taken in 1938

Laag (Layer)	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem. (Mean)
cm	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Bouwvoor	1,16	1,16	1,19	1,19	1,13	1,22	1,20	1,22	1,184
15—25	1,12	1,17	1,11	1,13	1,07	1,18	1,13	1,15	1,133
25—41	1,12	1,19	1,17	—	1,07	—	1,20	—	1,150
41—58	1,07	1,20	1,20	—	1,10	—	1,15	—	1,144
58—75	1,14	1,21	1,19	—	1,10	—	1,18	—	1,164
75—100	1,15	1,18	1,20	—	1,09	—	1,21	—	1,166

Uit deze cijfers blijkt, dat het humusgehalte van den grond sedert 1918 van onder tot boven aanzienlijk is gedaald; ongeveer 14 % is verdwenen. De gemiddelde cijfers doen zien, dat de bouwvoor een wat hooger gehalte heeft dan alle verdere lagen. Dit verschil zou ongetwijfeld grooter zijn geweest, indien de grond de 5 aan het onderzoek voorafgaande jaren niet braak gelegen had. De aanvankelijk in de 15 bouwjaren in de bouwvoor uit stoppels en wortels gevormde humus is in de braakjaren weer grootendeels afgebroken.

De laag, direct onder de bouwvoor, heeft het laagste gehalte. Dit zal wel zoo te verklaren zijn, dat hier nog een ruime luchttoetreding plaats vond,

hetgeen een krachtige afbraak der organische stof tengevolge had, terwijl de aanvulling door wortels minder rijkelijk was dan in de bouwvoor. Het gehalte-verschil met de bouwvoor is om de reeds genoemde reden minder groot dan het verschil, dat men als regel tusschen bouwvoor en ondergrond op den akker kan waarnemen; men zie b.v. de cijfers in tabel 73 voor de Dollardpolders.

Dieper dan 25 cm stijgt het gehalte weer, doch deze stijging blijft tot 1 m diepte gering, hetgeen bewijst, dat tot die diepte nog een krachtige oxydatie der organische stof plaats vond.¹⁾

Of er reeds een evenwicht is ingetreden, of dat de afbraak van den oorspronkelijk tot onderin aanwezigen bouwvoor-humus ook in de diepere lagen nog verder voortgaat, kan slechts een later uit te voeren grondonderzoek leeren.

In September 1938 waren er in den grond der lysimeters de volgende hoeveelheden organische stof aanwezig, berekend uit de gehaltcijfers uit tabel 79 en de hoeveelheden grond vermeld in tabel 69, rekening houdende met 0,49 % gewichtsverlies van den grond in de jaren 1918—1938 (tabel 80).

TABEL 80

Voorraad humus (kg) in den grond aanwezig in 1918 en in 1938
Quantity of humus (kg) present in the lysimeters in 1918 and in 1938

	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem. (Mean)
Aanwezig (<i>Present</i>) in Sept. 1918. .	18,858	18,856	19,181	19,002	18,494	18,695	18,646	18,922	18,832
Aanwezig (<i>Present</i>) in Sept. 1938. .	15,815	16,622	16,863	16,371	15,039	16,239	16,402	16,395	16,218
Vermindering (<i>Decrease</i>) 1918—'38	3,043	2,234	2,318	2,631	3,455	2,456	2,244	2,527	2,614

In de 20-jarige periode is er dus gemiddeld 2,614 kg humus per lysimeter verdwenen, hetgeen overeenkomt met 29 317 kg per ha.

Uitgaande van de veronderstelling, dat per 100 dl organische stof 1 dl N wordt vastgelegd, zou hiermede 293 kg N gebonden kunnen zijn geworden, of bijna 15 kg per jaar. Indien er nu nog gedurende de 15 bouwjaren per jaar 4500 kg droge stof van stoppels en wortels werden omgezet, waardoor 45 kg N

¹⁾ Deze oxydatie zal wellicht bevorderd zijn, doordat tot September 1936 in geen der lysimeters grondwater aanwezig was, zoodat ook aan de onderzijde de grond met lucht in aanraking was. Sedert genoemd tijdstip is bij de lysimeters 1—4 de grond van onderen door grondwater afgesloten.

gebonden kan worden, dan komt men voor de periode 1918—1938 op grond van de humusomzetting tot een vastlegging van 48 kg stikstof per jaar en per ha, terwijl op blz. 370 de vastlegging in de lysimeters op 59 kg berekend werd.

Is eenmaal de voorraad humus in den grond der lysimeters in evenwicht, d. w. z. verdwijnt er jaarlijks evenveel organische stof als er in den vorm van stoppels en wortels in den grond komt, zooals in de Dollardpolders het geval is en zooals men ook voor andere klei- en zavelgronden moet aannemen, dan zal mogelijk de stikstof-vastlegging jaarlijks 15 kg/ha minder bedragen dan in de periode 1918—1938. Bij voortdurende bebouwing zal er dus in de toekomst vermoedelijk ongeveer 55 in plaats van 70 kg/ha worden vastgelegd.

De vroeger besproken vermindering van den stikstofvoorraad in den grond hangt ten nauwste samen met de vermindering van den humusvoorraad; men mag wel aannemen, dat het in tabel 72 voor de periode 1918—1938 gevonden gemiddelde N-verlies per lysimeter van 213,5 g een gevolg is van de mineralisatie gedurende die periode van 2614 g organische stof (tabel 80). Uit deze cijfers zou volgen, dat de in den grond der lysimeters aanwezige humus een N-gehalte heeft van 8,2 %. ¹⁾

Men kan voor de berekening van het N-gehalte van den humus ook uitgaan van de gehaltecijfers voor N en humus van den grond, waarbij men van de zeker niet gewaagde veronderstelling uitgaat, dat de gevonden stikstof nagenoeg geheel aan den humus gebonden voorkomt. Op deze wijze vindt men met de cijfers uit tabel 68 (volledig monster, fijn en grof gedeelte) resp. 8,0, 7,9 en 8,2 %. Met het N-gehalte (0,1115 %) en het humusgehalte (1,339 %) van den grond in 1918 (blz. 365 en 391) vindt men als N-gehalte van den humus 8,3 %, terwijl men met de overeenkomstige cijfers van 1938 (tabellen 70 en 79) voor de bouwvoor 8,4 %, voor de overige lagen gemiddeld 8,3 % vindt.

Voor de Dollardklei vindt men uit de cijfers in de tabellen 71 en 73 als N-gehalte van den humus in de bouwvoor 8,5 % en in de laag 20—40 cm 8,4 %, dus cijfers, welke niet noemenswaard hooger liggen dan bij den zavelgrond.

Ik wil, naar aanleiding van de cijfers in tabel 80, er nog even de aandacht op vestigen, dat de vermindering van den voorraad humus in de jaren 1918—1938 bij de lysimeters 1 en 5 duidelijk grooter is dan bij de overige lysimeters. Dit zijn de lysimeters, welke van 1918—1933 de stikstof steeds als ammonium-sulfaat ontvingen. Bestaat er verband tusschen beide feiten? Het is niet

¹⁾ Voor cijfers betreffende het N-gehalte van humus zij verwezen naar HILGARD (37 blz. 136) en naar public. 82 blz. 71.

onmogelijk en de grootere vermindering van den humusvoorraad (zie ook de gehaltecijfers in tabel 79) zou dan zoo verklaard moeten worden, dat bij bemesting met ammoniumsulfaat minder stoppel en wortels in den grond achterblijven. Dit laatste is wel waarschijnlijk, aangezien vaststaat, dat de opbrengsten met ammoniumsulfaat bijna steeds achterstaan bij die met nitraathoudende stikstofmeststoffen; de opbrengstcijfers voor de lysimeters wijzen ook in deze richting (tabel 49); er zal dus een geringere stoppelmasa in den grond achterblijven. Het zou ook kunnen zijn, dat de wortelontwikkeling bij bemesting met ammoniumzouten belangrijk geringer is dan die bij bemesting met nitraten. Hierop duiden wellicht de lagere humuscijfers tot in de onderste lagen bij de lysimeters 1 en 5.

Indien de hierboven gemaakte veronderstelling juist is, dan zou dit zeker niet zonder beteekenis zijn. Ammoniumsulfaat zou dan niet alleen als regel geringere opbrengsten geven, maar bovendien zou het gewas bij bemesting met deze stikstofverbinding minder organische stof in den grond achterlaten, waardoor ook de binding van atmosferische stikstof beperkt zou worden.

Per ha verminderde de humusvoorraad bij de lysimeters 1 en 5 gemiddeld met $3,249 \times 11\,192^1) = 36\,363$ kg, bij de overige lysimeters met $2,402 \times 11\,223 = 26\,958$ kg. 1 en 5 verloren dus gemiddeld 9405 kg meer in 15 bouwjaren, d. i. per jaar per ha 627 kg, waaruit zou volgen, dat er 627 kg organisché stof per jaar minder werd toegevoerd, waarmede ongeveer 6 kg stikstof zou kunnen worden vastgelegd. Dit zijn bedragen, die bij voortgezette bemesting met ammoniumsulfaat, althans op den langen duur, niet geheel te verwaarloozen zijn, en mede een oorzaak kunnen zijn voor een geringer bemestingseffect dezer meststof.

N a s c h r i f t

Toen dit verslag nagenoeg gereed was, rees de vraag, of het wellicht niet in sommige opzichten juistere geweest ware, om het *totale gehalte* aan organische stof van den grond, dus door middel van de elementair-analyse, te bepalen. Hierbij bepaalt men dus ook die organische stoffen, welke nog niet zoo ver gehumificeerd zijn, dat ze door KMnO_4 geoxydeerd worden.

Sedert meerdere jaren wordt aan het Bodemkundig Instituut de elementair-analyse voor dit doel veelvuldig toegepast en wel volgens de eenigszins gewijzigde methode van TER MEULEN, zoodat men daar over voldoende ervaring beschikt (87a, blz. 65). Dr. VAN DER SPEK was zoo welwillend een aantal grondmonsters op deze wijze te laten onderzoeken, n.l. 5 monsters uit 1918 en de in 1938 uit de lysimeters 1, 2, 4 en 5 genomen monsters.

¹⁾ Voor de oppervlakte der lysimeters zie tabel 69.

In de 5 monsters uit 1918 werd resp. gevonden: 1,81, 1,89, 1,94, 1,87 en 1,94 %, gemiddeld 1,89 %; de gevonden waarden vertoonen dus een goede overeenstemming. Volgens de methode-ISTSCHEREKOW met KMnO_4 werd gevonden 1,339 % (blz. 391), dus 0,531 % lager.

TABEL 79a

Gehalte aan organische stof, volgens de koolstofbepaling, der in 1938 genomen grondmonsters

Organic matter content (carbon estimation) of the soil samples taken in 1938

Laag (Layer)	1	2	4	5	Gemiddeld (Mean)	
						hooger dan volgens ISTSCH. ¹⁾
cm	%	%	%	%	%	%
0—15	2,03	2,01	2,00	2,05	2,023	0,863
15—25	1,66	1,63	1,59	1,53	1,603	0,480
25—41	1,62	1,61	1,60	1,55	1,595	0,468
41—58	1,59	1,62	1,61	1,58	1,600	0,477
58—75	1,57	1,67	1,59	1,66	1,623	0,473
75—100	1,64	1,68	1,62	1,57	1,628	0,488

¹⁾ Higher than ISTSCHEREKOW.

Tabel 79a geeft de uitkomsten van het onderzoek der monsters uit 1938; ook deze cijfers geven een goeden indruk van de betrouwbaarheid der methode.

In de bouwvoor werd bij alle lysimeters een iets hooger gehalte dan in 1918 gevonden, gemiddeld n.l. 0,13 %. Het is niet waarschijnlijk, dat deze vermeerdering van het gehalte reëel is, aangezien de grond in de 5 voorafgaande jaren onbebouwd bleef en dus eerder eenige vermindering van het gehalte aan organische stof verwacht mag worden, zooals ook volgt uit de cijfers, bepaald volgens de methode-ISTSCHEREKOW; de vermindering bedraagt daar 0,155 %.

De grond onder de bouwvoor blijkt ook hier een duidelijk lager gehalte te bezitten. Neemt men voor den grond van 15—100 cm het gemiddelde der gehalten voor de afzonderlijke lagen, dan vindt men volgens de methode-ISTSCHEREKOW een daling van $1,339 - 1,151 = 0,188$ % en volgens de elementair-analyse een daling van $1,89 - 1,61 = 0,28$ %.

Vergelijkt men de gemiddelde cijfers voor de afzonderlijke lagen uit tabel 79 bij de lysimeters 1, 2, 4 en 5 met die uit tabel 79a, dan blijkt, dat volgens de elementair-analyse bij de bouwvoor 0,863 %, bij de volgende lagen 0,468—0,488, gemiddeld 0,477 % meer gevonden wordt. Hieruit valt de

conclusie te trekken, dat de in de bouwvoor achtergebleven stoppels en wortelresten, ondanks het feit, dat de grond gedurende 5 jaar onbebouwd bleef, nog niet zoo volledig gehumificeerd werden, dat een gelijk percentage van de organische stof als in den ondergrond door permanganaat ge-oxydeerd wordt.

Tabel 80a geeft evenals tabel 80 de voorraden organische stof per lysimeter in de jaren 1918 en 1938. Er is dus volgens de elementair-analyse gedurende de 20-jarige periode per lysimeter gemiddeld 3,154 kg organische stof verdwenen tegen 2,614 kg volgens de methode-ISTSCHEREKOW. Genoemde hoeveelheid komt geheel voor rekening van den ondergrond, daar in de bouwvoor geen vermindering in gehalte optrad. Dit verlies komt neer op 35 374 kg per ha, tegen 29 317 kg volgens de methode-ISTSCHEREKOW. Bij de omzetting van eerstgenoemde hoeveelheid organische stof zou 354 kg N per ha gebonden kunnen zijn geworden of per jaar 18 kg i. p. v. 15 kg (Ist.). Bij de berekening van de mogelijk vastgelegde hoeveelheid stikstof komt men dus, uitgaande van de cijfers voor de organische stof, gevonden bij de elementair-analyse, tot een niet noemenswaard hooger bedrag.

TABEL 80a

*Voorraad aan organische stof (koolstofbepaling) aanwezig in 1918 en in 1938
(kg per lysimeter)*

Quantity of organic matter present in the lysimeters in 1918 and in 1938 (kg)

	1	2	4	5	Gem. (Mean)
Aanwezig (<i>Present</i>) in Sept. 1918	26,619	26,615	26,821	26,104	26,540
Idem in Sept. 1938	23,501	23,842	23,498	22,704	23,386
Vermindering (<i>Decrease</i>) . . .	3,118	2,773	3,323	3,400	3,154

Uit het gemiddelde N-verlies en het gemiddelde verlies aan organische stof, bepaald volgens de elementair-analyse, laat zich een N-gehalte der organische stof berekenen van 6,0 %. Met het N-gehalte, 0,1115 % en het humusgehalte, 1,89 %, van den grond in 1918, komt men tot een gehalte van 5,9 %, terwijl men in 1938 voor de bouwvoor een waarde van 4,9 %, voor de diepere lagen van 6,0 % vindt. De organische stof in de bouwvoor, die ten deele minder ver is omgezet, heeft dus een lager N-gehalte, terwijl voor den humus, bepaald volgens de permanganaat-methode, bij bouwvoor en ondergrond een gelijk gehalte werd gevonden (blz. 393).

Tenslotte zij hier nog opgemerkt, dat in tabel 80a de sterkere vermin-

dering van den humusvoorraad bij 1 en 5 minder duidelijk naar voren komt dan in tabel 80.

§ 3. HET FOSFORZUUR (P_2O_5)

a. *Totaal-fosforzuur; de P_2O_5 -voorraad in den grond*

In 1918 werd in de 10 toen onderzochte grondmonsters gemiddeld **0,113 %** in 12½-procentig HNO_3 oplosbaar P_2O_5 gevonden; het laagste cijfer was 0,109, het hoogste 0,116.

De bij het onderzoek toegepaste methode leert ons, althans bij dit grond-type, de totale aanwezige hoeveelheid fosforzuur kennen. Met het gewicht van de in de lysimeters ingevulde hoeveelheid grond ¹⁾ laat zich berekenen, dat in dezen zavelgrond per ha tot een diepte van 1 m 17 825 kg P_2O_5 aanwezig was. Op het veld zal deze hoeveelheid kleiner zijn, omdat de lysimeters van onder tot boven gevuld werden met grond uit de bouwvoor, die, zooals we later zullen zien, steeds een duidelijk hooger gehalte heeft dan de grond uit de diepere lagen.

Volgens tabel 59 bedroeg het jaarlijksche verlies aan fosforzuur gemiddeld 67 kg; de oorspronkelijke voorraad zou dus voldoende zijn voor 266 jaar, bij oogsten, zooals op de lysimeters werden verkregen. Gaat men uit van het gemiddelde jaarlijksche verlies bij opbrengsten, zooals deze in de praktijk op deze grondsoort geoogst worden, n.l. 47 kg, dan zou de aanwezige voorraad voor 379 jaar toereikend zijn.

In amper 4 eeuwen zou dus de totale P-voorraad, in goeden zavelgrond tot 1 m diepte bij bedijking aanwezig, verbruikt zijn, verondersteld, dat geen fosforzuur werd toegevoerd en de oogsten tot het laatste toe gelijk aan de tegenwoordige bleven. In tegenstelling met de stikstof is er van aanvulling van den P-voorraad buiten den mensch om geen sprake.

Het spreekt vanzelf, dat de oogsten, indien de mensch niet in een of anderen vorm fosforzuur toevoerde, langzamerhand zouden dalen en de plantengroei zou zich, zij 't op een dalend niveau, aanmerkelijk langer handhaven dan 4 eeuwen. Dit moet in vroegere eeuwen hebben plaats gehad en nimmer zullen de oogsten op deze gronden zóó zwaar zijn geweest als bij de boven gemaakte raming werd aangenomen. Ook werd een veel geringer deel der gekweekte producten uit het bedrijf weggevoerd (stroo!). Toch moet men, gezien de bovenstaande cijfers, tot de conclusie komen, dat, toen men omstreeks een halve eeuw geleden op de 1000 en meer jaren oude zavelgronden in de provincie Groningen meer geregeld met fosforzuur begon te bemesten, de oorspronkelijke voorraad reeds duchtig was aangesproken en de resterende voorraad op meerdere plaatsen niet meer voor maximale oogsten toereikend was.

¹⁾ Omgerekend per ha en 1 m diepte 15 773 422 kg; zie tabel 69.

Wel werd op het bouwland met den stalmest fosforzuur aangevoerd, maar, voor zoover deze geproduceerd werd met producten uit eigen bedrijf, beteekende dit slechts verplaatsing van fosforzuur (hoogere cijfers rondom de boerderijen en bij de terpen!). Slechts in zooverre was er van aanvulling van den P-voorraad sprake, als het vee met veekeken uit andere streken afkomstig, gevoederd werd.

Men mag dus m. i. wel als vaststaand aannemen, dat toentertijd het oogenblik gekomen was om op de oude klei- en zavelgronden voortaan in den vorm van kunstmest weer geregeld aan den grond het fosforzuur terug te geven, dat de gewassen er jaarlijks aan onttrokken.

De Groninger landbouwers doen dit reeds sedert tal van jaren, zonder dat ze dergelijke berekeningen hebben opgesteld. Het gebruik in deze streken om jaarlijks gemiddeld 45 kg P_2O_5 per ha in den grond te brengen, moet dus naar 't mij voorkomt in 't algemeen als rationeel beschouwd worden.

Dit wil niet zeggen, dat men niet enkele jaren de fosforzuurbemesting achterwege kan laten, zonder daarvan schade te ondervinden, maar de voorraad in deze gronden is in den loop der eeuwen zoodanig verminderd, dat men op den duur aan den grond moet teruggeven, hetgeen de gewassen eraan onttrekken.

Uit de gegevens omtrent de P_2O_5 -bemesting, welke verzameld werden bij het in 1937 op de klei- en zavelgronden der provincie Groningen ingestelde grondonderzoek, hetwelk circa 2000 perceelen omvatte, valt af te leiden, dat de gemiddelde jaarlijksche bemesting 45 kg P_2O_5 bedraagt. Maar tevens bleek, dat in de ressorten van sommige landbouwverenigingen de gemiddelde bemesting er vrij wat onder bleef — in de jongere Dollardpolders wordt in 't algemeen zelfs nog geen fosforzuur gegeven —, terwijl in andere het genoemde bedrag aanmerkelijk overschreden wordt. Ten deele moge dit misschien gesteld worden op rekening van onvoldoend gefundeerde „plaatselijke gebruiken”, maar het verband, dat tusschen fosforzuurgift en grondtype valt waar te nemen, doet toch de vraag rijzen, of aan deze gebruiken toch ook niet degelijke ervaring ten grondslag ligt, ervaring hetzij van de landbouwers zelf, hetzij van degenen, die voorlichting gaven. Zoo treft men de lage cijfers over 't algemeen daar aan waar de gronden zwaarder of jonger zijn, terwijl de hoogste giften voorkomen in de omgeving van Garmerwolde, Woltersum en Ten Post met zeer oude gronden.¹⁾

Zooals in § 5 van hoofdstuk I werd medegedeeld, zijn de verliezen aan fosforzuur met het drainwater uiterst gering: onder normale omstandigheden

¹⁾ Misschien wordt het fosforzuur in deze gronden ook sterker vastgelegd.

gaat er bij dezen grond — en dit zal wel gelden voor alle eigenlijke klei- en zavelgronden — praktisch geen fosforzuur op deze wijze verloren (zie tabel 57).

Volgens tabel 52 onttrokken de gewassen in de jaren 1918—1933 gemiddeld 67 kg P_2O_5 per jaar aan den grond, terwijl de bemesting 57 kg per jaar bedroeg (tabel 45), waarbij dan nog gemiddeld bijna 3 kg (tabel 65) komt voor het in zaai- en pootgoed aanwezige fosforzuur, zoodat er een gemiddeld jaarlijksch verlies was van slechts 7 kg per ha.

In tabel 81 zijn voor de afzonderlijke lysimeters de fosforzuur-verliezen vermeld; deze verliezen zijn ten opzichte van den in 1918 aanwezigen voorraad zeer gering. Toch zou bij de gevolgde wijze van bebouwing en bemesting de P-voorraad uitgeput raken; de voorraad is dan echter nog voldoende voor 2400 der tegenwoordige oogsten.

De gehalte-cijfers der in 1938 genomen grondmonsters zijn vermeld in tabel 82. In deze tabel valt onmiddellijk op, dat het P_2O_5 -gehalte der bouwvoor (0—15 cm) in alle lysimeters duidelijk hooger is dan dat der diepere lagen, terwijl toch aanvankelijk het gehalte van boven naar beneden volkomen gelijk was. Voor het ontstaan van dit verschil zijn twee oorzaken te noemen: 1°. de fosforzuurbemesting, 2°. verplaatsing van P_2O_5 uit den ondergrond naar de bouwvoor door middel van de in de bouwvoor achterblijvende stoppels en wortels. Dit verschil kon zich handhaven, zelfs gedurende de vijf jaren, waarin de grond noch bemest, noch bebouwd werd, omdat het fosforzuur zeer vast door den grond gebonden wordt, zoodat verplaatsing door het wegzakkende water in deze grondsoort praktisch gesproken niet plaats heeft.

Zooals we zagen (tabel 70), geven de stikstofcijfers slechts een zwakke aanwijzing, dat ook ten opzichte van dit bestanddeel iets dergelijks heeft plaats gehad. Bij de stikstof is de vastlegging, n.l. in den vorm van organische stikstofverbindingen in stoppels en wortels, echter slechts van tijdelijken aard, daar deze verbindingen betrekkelijk snel worden omgezet en de daarbij gevormde nitraten met het water naar beneden worden gevoerd; de gelijktijdig gevormde fosfaten daarentegen worden onmiddellijk door den grond (ijzer, aluminium en kalk) gebonden. In de 5 jaren, voorafgaande aan de bemonstering in 1938, waarin de grond niet bebouwd werd, zijn de in de bouwvoor opgehoopte organische N-verbindingen weer bijna geheel afgebroken.

Dat er twee oorzaken, bemesting en plantengroei, zijn voor de differentiatie der grondlagen t. o. van het fosforzuurgehalte, blijkt duidelijk uit de in tabel 83 opgenomen cijfers voor het P_2O_5 -gehalte der indertijd op de observatievelden in de Dollardpolders genomen profielmonsters. Aangezien daar, praktisch gesproken, geen bemesting, noch met fosfaten, noch met stalmest plaats

TABEL 81

Verlies van den grond in de lysimeters gedurende de periode 1918—1938. Grammen P_2O_5 per lysimeter P_2O_5 -loss from the soil in the lysimeters in grams per lysimeter during the period 1918—1938

	1	2	3	4	5	6	7	8	Gemiddeld (Mean)
Voorraad (Supply) op 1 Sept. 1918	1597,1	1596,9	1624,4	1609,3	1566,3	1583,3	1579,1	1602,5	1594,9
Verlies ¹⁾ (Loss) ²⁾	7,9	10,6	11,4	14,5	9,4	7,6	8,3	11,4	10,3
Voorraad (Supply) op 1 Sept. 1938	1589,2	1586,3	1613,0	1594,8	1556,9	1575,7	1570,8	1591,1	1584,6

¹⁾ (Gewas + drainage) — (bemesting + zaaienzaad). Ontleend aan tabel F₂B der boekhouding.

²⁾ Loss = loss with crops and drainage diminished with gain in manures and seed.

TABEL 82

Total P_2O_5 -gehalte der in September 1938 genomen grondmonsters
Total- P_2O_5 content of the soil samples taken in September 1938

Laag (Layer)	1	2	3	4	5	6	7	8	Gemiddeld (Mean)
cm	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Bouwvoor 10—15	0,131	0,126	0,125	0,130	0,130	0,127	0,127	0,128	0,1280
15—25	,105	,109	,104	,111	,104	,108	,107	,111	,1074
25—41	,107	,106	,111	—	,107	—	,109	—	,1080
41—58	,110	,109	,118	—	,109	—	,114	—	,1120
58—75	,113	,111	,111	—	,109	—	,112	—	,1112
75—100	,111	,118	,111	—	,109	—	,110	—	,1118

TABEL 83

P₂O₅-gehalte van opeenvolgende grondlagen in de Dollardpolders (onderzoek omstreeks 1920)
P₂O₅-content of the successive soil layers in the Dollardpolders (estimated about 1920)

Grondlaag	Oud- Nieuwland 1665 6 analyses 30 monsters	Nieuwland 1701		Oostwolderpolder 1769		Finsterwolderpolder 1819				Reider- wolder- polder 1862 P _e	Gem. (Mean)	
		P _e	P ₈	P ₄	P ₇	P ₁₈	Westelijk deel		Oostelijk deel			
							P ₁	P ₁₁	P ₁			P ₁₂
cm	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
0—20	0,173	0,197	0,189	0,210	0,219	0,215	0,231	0,217	0,213	0,184	0,207	
20—40	,159	,159	,172	,198	,199	,180	,221	(0,317)	,177	,162	,181	
40—70	—	,150	,148	,166	,175	,151	,243	,206	,175	,152	,175	
70—100	—	,143	,142	,165	,176	,172	,186	,183	,157	,167	,166	
100—130	—	,205	,161	,146	,180	,143	,189	,175	,162	,197	,173	

TABEL 84

Op 1 September 1938 in den grond aanwezige P₂O₅-voorraden (grammen per lysimeter)
P₂O₅-supply in the soil at 1 September 1938. Grams per lysimeter

	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem. (Mean)
P ₂ O ₅ -voorraad 1938 volgens analyse ¹⁾	1582,7	1592,7	1619,2	1606,7	1530,1	1570,3	1567,4	1595,7	1583,1
Idem berekend uit voorraad 1918 en verlies ²⁾	1589,2	1586,3	1613,0	1594,8	1556,9	1575,7	1570,8	1591,1	1584,6
Bepaalde voorraad grooter (+) of kleiner (—) dan berekende voorraad ³⁾	— 6,5	+ 6,4	+ 6,2	+ 11,9	— 26,8	— 5,4	— 3,4	+ 4,6	— 1,5

¹⁾ P₂O₅-supply in 1938 according to soil analyses.

²⁾ Calculated supply (supply in 1918 diminished with losses).

³⁾ Estimated supply greater (+) or smaller (—) than calculated supply.

vond, moet hier het in alle polders optredende verschil in fosforzuurgehalte tusschen bouwvoor en diepere lagen uitsluitend toegeschreven worden aan de werking der planten. De gewassen hebben het benodigde fosforzuur ook aan den ondergrond onttrokken; een deel van dit fosforzuur is met de wortels en stoppels in de bouwvoor te land gekomen en heeft het gehalte in deze grondlaag doen stijgen.

Beschouwt men de gemiddelde cijfers voor de verschillende lagen in tabel 82, dan blijkt, dat beneden 40 cm het P_2O_5 -gehalte niet noemenswaard is veranderd; misschien valt er een zeer geringe daling te bespeuren. In 1918 werd n.l. als gemiddelde voor 10 bepalingen 0,1134 % gevonden, liggende tusschen de grenzen 0,109 en 0,116.

Bij de Dollardpolders, waar het gaat om grond, welke veel langer in cultuur is geweest, schijnt de daling van het fosfaatcijfer zich tot grootere diepte (ongeveer 1 m) voort te zetten. Deze cijfers hebben echter betrekking op slechts enkele profielen, zoodat toevalligheden en eventuele analyse-verschillen een rol kunnen spelen.¹⁾ Nadere beschouwingen dezer cijfers stel ik daarom uit tot een latere publicatie over den bodem in de Dollardpolders, als de cijfers bekend zijn voor een grooter aantal profielmonsters, welke indertijd systematisch over de verschillende polders verdeeld, genomen werden. Alleen zou ik er hier de aandacht op willen vestigen, dat de cijfers voor de beide bovenste lagen op verarming aan fosforzuur van den grond in de beide oudste polders schijnen te wijzen.

Berekent men met de procentcijfers uit tabel 82²⁾ en de gewichten der grondlagen uit tabel 69, verminderd met 0,49 %³⁾ voor gewichtsverlies van den grond in de jaren 1918—1938, de op 1 September 1938 aanwezige P_2O_5 -voorraden en vergelijkt men de gevonden bedragen met hetgeen volgens de verlies- en winstrekening aanwezig moest zijn (tabel 84), dan vindt men slechts geringe verschillen. Gemiddeld is de uit de grondanalyse berekende voorraad slechts 1,5 g op de rond 1600 g kleiner.

b. *Het fosforzuur oplosbaar in 1-proc. citroenzuur*

In de grondmonsters uit 1918 werd als gemiddelde van 12 bepalingen in 10 monsters 0,0232 % gevonden (0,022—0,025 %). Het onderzoek der in 1938 genomen monsters leverde de in tabel 85 vermelde resultaten op.

¹⁾ Zie b.v. het cijfer voor Finsterwolderpolder-P₁₁, laag 20—40 cm.

²⁾ Bij de lysimeters 4, 6 en 8, waarbij slechts de beide bovenste lagen onderzocht werden, werd als gehalte der volgende lagen het gemiddelde gehalte voor de overige lysimeters aangenomen.

³⁾ Aangenomen werd, dat de gewichtsvermindering in alle lagen 0,49 % bedroeg. Dit zal waarschijnlijk niet juist zijn; de bovenste lagen zullen meer, de diepere lagen minder verloren hebben.

TABEL 85

*Gehalte aan citroenzuur-oplosbaar P_2O_5 der in September 1938
genomen grondmonsters*

P_2O_5 -content (sol. in citric ac.) of the soil samples taken in September 1938

Laag (Layer)	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem. (Mean)
cm	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Bouwvoor 0—15	0,041	0,039	0,036	0,035	0,038	0,036	0,036	0,034	0,037
15—25	21	20	18	18	17	19	19	19	19
25—41	25	25	24	—	—	—	24	—	245
41—58	28	29	26	—	—	—	28	—	28
58—75	30	30	29	—	—	—	29	—	295
75—100	29	28	28	—	—	—	28	—	28

Nu treft 't onmiddellijk, dat in de monsters uit 1938, met uitzondering van de laag 15—25 cm, zooveel hogere waarden gevonden werden dan in de monsters uit 1918.¹⁾

De voorraad in citroenzuur oplosbaar fosforzuur in den grond is dus sedert 1918 gestegen; het bedrag der stijging blijkt uit tabel 86.

TABEL 86

*Stijging van den voorraad in citroenzuur oplosbaar P_2O_5 van 1918—1938
in grammen per lysimeter*

Increase of the P_2O_5 -supply (sol. in citr. acid) from 1918—1938

Voorraad (Supply)	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem. (Mean)
In 1938	411,5	404,7	390,4	391,8	386,1	389,0	385,6	389,5	393,6
In 1918	326,8	326,7	332,3	329,2	320,4	323,9	323,1	327,9	326,3
Vermeerdering (Increase) 1918—'38	84,7	78,0	58,1	62,6	65,7	65,1	62,5	61,6	67,3

Gemiddeld bedroeg de vermeerdering per bak dus 67,3 g, d. i. 755 kg per ha, ongetwijfeld een niet te veronachtzamen hoeveelheid! Hoe is deze stijging der hoeveelheid citroenzuur-oplosbaar P_2O_5 bij een gelijk blijven der hoeveelheid totaal- P_2O_5 , m. a. w. het overgaan van een niet onbelangrijk deel

¹⁾ Hierbij zij opgemerkt, dat de analyses in denzelfden tijd (zomer 1940) en door dezelfde persoon werden uitgevoerd, terwijl wat de cijfers voor 1918 betreft, de reeds in 1937 uitgevoerde analyses bevestigd werden gevonden.

(n.l. 4,2 %) van den totalen voorraad (gemiddeld 1585 g per lysimeter) in den gemakkelijker oplosbaren vorm, te verklaren?

Indien het verschijnsel zich slechts in de bouwvoor voordeed, zoo zou men kunnen denken aan het achterblijven van een deel van het met de bemesting in den grond gebrachte P_2O_5 in een gemakkelijker oplosbaren vorm. Maar ook bij de diepste grondlagen valt de stijging duidelijk waar te nemen. Zouden dus mogelijk de gewijzigde omstandigheden, waaronder de grond in de lysimeters, vergeleken met die op den akker, kwam te verkeerren, als oorzaak beschouwd moeten worden?

Ik herinner er hier aan, dat de grond in de lysimeters op ideale wijze gedraineerd is; de luchttoetreding is hier dientengevolge beter geweest dan op het veld, de beide eerste jaren uitgezonderd. Dit heeft een krachtige omzetting van den humus tengevolge gehad; in de vorige paragraaf bleek, dat het humusgehalte tot onder in den grond belangrijk gedaald is. Hierbij zijn organische fosforverbindingen gemineraliseerd en vermoedelijk is een deel van het daarbij gevormde fosforzuur niet zoo krachtig door de andere bodembestanddeelen gebonden, dat het slechts in salpeterzuur en niet in citroenzuur oplost.

Misschien zal men de verklaring ook in een andere richting moeten zoeken. In de 5 jaren, welke aan de bemonstering in 1938 voorafgingen, werd de grond niet bebouwd. In die jaren onttrokken de gewassen dus geen fosforzuur aan den grond, terwijl met het drainwater geen fosforzuur uitspoelde. De voorraad P_2O_5 — en men mag wel aannemen, dat in de eerste plaats het in citroenzuur oplosbare P_2O_5 door de planten wordt opgenomen ¹⁾ — verminderde dus niet. Mogelijk vond ook toen nog mineralisatie van humus plaats en men kan zich ook voorstellen, dat door de andere microbiologische processen (nitrificatie) steeds wat fosfaat omgezet werd in citraat-oplosbare fosfaten; het gehalte aan deze laatste verbindingen moest dus in de braakjaren stijgen. Dit zou dus hierop neerkomen, dat in den bebouwd grond de hoeveelheid citroenzuur-oplosbare fosfaten kleiner is dan overeenkomt met het evenwicht tusschen deze fosfaten en de overige bodembestanddeelen, doordat de planten in de eerste plaats uit dezen voorraad putten, terwijl de aanvulling van den voorraad niet even snel plaats heeft. Blijft de grond onbebouwd, dan kan dus de concentratie aan deze fosfaten stijgen, totdat het aan den grond eigen evenwicht is bereikt. Hier dringt zich de vraag op, of in 1938 in de lysimeters dit evenwicht was bereikt, of dat bij verdere braak het gehalte aan citroenzuur-oplosbaar P_2O_5 nog verder gestegen zou zijn.

Zijn deze beschouwingen, hetzij in de eene, hetzij in de andere richting, juist; dan is te verwachten, dat, nu de lysimeters sedert 1939 weer geregeld

¹⁾ Wij nemen dit aan, maar weten doen wij het niet!

bebouwd worden, in de eerste plaats de voorraad citroenzuur-oplosbaar P_2O_5 door de planten aangesproken zal worden. De mineralisatie van organische stof in den ondergrond (aanvankelijk humusrijke grond uit de bouwvoor!) zal op een veel lager niveau gekomen zijn, nu de humus grotendeels is omgezet. Deze bron van vermoedelijk gemakkelijker oplosbare fosfaten zal dus minder rijkelijk vloeien en de bij het mineralisatie-proces gevormde zuren zullen minder fosfaat gemakkelijker oplosbaar maken. Bij een hernieuwd grondonderzoek na verloop van tijd zullen dus voor de diepere lagen lagere gehaltecijfers voor het citroenzuur-oplosbare P_2O_5 te verwachten zijn. Voor de bouwvoor, waarin jaar op jaar wortels en stoppelresten gemineraliseerd worden en die met dicalciumfosfaat bemest wordt, ligt de zaak anders; hier is nog een verdere stijging van het P-citroenzuur-cijfer te verwachten.

Evenals bij het totaal- P_2O_5 blijkt ook hier de laag 15—25 cm een duidelijk lager gehalte te bezitten dan de bouwvoor. Eveneens stijgt in de laag 25—41 cm het gehalte iets, doch eerst de diepere lagen vertoonen een constant hoger gehalte. Men krijgt dus, evenals uit de cijfers voor het totaal- P_2O_5 in tabel 82, uit die voor het citroenzuur-oplosbare P_2O_5 den indruk, dat de gewassen zich in hoofdzaak in de bovenste 40 cm van P_2O_5 hebben voorzien, terwijl in de veel langer bebouwde Dollardpolders ook de voorraad in de diepere lagen (tot ± 1 m) werd aangesproken.

Tenslotte zij nog opgemerkt, dat er geen duidelijke invloed van den aard der stikstofbemesting op de stijging van den voorraad citroenzuur-oplosbaar P_2O_5 valt waar te nemen. Wel is bij lysimeter 1, bemest met ammonium-sulfaat, de stijging belangrijk grooter (84,7 g) dan de gemiddelde stijging der anders bemeste lysimeters (64,7 g), maar bij lysimeter 5, die de stikstof in denzelfden vorm kreeg, ligt de stijging (65,7) maar weinig boven laatstgenoemde waarde.

c. *Enkele opmerkingen over het P-citroenzuur-cijfer in het algemeen*

In 1938 bevatte de grond, berekend per ha, 4415 kg P_2O_5 , oplosbaar in 1-proc. citroenzuur. Neemt men een jaarlijksch verbruik door de gewassen aan van 50 kg, dan zou deze voorraad voor krap 90 oogsten voldoende zijn, gesteld, dat de gewassen in staat zouden zijn, zonder noemenswaard in ontwikkeling terug te gaan, den P-voorraad tot een diepte van 1 m totaal uit te putten. Gaat men uit van den in 1918 aanwezigen voorraad P-citroenzuur (3660 kg/ha), dan zou de voorraad voor nog geen 75 oogsten toereikend zijn.

Beschouwt men de bouwvoor ter dikte van 15 cm, dan bleek deze in 1938 een hoeveelheid P-citroenzuur te bevatten, welke slechts voor 17 oogsten

voldoende was. De laag 0—25 cm bevatte een hoeveelheid, voldoende voor 23 oogsten, terwijl de grond tot 41 cm diepte, d. i. de grondlaag waaraan de gewassen, zooals we zagen, in hoofdzaak het fosforzuur onttrokken, een voorraad P-citroenzuur bevatte voor slechts 50 oogsten.

De cultuur op de zeer oude gronden van dit type bewijst, dat de plantengroei zich veel en veel langer op een redelijke hoogte, ook zonder toevoer van fosfaten, handhaaft. Hieruit volgt, dat de gewassen niet uitsluitend aangewezen zijn op het in citroenzuur oplosbare deel der fosfaten, òf, dat de voorraad van het fosforzuur in dezen vorm geen onveranderlijke voorraad is, doch gestadig vanuit moeilijker oplosbare fosfaten wordt aangevuld, waarvan de waarschijnlijkheid trouwens door dit onderzoek bewezen werd.

Het P-citroenzuur-cijfer is dus geen maatstaf voor den in den grond aanwezigen, voor de planten toegankelijken fosforzuur-*voorraad*. Het denkbeeld, dat dit cijfer een maat zou zijn voor een aanwezigen voorraad, moet men volkomen loslaten, zooals de Groninger landbouw-instituten trouwens reeds sedert lang gedaan hebben. Bovendien wordt voor praktische doeleinden het P-citroenzuur-cijfer slechts bepaald voor de bouwvoor en, zooals uit dit onderzoek weer blijkt, geeft dit cijfer geen beeld van de hoeveelheid in citroenzuur oplosbaar fosforzuur, welke den planten in de diepere lagen ter beschikking staan. ¹⁾ Bij de lichte gronden, waarbij de ondergrond — in tegenstelling met dien der kleihoudende gronden — slechts een zeer geringe rol speelt bij de voeding der planten, is de beteekenis van het cijfer voor de bouwvoor een andere. Hiervoor kan verwezen worden naar de publicaties van O. DE VRIES en medewerkers (93, 93a en 93b).

De vraag kan gesteld worden, of desondanks het P-citroenzuur-cijfer, dat slechts betrekking heeft op de *bouwvoor*, toch niet tot op zekere hoogte een beeld kan geven van den fosforzuurtoestand, van het vermogen van den grond om de gewassen van fosforzuur te voorzien. Dit is zeker niet buitengesloten.

Men mag verwachten, dat bij een vruchtbaren zavelgrond, die tot in de diepte ruim van P_2O_5 voorzien is, doordat ook de ondergrond uit goeden zavelgrond bestaat, de bouwvoor door een ruime hoeveelheid wortels en stoppels, met een relatief hoog P_2O_5 -gehalte, verrijkt zal worden met fosforzuur en dus een hoog P-citroenzuur-cijfer zal aanwijken.

Denkt men zich daar nu tegenover een akker, waarvan de bovenlaag ter dikte van 25 à 30 cm uit denzelfden goeden zavelgrond bestaat, maar de

¹⁾ De aandacht zij er op gevestigd, dat het Bedrijfslaboratorium voor Grondonderzoek in de gedrukte „Toelichting bij de analyse-rapporten” en op de Analyse-rapporten zelf van het P-citroenzuureijfer zegt, dat „het *aanwijzingen* over den in den grond aanwezigen en voor de plant toegankelijken voorraad fosforzuur” geeft.

ondergrond niet uit goeden zavelgrond doch uit louter zeezand, dan zal op dezen laatsten akker het cijfer voor P-citr. der bouwvoor zeer waarschijnlijk minder hoog kunnen stijgen, omdat de aanvoer met wortels en stoppels van P_2O_5 uit den ondergrond gering zal zijn.

In zooverre kan er dus wel verband bestaan tusschen het P-citr-cijfer en den fosforzuurrijkdom van den akker. Maar een gelijk verband zal er bestaan tusschen het gehalte aan *totaal- P_2O_5* en den P-rijkdom!

In het voorafgaande ligt opgesloten, dat de vergelijking van de cijfers voor P-citr of voor P-totaal van twee akkers ons slechts dan iets kan zeggen omtrent de onderlinge verhouding van den P-rijkdom dezer akkers, indien de grond op beide akkers tot dezelfde formatie, tot hetzelfde grondtype behoort en de ondergrond tot op grootere diepte dezelfde is.

Wordt het land met fosfaten bemest, dan zal vrijwel uitsluitend het P-citr(P-tot.)-cijfer der *bouwvoor* stijgen, althans bij de zoo krachtig P-bindende kleihoudende gronden. Hiermede wordt echter het verband tusschen de genoemde cijfers der *bouwvoor* en den P-rijkdom van *den akker in zijn geheel* verbroken, omdat de cijfers nu niets meer zeggen omtrent den rijkdom van den ondergrond. Het is dus zeer goed mogelijk, dat de boven beschouwde zavelgrond met zand in den ondergrond, tengevolge van fosfaatbemesting, een aanmerkelijk hooger P-citr-cijfer in de bouwvoor aanwijst dan de diepgrondige zavelgrond en nochtans meer fosforzuurbehoefstig blijkt te zijn dan de laatstgenoemde grond.

Slechts indien de planten haar P-behoefte bijna uitsluitend uit den voorraad in de bouwvoor zouden dekken, zou het P-citr-cijfer in staat kunnen zijn een antwoord te geven op de vraag naar de onderlinge verhouding der P-behoefte van verschillende perceelen. Deze mogelijkheid dient dan echter voor de verschillende typen van kleigronden afzonderlijk onderzocht te worden.

Nu wijzen de cijfers voor de lysimeters (tabellen 82 en 85) er niet op, dat het fosforzuur uitsluitend aan de bouwvoor onttrokken wordt, doch zeker tot op een diepte van 40 cm. En bij profielonderzoek op den akker komt men tot de conclusie, dat de onttrekking nog tot op grootere diepte plaats heeft; men zie slechts de cijfers voor de Dollardpolders in tabel 83.

De voorafgaande overwegingen moeten m. i. tot de slotsom leiden, dat de beteekenis van het P-citr-cijfer als maatstaf voor de hoeveelheid fosforzuur, welke de akker ter beschikking der planten kan stellen, nog niet vaststaat. Dit sluit echter niet uit, dat er onder bepaalde omstandigheden een zoodanig verband tusschen het bedoelde cijfer en de fosforzuurbehoefte van den akker kan bestaan, dat het onder die omstandigheden als aanwijzer voor de meerdere of mindere fosforzuurbehoefte dienst kan doen.

§ 4. DE ZWAVEL (SO_3)

a. *Inleiding; het zwavelvraagstuk*

De zwavel is, evenals de stikstof en de phosphorus gedeeltelijk in organischen, gedeeltelijk in anorganischen vorm in den grond aanwezig. Bepaald als sulfaat bevatte de grond in 1918 in totaal (zie blz. 414) 0,140 % SO_3 , waarvan ongeveer een derde, n.l. 0,043 %, in 10-proc. HCl oploste en dus waarschijnlijk als sulfaat aanwezig was. De grond bevatte derhalve, berekend per ha en tot een diepte van 1 m, in 1918 22 083 kg SO_3 .¹⁾

De verliezen (drainwater + gewas) bedroegen over de jaren 1923—1933 gemiddeld 498 kg/ha per jaar (tabel 59), terwijl de winst aan sulfaat met regenwater en zaaizaad per jaar gemiddeld op ongeveer 120 kg te stellen is (tabel 66). Het jaarlijksche verlies was dus gemiddeld 378 kg/ha. Hieruit volgt, dat, indien de verliezen zich op deze hoogte zouden handhaven, het oorspronkelijke zwavelkapitaal in dezen grond slechts toereikend zou zijn voor 58 jaar.²⁾

Nu is de sulfaat-toevoer met den regen op de lysimeters abnormaal groot. Stelt men de winst op het vrije veld op 28 kg per jaar (tabel 63) en het verlies met praktijkooigsten plus drainwater op 473 kg (tabel 59), dan komt men, als men voor zaai- en pootgoed nog 2 kg winst in rekening brengt, tot een jaarlijksch verlies van 443 kg, zoodat onder praktijk-omstandigheden de voorraad voor slechts 50 jaren toereikend zou zijn.

Gelukkig is de toestand niet zoo onrustbarend als uit deze berekening zou volgen. Door een paar bijzondere omstandigheden is het sulfaatverlies met het drainwater in de periode 1918—1938 bijzonder groot geweest.

In de eerste plaats was de grond bij het invullen in de lysimeters abnormaal rijk aan sulfaten, in welken vorm de zwavel onmiddellijk aan uitspoeling onderhevig is. De oorzaak van dit hooge sulfaatgehalte werd op blz. 228 reeds besproken.

In de tweede plaats vond in de eerste jaren de mineralisatie plaats van

¹⁾ Het gewicht van den grond in de lysimeters bedroeg gemiddeld 1406,42 kg; het gemiddelde oppervlak der lysimeters was 89,16 dm².

²⁾ Bij de lysimeters heeft men slechts te maken met den voorraad S (en andere bestanddeelen), welke aanwezig is in de ingevulde grondlaag ter dikte van 1 m. Bij berekening der in den akker aanwezige voorraden moet men ook denken aan de mogelijkheid, dat met het van elders toevloeiende grondwater bestanddeelen kunnen worden aangevoerd (voorbeeld: het laagliggende perceel in den Nw. Ruigezandster polder waarvan de grond in de lysimeters afkomstig is).

Ook is het niet steeds buitengesloten, dat het grondwater bestanddeelen uit diepere grondlagen oplost en in tijden, waarin er geen nederwaartsche beweging van zakwater plaats heeft, capillair in den grond opstijgt en zoodoende zijn bestanddeelen onder het bereik der plantenwortels brengt. De beteekenis van den toevoer op deze wijze, die we overigens niet hoog aanslaan, zal van geval tot geval verschillend zijn; juiste gegevens zullen echter hieromtrent wel niet te verkrijgen zijn.

de overmaat humus, welke in den ondergrond aanwezig was (bouwvoorgrond!). Bij dit proces werden naast nitraten rijkelijk sulfaten gevormd (zie blz. 235).

Door deze beide omstandigheden is de sulfaat-uitspoeling in de hier beschouwde periode abnormaal hoog geweest, maar het is buitengesloten, dat zij zoo hoog zal blijven, daar de beide oorzaken langzamerhand verdwijnen. Het sulfaatverlies is trouwens in de jaren 1918—1939 reeds aanmerkelijk kleiner geworden, zooals op blz. 238 e. v. werd aangetoond.

In de braakjaren 1933—1938 was de hoeveelheid SO_3 , welke uitspoelde, nog ongeveer tweemaal zoo groot als de hoeveelheid, welke met den regen in den grond kwam. Zou de grond ook verder onbebouwd zijn gebleven, dan zou vermoedelijk de daling verder zijn voortgeschreden, tot tenslotte evenveel sulfaat uitspoelde als er met den regen in den grond kwam. Onderwijl zou de humus verder worden afgebroken onder vorming van sulfaten. Hoever deze afbraak zou gaan, valt niet te zeggen; waarschijnlijk zou niet alle humus worden afgebroken en dus zou steeds een groot deel der zwavel den kringloop blijven volgen. Slechts een klein deel van het sulfaat uit het regenwater zou direct in den ondergrond verdwijnen en, zonder deel te nemen aan den kringloop: sulfaat: org. zwavelverbindingen: sulfaat, worden uitgespoeld.

Nu de lysimeters na 1938 weer geregeld worden bebouwd, onttrekken ook de gewassen sulfaten aan den grond. De voorraad neemt bij de 6 lysimeters, welke geen sulfaat in de bemesting (1 en 5 worden bemest met ammoniumsulfaat) ontvangen, dus jaarlijks af met een hoeveelheid zwavel, gelijk aan die, welke met gewas en drainwater wordt weggevoerd, verminderd met de hoeveelheid, aanwezig in het regenwater.

Neemt men nu aan, dat in September 1938 zich in den grond t. o. v. den humus reeds een evenwicht had ingesteld (humusafbraak = humusvorming door wortels en stoppels) en dat de oorspronkelijk aanwezige extra voorraad sulfaten uitgeput was en veronderstelt men daarbij, dat het sulfaatverlies in het drainwater juist wordt goedgeemaakt door de winst met het regenwater, dan zou het S-kapitaal jaarlijks verminderen met hetgeen de gewassen daarvan verbruiken. In September 1938 was de voorraad SO_3 in den grond, berekend per ha (1 m), 16 935 kg. Deze voorraad zou bij een gemiddeld jaarlijksch verbruik van 63 kg (tabel 52) nog slechts voor 269 jaren toereikend zijn geweest. Uitgaande van het verbruikscijfer voor praktijkooigsten van 40 kg (tabel 53), zou men komen tot 423 jaar.

Hoewel de uitkomst dezer raming minder somber is dan die der eerste berekening, zoo wijst ze er toch wel op, dat men aan de zwavelvoorziening onzer cultuurgewassen aandacht dient te schenken en dat men de vraag moet stellen, of de zwavelvoorraad in sommige onzer oudere gronden soms al niet te wenschen overlaat. En zou men hierbij geen onderscheid moeten

maken tusschen de zeekleigronden, welke uit gipshoudend zeewater zijn afgezet ¹⁾ en die door hun ligging regenwater met wat hooger sulfaatgehalte ontvangen, en de rivierkleigronden b.v., die in beide opzichten in minder gunstige conditie verkeerden?

De cultuur in de Dollardpolders (n. b. zonder sulfaat-toevoer in de bemesting!) bewijst, dat de S-voorraad in zware zeeklei althans voor een paar eeuwen toereikend is. Maar ongetwijfeld is in de oudere polders de voorraad terdege aangesproken en het is de vraag, of de oudere polders niet, evenals dit t. a. v. het fosforzuur reeds is gebleken, gebrek aan sulfaat gaan vertoonen. Men houde hierbij in 't oog, dat het totaal- P_2O_5 -en het totaal- SO_3 -gehalte in de kleigronden slechts weinig verschillen en dat de gewassen ongeveer gelijke hoeveelheden van beide bestanddeelen opnemen. Verder wordt P_2O_5 praktisch gesproken niet, SO_3 daarentegen in aanmerkelijke hoeveelheden uitgespoeld, waar echter tegenover staat, dat er SO_3 met het regenwater wordt aangevoerd.

De Dollardpolders leveren, evenals bij N en P, prachtig materiaal om na te gaan, hoe de zwavelvoorraad in een paar eeuwen tijds is gedaald. Ik kan dit op dit oogenblik echter niet met cijfers aantonen, omdat de indertijd genomen monsters nog niet op zwavel onderzocht werden.

Het is zeer goed mogelijk, dat op de meeste onzer gronden het zwavelvraagstuk praktisch van geringe beteekenis is, omdat men bij bemesting met superfosfaat, zwavelzuren ammoniak en met kalizouten vrij veel sulfaten in den grond bracht, allicht meer dan de gewassen opnemen. Het aantonen van zwavelgebrek zal bovendien ook niet zoo eenvoudig zijn. Het resultaat van een bemestingsproef met een zwavelhoudende stof zal niet licht overtuigend aantonen, dat het de *zwavel* is, welke de opbrengstvermeerdering veroorzaakt. Werkt men met sulfaten, dan heeft men ook te maken met het basebestanddeel, K, Na, Ca of Mg; werkt men met elementaire zwavel, dan weet men zeker, dat men èn chemische èn biologische veranderingen in den grond te voorschijn roept. Zou men de zwavel als verdund zwavelzuur in den grond brengen, dan worden daarmee tal van stoffen oplosbaar gemaakt.

De zwavelhuishouding in onze cultuurgronden verdient dus ongetwijfeld meer belangstelling dan zij tot nu toe heeft ondervonden. Dit laatste is misschien grootendeels toe te schrijven aan de aandacht, welke in de laatste eeuw uitsluitend geschonken werd aan de trits N-P-K, terwijl toch S een overeenkomstige plaats als voedingsstof inneemt. Nu in de latere jaren aan vele andere elementen aandacht wordt geschonken (Mn, Cu, Mg, B e. a.) zal allicht de neiging groter worden om daarin ook de zwavel te betrekken.

¹⁾ Men denke ook aan sulfaathoudend grondwater in de kuststreken!

Nu is de belangstelling voor de zwavel niet zoo gering geweest, als men uit het voorafgaande misschien zou willen afleiden; vooral in Amerika is die belangstelling sedert tientallen jaren vrij groot. Dit blijkt al wel hieruit, dat in de 3e editie van de „Bibliography of references to the literature on the Minor Elements” (99) op de blz. 403—437 ruim 300 publicaties, verschenen tusschen de jaren 1892 en 1938, als op zwavel betrekking hebbende, vermeld worden en een groot aantal dezer publicaties houden zich met de S-behoefte van den grond bezig. Meerder¹ Amerikaanse onderzoekers hebben erop gewezen, dat het regenwater niet voldoende zwavel bevat om in de behoefte der planten te voorzien. Vooral schijnt de belangstelling in Amerika uit te gaan naar de werking van de elementaire zwavel en dan in 't bijzonder bij luzerne; daarnaast werden ook vele proeven met gips genomen.

Ook in de Literatursammlung van NIKLAS c. s. (68), Bd. IV, blz. 545—551, en Bd. V, blz. 204, vindt men vele publicaties in verband met dit onderwerp vermeld. ¹)

Gips werd reeds door de Grieken en Romeinen als meststof gebruikt. Sedert de tweede helft der 18e eeuw heeft het gips als zoodanig zelfs grooten opgang gemaakt, zoodat het gebruik zich niet alleen snel over Deutschland, Frankrijk, Zwitserland en Engeland, maar zelfs over Amerika verbreidde (34, blz. 756).

De beteekenis, welke het gips nog in de vorige eeuw bezat, blijkt ook uit het feit, dat G. J. MULDER (66, IV, blz. 15) er meerdere bladzijden aan wijdt. De werking van gips werd door den een geroemd, door den ander ontkend, hetgeen MULDER op de hem eigen wijze doet zeggen: „De zaak is natuurlijk; zoo iemand honger heeft, baat hem geen drinken, en zoo iemand dorst heeft, helpt hem geen eten.”

De werking eener gipsbemesting werd toentertijd vrijwel algemeen verklaard door vastlegging van het in den grond aanwezige ammonium carbonaat (o. a. LIEBIG, 50, blz. 80). Het spreekt wel vanzelf, dat MULDER de verklaring zocht in „de substitutie door gips in het zeolithisch deel van den grond teweeggebracht”. Maar aan het slot zijner beschouwingen (ibid., blz. 27) wijst hij toch ook even op de onmisbaarheid van zwavel voor de planten en vestigt

¹) NIKLAS neemt de literatuur betreffende zwavel op in de rubriek „Reizstoffe”. De zwavel bevindt zich hier trouwens, naast J en Br b.v., in gezelschap van Na en Mg. Hiermede wordt het begrip „Reizstoffe” wel eenig geweld aangedaan. Hetzelfde kan gezegd worden van het opnemen van S, naast Na, Ca, Mg en Si, onder de „minor elements” in het boven aangehaalde werk. Men moet deze indeeling dan ook naar het mij voorkomt meer beschouwen, als een tegenover elkaar stellen van de 3 van oudsher als „plantenvoedende stoffen” erkende elementen N, P en K en de elementen, waarvan men de beteekenis voor het plantenleven minder goed meent te kennen.

hij er de aandacht op, dat de voorraad door uitspoelen steeds kleiner wordt en derhalve aangevuld dient te worden.

Ook HEIDEN wijdt in zijn in 1887 verschenen leerboek, in het gedeelte handelende over de in de eerste plaats „indirect werkende” meststoffen, een hoofdstuk aan het gips (34, blz. 756). Hij bespreekt, evenals MULDER, de verschillende onderzoekingen, welke omtrent de werking van het gips verricht zijn, en komt tot de conclusie, dat de directe werking van ondergeschikte beteekenis is, maar dat daarbij het zwavelzuur de hoofdrol toekomt.

Een der paragrafen van het hoofdstuk over gips wijdt HEIDEN aan de vraag, waarom het gips niet meer zoo werkt als vroeger. Hij beantwoordt deze vraag door erop te wijzen, dat in de voorafgaande 25 jaren (dus sedert het begin der zestiger jaren van de vorige eeuw) bemest werd met opgeloste Peruguano, superfosfaat en ammoniak-superfosfaat, allen meststoffen, welke gips bevatten. De akkers zijn dus reeds meermalen, dikwijls jaarlijks, met gips bemest; dit gips heeft dus reeds de plantenvoedende bestanddeelen opgelost en zodoende den ondergrond bemest. Is het dus wel zoo vreemd, dat een opzettelijke gipsbemesting in vele gevallen geen resultaat oplevert? (ibid., 786.)

Gips zou meer in 't bijzonder op klaver gunstig werken, niet alleen omdat het een diep wortelend gewas is en het dus in den ondergrond kan profiteeren van de voedingsstoffen, welke in den bovengrond in oplossing zijn gebracht, maar óók, omdat een klavergewas meer zwavel opneemt dan de graan-gewassen.

ADOLF MAYER spreekt in zijn bekende leerboek, en wel in het hoofdstuk, handelende over de indirect werkende meststoffen (61, blz. 187), in de eerste plaats uitvoerig over gips; hij brengt daarbij ongeveer dezelfde gezichtspunten naar voren als MULDER en HEIDEN.¹⁾ Of toentertijd de uitvoerige bespreking van het gips, uit praktisch oogpunt beschouwd, nog wel van belang was, betwijfel ik. In ons land vond het toentertijd in ieder geval geen toepassing. Of er in de vorige eeuw in ons land gegipt werd, anders dan bij wijze van proef, is mij niet bekend.

MAYER wijst erop, dat het gips uitsluitend aangewend wordt bij klaver, luzerne en esparsette. Hij meent, dat de gunstige werking zich slechts ten deele in verband laat brengen met de diepe beworteling dezer gewassen. In een noot (ibid., blz. 192) vermeldt hij, dat zich in den laatsten tijd (d. i. begin dezer eeuw) de gedachte naar voren dringt, of het gips bij deze

¹⁾ P. EHRENBURG heeft in de door hem verzorgde 7de oplage van deel II 2 van het leerboek van MAYER, verschenen in 1924, het gedeelte over gips in hoofdzaak ongewijzigd gelaten.

gewassen ook niet als *directe* meststof te beschouwen is en wel als een sulfaat-houdende meststof. Een klaveroogst zou n.l. 3—5 maal meer zwavel aan den grond onttrekken dan een graanoogst.¹⁾

Bij de voorgaande beschouwingen omtrent de waarde van gips sluit zich aan hetgeen PRJANISCHNIKOW in zijn „Düngerlehre” over deze meststof mede-deelt (76, blz. 414). Deze schrijver beperkt zich ook tot vermelding van de zienswijzen van andere onderzoekers (LIEBIG, BOUSSINGAULT, RITTHAUSEN). Alleen vermeldt hij, dat BOGDANOW op grond zijner plantenanalyses tot de conclusie is gekomen, dat de planten meer S noodig hebben dan men op grond van vroegere foutieve analyses (WOLFF) steeds heeft aangenomen en dat veel gronden bemesting met sulfaat behoeven (zie 99, kolom 812).

Van de publicaties uit de laatste jaren vermeld ik hier die van KRÜGEL, DREYSPRING en HEINRICH (44, blz. 164). Zij pleiten, op grond van het zwavel-gehalte der gewassen, den geringen S-voorraad in vele gronden en de uit-spoeling der sulfaten, voor het meer aandacht schenken aan de zwavelbehoefte van den grond. S en P zijn in dezelfde mate noodig voor den opbouw der planten. De hoeveelheid S, welke den grond uit de atmosfeer wordt toe-gevoerd, is onvoldoende om op den duur in de behoefte der gewassen te voorzien. Het slot van dit artikel is wel waard hier herhaald te worden. Het luidt: „Neuerdings ist man bestrebt, dem Landwirt Düngemittel in möglichst konzentrierter Form anzubieten, um ihm den Transport zu erleichtern. Diese sogenannten *ballastlosen Düngemittel* enthalten nur wenig oder überhaupt kein Sulfat mehr. Sollte ihre Anwendung weitere Verbreitung finden, so wird man dem *Nährstoff Schwefel* ²⁾ mehr als bisher Beachtung schenken müssen.”

Verder zij melding gemaakt van de onderzoekingen van BERTRAND en SILBERSTEIN (8, blz. 165). Zij achten het noodig den landbouwers door proeven aan te toonen, dat er gevaar dreigt, indien niet meerdere aandacht geschonken wordt aan de bemesting met sulfaten. Zij namen proeven met koolzaad in potten gevuld met grond, arm aan zwavel (0,0114 % S), uit Perrigny. Natriumsulfaat ³⁾ gaf een opbrengstvermeerdering van 83 %. Aan het slot van hun verslag wijzen ook zij op het gevaar, dat dreigt, nu men meer en meer geconcentreerde meststoffen zonder sulfaten gaat bereiden.

Ik wil hier ook nog verwijzen naar een publicatie van VAN DER PAAUW (70, blz. 838) over de landbouwkundige beteekenis van gips, waarin melding gemaakt wordt van de resultaten, verkregen op meerjarige proefvelden, ge-

¹⁾ Uit de cijfers in tabel 52 zou volgen, dat roode klaver hoogstens $2 \times$ zooveel SO_3 aan den grond onttrekt dan de graangewassen (haver en tarwe).

²⁾ Cursiveeringen zijn van mij.

³⁾ Men dient steeds bedacht te zijn op een mogelijke werking van het kation, hier Na. Proeven met meerdere zoutcombinaties zijn dus steeds noodig.

leggen op de proefboerderijen te Borgercompagnie en te Emmercompasuum, dus op dalgrond. Op deze proefvelden werd geen belangrijke werking van gips geconstateerd, de gunstige eigenschappen van het gips schijnen op dezen grond echter te overheerschen. Aan de publicatie is een uitvoerige literatuurlijst, het onderwerp betreffende, toegevoegd.

Volgens VAN DER PAAUW mag een verhoogde opbrengst door sulfaatbemesting in ons land nauwelijks verwacht worden, daar vele van de hier geregeld gebruikte meststoffen sulfaat bevatten. Waarschijnlijk is dit wel juist, maar het gebruik van „ballast-vrije” en dus ook sulfaat-vrije meststoffen neemt toe!

En niet alle grondsoorten in Nederland zullen vermoedelijk een ruim zwavel-kapitaal bezitten! We mogen ons ten aanzien der zwavelvoorziening niet in slaap laten wiegen, maar dienen voortaan evenzeer aandacht te schenken aan de zwavel- als aan de stikstof-, fosforzuur-, kali- en kalkhuishouding van den grond. Om deze reden stond ik uitvoeriger stil bij de literatuur omtrent de sulfaatbemesting.¹⁾ In Amerika heeft dit vraagstuk blijkbaar sinds jaren al de volle aandacht.²⁾

b. *Het zwavel-(SO₃)-gehalte van den grond in 1918 en in 1938*

Zowel het gehalte aan totaal-zwavel als dat aan zwavel, oplosbaar in 10-proc. HCl, werden bepaald (zie Bijvoegsel). Voor het onderzoek van den oorspronkelijken grond werd gebruik gemaakt van de bij het stikstofonderzoek genoemde tien fijngemaakte monsters A₁—W₁. De uitkomsten zijn vermeld in tabel 87.

TABEL 87

	SO ₃			SO ₃	
	Totaal	10 %-HCl		Totaal	10 %-HCl
	%	%		%	%
A ₁	0,150	0,036	L ₁	0,142	0,043
B ₁	,128	,045	N ₁	,139	,044
D ₂	,142	,047	R ₁	,140	,041
H ₂	,146	,042	T ₂	,140	,047
I ₂	,136	,041	W ₁	,140	,046
Gemiddeld gehalte v. d. oorspronkelijken grond . .				0,1403	0,0432

¹⁾ Zou het niet mogelijk kunnen zijn, dat bij bemestingsproeven met superfosfaat naast andere fosfaten, de dikwijls geconstateerde gunstiger werking van deze meststof in sommige gevallen ten deele op rekening gesteld moeten worden van het daarin aanwezige calciumsulfaat? En zou het daarom voor de juiste waardeering der fosfaat-werking geen aanbeveling verdienen aan de overige fosfaten een hoeveelheid gips toe te voegen, gelijk aan die in de toegediende hoeveelheid superfosfaat?

²⁾ Na het gereedkomen van deze verhandeling verscheen nog een lezenswaardig artikel van ALWAY over dit onderwerp (1).

De totale zwavelvoorraden, welke in 1918 in de lysimeters aanwezig waren, uitgedrukt in grammen SO_3 per lysimeter, alsmede de verliezen aan SO_3 , welke de grond tot September 1938 leed, vindt men vermeld in tabel 90.

In 1938 werden de in tabel 88 genoemde gehalten gevonden; deze zijn allen aanmerkelijk lager dan in 1918, hetgeen wel in hoofdzaak het gevolg moet zijn van een krachtige mineralisatie van den humus.

TABEL 88

Totaal S-gehalte (als SO_3) der in September 1938 genomen grondmonsters
Total-sulphur content (as SO_3) of the soil samples taken in September 1938

Laag (Layer)	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem. (Mean)
cm	%	%	%	%	%	%	%	%	%
0—15	0,138	0,131	0,127	0,134	0,127	0,128	0,130	0,136	0,1314
15—25	,123	,114	,117	,125	,117	,127	,114	,120	,1196
25—41	,111	,111	,104	—	,110	—	,110	—	,1092
41—58	,104	,101	,101	—	,105	—	,098	—	,1018
58—75	,101	,100	,107	—	,102	—	,087	—	,0994
75—100	,101	,095	,100	—	,098	—	,097	—	,0982

Omtrent deze cijfers (zie de gemiddelde cijfers in de laatste kolom) valt verder op te merken, dat het zwavelgehalte van boven naar beneden daalt. De reeds besproken gehalte-cijfers gedroegen zich eenigszins anders. Bij N vertoonde het gehalte-cijfer de tendenz om van 0 tot 41 cm te dalen en vervolgens weer te stijgen (tabel 70). Bij P_2O_5 -totaal (tabel 82) en P_2O_5 -citroenzuur (tabel 85) viel er een duidelijke daling op te merken van de bouwvoor (0—15 cm) tot de laag 15—25 cm; vervolgens steeg het gehalte weer, om tot 100 cm diepte vrijwel constant te blijven. Een dergelijke verandering der cijfers viel bij het humusgehalte waar te nemen (tabel 79).

Het iets hogere cijfer voor de bouwvoor hangt vermoedelijk samen met het iets hogere humusgehalte; misschien speelt ook de aard van den humus een rol. De regelmatige daling van de cijfers, gesteld dat men deze als wezenlijk mag beschouwen, hetgeen m. i. niet vast staat, zou misschien de gedachte kunnen wekken, dat men hier te maken heeft met een gevolg van capillaire opstijging van sulfaten gedurende den aan de bemonstering voorafgaanden zomer, ware het niet, dat de cijfers voor het in zoutzuur oplosbare SO_3 een dergelijke daling niet vertoonen, zooals uit tabel 89 blijkt; slechts de bouwvoor heeft een iets hooger gehalte.

De zwavel, welke in 10-proc. HCl oplost, mogen wij wel beschouwen als afkomstig van in den grond aanwezige sulfaten. In 1918 was dit SO_3 -gehalte

TABEL 89

SO₃-gehalte (10-proc. HCl) der in 1938 genomen grondmonsters
SO₃-content (10 proc. HCl) of the soil samples taken in 1938

Laag (Layer)	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem. (Mean)
cm	%	%	%	%	%	%	%	%	%
0—15	0,041	0,037	0,036	0,031	0,038	0,038	0,041	0,036	0,037
15—25	40	34	29	31	33	35	33	34	34
25—41	35	33	30	—	31	—	30	—	32
41—58	40	34	24	—	29	—	35	—	32
58—75	38	34	29	—	33	—	34	—	34
75—100	35	35	33	—	33	—	36	—	34

0,0432 %; de in 1938 gevonden cijfers liggen alle lager, hetgeen ook te verwachten was, daar de grond oorspronkelijk, door de reeds meermalen besproken omstandigheid, abnormaal rijk was aan sulfaten. Deze voorraad moest, bij de voor uitlooging gunstige voorwaarden in de lysimeters, wel verminderen.

Uit de cijfers in tabel 87 en uit die in de tabellen 88 en 89 volgt, dat ongeveer 30 % der totale hoeveelheid zwavel als sulfaat aanwezig is; 70 % komt dus organisch gebonden in den grond voor.

Berekent men met de gemiddelde gehaltecijfers voor de organisch gebonden zwavel het zwavelgehalte van den humus, dan vindt men, dat in 1918 de humus 2,9 % S bevatte. In 1938 vindt men voor de bouwvoor 3,2 %; het gehalte daalt in de volgende grondlagen vrij regelmatig, totdat in de laag 75—100 cm een gehalte van 2,2 % gevonden wordt.

De verhouding S : N bleek in 1918 1 : 2,9 te zijn. In 1938 wordt voor de bouwvoor de verhouding 1 : 2,6 gevonden. In de volgende lagen wordt de verhouding geleidelijk ruimer; in de laag 75—100 cm wordt tenslotte 1 : 3,9 gevonden.

c. De zwavelbalans voor den grond in de lysimeters

Uit de in tabel 88 vermelde cijfers voor het totale zwavelgehalte, uitgedrukt in procenten SO₃, en de gewichten der afzonderlijke lagen genoemd in tabel 69 (onder aftrek van 0,49 % gewichtsverlies sedert 1918), kan men den totalen zwavelvoorraad, welke op 1 September 1938 in de lysimeters aanwezig was, berekenen. Deze hoeveelheid zou moeten overeenstemmen met den voorraad, welke in 1918 aanwezig was, verminderd met de van 1918 tot 1938 geleden SO₃-verliezen. De betreffende cijfers vindt men in de S-balans, opgenomen in tabel 90.

TABEL 90

S-balans voor den grond in de lysimeters (grammen SO₃)
Sulphur-balance for the soil in the lysimeters (g SO₃)

	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem. (Mean)
Voorraad (Supply) in 1918, volgens analyse	1976,0	1975,7	2009,8	1991,0	1937,8	1958,9	1953,7	1982,7	1973,2
Verlies (Loss) 1918—1938 ¹⁾	699,6	708,0	754,0	777,8	683,2	737,8	742,6	732,8	729,5
Aanwezig op (Present at) 1 Sept. 1938	1276,4	1267,7	1255,8	1213,2	1254,6	1221,1	1211,1	1249,9	1243,7
Volgens SO ₃ -bep. v. d. grond (On SO ₃ -estimation) in 1938.	1553,7	1495,6	1535,9	1536,8	1484,9	1502,3	1443,9	1527,6	1510,0
Onbekende winst aan (Unknown gain of) SO ₃	277,3	227,9	280,1	323,6	230,3	281,2	232,8	277,7	266,3
Idem kg/ha 1918—1938	3105	2552	3146	3624	2576	3156	2617	3123	2937
Gemiddeld per jaar (Yearly average)	155	128	157	181	129	158	131	156	149

¹⁾ Verlies = verlies (gewas en drainwater) verminderd met winst (bemesting, regen en zaai-zaad). Ontleend aan de tabellen F₂B, C₁ en G₂ der boekhouding — Loss = losses with crops and drainage-water diminished with gains in manures, rainwater and seeds.

Deze balans levert het merkwaardige resultaat op, dat er een onbekende bron was, waaruit in de periode 1918—1938 een niet onbelangrijke hoeveelheid zwavel aan den grond werd toegevoerd. Gemiddeld bedroeg deze toevoer 266 g SO_3 per lysimeter of 2987 kg SO_3 per ha in 20 jaren of gemiddeld 149 kg per jaar. Het is niet anders mogelijk, of deze zwavel moet buiten den regen om uit de atmosfeer in den grond zijn gekomen. Dat de atmosfeer boven het proefterrein, gelegen aan den rand van een stad en in de onmiddellijke nabijheid van een spoorwegemplacement, meer dan een normale hoeveelheid zwavelverbindingen ($\text{SO}_2 + \text{SO}_3$) zou bevatten en dat een kalkrijke grond hiervan een deel zou absorbeeren, werd wel verwacht en 't plan bestond dan ook reeds een onderzoek in te stellen naar het gehalte der lucht boven het terrein aan S-(en N-)verbindingen. Maar dat de hoeveelheid zwavel, welke op deze wijze in den grond zou komen, zoo groot zou zijn, werd niet vermoed.

Buiten den regen om komt er dus ongeveer evenveel zwavel uit de atmosfeer in den grond als met den regen (zie tabel 63). Neemt men voor den regen het gemiddelde jaarcijfer voor de periode 1927—1939, zijnde 118 kg/ha, dan is er dus per jaar in totaal bijna 270 kg SO_3 in den grond gekomen. In de jaren tot 1938 moge deze hoeveelheid onvoldoende zijn geweest om het verlies door gewas en drainwater goed te maken (zie tabel 59), zoo is toch te voorzien, dat binnen eenigen tijd — zoo dit niet reeds nu het geval mocht zijn — er een evenwicht zal intreden, waarbij het verlies door gewas en drainwater en de winst vanuit de atmosfeer gelijk zullen zijn geworden. De toevoer van zwavel uit de atmosfeer is dan ruimschoots voldoende om de gewassen van de noodige zwavel te voorzien. Stijging van het S-kapitaal boven het dan bereikte niveau is niet mogelijk, daar binding tot onoplosbare sulfaten is buitengesloten, terwijl vastlegging in organischen vorm een voortdurende stijging van het gehalte aan organische stof zou beteekenen, welke in goed ontwaterde kleigronden niet plaats vindt.

In het vrije veld, op voldoende afstand van steden en industrieën, is de toestand anders. De hoeveelheid SO_3 in het regenwater bedraagt daar nog geen 30 kg/ha per jaar (tabel 63). Deze hoeveelheid is onvoldoende om in de zwavelbehoefte der gewassen te voorzien. Hoeveel SO_3 wordt daar, buiten den regen om, uit de atmosfeer vastgelegd? Het is niet onmogelijk, dat de totale hoeveelheid voldoende zou zijn om in de behoefte der gewassen, welke op 40 kg/ha per jaar gesteld kan worden, te voorzien. Het niet te vermijden verlies met het drainwater is dan echter nog niet gedekt.

Verder rijst hier de vraag, of de directe vastlegging uit de atmosfeer niet afhankelijk zal zijn van het gehalte aan CaCO_3 van den grond en of deze bij de oude ontkalkte gronden niet veel minder te beteekenen zal hebben.

Voor de kennis der zwavelhuishouding van den grond in het vrije veld is het dus noodig lysimeters in te richten op voldoende afstand van steden, dorpen en fabrieken. Ondertusschen zouden op het terrein van het Proefstation te Groningen en in het vrije veld op verschillende tijden en onder verschillende weersomstandigheden luchtanalyses uitgevoerd kunnen worden, teneinde althans een inzicht te krijgen in het gehalte der lucht aan S((en N)-verbindingen.

§ 5. HET KALIUM (K_2O)

a. *Inleiding; beschouwingen over den kali-voorraad in den grond*

Van de tijdens het vullen der lysimeters genomen grondmonsters werden er 10 onderzocht op in 5-proc. HCl oplosbare kali. Het gehalte schommelde van 0,195 tot 0,211 % en bedroeg gemiddeld 0,201 %. Hieruit laat zich berekenen (tabel 69), dat de grond tot 1 m diepte per ha 31 705 kg K_2O bevatte. Gaat men uit van het gemiddelde jaarlijksche kali-verlies met drainwater en gewassen gedurende de periode 1923—1933 (tabel 59) en van de winsten met bemesting, regenwater en zaaizaad, genoemd in tabel 66, dan zou de grond jaarlijks $304 - 73,4 = 231$ en met praktijkooigsten 151 kg K_2O per ha verliezen. Veronderstelt men verder, dat slechts het in 5-proc. HCl oplosbare K_2O uitwaschbaar en voor de planten opneembaar is, dan zou de bovengenoemde, in 1918 aanwezige voorraad voor 137, bij praktijkooigsten voor 210 jaar voldoende zijn, maar dan zou de grond ook tot één meter diepte alle in zoutzuur oplosbare kali verloren hebben.¹⁾

Uit deze cijfers blijkt al wel overtuigend, dat de planten niet uitsluitend op de in zoutzuur oplosbare kali aangewezen zijn; ware dit wel het geval, dan zouden de zavelgronden, welke meer dan een paar eeuwen oud zijn, hoogstens een zeer armelijk gewas kunnen voortbrengen; er zou een geweldig kali-gebrek heerschen!

Men moet dus wel aannemen, dat de niet in HCl oplosbare kali-houdende mineralen hun kali op een of andere wijze ter beschikking der planten kunnen stellen (zie ook blz. 336 e.v.). Hoeveel kali is er nu in dezen grond in totaal aanwezig?

Bij opensluiten van een drietal der oorspronkelijke monsters werden als gemiddelden van goed overeenstemmende duplo-bepalingen gevonden 1,71, 1,57 en 1,55, gemiddeld 1,61 % totaal- K_2O , een hoeveelheid, welke juist acht maal zoo groot is als die aan in zoutzuur oplosbare kali. De in 1918 in totaal aanwezige hoeveelheid kali zou dus voor 1100, resp. 1700 der tegen-

¹⁾ Zie noot 2 blz. 408.

woordige oogsten toereikend zijn, maar zou dan ook tot het laatste spoor verbruikt zijn.

Nu kunnen we hier dezelfde beschouwingen houden als bij de bespreking van den fosforzuurvoorraad in den grond: de oogsten, in vroegere eeuwen verkregen, waren veel kleiner dan tegenwoordig en een kleiner deel der producten verliet het bedrijf (stroo!); met den toegedienden stalmest werd weer kali aan den grond toegevoerd (grootendeels ten koste van het grasland!); met den afnemenden kali-voorraad zullen de opbrengsten gedaald en zal de kali-onttrekking dus geringer geworden zijn. Hier staat dan echter weer tegenover, dat de ondergrond in de lysimeters abnormaal rijk aan kali is, daar hij uit bouwvoorgrond bestaat. Maar dit mogen wij met stelligheid aannemen, dat de zavelgronden, welke reeds duizend en meer jaren in cultuur zijn, een zeer sterk ingekrompen kali-voorraad moeten bezitten, waarbij kali-gebrek te verwachten is. De ervaring in de laatste 15 jaren op de oude zavelgronden in de provincie Groningen opgedaan, leert dan ook, dat deze gronden over 't algemeen kalibehoefstig zijn.

Evenals dit ten aanzien van het fosforzuur het geval is, mag men dus wel aannemen, dat langzamerhand op de oude zavelgronden het tijdstip is gekomen, waarop men den grond door bemesting terug moet geven, hetgeen er gemiddeld jaarlijks met gewas en drainwater aan kali uit den grond verdwijnt.

Men bedenke ook, dat het niet is buitengesloten, dat de kali-houdende mineralen niet alle even gemakkelijk door de planten of op andere wijze aangetast zullen worden, zoodat er na verloop van tijd een moeilijker toegankelijke kali-voorraad in den grond zal kunnen achterblijven.

Zooals bekend is, hangt het kali-gehalte van den grond nauw met het klei-gehalte samen: hoe klei-rijker de grond is, des te grooter is het kali-kapitaal en des te langer zal het duren, eer de grond kali-behoefstig wordt. De ervaring leert dan ook, dat op de zware kleigronden de kalibehoeftte veel geringer is dan op de lichte zavelgronden.

b. *Het gehalte aan K_2O , oplosbaar in 5-proc. HCl in 1918 en in 1938*

Als gemiddeld gehalte voor 10 der oorspronkelijke grondmonsters uit 1918 werd gevonden 0,201 %, liggende tusschen de waarden 0,195 en 0,211 %.

In 1938 werden voor de verschillende grondlagen de in tabel 91 genoemde gehalten gevonden.

Uit deze cijfers blijkt, dat het gehalte aan in zoutzuur oplosbare kali niet of nauwelijks gedaald is. Er is eenig verschil tusschen het gehalte der beide bovenste en dat der volgende lagen, maar het verschil is gering en veel geringer dan die, welke men op den akker waarneemt. Dit moge b.v. blijken

TABEL 91

K₂O-gehalte (opl. in 5-proc. HCl) der in September 1938 genomen grondmonsters
K₂O-content (sol. in 5-% HCl) of the soil samples taken in September 1938

Laag (Layer)	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem. (Mean)
cm	%	%	%	%	%	%	%	%	%
0-15	0,204	0,198	0,221	0,193	0,193	0,212	0,207	0,203	0,203
15-25	,196	,205	,193	,209	,190	,211	,205	,209	,202
25-41	,186	,195	,202	,194	,185	,195	,198	,202	,195
41-58	,190	,194	,205	—	,187	—	,209	—	,197
58-75	,191	,188	,197	—	,192	—	,201	—	,194
75-100	,195	,209	,207	—	,190	—	,202	—	,201

TABEL 92

K₂O-gehalte (5-% HCl) van opeenvolgende grondlagen in de Dollardpolders (onderzoek omstreeks 1920)
K₂O-content (5-% HCl) of the successive soil layers in the Dollardpolders (estimated about 1920)

Laag (Layer)	Nieuwland 1701		Oostwolderpolder 1769			Finsterwolderpolder 1819				Reider- wolder- polder 1862 P ₆	Gemiddeld (Mean)	Klei (Clay) < 16 μ
	P ₆	P ₈	P ₄	P ₇	P ₁₈	West		Oost				
						P ₁	P ₁₁	P ₁	P ₁₂			
cm	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
0—20	0,371	0,397	0,361	0,383	0,359	0,345	0,328	0,329	0,353	0,365	0,359	75
20—40	,249	,309	,276	,294	,275	,245	,220	,243	,258	,262	,263	77
40—70	,221	,245	,263	,240	,257	,252	,255	,246	,239	,237	,246	78
70—100	,214	,250	,261	,254	,270	,260	,260	,255	,252	—	,253	75
100—130	,259	,270	,278	,284	,289	,274	,284	,306	,293	—	,282	71

uit de cijfers voor profielen in enkele Dollardpolders, welke men in tabel 92 vindt. Van de bouwvoor tot de laag 20—40 cm treedt bij alle profielen een sterke val op, welke zich tot 70 cm in afnemende mate voortzet. Aangenomen mag worden, dat er met wortels en stoppels transport van kali uit den ondergrond naar de bouwvoor heeft plaats gehad.

Dat dit verschijnsel niet of nauwelijks bij de lysimeters valt waar te nemen, zal vermoedelijk zijn oorzaak vinden in den korten tijd, dat de grond bebouwd werd (15 jaar) en in het feit, dat de grond voor de bemonstering 5 jaar lang onbebouwd bleef. Door de afbraak der organische stof in de bouwvoor gedurende de braakjaren, is de kali weer vrij gekomen en met het wegzakkende water benedenwaarts gevoerd. Zooals wij vroeger zagen, heeft het verschil zich bij het fosforzuur desondanks gehandhaafd, omdat het veel sterker door den grond gebonden wordt.

Ook is het mogelijk, dat het steeds waargenomen hoogere kali-gehalte in de bouwvoor ten deele een gevolg is van een krachtiger verweering van mineralen in de bouwvoor en dat in de 20 jaren, dat de proef duurde, nog niet veel kali op deze wijze is vrijgekomen (zie ook 53, blz. 628).

In de laatste kolom van tabel 92 zijn de gemiddelde kleigehalten der grondlagen vermeld. Uit deze cijfers blijkt duidelijk, dat de verschillen in het K_2O -gehalte niet een gevolg zijn van verschillen in kleigehalte. De hoogere K_2O -cijfers voor den Dollardgrond, vergeleken met die voor den grond uit de lysimeters, hangen samen met het hoogere klei-gehalte; voor den grond in de lysimeters is dit slechts 23 % (deel I, blz. 42) ¹⁾.

Ik vestig er nog de aandacht op, dat het cijfer voor de in zoutzuur oplosbare kali volgens dit onderzoek in anderhalve eeuw niet gedaald is, ondanks de onttrekking aan den grond van groote hoeveelheden kali met drainwater en gewas. Hieruit kan m. i. de conclusie getrokken worden, dat de kali-voorraad in dezen vorm voortdurend vanuit de mineralen wordt aangevuld en, zoolang deze bron blijft vloeien, zich op een constant niveau handhaaft. ²⁾ Wil men derhalve nagaan, in hoeverre de kali-voorraad in de oudere polders gedaald is, dan dient men het *totale* gehalte aan kali te bepalen, dus bij ontsluiting der mineralen, en niet slechts in de bouwvoor, doch ook in de diepere lagen. In een publicatie over het onderzoek der Dollardpolders hoop ik t. z. t. de resultaten van dit onderzoek mede te deelen.

¹⁾ Men zou allicht bij den Dollardgrond, met een ruim driemaal hooger kleigehalte, ook een ongeveer driemaal hooger kaligehalte verwachten. Een tweetal factoren maakt echter, dat het verschil kleiner wordt: 1°. men neemt bij het onderzoek de verhouding grond: oplosmiddel steeds gelijk, zoodat de verhouding *klei*: oplosmiddel enger wordt naarmate de grond kleirijker is, en 2°. er lost ook kali uit het zand (mineralen) op. In publicatie 53 blz. 629 ben ik uitvoerig op deze kwestie ingegaan.

²⁾ Voor nadere beschouwingen over deze cijfers zij verwezen naar publicatie 53 blz. 627—628.

Tabel 93 geeft de hoeveelheden in 5-% HCl oplosbare kali, welke in 1918 in de lysimeters aanwezig waren, alsmede de verliezen aan kali gedurende de jaren 1918—1938.

Indien er ondertusschen geen kali-verbindingen in zoutzuur oplosbaar waren geworden, zouden de voorraden in 1938 door de onderste cijfers in de tabel worden aangegeven.

Gemiddeld zou dus per lysimeter 2,478 kg K_2O aanwezig moeten zijn en aangezien de lysimeters gemiddeld 1406,42 kg grond bevatten, waarvan in de jaren 1918—1938 0,49 % door uitspoeling enz. verloren ging, zou het K_2O -gehalte tot 0,177 % gedaald moeten zijn. Uit tabel 91 blijkt echter, dat alle in 1938 gevonden gehaltecijfers duidelijk boven dit bedrag liggen.

Met de gegevens uit de tabellen 69 (met aftrek van 0,49 % grondverlies) en 91 vindt men, dat in September 1938 de in tabel 94 genoemde hoeveelheden K_2O in de lysimeters aanwezig waren. Nu blijken deze werkelijk aanwezige voorraden grooter te zijn dan die, welke volgens de verlies- en winst-rekening (tabel 93) aanwezig zouden moeten zijn, verondersteld, dat de gewassen en het zakwater slechts kali onttrokken aan den voorraad in zoutzuur oplosbare kali. Of de gewassen (zakwater) onttrokken ook kali aan de kali-verbindingen, welke niet in zoutzuur oplossen, of er werd gedurende de periode 1918—1938 op een of andere wijze kali in den in zoutzuur oplosbaren vorm overgevoerd. De betreffende hoeveelheden vindt men onderaan in tabel 94; gemiddeld bedragen zij 280,2 g per lysimeter, d. i. een tiende van den in 1918 aanwezigen voorraad, zijnde 2826,9 g.

In 1918 bedroeg de voorraad per ha 31 705 kg, in 1938 30 935 kg, ¹⁾ d. i. 770 kg minder (2,4 %); de voorraad in zoutzuur oplosbare kali heeft dus slechts een geringe vermindering ondergaan, hetgeen de gehaltecijfers trouwens reeds aantoonde.

Het is de vraag, of deze overgang van den onoplosbaren in den oplosbaren vorm steeds even snel zal voortgaan. Men kan zich voorstellen, dat de kali in meer en minder gemakkelijk aantastbare mineralen aanwezig is, en dat, naarmate de grond ouder wordt, de overgang langzamer zal verlopen. Dit proces zou zich ook in de lysimeters afspelen, doch het zou zich vermoedelijk eerst in het verre verschiep openbaren. Men kan het echter ook op een andere wijze bestudeeren, n.l. door naast de bestaande lysimeters met *jongen* zavelgrond, lysimeters in te richten met zavelgrond van dezelfde herkomst en met ongeveer gelijk klei-gehalte, doch *van veel hooger en ouderdom*.

Tenslotte zou ik er nog op willen wijzen, dat men voor de gedurende de periode 1918—1938 gevormde hoeveelheid in HCl oplosbare kali (tabel 94)

¹⁾ Gemiddelde oppervlakte der lysimeters is 89,16 dm².

TABEL 93

K₂O-voorraad (5-% HCl) in 1918 en geleden verliezen (grammen)
K₂O-supply (5-% HCl) in 1918 and losses in the period 1918—1938 (g)

	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem. (Mean)
Aanwezig (Present) in 1918 . . .	2830,7	2830,5	2879,3	2852,4	2776,2	2806,4	2799,0	2840,5	2826,9
Verlies ¹⁾ (Loss) 1918—1938 . . .	313,7	362,5	358,5	361,7	346,7	355,8	341,1	350,8	348,8
Rest	2517,0	2468,0	2520,8	2490,7	2429,5	2450,6	2457,9	2489,7	2478,1

¹⁾ Verlies = verlies (gas + drainwater) verminderd met winst (bemesting + regen + zaai- en pootgoed). Ontleend aan de tabellen F₂B, C₁ en G₂ der boekhouding.

TABEL 94

K₂O-voorraad (5-% HCl) aanwezig in 1938 in grammen
K₂O-supply (5-% HCl) in 1938

	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem. (Mean)
Aanwezig (Present) in 1938 . . .	2711,6	2782,9	2832,7	2769,6	2604,3	2767,3	2818,9	2779,0	2758,3
Volgens (According to) tabel 93 .	2517,0	2468,0	2520,8	2490,7	2429,5	2450,6	2457,9	2489,7	2478,1
HCl-oplosbaar K ₂ O gevormd (HCl-actable K ₂ O formed) in 1918—1938	194,6	314,9	311,9	278,9	174,7	316,7	361,0	289,3	280,2

bij de lysimeters 1 en 5, dat zijn die, welke steeds met ammoniumsulfaat bemest werden, kleinere waarden vindt dan bij alle andere lysimeters. Dit wordt in hoofdzaak veroorzaakt, doordat de K_2O -gehalten in 1938 bij 1 en vooral bij 5 over 't algemeen lager waren (zie tabel 91) dan bij de overige lysimeters, zoodat de voor deze lysimeters berekende voorraden in 1938 (tabel 94) ook lager werden gevonden. Daarbij komt, dat het K_2O -verlies bij 1 en 5, vooral bij 1, beneden het gemiddelde bleef. Of men hier met invloed van de bemesting met ammoniumsulfaat te doen heeft, dan wel met toevallig wat lagere cijfers voor het K_2O -gehalte in 1938, is niet uit te maken. Hierbij zij opgemerkt, dat de analyse-verschillen, gezien het doel waarvoor ze hier gebruikt worden, soms vrij groot zijn; de cijfers uit tabel 91 zijn echter allen gemiddelden van minstens twee bepalingen. Een toekomstig onderzoek zal hier zekerheid moeten brengen; het zoeken naar verklaringen kan dus voorloopig achterwege blijven.

c. *Het gehalte aan K_2O , oplosbaar in $\frac{n}{10}$ -HCl (K_{HCl} -cijfer), en dat aan uitwisselbare kali*

Behalve het gehalte aan K_2O , oplosbaar in 5-% HCl, werd ook het gehalte bepaald aan kali, oplosbaar in $\frac{n}{10}$ -HCl, waarmede het gehalte aan adsorptief gebonden kali benaderd zou worden, en welk gehalte een beeld zou geven van het vermogen van den grond om in de behoefte der gewassen aan kali te voorzien.

In 14 der in 1918 genomen monsters (waaronder de 10 fijngemaakte monsters A_1-W_1) werd bij 12 monsters van 0,020 tot 0,022 %, bij 2 monsters 0,017 en 0,018 % gevonden, gemiddeld 0,0205 %. De grond in de lysimeters bevatte dus, berekend per ha en tot 1 m diepte, 3234 kg in $\frac{n}{10}$ -HCl oplosbare kali. Aangezien de lysimeters jaarlijks 231 kg K_2O verloren (met praktijk-oogsten zou dit 151 kg zijn), zou de genoemde voorraad voor slechts 14 resp. 21 oogsten voldoende zijn.

Uit deze berekening volgt, zoo mogelijk nog overtuigender dan ten aanzien van het gehalte aan in 5-% HCl oplosbare kali en van het in citroenzuur oplosbare fosforzuur, dat men bij het K_{HCl} -cijfer elke gedachte aan een voor de planten beschikbaar *kali-kapitaal* moet laten varen. Het cijfer geeft wel een voorraad kali aan, welke vermoedelijk gemakkelijk voor de planten toegankelijk is, die, om 't zoo uit te drukken, direct leverbaar is, maar een voorraad, welke voortdurend vanuit de andere kaliverbindingen in den grond wordt aangevuld.

De grootte van dezen direct leverbaren voorraad is afhankelijk van het gehalte van den grond aan klei en humus (adsorptie-complex). Zij zal voor de kali-voorziening der gewassen zeker wel van belang zijn. Maar daarnaast zal de *snelheid*, waarmede deze voorraad wordt aangevuld, zeker van niet minder beteekenis zijn. Deze snelheid zal afhankelijk zijn van den aard der kali-houdende mineralen, die vermoedelijk niet alle even sterk aan verweering bloot staan; ook zullen de omstandigheden voor de verweering in de verschillende gronden wel niet steeds gelijk zijn. Om deze reden is het ook te verwachten, dat de snelheid, waarmede de kali-voorraad, geborgen in het adsorptie-complex, wordt aangevuld, kleiner zal worden naarmate de grond ouder wordt.

Nu is het bovendien nog mogelijk — vroeger werd hier reeds op gewezen —, dat de planten niet alleen met of zonder tusschenkomst der bodemvloeistof de kali uit het complex opnemen, maar dat de wortels ook in staat zijn zulks te doen door direct contact met de mineralen.

Een en ander overwegende komt men tot de conclusie, dat een direct verband tusschen het K_{HCl} -cijfer en het vermogen van den grond om in de kali-behoefte der gewassen te voorzien, nog niet zoo plausibel is en dat de vraag gesteld mag worden, of bedoeld cijfer voor de kleigronden een voldoende betrouwbare aanwijzer is om in de praktijk de toediening van kalimestoffen daarnaar te kunnen richten. Verder zou ik hier willen verwijzen naar de beschouwingen, welke op blz. 405, omtrent de beteekenis van het cijfer voor P-citroenzuur, werden gehouden.

Tabel 95 vermeldt de K_{HCl} -cijfers voor de verschillende grondlagen in 1938. Hetgeen hier in de eerste plaats opvalt is, dat het gehalte in 1938

TABEL 95

K_2O -gehalte ($\frac{n}{10}$ -HCl) der in September 1938 genomen grondmonsters

K_2O -content ($\frac{n}{10}$ -HCl) of the soil samples taken in September 1938

Laag (Layer)	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem. (Mean)
cm	%	%	%	%	%	%	%	%	%
0—15	0,016	0,018	0,014	0,016	0,012	0,018	0,017	0,015	0,0158
15—25	15	13	11	15	13	13	12	13	131
25—41	12	15	13	—	12	—	11	—	126
41—58	13	16	14	—	12	—	15	—	140
58—75	14	17	18	—	14	—	15	—	156
75—100	15	20	19	—	14	—	15	—	166

beslist lager is dan in 1918. Was in laatstgenoemd jaar het cijfer voor K_{HCl} gemiddeld 20,5 ¹⁾, in 1938 was het gemiddeld slechts 15.

Indien bedoeld cijfer als maatstaf zou mogen worden aangenomen voor het vermogen van den grond om in de kali-behoefte der gewassen te voorzien, dan zou men uit de bovengenoemde daling de conclusie moeten trekken, dat van 1918—1938, dus in 20 jaren, waarvan 5 waarin de grond een kali-bemesting ontving, dit vermogen belangrijk is afgenomen, hetgeen zonder meer niet kan worden aangenomen, daar het bij dezen goeden jongen zavelgrond wel hoogst onwaarschijnlijk klinkt.

Wat is nu de oorzaak van het dalen van het K_{HCl} -cijfer?

Zowel in 1918 als in 1938 werden ook de *uitwisselbare basen* bepaald. ²⁾ Vier monsters van den oorspronkelijken grond bevatten resp. 0,015, 0,017, 0,017 en 0,019, gemiddeld 0,017 % uitwisselbare kali. Van de in 1938 genomen monsters werden die van de 6 lagen der lysimeters 1 en 2 onderzocht; de resultaten vindt men in tabel 96. Ook bij de uitwisselbare kali vond dus een daling plaats; de daling bedraagt gemiddeld $17 - 11,3 = 5,7$ mg per 100 g grond, dus evenveel als bij het K_{HCl} -cijfer, waar zij 5,5 is.

TABEL 96

*Gehalte aan uitwisselbare kali in 1938**Exchangeable K_2O in 1938*

Laag (Layer)	1	2	Gemiddeld (Mean)
cm	%	%	%
0—15	0,012	0,015	0,0135
15—25	10	7	85
25—41	8	10	90
41—58	10	12	110
58—75	14	11	125
75—100	12	14	130

Gemiddeld
0,0113 % of
11,3 mg/100 g

De daling van het K_{HCl} -cijfer komt dus neer op een daling der hoeveelheid uitwisselbare kali in het adsorptie-complex. Met $\frac{n}{10}$ -HCl gaat ook in hoofdzaak uitwisselbare kali in oplossing, maar blijkbaar ook wat kali in anderen bindingsvorm, want het cijfer voor K_{HCl} ligt wat hooger.

¹⁾ Bij onderzoek ten behoeve van de praktijk is het gebruikelijk het gehalte aan $\frac{n}{10}$ -HCl oplosbare kali, aangeduid door $K-HCl$ niet aan te geven in procenten, doch in mg per 100 g drogen grond.

²⁾ Door extractie van den grond met $BaCl_2$ (zie blz. 524).

Hoe komt het nu, dat het gehalte aan uitwisselbare kali gedaald is? De cijfers voor de uitwisselbare basen in tabel 97 geven, naar 't mij wil voorkomen, op deze vraag een antwoord.

TABEL 97

*Uitwisselbare basen in den grond der lysimeters in 1918 en in 1938
(lysimeters 1 en 2)*

Exchangeable bases in the soil of the lysimeters 1 and 2 in 1918 and in 1938

Analyse	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
	%	%	%	%
		1918		
1	0,367	0,010	0,015	0,007
3	380	13	17	5
6	372	9	17	6
9	358	12	19	6
Gemiddeld . .	0,369	0,011	0,017	0,006
mE per 100 g	13,17	0,55	0,36	0,19
In % v. totaal	92,3	3,9	2,5	1,3

Laag (Layer)	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
cm	%	%	%	%	%	%	%	%
	1938 — lysimeter 1				1938 — lysimeter 2			
0—15 . . .	0,384	0,003	0,012	0,004	0,375	0,005	0,015	0,005
15—25 . . .	388	8	10	3	397	11	7	3
25—41 . . .	386	8	8	2	378	7	10	5
41—58 . . .	387	5	10	3	382	9	12	4
58—75 . . .	390	7	14	4	382	7	11	4
75—100 . . .	390	10	12	4	382	8	14	3
Gemiddeld . .	0,388	0,007	0,011	0,003	0,383	0,008	0,012	0,004
mE per 100 g	13,82	0,34	0,23	0,11	13,65	0,39	0,24	0,13
In % v. totaal	95,3	2,3	1,6	0,8	94,7	2,7	1,7	0,9

Uit deze cijfers blijkt n.l., dat van 1918—1938 het gehalte aan uitwisselbare kalk is gestegen en dat aan de drie andere uitwisselbare basen is gedaald, tengevolge van, naar men wel mag aannemen, het in oplossing gaan als nitraat en sulfaat van belangrijke hoeveelheden kalk tijdens de krachtige nitrificatie en sulfocatie in den grond,

Als men dit bedenkt, dan is het zeer de vraag, of de daling van het K_{HCl}-cijfer van 20,5 tot 15 en die voor de uitwisselbare kali van 17 tot 11,3, wel

duidt op een vermindering van het vermogen van den grond om de gewassen van kali te voorzien. Zou men het adsorptie-complex willen beschouwen als het pakhuis, waarin de direct aan de planten leverbare kali is opgeslagen, dan volgt uit hetgeen hierboven werd gezegd, dat in dit pakhuis slechts minder direct afleverbare kali kon worden opgeslagen, omdat een grootere ruimte door opslag van meer kalk werd ingenomen.

Aan het pakhuis — d. i. adsorptie-complex — is verder niets veranderd; de levering van kali aan de planten kan even vlot verlopen als vroeger, mits de geregelde aanvulling van den voorraad maar even vlot blijft voortgaan als vroeger.

Tenslotte zij nog even opgemerkt, dat bij de cijfers voor K_{HCl} en voor de uitwisselbare kali vanaf de bouwvoor naar beneden eerst een daling en vervolgens weer een stijging plaats heeft. Het gehalte aan uitwisselbare kalk en magnesium is daarentegen bij de bouwvoor het laagst, hetgeen mogelijk met de krachtiger uitlooiing dezer laag verband houdt. Mogelijk heeft hier ook nog het omhoog brengen van kali met wortels en stoppels, misschien ook nog de in de jaren 1927 t/m 1931 toegepaste kalibemesting een rol gespeeld.

§ 6. HET NATRIUM (Na_2O)

a. *Inleiding; beschouwingen over den natrium-voorraad in den grond*

In 1918 bleek de grond als gemiddelde van 10 analyses 0,019 % in 5 proc.-HCl oplosbaar Na_2O te bevatten. De bepaling van deze kleine hoeveelheden natrium levert blijkbaar moeilijkheden op; de overeenstemming tusschen de duplo-analyses liet meermalen wat te wenschen over. Bij de onderzochte 10 monsters uit 1918 schommelden de gevonden waarden tusschen 0,016 en 0,022 %.

Uitgaande van het gemiddelde gehalte van 0,019 % zou gemiddeld per lysimeter (= 1406,42 kg droge grond) 267,2 g Na_2O aanwezig zijn, dat is per ha en tot 1 m diepte 2997 kg.

Volgens tabel 59 bedroeg het gemiddelde jaarlijksche verlies 90 kg (met praktijkooigsten 88 kg), de gemiddelde jaarlijksche winst 75 kg/ha (tabel 66); de bovengenoemde voorraad zou dus voor 200 jaar toereikend zijn. Op het vrije veld, op zekeren afstand van de kust, moet de winst met het regenwater echter 33 kg lager gesteld worden (tabel 63); het gemiddelde jaarlijksche verlies zou dan, onder overigens gelijke omstandigheden als bij de lysimeters, $88 - 42 = 46$ kg zijn, zoodat de voorraad, welke in 1918 aanwezig was, reeds na 65 jaren uitgeput zou zijn. ¹⁾

¹⁾ Zie noot blz. 408.

In hoofdstuk II, § 7, werd erop gewezen, dat de grond aanvankelijk door een bijzondere omstandigheid bijzonder rijk was aan in water oplosbare natriumverbindingen en dat de uitgespoelde hoeveelheden in den loop der jaren duidelijk kleiner werden. Verder wees ik erop, dat tengevolge van de voortdurende aanraking met keukenzouthoudend grondwater, het gehalte aan geadsorbeerd natrium vermoedelijk hooger zou zijn dan bij een goed uit het water liggenden zavelgrond meerdere tientallen jaren na de bedijking te verwachten is. Langzamerhand zullen in dit opzicht meer normale omstandigheden intreden en dientengevolge zullen de natriumverliezen met het drainwater geringer worden. In hoeverre het gehalte aan in 5-proc. HCl oplosbaar Na_2O hierbij zal dalen, is niet vooruit te zeggen; tot 1938 heeft er althans nog geen merkbare daling plaats gevonden. Het is mogelijk, dat er door verweering der mineralen steeds opnieuw Na_2O in zoutzuur oplosbaar wordt en het gehalte daaraan op peil blijft; dit kan slechts bij later onderzoek van den grond blijken. Slechts een klein deel van dit natrium (ongeveer $\frac{1}{5}$; zie tabel 97) is adsorptief gebonden.

De bron, waaruit de in 5-proc. HCl oplosbare voorraad Na_2O kan aangevuld worden, is zeer rijk. In 1918 bevatte de grond n.l. 0,855 % totaal- Na_2O (gemiddelde van twee goed overeenstemmende analyses). Deze hoeveelheid is 45 maal grooter dan die aan in zoutzuur oplosbaar Na_2O ¹⁾. Indien deze voorraad langzamerhand ter beschikking zou komen, zoo zou hij bij de verliezen, welke de grond van 1924—1933 leed, toereikend zijn voor 9000 jaar en in het vrije veld voor ongeveer 3000 jaar. Reden voor ongerustheid behoeft er in dit geval dus niet te zijn, te minder, als men bedenkt, dat de verliezen in de beschouwde periode zich nog in dalende richting bewogen. Maar ook in geval het natrium der mineralen niet in den meer oplosbaren vorm zou overgaan, zou er geen reden tot ongerustheid bestaan, daar men op het vrije veld op een jaarlijkschen toevoer met den regen van 25 kg Na_2O per ha kan rekenen, terwijl door de gewassen slechts gemiddeld 23 kg wordt opgenomen.

Nu is het echter wel de vraag, of het voor de productiviteit van den grond niet nadeelig zou zijn, indien de toevoer van Na_2O uit de mineralen ophield of sterk verminderde en de gewassen dus slechts aangewezen zouden zijn op het door den regen aangevoerde natrium. Ik meen te mogen zeggen, dat onder deze omstandigheden maximale opbrengsten niet mogelijk zouden zijn; ik verwijs hier naar hoofdstuk I, § 7c. Het natrium heeft, in den grond gebracht, ongetwijfeld een bepaalden invloed op den plantengroei: de veelal hogere opbrengsten met natriumnitraat, ook in vergelijking met calciumnitraat ver-

¹⁾ Bij K_2O is deze verhouding als 8 : 1.

kregen, bewijzen dit. Of bij jonge klei- en zavelgronden dit effect niet optreedt, is niet bekend. Een vergelijkend onderzoek van oude en jonge kleigronden, van gronden dicht aan zee en verder landwaarts in gelegen, ten opzichte van hun gedrag bij bemesting met natriumzouten, is gewenscht.

Het valt te betwijfelen, of het natrium in onze meststoffen wel te beschouwen is als een „ballast-stof”, die men zoo gauw mogelijk moet trachten kwijt te raken. Al nemen de gewassen als regel slechts weinig natrium op, toch is het mogelijk, dat de wortels zekere eischen stellen aan de natrium-concentratie van het milieu, waarin ze groeien; men denke aan de rol van het natrium in de lichaamsvochten van het dierlijk lichaam. Natrium kan kalium tot op zekere hoogte vervangen, maar daarin schuilt waarschijnlijk de physiologische beteekenis van het natrium niet uitsluitend, want ook bij voldoende kali-voorziening werkt natrium-nitraat veelal beter (53).

Voor de literatuur betreffende dit onderwerp zij verwezen naar het werk van NIKLAS (68, Bd. III, blz. 301—305, Bd. V, blz. 202) en naar n°. 99 der literatuurlijst, blz. 381—400. Hier zij slechts vermeld, dat ATTERBERG reeds in 1891, op grond zijner proeven, op de beteekenis van natriumzouten in de kunstmeststoffen, meer in 't bijzonder de Stassfurterzouten, meende te moeten wijzen (1a, blz. 642).

b. *Het gehalte aan Na_2O , oplosbaar in 5-% zoutzuur, in 1918 en in 1938*

Als gemiddeld gehalte voor 10 der monsters, welke in 1918 tijdens het vullen der lysimeters genomen werden, werd 0,019 % gevonden (0,016—0,022 %). De in 1938 gevonden cijfers zijn vermeld in tabel 98. Meerdere

TABEL 98

Na_2O -gehalte (opl. in 5-% HCl) der in 1938 genomen monsters
 Na_2O -content (sol. in 5-% HCl) of the soil samples taken in 1938

Laag (Layer)	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem. (Mean)
cm	%	%	%	%	%	%	%	%	%
0—15	0,016	0,018	0,017	(0,025)	0,022	0,022	(0,022)	(0,023)	0,021
15—25	16	(22)	17	(19)	16	19	18	22	19
25—41	17	16	—	(14)	15	—	20	—	16
41—58	17	18	—	22	16	—	(26)	—	20
58—75	(13)	20	—	16	17	—	(21)	—	17
75—100	18	16	—	23	16	—	22	—	19

dezer cijfers zijn tusschen haakjes geplaatst, omdat zij gemiddelden zijn van minder goed overeenstemmende uitkomsten, verkregen bij duplo-analyses, of omdat zij in verband met de overige cijfers minder vertrouwen verdienen.

Het gemiddelde van alle cijfers is gelijk aan het gehalte-cijfer, dat voor den oorspronkelijken grond gevonden werd, n.l. 0,019 %, waaruit men in ieder geval toch wel mag afleiden, dat er sedert 1918 geen merkbare verandering is gekomen in het gehalte van den grond aan in 5-% HCl oplosbaar natrium. Gezien de verliezen, welke de grond leed, zou dit wel het geval geweest moeten zijn.

Deze verliezen zijn vermeld in tabel 99.

TABEL 99

Na₂O-voorraad (5-% HCl) in 1918 en de geleden verliezen (grammen)

Na₂O-supply (5-% HCl) in 1918 and Na₂O-loss in the period 1918—1938 (g)

	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem. (Mean)
Aanwezig (Present) in 1918	267,6	267,6	272,2	269,6	262,4	265,3	264,6	268,5	267,2
Verlies ¹⁾ (Loss) .	46,3	32,3	45,2	30,9	42,3	47,1	39,4	38,6	40,3
	221,3	235,3	227,0	238,7	220,1	218,2	225,2	229,9	226,9

Gemiddeld bedraagt het verlies 15 % van den in 1918 aanwezigen voorraad Na₂O. Indien het verlies dus uitsluitend ten koste van dezen voorraad had plaats gehad, en de voorraad ondertusschen niet werd aangevuld, zoo zou het gehalte van 0,019 op 0,016 % gedaald moeten zijn. Men mag dus wel aannemen, zooals trouwens wel te verwachten is, dat de in 5-proc. HCl oplosbare natriumvoorraad voortdurend vanuit de mineralen werd aangevuld.²⁾

Uit tabel 97 blijkt, dat het gehalte aan uitwisselbaar natrium, evenals dat aan kalium, door uitwisseling tegen Ca gedaald is.

Ik vestig er nog de aandacht op, dat volgens tabel 99 de Na₂O-verliezen der van 1923—1933 met NaNO₃ bemeste lysimeters 2 en 4 aanmerkelijk kleiner zijn dan die der overige lysimeters. Hieruit volgt, dat de Na-winst van deze beide lysimeters door de genoemde bemesting, tot 1938 nog niet gecompenseerd werd door verhoogde verliezen in drainwater en gewas, niet-tegenstaande in 1938 de grond reeds gedurende 5 jaren geen nieuwe bemesting met NaNO₃ meer ontving. Voor 2 en 4 bedraagt het gemiddelde verlies aan Na₂O 31,6 g, voor de overige lysimeters 43,15 g. Voor 2 en 4 was het verlies dus 11,55 g kleiner, terwijl zij volgens tabel 64 met de bemesting

¹⁾ Zie noot tab. 93.

²⁾ Of er bij den grond in de Dollardpolders, waar het uitloogingsproces reeds zooveel langer duurde, een daling is opgetreden, is niet bekend, daar de monsters nog niet op Na₂O-gehalte onderzocht werden.

87,415 — 13,535 = 73,88 g meer Na_2O ontvingen. Bij deze lysimeters was dus in 1938 nog 16 % van de meerdere natrium-bemesting in den grond aanwezig, niettegenstaande de grond in de 5 voorafgaande jaren geen bemesting meer ontving; op blz. 272 kwam ik door een eenigszins andere berekening tot hetzelfde resultaat.

Hieruit blijkt dus, dat het natrium, hetwelk met de meststoffen in den grond gebracht wordt, met aanmerkelijke vertraging wordt uitgespoeld, waarbij de adsorptie door den grond zeker een rol zal spelen. Voor de teekenis van dit verschijnsel verwijs ik naar blz. 272 en 273.

§ 7. HET CALCIUM (CaO en CaCO_3)

a. Het gehalte aan in 10-proc. HCl oplosbaar CaO

Als gemiddeld CaO -gehalte, oplosbaar in 10-proc. HCl , werd bij 25 analyses in 15 der in 1918 genomen grondmonsters 5,345 % ¹⁾ gevonden. Met dit cijfer laten zich de in tabel 100 genoemde hoeveelheden CaO berekenen, welke in 1918 in de lysimeters aanwezig waren. In deze tabel zijn tevens de van 1918—1938 geleden kalkverliezen vermeld.

TABEL 100

CaO-voorraden (10-% HCl) in 1918 en geleden verliezen (g)
CaO-supply (10-% HCl) in 1918 and losses in the period 1918—1938 (g)

	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem. (Mean)
Aanwezig (Present) in 1918	75 279,0	75 269,9	76 566,1	75 852,0	73 824,6	74 628,0	74 429,7	75 534,5	75 173,1
Verlies ²⁾ (Loss) in 1918—1938	1 612,8	1 578,7	1 656,2	1 578,6	1 598,3	1 575,9	1 497,8	1 465,4	1 570,5
	73 666,2	73 690,5	74 909,9	74 273,4	72 226,3	73 052,1	72 931,9	74 069,1	73 602,6

Heeft de aard der N-bemesting invloed gehad op het kalkverlies in den grond? De gemiddelde verliezen waren:

Lysimeters	N-bemesting	CaO-verlies	
		g	%
1 en 5	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	1605,6	101,7
2 „ 4	NaNO_3	1578,7	100
3 „ 6	NH_4NO_3	1616,1	102,4
7 „ 8	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	1481,6	98,1

¹⁾ Bij ontsluiting van de monsters A_1 , N_1 en W_1 werd gemiddeld 5,71 % totaal- CaO gevonden, dus ongeveer 7 % meer.

²⁾ Zie noot tab. 93.

7 en 8 verloren de kleinste hoeveelheid kalk, maar dit is ten deele het gevolg van toevoer van 66,8 g CaO met de stikstoffbemesting¹⁾. De cijfers zouden er misschien verder op kunnen wijzen, dat de bemesting met ammoniumsulfaat en -nitraat de kalkuitspoeling iets bevordert heeft. De verschillen zijn echter gering en laten geen vaststaande conclusie toe.²⁾ In hoofdstuk I, § 8b, kwam ik trouwens reeds op grond van de beschouwing der cijfers voor het gehalte aan CaO van het drainwater tot de conclusie, dat de genoemde zouten de kalkuitspoeling niet bevordert hadden. De verklaring van dit onverwachte resultaat was naar mijn meening hierin gelegen, dat in den grond door de aanwezigheid van een ruimen voorraad CaCO_3 en een krachtige CO_2 -productie steeds en overal een vloeistof, rijk aan calcium-bicarbonaat, aanwezig is. De uit de bovengenoemde bemestingszouten gevormde zuren, zwavelzuur en salpeterzuur, worden derhalve onmiddellijk gebonden door kalk, welke zich reeds in oplossing bevindt, en zij brengen geen nieuwe kalk in oplossing. Bij gronden, welke geen CaCO_3 bevatten en bij die, welke weliswaar CaCO_3 bevatten doch waarbij deze, b.v. tengevolge van geringe CO_2 -productie, slechts spaarzaam oplost, zouden, zoo betoogde ik, de feiten waarschijnlijk anders liggen.³⁾

Tabel 101 geeft de gehaltcijfers voor de verschillende lagen in 1938. Uit deze cijfers blijkt, dat het kalkgehalte der beide bovenste lagen gedaald is. Bij de laag 25—41 cm is het gehalte gemiddeld vrijwel onveranderd gebleven, terwijl in de daaropvolgende lagen, op enkele uitzonderingen na, iets hogere cijfers gevonden werden.

Zooals te verwachten was, is het kalkverlies in de bouwvoor (0—15 cm) het grootst. Gemiddeld nam het CaO-gehalte in 20 jaar met $5,345 - 5,015 = 0,330\%$ af, hetgeen neerkomt op 1% CaO in 61 jaar, een snelheid van ont-kalking, welke wat kleiner is dan die in de Dollardpolders. Voor de Dollard-klei berekende ik n.l. indertijd (53, blz. 615, tabellen 32 en 33) uit de verschillen in kalkgehalte der polders van verschillenden ouderdom een snelheid van

¹⁾ Ook het als regel geringere drainwaterdebiet van deze lysimeters kan oorzaak zijn van een geringere uitspoeling.

²⁾ Men moet zich trouwens van de mogelijk meerdere kalkuitspoeling door de bemesting met amm.sulfaat geen overdreven voorstelling maken. Indien al het, uit het van 1923—1933 gegeven amm.sulfaat, gevormde zwavelzuur met extra kalk ware uitgespoeld, zoo zou het meerdere kalkverlies slechts 66,8 g CaO per lysimeter bedragen hebben, d.i. 4% van de hoeveelheid, welke bij de lysimeters 2 en 4 uitspoelde. De invloed der bemestingszouten in deze richting zal dus eerst na een veel langer tijdsverloop dan 20 jaren met zekerheid kunnen worden vastgesteld.

³⁾ Aan de oppervlakte van den grond is bevordering der kalkuitspoeling door zwavelzuren ammoniak misschien wel steeds mogelijk. Uit de cijfers in tabel 101 voor de bouwvoor der lysimeters 1 en 5 blijkt hiervan echter niets.

TABEL 101

CaO-gehalte (10-% HCl) der in 1938 genomen grondmonsters
CaO-content (10-% HCl) of the soil samples taken in 1938

Laag (Layer)	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem. (Mean)
cm	%	%	%	%	%	%	%	%	%
0—15	5,04	5,00	5,04	5,00	5,01	4,96	5,04	5,03	5,015
15—25	5,34	5,22	5,27	5,24	5,32	5,31	5,30	5,27	5,284
25—41	5,34	5,36	5,35	5,28	5,34	—	5,37	—	5,340
41—58	5,34	5,41	5,39	5,32	5,35	—	5,38	—	5,365
58—75	5,33	5,38	5,39	5,32	5,37	—	5,38	—	5,362
75—100	5,40	5,41	5,41	5,35	5,42	—	5,40	—	5,398

1 % CaO in 43—46 jaar voor de laag 0—20 cm, van 1 % in 51 jaar voor de laag 20—40 cm.

De indertijd in de Dollardpolders gevonden gehalte-cijfers vindt men in de tabellen 102 en 103. Deze cijfers doen ook duidelijk zien, dat in de eerste plaats de bovenste grondlaag ontkalkt wordt. Verder valt bij de cijfers uit tabel 102 op, dat de stijging van het CaO-gehalte zich slechts voortzet tot in de laag 20—40 of hoogstens tot in de laag 40—70 cm, om vervolgens weer te dalen. Ook bij de in de tabel niet vermelde diepere grondlagen (tot 220 cm) komen, voor zoover onderzocht, de hogere cijfers niet meer terug. Maar daar heeft men, blijkens het zandgehalte (ibid., tabel 37, blz. 626) met grond van een geheel andere samenstelling te doen, zoodat vergelijking niet wel mogelijk is.

Ware hier sprake van een zuiver uitloogingsproces, dan mocht men een gestadige toeneming van het gehalte tot op grootere diepte verwachten. Men vraagt zich dus af, of men hier niet te doen heeft met de resultaten van meerdere processen en wel: 1°. het in oplossing gaan van CaCO_3 in de bovenlaag, 2°. het afzetten van een deel der opgeloste kalk op zekere diepte, waar de spanning van het CO_2 geringer is, 3°. het onttrekken van kalk door de gewassen aan den ondergrond terwijl een deel dezer kalk met de stoppels in de bouwvoor achterblijft, en 4°. bevordering van het oplossingsproces in den ondergrond door het langer in contact blijven der koolzure kalk met het koolzuurhoudende grondwater.¹⁾

Het spreekt vanzelf, dat men van deze differentiatie ten aanzien van het CaO-gehalte in het profiel der lysimeters nog niets bespeurt; een tijdsruimte van 20 jaren is daarvoor te klein.

¹⁾ In een volgende publicatie hoop ik aan de hand der resultaten van een omvangrijker profielonderzoek op deze kwestie terug te komen.

TABEL 102

CaO-gehalte (10-% HCl) van opeenvolgende grondlagen in de Dollardpolders (onderzoek omstreeks 1920)

CaO-content (10-% HCl) of the successive soil layers in the Dollardpolders (estimated about 1920)

Laag (Layer)	Nieuwland 1701		Oostwolder- polder 1769			Finsterwolder- polder 1819				Reider- wolder- polder 1862 P ₆	Klei < 16 μ
	P ₆	P ₈	P ₄	P ₇	P ₁₈	West		Oost			
						P ₁	P ₁₁	P ₁	P ₁₂		
cm	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
0—20 . .	1,81	1,64	3,74	3,86	3,82	5,11	5,07	5,31	5,09	5,64	75
20—40 . .	3,35	2,80	5,99	5,14	5,46	6,19	6,34	6,44	6,36	6,41	77
40—70 . .	4,77	4,67	5,71	6,10	5,31	6,33	6,18	6,55	6,58	6,33	78
70—100 . .	4,78	3,56	5,06	5,48	4,75	6,08	5,97	6,14	6,07	—	75
100—130 . .	4,27	3,67	4,38	4,59	4,37	5,93	5,86	5,58	5,49	—	71

In tabel 103 zijn de CaO-cijfers opgenomen, welke bij het meergenoemde omvangrijke Dollard-onderzoek gevonden werden. Deze cijfers hebben betrekking op een groot aantal monsters voor iederen polder en vormden dus, mede gezien de groote gelijkmatigheid van den grond, een betrouwbare basis voor de berekening van de snelheid, waarmede de Dollardklei haar kalk verliest. De diepere grondlagen zijn echter nog niet onderzocht.

TABEL 103

CaO-gehalte (10-% HCl) van den grond in de westelijke Dollardpolders omstreeks 1920

CaO-content (10-% HCl) of the soil in the western Dollardpolders about 1920

Polders	Bedijkt in: (Diked in :)	CaO (10-% HCl)		Zand > 16 μ		Aantal monsters (Number of samples)
		0—20 cm	20—40 cm	0—20 cm	20—40 cm	
	Jaar (Year)					
Oud-Nieuwland	1665	1,52	2,64	24,0	19,6	25
Nieuwland	1701	2,10	3,34	18,1	14,1	53
Oostwolderpolder	1769	3,88	4,81	20,0	17,5	43
Finsterwolderpolder	1819	5,04	5,78	19,7	19,9	27
Reiderwolderpolder A	1862	5,53	6,39	20,4	20,1	20
Reiderwolderpolder B	1874	5,91	6,43	35,5	30,4	6

Over 't algemeen zijn deze cijfers goed in overeenstemming met die voor de beide bovenste lagen in tabel 102; bij de laatste cijfers loopt men natuurlijk kans op toevallige plaatselijke verschillen.

Zou de ontkalking der bouwvoor in de lysimeters met onverminderde snelheid voortgaan (1 % in 61 jaar), dan zou de bouwvoor na 325 jaar van alle kalk beroofd zijn. Nu zal deze snelheid vermoedelijk, zoolang er nog een zekere voorraad fijn verdeelde koolzure kalk in den grond aanwezig is, niet veel veranderen, hetgeen ook uit de cijfers voor de Dollardpolders blijkt. Maar daalt de voorraad beneden die grens, zoodat het wegzakkende water niet steeds overal in den grond met deeltjes CaCO_3 in aanraking is, of indien de achtergebleven deeltjes minder gemakkelijk oplosbaar worden, doordat ze grover of door beschermende huidjes (humus, ijzeroxyde) omgeven zijn, dan zal het oplossings- en uitloogingsproces langzamer gaan verlopen. BRUIN (12, blz. 703) noemt nog een andere reden voor de vertraging der kalkuitspoeling in de kalkarmere kleigronden, n.l. het meer op den voorgrond treden van de moeilijker oplosbare Ca-Mg-carbonaten, wanneer het totaalgehalte aan carbonaten tot beneden 2 % is gedaald. Men treft dan ook in vele onzer oude klei- en zavelgronden nog meerdere tiende procenten koolzure kalk aan.

Is de ontkalking zoover gevorderd, dan zal er ook kalk onttrokken worden, welke adsorptief aan klei en humus gebonden is en dit is een proces, dat veel langzamer verloopt dan de oplossing der koolzure kalk. Ware dit niet het geval en zou de ontkalking ook dan nog met onverminderde snelheid doorgaan, dan zou de totale hoeveelheid kalk, welke volgens tabel 100 tot 1 m diepte in de lysimeters aanwezig is, gezien de volgens deze tabel in 20 jaar verdwenen hoeveelheid kalk, in rond 1000 jaar totaal verbruikt zijn. Dat dit geenszins het geval is, leert het onderzoek van onze oudste kleigronden.

Over de totale ontkalking van den grond behoeven we ons dus niet ongerust te maken. Maar reeds vóór alle koolzure kalk uit de bouwvoor verdwenen is, vormt de betrekkelijke kalkarmoede een nadeel (structuurverval), dat echter door bekalking verholpen kan worden. Hier rijst echter de vraag — en deze vraag is van belang voor de landbouwpraktijk —, of er ondertusschen in den grond bij het verouderingsproces geen voor de cultuur ongunstige veranderingen zijn opgetreden, welke door bekalking niet meer hersteld kunnen worden en of deze veranderingen mogelijk, zij het ook slechts ten deele, voorkomen zouden kunnen worden, indien men reeds in een veel vroeger stadium van het ontkalkingsproces begint met door geregelde bekalking een hooger kalkpeil, b.v. van een paar procent CaCO_3 , te handhaven.

Tabel 104 vermeldt de met behulp der tabellen 69¹⁾ en 101 berekende hoeveelheden CaO, welke in 1938 in de lysimeters aanwezig waren; hiervan zijn afgetrokken de hoeveelheden, welke volgens tabel 100 aanwezig zouden moeten zijn.

TABEL 104

CaO-voorraad (10-% HCl), aanwezig in 1938 (kg)

CaO-supply (10-% HCl) present in 1938 (kg)

	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem. (Mean)
Aanwezig (Present) in 1938	74,396	74,500	75,894	74,352	73,055	73,672	73,780	74,658	74,289
Volgens (According to) tabel 100	73,666	73,691	74,910	74,273	72,226	73,052	72,932	74,069	73,603
Verschil (Diffe- rence)	0,730	0,809	0,984	0,079	0,829	0,620	0,848	0,589	0,686

Deze cijfers leeren, dat er volgens analyse 686 g, d. i. 0,9 %, meer CaO aanwezig was dan volgens tabel 100 het geval zou moeten zijn. Dit verschil zou ontstaan kunnen zijn, doordat bij de berekening van den voorraad in 1918 van een iets te laag CaO-gehalte werd uitgegaan; ware voor het gehalte niet 5,345 %, doch 5,394 % gevonden, dan zou de rekening precies geklopt hebben. Het gebruikte gehaltecijfer, gemiddelde van 25 analyses in 15 verschillende monsters en met een middelbare fout van slechts $\pm 0,012$ %, verdient echter voldoende vertrouwen. De fout zou ook kunnen schuilen in de analyses, uitgevoerd in de monsters van 1938, maar aangezien de berekening berust op de uitkomsten van 44 analyses, die op dezelfde wijze als bij de monsters uit 1918 werden uitgevoerd, is ook dit minder waarschijnlijk.

Er blijven nu nog twee mogelijke oorzaken over. Ten eerste de wijze, waarop de gewichtsvermindering van den grond door humusomzetting, uitspoeling en onttrekking van bestanddeelen van den grond door de gewassen, in rekening werd gebracht. Aangenomen werd, dat dit gewichtsverlies, in totaal 0,49 % van het totale gewicht, gelijkelijk in alle grondlagen plaats vond. Dit zal wel niet juist zijn; men mag wel aannemen, dat uitspoeling en onttrekking door de gewassen bij de bovenste lagen groter geweest zullen zijn dan bij de diepere lagen. Maar indien men daarmede rekening zou kunnen houden, zoo zou men, daar de bovenste lagen in 1938 het kalkarmst waren,

¹⁾ De gewichtshoeveelheden uit deze tabel zijn weer verminderd met 0,49 % voor gewichtsverlies van den grond sedert 1918.

voor 1938 nog een grooteren kalkvoorraad gevonden hebben; het verschil zou dus nog grooter geworden zijn.

Tenslotte bestaat dan de mogelijkheid, dat er van de kalk, welke in 1918 niet in HCl oploste ($5,71 - 5,345 = 0,365\%$) in de jaren 1918 tot 1938 een gedeelte oplosbaar is geworden. Deze verklaring heeft n. m. m. een groote mate van waarschijnlijkheid. Het spreekt echter vanzelf, dat men ook met een combinatie van alle hier besproken factoren te maken kan hebben.

b. *Het gehalte aan carbonaten (CaCO_3)*

De bepaling van het gehalte aan CaCO_3 in grond, door middel eener CO_2 -bepaling, levert moeilijkheden op, daar het koolzuur in den grond niet uitsluitend aan kalk gebonden is. Men vindt bij de bepaling van het CO_2 -gehalte diensgevolge met zoutzuur hogere cijfers dan met azijnzuur. Een onderzoek van BRUIN en TEN HAVE (11) heeft met een groote mate van waarschijnlijkheid aangetoond, dat de oorzaak hiervan te zoeken is in de aanwezigheid in onze zee- en rivierkleigronden van een moeilijk aantastbare verbinding $(\text{CaMg})\text{CO}_3$. Bepaalt men het koolzuur met behulp van azijnzuur en rekent men het gevonden CO_2 om op CaCO_3 , dan vindt men te lage uitkomsten, terwijl men bij aanwending van zoutzuur in sterkere mate te hooge uitkomsten vindt.

Bij het onderzoek van den grond uit de lysimeters zijn beide methoden toegepast; de hierbij verkregen resultaten zullen achtereenvolgens besproken worden.

De gehaltecijfers voor CaCO_3 -azijnzuur van 15 der in 1918 genomen monsters lagen tusschen 7,71 en 8,25 %; het gemiddelde bedroeg 7,935 %.

In 1938 werden de in tabel 105 genoemde gehalten gevonden.

TABEL 105

CaCO_3 -gehalten (azijnzuur) in 1938

CaCO_3 -content (estimated with acetic acid) in the soil samples taken in 1938

Laag (Layer)	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem. (Mean)
cm	%	%	%	%	%	%	%	%	%
0—15	7,28	7,28	7,32	7,38	7,44	7,32	7,55	7,30	7,359
15—25	7,91	7,98	7,81	7,93	7,85	7,88	7,83	7,88	7,884
25—40	7,91	8,00	7,98	7,91	7,71	—	7,90	—	7,902
40—58	8,03	8,02	8,05	7,93	7,92	—	7,89	—	7,973
58—75	8,01	8,05	8,00	7,97	7,97	—	7,93	—	7,988
75—100	8,05	8,01	8,14	8,02	7,97	—	7,82	—	8,002

De bouwvoor heeft dus in de eerste 20 jaren $7,935 - 7,359 = 0,58\%$ CaCO_3 verloren, hetgeen overeenkomt met 1% CaCO_3 in 34 jaar, of 1% CaO in 61 jaar; uit de daling van het gehalte aan CaO viel eveneens een verlies van 1% CaO in 61 jaar af te leiden.

Tot 41 cm diepte schijnt het carbonaat-gehalte nog iets gedaald te zijn; op grotere diepte wordt het oorspronkelijke gehalte iets overschreden.

Gebruikt men bij de carbonaat-bepaling volgens SCHEIBLER *zoutzuur* in plaats van azijnzuur, dan vindt men, zooals steeds bij onze kleigronden het geval is, aanmerkelijk hogere cijfers bij omrekening op CaCO_3 . In de monsters uit 1918 werd op deze wijze gemiddeld $9,567\%$ CaCO_3 gevonden, als gemiddelde van 9 bepalingen liggende tusschen $9,34-9,83\%$, dus $1,63\%$ hooger dan met azijnzuur gevonden werd.

In tabel 106 zijn de gehaltecijfers voor 1938 vermeld. Dat deze cijfers niet het ware gehalte aan CaCO_3 aangeven, blijkt duidelijk hieruit, dat, als men deze cijfers omrekent op CaO , men waarden vindt, welke op enkele na nog iets grooter zijn dan die, welke voor totaal- CaO (tabel 101) gevonden werden, terwijl de grond nog vrij wat uitwisselbare kalk en andere kalkverbindingen bevat.

TABEL 106

CaCO₃-gehalten in 1938, bepaald met HCl

CaCO₃-content in 1938, estimated with HCl

Laag (Layer)	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem. (Mean)	
										Hooger dan met azijnz.
cm	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
0—15	9,04	8,96	8,77	8,89	8,95	9,05	8,91	8,89	8,933	1,574
15—25	9,65	9,49	9,47	9,41	9,65	9,59	9,60	9,44	9,538	1,654
25—41	9,71	9,52	9,84	9,57	9,72	—	9,57	—	9,655	1,753
41—58	9,79	9,55	9,95	9,49	9,71	—	9,65	—	9,690	1,717
58—75	9,83	9,57	9,66	9,56	9,70	—	9,65	—	9,662	1,674
75—100	9,71	9,64	9,80	9,61	9,76	—	9,58	—	9,667	1,665

Ook deze cijfers toonen aan, dat voornamelijk de bovenlaag carbonaten verloren heeft, n.l. $0,634\%$, overeenkomend met 1% in 32 jaar. In de volgende laag is het gehalte nog iets afgenomen, maar bij de lagen onder 25 cm worden iets hogere gehalten gevonden, evenals bij CaCO_3 -azijnzuur. Duidt dit mogelijk op afzetting van in de bovenlaag opgelost CaCO_3 in diepere lagen, waar de CO_2 -spanning lager is?

Uit de onderzoekingen van BRUIN en TEN HAVE (11) is gebleken, dat de hoogere cijfers, welke men bij aanwending van HCl voor de bepaling der carbonaten vindt, toegeschreven moeten worden aan de aanwezigheid van MgCO_3 in den grond. Rekent men nu de voor het gehalte aan MgO gevonden cijfers (tabel 111), verminderd met die voor het uitwisselbare MgO (tabel 97), om op CaCO_3 en trekt men de aldus gevonden waarden af van die in de vorige tabel, dan zou men dus de werkelijke gehaltecijfers voor CaCO_3 moeten vinden.¹⁾ Deze laatste cijfers vindt men in tabel 107.

In 1918 bevatte de grond 0,836 % in HCl oplosbaar en 0,011 % uitwisselbaar MgO (tabel 97). Aangenomen wordt, dat het verschil, 0,825 %, als carbonaat aanwezig was, overeenkomende met $0,825 \times \frac{100,1}{40,3} = 2,05 \%$ CaCO_3 . Het werkelijke CaCO_3 -gehalte zou in 1918 dus $9,567 - 2,05 = 7,517 \%$ zijn geweest.

TABEL 107

CaCO_3 -HCl na aftrek van MgCO_3 , omgerekend op CaCO_3

CaCO_3 -HCl after deducting of MgCO_3 calculated into CaCO_3

Laag (Layer)	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem. (Mean)
cm	%	%	%	%	%	%	%	%	%
0—15	6,81	6,81	6,59	6,74	6,80	6,87	6,73	6,71	6,758
15—25	7,51	7,28	7,26	7,27	7,56	7,50	7,46	7,28	7,390
25—41	7,49	7,38	7,67	7,48	7,50	—	7,35	—	7,478
41—58	7,65	7,43	7,83	7,50	7,57	—	7,46	—	7,573
58—75	7,69	7,53	7,52	7,54	7,68	—	7,46	—	7,570
75—100	7,60	7,60	7,64	7,67	7,65	—	7,44	—	7,600

Aangezien het gemiddelde gehalte der bouwvoor volgens tabel 107 in 1938 6,758 % bedroeg, zou er dus in 20 jaar 0,759 % CaCO_3 verdwenen zijn, dat is 1 % CaCO_3 in 26 jaar.

Beschouwt men de berekende cijfers uit tabel 107 met die, welke bij de bepaling der carbonaten met azijnzuur gevonden werden (tabel 105), dan blijkt, dat ze alle lager liggen (0,21—0,82, gemiddeld 0,47 %), terwijl men hoogere cijfers zou mogen verwachten, aangezien met azijnzuur het CaMg -carbonaat moeilijk ontleed wordt.

Men mag op grond van het onderzoek van BRUIN (12) wel aannemen, dat de verklaring van het voorgaande gezocht moet worden in den tijd, gedurende

¹⁾ Heelemaal juist is dit niet, omdat er in 10 %-HCl ook naast het uitwisselbare MgO nog wel wat niet aan CO_2 -gebonden magnesium in oplossing zal gaan.

welken bij de bepaling van het CaCO_3 -azijnz. de grond met azijnzuur geschud werd. Deze bedroeg n.l. ongeveer 2 uur, en aangezien volgens genoemd onderzoek na een half uur schudden het CaMg -carbonaat reeds merkbaar wordt aangetast, moesten er bij deze bepaling wel te hooge waarden gevonden worden, daar ook een deel van het gemeten CO_2 van MgCO_3 afkomstig was. ¹⁾

Misschien benadert men de juiste waarden voor het gehalte aan CaCO_3 nog het meest, indien men de gemiddelden neemt van de waarden, vermeld in tabellen 105 en 107. Rekent men de aldus gevonden waarden voor het CaCO_3 -gehalte om op CaO en trekt men deze cijfers af van die voor totaal- CaO (tabel 101), dan vindt men de percentages niet aan koolzuur gebonden kalk, genoemd in tabel 108.

TABEL 108

*Gehalten aan CaO, niet gebonden aan CO_2
CaO-content, CaO as CaCO_3 excluded*

Laag (Layer)	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem. (Mean)
cm	%	%	%	%	%	%	%	%	%
0—15	1,09	1,05	1,14	1,04	1,02	0,98	1,04	1,10	1,058
15—25	1,02	0,94	1,04	0,98	1,00	1,00	1,01	1,02	1,003
25—41	1,02	1,05	0,96	0,96	1,08	—	1,09	—	1,027
41—58	0,95	1,08	0,94	0,99	1,01	—	1,08	—	1,008
58—75	0,93	1,01	1,04	0,97	0,98	—	1,06	—	0,998
75—100	1,01	1,03	0,99	0,95	1,04	—	1,12	—	1,024

De cijfers voor de afzonderlijke lagen loopen zeer weinig uiteen. Misschien is het gehalte voor de bouwvoor iets hooger dan voor de overige lagen, hetgeen een gevolg zou kunnen zijn van capillaire opstijging van kalkzouten gedurende den zomer, voorafgaande aan de bemonstering, en van de bemesting van alle lysimeters gedurende 10 jaren met di-calciumfosfaat.

In de monsters uit de lysimeters 1 en 2 werd ook de uitwisselbare kalk bepaald. Trekt men de daarvoor gevonden hoeveelheden (tabel 97) af van die in de voorgaande tabel, dan vindt men de percentages in 10-proc. HCl oplosbare kalk, aanwezig als silicaten, fosfaten en sulfaten (tabel 109).

Voor het werkelijke CaCO_3 -gehalte (CaCO_3 - HCl minus MgCO_3) in 1918 werd gevonden 7,517 % en voor CaCO_3 -azijnz. 7,935, gemiddeld 7,726 %, overeenkomende met 4,330 % CaO . Trekt men dit bedrag van het gehalte aan totaal CaO , oplosbaar in 10-proc. HCl , zijnde 5,345 %, af, dan vindt

¹⁾ Aanwezigheid, naast uitwisselbaar magnesium, van niet aan CO_2 gebonden magnesium zal natuurlijk de cijfers in tabel 107 te laag doen uitvallen.

TABEL 109

Laag	1	2
cm	%	%
0—15	0,71	0,67
15—25	0,63	0,54
25—41	0,63	0,67
41—58	0,56	0,70
58—75	0,54	0,63
75—100	0,62	0,65

men 1,015 % als gehalte van den oorspronkelijken grond aan kalk, niet aan koolzuur gebonden. Volgens tabel 97 was hiervan 0,369 % uitwisselbare kalk, zoodat als silicaat enz. aanwezig was 0,646 %, terwijl volgens tabel 109 in 1938 hiervoor, met uitschakeling der bouwvoor, gemiddeld gevonden werd 0,60 en 0,64 %. Het gehalte heeft zich dus, zooals trouwens te verwachten was, niet gewijzigd. Het verouderingsproces van den grond moet veel verder gevorderd zijn, wil men het zich in dit kalkcijfer zien afspiegelen.

§ 8. HET MAGNESIUM (MgO)

a. *De magnesium-voorraad in den grond*

Bij 20 magnesiumbepalingen in 15 der oorspronkelijke monsters werd 0,79—0,87, gemiddeld **0,836 %** in 10-proc. HCl oplosbaar MgO gevonden. Per lysimeter (gem. gewicht van den drogen grond 1406,42 kg) was dus 11,758 en per ha 131,868 kg MgO aanwezig.

Het jaarlijksche verlies met gewas en drainwater bedroeg gemiddeld 80 en met praktijkooften 68 kg/ha (tabel 59), de gemiddelde jaarlijksche winst 19 kg/ha (tabel 66), zoodat men het verlies bij dezen grond op 60 resp. 50 kg per jaar kan stellen. De genoemde voorraad zou dus voor 2200—2600 jaar toereikend zijn, indien de verliezen met het drainwater onverminderd zouden doorgaan.

Bij ontsluiting van den grond vindt men hogere gehaltecijfers; bij de monsters A₁, N₁ en W₁ werd n.l. resp. 1,090, 1,103 en 1,100, gemiddeld **1,098 %** totaal-MgO gevonden. Zou deze voorraad op den duur in zijn geheel in meer oplosbaren vorm overgaan, dan zou de totale voorraad dus op zijn vroegst eerst over 3000 jaar uitgeput zijn.

Op het eerste gezicht ziet deze globale schatting er geruststellend uit. Echter dient de vraag te worden gesteld, of het niet mogelijk is, dat de voorraad magnesium reeds lang vóór de volkomen uitputting een feit is geworden, te klein of te moeilijk toegankelijk wordt, om onder alle omstandig-

heden maximale oogsten te waarborgen. En dan zou het niet tot de onmogelijkheden behoren, dat dit stadium reeds bij onze alleroudste kleigronden zou zijn ingetreden.

Tot voor kort heeft men, althans in ons land, aan het magnesium als meststof weinig aandacht geschonken, hoewel men sedert lang weet, dat dit element voor den plantengroei onmisbaar is. In de latere jaren is echter duidelijk gebleken, dat voor de zand- en veengronden het magnesiumvraagstuk van praktische beteekenis is. Voor een overzicht van den huidige stand van het vraagstuk in ons land zij verwezen naar een recente publicatie van O. DE VRIES (94).

In andere landen trok het magnesiumvraagstuk reeds eerder de aandacht. Dit blijkt uit de omvangrijke literatuur over dit onderwerp, waarvoor verwezen kan worden naar het werk van NIKLAS (68, IV, blz. 551—556, V, blz. 204—207) en naar dat van WILLIS (99, blz. 256—298). Hoofdzakelijk dateeren de publicaties uit het laatste decennium, maar ook daarvóór werden omtrent de magnesiumbehoefte der gewassen verscheidene onderzoeken verricht (ASO, DAIKUHARA, LOEW). In Amerika vindt blijkbaar de Mg-bemesting reeds bij meerdere cultures (aardappelen, tabak, katoen) veelvuldig toepassing, hetgeen vermoedelijk wel zal samenhangen met den hoogen ouderdom van vele dezer gronden of met de sterke uitloosing, waaraan zij zijn blootgesteld.

Bij enkele kleihoudende gronden, welke aan het Proefstation, ingevuld in ingegraven bodemlooze betonbakken, reeds sedert jaren in observatie zijn, traden reeds verschijnselen op (o. a. tijgering der bladeren van graangewassen), welke op magnesium-gebrek wezen. Geregeld worden deze verschijnselen waargenomen bij een lichten rivierkleigrond uit Angerloo (Gld.), met een kleigehalte van 16 % en een pH van omstreeks 5. Hetzelfde is het geval bij een venigen kleigrond (40 % humus, 47 % klei, pH 4,5) uit een Zuidhollandsche droogmakerij. Bij dezen grond treden de verschijnselen na bekalking niet meer op, terwijl zonder bekalking, doch bij geregelde bemesting met slakkenmeel, de verschijnselen veel zwakker zijn geworden. Bij den grond uit Angerloo werd ondanks bekalking soms nog tijgering van het blad waargenomen bij een overigens gezond gewas.

Merkwaardiger was het optreden in 1930 van getijgerde bladeren bij haver op een ouden ontkalkten kleigrond (58 % klei) uit Garmerwolde (Gron.), welke in observatie werd genomen, daar de gewassen op dezen grond verschijnselen van „haverziekte” (Mn-gebrek) vertoonden. De tijgering vertoonde zich echter slechts op 3 bakken, welke in 't voorjaar een zware bekalking ontvingen (20 000 kg/ha CaO). De gedachte dringt zich hier naar voren, of er, tengevolge der zware bekalking, geen wanverhouding is ontstaan

tusschen de hoeveelheid kalk en den vermoedelijk reeds sterk ingekrompen voorraad magnesium in den grond.

Dit jaar trad voor het eerst sedert 1925 tijgering der bladeren (kanarie) op bij alle negen bakken, gevuld met een kleigrond (45 % klei) uit de Benne-meer (N.-H.), die ruim 10 % CaCO_3 bevat.

Deze waarnemingen sporen ertoe aan om ook bij de verschillende soorten kleigrond te denken aan de mogelijkheid van een magnesium-tekort. Het spreekt vanzelf, dat hiervoor in de eerste plaats de oude kleigronden in aanmerking komen.

b. *Het gehalte van den grond aan MgO, oplosbaar in 10-proc. HCl, in 1918 en in 1938*

TABEL 110

MgO voorraad (10-% HCl) in 1918 en de geleden verliezen (g)

MgO-supply (10-% HCl) in 1918 and losses in the period 1918—1938 (g)

	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem. (Mean)
Aanwezig (Present) in 1918	11 774	11 773	11 976	11 864	11 547	11 672	11 641	11 814	11 758
Verlies (Loss) 1918 —1938	123	126	135	132	123	126	124	125	127
	11 651	11 647	11 841	11 732	11 424	11 546	11 517	11 689	11 631

In 1938 werden de in tabel 111 genoemde gehaltecijfers gevonden.

TABEL 111

MgO-gehalten (10-proc. HCl) in 1938

MgO-content (10-% HCl) of the soil samples taken in 1938

Laag (Layer)	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem. (Mean)
cm	%	%	%	%	%	%	%	%	%
0—15	0,90	0,87	0,88	0,87	0,87	0,88	0,88	0,88	0,879
15—25	87	90	90	87	85	85	87	88	874
25—41	90	87	88	85	90	—	90	—	883
41—58	87	86	86	81	87	—	89	—	860
58—75	87	83	87	82	82	—	89	—	850
75—100	86	83	88	79	86	—	87	—	848

Uit deze cijfers is de conclusie te trekken, dat het gehalte aan in zoutzuur oplosbaar MgO in alle lagen iets is toegenomen, maar vooral tot ongeveer 50 cm diepte; het oorspronkelijke gehalte was immers gemiddeld 0,836 %.

Er schijnt dus van het aanvankelijk in zoutzuur onoplosbare magnesium wat oplosbaar te zijn geworden. Des te eerder mag men hiertoe besluiten, omdat de aanvankelijk betrekkelijk rijkelijk aanwezige hoeveelheid water-oplosbaar magnesium, afkomstig uit het zouthoudend grondwater in den Nieuwen Ruigezandster polder, zooals we op blz. 288 zagen, in de eerste jaren sterk is verminderd.

Van de bovengenoemde hoeveelheden MgO zijn slechts enkele duizendste procenten (zie tabel 97) adsorptief gebonden aanwezig.

De voorraden aan MgO, welke in 1938 in de lysimeters aanwezig waren, zijn vermeld in tabel 112. Het verschil tusschen hetgeen in 1938 volgens de analyses van den grond aanwezig was en hetgeen volgens tabel 110 aanwezig zou moeten zijn, gemiddeld 449 g per lysimeter, of 0,032 % van den drogen grond, zou dus moeten aangeven de hoeveelheid magnesium, welke sedert 1918 oplosbaar is geworden in 10-proc. HCl. Het in zoutzuur onoplosbare MgO bedroeg in 1918 $1,098 - 0,836 = 0,262$ %. Zou het omzettingsproces op dezelfde wijze voortgaan, dan zou er dus na 164 jaar geen in HCl onoplosbaar MgO meer aanwezig moeten zijn. Verondersteld, dat het proces direct na de bedijking in 1876 begon, dan zou uit het voorafgaande de conclusie getrokken moeten worden, dat dit type grond na ruim 2 eeuwen slechts in zoutzuur oplosbaar MgO bevat, hetgeen door onderzoek van enkele oudere zavelgronden nagegaan zou kunnen worden.

TABEL 112

MgO-voorraad (10-proc. HCl), aanwezig in 1938 (g)

MgO-supply (10-% HCl) present in 1938 (gram)

	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem. (Mean)
Aanwezig (<i>Present</i>) in 1938	12 288	11 975	12 500	11 696	11 845	11 963	12 237	12 150	12 080
Volgens (<i>According to</i>) tabel 110 . . .	11 651	11 647	11 841	11 732	11 424	11 546	11 517	11 689	11 631
Vershil (<i>Difference</i>)	637	328	659	— 36	421	417	720	461	449

Het is mogelijk, dat het genoemde verschil geheel of gedeeltelijk een gevolg is van kleine fouten in de gehaltecijfers voor de jaren 1918 en 1938. Ook is het niet buitengesloten, dat het proces een gevolg is geweest van de bijzondere omstandigheden, waaronder de grond in de eerste jaren heeft verkeerd; ik denk hier aan de sterke afbraak van organische stof in de

verloopen jaren en aan de periode van krachtige nitrificatie en sulfocatie. Een toekomstig onderzoek van den grond der lysimeters en het bovengenoemde onderzoek van oudere zavelgronden zullen hierover vermoedelijk wel licht verspreiden.

NABETRACHTING

Overziet men hetgeen in de voorafgaande hoofdstukken werd medegedeeld over de bij het lysimeter-onderzoek verkregen resultaten, dan meenen wij, dat de vraag, of dit onderzoek de daarvan gekoesterde verwachtingen vervuld heeft, bevestigend beantwoord mag worden. Wel zijn nog lang niet alle vragen, welke bij de verwerking der verzamelde gegevens naar voren kwamen — en hieronder bevinden zich enkele, zich meer of minder scherp afteekende nieuwe problemen — tot een oplossing gebracht, maar verwacht mag worden, dat geconstateerde of vermoede verschillen in sommige gehalte-cijfers, zich duidelijker zullen demonstreeren en dus een zekerder conclusie zullen toelaten, als over enkele tientallen jaren opnieuw de sedert 1938 verzamelde gegevens verwerkt zullen zijn. Het verouderingsproces van den grond — en hier gaat het toch in hoofdzaak om — is een proces, dat zeer langzaam verloopt en het was reeds van te voren niet te verwachten, dat de veranderingen alle in zoo'n korten tijd zoo groot zouden zijn, dat ze met de scheikundige methoden, waarover men thans beschikt, mede in verband met de samengesteldheid van den bouwgrond, met zekerheid vastgesteld zouden kunnen worden. *Wil dit onderzoek derhalve volkomen tot zijn recht komen, dan dient het lange jaren op dezelfde wijze te worden voortgezet.* Dit zal veel werk en veel toewijding vereischen, *maar het gaat hier om fundamenteele vraagstukken met betrekking tot onze kleigronden en deze vraagstukken zijn veel werk en toewijding waard.*

Wij zouden hier willen wijzen op het instituut te Rothamsted, waar men thans reeds 70 jaren lang de waarnemingen met de lysimeters steeds op dezelfde wijze voortzet. Ook aan genoemd instituut zal de directe belangstelling voor dit onderzoek wel niet steeds even levendig zijn geweest; maar desondanks is men steeds voortgegaan met het nauwgezet verzamelen der gegevens en met deze te publiceeren, zooals men trouwens ook heeft gedaan voor de proefvelden, welke reeds in de eerste helft der vorige eeuw werden aangelegd. Hierdoor werden over een lange reeks van jaren betrouwbare gegevens verkregen omtrent regenval, drainage en verdamping, bij onbebouwden grond, die bij de bewerking van het eerste deel dezer verhandeling van groote waarde zijn geweest. Wel dient opgemerkt te worden, dat het verzamelen der genoemde gegevens voor de onbebouwde lysimeters te Rothamsted

minder zorg vereischt dan het geregeld volledig analyseeren van de drain- en regenwatermonsters alsmede van de gewassen te Groningen; hiervoor is voortdurende aandacht noodig

Wel is er iets, dat ten opzichte van het voortbestaan der Groninger lysimeters eenige zorg geeft en dat is: de ligging aan den rand van een zich uitbreidende stad. Het is niet buitengesloten, dat in de toekomst de lysimeters bedreigd zouden worden. Tijdig zal dan overwogen dienen te worden, of het mogelijk zal zijn de lysimeters naar een veiliger oord te verplaatsen, dan wel daar met een nieuwe installatie te beginnen. Het eerste zou zeker de voorkeur verdienen, en een laagsgewijs met zorg invullen van den grond in nieuwe lysimeters achten wij niet beslist onmogelijk.

Toen omstreeks 1910 het plan rijpte om aan het Proefstation te Groningen lysimeters in te richten, was de voorstelling van hetgeen daarmede bereikt kon worden nog vrij vaag. Hetgeen wij beoogden, was het vervolgen der veranderingen, welke in den loop der tijden door uitspoeling en plantengroei in den grond plaats vinden, mede onder invloed der bemesting. Welke veranderingen precies onderzocht zouden worden, stond ons echter nog niet duidelijk voor oogen. Men bedenke ook, dat 30 jaar geleden het grondonderzoek nog op een veel lagere trap van ontwikkeling stond en dat sedert veel nieuwe vragen in verband met bodem en bemesting naar voren zijn gekomen en in alle landen een onderwerp van studie uitmaakten. Eerst bij de verwerking der gedurende 20 jaren verzamelde gegevens kwam ten volle aan het licht over welk een rijken schat van gegevens men hier beschikte en hoe groot het aantal vraagstukken was, dat daarin verborgen lag.

Wij moeten bekennen, dat wij bij den opzet niet gedacht hebben aan de diensten, welke deze lysimeters zouden kunnen bewijzen bij een studie der waterhuishouding in den grond. Dit bleek eerst toen wij ons aan de verwerking der verzamelde gegevens zetten. De resultaten van dit deel van het onderzoek zijn neergelegd in het eerste deel dezer verhandeling, verschenen in 1938.

Maar ook het scheikundig onderzoek heeft de aandacht gevestigd op meerdere punten, welke betrekking hebben op hetgeen zich in den grond afspeelt, zoodat nieuwe gezichtspunten geopend worden. Zoo zouden wij er b.v. op willen wijzen, dat de veranderingen in het nitraatgehalte van het drainwater, die in vele gevallen verband houden met wijzigingen in de nitraatproductie in den grond, blijkbaar een gevolg zijn van bepaalde weersomstandigheden (regenval, regenverdeeling, temperatuur) in voorafgaande perioden. Dit brengt de mogelijkheid naar voren, dat de weersomstandigheden in een

bepaalde periode invloed kunnen uitoefenen op den volgenden, misschien zelfs op een daaropvolgenden oogst.

Is eenmaal de aandacht gevestigd op de beteekenis der meteorologische factoren voor de nitraatproductie in den grond, dan rijst onmiddellijk de vraag naar den invloed van grondbewerking en ontwatering op dit proces. Men kan zich beperken tot het bestudeeren dezer factoren door middel van proefvelden, waarbij men dus slechts den invloed op de opbrengst nagaat. Maar is het niet van groote waarde te onderzoeken, welken invloed de genoemde factoren hebben op de *nitraatproductie*, die toch voor den plantengroei van zoo groote beteekenis is? Ook dit is mogelijk door lysimeters, misschien ook door drainage-proefvelden. Op deze wijze dringt men in het wezen der zaak door.

Voor zoover de stikstof betreft zouden wij verder nog willen wijzen op het groote verschil, dat er schijnt te bestaan tusschen de nitraatproductie in de verschillende gronden. Toevalligerwijze werden de lysimeters gevuld met een grond, waarbij de nitraatproductie uitgaat boven die van alle kleigrond-perceelen in de provincie Groningen, waarvan tot nu toe drainwatermonsters werden onderzocht. Dit feit spoort aan tot onderzoek van het drainwater uit meerdere gronden en om te trachten de uitkomsten van dit onderzoek in verband te brengen met de vruchtbaarheid en met mogelijke gebreken dezer gronden.

Een onverwacht resultaat was de geringe snelheid, waarmede het chloorion, dat noch bacteriologisch noch physisch-chemisch wordt vastgelegd, wordt uitgespoeld. Dit is een bevestiging van de op andere overwegingen gebaseerde veronderstelling, dat de waterbeweging bij kleihoudende gronden, voornamelijk door bepaalde kanalen (wortelkanalen en wormgangen) plaats vindt.

Een vergelijking van de uitspoeling van het chloor-ion met die van het natrium-ion doet zien, dat bij dit laatste ion de uitspoeling nog vertraagd wordt door het vermogen van het adsorptie-complex om het Na-ion vast te houden. Dit voert tot het inzicht, dat van het natrium, dat met de bemesting, b.v. met chilisalpeter, in den grond werd gebracht, nog gedurende een reeks van jaren een nawerking te verwachten is. Bij het aanleggen van proefvelden zal hiermede in sommige gevallen rekening gehouden moeten worden.

Het onderzoek op SO_3 leerde niet alleen, dat men ook bij dit bestanddeel met een vertraagde uitspoeling te maken heeft, maar bracht tevens naar voren, dat bij gronden, welke nog rijk zijn aan CaCO_3 , mits dit door een gunstigen cultuurtoestand van den grond gemakkelijk gemobiliseerd wordt, bemesting met zwavelzuren ammoniak de ontkalking waarschijnlijk niet bevordert, daar het gevormde zwavelzuur blijkbaar door reeds als bicarbonaat in oplossing aanwezige kalk gebonden wordt.

Het onderzoek van het drainwater op Si, K en Na vestigde weer de aandacht op een ander probleem, n.l. op dat der middelen, waárover de plantenwortels beschikken om zich de genoemde bestanddeelen uit den grond te verschaffen.

De bepaling van de geringe hoeveelheden P, Fe en Mn in het drainwater, hoe onbelangrijk deze op zichzelf beschouwd ook mogen zijn, bleek toch niet van waarde ontbloot, daar hun aanwezigheid op in den grond plaats grijpende reductieprocessen wees. Dit gaf aanleiding tot het stellen der vraag, of het niet van belang kan zijn, aan deze bestanddeelen in het uit den akker afvloeiende drainwater aandacht te schenken, omdat hun aanwezigheid een aanduiding kan zijn, dat de grond op den akker ten aanzien van de luchtvoorziening in een minder gunstige conditie verkeert.

In de drie laatste hoofdstukken, waarin de verliezen en winsten van den grond beschouwd worden en voor de verschillende bestanddeelen de balans wordt opgemaakt, komen weer andere problemen naar voren. Van groot belang is het, bij de verschillende bestanddeelen, welke voor het plantenleven onontbeerlijk zijn, de jaarlijksche verliezen tegenover de in den grond aanwezige voorraden te stellen. Dit lysimeter-onderzoek leidt vanzelf tot dergelijke beschouwingen, omdat de planten hierbij groeiden in een bekende hoeveelheid grond met nauwkeurig bekende gehalten aan de voornaamste bestanddeelen. Bij de beoordeeling van den bemestingstoestand van gronden bleven dergelijke beschouwingen tot nu toe achterwege.

Door dit lysimeter-onderzoek werd het voor het eerst mogelijk bij een normaal bebouwden grond vast te stellen, hoeveel luchtstikstof door den grond gebonden wordt. Dit is immers slechts mogelijk met lysimeters, die ons niet alleen in staat stellen de verliezen met het drainwater nauwkeurig te bepalen, maar die tevens gelegenheid bieden den grond laagsgewijs te bemonsteren, zonder de proef te verstoren, en den totalen N-voorraad in den grond vast te stellen.

Het voor de N-binding verkregen cijfer dient nog wel met eenige reserve aanvaard te worden, maar indien de bepaling na verloop van tijd herhaald wordt, zal het dan verkregen cijfer betrouwbaarder zijn. *Voortzetting van het onderzoek is alleen reeds om deze reden dringend gewenscht!*

Bij dit deel van het onderzoek komt ook de vraag naar voren, welk aandeel de verbouw van leguminosen heeft in de verrijking van den grond met luchtstikstof, een vraag, welke op geen andere wijze opgelost kan worden dan door de N-binding na te gaan bij lysimeters met en zonder leguminosen in de vruchtwisseling.

Waar de stikstofbinding nauw samenhangt met de omzetting van organische

stof, rijst hier onmiddellijk de vraag naar de veel omstreden beteekenis van stalmest voor de zwaardere gronden. In hoeverre ligt de beteekenis van den stalmest in vermeerderde stikstofbinding? Ook deze vraag is slechts op te lossen aan de hand van de stikstofbalans voor grond, welke eenerzijds met, anderzijds zonder aanwending van stalmest bebouwd wordt. En dit is weer slechts mogelijk bij grond in lysimeters, ingericht zooals de lysimeters te Groningen.

Nog andere factoren dan de stikstof kunnen hier een rol spelen; wij noemen hier de mobilisatie van verschillende andere bodembestanddeelen. Ook hieromtrent zullen, naar verwacht mag worden, lysimeteronderzoekingen opheldering kunnen verschaffen.

Men kan, om nog even bij de waarde van stalmest — en we kunnen daar de groenbemesting aan toevoegen — voor de cultuur op de kleigronden te blijven, ook andere wegen bewandelen. Men kan zich beperken tot den praktischen kant der zaak en zich afvragen, welke waarde hebben deze bemestingswijzen voor de productiviteit van den grond? Men kan daartoe de opbrengsten vergelijken van overeenkomstige bedrijven met en zonder stalmestgebruik; men kan ook proefvelden aanleggen. En deze wegen dienen bewandeld te worden! Men zij er dan echter van te voren van doordrongen, dat men in enkele tientallen jaren nog geen beslissend antwoord op de gestelde vraag heeft gekregen (periodiciteit der meteorologische factoren!). Maar stel, men heeft eindelijk na een lange reeks van jaren een voor de praktijk afdoend antwoord verkregen, dan weet men nog niets van het waarom! En dat beperkt zeer de beteekenis van het resultaat, omdat men niet kan beoordeelen, of het van meer algemeene strekking is en dus ook voor andere grondtypen en onder andere omstandigheden geldigheid bezit.

Tracht men daarentegen met behulp van lysimeter-onderzoek door te dringen in hetgeen er bij toediening van stalmest of bij het verbouwen van groenbemestingsgewassen in den grond gebeurt, dan wordt men allicht in staat gesteld te beoordeelen, waar en onder welke omstandigheden deze cultuurmaatregelen vooral van belang zijn en waar niet of in mindere mate.

Bij het onderhavige vraagstuk — en hetzelfde geldt voor veel andere vraagstukken op het gebied van bodem en bemesting — heeft men zich, bij gebrek aan fundamenteele kennis omtrent hetgeen zich in den grond afspeelt, veelal verloren in onvruchtbare speculaties en beschouwingen. Bij een milieu als de bouwbare aarde, een milieu waar uiterst gecompliceerde processen plaats hebben en in elkander grijpen, kan men voor waargenomen verschijnselen talrijke aannemelijk klinkende verklaringen opstellen en voorspellingen doen omtrent de gevolgen, welke de toediening van stalmest of andere meststoffen voor grond en gewas zullen hebben. Maar zoolang kennis

omtrent hetgeen werkelijk in den grond plaats grijpt ontbreekt, komt men met dergelijke beschouwingen niet verder. En bij de behandeling van fundamenteele vraagstukken verwerft men zich steeds, en zeer zeker is dit op landbouwkundig gebied het geval, inzichten, welke van wijdere strekking zijn dan voor het vraagstuk, waarop het onderzoek aanvankelijk gericht was.

Zooals reeds opgemerkt werd, leidde het experimenteeren met bekende hoeveelheden grond van bekende samenstelling ertoe de verliezen, welke de grond leed, te vergelijken met de aanvankelijk aanwezige voorraden. Dit stelt ons in staat, ons een denkbeeld te vormen van het aantal jaren, waarvoor de in den grond aanwezige voorraden P, K enz. toereikend zullen zijn. Dergelijke ramingen zijn van belang voor de beoordeeling van de mestbehoefte der verschillende gronden en voor de beantwoording der vraag, in hoeverre gebruikelijke bemestingen als rationeel beschouwd mogen worden. Ook hierbij blijkt de noodzakelijkheid de proeven een lange reeks van jaren voort te zetten, omdat in de eerste proefperiode door meerdere omstandigheden de verliezen grooter dan normaal waren; eerst langzamerhand is een meer stabiele toestand ingetreden, welke betrouwbaarder berekeningen mogelijk maakt.

De berekeningen omtrent voorraden en verliezen sporen ertoe aan ook *te velde* bij verschillende grondtypen, en dan bij gronden van sterk uiteenloopenden ouderdom, de aanwezige voorraden aan voor den plantengroei noodzakelijke bestanddeelen op te nemen door onderzoek van de opeenvolgende grondlagen tot een diepte, waarop nog plantenwortels van beteekenis worden aangetroffen.

Van groot belang achten wij verder het lysimeter-onderzoek omdat het ons dwingt ons rekenschap te geven van de werkelijke waarde der in gebruik zijnde methoden ter bepaling van de behoefte van den grond aan fosforzuur en kali. Deze methoden staan bij sommigen nog steeds onder den invloed der oude opvatting, dat men door de keuze van het oplosmiddel moet trachten „het voor de planten opneembare fosforzuur en de opneembare kali te bepalen”; aan deze verouderde zienswijze danken ze in ieder geval hun ontstaan. Algemeene verheldering van inzicht op dit gebied, een juistere beoordeeling der innerlijke waarde dezer methoden is dringend noodig. Rationeele methoden van grondonderzoek moeten gebaseerd zijn op een juiste kennis van hetgeen er in den bodem plaats grijpt en van de wortelfuncties. Lysimeters kunnen hierbij belangrijke diensten bewijzen. De Groninger lysimeters stellen ons in staat de optredende veranderingen in de gehalten aan het fosforzuur, oplosbaar in 1 % citroenzuur, aan kali, oplosbaar in $\frac{n}{10}$ -HCl en in 5 % HCl, in de ver-

schillende grondlagen en dus de veranderingen in de *voorraden* aan deze bestanddeelen, te vervolgen. Hierbij komt duidelijk naar voren, dat men met voorraden te doen heeft, welke slechts een luttel aantal jaren in de behoeften der planten zouden kunnen voorzien, indien ze niet geregeld vanuit belangrijke reserves aan P en K werden aangevuld, terwijl tevens — want ook hier duiden de verkregen resultaten op — de gewassen in staat zijn direct uit deze reserves te putten.

Van belang is ook de differentiatie, welke met betrekking tot de bedoelde gehaltecijfers reeds in 't profiel optrad en die zich in de toekomst ongetwijfeld nog meer zal accentueeren; de bijzondere plaats, welke de *bouwvoor* t. o. v. deze gehaltecijfers inneemt, verdient de bijzondere aandacht, omdat bij de bepaling der mestbehoefte van den akker, als regel uitsluitend de bouwvoor in onderzoek wordt genomen.

Men kan ook trachten de praktische waarde der hier besproken methoden langs een anderen weg te leeren kennen, en deze weg wordt ook sedert een paar jaar door het Proefstation bewandeld.

Men kan n.l. op een reeks bemestingsproefvelden nagaan in hoeverre er tusschen de analyse-cijfers, welke men bij het grondonderzoek verkregen heeft, en de resultaten ten aanzien van de opbrengst dezer proefvelden een correlatie bestaat. Meent men een correlatie te kunnen constateeren, dan sporen de in deze verhandeling in verband met de onderzoekingsmethoden in kwestie gehouden beschouwingen aan tot een kritisch bekijken van het verkregen resultaat en van de afzonderlijke gevallen, waarin de correlatie ontbreekt. Wij zouden een dergelijk resultaat, gezien het wezen van de bepaalde grootheden en de factoren, welke invloed op haar grootte uitoefenen, geneigd zijn a priori eenigermate te wantrouwen en de geldigheid ook voor andere groepen van kleigronden in twijfel te trekken. Indien op eenig gebied *fundamenteel* onderzoek dringend gewenscht is, dan is het zeker wel op het gebied der plantenvoeding en dat der beoordeeling van het vermogen van den grond om aan de gewassen de vereischte elementen te verschaffen.

Tenslotte zij nog de aandacht gevestigd op de noodzakelijkheid om naast de in vruchtwisseling bebouwde lysimeters ook lysimeters in te richten, welke blijvend met gras bedekt zijn. *Studie van de waterhuishouding en uitspoeling bij grasland door middel van lysimeters is zeer gewenscht.*

Wij achten het haast overbodig hier nog te wijzen op de wenschelijkheid ook met andere grondsoorten dan zavelgrond lysimeter-onderzoekingen te verrichten. Dat de resultaten in menig opzicht andere zullen zijn, spreekt wel vanzelf.

SAMENVATTING

Inleiding

In het begin dezer eeuw werd aan het Rijkslandbouwproefstation te Groningen de aandacht vooral geconcentreerd op de veranderingen, welke onder invloed van plantengroei, bemesting en neerslag in den grond plaats grijpen.

Bij het onderzoek in deze richting met betrekking tot kleigronden werd al spoedig de behoefte gevoeld aan *lysimeters*, welke de gelegenheid boden om een balans op te maken van de stoffen, die den grond met het drainwater en met de oogsten verlaten en met den neerslag en de bemesting aan den grond worden toegevoerd.¹⁾

Het doel, dat beoogd werd, was dus van wijder strekking dan dat van andere lysimeter-onderzoekingen, waarbij het doorgaans slechts te doen was om een inzicht te krijgen in de verliezen, welke de grond door drainage lijdt aan de voor den plantengroei meest belangrijke bodembestanddeelen, waaronder de stikstof in de eerste plaats de belangstelling trok.

Aangezien het vooral de specifieke werking der verschillende stikstofmeststoffen op den grond was, welke toentertijd de aandacht vroeg, was het van den aanvang af de bedoeling, den lysimeters de stikstof in verschillende vormen te geven. Te beginnen met 1923 ontvingen de lysimeters telkenjare twee aan twee de stikstof steeds in den vorm van NaNO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3 , of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

In het tweede gedeelte der inleiding wordt een beeld gegeven van de *betrouwbaarheid der drainwater-analyses*. Aangezien van den beginne af aan de drainwatermonsters volledig onderzocht werden, kon later de betrouwbaarheid der verrichte analyses beoordeeld worden door na te gaan, in hoeverre bij de analyses de som der base-aequivalenten overeenstemde met die der zuur-aequivalenten (zie de grafieken 1—4). Slechts bij twee series van 8 drainwatermonsters werden grootere afwijkingen geconstateerd, die op fouten in de bepalingen van een of meer bestanddeelen wezen. Met behulp van grafieken kon waarschijnlijk gemaakt worden, dat de fout in de kalkbepalingen school.

Tenslotte wordt in de inleiding nog een en ander medegedeeld omtrent het nemen der watermonsters en over het voorkomen van omzetting der aanwezige stikstofverbindingen door middel van kopergaas.

¹⁾ Voor de inrichting der lysimeters zij verwezen naar Deel I dezer verhandeling (blz. 33 e.v.)

HOOFDSTUK I

**De scheikundige samenstelling van het drainwater
in den loop der jaren**

Bij de beschouwingen in dit hoofdstuk is uitgegaan van de berekende gemiddelde samenstelling van het drainwater der 8 lysimeters. Hierbij zijn dus de 8 lysimeters beschouwd als één lysimeter. Specifieke invloeden van de vier stikstofmeststoffen komen in de gemiddelde cijfers dus verzwakt en gezamenlijk tot uiting; zij worden, voor zoover daar aanleiding toe bestaat, afzonderlijk besproken.

De gemiddelde gehaltecijfers (mg/l) zijn vermeld in tabel I. Hierbij zij opgemerkt, dat het tijdvak, waarin de lysimeters onbebouwd bleven, in twee perioden is verdeeld, n.l. een periode van 1 September 1933—1 September 1936, toen bij alle lysimeters het drainwater vrij bleef afvloeien, en een periode van 1 September 1936—1 Juni 1939, toen deze toestand voor de lysimeters 5—8 bestendigd werd, terwijl in de lysimeters 1—4, door wijziging van den waterafvoer, steeds grondwater aanwezig bleef (zie deel I, blz. 38).

In fig. 5 is het verloop der verschillende gehaltecijfers door lijnen voorgesteld.

§ 1. GEHALTE VAN HET DRAINWATER AAN STIKSTOF

De stikstof is steeds overwegend als *nitraat* aanwezig. Het *nitriet-gehalte* is meestal nul of beperkt zich tot sporen; in de eerste jaren was het gehalte soms iets hooger.

Ammoniak-stikstof is een meer regelmatig voorkomend bestanddeel, doch ook de hoeveelheden hiervan zijn gering (hoogste cijfers 4,2—5,4 mg/l, tusschen 1 Juni en 1 September 1923, d. i. het einde der periode van krachtige nitrificatie).

Het gehalte aan *organische stikstof* bereikte nimmer het bedrag van 2 en slechts zelden dat van 1 mg/l.

Het merkwaardigste verschijnsel, dat bij de beschouwing der N-cijfers (tabel I en fig. 5) de aandacht trekt, is de plotselinge belangrijke stijging van het N-gehalte op 1 Januari 1921, n.l. van 9 op 61 mg totaal-N. In April 1922 wordt zelfs een gehalte van 97 mg/l bereikt. Na ongeveer twee en een half jaar (anal. 28 en 29) treedt niet minder plotseling een scherpe daling in. Deze rijzing en daling treden gelijktijdig op in de 8 afzonderlijke lysimeters (fig. 5a); hierdoor wint het verschijnsel ongetwijfeld aan beteekenis.

Als proeve eener verklaring van dit merkwaardige gedrag van den grond wordt gewezen op het sterk indrogen van den grond en het fijnmaken en herhaald verwerken van den grond vóór het invullen. Verondersteld wordt, dat de bacteriën-flora hierdoor ongunstig beïnvloed werd: de grond is „doodgeploegd”. Vooral de niet sporen vormende bacteriën, waaronder de nitrificerende, zullen sterk in aantal zijn afgenomen. Ook de slechte luchttoetreding in de eerste paar jaren kan hierbij een rol gespeeld hebben.

Later werden de omstandigheden voor de nitrificerende bacteriën gunstig, wellicht mede door het aanvankelijk ontbreken van de natuurlijke vijanden (protozoën). Einde 1923 zou zich het biologische evenwicht dan weer hersteld moeten hebben.

Bij de bespreking van het CO_2 -gehalte wordt nog een andere mogelijke, wellicht waarschijnlijker verklaring naar voren gebracht.

Naast deze langere periode van versterkte nitrificatie komen meermalen op zichzelf niet onbelangrijke stijgingen en dalingen van het N-gehalte voor. Enkele dezer schommelingen houden waarschijnlijk verband met regenval, drainwaterdebiet, alsmede met de luchttemperatuur in voorafgaande perioden. Bij andere moet gedacht worden aan den invloed van het verbouwde gewas. Zoo is de sterke daling van het N-cijfer bij anal. 29 mogelijk een gevolg van het groote N-verbruik door de in 1923 verbouwde *voederbieten*, terwijl het hooge cijfer bij anal. 47 kan samenhangen met de stikstofbinding der in 1930 verbouwde *eruten*. Ook deze stijging treedt bij alle 8 lysimeters op (tabel 5).

Het *onbebouwd laten der lysimeters* heeft in de jaren 1933—1939 geen merkbaren invloed op het N-gehalte gehad, ofschoon men een duidelijke daling zou verwachten. De verschillende factoren, welke hier hun invloed doen gelden, worden nader besproken. Hierbij komen de te Rothamsted met onbebouwde lysimeters verkregen resultaten ter sprake; deze wijzen op een slechts langzame daling van het N-gehalte van het drainwater.

De *handhaving van een grondwaterspiegel* (lys. 1—4) heeft aanvankelijk, evenals bij de overige bestanddeelen, het N-gehalte iets verhoogd (inniger en langduriger contact van het water met den grond). Vanaf analyse 58 geven de lysimeters met grondwater, overeenkomstig de verwachting, lagere cijfers.

Beschouwt men de *N-cijfers voor de afzonderlijke lysimeters*, dan blijkt, dat de onderlinge verschillen over 't algemeen niet groot zijn; in de periode der sterke nitrificatie zijn de onderlinge verschillen echter belangrijk. (Gemiddeld gehalte voor lysimeter 5 108,6, voor 3 slechts 55,5 mg/l; zie tabel 7 en fig. 5a).

Er blijkt — en dit geldt ook voor de overige bestanddeelen — een duidelijk verband te bestaan tusschen het drainwaterdebit en het gehalte van het drainwater. Er zijn echter bij de stikstof nog andere factoren in 't spel; welke dit zijn, is moeilijk te zeggen. Wel schijnt uit de gegevens te volgen, dat de snelheid, waarmede het drainwater den grond passeert, hier van invloed is. Hoe langzamer het water door den grond zakt, des te meer gelegenheid schijnt er te bestaan om stoffen op te lossen. Een goede doorlatendheid van den grond, die een snellen afvoer van het water waarborgt, zou dus verlies van waardevolle bestanddeelen uit den akker kunnen tegengaan.

Invloed van het jaargetijde op het N-gehalte van het drainwater. De factoren, welke de nitraatproductie beheerschen, zijn vele. Vooral het vochtgehalte van den grond is vermoedelijk van groot belang; in voor- en najaar is de toestand van den grond voor de nitraatvorming in 't algemeen dus gunstiger dan in den zomer.

Er zijn dus in de nitraatproductie wel seizoenschommelingen te verwachten, maar deze zullen zich verzwakt en verschoven in het N-gehalte van het drainwater afspiegelen.

Uit tabel 8 blijkt, dat de gemiddelde cijfers voor de vier seizoenen weinig verschillen. De cijfers voor den zomer zijn echter minder betrouwbaar, doordat zij slechts op een zeer klein aantal analyses berusten.

De absolute hoogte van het N-gehalte van het drainwater der Groninger lysimeters.

Enkele uitzonderingen daargelaten, zijn de verkregen cijfers hoog, vergeleken bij die, welke elders bij lysimeter-onderzoekingen gevonden werden. Ook in vergelijking met de cijfers voor te velde opgevangen drainwater zijn die der Groninger lysimeters zeer hoog. Hierbij staan ons ook cijfers voor Nederlandsche gronden ter beschikking (drainage-proefveld te Uithuizermeeden; proefboerderij te Nieuw-Beerta; enkele zavelgronden in de provincie Groningen).

De zeer lage cijfers op de proefboerderij te Nieuw-Beerta (Dollardklei) gevonden (0,8—8,4 mg/l) trekken bijzonder de aandacht; men zou bij deze vruchtbare grondsoort eerder hoge cijfers verwachten. Men vraagt zich af, of de scheurvorming hier de uitloosing niet belemmert; men moet hierbij vooral denken aan de bovenste grondlaag, waarin de nitraatvorming voornamelijk plaats heeft. De zeer lage cijfers na September 1935 kunnen mede onder invloed staan van de in dat jaar verbouwde bieten.

Het relatief hoge stikstofgehalte van het drainwater drong opnieuw de vraag naar voren, of de grond in de lysimeters zich wel in denzelfden toestand

bevindt als de grond in zijn natuurlijke ligging op den akker. Hierbij werd gedacht aan drie punten: *a.* de pakking van den grond, *b.* het ontbreken van grondwater en *c.* het feit, dat de lysimeters van boven tot onder gevuld werden met grond uit de bouwvoor.

Toen echter in 't laatst van 1938 monsters drainwater, afkomstig uit den Nieuwen Ruigezandster polder onderzocht werden, bleek, dat een der percelen drainwater afgaf met niet minder dan 52 mg N per liter. Op 5 December 1939 werd uit hetzelfde perceel water opgevangen met 32 mg N. Hieruit bleek, *dat de hoge stikstofcijfers, welke in het drainwater der lysimeters gevonden werden, ook optreden in den polder, waaruit de grond der lysimeters afkomstig is.*

Het merkwaardig hoge N-gehalte van het drainwater uit den Nieuwen Ruigezandster polder doet de vraag rijzen, of men hier te doen heeft met een toevalligerwijze daar optredend verschijnsel, dan wel met een verschijnsel, eigen aan een bepaald type van gronden, dat zich o. a. kenmerkt door een buitengewoon krachtige nitrificatie. Men zou kunnen denken, dat de jongere zeeklei-polders (de polder in kwestie werd in 1877 bedijkt) als regel een krachtiger nitrificatie vertoonen, terwijl deze, als de grond ouder wordt, afneemt en zich tenslotte op een veel lager niveau instelt.

Aangezien dit een voor de kennis van het veranderingsproces der kleigronden belangrijke kwestie is, werd reeds begonnen met een systematisch onderzoek naar de samenstelling van het drainwater, afkomstig uit Groninger kleigronden van uiteenlopenden ouderdom.

De beteekenis van het N-gehalte van het drainwater voor den plantengroei

Hoewel niet altijd (sterk scheurende grond), zoo zal het N-gehalte van het drainwater toch meestal een beeld geven van de nitraatproductie in den grond. Er is dus verband te verwachten tusschen het N-gehalte van het drainwater en de productiviteit van den grond in 't algemeen en tusschen de schommelingen in het gehalte en de oogstopbrengsten in bepaalde jaren. Deze schommelingen schijnen ten deele samen te hangen met de weersomstandigheden. Op deze wijze, n.l. door de beïnvloeding der nitrificatie, zou het weer dus misschien invloed kunnen uitoefenen op de gewassen, welke eerst een jaar later of nog langer daarna, op het veld zullen groeien.

Het is niet onwaarschijnlijk, dat men in deze richting, voor een deel althans, de verklaring moet zoeken van het optreden van goede en minder goede oogstjaren. Verdieping van inzicht kan hier slechts verkregen worden door proefvelden, waarop gedurende een lange reeks van jaren de invloed van verschillende stikstofgiften op de opbrengst der gewassen wordt nagegaan,

terwijl tevens de noodige waarnemingen worden verricht (meteorologische waarnemingen, waaronder het opnemen van grondtemperaturen, periodieke vochtbepalingen in den grond op verschillende diepten, geregeld onderzoek van het drainwater op stikstof). Een dergelijk proefveld moet aangelegd worden met de bedoeling het tot in lengte van dagen voort te zetten; de landbouwkundige onderzoekers, welke na ons komen, zullen ons voor een dergelijk proefveld met een goed bijgehouden archief dankbaar zijn.

§ 2. HET SULFAATGEHALTE VAN HET DRAINWATER

Het verloop van het SO_3 -gehalte vertoont groote overeenkomst met dat van het N-gehalte. De periode van krachtige nitrificatie valt samen met een periode van krachtige sulfificatie. Nitrificatie en sulfificatie zijn dus blijkbaar bacteriologische processen, welke nauw met elkander zijn verbonden.

Het optreden van een periode met zeer krachtige sulfaatvorming zal dus vermoedelijk op dezelfde wijze verklaard moeten worden als het optreden der periode met krachtige nitrificatie.

Na deze merkwaardige periode loopen de SO_3 - en de N-lijn niet steeds parallel (fig. 5); enkele dezer verschillen worden nader besproken.

In tegenstelling met hetgeen bij de stikstof valt waar te nemen, zijn de SO_3 -cijfers in de laatste jaren lager dan in de periode vóór de krachtige nitrificatie (anal. 2—18).

Het SO_3 -gehalte blijkt van den aanvang af dalende te zijn (tabellen 17 en 18); door de versterkte sulfificatie wordt deze daling echter een paar jaar lang onzichtbaar.

Zooals uit de daling der verhouding $\text{SO}_3 : \text{N}$ (fig. 9) wordt afgeleid, is het SO_3 , hetwelk in oplossing gaat, niet uitsluitend afkomstig van de sulfificatie, doch ten deele ook van een afnemenden voorraad anorganische S-verbindingen, n.l. van sulfaten, welke van den beginne af in den grond aanwezig zijn geweest. Deze sulfaten zijn afkomstig uit het sulfaat- en chloorrijk grondwater, dat op het perceel, waar de grond voor de lysimeters werd weggehaald, op betrekkelijk geringe diepte onder de oppervlakte voorkomt. De grond was dus aanvankelijk abnormaal rijk aan sulfaat (en chloor).

Raakt deze sulfaatvoorraad uitgeput, dan is het organische leven op en in den grond ten lange leste aangewezen op de geringe hoeveelheid sulfaat in het regenwater, tenzij de mensch, zij 't dan ook onbedoeld, met de bemesting den grond ook sulfaten toevoert. In dit opzicht bestaat er een wezenlijk verschil tusschen stikstof en zwavel, daar de stikstofvoorraad in den grond, behalve door den regen, ook door biologische vastlegging van atmosferische stikstof wordt aangevuld.

In de tabellen 20 en 22 wordt het SO_3 -verlies der lysimeters 1 en 5, welke van 1923 tot 1933 de N-bemesting als ammoniumsulfaat ontvingen, tegenover het gemiddelde verlies der overige lysimeters gesteld. Voor zoover men op dergelijke berekeningen kan afgaan, zou er op 1 September 1936, dus 3 jaar nadat de laatste bemesting werd gegeven, 93 % van het met de genoemde bemesting gegeven SO_3 door drainwater en planten weer aan den grond onttrokken zijn geworden.

§ 3. HET GEHALTE AAN CO_2 DER HYDROCARBONATEN

Tabel 1 en fig. 5 doen zien, dat het hydrocarbonaatgehalte zeer groote verschillen vertoont. De hoogste cijfers werden in de laatste maanden van 1919 (tabel 1, anal. 12 en 13) bereikt. De belangrijke stijging vanaf het in werking stellen der lysimeters zou te verklaren zijn door het zich herstellen van de door het drogen van den grond verstoorte activiteit der bacteriën-flora.

Opvallend is de sterke daling der CO_2 -cijfers in de periode van krachtige nitrificatie en sulfocatie. Ook later komt het tegenovergestelde gedrag dezer bestanddeelen weer naar voren. De CO_2 -lijn is dientengevolge in groote trekken het spiegelbeeld der N- en SO_3 -lijnen. Er worden een paar pogingen gedaan om dit te verklaren. Het zeer hoge gehalte aan CO_2 naast een laag N_2O_5 -gehalte uitsluitend in de beide eerste jaren — deze hoge CO_2 -cijfers komen nimmer terug — leidt tot de gedachte, of de C : N-verhouding aanvankelijk soms zeer ruim is geweest.

Nu is er echter geen enkele reden om aan te nemen, dat het gehalte aan organische stof van den ingevulden grond bijzonder hoog was. Bedenkt men echter, dat in tegenstelling met den grond in de natuurlijke ligging, de grond in de lysimeters tot op 1 m diepte even rijk aan organische stof was als de bouwvoor, dan is er wellicht reden om aan te nemen, dat de verhouding C : N voor den grond in zijn geheel beschouwd, in de beide eerste jaren wél zeer ruim is geweest. Misschien zouden de feiten dan op de volgende wijze verklaard kunnen worden, waarbij men zou moeten aannemen, dat:

- de nitrificatie zich hoofdzakelijk in de bovenste grondlaag afspeelde, en
- dat de CO_2 productie óók in de diepere lagen weinig verzwakt doorging.

De verklaring zou dan als volgt luiden:

Het nitraat, gevormd in de bouwvoor, diende in de diepere lagen als N-voorraad voor de bacteriën, welke daar nog krachtig werkten aan de afbraak van de in deze lagen in relatief ruime mate aanwezige organische stof onder vorming van CO_2 . De in de bouwvoor gevormde nitraatstikstof werd dus dieper in den grond weer voor een groot deel in bacteriën vastgelegd. Dit moet dan zijn doorgestaan totdat eindelijk, na ongeveer twee jaren, de

overmaat organische stof in de diepere lagen verbruikt was, waardoor de CO_2 -productie blijvend verminderde. In de periode van krachtige nitrificatie, 1 Januari 1921 begonnen, werd de in de bacteriënlichamen vastgelegde stikstof genitrificeerd en steeg derhalve het nitraatgehalte van het drainwater.

Het onbebouwd blijven der lysimeters heeft het hydrocarbonaatgehalte van het drainwater niet gewijzigd. Dit geldt althans voor de lysimeters 5—8, waarbij de vrije waterafvoer gehandhaafd bleef. Bij de lysimeters 1—4 is het CO_2 -gehalte, nadat in October 1936 grondwater werd vastgehouden, duidelijk gestegen. Als oorzaak kan genoemd worden: het langduriger en inniger contact van het CO_2 -houdende bodemwater met den grond, waardoor meer gelegenheid was voor oplossing van CaCO_3 .

§ 4. HET GEHALTE VAN HET DRAINWATER AAN CHLOOR

Hoewel landbouwkundig van geringe beteekenis, is de bepaling van het chloor toch van groot belang, omdat dit element noch door den grond wordt geadsorbeerd noch microbiologisch een rol speelt, terwijl het door het meerendeel der gewassen slechts in geringe hoeveelheden wordt opgenomen. Veranderingen in het Cl-gehalte van het drainwater kunnen dus een aanwijzing geven, in hoeverre men bij gelijktijdige veranderingen in het gehalte aan andere bestanddeelen te maken heeft met eenvoudige oplossingsverschijnselen, dan wel met andere oorzaken. Nog in andere gevallen kan de kennis van het Cl-gehalte van het drainwater van belang zijn.

Uit tabel 1 en fig. 5 blijkt, dat het verloop der Cl-cijfers geheel afwijkt van dat der N- en SO_3 -cijfers. Na een aanvankelijke stijging — gevolg van het tijdens het vullen der lysimeters verzadigen van den grond met circa 250 l chloor-arm leidingwater — beginnen de cijfers na een jaar langzamerhand te dalen; vanaf September 1923 vindt geen wezenlijke daling meer plaats.

De zeer hoge Cl-cijfers in de beide eerste jaren moeten in hoofdzaak op dezelfde wijze verklaard worden als de toen optredende hoge SO_3 -cijfers.

In de latere jaren is het Cl-gehalte van het drainwater in overeenstemming met de hoeveelheid chloor, welke met den regen wordt aangevoerd.

Bijzondere aandacht verdient de onverwacht langzame daling van het Cl-gehalte van het drainwater (tabel 26). De uitlooging van de zoo oplosbare chloriden is, ondanks de voor uitlooging gunstige omstandigheden (geen grondwater), bij deze grondsoort een proces, dat meerdere jaren in beslag neemt. Dit is een bevestiging van de juistheid der veronderstelling, dat de waterbeweging in kleihoudende gronden uitsluitend plaats heeft door in den grond gevormde kanalen (wortel- en wormgangen, krimp-scheuren).

§ 5. HET GEHALTE VAN HET DRAINWATER AAN FOSFORZUUR

Het drainwater bleek als regel vrij te zijn van fosforzuur, hoogstens werden sporen aangetroffen. Totaal ging er van 1918—1933 met het drainwater slechts 1.4 kg P_2O_5 per ha verloren. Dit geringe verlies komt nog in hoofdzaak voor rekening der eerste jaren, toen in den grond reductie optrad (zie § 9).

§ 6. HET GEHALTE VAN HET DRAINWATER AAN KIEZELZUUR

Dit bestanddeel vertoont vanaf het begin der proef de kleinste schommelingen. In de jaren 1918—1933 (bebouwd) was het gemiddelde gehalte 17 mg/l, in de daaropvolgende 6 jaren zonder bebouwing gemiddeld 23 mg/l, niettegenstaande het zooveel grootere drainwaterdebiet. Vermoedelijk houdt dit verband met de opname van belangrijke hoeveelheden SiO_2 door de gewassen. Zie ook hoofdstuk II, § 4.

§ 7. HET GEHALTE VAN HET DRAINWATER AAN KALI EN NATRON

De beide lijnen voor deze bestanddeelen (fig. 5) vertoonen een zekere overeenkomst. De gehaltecijfers beginnen bij beide op een tamelijk hoog niveau; na 5 jaren volgt een daling, welke bij Na_2O echter duidelijker is dan bij K_2O . Vanaf December 1923 blijven beide lijnen een neiging tot dalen vertoonen (zie ook tabel 27).

Voor de verklaring der aanvankelijk hoge cijfers kan verwezen worden naar de paragrafen over Cl en SO_3 .

De stijging van de gehalten aan K_2O en Na_2O in de periode van krachtige nitrificatie (zie tabel 27) moet toegeschreven worden aan de verdringing van K- en Na-ionen uit het complex door de dan hoge Ca-concentratie van het bodemvocht, een verschijnsel dat identiek is met de omzetting van „natron-(kali-)klei” in „kalk-klei” na de bedijking van zeekleigronden (zie ook tabel 34).

Uit fig. 5 blijkt, dat de K_2O -lijn meerdere verheffingen vertoont, welke corresponderen met, zij het ook minder sterke, verheffingen in de Na_2O -lijn. Uit tabel 1 blijkt, dat deze verhoogde cijfers betrekking hebben op het drainwater uit zomermaanden met zeer gering drainwaterdebiet.

Een verklaring voor dit verschijnsel werd niet gevonden.

Tabel 28 geeft de Na_2O -gehalten voor de afzonderlijke lysimeters in verschillende perioden. Het is merkwaardig, dat de invloed der $NaNO_3$ -bemesting bij de lysimeters 2 en 4 op het Na_2O -gehalte van het drainwater dezer lysimeters zich in de eerste 5 jaren der bemesting nog maar zwak doet gevoelen (zie ook tabel 29); daarna wordt het verschil groter.

Dit verschil handhaaft zich ook nadat in het voorjaar 1933 voor het laatst NaNO_3 toegediend werd. Zelfs in 1938 is het verschil nog duidelijk. Het bij het chloor besproken langzaam verlopend uitspoelingsproces wordt hier vermoedelijk nog vertraagd door adsorptie van het Na.

Uit de in de tabellen 30—32 uitgevoerde berekeningen blijkt, dat er op 1 December 1938 nog 19 % van het in de jaren 1923—1933 in den grond gebrachte natrium aanwezig was.

Hieruit volgt, dat bemesting met NaNO_3 (chilisalpeter) den grond verrijkt met natrium, niet slechts in de jaren, waarin deze meststof gegeven wordt, doch ook nog voor een reeks van jaren daarna. Dit laatste is niet zonder praktische beteekenis (verschuiving van optredend kaligebrek door jarenlang gebruik van chilisalpeter; ongunstige nawerking van deze meststof op de structuur van kalkarme zavelgronden).

§ 8. HET GEHALTE VAN HET DRAINWATER AAN KALK EN MAGNESIA

CaO. Hierbij treden belangrijke verschillen op; de gehalte-cijfers schommelen tusschen 190 en 904 mg/l. In de periode van krachtige nitricatie zijn de gehalten belangrijk hooger dan ervoor en erna (tabel 33). Ook de hooge cijfers vóór genoemde periode, gevolg van de hooge CO_2 -productie, keeren na September 1923 niet meer terug.

Dat er in 't algemeen verband bestaat tusschen de hoeveelheden CaO eenerzijds en N en SO_3 anderzijds (zie de paralleliteit tusschen de betreffende lijnen in fig. 5), ligt wel voor de hand.

Hoewel de cijfers voor de lysimeters 1 en 5 op vermeerderde kalkuitspoeling onder invloed der bemesting met $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ schijnen te wijzen (tabellen 35 en 37), is het toch bij nadere beschouwing der cijfers zeer de vraag, of dit inderdaad het geval is. Bij gronden met CaCO_3 zal het vrijgekomen zwavelzuur zich trouwens in de eerste plaats verbinden met de zich reeds als hydrocarbonaat in oplossing bevindende kalk en dus geen nieuwe hoeveelheid kalk in oplossing brengen.

Bij gronden zonder CaCO_3 liggen de feiten anders. Bij deze zal èn door uitwisseling van Ca uit het complex tegen NH_4 èn door onttrekking van Ca aan het complex door gevormd zwavel- en salpeterzuur kalk mobiel gemaakt worden.

Mogelijk geldt dit laatste ook voor die gronden, waarin de koolzure kalk slechts langzaam gemobiliseerd wordt (Zuidhollandsche en Zeeuwsche kleigronden; rivierklei in het algemeen).

Voor een juist inzicht in het ontkalkingsproces, hetwelk bij verschillende kleigronden met zeer verschillende intensiteit verloopt, is een studie van

het mineralisatieproces, waarbij koolzuur, salpeterzuur en zwavelzuur gevormd worden, van groot belang.

MgO. Het MgO -gehalte van het drainwater bedraagt gemiddeld nog geen tiende van het gehalte aan CaO .

Merkwaardig is, dat de stijgingen en dalingen van het CaO -gehalte steeds in dezelfde verhouding door het MgO -gehalte gevolgd worden; dientengevolge loopen de beide lijnen in fig. 5 vrijwel parallel.

De sedert 1924 vrijwel constante verhouding tusschen de mE CaO en MgO (gem. 10,3), treedt op ondanks zeer groote verschillen in het CaO -gehalte en ondanks groote verschillen in de verhouding tusschen de zuren (koolzuur, salpeterzuur en zwavelzuur), aan welke de kalk gebonden is (zie fig. 15).

Bij de verklaring van dit verschijnsel, wordt o. a. gedacht aan de aanwezigheid van calciummagnesiumcarbonaat, waarvan het voorkomen naast $CaCO_3$ volgens recente onderzoekingen waarschijnlijk geacht moet worden.

§ 9. DE INVLOED DER GEDURENDE DE EERSTE JAREN IN DEN GROND OPTREDENDE REDUCTIE OP DE SAMENSTELLING VAN HET DRAINWATER. GEHALTE VAN HET DRAINWATER AAN P_2O_5 , Fe_2O_3 EN Mn_3O_4

Voor de minder goede doorlatendheid van den grond voor lucht en water in de paar eerste jaren zij verwezen naar deel I, blz. 37. Hierdoor trad reductie in den grond op, welke zich o. a. demonstreerde door een bruine troebeling in het opgevangen drainwater, hetgeen wees op het in beweging komen van ijzer. ¹⁾ Bleef het water helder, zooals later meestal het geval was, dan werd noch ferri, noch ferro in het drainwater gevonden.

Het waren vooral de lysimeters 4 en 7, waarbij de reductieverschijnselen duidelijk optraden. In het drainwater dezer lysimeters kon in het najaar van 1919 ook *nitriet* aangetoond worden.

Uit de gegevens in tabel 38 schijnt te volgen, dat er verband bestaat tusschen het P_2O_5 - en het Fe_2O_3 -gehalte van het drainwater. Dat Fe en P elkander in het grondwater vergezellen, is trouwens een bekend verschijnsel.

Bij lysimeter 7 hebben de hooge ijzercijfers zich tot September 1920 gehandhaafd. Het verdwijnen van het ijzer uit het drainwater van alle lysimeters valt samen met het intreden der periode van sterke nitrificatie.

In 1931 treedt opnieuw wat ijzer op; daarna wordt nu en dan iets ijzer gevonden (zie tabel I).

¹⁾ Vóór het onderzoek werden de afgescheiden stoffen door schudden in het water verdeeld en mede geanalyseerd. Slechts hetgeen zich aan de wanden der flesschen had afgezet werd afzonderlijk geanalyseerd.

Tabel 39 doet zien, dat de hooge gehalten aan Fe_2O_3 bij de lysimeters 4 en 7 van November 1919 tot September 1920 gepaard gaan met relatief lage N_2O_5 - en SO_3 -cijfers en enkele malen ook met hooge cijfers voor ammoniak-N.

Ook de cijfers voor de oxydeerbaarheid (voor de oxydatie der organische stof en van eventueel aanwezige ferro-verbindingen verbruikte mg KMnO_4 p. 1) zijn, althans bij lysimeter 7, veel hooger dan bij de overige lysimeters. Na de versterkte nitrificatie blijven deze cijfers lager dan ervoor.

Welke factoren het in beweging komen van *mangaan* beheerschen, is niet duidelijk. Het is weer n°. 7, welke in de eerste jaren de hoogste Mn_3O_4 -cijfers geeft naast de hoogste Fe_2O_3 -cijfers. Maar Fe en Mn vergezellen elkander niet geregeld, zooals tabel 38 doet zien.

Tabel 42 geeft een overzicht van hetgeen zich in de opeenvolgende jaren vast tegen de wanden der flesschen afzette en dus afzonderlijk geanalyseerd werd (hoogere cijfers voor bijna alle bestanddeelen in de paar eerste jaren).

Tabel 44 geeft de hoeveelheden CaO , die zich tegen de wanden der flesschen afzetten; het zijn weer n°. 4 en 7, waarbij als regel deze hoeveelheden het grootst zijn.

Het zich afzetten van slechts geringe hoeveelheden der genoemde stoffen is als symptoom van hetgeen er in den grond plaats grijpt zeker van belang. Het is dus wel gewenscht, dat in de toekomst bij de bestudeering van normale en abnormale gronden óók aandacht wordt geschonken aan de samenstelling van het drainwater in deze richting. Het drainwater is te beschouwen, als een stofwisselingsproduct van den grond.

HOOFDSTUK II

De door drainwater en gewas aan den grond onttrokken bestanddeelen

In § 1 wordt een overzicht gegeven, van de verbouwde gewassen en de toegediende bemestingen, alsmede van de verkregen opbrengsten.

Gewezen wordt op de hooge tarweopbrengsten in den drogen en warmen zomer van 1921, ondanks de afwezigheid van grondwater. Hieruit volgt, dat een zavelgrond in een laag van 1 m dikte voldoende water kan vasthouden om als regel ook in droge zomers een goeden oogst mogelijk te maken.

In § 2 wordt de samenstelling der gewassen besproken. Deze samenstelling wijkt niet af van die, der op het veld verbouwde gewassen. Wel moet men in het oog houden, dat sommige cijfers (N , K_2O) der op dezen jongen zavelgrond gekweekte gewassen hooger zijn, dan die van gewassen, afkomstig van andere kleigronden (tabel 55 en 56).

Vervolgens worden in deze paragraaf de hoeveelheden der verschillende met de gewassen aan den grond onttrokken bestanddeelen vermeld; zij worden vergeleken met de daarvoor veelal aangenomen cijfers.

In § 3 worden de verliezen, welke de grond tengevolge van uitspoeling lijdt, besproken. Tabel 57 geeft de verliezen in kg p. ha (gem. cijfers voor de 8 lysimeters), zoowel voor den bebouwd als voor den onbebouwd grond.

In § 4 wordt aan de hand van tabel 59 een overzicht gegeven van hetgeen door plantengroei en drainage tezamen aan den grond onttrokken wordt. De groote verschillen in de verliezen van jaar tot jaar doen de vraag rijzen, in hoeverre de verliezen, welke de grond in een bepaald jaar lijdt, van invloed zijn op de ontwikkeling van het volgende gewas.

Vervolgens worden de vetgedrukte gemiddelde cijfers voor de verliezen uit den bebouwd en die uit den onbebouwd grond onderling vergeleken. Bij P_2O_5 , SiO_2 en K_2O zijn deze voor den bebouwd grond zeer veel grooter (bij P_2O_5 70 kg per ha tegen slechts enkele grammen uit den onbebouwd grond), hetgeen bewijst, dat de planten over middelen beschikken om belangrijk meer bodemfosfaten en kalihoudende mineralen in oplossing te brengen, dan waartoe het in den grond wegzakkende water op zichzelf in staat blijkt te zijn.

In fig. 19 zijn de gemiddelde jaarlijksche verliezen aan de verschillende bestanddeelen in kg per ha grafisch voorgesteld.

HOOFDSTUK III

De met den atmosferischen neerslag, de bemesting en met het zaaizaad aan den grond toegevoerde bestanddeelen

§ 1 behandelt de samenstelling van het regenwater. Bij een volledige balans mogen de met den regen aangevoerde stoffen, al zijn de hoeveelheden daarvan klein, niet verwaarloosd worden. Bovendien wijkt de samenstelling van het regenwater, dat op de aan den rand eener stad opgestelde lysimeters valt, in sommige opzichten zoodanig van de normale samenstelling af, dat hiermede wel rekening gehouden dient te worden.

De analyses van de sedert 1920 geregeld genomen monsters zijn in tabel 60 verzameld, terwijl in tabel 61 de gemiddelde cijfers voor de jaren September 1920 — September 1927 en 1 September 1927—1 Januari 1939 naast die voor elders verzamelde regenwatermonsters zijn geplaatst. Uit deze cijfers blijkt, dat het N-gehalte enkele malen hooger is dan bij regenwater, dat op voldoende afstand van steden en fabrieken werd opgevangen. Ook is de verhouding tusschen nitraat- en ammoniakstikstof een geheel andere.

De SO_3 -cijfers zijn te Groningen aanmerkelijk hooger; die voor enkele andere bestanddeelen zijn iets hooger.

Jaarlijks komt er met den regen te Groningen ongeveer 16 kg stikstof in den grond tegen rond 5 kg per ha in het vrije veld. De hoeveelheid SO_3 is te Groningen viermaal zoo groot.

In de beide volgende paragrafen wordt vermeld hetgeen de grond in den vorm van meststoffen en zaaizaad ontving terwijl in de laatste paragraaf de gemiddelde jaarlijksche winsten van den grond door regenval, bemesting en zaaizaad berekend worden. (tab. 66).

HOOFDSTUK IV

De door den grond geleden verliezen ten opzichte van de in den grond aanwezige voorraden aan de verschillende bestanddeelen

De wijziging der samenstelling van den grond in de eerste twintig proefjaren

§ 1. DE STIKSTOF

De in 1918 blijkens onderzoek in den grond der lysimeters aanwezige hoeveelheid stikstof zou bij de wijze, waarop de lysimeters bebouwd en bemest werden, slechts voor rond 100 oogsten toereikend zijn. Dit cijfer staat sterk onder den invloed van de abnormaal groote verliezen aan nitraatstikstof, welke de grond in de eerste 20 jaren leed. Neemt men dit in aanmerking en gaat men bij de berekening uit van meer normale verliezen, dan komt men tot een twee à driemaal grooter aantal oogsten. Maar ook dan nog is het resultaat geheel in strijd met de in den loop der tijden bij de cultuur op de kleigronden opgedane ervaring: een dergelijke snelle uitputting der vruchtbaarheid werd nimmer waargenomen.

Het kan dus niet anders, of er moet nog op andere wijze dan door bemesting en door den atmosferischen neerslag stikstof in den grond komen. Dit volgt ook onomstootelijk uit het feit, dat het N-gehalte van den grond in de Dollardpolders, zoowel in de bouwvoor als in de diepere lagen, gedurende een paar eeuwen constant bleef, ondanks het feit, dat in deze polders geen stalment van eenige beteekenis gebruikt werd. Men moet dus aannemen, dat de stikstofverliezen (gewas en drainwater) goed werden gemaakt door stikstof, welke door middel van de vlinderbloemige gewassen en door de werking van vrij in den grond levende bacteriën, in den grond werd opgezameld.

Uit de gegevens, welke de lysimeterproeven verschaften, blijkt, dat het stikstofverlies door drainage en met de oogsten, verminderd met de winsten in bemesting en regenval, belangrijk grooter is dan het werkelijke stikstof-

verlies van den grond, berekend uit de vermindering van het stikstofgehalte van den grond tusschen de jaren 1918 en 1938. Het verschil moet gelijk zijn aan de hoeveelheid stikstof, welke in die jaren uit de atmosfeer in den grond werd vastgelegd. Per jaar bedroeg deze vastlegging 59 kg/ha. Hierbij dient in aanmerking te worden genomen, dat de lysimeters 5 jaar lang onbebouwd bleven en er dus geen toevoer van organische stof in den vorm van stoppels en wortelresten plaats vond. Raamt men de hoeveelheid stikstof, welke met behulp van deze organische stof vastgelegd had kunnen worden en telt men deze bij de voor de vastgelegde stikstof berekende hoeveelheid op, dan komt men tot een jaarlijksche binding van 68 kg/ha indien de grond van 1918 tot 1938 voortdurend bebouwd ware geworden.

Houdt men er rekening mede, dat in de lysimeters in deze jaren naast de omzetting der organische stof, welke met stoppels en wortels in den grond werd gebracht, ook nog een belangrijke omzetting van reeds in den grond aanwezigen humus plaats vond, hetgeen op den akker geenszins het geval is, dan is voor normale omstandigheden, waarin de humusvoorraad onveranderlijk is, het laatstgenoemde cijfer voor de N-binding waarschijnlijk te hoog en zal dit eerder op ongeveer 55 kg/ha gesteld moeten worden.

Gaat men uit van het feit, dat blijkens vroeger aan het Proefstation uitgevoerde onderzoekingen de stikstofvoorraad in den grond der Dollardpolders (geen stalment!) door de tijden heen niet veranderde en de N-verliezen dus steeds weer vanuit de lucht moeten zijn aangevuld geworden, dan kan men door raming dezer verliezen een indruk krijgen van de hoeveelheid stikstof, welke in de Dollardklei jaarlijks werd vastgelegd. Bij een zeer voorzichtige raming der verliezen, waarbij o. a. werd aangenomen, dat de oogsten in vroegere tijden slechts de helft der tegenwoordige bedroegen, komt men tot een gemiddeld jaarlijks verlies van 60 kg/ha en dus ook tot de vastlegging van een gelijke hoeveelheid stikstof per jaar en per ha.

Opgemerkt zij, dat het hier en ook bij de lysimeters gaat om de vastlegging van stikstof door vlinderbloemigen en door vrijlevende microben tezamen; de lysimeters droegen van 1918—1933 nl. tweemaal erwten en eenmaal roode klaver. Wil men te weten komen, hoeveel voor rekening komt van de vlinderbloemigen en hoeveel voor die der directe binding, dan dient men naast elkander lysimeters in te richten, welke bebouwd worden met en zonder vlinderbloemigen in de vruchtwisseling en na verloop van jaren dezelfde berekeningen uit te voeren.

In dezelfde paragraaf worden onder c de in de literatuur vermelde cijfers voor de N-vastlegging besproken. Deze liggen bijna alle lager, maar aangezien zij gebaseerd zijn op laboratoriumproeven, mag men aan de absolute waarde dier cijfers geen al te groote beteekenis hechten. Betrouwbare

berekeningen zijn slechts te maken met behulp van lysimeters, die in staat stellen alle verliezen en winsten van den grond nauwkeurig te bepalen en die tevens de mogelijkheid openen door onderzoek van den grond den N-voorraad in de lysimeters op elk gewenscht tijdstip nauwkeurig vast te stellen.

d. De betrekking tusschen de omzetting van de organische stof in den bodem en de stikstofbinding

De energie noodig voor de binding der stikstof wordt verkregen door de gelijktijdige omzetting van organische stof door de bacteriën. Indien dus geen organische stof bij elken oogst in den grond achterbleef, zoo zou de N-binding gaan ten koste van den aanwezigen humusvoorraad en langzamerhand afnemen. Het gelijke humusgehalte van den grond in de jongere en oudere Dollardpolders, waar nagenoeg geen stalmest werd gebruikt, wijst uit, dat de in den grond achterblijvende stoppels en wortels voldoende zijn om het humusgehalte op peil te houden. De hoeveelheid organische stof in deze plantendeelen bepaalt dus de hoeveelheid stikstof, welke gebonden kan worden. Het is voor het N-bindings vraagstuk derhalve van belang gegevens te verzamelen, omtrent de hoeveelheden organische stof, welke de verschillende gewassen in den grond achterlaten; voorloopig kan men daarvoor een bedrag van 4000—5000 kg/ha aannemen.

e. Heeft er bij uitsluitend gebruik van organische stikstofmeststoffen roofofbouw ten aanzien van de stikstof plaats?

Deze vraag heeft in het begin dezer eeuw aanleiding gegeven tot levendige discussie, doch zij kon langs de toen ingeslagen wegen niet met zekerheid beantwoord worden.

Bij de lysimeters heeft in de eerste twintig jaren zeer zeker roofofbouw ten aanzien der stikstof plaats gevonden. De bijzondere omstandigheden echter, welke hiertoe aanleiding gaven, o. a. de aanwezigheid van bouwvoorgrond tot onder in de lysimeters, worden besproken. Het op constant peil blijven van het stikstofgehalte in de Dollardpolders (tabel 71) bewijst trouwens, dat roofofbouw, zelfs bij het achterwege laten van elke stikstofbemesting, niet steeds behoeft op te treden.

De vraag, in hoeverre het N-kapitaal slechts door aanwending van stalmest op peil gehouden kan worden, kan ook slechts door lysimeters met tegenover lysimeters zonder stalmest met stelligheid beantwoord worden. Hierbij komt dan tevens aan het licht, in hoeverre de toediening van stalmest de stikstofbinding bevordert. Bij het oplossen van het „stalmest-vraagstuk” voor de kleigronden kan lysimeteronderzoek niet gemist worden!

§ 2. DE HUMUS

Vergelijking van het humusgehalte van den oorspronkelijken grond (1,339 %) met de in 1938 gevonden gehalte-cijfers voor de afzonderlijke lagen (tabel 79) toont aan, dat het humusgehalte sedert 1918 belangrijk is gedaald; ongeveer 14 % van den humus is verdwenen. Ook het gehalte der bouwvoor daalde tot 1,184 %; vermoedelijk zou dit niet het geval zijn geweest, indien de grond ook van 1934 tot 1938 bebouwd ware geworden. De laag onder de bouwvoor (15—25 cm) vertoont het laagste gehalte (1,133 %).

De vraag in hoeverre er in de lagen onder de bouwvoor reeds t. a. v. den humusvoorraad een evenwicht is ingetreden, of dat nog een verdere afbraak van de daar aanwezige bouwvoor-humus zal plaats hebben, zal een toekomstig grondonderzoek eerst kunnen leeren.

Het humusverlies bedroeg van 1918 tot 1938 per lysimeter 2,614 kg, hetgeen overeenkomt met bijna 30 000 kg/ha, of 1500 kg/ha per jaar, waarmee 15 kg stikstof gebonden zou kunnen worden. Is eenmaal de toestand ingetreden, dat de afbraak van organische stof gelijk is geworden aan den toevoer van organische stof in den vorm van stoppels en wortels, zooals bij de Dollardklei (tabel 73) het geval is en waartoe men ook bij andere kleigronden moet besluiten, dan zal de N-binding dus 15 kg per jaar minder bedragen, dan gemiddeld in de jaren 1918—1938; inplaats van 68 kg zal er dus, in geval de lysimeters voortdurend bebouwd worden, vermoedelijk ongeveer 53 kg/ha gebonden worden.

Naar aanleiding van de cijfers voor de vermindering der hoeveelheden organische stof in de lysimeters in tabel 80, wordt erop gewezen, dat deze verliezen bij de lysimeters 1 en 5, welke steeds met zwavelzuren ammoniak bemest werden, grooter zijn dan bij de overige lysimeters. De veronderstelling wordt geopperd, of de gewassen, bemest met stikstof in dezen vorm, misschien minder wortels en stoppels in den grond achterlaten. Hierdoor zou per jaar ongeveer 6 kg/ha minder stikstof vastgelegd kunnen worden, hetgeen ook in het nadeel van de bemestingswaarde dezer meststof zou zijn.

In een „naschrift” worden de resultaten medegedeeld van de bepaling der organische stof in grondmonsters der jaren 1918 en 1938 volgens de elementair-analyse, waarbij de totale hoeveelheid organische stof gevonden wordt.

§ 3. HET FOSFORZUUR

a. Totaal-fosforzuur; de P_2O_5 -voorraad in den grond

Stelt men de jaarlijksche verliezen aan P_2O_5 , die bij de lysimeters gemiddeld 67 kg/ha (bij praktijk-oogsten 47 kg) bedroegen, tegenover den totalen voorraad in den grond aanwezig, dus tot 1 m diepte, dan komt men tot de

slotsom, dat deze voorraad slechts voor 266 (resp. 379) oogsten toereikend zou zijn. Op het veld werd de voorraad in vroegere tijden veel minder sterk aangesproken (kleinere en vermoedelijk afnemende oogsten; een kleiner deel der producten verliet het bedrijf; meer groenland). Aanvulling van den voorraad vond echter slechts plaats in den vorm van stalmest (feitelijk slechts verplaatsing van fosforzuur van het grasland naar het bouwland), later ook in den vorm van van elders aangevoerde veevoederstoffen. Maar hoe dit ook zij, men mag — gezien de bovenstaande cijfers — wel aannemen, dat toen men ongeveer een halve eeuw geleden met het geregeld gebruik van superfosfaat begon, op de duizend en meer jaar oude zavelgronden in de provincie Groningen de oorspronkelijke voorraad fosforzuur reeds duchtig was aangesproken, want deze voorraad wordt niet evenals de stikstofvoorraad door de natuur aangevuld. Het oogenblik was toen zeer waarschijnlijk wel gekomen om den grond gemiddeld per jaar de hoeveelheid fosforzuur, welke de planten eraan onttrokken, in den vorm van superfosfaat of slakkenmeel terug te geven. Het mag dan ook als rationeel beschouwd worden, dat de Groninger landbouwers op de oudere klei- en zavelgronden gemiddeld 45 kg/ha per jaar aan fosforzuur geven.

Was het P_2O_5 -gehalte aanvankelijk (1918) in de lysimeters van onder tot boven volkomen gelijk, bij het laagsgewijs onderzoek in 1938 bleek dit, zooals tabel 82 leert, niet meer het geval te zijn. Het gehalte der bouwvoor was gestegen onder invloed der bemesting en door het fosforzuur in stoppels en wortels, dat ten deele afkomstig is uit den ondergrond. Het gehalte der beide volgende lagen is iets lager dan het oorspronkelijke gehalte: er is P_2O_5 aan onttrokken. Dieper dan 41 cm is het gehalte vrijwel ongewijzigd gebleven.

Het verhoogde gehalte der bouwvoor kon zich handhaven, ondanks het feit, dat de lysimeters in de 5 aan 1938 voorafgaande jaren niet bebouwd en bemest werden en er dus geen aanvoer van P_2O_5 plaats vond, omdat het P_2O_5 in dezen kalkrijken zavelgrond zeer weinig beweeglijk is.

Dergelijke laagsgewijze verschillen treft men ook bij den grond in de natuurlijke ligging aan, zooals moge blijken uit de cijfers voor de Dollardpolders in tabel 83. Hier zijn de verschillen uitsluitend ontstaan door het omhoog brengen van P_2O_5 door de gewassen, omdat nimmer met fosforzuurhoudende stoffen werd bemest. De daling van het gehalte schijnt zich hier tot grootere diepte (ongeveer 1 m) voort te zetten, vermoedelijk tengevolge der veel langere bebouwing.

b. *Het fosforzuur oplosbaar in 1-proc. citroenzuur*

Uit de in 1938 gevonden cijfers (tabel 85) blijkt, dat het gehalte aan P_2O_5 in dezen vorm in alle grondlagen, met uitzondering der laag 15—25 cm,

sedert 1918 duidelijk gestegen is. De voorraad aan in citroenzuur oplosbaar fosforzuur nam per ha met niet minder dan 755 kg toe, terwijl de voorraad totaal- P_2O_5 gelijk bleef (tabel 84). De factoren, welke den overgang van moeilijk oplosbare fosfaten in die, welke in citroenzuur oplossen, bewerkt hebben, worden besproken.

Verwacht wordt dat, nu de lysimeters weer geregeld bebouwd worden, het gehalte aan P-citroenzuur zal dalen, doch dat het in de bouwvoor nog verder zal stijgen.

De cijfers voor de verschillende lagen schijnen erop te duiden, evenals die voor totaal P_2O_5 , dat de gewassen het benodigde fosforzuur in hoofdzaak tot op een diepte van 40 cm uit den grond hebben opgenomen.

Invloed van den vorm der N-bemesting op de stijging van het P-citroenzuur-getal valt niet op te merken.

c. *Enkele opmerkingen over het P-citroenzuur-cijfer in het algemeen*

Beschouwt men de hoeveelheid fosforzuur, welke de gewassen aan den grond onttrekken in verband met de hoeveelheden P-citroenzuur, welke tot op verschillende diepten in den grond aanwezig zijn, dan komt men, gezien het feit, dat de cultuurgewassen op de oude zavelgronden eeuwenlang, ook zonder fosforzuurbemesting, redelijke opbrengsten konden geven, tot de conclusie, dat de gewassen niet uitsluitend op het in 1-proc. citroenzuur oplosbare P_2O_5 zijn aangewezen, òf dat er steeds opnieuw fosforzuur oplosbaar wordt. Het cijfer voor P-citroenzuur mag dus nimmer beschouwd worden als een maatstaf voor een voor de planten toegankelijken fosforzuur-*voorraad* in den grond.

De bespreking van de vraag, in hoeverre het cijfer voor P-citroenzuur — dat in 't algemeen slechts betrekking heeft op de *bouwvoor* — bij *kleihoudende gronden* (bij de lichte gronden liggen de feiten anders) in staat is tot op zekere hoogte een beeld te geven van den fosforzuur-toestand van den akker, voert tot de slotsom, dat de beteekenis van genoemd cijfer in dit opzicht aan eenigen twijfel onderhevig is en dat het nog niet vaststaat, of dit cijfer bij de bedoelde grondsoorten voor praktische doeleinden wel onder alle omstandigheden waarde heeft.

§ 4. DE ZWAVEL

a. *Het zwavelvraagstuk*

In het eerste deel der paragraaf wordt erop gewezen, dat de in dezen zavelgrond aanwezige zwavelvoorraad slechts gedurende enkele eeuwen voor

de tegenwoordige oogsten toereikend zou zijn. De met den regen aangevoerde hoeveelheid zwavel is onvoldoende om in de behoefte der gewassen te voorzien. Men dient in 't oog te houden, dat, terwijl de zwavel voor de planten even onmisbaar is als de fosforus, de in den grond aanwezige voorraden aan beide stoffen niet veel verschillen, en de jaarlijksche verliezen ongeveer even groot zijn.

Het is mogelijk, dat op de meeste onzer gronden het zwavelvraagstuk nog van weinig beteekenis is, maar dan dient hierbij in aanmerking genomen te worden, dat men de laatste halve eeuw, zij het onopzettelijk, ruim met sulfaat bemest heeft in den vorm van superfosfaat, kalizouten en zwavelzuren ammoniak. Toch zal men goed doen dit vraagstuk niet uit het oog te verliezen; er zijn streken, waar in plaats van superfosfaat steeds slakkenmeel gegeven wordt en het streven naar z.g. „ballastvrije meststoffen” zou op den duur de sulfaathoudende meststoffen wel eens op den achtergrond kunnen dringen.

b. *Het zwavelgehalte van den grond in 1918 en in 1938*

De in 1938 voor het SO_3 gevonden gehaltecijfers (tabel 88) waren alle aanmerkelijk lager dan in 1918, in hoofdzaak als gevolg van de krachtige mineralisatie van den humus.

Het SO_3 -gehalte daalt van de bouwvoor tot in de onderste grondlaag, hetgeen afwijkt van wat bij N en P wordt waargenomen. Het hogere cijfer in de bouwvoor hangt vermoedelijk samen met een hooger humusgehalte, mogelijk ook met den aard der organische stof in de bouwvoor.

Van de zwavel blijkt 70 % in organischen en slechts 30 % in anorganischen vorm, dus als sulfaat, aanwezig te zijn.

c. *De zwavelbalans van den grond in de lysimeters*

Uit de balans volgt, dat er, behalve met den regen, ook zwavel direct uit de atmosfeer, dus als SO_2 en SO_3 , door den grond gebonden wordt. Per jaar en per ha bedroeg deze hoeveelheid 149 kg. Dit cijfer, zoowel als het sulfaat-gehalte van het regenwater, staan sterk onder den invloed der nabijheid van een groote stad. In het vrije veld bedraagt de hoeveelheid sulfaat in het regenwater slechts ongeveer een derde van die in het te Groningen opgevangen regenwater. Hoeveel er daar buiten den regen om in den grond komt, is niet bekend, terwijl bovendien de sulfaat-vastlegging op deze wijze wel afhankelijk zal zijn van den kalkrijkdom der bouwvoor.

§ 5. HET KALIUM

a. *Beschouwingen over den kali-voorraad in den grond*

Indien slechts het in 5-proc. HCl oplosbare kalium voor de planten opneembaar zou zijn, dan zou het tot een diepte van 1 m in dezen grond aanwezige kalium slechts toereikend zijn voor 137 oogstjaren. Gaat men uit van de hoeveelheid kali in de kleinere praktijk-oogsten, dan vindt men dat de kali-voorraad voor 210 jaren toereikend zou zijn, maar dan zou deze ook totaal zijn uitgeput. Dergelijke zavelgronden zouden dus, als ze meer dan een paar eeuwen oud waren, slechts armelijke gewassen kunnen voortbrengen, hetgeen in strijd is met de feiten, zoodat de veronderstelling, waarvan werd uitgegaan, onjuist moet zijn.

Nu blijkt deze grond in totaal echter 8 maal zooveel kali (1,61 %) te bevatten als er in 5-proc. HCl oplost. Indien deze voorraad geheel toegankelijk is of op den duur voor de planten toegankelijk wordt, dan zou de totale voorraad voor 1100, resp. 1700 der tegenwoordige oogsten en de onvermijdelijke uitspoeling toereikend zijn.

Dit resultaat wordt aan een nadere beschouwing onderworpen, welke tot de gevolgtrekking leidt, dat de zavelgronden, welke reeds duizend en meer jaren in cultuur zijn, een zeer sterk ingekrompen kali-voorraad moeten bezitten, waarbij kali-gebrek te verwachten is. De ervaring, in de laatste 15 jaren op de oude zavelgronden in de provincie Groningen opgedaan, leert dan ook, dat deze gronden over 't algemeen ook werkelijk kali-behoefstig zijn.

Evenals bij het fosforzuur mag men dus wel aannemen, dat langzamerhand op de oude zavelgronden de tijd is aangebroken, dat men den akker door bemesting moet teruggeven, hetgeen er gemiddeld jaarlijks met gewas en drainwater aan kali uit den grond verdwijnt.

b. *Het gehalte aan K_2O , oplosbaar in 5-proc. HCl in 1918 en in 1938*

In 1918 bedroeg het gehalte 0,201 %; in 1938 (tabel 91) was het niet of nauwelijks lager.

Het gehalte der bouwvoor was in 1938 slechts iets hooger dan dat der volgende lagen. Op den akker vindt men in dit opzicht steeds sprekende verschillen; als voorbeeld worden de cijfers voor den grond in de Dollardpolders gegeven (tabel 92). De mogelijke oorzaken voor de geringe verschillen in het profiel bij den grond in de lysimeters worden besproken.

Gewezen wordt op het constante bedrag voor het gehalte aan in 5-proc. HCl oplosbare kali in de oudere en jongere Dollardpolders, waaruit de conclusie wordt getrokken, dat de voorraad steeds weer vanuit de kalihoudende mineralen wordt aangevuld.

In de tabellen 93 en 94 wordt de kali-balans gegeven. Zij wijst op twee mogelijkheden: of de gewassen (en het zakwater) onttrekken ook kali aan de kali-verbindingen, welke niet in HCl oplossen, of er werd gedurende de periode 1918—1938 op een of andere wijze kali in den in HCl oplosbaren vorm overgevoerd. Beide mogelijkheden kunnen ook naast elkaar bestaan.

c. *Het gehalte aan K_2O , oplosbaar in $\frac{n}{10}$ HCl (K_{HCl} -cijfer) en dat aan uitwisselbare kali*

Het gehalte aan kali in dezen vorm was in 1918 0,0205 %, m. a. w. het cijfer voor K_{HCl} was 20,5. Berekend per ha bevatte de grond tot 1 m diepte 3234 kg, voldoende voor 14, of uitgaande van praktijk-oogsten voor slechts 21 cultuurjaren (oogsten + drainwater). Hieruit volgt nog overtuigender dan bij het cijfer voor het gehalte aan K_2O , oplosbaar in 5-proc. HCl, dat men elke gedachte aan een voor de planten beschikbaar kali-kapitaal moet laten varen. Nadere beschouwing van deze grootheid, het K_{HCl} -cijfer, leidt tot de conclusie, dat een direct verband met het vermogen van den grond om in de kali-behoefte der gewassen te voorzien, weinig plausibel is en dat de vraag gesteld moet worden, of bedoeld cijfer, althans voor de kleigronden, wel een voldoende betrouwbare aanwijzer is om in de praktijk de toediening van kali-meststoffen daarnaar te kunnen regelen.

De in 1938 gevonden K_{HCl} -cijfers zijn opvallend lager dan in 1918. In eerstgenoemd jaar was het cijfer n.l. gemiddeld 15 tegen 20,5 in 1918 (tabel 95). Hieruit zou moeten volgen, dat in 20 jaar tijds, gedurende welken de grond 10 jaar zonder en 5 jaar met een kali-bemesting werd verbouwd, het vermogen van den grond om in de kali-behoefte der gewassen te voorzien aanmerkelijk is afgenomen, hetgeen bij dezen grond wel buitengesloten geacht mag worden. De verklaring der daling moet gezocht worden in het afnemen van het gehalte aan uitwisselbare kali in den grond door verdringing van kali door kalk. Men kan van het K_{HCl} -cijfer en van de verandering, welke dit cijfer onderging, het volgende aanschouwelijke beeld geven.

Men kan zich het adsorptie-complex voorstellen als een pakhuis, waarin de verschillende basen, K, Na, Ca en Mg voor directe levering aan de planten liggen opgeslagen. Deze voorraden worden steeds van buiten af, d. w. z. vanuit de mineralen en carbonaten in den grond, aangevuld. De snelheid, waarmee dit geschiedt, kan verschillend zijn; voor de afnemers, dat zijn de planten, is het van het grootste belang, dat de aanvulling snel geschiedt, zoodat in het pakhuis steeds voldoende voorraad aanwezig is, als de afnemers er behoefte aan hebben.

Door het opslaan van meer kalk (stijging van het gehalte aan uitwisselbare kalk) is er minder ruimte in het pakhuis overgebleven voor het opslaan van kali, want de capaciteit van het pakhuis is beperkt (daling van het gehalte aan uitwisselbare kali). Voor de aflevering van kali aan de planten is dit echter van weinig belang, zoolang de aanvulling van den voorraad maar snel en ononderbroken doorgaat, zoodat het pakhuis nimmer uitverkocht raakt of de afnemers (planten) gerantsoeneerd behoeven te worden bij de aflevering van kali.

§ 6. HET NATRIUM

a. *Beschouwingen over den natrium-voorraad in den grond*

Berekend wordt, dat de grond per ha tot 1 m diepte 3000 kg in 5-proc. HCl oplosbaar Na_2O bevatte (Na_2O -gehalte 0,019 %). Indien slechts het natrium in dezen vorm voor de planten opneembaar was en door het regenwater werd uitgespoeld, zoo zou na 200 jaar de heele voorraad verdwenen zijn. In het vrije veld, op zekeren afstand van de kust, is de aanvoer met den neerslag veel geringer, zoodat de in 1918 aanwezige voorraad reeds na 65 jaar uitgeput zou zijn.

De Na-voorraad, waaruit het in 5-% HCl oplosbare natrium kan worden aangevuld — de Na-houdende mineralen dus —, is groot: bij opensluiten van den grond blijkt het Na_2O -gehalte n.l. 0,855 % te bedragen, d. i. dus 45 maal zoo groot als het gehalte aan in zoutzuur oplosbaar natrium. Indien de moeilijk oplosbare Na-verbindingen langzamerhand geheel oplosbaar zouden worden, zoodat al het natrium in den grond voor de planten opneembaar en uitwaschbaar zou worden, dan zou de totale voorraad te Groningen voor 9000 jaar en in het vrije veld voor 3000 jaar toereikend zijn. Reden voor ongerustheid bestaat er dus niet. Maar ook zonder dat de moeilijk oplosbare Na-verbindingen in oplossing zouden gaan, zou er geen reden tot ongerustheid bestaan, daar men in het vrije veld op een toevoer van 25 kg/ha per jaar met den neerslag kan rekenen, terwijl de gewassen jaarlijks gemiddeld slechts 23 kg verbruiken.

Het is echter de vraag, of het voor de productiviteit van den grond niet nadeelig zou zijn, indien de toevoer van natrium uit de mineralen sterk verminderde of geheel ophield, zoodat de gewassen uitsluitend op het natrium uit den neerslag zouden zijn aangewezen. De gunstige werking van Na in den vorm van natrium-nitraat (chili) staat vast. Het schijnt dus wel, dat de planten voor optimalen groei zekere eischen stellen aan de Na-concentratie in den grond en dat op het veld de optimum-concentratie zonder Na-bemesting niet steeds aanwezig is.

Het is dus onjuist het natrium in onze meststoffen steeds te beschouwen als een waardelooze „ballast-stof”, die men zoo gauw mogelijk moet trachten kwijt te raken, al moet erkend worden, dat het natrium ook ongunstig op de structuur der kleigronden kan werken.

b. *Het gehalte aan Na_2O , oplosbaar in 5-% HCl , in 1918 en in 1938*

Het gehaltecijfer is in de jaren 1918—1938 niet merkbaar gedaald (tabel 98), hetgeen, gezien de geleden verliezen (tabel 99), wel het geval geweest zou moeten zijn, indien de voorraad niet vanuit moeilijker oplosbare verbindingen aangevuld ware geworden.

Uit de verliescijfers in tabel 99 volgt, dat er in 1938 in de lysimeters 2 en 4, welke tot 1933 jaarlijks een bemesting met NaNO_3 ontvingen, nog 16 % van het met deze meststof in den grond gebrachte Na_2O aanwezig was, waaruit blijkt, dat de uitspoeling, o. a. door adsorptie van het Na -ion, zeer vertraagd wordt. Bemesting met natrium-nitraat (chili) gedurende een reeks van jaren, kan dus meerdere jaren een nawerking vertoonen door in den grond achtergebleven natrium, hetzij in gunstigen, hetzij in ongunstigen zin, door een minder stabiele structuur van den grond.

§ 7. HET CALCIUM

a. *Het gehalte aan in 10-% HCl oplosbare CaO*

In 1918 bevatte de grond 5,345 % CaO . In 1938 (tabel 101) bleek het gehalte in de bouwvoor en in de laag 15—25 cm gedaald te zijn. In de laag 25—41 cm bleef het gehalte vrijwel onveranderd; in de diepere grondlagen schijnt het gehalte iets gestegen te zijn.

De daling van het gehalte in de bouwvoor komt neer op 1 % CaO in 61 jaar; voor de Dollardpolders werd indertijd een daling met 1 % in 43—46 jaar gevonden.

De cijfers voor het CaO -gehalte van de verschillende grondlagen in de Dollardpolders (tabel 102) schijnen erop te wijzen, dat men niet met een eenvoudig uitloogingsproces heeft te doen, maar dat er meerdere processen naast elkander verlopen, waarbij ook de planten een rol spelen.

Indien de ontkalking der bouwvoor met onverminderde snelheid zou voortgaan, dan zou in 325 jaar alle kalk verdwenen zijn. Zoolang er nog een zekere hoeveelheid fijn verdeelde koolzure kalk in de bouwvoor aanwezig is, zal de snelheid niet verminderen, zooals de ontkalking bij de Dollardklei leert; daarna vertraagt echter door verschillende omstandigheden de snelheid der ontkalking.

Is de ontkalking zoover gevorderd, dat nog slechts meerdere tiende procenten CaCO_3 over zijn, dan volgt ook de kalk, welke adsorptief aan klei en humus gebonden is, maar dit is een proces, dat veel langzamer verloopt.

Voor totale ontkalking van den grond tot op grootere diepte behoeft men zich niet ongerust te maken. Toch dient de vraag wel eens overwogen te worden, of het in 't belang der productiviteit van den grond niet gewenscht zou zijn reeds regelmatig met bekalking te beginnen als de grond nog tamelijk ruim van CaCO_3 is voorzien (1—2 %) en in ieder geval nog vóór het kalkgebrek der bouwvoor zich door structuur-verval openbaart. Het is n.l. mogelijk, dat zich anders in den grond ongunstige veranderingen voltrekken, welke later niet meer door bekalking te verhelpen zijn.

Uit de cijfers in tabel 104 volgt, dat er in 1938 0,9 % meer CaO, oplosbaar in 10-% HCl in den grond aanwezig was, dan uit de verlies- en winstrekening zou volgen (tabel 100). De mogelijke oorzaken van dit verschil worden besproken; het wordt waarschijnlijk geacht, dat er moeilijk oplosbare kalkverbindingen in den loop der jaren zoutzuur-oplosbaar zijn geworden.

b. Het gehalte aan carbonaten

Het gehalte aan carbonaten, uitgedrukt in procenten CaCO_3 , werd vastgesteld door bepaling der hoeveelheid koolzuur, welke door azijnzuur, resp. zoutzuur werd vrijgemaakt.

Aanvankelijk bevatte de grond van boven tot onder gemiddeld 7,935 % CaCO_3 -azijnzuur. In 1938 werd voor de bouwvoor 7,359 %, dus een 0,58 % lager gehalte gevonden, hetgeen overeenkomt met een verlies van 1 % in 34 jaar of 1 % CaO in 61 jaar, zooals ook uit de daling van het CaO-gehalte werd afgeleid.

Onder de bouwvoor, tot 41 cm, bevatte de grond ook iets minder CaCO_3 dan aanvankelijk; op grootere diepte is een geringe stijging opgetreden.

Bij de bepaling met zoutzuur werden, zooals steeds het geval is, hoogere cijfers gevonden; in 1918 werd gemiddeld 9,567 % gevonden, dus 1,63 % meer.

De in 1938 gevonden cijfers zijn vermeld in tabel 106; ook deze cijfers liggen ongeveer een gelijk bedrag hoger. De cijfers der afzonderlijke lagen vertoonen dezelfde verschillen als bij CaCO_3 -azijnzuur, doch op een hooger niveau. Uit de bouwvoor verdween 0,634 % CaCO_3 , overeenkomende met 1 % in 32 jaar.

De hoogere cijfers, welke men bij de CaCO_3 -bepaling met zoutzuur vindt, worden veroorzaakt door de aanwezigheid van (CaMg) -carbonaat, dat moeilijk door azijnzuur, doch gemakkelijk door zoutzuur ontleed wordt. Vermindert men nu het gehalte aan in HCl oplosbare MgO met het gehalte aan uitwisselbare MgO, en trekt men het aldus gevonden gehaltecijfer, omgerekend op

CaCO_3 , af van het gehalte aan $\text{CaCO}_3\text{-HCl}$, dan zou men het juiste gehalte aan CaCO_3 vinden, indien althans naast het uitwisselbare magnesium ook nog Mg uit de mineralen in HCl werd opgelost, hetgeen vermoedelijk wel het geval zal zijn. Deze berekende CaCO_3 -cijfers zijn opgenomen in tabel 107; zij liggen gemiddeld 0,47 % lager dan de cijfers voor CaCO_3 -azijnzuur (tabel 105), terwijl men om de hiervóór genoemde reden iets hogere cijfers zou verwachten. Vermoedelijk wordt er bij de carbonaat-bepaling met azijnzuur, zooals deze aan het Proefstation wordt uitgevoerd (duur der bepaling 2 uur), ook wat van het magnesiumcarbonaat ontleed. Misschien wordt de juiste waarde voor CaCO_3 het best benaderd, door het gemiddelde te nemen van de cijfers voor CaCO_3 -azijnzuur en die voor $\text{CaCO}_3\text{-HCl}$ na aftrek van MgCO_3 .

§ 8. HET MAGNESIUM

a. *De magnesium-voorraad in den grond*

De in de lysimeters aanwezige grond bevat een hoeveelheid magnesium, oplosbaar in 10-% HCl , welke met de verliezen, die bij de lysimeters optraden, voor 2200—2600 jaar voldoende zou zijn. Uitgaande van praktijk-oogsten zou de hoeveelheid voor 3000 cultuurjaren toereikend zijn. Gaat men uit van het hogere totaal- MgO -gehalte van den grond, dan leert de berekening, dat de uitputting van den voorraad op zijn vroegst eerst over 3000 jaar zou optreden, indien de oogsten althans tot op het laatst gelijk zouden blijven aan de tegenwoordige en ook de verliezen met het drainwater dezelfde bleven.

Deze raming klinkt voorloopig geruststellend, maar het is de vraag, of het niet mogelijk is, dat de voorraad Mg niet reeds lang vóór de volledige uitputting een feit is geworden, te klein of te moeilijk toegankelijk wordt, om onder alle omstandigheden maximale oogsten te waarborgen. Dat dit stadium reeds bij sommige onzer kleigronden is ingetreden is geenszins uitgesloten en onder de kleigronden, waarmede reeds meerdere jaren aan het Proefstation proeven werden genomen, zijn er enkele, die op deze mogelijkheid wijzen.

b. *Het gehalte van den grond aan MgO , oplosbaar in 10-% HCl , in 1918 en in 1938*

In 1918 bedroeg het gehalte 0,836 %. Uit de cijfers voor 1938 (tabel 111) blijkt, dat het gehalte iets is toegenomen, maar vooral in de bovenste 50 cm. Er schijnt aanvankelijk in zoutzuur onoplosbaar magnesium in den loop der eerste 20 jaren daarin oplosbaar te zijn geworden.

LYSIMETER INVESTIGATIONS AT GRONINGEN AND ELSEWHERE

BY

J. G. MASCHHAUPT

PART II THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE DRAINAGEWATER ¹⁾

INTRODUCTION

In the beginning of this century the attention of the investigators at the Agricultural Experimental Station at Groningen (Holland) was especially drawn to the changes in the soil, caused by plantgrowth, manuring and rainfall. To obtain an insight into these changes, it is necessary to draw up a complete balance-sheet of all that is added to the soil (manures, rainwater) and of all that is removed from the soil in the drainage water and in the crops. This is only possible with draingauges or lysimeters. By weighing and analysing the soil with which the lysimeters are filled, we know the store of substances which the soil contained at the beginning of the investigation.

The lysimeter equipment at Groningen, described in Part I of this paper, was ready in August 1918. ¹⁾ The eight gauges were cropped in rotation from 1918 to 1933 inclusive; from the autumn of 1933 till the spring of 1939 they were left uncropped.

At the time that these investigations were started, it was especially the influence on the soil of the different kinds of N-manure which drew the attention. Therefore up from 1923 till 1933 inclusive the nitrogen was applied as NaNO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3 and $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (pure salts).

Each pair of lysimeters received every year the nitrogen in the same form. The manuring was a moderate one, such as might be given by any ordinary farmer.

As will be seen the object of this investigation is more extensive than of most of the lysimeter investigations, started since the middle of the last century and which had generally in view to study the loss of those constituents of the soil, which are in the first place of importance for plantgrowth (N, K_2O , CaO).

As a rule three-monthly samples were made of the drainage water. The complete analyses of the samples (table 1) enables to check to a certain extent the reliability of the analyses: we have only to examine how far the sum

¹⁾ Part I, Rainfall, drainage and evaporation, was published in 1938 (*Verl. Landbouwk. Onderz. Rijkslandb. Proefstation* No. 44 A, 1938).

of the acid-aequivalents (Z) agrees with the sum of the base-aequivalents (B). In fig. 1 Z is put to B. This graph shows, that in general the agreement is satisfactory; in two cases only the difference between B and Z is larger than three times the standard deviation S (anal. 19 and 32). The fig. 2 and 3 show that the deviation by 19 and 32 also appears by the analyses of the drainwater collected from the eight gauges separately. The cause of this must probably be put down to a fault, which has been made in the determination of the calcium.

By comparing the graphs in the fig. 2—4 it will be seen that the accuracy of analysing has improved in the course of the years.

CHAPTER I

The chemical composition of the drainage water in the course of time

By the discussion of the chemical composition of the drainage water there was made use of the calculated average figures for the eight lysimeters, which are to be found in table 1 (mg/l). The eight gauges are consequently considered as only one gauge, which yearly received the nitrogen in the form of the above named pure salts, each for one fourth. (For the other manures, P as $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ and K as K_2SO_4 , see Part I, p. 41, and this paper, p. 306). The figures out of table 1 are graphically reproduced by lines in fig. 5.

§ 1. THE NITROGEN CONTENT OF THE DRAINAGE WATER

In accordance with the results, which have been obtained elsewhere, the nitrogen was almost entirely in the form of *nitrate*. *Nitrite* was generally absent or only some traces could be found; in the first years after the lysimeters were put in action, the amounts of nitrite were in a few cases of a little more importance.

Ammoniacal-nitrogen is a more regular constituent, but the amounts of it are low too; the highest figures found were 4,2—5,4 mg/l in the summer of 1923, at the end of the period of strong nitrification, which is mentioned below.

The amount of *organic nitrogen* never reached the amount of 2 and rarely that of 1 mg/l.

The most remarkable fact, which draws our attention, by running over the figures for nitrogen in table 1 or looking at the N-line in fig. 5, is the sudden and striking rise of the nitrogen content on 1 January 1921, namely from 9 to 61 mg/l (anal. 18 and 19). In April 1922 an amount of 97 mg/l is reached. About two and a half years later (anal. 28 and 29) a no less sudden fall of the nitrogen content takes place. As fig. 5a demonstrates this remark-

able phenomenon is to be observed by the drainage water of the eight gauges separately, which makes it so much the more interesting. Perhaps this remarkable behaviour of the soil can be explained in the following way:

Before the soil was put in the lysimeters it was exposed to the air in a thin layer during several months. During this time the soil was pulverized, sieved and mixed several times with the result that the soil was as dry as dust when put in the gauges. It is not improbable that the bacterial flora of the soil has undergone a change by the drying and that, therefore, the power of nitrification diminished. The scanty circulation of the air in the soil during the first two years, was moreover an unfavourable factor for the process of nitrification.

A few years later the circumstances became more favourable for the nitrifying bacteria. Perhaps the number of parasites (protozoa), which limit the number of nitrifying bacteria, was diminished by drying the soil (partly sterilisation) and so the circumstances for the nitrifying bacteria to develop an intensive action, were extremely favourable.

At the end of 1923 the bacteriological equilibrium was restored and the nitrification was pushed back to a lower level.

By the discussing of the CO_2 -content of the drainage water another probable explanation is given; perhaps both explanations may lay claim to be right.

After this period of strong nitrification several rather considerable rises and falls of the nitrogen content are to be observed. Some of these fluctuations probably may have been due to rainfall and drainage in preceding periods and perhaps to the temperature of the air too. In other cases it may be assumed, that the kind of crop grown on the gauges has had an influence on the nitrogen concentration. So the fall of the N-figure in analysis 29 (table 1) is probably caused by the removing of a large amount of nitrogen by the mangolds in 1923. On the other hand the high figure of analysis 47 may have been due to the fixing of nitrogen by the peas, which covered the gauges in 1930. As will be seen from table 5, these high figures for N by analysis 47 are to be found by all the eight gauges.

The *fallowing of the gauges* in the years 1933—1939 has had no marked effect on the amount of nitrogen in the drainage. This result was not in accordance with the anticipation.

In connection with this result the data obtained at Rothamsted, also with *uncropped* gauges, are memorized and, as will be seen from table 2, by this investigation the decrease of the nitrogen content of the drainage water from 1877—1915 is trifling too. It is, however, to be regretted, that

in the first seven years immediately after the soil was left bare, the nitrogen was not regularly determined.

After a *watertable* has been maintained in the gauges 1—4 (November 1936), the amount of nitrogen has increased a little. The same is to be seen by the other constituents and is probably due to a more close and prolonged contact between the water and the soil particles. Afterwards, up from analysis 58, the gauges with a *watertable* give somewhat lower figures than the gauges 5—8 with free water discharge, which is in accordance with the anticipation (hindered circulation of the air).

The N-contents of the drainage water from the separate lysimeters generally show no great differences, except in the period of strong nitrification (see table 7 and fig. 5a). It appears that a relation exists between the N-contents of the drainage water and the amounts of the drainage given off by the separate gauges; the same is to be observed by the other constituents. The more slowly the water passes through the soil, the greater is the opportunity to dissolve substances from the soil; by nitrogen, however, the process is, as may be expected, more complicated.

The conditions for nitrification are not the same in the *four seasons* and in consequence differences in the nitrate production in the soil are to be expected. These variations will be reflected in the nitrate contents of the drainage, reduced and delayed however. Table 8 shows that the average figures for the four seasons vary but little. The figure for the summer is, however, less reliable, as it is the average of only a few analyses.

The amount of nitrogen in the drainage water from the Groninger lysimeters in comparison with the amounts found by other investigations

With a few exceptions the figures are high as compared with those found by other lysimeter investigations. And in comparison with drainwater collected in the field, the drainwater collected from the Groninger lysimeters, is very rich in nitrate too.

The exceptional high nitrogen content of the drainage water once more did crop up the question, if the soil in the lysimeters is perhaps in a condition which differs greatly from the natural condition of the soil in the field. There are indeed a few points of difference, which are fully discussed.

Though there may be some deviations from the soil in its natural condition, which may have been of importance especially in the first few years, this is of little importance since analyzing of the drainage water, collected in the field from which the soil for the gauges was taken, learned, that this drainage

water had the same high nitrogen content. Drainage water collected in December 1938 in the field contained no less than 52 mg/l; in December 1939 32 mg/l was found.

Is the high nitrogen concentration of the drainage water in the Nieuwe Ruigezandster polder, from which the soil is taken, an accidental exception or is it due to the character of this soil? Is such a strong nitrification perhaps a common property of young clay-soils? The above named polder was diked in 1877 and so the soil is only sixty years old.

It is conceivable that the nitrification, when the soil gets older, diminishes and as really young soils form an exception, it is clear that nearly all and probably all investigations were executed with old, mostly with very old soils, in which the nitrification has settled on a low level.

Since this question is of great importance for the study of the changes, which proceed in clay-soils in growing older, a beginning is already made with the analysing of a great number of drainage waters, collected from soils of the same formation (sea deposit) but of different age.

The fluctuations in the nitrate concentration of the drainage are to a certain extent a reflection of the fluctuations in the intensity of the nitrification. No doubt the nitrate production is of great importance for the productiveness of the soil in the different years. Therefore it is presumably possible to get a better insight in the factors, for the greater part meteorological ones, which cause a good yield in one year, a low yield in another, by analyzing regularly the drainage water from an experimental field on which different amounts of nitrogen are given. The nitrogen concentrations are to be correlated with the meteorological records, the temperature and the water content of the soil on different depths included. It is evident, that only then results are to be expected, if such an experimental field is continued for a very long time, let us say at least half a century.

§ 2. THE SULFATE CONTENT OF THE DRAINAGE WATER

The course of the SO_3 -figures shows great similarity with that of the N-figures (table 1 and fig. 5). The period of strong nitrification is at the same time one of strong sulfonation. So nitrification and sulfonation obviously are two bacteriological processes, which are intimately connected with each other. The same explanations given for the period of strong nitrification are probably applicable here.

After this remarkable period, the SO_3 - and the N-line (fig. 5) not always go parallel; some of the divergences are more fully discussed.

As contrasted with the nitrogen the figures for SO_3 are in the last years on a lower level than before the period of strong sulfification (anal. 2—18).

It will be seen on reference to the tables 17 and 18, that the figures for SO_3 begin to fall off from the beginning of the experiment; the strong sulfification causes, however, that this falling is not visible during a few years.

The drop of the ratio $\text{SO}_3 : \text{N}$, shown in fig. 7, learns, that the amount of SO_3 in the drainage water is not only formed by sulfification but springs partly from a store of anorganic sulfurcompounds, namely sulfates, which were already present in the original soil. These sulfates find their origin in the groundwater, rich in salts (seawater), which on the plot from which the soil was taken, was present on a small depth beneath the surface.

This store of sulfates will no doubt gradually become exhausted and at last plantgrowth and bacterial flora are confined for their sulfur supply to the little amount of sulfur, which is brought down by the rain, supposed that no sulfates are added to the soil with the artificial manures. In this regard a great difference exists between N and S.

In table 20 and 22 the amounts of SO_3 lost by the gauges 1 and 5, which from 1923 to 1933 inclusive received the nitrogen as $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, are compared with the losses from the other six gauges. As far as they go these calculations show that at 1 September 1936, consequently three years after the last dressing with ammonium sulfate, only 93 % of the total amount, which was added to the soil, was washed out and removed by the crops.

§ 3. THE CARBONIC-ACID CONTENT (HYDRO-CARBONATE) OF THE DRAINAGE

Table 1 and fig. 5 show, that the amounts of hydrocarbonates in the drainage vary largely. The highest figures were found in the last months of 1919 (table 1, anal. 12 and 13). The considerable rising soon after the experiment was started, may be explained by the restoration of the activity of the bacterial flora, which was disturbed by drying the soil.

The fall of the CO_2 -content in the period of strong nitrification and sulfification, is very remarkable. Afterwards too there exists a contrast between CO_2 on the one part and N and SO_3 on the other.

In consequence the CO_2 -line is to some extent a reflection of the N- and SO_3 -lines. A few attempts are made to explain this fact.

The high figures for CO_2 opposite to the low figures for N in the first two years suggest the idea to ascribe the above named fact to a wide C : N ratio. There is, however, no reason to suppose, that the soil, when

filled in, was rich in organic matter. But there is something else. The gauges were filled from bottom to top with surface soil. Accordingly the *subsoil* in the gauges is, compared with the subsoil on the field, *relatively rich in organic matter*. Perhaps we may assume that in the first years not only the humus in the surface-soil but the humus in the subsoil too is oxidized. The large amount of carbon dioxide, formed by this process was washed down combined with CaCO_3 as calcium hydrocarbonate.

The nitrate formed in the surface soil was assimilated by the bacteria, which in the subsoil broke down the humus. Accordingly the amount of nitrate in the drainage water diminished. In this way we can explain the high CO_2 - and the low N-content of the drainage water in the first two years.

After two years most of the humus in the subsoil was oxidized and the nitrate, entering the subsoil, was no longer taken up by the oxidizing bacteria. On the contrary, the nitrogen fixed and retained by the bacteria in the subsoil, was delivered and nitrified in its turn and enriched the drainage water with nitrates. This was the period of strong nitrification.

When the nitrogen, which was accumulated in the bacteria, was washed down, the nitrate content of the drainage fell down again on a lower level and a bacteriological equilibrium was established; this was the end of the period of strong nitrification and sulfification.

The *following* of the lysimeters did not change the CO_2 -content of the drainage water.

After a *watertable* was maintained in the gauges 1—4, the amount of CO_2 rose obviously, presumably in consequence of the prolonged and more intimate contact of the carbonic-acid containing water with the soil rich in CaCO_3 .

§ 4. THE CHLORINE CONTENT OF THE DRAINAGE WATER

From an agricultural point of view the chlorine in the soil is of little importance. Nevertheless by drainwater investigations it is desirable to determine always the amount of this element together with the amounts of other substances. As opposed to all other substances chlorine is neither taken up by bacteria, nor retained by the soil; moreover the plants take up but little of it. The amount of chlorine, therefore, is only determined by the dissolving process. Changes in the Cl-content can tell us consequently, how far simultaneous changes in the amounts of the other substances are due more or less to mere changes in the concentration of the drainage water.

Table 1 and fig. 5 show, that the course of the Cl-figures is entirely

different from that of the figures for N and SO_3 . In the second year, after an initial increase—caused by soaking the soil during the filling of the gauges with tapwater, poor in chlorine, which flew off first—the amount of Cl begins to fall slowly. From 1 September 1923 onward no further falling is visible. In after years the Cl-content is in accordance with the amount of chlorine brought down by the rain.

The high figures in the first two years are due to the same cause as the high figures for SO_3 in this period.

The attention must especially be drawn to the observation, that the Cl-content of the drainage water falls so slowly! The washing down of the very soluble chlorides in the soil is, anyway by this kind of soil, a process which takes several years before it is ended. This proves the exactness of the supposition that, anyway by clay-containing soils, the water finds its way through small channels, formed by plantroots, earth worms and by the shrinking of the soil in dry weather. The surface on which water and soil are in contact is therefore limited and a great deal of the soluble salts in the interior of the soil has to find its way to the water in the channels by the process of diffusion, which is a very slow one.

§ 5. THE PHOSPHORIC ACID CONTENT OF THE DRAINAGE WATER

Phosphoric acid is far less subject to loss through drainage than any other substance in the soil. This is in accordance with the results, which have been obtained elsewhere. As a rule the drainage water is free from it; only in the first years traces of phosphoric acid were found. In total from 1918 till 1933 inclusive no more than 1,4 kg P_2O_5 per ha was washed down (see § 9).

§ 6. THE SILICA CONTENT OF THE DRAINAGE WATER

SiO_2 shows from beginning to end of all the substances the smallest fluctuations. In the years 1918—1933 (cropped) the average content was 17 mg/l; in the following six years with uncropped gauges, the average was 23 mg/l, notwithstanding the much greater amount of drainage water in the uncropped period. The explanation is presumably to be found in the absorption of considerable amounts of SiO_2 by the plants. See further chapter II, § 4.

§ 7. THE POTASSIUM AND SODIUM CONTENT OF THE DRAINAGE WATER

The lines for these substances (fig. 5) show a certain similarity. The figures for both constituents begin on a rather high level. After five years

the figures begin to fall; by Na_2O the fall is more distinct than by K_2O . From December 1923 onward both lines show a downward tendency.

For an explanation of the initial high figures may be referred to the paragraphs dealing with SO_3 and Cl .

The rise of the contents of K_2O and Na_2O in the period of strong nitrification (see table 27) may have been due to the replacement of K - and Na -ions from the kolloids, in consequence of the high Ca -concentration in the soil-liquid.

This phenomenon is identical with the change of K - and Na -clay in Ca -clay after diking new land, formed out of silt deposited by the sea (see table 34).

As will be seen from fig. 5 the K_2O -line shows several sharp tops, corresponding with less high tops in the Na_2O -line. Table 1 shows, that these tops all appear in summer, when the amount of drainage is low. They are, however, not to be imputed to a high concentration of the drainage water, for the high figures are not to be found by Cl or any other substance.

We are not yet able to give an explanation of this phenomenon. Perhaps the high temperature in summer plays a part in it.

It is not probable that the plants have anything to do with it, for the same may be observed when the lysimeters were left bare, as will be seen from the analyses 58 and 62 for the lysimeters 5—8 (table 1).

That, however, by the gauges 1—4 the K_2O -figures of the same analyses were not high is obvious: the presence of groundwater, nearly 100 l, is the cause that the sudden and short variations in the concentration of the drainage water are blurred out.

Table 28 gives the Na_2O -content for the drainage of the separate gauges. It is remarkable that the influence of the yearly dressing with NaNO_3 on the gauges 2 and 4 in the first five years (1923—1928), is hardly perceptible (see also table 29). Afterwards the difference becomes greater.

This difference is still to be observed after the dressing with NaNO_3 was stopped in the spring of 1933. Even in 1938 the difference is appreciable. Probably the slowness of the leaching-process, to which attention was drawn in the paragraph about Cl , is still more slackened off by the adsorption of the Na -ion by the soil.

The calculations made in the tables 30—32 learn, that on December 1st 1938 still 19 % of the Na_2O , brought in the soil as NaNO_3 in the years 1923—1933, was present.

This demonstrates plainly, that dressing with nitrate of soda enriches the soil with natrium, not only in the years when this manure is given, but for many years afterwards. This is not without practical importance: dressing

with nitrate of soda during several years will show an after-effect by delaying an appearing potassium deficiency and by disturbing the structure of a clay-soil, poor in lime, even some years after the dressing with nitrate of soda is stopped.

§ 8. THE CALCIUM- AND MAGNESIUM CONTENT OF THE DRAINAGE WATER

CaO. The variations of the CaO-content are important: the figures range from 190 to 904 mg/l. In the period of strong nitrification the amounts are much greater than before and afterwards. The high figures before this period, consequence of the great CO_2 -production, do no more return after September 1923.

A connection between the amounts of CaO on one side and of N and SO_3 on the other side, lays at hand (See the parallellisme between the concerning lines in fig. 5).

Though the figures for the lysimeters 1 and 5 seem to point to an increase of the washing out of calcium under influence of the dressing with $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (1923—1933), it is on closer examination of the figures not sure, if this is really the case. By soils, rich in CaCO_3 , the delivered H_2SO_4 will combine in the first place with the calcium, which is already in a great amount in solution as hydro-carbonate, and will probably not dissolve other calcium compounds (CaCO_3).

By soils free from CaCO_3 the state of things is another; there Ca-ions of the kolloidswill be replaced by NH_4 -ions and by the H-ions of the nitric- and sulfuric acid, which are formed by nitrification. Perhaps this also applies to soils with CaCO_3 , wherein the calcium carbonate is but slowly mobilized, in consequence of the form in which the carbonate is present or in consequence of special bacteriological conditions of the soil.

The dissolving of the calcium carbonate in the soil is a process which in various soils goes on with a quite different fastness. A rapid dissolving of the carbonate, which secures a high calcium concentration of the soil solution at every moment, is of great importance for the productiveness of the clay-soil. An investigation into the mineralization process, by which carbonic-, nitric- and sulfuric acid are formed, in soils from which the calcium is removed with various rapidity, is therefore of great importance.

MgO. The MgO-content of the drainage water is on an average one tenth of the CaO-content.

It is remarkable, that the increases and the decreases of the CaO-concentration are always in the same ratio followed by the MgO-concentration; accordingly the concerning lines are nearly parallel.

The since 1924 nearly constant relation between the equivalents CaO and MgO (average 10.3) appears, notwithstanding large variations in the relation between the acids (CO_2 , N_2O_5 and SO_3) with which the calcium is combined.

The existence of a constant relation between the CaO- and the MgO-concentration suggests the idea, that by the leaching process in the soil a certain equilibrium is established; the character of this equilibrium is the subject of further investigations.

§ 9. THE INFLUENCE OF THE STATE OF REDUCTION OF THE SOIL IN THE FIRST YEARS ON THE COMPOSITION OF THE DRAINAGE WATER (P_2O_5 , Fe_2O_3 AND Mn_2O_3)

In the first years the permeability of the soil in the gauges for air and water was less intensive (See Part I p. 37); accordingly reduction took place. This reduction was recognizable by the appearance of a brown turbidity in the water, which proved, that iron had become mobile. When the water remained perfectly clear, as afterwards was mostly the case, no iron — neither ferri nor ferro — was found.

Especially by the gauges 4 and 7 the reduction was obvious. In the autumn of 1919 in the drainage water of these gauges also some nitrogen in the nitrite-form could be detected.

The data in table 38 seem to indicate a relation between the amount of P_2O_5 and of Fe_2O_3 . That Fe and P accompany each other in the ground-water is after all a well known fact.

By gauge 7 the high iron figures continued till September 1920. The disappearance of the iron from the drainage water by all gauges without exception, coincide with the beginning of the period of strong nitrification.

In 1931 again some iron appeared; since that time some iron could be found now and then (see table 1).

Table 39 shows that the high figures for Fe_2O_3 by the lysimeters 4 and 7 from November 1919 till September 1920 coincide with comparative low figures for N_2O_5 and SO_3 and sometimes with high figures for ammoniacal nitrogen.

The figures for the oxidizability (mg KMnO_4 required for oxidizing 1 l of water) too, are at least by gauge no 7 much higher than by the other gauges. After the period of strong nitrification the figures for the oxidizability remain on a lower level than before.

On which factors the mobilisation of the *manganese* depends is not clear. It is gauge no 7 again, which in the first years shows the highest figures for

Mn_3O_4 and at the same time for Fe_2O_3 . Yet Fe and Mn don't accompany each other always, as will be seen from table 38.

Table 42 shows, what was deposited in the successive years on the walls of the collecting bottles and therefore had to be analyzed separately. Of nearly all substances in the first years greater amounts were found.

Table 44 gives the amounts of CaO which attached to the walls of the bottles, in which the drainage water was collected. As will be seen again by the gauges 4 and 7 the amount is generally greatest. Probably the amount of free CO_2 , formed in these gauges with reduction, was not sufficient to prevent the settling down of CaCO_3 out of the calciumhydrocarbonate solution.

The settling down out of the drainage water of trifling amounts of the above mentioned substances, is important as symptom of the processes, which are going on in the soil, and of the condition of the soil with regard to the aeration. By future studies of normal and abnormal soils, it is therefore desirable to pay attention to the composition of the drainage water in this direction. The drainage water is to be considered as a metabolism-product of the soil; the composition of this excretion indicates how far this metabolism goes in the desired direction and the organism „soil” is therefore in a good state of health.

CHAPTER II

The substances removed from the soil by the drainage water and in the crops

In § 1 a survey is given of the crops grown on the gauges, of the yields and also of the dressings which were given.

Attention is drawn to the heavy crop of wheat in the dry summer of 1921, notwithstanding groundwater was not present in the gauges. This demonstrates that even by absence of groundwater a sandy clay-soil can store in a layer of 1 m enough water to guarantee a heavy yield in dry summers.

In § 2 the composition of the crops is discussed. The composition of the crops grown on the lysimeters does not deviate from that of crops grown under normal field conditions. But it must be kept in mind, that some of the figures (N, K_2O) of the crops, grown on this young soil, are higher than those of crops from older soils of the same formation (table 55 and 56).

In this paragraph are next discussed the amounts of the substances, which are removed from the soil by the crops and these amounts are compared with those generally adopted. The amounts calculated in kg per ha, are

given in table 52. Since the yields on the gauges in general are rather high, in some cases extraordinary high, in table 53 the same calculation is made with yields such as prevail in practice on the same kind of soil.

§ 3 deals with the losses, which the soil has suffered by drainage. Tabel 57 gives the average losses for the eight gauges in kg per ha, both for the cropped and for the uncropped soil.

In § 4 the total losses (crops and drainage) from the soil are discussed in view of the figures in table 59. The large variations of these losses from year to year raise the question, in how far the losses suffered in one year have an effect on the growth of the following crop.

Next the average figures (fat printed) for the losses from the cropped and from the bare soil are compared. The amounts of P_2O_5 , SiO_2 and K_2O are for the cropped soil much larger than for the uncropped soil. This suggests the idea that the plants have the disposal of means to dissolve soil phosphates and K-minerals to wich the soil-solution is not capable.

Attention is called to fig. 19; it shows clearly the great difference between the losses from the cropped and the uncropped soil.

CHAPTER III

The substances brought down to the soil by the rain and added to the soil with manures and seeds

§ 1 deals with the composition of the rainwater. For a complete record of all that is added to the soil, the substances brought down by the rain, though the amounts are small, must not be neglected. Moreover the composition of the rain, which falls on the Groninger lysimeters, situated on the edge of a town (see fig. 20—21), differs in some respects from that of rain, collected in the open field, as will be seen from table 61. The amounts of N and of SO_3 are several times as high. Further the ratio between nitrate- and ammoniacal-nitrogen is quite different.

§ 2. The yearly amount of N, brought down by the rain at Groningen is about 16 kg per ha, that is three times as much as in the open field; the amount of SO_3 (118 kg p. ha) is four times as much (table 63).

§ 3. Table 64 gives the substances added as manures to the soil in the separate lysimeters in grammes per lysimeter, in kg per ha and in kg per ha per annum.

Table 66 shows the average total gain (rain + manures + seeds) of the soil in kg per ha per annum.

CHAPTER IV

The losses sustained by the soil in proportion to the supplies of the different constituents present in the soil. The changes in the composition of the soil in the first twenty years

§ 1. NITROGEN

a—c The fixation of nitrogen

Under the conditions prevailing during the first twenty years of the experiment, the nitrogen supply originally present in the lysimeters (1918) would be sufficient for only a hundred years. In the first years, however, the losses with the drainage water were extraordinary high; under more normal conditions the nitrogen supply would last two or three centuries. But even then the result of the calculation is in contradiction with the experience made by the cultivation of these clay-soils: such a rapid exhaustion of this kind of soils has never been observed.

No other explanation is possible than that gaseous nitrogen from the atmosphere has entered the soil and has been converted into nitrate. This follows also irrefutably from the fact that the amount of nitrogen in the soil of the Dollardpolders, as well in the surface layer as in the underground, remained unchanged during a few centuries, notwithstanding stable manure never was used in any appreciable amount (tab. 71). It has also to be admitted, that the nitrogen losses (crops and drainage water) are compensated by the amounts of nitrogen added to the soil from the atmosphere by N-fixing bacteria (symbiotic and non-symbiotic N-fixation).

From the data, collected with the lysimeters, follows that the loss of nitrogen (crops and drainwater), after deducting the gain of nitrogen in manures, rainwater and seeds, surpasses the decrease of the nitrogen supply in the soil from September 1918 till September 1938 found by analysing the soil in both years. The difference must be equal to the amount of atmospheric nitrogen, which was fixed in the years 1918—1938. On an average this gain amounts to 104.9 g per lysimeter in twenty years or 59 kg/ha nitrogen yearly (table 72).

It must be taken in account that from 1934 till 1938 inclusive the lysimeters were lying fallow and no organic matter (stubbles and roots), indispensable for the bacteriological fixing of nitrogen, was left behind in the soil. By estimating the amount of nitrogen, which could have been fixed with this organic matter and adding it to the amount which was calculated for the period 1918—1938, we find a yearly amount of 68 kg/ha in the supposition that the lysimeters were cropped from 1918 till 1938 inclusive.

From 1918—1938 a considerable part of the organic matter, in 1918 present in the soil, was broken down, which does not take place in the field and will no more take place in the future in the soil of the lysimeters. Presumably this has enabled the fixation of more nitrogen. If the original organic matter supply had not diminished, the yearly amount of fixed nitrogen would have been perhaps nearly 55 instead of 68 kg/ha.

As was mentioned above the nitrogen supply of the clay-soil in the Dollardpolders did not change in the course of a few centuries, notwithstanding neither stable-manure nor any other nitrogen containing manure ever was used in an appreciable amount. So the nitrogen losses (crops and drainage water) were compensated by gains from the atmosphere (leguminosae and direct N-fixing). At a conservative estimation the losses in former times may be put on 60 kg/ha per annum and consequently the same amount must have been fixed from the atmosphere.

To learn the part played by the leguminosae in the fixing of nitrogen, it will be necessary to start investigations with lysimeters both with and without leguminosae in the crop rotation.

The data for the amount of nitrogen fixed by the soil, which are mentioned in the literature, deserve but little confidence. Only lysimeters enable us to get reliable data, but only after a great number of years. The above mentioned result, acquired with the lysimeters at Groningen, has to be verified after another long period under more normal conditions.

d. *Relation between the oxydation of the organic matter in the soil and the fixation of nitrogen*

The energy required for the fixation of elementary nitrogen is obtained by the simultaneous oxydation of the organic matter by the bacteria. If organic matter was not left behind in the soil by the crops, the humus supply would diminish and consequently — without dressing with farmyard-manure and greenmanuring —, the fixation of nitrogen would fall back on a lower and lower level.

The humus contents in the soil of the Dollardpolders of different age were found to be the same (tabel 73); this proves that the organic matter in stubbles and roots, left behind on the field by the crops, sufficed to keep the humus supply on the same level. The amounts of organic matter in stubbles and roots determines therefore the amount of nitrogen fixation. So it is of great interst for the problem of nitrogen fixation, to be informed about the amount of organic matter, which is left behind in the soil by the different crops; until further investigations in this direction will be done, we can for the present fix the amount on 4000—5000 kg/ha.

e. *Takes exhaustive culture place with regard to nitrogen if only anorganic nitrogen-manures are used?*

At the beginning of this century this question started an animated discussion, but an answer could not be given by the methods then used.

By the lysimeters at Groningen certainly an exhaustive culture took place in the first twenty years. The special circumstances, which caused the decrease of the nitrogen supply—among others the fact that the lysimeters were filled with surface soil from bottom to top — are under discussion. But the fact that in the Dollard clay the nitrogen content remains always on the same level, proves after all, that there are soils in which the nitrogen reserve is not depleted, even without manuring with nitrogen in any form.

The question if by certain clay-soils dressing with farmyard-manure may be necessary to maintain the nitrogen content at a constant level, can only be answered by a comparative study of the change of the store of nitrogen in lysimeters of which some never, others do receive farmyard-manure. These investigations will learn us too if farmyard-manure increases the nitrogen fixation and perhaps causes other changes in the soil which are of importance for plantgrowth.

§ 2. HUMUS

By comparing the humus content (KMnO_4 -methode of Istscherekow) of the original soil in 1918 (1.339 %) with the contents of the separate soil layers in 1938 (tabel 79) it appears that the amount of humus diminished considerably; nearly 14 % of the humus disappeared. Even the humus content of the surface layer (0—15 cm) fell off to 1.184 %; probably this would not have been the case, if the soil should have been cropped too from 1934 till 1938 inclusive. The second layer (15—25 cm) shows the lowest humus content (1.133 %).

It must be kept in mind, that the lysimeters from bottom to top were filled with surface soil, which is always richer in humus than the subsoil. As to how far an equilibrium of the humus content of the different soil layers had already been established in 1938, future determinations of the humus will learn.

The loss of humus during the period 1918—1938 amounted to 2,614 kg per lysimeter or 30 000 kg/ha, that is 1500 kg/ha per annum. By decomposition of this amount of organic matter about 15 kg atmospheric nitrogen per annum can be fixed. If one day the store of organic matter in the lysimeters will be constant, as in the Dollardpolders and in other clay-soils, the yearly

nitrogen fixation will presumably be nearly 15 kg lower than was calculated for the lysimeters, so about 55 kg/ha.

Attention is drawn to the fact, that the decrease of the amount of humus in the lysimeters 1 and 5, which received the nitrogen from 1923—1933 as sulfate of ammonia, is greater than in the lysimeters which were dressed with NaNO_3 , NH_4NO_3 or $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. The supposition is allowed that crops, dressed with sulfate of ammonia, left behind in the soil less organic matter than crops manured with other nitrogen fertilizers. If this is really the cause of the difference, it would be of some importance for the fertilizing value of sulfate of ammonia, for less organic matter in the soil implies, among other things, fixation of less nitrogen.

Afterwards the total organic matter content too was estimated by elementary analysis; the results are to be found in the tables 79a and 80a.

§ 3. PHOSPHORIC ACID

a. *Total P_2O_5 ; the P_2O_5 -supply of the soil*

By comparing the yearly loss of P_2O_5 (67 kg/ha by the lysimeters, and 47 kg/ha by yields such as prevail in practice) with the store of phosphoric acid in the soil (depth of 1 m), it appears that this store would only suffice for 266, resp. 379 yields. In former times, with lower yields, less phosphoric acid was removed by the crops and with the farmyard-manure some phosphoric acid was added to the soil. All this taken in account it may be assumed, that the stock of phosphoric acid in the thousand and more years old soils of this type had greatly diminished, when about half a century ago the farmers began to dress these soils with phosphate more regularly: the time had come to give back to the soil, the phosphoric acid removed by the crops. Thus it may be considered as rational, that the farmers on the older clay- and loamsoils in the province of Groningen and elsewhere give their fields an average dressing of 45 kg/ha.

The initial phosphoric acid content of the soil in the lysimeters, from the surface to a depth of 1 m, was quite the same. In 1938, however, the content of the successive soil layers was found to be different (tabel 82). The P_2O_5 -content of the surface soil had risen in consequence of the yearly dressing with dicalciumphosphate and of the transport of P_2O_5 from the subsoil to the surface soil by the stubbles and the roots. The P_2O_5 -content of the layers 15—25 and 25—41 cm had fallen beneath the initial figure: part of the P_2O_5 -supply has been removed by the plants. Beneath 41 cm the content appeared to be left unchanged.

The high figure of the surface soil could maintain itself, notwithstanding

the lysimeters were left bare in the 5 years preceding to the analysing of the soil in 1938, in consequence of the strong adsorption of phosphorus by this soil.

In the field too we find always different P-contents in the successive soil layers; table 83 gives the data for soil profiles in the Dollardpolders. Attention is called to the fact that in this soil the differentiation is brought about only by plantgrowth, for dressing with farmyard-manure and phosphates never took place.

b. P_2O_5 soluble in 1-proc. citric acid

The figures in table 85 show, that the P-content in this form has risen appreciably since 1918, when the content was 0,023 %. In the second soil layer, however, the amount has fallen. The phosphoric acid supply (sol. in citric acid) increased with no less than 755 kg/ha, while the total P_2O_5 -supply remained unchanged (table 84). The factors, which caused the conversion from little soluble into in citric acid soluble P_2O_5 , are discussed.

It is to be expected that, now the lysimeters are regularly cropped again, the content of in citric acid soluble P_2O_5 will fall, except in the surface layer, where a further rising to a somewhat higher level is to be expected.

The figures for the separate layers in table 85, just like the figures for total- P_2O_5 in table 82, seem to point to the fact that the plants have taken up the phosphorus mainly out of the upper 40 cm of the soil. In the Dollardpolders, where the soil has been cropped for a much longer period, the withdrawal has taken place to a depth of about 1 m, as table 83 learns.

The nature of the N-manure, as far as can be seen, has had no influence on the rise of the citric acid soluble P_2O_5 -content of the soil.

c. *Some remarks on the meaning of the figure for citric acid soluble P_2O_5 (= P-citr.) in general*

By comparing the amounts of P_2O_5 removed by the crops with the amounts of P_2O_5 soluble in citric acid present in the soil, and taking into account, that on the old loam soils in Groningen the crops have given tolerable yields without P-manuring century on century, it is clear that the plants not only assimilate the P_2O_5 , soluble in 1-% citric acid, or that little soluble P_2O_5 is converted continually into P_2O_5 , soluble in 1-% citric acid. So the figure for P-citr. may never be regarded as a measure for the only stock of phosphorus available by plants.

The discussion of the question, as to how far the figure for P-citr. — which moreover only has relation to the surface soil — is able to give an idea of the phosphorus need of the field, leads to the conclusion that the significance of this figure in this regard, at least for clay-soils, is doubtful.

§ 4. SULPHUR

a. *The sulphur problem*

In the first part of this paragraph it is pointed out, that the amount of sulphur present in the soil of the lysimeters, only suffices during a few centuries for yields, as they are yet obtained. The amounts of sulphur brought down by the rain, is not sufficient to meet the demand of the plants. It must be kept in mind that sulphur has the same importance for plantgrowth as phosphorus, that the amounts of both elements in the soil do not differ much and that the yearly losses are nearly the same.

It is possible that at this moment the sulphur problem for the greater number of Dutch soils is of little importance, but it is not to be forgotten, that the last half century the farmer—unintentionally however—has liberally applied sulphur as superphosphate, potassium-salts and sulphate of ammonia. Yet it will be necessary not to loose sight of this problem as there are districts where, instead of superphosphate, slags are applied. Moreover the efforts of the industry to compose so called „lumber-free” manures could have the result, that the sulphate containing manures are put in the background.

b. *The sulphur content of the soil in 1918 and in 1938*

In 1918 the total SO_3 -amount was 0,1403 %, and the amount of SO_3 , soluble in 10-% HCl (sulfates) 0,0432 % (table 87).

In 1938 the figures for the SO_3 -content (table 88) were considerably lower than in 1918, chiefly in consequence of the strong mineralisation of the humus.

The figures fall from the surface layer down to the bottom layer, which is in contrast with the figures for N and P (tables 70 and 82).

70 % of the sulphur is present as organic compounds and 30 % as sulfates (tables 87—89).

c. *The sulphur balance of the soil in the lysimeters*

The balance (table 90) proves that not only the rain brought down sulphur from the atmosphere but that moreover the soil absorbed gaseous sulphur compounds (SO_2 , SO_3) from the atmosphere. In this way yearly 149 kg/ha SO_3 was added to the soil, while the rainwater brought down 118 kg/ha. These figures are strongly influenced by the neighbourhood of a city. In the country the SO_3 -content of the rainwater amounts to about one third of that of the rainwater collected at Groningen. How much SO_3 is absorbed by the soil in the open field is not known; moreover the absorption probably will depend on the lime content of the surface soil.

§ 5. POTASSIUM

a. *Observations about the potassium supply of the soil*

If only the potassium soluble in 5-% HCl could be assimilated by plants, the amount of the potassium present in a layer of 1 m would only suffice for 137 yields. Basing the calculation on the amounts of potassium in practical yields, the supply would be sufficient for 210 yields, but then the soil would be totally exhausted. All loam soils of this type older than a few centuries would only produce scanty crops, which is in contradiction with experience. Therefore the supposition that only the potassium, which is extracted from the soil by 5-% HCl is taken up by the plants, is wrong.

Now this soil contains in total eight times as much K_2O (1,61 %) as the amount which is soluble in 5-% HCl. If this store of potassium should be completely accessible for the plants, the total amount would last 1100 years (1700 with practical yields), if crops and drainage water should withdraw in future the same amounts of potassium as in the first 20 years.

A closer examination of this result leads to the conclusion, that loam-soils, which have been already cultivated for thousand and more years, must have a largely shrunk store of potassium. Therefore a potassium deficiency is to be expected; this is in accordance with the experience on these soils.

As was observed with regard to the phosphorus, it may be assumed, that gradually the time has come to return to this kind of soils the amount of potassium, which the crops and the drainage water withdraw from it.

b. *The content of K_2O , soluble in 5-% HCl in 1918 and in 1938*

In 1918 the content was 0,201 %; in 1938 it was not or hardly lower (table 91).

In 1938 the figures for the surface layer were but a little higher than those for the following layers. On the field the differences in this regard are always more striking as will be seen from table 92 (Dollardpolders). The causes of the smaller differences by the soil of the lysimeters are discussed.

Attention is called to the fact that the amount of potassium, soluble in 5-% HCl, is the same in the old as in the young Dollardpolders (no farmyard-manuring; no potassium salts were used!), from which the conclusion is to be drawn that the store of potassium in this form is continually supplied by the potassium containing minerals.

The tables 93 and 94 give the K-balance. This balance points to two possibilities: 1°. the crops take up potassium out of the compounds, which are not soluble in HCl, 2°. during the period 1918—1938 potassium was

transmitted in some way in the HCl-soluble form. Both possibilities can exist side by side.

c. *The K_2O -content, soluble in $\frac{n}{10}$ HCl (= K_{HCl} -figure) and the exchangeable K_2O -content of the soil*

The amounts of potassium present in the first form was originally 0,0205 % i. e. the figure for K_{HCl} was 20,5. Calculated per ha to a depth of 1 m the soil contained 3234 kg K_2O , sufficient for 14 and by practical yields for only 21 years (crops + drainage). From this it follows, even more convincingly than by K_2O soluble in 5-% HCl, that we must abandon completely the idea, that the figure for K_{HCl} indicates the only stock of potassium, which is available by plants. A further examination of this figure leads to the conclusion, that a close connection between the figure and the ability of the soil to meet the potassium wants of the plants is less plausible and that the question must be put, if the figure mentioned, at least by clay-soils, forms a reliable indicator for the farmer to determine the manuring with potash of his soil.

The figures for K_{HCl} in 1938 are much lower than the initial ones; the average has fallen from 20,5 in 1918 to 15 in 1938 (table 95). If the K_{HCl} -figure should indicate exactly the potassium condition of the soil, this falling off would mean, that the capacity of the soil to provide the plants with potassium has considerably diminished. And this is by such a young loam-soil after cultivating during 15 years, from which 5 years with K-manuring, not acceptable. The fall of the K_{HCl} -content is caused by the decrease of the amount of exchangeable potassium in the soil, in consequence of the replacing of K by Ca in the complex during the time that great quantities of calcium were made mobile (tables 96 and 97). Probably it is of more importance that the amount of exchangeable potassium in the clay-humus complex is supplied as soon as the plants have taken up a part of it, than that there is a large store of it which is but slowly refilled.

§ 6. SODIUM

a. *Observations about the sodium supply of the soil*

It is calculated that the soil per ha to 1 m depth contains 3000 kg Na_2O soluble in 5-% HCl (Na_2O -content = 0,019 %). If only this sodium was available by plants and washed out by rain, the whole store would have disappeared from the soil in 200 years. In the field, at a certain distance from the coast, the supply with the rainwater is much lower and therefore under field conditions the store would already be exhausted after 65 years.

The Na-stock from which the supply of HCl-soluble sodium can be replenished—the Na-containing minerals—is very large: after decomposing the silicates the soil showed a Na_2O -content of 0,855 %, i. e. the 45-fold of the amount of in HCl soluble Na_2O . If the little soluble Na-compounds should become available by plants and leachable by the drainage water, the total amount of natrium would last at Groningen 9000, in the field 3000 years. But even if this should not be the case, there would not be reason for anxiety, for in the open field the rainwater brings down yearly 25 kg/ha, while the crops take up yearly only 23 kg in average.

However the question must be put, whether it would not be harmful to the productivity of the soil, if the supply of easily soluble sodium from the minerals should diminish or should stop altogether and the plants should have to fall back on the sodium from the rainwater. For it seems that the plants for a maximal growth make some demands with regard to the Na-concentration of the soil-solution and that in the field the optimal concentration not always exists. It is also wrong to look at the Na-ion in the artificial manures as „lumber”, which we must try to get rid of as soon as possible. It must be admitted however, that sodium can have an unfavourable influence on the structure of the clay soils too.

b. The content of Na_2O , soluble in 5-% HCl, in 1918 and in 1938

The figures have not fallen appreciably in the period 1918—1938 (table 98), which in view of the losses sustained by this soil (table 99) should have been the case, if insoluble Na-compounds were not converted into HCl-soluble ones.

The figures for the losses in table 99 show that in 1938 in the lysimeters 2 and 4, which till 1933 yearly received the nitrogen as nitrate of soda, still 16 % was present of the amount of Na_2O , added to the soil as NaNO_3 . This proves that the leaching out of Na_2O is delayed considerably, among others by the adsorption of the Na-ion by the adsorption-complex. Manuring with nitrate of soda during several years can therefore, by the sodium left behind in the soil, show an after-effect during some years, either in a favourable or in an unfavourable sense.

§ 7. CALCIUM

a. CaO-content, soluble in 10-% HCl

In 1918 the soil contained 5,345 % CaO. In 1938 (table 101) the amount of CaO in the surface layer and in the layer 15—25 cm is found on a lower level. In the layer 25—41 cm the content is nearly the same as in 1918, while in the following layers the figures seem to have risen a little.

The shrinkage of the amount in the surface layer is equal to 1 % of CaO in 61 years; for the Dollardpolders the rate of lime removal was calculated at the time at 1 % in 43—46 years.

The figures for the CaO-content of the separate soil layers in the Dollardpolders (table 102) seem to induce the meaning, that it is not a simple leaching process, with which we have to do by the removal of lime from the soil, but that there are a few processes going on side by side and by which the plants play a part too.

If the loss of lime should go on with undiminished rate, the surface layer would be completely deprived from lime after 325 years. As long as the soil contains a certain amount of calcium carbonate of great fineness, the rate of loss remains unchanged as the investigation of the soil in the Dollardpolders learned. Afterwards the solubility of the calcium carbonate diminishes by several causes.

If the washing out of lime has reached the point on which about less than 1 % of CaCO_3 is left back in the soil, the exchangeable calcium is washed out too, but this is a process which goes on very slowly.

There exists no reason for anxiety about total deprivation of lime of the soil; moreover we can recuperate the loss by liming. But still it is necessary to give serious consideration to the question, if it should not be desirable for the productivity of the clay soils to begin with regular liming at a moment on which the soil contains still a considerable amount of lime, say 1—2 %, anyhow before the surface shows any symptoms of structure decay (deflocculation). For it is possible that otherwise unfavourable changes take place in the soil, which afterwards can not be corrected by liming.

The figures in table 104 show, that in 1938 the soil contained 0,9 % more CaO, soluble in 10-% HCl, than follows from the balance in table 100. The possible causes are discussed; probably almost insoluble Ca-compounds (minerals) are converted into HCl-soluble ones in the course of the years.

b. The carbonate content of the soil

The carbonate content, calculated as CaCO_3 , was determined by estimating the carbon dioxide evolved by treating a weighed quantity of the soil with acetic acid, resp. hydrochloric acid.

In the beginning the soil contained from surface till bottom 7,935 % CaCO_3 -acet. ac. In 1938 the surface layer contained 7,359 %, i. e. 0,58 % less than in 1918, corresponding with a loss of 1 % in 34 years or 1 % CaO in 61 years, as was calculated from the fall of the CaO content too.

Under the surface layer, up to 41 cm, the soil contained also somewhat

less CaCO_3 as in the beginning; at greater depth a slight increase is to be observed.

As usual, by treating the soil with HCl higher figures were found; in 1918 the average was 9,567 % or 1,63 % more than by treating the soil with acetic acid.

The contents found in 1938 are given in table 106. These figures too lay an equal amount higher. The figures for the separate layers show the same differences as by CaCO_3 -acet. ac. but on a higher level. From the surface layer disappeared 0,634 % CaCO_3 , corresponding with 1 % in 32 years.

The higher figures found by treating the soil with HCl are due to the presence of (CaMg)-carbonate in the soil, which is little soluble in acetic acid but is easily attacked by HCl. By diminishing the MgO content (10 % HCl) with the percentage of exchangeable MgO and subtracting the thus found MgO content, calculated on CaCO_3 , from the CaCO_3 -HCl-figure, we will find the true CaCO_3 content of the soil, at least if the soil, besides exchangeable MgO and MgCO_3 does not contain other Mg compounds (minerals) soluble in HCl, which, however, probably will not be absolutely true. The calculated in this way figures for CaCO_3 are given in table 107; they lay on an average 0,47 % lower than the figures for CaCO_3 -acet. ac. (table 105), while somewhat higher values were to be expected. Presumably by the determination of CaCO_3 -acet. ac. by the method, which was followed (SCHEIBLER; contact of soil and acet. ac. during two hours), not only CaCO_3 but some MgCO_3 is decomposed too. Perhaps the right value for CaCO_3 is approached nearest by averaging the figures for CaCO_3 -acet. ac. and those for CaCO_3 -HCl after correcting them in the way mentioned above (tables 105 and 107).

§ 8. MAGNESIUM

a. *The MgO supply of the soil*

The soil in the lysimeters contains a quantity of MgO, soluble in 10-% HCl, which, with losses sustained by the lysimeters (crops and drainage), would last 2200—2600 years. With practical yields the store of MgO would be sufficient for 3000 years. Taking into account the higher amount of total-MgO, the store would be exhausted at the earliest after 3000 years.

This estimate sounds reassuring for the present, but the question must be put, if it is not possible, that the stock of MgO, already long for complete exhaustion, has become too small or too little accessible to secure under all circumstances maximal yields. That this stage has already set in by some of the Dutch clay soils, is certainly not excluded. Among the clay soils, which

have been in observation for several years already by the Experimental Station, there are some which point to this possibility.

b. *MgO content of the soil in 1918 and in 1938.*

In 1918 the MgO content, soluble in 10-% HCl, was 0,836 %. The figures for 1938 (table 111) show, that the content has increased a little, especially in the first 50 cm of the soil. It seems that originally insoluble magnesium in the course of the first 20 years has become soluble in 10-% HCl.

LITERATUURLIJST (REFERENCES)

*Lijst van afkortingen van tijdschriften en periodieken**(List of abbreviations of journals and periodicals)*

- Ann. Agron.* Annales Agronomiques, Paris.
- Ann. Chem. u. Pharm.* Annalen der Chemie und Pharmacie (Liebig).
- Arch. néerl. d. Sci.* Archives néerlandaises des Sciences exactes et naturelles.
(Hollandsche Maatschappij van Wetenschappen, Haarlem).
- Bioklim. Beibl. Meteor. Ztschr.* Bioklimatische Beiblätter der Meteorologischen Zeitschrift, Braunschweig.
- Biederm. Zentr. Bl.* Biedermann's Zentralblatt für Agrikulturchemie und rationellen Landwirtschaftsbetrieb, Leipzig.
- Boden u. Pfl.* Bodenkunde und Pflanzenernährung. Neue Folge der „Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde“, Bd 1—45, Berlin.
- Centr. bl. Bakt. II.* Centralblatt für Bakteriologie, Parasitenkunde und Infektionskrankheiten.
- Chem. Ackersmann.* Der Chemische Ackersmann. Naturkundliches Zeitblatt für deutsche Landwirthe von A. Stöckhardt, Leipzig.
- Chem. Wbl.* Chemisch Weekblad, Amsterdam.
- Compt. Rend.* Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences, Paris.
- Forschungsdienst.* Der Forschungsdienst. Neue Folge der „Deutschen landwirtschaftlichen Rundschau“, Berlin.
- Fühl. landw. Zt.* Fühlings Landwirtschaftliche Zeitung. Zentralblatt für praktische Landwirtschaft, Stuttgart.
- Jahresber. Agrik. Chem.* Jahresbericht über die Fortschritte auf dem Gesamtgebiete der Agrikultur-Chemie.
- J. Agric. Sci.* Journal of Agricultural Science, London.
- J. Landw.* Journal für Landwirtschaft, Berlin.
- J. Amer. Soc. Agron.* Journal of the American Society of Agronomy.
- J. Roy. Agric. Soc. Engl.* Journal of the Royal Agricultural Society of England, London.
- Landw. Jahrb.* Landwirtschaftliche Jahrbücher, Berlin.
- Landb. Tijdschr.* Landbouwkundig Tijdschrift, Wageningen, Nederland.
- Landw. Vers. Sta.* Landwirtschaftliche Versuchsstationen, Berlin.
- Proc. Chem. Soc.* Proceedings of the Chemical Society of London.
- Proc. 1st Int. Congr. Soil. Sci.* Proceedings of the first International Congress of Soil Science, Washington.
- Proc. R. Soc. Lond.* Proceedings of the Royal Society, London.
- Russ. J. Landw.* Russisches Journal für Experimentelle Landwirtschaft (mit Wiedergabe des Inhalts der Originalarbeiten in deutscher Sprache).
- Scheik. Verh.* Scheikundige Verhandelingen en onderzoekingen uitgegeven door G. J. MULDER, Nederland.
- Science* Science, New York.
- Soil Research.* Soil Research. Supplements to the Proceedings of the International Society of Soil Science.
- Soil Sci.* Soil Science, Baltimore, Md.
- Ver. Expl. Proefb. Klei en zavel.* Vereeniging tot Exploitatie van Proefboerderijen in de Kleien zavelstreken van de Provincie Groningen, Nederland.
- Verh. K. A. W.* Verhandelingen der Koninklijke Akademie van Wetenschappen, Amsterdam.

<i>Versl. Rijkslandb. Proefst.</i>	Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen der Rijks-landbouwproefstations, Nederland.
<i>Ztschr. Pflanz. Düng.</i>	Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde, Berlin.
<i>Ztschr. land. Vers. Ost.</i>	Zeitschrift für das landwirtschaftliche Versuchswesen in Oesterreich.

1. ALWAY, F. J. A nutrient element slighted in agricultural research. *J. Amer. Soc. Agron. Vol.* 32, 1940.
- 1a. ATTERBERG, A. Natron als Ersatzmittel des Kali bei der Düngung. *Biederm. Centr. Bl.* 1892.
2. BAREN, F. A. VAN. Het voorkomen en de beteekenis van kalkhoudende mineralen in Nederlandsche gronden. *Proefschr. Wageningen*, 1934.
3. BEMMELEN, J. M. VAN. Bouwstoffen t. d. kennis v. d. kleigronden der provincie Groningen. *Scheik. Verh. Dl.* 3, 2e st. 1863.
4. — Die Zusammensetzung der Ackererde nach Anleitung der mitgeteilten Analysen von gewöhnlichen und vulkanischen Thonböden. *Landw. Vers. Sta.* 37, 1890.
5. — Bijdrage t. d. wetensch. biographie van G. J. MULDER, Hist. krit. beschouwing van zijn werk: De scheikunde d. bouwbare aarde. *Verh. K. A. W. 1e Sect., Dl. VII*, No. 7, 1901. Ook: *Landb. Tijdschr.*, 1901.
6. BERTHELOT, M. Recherches sur le drainage. *Compt. Rend. T* 105, 1887.
7. — Fixation directe de l'azote atmospherique libre par certains terrains argileux. *Id. T* 101, 1885.
8. BERTRAND-SILBERSTEIN. Recherches sur l'importance des sulfates comme engrais. *Ann. Agron.*, 1933.
9. BEYERINCK, M. W. L'influence des microbes sur la fertilité du sol et la croissance des végétaux supérieurs (Discours pron. 21 mai 1904). *Arch. néerl. d. Sci. Serie II, tome IX*.
10. BOUSSINGAULT, J. B. Die Landwirtschaft in ihren Beziehungen zur Chemie, Physik u. Meteorologie. II, 1851.
11. BRUIN, P. en TEN HAVE, J. Het bepalen van magnesiumcarbonaat naast calciumcarbonaat in grond. *Chem. Wbld.* 32, 1935.
12. BRUIN, P. De aanwezigheid van calciummagnesium-carbonaat naast calciumcarbonaat in kleigronden en de ontleding dezer carbonaten onder invloed van zoutzuur, azijnzuur en de bodemzuren. *Versl. Rijkslandb. Proefst. No.* 44 A, 1938.
13. COMBER, N. M. The availability of mineral plant food. *J. Agric. Sci.* 12, 1922.
14. CROWTHER, C. — RUSTON, A. G. The nature, distribution and effects upon vegetation of atmosferic impurities in and near an industrial town. *Id.* 4, 1911—1912.
15. DEHERAIN, P. P. Recherches sur l'épuisement des terres arables par la culture sans engrais. *Ann. Agron. T* 16, 1890.
16. — Sur la composition des eaux de drainage des terres nues et cultivées. *Id. T* 17, 1891.
17. — Contribution à l'étude des eaux de drainage. *Id. T* 18, 1892.
18. — Les eaux de drainage des terres cultivées. *Id. T* 19, 1893.
19. — id. Deuxième et troisième mémoire. *Id. T* 20, 1894.
20. — id. Quatrième mémoire. *Id. T* 21, 1895.
21. — Recherches sur les eaux de drainage des terres nues et des terres cultivées. 5e mémoire. *Id. T* 23, 1897.
22. EHRENBERG, P. Zur natürlichen Bewegung der Phosphorsäure im Erdboden. *Forschungsdienst Bd* 6, 1938, 414 en 462.
23. ELEMA, J. Bodem en Bemesting, 1909 (v. Pesch Beknopte handl. t. d. kennis v. d. Nederl. Landb. I).
24. ENGELHARDT, J. H. De drainageproef op perc. 4 der Proefboerderij te Nw. Beerta. *Verslag 1930—1934, Ver. Expl. Proefb. Klei- en zavel, Gron.*
25. FLIEG, O. Über den Einfluss von Humaten auf die Beweglichkeit der Phosphorsäure im Boden. *Ztschr. Pflanz. Düng.* 38, 1935.

26. FRAAS, C. Versuche mit Lysimetern. Untersuchung der Lysimeterrückstände. *Jahresber. Agrik. Chem.* 2, 1859—1860, 9—15, 4, 1861—1862, 7—16.
27. GEERTSEMA, C. J. Beschrijving v. d. landbouw in de districten Oldambt, Westerwolde en Fivelgo in de prov. Groningen (1868).
28. GERLACH, M. Unters. ü. d. Menge u. Zusammensetzung der Sickerwässer. *Landw. Jahrb.* 64, 1926.
29. GERRETSEN, F. C. Bodem-bacteriologie in dienst van land- en tuinbouw. (Dep. v. Econ. Zaken, Dir. v. d. Landb. 1939.)
30. — De rol van de microben bij de fosphaathuishouding in den grond. *Chem. Wbld.* 35, 1938, 504.
- 30a. HALL, A. D. The book of the Rothamsted experiments. Sec. ed. (revised by E. J. RUSSELL) 1917.
31. HALL-MILLER-GIMINGHAM. Nitrification in acid soils. *Proc. R. Soc. Lond. Ser. B.* Vol. 80, 1908, 196.
32. HANAMANN, J. Lysimeterversuche. *Ztschr. land. Vers. Ost.* 1, 1898, 399. *Jahresber. Agrik. Chem.* 1899, 29.
33. — Lysimeterversuche des Jahres 1899. *Id.* 4, 1901, 34. *Jahresber. Agrik. Chem.* 1900, 31.
34. HEIDEN, E. Lehrbuch der Düngerlehre II, 1887.
35. HEINZE, B. Ueber de N-assimilation durch niedere Organismen. *Landw. Jahrb.* 35, 1906.
36. HENDRICK, J. — WELSH, H. D. The substances removed by the drainage from a scottish soil. *Proc. first intern. Congr. of Soil Sci.*, 1927.
37. HILGARD, E. W. Soils, 1906.
38. HUDIG, J. — WELT, H. Het drainage proefveld te Uithuizermeeden. *Versl. Rijks-landb. Proefst.*, No. X, 1911.
39. ISRAEL, H. Ueber den Chlorgehalt des Regenwassers. *Bioklim. Beibl. d. Meteor. Ztschr.* I, 1934.
- 39a. v. ITALLIE, TH. B. De beteekenis van natrium voor bieten bij verschillende natrium- en kaliumvoorziening. *Landb. Tijdschr.* 52, 1940.
40. JENNINGS, D. S. The effect of certain colloidal substances on the growth of wheat seedlings. *Soil Sci.*, 7, 1919.
41. JENNY, H. — COWAN. The utilization of adsorbed ions by plants. *Science*, 1933.
42. — — OVERSTREET. Cation interchange between plant roots and soil colloids. *Soil Sci.*, 47, 1939.
43. — — OVERSTREET — AYERS. Contact depletion of barley roots as revealed by radio-active indicators. *Id.*, 48, 1939.
44. KRÜGEL — DREYSPRING — HEINRICH. Die Bedeutung der Sulfate für die Pflanzen-ernährung. *Forschungsdienst* 6, 1938.
45. KRÜGER, W. Einfluss der Düngung und des Pflanzenwachses auf Bodenbeschaffenheit und Bodenerschöpfung. *Landw. Jahrb.* 34, 1905.
46. LAWES — GILBERT — WARINGTON. On the amount and composition of the rain and drainagewaters collected at Rothamsted. Part II. The amount and composition of the drainagewaters from unmanured fallow land. *J. Roy. Agric. Soc. England. s.s. Vol.* 17, 1881 p. 326.
47. — — Idem; Part III. The drainagewaters from land cropped and manured. *Id. Vol.* 18, part I, 1882.
48. LEEFLANG, K. W. H. De chemische samenstelling van den neerslag in Nederland. *Chem. Wbld.* 35, 1938.
49. LEMMERMAN, O. — ENGEL — BEHRENS. Der Einfluss der künstlichen Düngemitteln u. des Stalldüngers a. d. Fruchtbarkeitszustand des Bodens. *Ztschr. Pflanz. Düng.* 37, 1935.
50. LIEBIG, J. Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur u. Physiologie, 1840.
51. LÖENIS, F. Handbuch der landw. Bakteriologie, 1910.

52. — Die Bedeutung der Stickstoffbindung in der Ackererde. *Fühl. landw. Zt.*, 1909.
53. MASCHHAUPT, J. G. Het zavelproefveld v. h. Rijksl. proefstation te Groningen in de jaren 1911—1934. *Versl. Rijkslandb. Proefst.*, No. 42 A, 1936.
54. — De invloed van grondsoort en bemesting op het gehalte onzer landbouwgewassen aan N en aschbestanddeelen. *Id.* 22, 1918; 23, 1919; 25, 1921; 27, 1922; 28, 1923.
55. — In hoeverre kunnen K, Na, Ca en Mg elkander in de plant vervangen? *Id.* 40 A, 1934.
56. — Reactieverandering van den bodem tengevolge van plantengroei en bemesting. *Id.* 10, 1911.
57. — Onderzoek naar de veranderingen, welke door plantengroei en bemesting in den bouwgrond teweeggebracht worden. *Id.* 12, 1912.
58. — De cultuurgronden op IJsselmonde. *Id.* 39 A, 1933.
59. — De samenstelling onzer cultuurgewassen in opeenvolgende groeiperioden. *Id.* 25, 1921.
60. — Onderzoek naar de opneembaarheid van het in Thomasphosphaat en enkele andere phosphaten aanwezige phosphorzuur door middel van zandcultures. *Id.* 27, 1922.
61. MAYER, A. Lehrbuch d. Agrik. Chemie II₂. Die Düngerlehre. 5e Aufl., 1902.
- 61a. MEYER, C. — GOEDEWAAGEN, M. A. J. Een geval van zinkvergiftiging door het gebruik van verzinkt ijzergaas. *Landb. Tijdschr.* 52, 1940.
- 61b. — Het humusgehalte van den grond. *Land. Tijdschr.* 53, Maart 1941.
62. MEYERS, P. G. Vruchtopvolging. (Dep. v. Landb. en Vissch. Dir. v. d. Landb., 1936.)
63. MEYERS, P. G. — GOEDEWAAGEN, M. A. J. Een onderzoek naar de beworteling van luzerne. *Versl. Rijkslandb. Proefst.* No. 42 A, 1936.
64. MILLER, N. H. J. The amounts of N, as nitrates, and chlorine in the drainage through uncropped and unmanured land. *Proc. chem. Soc.* Vol. 18, 1902.
65. — The amount and composition of the drainage through unmanured and uncropped land, Barnfield, Rothamsted. *J. Agric. Sci.* I, 1905—1906.
- 65a. — The amounts of nitrogen as ammonia and as nitric acid, and of chlorine in the rainwater collected at Rothamsted. *J. Agric. Sci.* I, 1905—1906.
66. MULDER, G. J. De scheikunde der bouwbare aarde, 1860. H. A. Kramers, Rotterdam.
67. — Levensschets van G. J. MULDER door hemzelf geschreven en door drie zijner vrienden uitgegeven. Rotterdam, Kramers & Zn. 1881, I blz. 246.
68. NIKLAS, H. c.s. Literatursammlung a. d. Gesamtgebiete d. Agrikulturchemie IV. Düngung und Düngemittel 1938. V. Ergänzungsband, 1939.
69. OTTEN, J. M. L. Bemestingsleer, 6e dr. 1937 (Nederl. Land- en Tuinbouwbibl.)
70. PAAUW, F. v. D. De landbouwkundige beteekenis van het gips, het voornaamste bestanddeel van superfosfaat. *Landb. Tijdschr.* 46, 1934.
71. PARKER, F. W. Soil phosphorus studies III. *Soil Sci.*, 24, 1927.
72. — — PIERRE, W. H. The relation between the concentration of mineral elements in a culture medium and the absorption and utilization of those elements by plants. *Id.* 25, 1928.
73. PFEIFFER, TH. Stickstoffsammelnde Bakterien, Brache und Raubbau, 1904.
74. — Ueber die Stickstoffbindung im Ackerboden. *Fühl. land. Zt.* 55, 1906.
75. — Das Stickstoffkapital im Ackerboden bei einseitigen Düngung mit Salpeter. *Id.* 57, 1908.
76. PRJANISCHNIKOW, D. M. Die Düngerlehre, nach der 5ten russischen Aufl. herausg. v. Dr. M. v. WRANGELL, 1923.
77. REINDERS, G. Handboek v. d. Nederl. Landb. en de Veeteelt I, 1899.
78. REMY, TH. Untersuchungen über die Stickstoffsammlungsvorgänge in ihrer Beziehung zum Bodenklima. *Centr. bl. Bakt.* II, 22, 1909.

79. RIEL, J. A. v. Enkele opmerkingen over het z.g. veelooze bedrijf. *Landb. Tijdschr.* 43, 1931.
80. RUSSELL, E. J. — RICHARDS, E. H. The washing out of nitrates by drainagewater from uncropped and unmanured land. *J. Agric. Sci.* X, 1920.
81. — The amount and composition of rain falling at Rothamsted. *Id.* IX, 1918—1919.
82. RUSSELL, E. J. Soil conditions and plantgrowth, sec. impr. 1913.
83. SCHNEIDEWIND, W. Die Stickstoffquellen u. d. Stickstoffdüngung. 1908.
84. SEELHORST, C. VON. Die Wasserbilanz u. d. Nährstoffverluste eines gebrachten Lehm- und Sandbodens in den Jahren 1905—1912. *J. Landw.* 61, 1913.
85. — Beiträge zur Lösung der Frage nach dem Wasserhaushalt im Boden u. nach dem Wasserverbrauch der Pflanzen. *Id.* 52, 1904.
86. — Idem. *Id.* 53, 1905.
87. SLOTTER, ED. Studien u. Versuche ü. d. Wert der Wurzelrückstände und verschiedene Kulturpflanze als Stickstoffsammler und Gründünger. *Biederm. Zentr. Bl.* 40, 1911.
- 87a. SPITHORST, C. De methodiek van de humusbepalingen. *Versl. Rijksl. Proefst. No.* 38, 1932.
88. STECHER. Dritter Ber. ü. mein seit dem Jahre 1840 ohne Viehhaltung u. Stalldünger bewirtschaftetes Bauergut in Wingendorf. Ein Beitrag zur Düngungs- u. Bodenerschöpfungsfrage. *Chem. Ackersmann*, 1868, 129.
- 88a. STOKLASA, J. en DOERELL, E. G. Handbuch der Biophysikalischen und Biochemischen Durchforschung des Bodens, 1926.
89. STRATINGH, G. H. en VENEMA, S. A. De Dollard, of geschied-, aardrijks- en natuurkundige beschrijving van dezen boezem der Eems, Groningen, 1855.
90. THIELE, R. Die Verarbeitung des atmosphärischen Stickstoffs durch Mikroorganismen. *Landw. Vers. Sta.* 63, 1906.
91. VOELCKER, J. A. The Woburn field experiments. *J. Roy. Agric. Sci. Engl. Vol.* 64, 1903, 355.
92. VRIES, O. DE — HETTERSCHIJ. Beweglichkeit der Phosphorsäure im Boden. *Bodenk. u. Pfl.* 2 (47), 1936—1937.
93. — en v. D. PAAUW. Een en ander over de fosfaathuishouding in enkele Nederl. grondsoorten. *Landb. Tijdschr.* 49, 1937.
- 93a. — Die Löslichkeit von Bodenphosphat in Wasser, Zitronensäure u. Königswasser. *Ztschr. Pflanz. Düng.* 6 (51), 1938, 144.
- 93b. VRIES, O. DE — HETTERSCHIJ. Phosphate solubility in three types of light soils in different acids and at different pH. *Soil Research VI*, 2, 1938.
94. VRIES, O. DE. De magnesiumverzorging der cultuurplanten. *Chem. Wbl.* 36, 1939, 593.
95. VRIEZE, K. DE. Kunstdünger und Humus. *D. landw. Presse*, 1901.
96. WAY, TH. On the composition of the waters of landdrainage and of rain. *J. Roy. Agric. Soc. Engl.* 17, 1856.
97. WEISKE, H. Ueber die Zusammensetzung u. Menge der dem Acker nach der Ernte verbleibenden Stoppel- und Wurzelrückstände. *Landw. Vers. Sta.* 14, 1871.
98. WELBEL, B. M. Zur Frage ü. d. Stickstoffgehalt der atmosphärischen Niederschläge. *Russ. J. Landw.*, 1903.
99. WILLIS, L. G. Bibliography of references to the literature on The Minor Elements and their relation to plant and animal nutrition. 3e ed. (Published by the Chilean Nitrate Educational Bureau, 1939).
100. WOOD, CH. Düngende Stoffe, die eine Leguminosen-Ernte und der im Boden bleibende Rückstand enthält. *Biederm. Centr. Bl.* 20, 1891.
101. ZOELLER, H. Chem. Analyse von Lysimeterrückständen. *Ann. Chem. u. Pharm.* 107, 1858.
102. Tabellen voor de gehalten aan N, P₂O₅, K₂O en CaO der voornaamste Nederl. landbouwgewassen (Sept. 1934, Gebr. Hoitsema, Groningen.)

BESCHRIJVING VAN DE BIJ HET SCHEIKUNDIG ONDERZOEK DER DRAINWATER-, REGENWATER-, GROND- EN GEWASSENMONSTERS GEVOLGDE VOORSCHRIFTEN

DOOR

J. TEN HAVE

a. Onderzoek van het drainwater (regenwater)

Droogrest en gloeirest. De droogrest werd bepaald door 100 cm³ drainwater op een waterbad droog te dampen en daarna gedurende twee uren bij 103°—105° C te drogen. De gloeirest werd verkregen door deze droogrest zwak te gloeien. Later is de gloeirest bepaald door na zwak gloeien van de droogrest het residu met ammoniumcarbonaat op het waterbad in te dampen en op een spiritusvlam af te rooken.

Voor al bij aanwezigheid van veel MgO zijn de resultaten onbetrouwbaar (21). ¹⁾ KÖNIG (7, blz. 965) wijst erop, dat men bij het bepalen van de gloeirest van watermonsters verliezen kan krijgen, wanneer nitraten en chloriden van Ca en Mg aanwezig zijn. Aangeraden wordt om vóór het indampen een bepaalde hoeveelheid Na₂CO₃ toe te voegen. Toch blijft nog altijd het bezwaar van de ontleding van het magnesiumcarbonaat bestaan en het niet weer volledig binden van CO₂ bij de behandeling met ammoniumcarbonaat. Als hiermede eenige keeren achtereen wordt bevochtigd en afgerookt, kunnen de resultaten nogal variëren.

Ook is opgemerkt, dat bij het gloeien een verlies aan SO₃ kan optreden. Het toevoegen van Na₂CO₃ — per 100 cm³ drainwater 5 cm³ van een oplossing van 30 g watervrij Na₂CO₃ tot 500 cm³ — is verder altijd gedaan; de behandeling met ammoniumcarbonaat van de gloeirest is later achterwege gelaten.

Aanvankelijk werd de gloeirest gebruikt ter contróle der afzonderlijke analyses. Voor dit doel is de gloeirest, tengevolge der wisselende samenstelling, echter ongeschikt.

Oxydeerbaarheid. Ter bepaling van de oxydeerbaarheid wordt de methode van KOLTHOFF gevolgd, welke in zure oplossing bij kamertemperatuur wordt uitgevoerd (22).

¹⁾ Zie de literatuurlijst op blz. 521.

Bij 100 cm³ of minder — er mag n.l. hoogstens $\frac{1}{3}$ van het KMnO₄ verbruikt worden — voegt men 5 cm³ 4 n. H₂SO₄ of, als ferri-zouten aanwezig zijn, 10 cm³ phosphorzuur van 25 % en 25 cm³ $\frac{n}{100}$ KMnO₄. Met phosphorzuur aangezuurde ferrizouten maken n.l. volgens WINKLER (23) uit KJ geen J vrij. Na 24 uren staan voegt men 0,4 cm³ KJ-oplossing van 50 % toe en titreert men met natriumthiosulfaat ($\pm \frac{n}{100}$); tegen het einde van de titratie voegt men 5 cm³ zetmeeloplossing toe. 1 cm³ $\frac{n}{100}$ KMnO₄ = 0,31606 mg KMnO₄.

Bij deze methode is men niet afhankelijk van de temperatuur en van den tijd, gedurende welken wordt verhit, hetgeen bij sommige andere methoden invloed heeft op de meerdere of mindere omzetting van de organische stof.

Aanvankelijk is ook een correctie voor de aanwezigheid van nitriet aangebracht, bepaald door aan 100 cm³ water 5 cm³ 4 n. H₂SO₄ of 10 cm³ phosphorzuur van 25 % toe te voegen, vervolgens 25 cm³ $\frac{n}{100}$ KMnO₄ en direct daarna 0,4 cm³ KJ van 50 % en te titreeren met $\pm \frac{n}{100}$ thio. De verbruikte hoeveelheid KMnO₄ zou dan benodigd zijn geweest voor de oxydatie van nitriet.

Later is deze correctie niet meer afgetrokken, daar zij volgens vorenstaande bepaling veel grooter is dan overeen kan komen met het nitrietgehalte van het drainwater. Volgens WINKLER (24) veroorzaakt 0,3 mg nitrietstikstof per l een verbruik van 4,3 cm³ $\frac{n}{100}$ KMnO₄ per l. Bij ons drainwater is het gehalte aan nitriet nihil of zeer laag.

Gedurende eenigen tijd, waarin chloroform als conserveermiddel aan het drainwater werd toegevoegd, is ook nog een correctie aangebracht voor de aanwezigheid van chloroform. Het verbruik van KMnO₄ door dezelfde hoeveelheid chloroform volgens voren beschreven methode bepaald, bleek zoo sterk te varieeren, dat de bepaling van de oxydeerbaarheid gedurende korten tijd is gestaakt.

CO₂, aanwezig als hydrocarbonaten. Men titreert 100 cm³ in een witte porceleinen schaal met $\frac{n}{10}$ HCl, met methyloranje als indicator, tot de eerste omslag van geel in oranje optreedt.

Den laatsten tijd wordt uit 100 cm³ drainwater na toevoeging van een

geringe overmaat $\frac{n}{10}$ HCl het CO_2 uitgekookt en daarna terug getitreerd met $\frac{n}{10}$ NaOH met een mengsel van gelijke deelen methylood en broomkresolgroen als indicator.

De verbruikte hoeveelheid HCl geeft aan de hoeveelheid CO_2 , gebonden als bicarbonaten + carbonaten, vermeerderd met de hoeveelheid der in het drainwater aanwezige silicaten.

Daar 1 SiO_2 aequivalent is met 2 CO_2 , afkomstig van hydrocarbonaat, dient men de in het drainwater gevonden hoeveelheid SiO_2 te vermenigvuldigen met $88 : 60,06 = 1,4652$ en van de gevonden hoeveelheid CO_2 af te trekken.

Gezien het feit, dat het drainwater steeds vrij koolzuur bevat, mag men wel aannemen, dat slechts bicarbonaten en geen carbonaten aanwezig zijn.

Bij de bepaling zou nog een fout gemaakt kunnen worden, n.l. door aanwezigheid van Fe als hydroxyd, waardoor ook HCl wordt verbruikt. De hoeveelheid Fe, in deze drainwaters aanwezig, is evenwel van geen beteekenis.

Nitraat-stikstof. Als regel worden bij de verschillende onderzoekingsmethoden de nitraat- en de nitriet-stikstof samen bepaald, waarna later de nitriet-stikstof wordt afgetrokken.

Voor het bepalen van de som van nitraat- en nitriet-stikstof werd in de eerste jaren de methode van DEVARDA (1) gebruikt. Deze wordt als volgt uitgevoerd:

Nadat uit 300 cm^3 water de ammoniak met MgO is afgedestilleerd, wordt de rest in de kolf met gedestilleerd water tot ongeveer 200 cm^3 aangevuld; vervolgens voegt men 5 cm^3 alcohol van 96 %, 2 g DEVARDA'sche legering en 15 cm^3 KOH s. g. 1,3 toe. Eerst wordt zacht verwarmd; na $\frac{1}{2}$ —1 uur staan wordt in ongeveer $\frac{1}{2}$ uur 100 cm^3 afgedestilleerd. Het destillaat wordt opgevangen in een kolf, waarin zich 5 cm^3 water en 2 druppels HCl van 1 % bevinden. Na aanvullen tot 200 cm^3 bepaalt men in 25 of 50 cm^3 colorimetrisch den ammoniak met NESSLER's reagens. Bij grootere hoeveelheden stikstof wordt de ammoniak titrimetrisch bepaald door dezen op te vangen in $\frac{n}{10}$ H_2SO_4 en terug te titreeren met $\frac{n}{10}$ NaOH.

Vergeleken werd nog de colorimetrische methode ter bepaling van nitraat-stikstof van GRANDVAL en LAJOUX (2), beschreven in den watercodex, met de in deze methode door FARCY (3), SPRENGEL en KOLTHOFF (4), welke gebruik maakten van het reagens van FREDERICK (5), aangebrachte wijzigingen.

Voor grootere hoeveelheden nitraat is deze methode minder geschikt;

ook waren de tinten bij drainwater dikwijls minder mooi, zoodat vergelijking met de standaardoplossing onzeker werd.

Later is ter bepaling van de nitraat- en de nitriet-stikstof overgegaan tot de methode van ARND (6). De overeenstemming tusschen duplo-bepalingen is bij deze methode over 't geheel beter dan bij de methode van DEVARDA, hetgeen waarschijnlijk wordt veroorzaakt door de meer varieerende en grootere correctie voor de blanco-proef bij de laatste.

De methode van ARND wordt als volgt uitgevoerd. Uit 300 cm³ drainwater wordt eerst met 1 g MgO de ammoniak afgedestilleerd. Daarna vult men den inhoud van de destillatiekolf met gedestilleerd water aan tot 250 cm³, voegt 5 cm³ eener MgCl₂-oplossing (200 g gekrist. MgCl₂ in 1000 cm³ water) en 3 g tot fijn poeder gewreven ARND'sche legering toe en destilleert direct met volle vlam. Men destilleert minstens 200 cm³ af en bepaalt in het destillaat titrimetrisch den ammoniak.

Nitriet-stikstof. De in den beginne toegepaste methode van FELDHAUS-KUBEL (7, blz. 972), welke berust op de oxydatie van het nitriet met KMnO₄ bij kamertemperatuur, direct in het water of na destillatie met azijnzuur, geeft minder betrouwbare resultaten door de aanwezigheid van organische stof in het drainwater en door de te geringe hoeveelheden nitriet.

Betere resultaten geeft de colorimetrische methode van GRIESZ, gewijzigd door ILOSVAY (8). De bepaling van het nitriet geschiedt direct in het water en niet in het destillaat, zooals RABEN voorschrijft (9), daar het gevaar bestaat, dat het salpeterigzuur door de aanwezige organische stof wordt ontleed (10). Van het drainwater brengt men 50 cm³, eventueel minder na aanvullen met gedestilleerd water tot 50 cm³, in een HEHNER'schen cilinder. Vervolgens voegt men 5 cm³ reagens van ILOSVAY toe en plaatst den cylinder gedurende 1/2 uur in een waterbad van 70°—80° C. De optredende roode kleur vergelijkt men met oplossingen van NaNO₂, welke resp. 0,001, 0,005, 0,01 enz. mg N₂O₃ bevatten.

De laatste jaren wordt ter bepaling van de nitriet-stikstof de diphenylamin-methode toegepast (11). In een reageerbuis worden aan 5 cm³ water 5 cm³ diphenylaminreagens toegevoegd en direct afgekoeld. Bij aanwezigheid van nitriet treedt een blauwkleuring op, welke na ongeveer 10 minuten de grootste sterkte bereikt. De kleur wordt dan vergeleken met die van een standaardoplossing. Hiervoor maakt men een oplossing van NaNO₂, welke 0,002 mg stikstof per cm³ bevat. Voor de standaardserie neemt men hiervan dan 0, 0,2, 0,4 enz. cm³ en verdunt deze tot 5 cm³.

Bereiding van het reagens: Aan 60 mg diphenylamin voegt men 325 cm³ verdund H₂SO₄ (1 vol. H₂SO₄ en 3 vol. water) toe en vult daarna met ge-

concentreerd H_2SO_4 tot 500 cm^3 aan. Wanneer het drainwater ijzerverbindingen bevat, moeten deze van te voren met ammoniak worden verwijderd; 10 mg Fe geven een reactie gelijk aan 0,5 mg HNO_2 .

Ammoniak-stikstof. Voor de bepaling van de ammoniak-stikstof werd bij de eerste onderzoeken het water met MgO afgedestilleerd. Het destillaat werd opgevangen in een paar druppels HCl van 1 % en hierin colorimetrisch met NESSLER's reagens de ammoniak bepaald.

Daar met MgO ook organische stikstofverbindingen kunnen worden omgezet, is de ammoniakbepaling later als volgt direct in het drainwater uitgevoerd.

Bij 100 cm^3 water voegt men 2 cm^3 ontkalkingsvloeistof, schudt daarna flink om en laat 1 tot 2 uren bezinken. 50 cm^3 van de bovenstaande vloeistof brengt men in een HEHNER'schen cylinder en voegt 1 cm^3 NESSLER's reagens toe. Na $\frac{1}{4}$ tot $\frac{1}{2}$ uur staan vergelijkt men de kleur met die van een standaard-oplossing. Hiervoor dient een NH_4Cl -oplossing, waarvan 1 $\text{cm}^3 = 0,05$ mg $\text{NH}_3 = 0,041$ mg N. Van deze oplossing verdunt men resp. 0, 0,1, 0,2 enz. cm^3 met ammoniakvrij water tot 50 cm^3 .

De ontkalkingsvloeistof wordt gemaakt door 50 g NaOH + 50 g watervrij Na_2CO_3 in 600 cm^3 gedestilleerd water op te lossen en in te koken tot 500 cm^3 (25, blz. 54).

Organisch gebonden stikstof. Het gehalte aan organisch gebonden stikstof vindt men door de albuminoïd-stikstof en de ammoniak-stikstof samen te bepalen volgens de methode, aangegeven in den watercodex (2, blz. 105) en de uitkomst te verminderen met het gevonden ammoniakgehalte (zie boven).

Aan 400 cm^3 water voegt men 50 cm^3 eener oplossing, verkregen door 100 g KOH en 4 g KMnO_4 in water op te lossen tot 500 cm^3 , benevens 1 g MgO toe.

Bij de daaropvolgende destillatie, waarbij 5 cm^3 water met 2 druppels 1-% HCl worden voorgelegd, moet aanvankelijk voorzichtig worden verhit, daar een sterke schuimvorming optreedt.

Nadat 150 cm^3 zijn overgedestilleerd, vult men het destillaat aan tot 200 cm^3 en bepaalt in 25 à 50 cm^3 colorimetrisch den ammoniak met NESSLER's reagens.

Het verdient aanbeveling de destructievloeistof kort voor het destilleeren in de kolf te doen en puimsteen toe te voegen, daar de vloeistof anders geweldig kan stooten.

In het begin van het onderzoek werd nog een tijdlang de methode van DENSCH (13) gevolgd, waarbij wordt ingedampt met phosphorzwavelzuur en

ferrosulfaat en verder gedestruueerd. Met het oog op het heftige stooten moest hierbij van een koperen destillatiekolf gebruik worden gemaakt.

P_2O_5 . Ter bepaling van het P_2O_5 verwarmt men 1 l drainwater met 1 cm^3 $FeCl_3$ -oplossing van 10 % en 2 cm^3 verzadigde aluinoplossing onder dikwijls omschudden in een kolf van 1½ l gedurende 1 uur op het waterbad. Het phosphorzuur slaat hierbij volledig neer als ferriphosphaat (14); als het neerslag vlokkig is geworden laat men bezinken. Men filtreert het neerslag op een wattenprop van ½ g af en lost het in 30 cm^3 warm HNO_3 van 30 % op. Men wast het watten filter eenige malen met water na, neutraliseert het filtraat gedeeltelijk met ammoniak, dampst tot 50 cm^3 in en bepaalt vervolgens het P_2O_5 volgens de methode-von LORENZ (15).

Om ook het organisch gebonden phosphorzuur mee te bepalen, dampst men 1 l drainwater in, bevochtigt het verdampingsresidu met 3 cm^3 Na_2CO_3 -oplossing van 5 %, waarna men droogdampst en gloeit. Het residu spoelt men met HCl in een kolfje en kookt na toevoeging van HNO_3 . Na verdunning wordt afgefiltreerd, het filtraat verdunt men tot ongeveer 800 cm^3 en slaat hieruit door toevoeging van $FeCl_3$ en aluin volgens WINKLER het phosphorzuur neer.

SO_3 . Uit 100 cm^3 drainwater slaat men met 10 cm^3 ammoniumcarbonaat-oplossing (50 g ammon.carb. + 25 cm^3 ammoniak + 225 cm^3 water) Ca grootendeels neer (25, blz. 398). Daarna wordt aangevuld tot 200 cm^3 en uit 150 cm^3 van het filtraat, na aanzuren met HCl , in de kookhitte SO_3 neerslagen met $BaCl_2$.

De bepaling van de totale hoeveelheid zwavel, dus met inbegrip der organisch gebondene, geschiedt als volgt:

100 cm^3 water dampst men in een kleine nikkelen schaal droog na menging met 2 cm^3 KOH van 1 % en 5 cm^3 $KMnO_4$ van 5 %. Daarna droogt men boven een spiritusvlam en gloeit tenslotte boven een BARTHEL'schen brander. Daarna spoelt men den inhoud der schaal in een kolfje en verwarmt met broomzoutzuur op het waterbad; na afscheiding van SiO_2 slaat men het sulfaat met $BaCl_2$ neer (16).

Cl. De bepaling van het chloor geschiedde in het eerst volgens de methode van VOLHARD, waarbij na toevoeging van een overmaat $AgNO_3$ even werd opgekookt, waardoor het $AgCl$ zich samenbalt (17). Voor de kleinere hoeveelheden chloor, welke later moesten worden bepaald, bleek deze methode ongeschikt en werd die van TILLMANS en HEUBLEIN (18), nader beschreven door WINKLER (19), toegepast.

In 2 bekersglazen van 250 cm³ brengt men 100 cm³ drainwater. Natoevoeging van 1 cm³ K₂CrO₄-oplossing van 10 % titreert men met AgNO₃-oplossing (1 cm³ = 1 mg Cl) tot de kleur roodachtig wordt. Door een druppel eener NaCl-oplossing van dezelfde sterkte neemt men deze roodachtige tint weer weg; de groengele tint van deze vloeistof dient voor de kleurvergelijking.

Daarna wordt bij de andere 100 cm³ zoolang AgNO₃ bijgedruppeld, tot in vergelijking met de eerste 100 cm³, een juist waarneembare roodachtige tint ontstaat, die ook na 5 minuten nog niet is verdwenen. Het verbruikte aantal cm³ per 100 cm³ water moet nog worden verminderd met een correctie, welke volgens WINKLER bedraagt:

Verbruikt AgNO ₃ cm ³	Correctie cm ³	Verbruikt AgNO ₃ cm ³	Correctie cm ³	Verbruikt AgNO ₃ cm ³	Correctie cm ³
0,2	— 0,13	0,8	— 0,16	4,0	— 0,18
0,3	— 0,13	0,9	— 0,16	5,0	— 0,19
0,4	— 0,14	1,0	— 0,16	10,0	— 0,20
0,5	— 0,15	2,0	— 0,17	15,0	— 0,21
0,6	— 0,15	3,0	— 0,18	20,0	— 0,22
0,7	— 0,15				

In den watercodex (2, blz. 99) wordt nog opgemerkt, dat alcalisch water eerst moet worden aangezuurd met HNO₃ en daarna geschud met MgO. TILLMANS en HEUBLEIN en ook WINKLER vermelden dit niet; ook volgens onze onderzoekingen kan alcalisch drainwater direct worden getitreerd.

SiO₂. Ter bepaling van het SiO₂ dampst men 1 l drainwater in een Berlijnsch-porcelainen schaal droog en gloeit voorzichtig. (Bij gloeien in een porcelainen schaal wordt de temperatuur dikwijls niet zoo hoog en wordt daardoor het CaSO₄ niet zoo moeilijk oplosbaar als bij gloeien in een Pt-schaal). Daarna dampst men drie keeren met HCl van 25 % droog en verhit nog minstens 1 uur op het kokend waterbad.

Na afkoeling bevochtigt men met HCl en neemt na 15 minuten in heet water op, filtreert af en wast uit met HCl-houdend water tot ongeveer 200 cm³. Het filter met inhoud wordt verascht, tenslotte gegloeid op de blaasvlam en gewogen. Dit „ruw SiO₂” rookt men af met NH₄F en weegt de rest; het gewicht dezer rest afgetrokken van het „ruw SiO₂” geeft het „zuiver SiO₂”.

Het residu, dat na afrooken met NH₄F overblijft, wordt in HCl opgelost en bij het SiO₂-vrije filtraat, waarin de basen bepaald zullen worden, gevoegd.

K_2O . In de eerste jaren werden de K- en Na-bepalingen uitgevoerd in het filtraat, verkregen bij de MgO-bepaling volgens de methode van SCHAFFGOTT.

Na droogdampen van dit filtraat en gloeien der droogrest wordt met $BaCl_2$ het sulfaat verwijderd en daarna weer het Ba met ammoniumcarbonaat. Tenslotte wordt het filtraat drooggedampt, gegloeid op een spiritusvlam en gewogen als $KCl + NaCl$. Vervolgens wordt hierin op de bekende wijze met H_2PtCl_6 het kalium bepaald.

Later is de bepaling van $KCl + NaCl$ gedurende eenigen tijd gedaan door direct uit het SiO_2 -vrije filtraat het sulfaat neer te slaan met $BaCl_2$, kalkmelk toe te voegen en daarna uit het filtraat Ca en Ba te praecipiteeren met ammoniumcarbonaat. Nagegaan werd nog of dit laatste neerslag ook alkali meesleurt, wat niet het geval bleek te zijn.

Het filtraat wordt na droogdampen afgerookt boven een spiritusvlam en het residu opgenomen in met HCl aangezuurd water. Uit deze oplossing slaat men vervolgens met SCHAFFGOTT'sche oplossing de laatste resten Ca en Mg neer.

Den volgenden dag filtreert men en dampt het filtraat droog, gloeit boven een spiritusvlam en weegt als $KCl + NaCl$, waarna als voren K wordt bepaald. Deze wijziging heeft het voordeel, dat niet eerst op de Ca- en Mg-bepaling gewacht behoeft te worden, terwijl een kleiner aantal manipulaties en minder chemicaliën-gebruik de nauwkeurigheid ten goede komen.

De laatste jaren wordt voor de bepaling van K_2O de cobaltnitrietmethode gevolgd; ze vergt minder tijd en is voornamelijk voor kleinere hoeveelheden K zeker nauwkeuriger dan de Pt-methode. Over deze methode is een uitgebreide literatuur verschenen.

Een deel van het Si-, Zn- en Cu-vrije filtraat wordt ammoniakaal gemaakt en met een ammoniumcarbonaatoplossing opgekookt; na afkoeling wordt aangevuld tot 250 cm^3 . Van het filtraat dampt men 225 cm^3 droog en rookt de ammoniumzouten af. Het residu neemt men op in heet water en vult aan tot 110 cm^3 . Van het filtraat gebruikt men 75 cm^3 voor de K- en 25 cm^3 voor de Na-bepaling. De 75 cm^3 worden in een porceleinen schaalje ingedampt tot $5\text{ à }10\text{ cm}^3$, men voegt 1 cm^3 ijsazijn en 10 cm^3 natriumcobaltnitriet-reagens toe en dampt tenslotte onder voortdurend roeren in tot stroopdikte. Na afkoeling voegt men 25 cm^3 azijnzuur van 10% toe. Den volgenden dag filtreert men door een GOOCH'sche kroes met een papieren filtertje en een weinig asbest en wast uit met 10% ig azijnzuur. Het filter met het neerslag worden vervolgens in een bekersglas gespoeld met ongeveer 100 cm^3 water, waarna men $10\text{ cm}^3\text{ H}_2\text{SO}_4$ van 10% toevoegt en een overmaat $\frac{n}{10}\text{ KMnO}_4$.

Na opkoken laat men tien minuten in een bedekt bekersglas staan en voegt dan evenveel $\frac{n}{10}$ oxaalzuur toe als KMnO_4 , nu wordt even opgekookt en getitreerd met $\frac{n}{10} \text{KMnO}_4$; $1 \text{ cm}^3 \frac{n}{10} \text{KMnO}_4 = 0,857 \text{ mg K}_2\text{O}$.

Bereiding van het natriumcobaltnitriet-reagens:

A. 50 g cobaltnitraat oplossen in 100 cm^3 water en 25 cm^3 ijsazijn.

B. 50 g natriumnitriet oplossen in 100 cm^3 water.

Na menging van 3 dln A en 5 dln B wordt gedurende 1 uur lucht doorgeblazen en daarna gefiltreerd.¹⁾

Na_2O . Het Na is de eerste jaren bepaald langs indirecten weg door de gevonden hoeveelheid $\text{KCl} + \text{NaCl}$ te verminderen met de, uit de bij de kali-bepaling gewogen hoeveelheid K_2PtCl_6 berekende hoeveelheid KCl . Den laatsten tijd wordt het Na direct bepaald volgens de uranylacetaat-methode, waardoor meer betrouwbare resultaten worden verkregen.

De vorengenoemde 25 cm^3 (zie bij de K-bepaling) worden na toevoeging van 1 druppel HCl van 25 % in een blauw porceleinen schaalje drooggedampt en weer opgenomen in 3 cm^3 water. Na afkoeling voegt men 10 cm^3 magnesiumuranylacetaat-reagens toe en roert flink met een roerstaaf. Den volgenden dag zuigt men af op een gewogen glasfilterkroesje — Jena I G 4 —, waarbij het neerslag met de moederloog op het filter gebracht en nagewasschen wordt met 10 cm^3 alcohol van 96 %. Na $\frac{1}{2}$ uur drogen bij 105° wordt na afkoelen gewogen. 100 mg neerslag = 2,02 mg Na_2O .

Bereiding van het reagens:

In een kolf van 1 l verwarmt men op een waterbad 200 cm^3 water en 85 cm^3 ijsazijn. Hierin lost men langzaam 28,2 g MgO op. Dan worden 100 cm^3 water, 300 cm^3 alcohol van 96 % en 20 cm^3 ijsazijn toegevoegd, waarna men, onder voortdurend verwarmen op het waterbad, nog 32 g uranylacetaat in de vloeistof oplost. Na nog 175 cm^3 alcohol toegevoegd te hebben, wordt na afkoeling aangevuld met water tot 1 l en gefiltreerd. Na een paar dagen staan in het donker wordt vóór het gebruik nogmaals gefiltreerd.

CaO . De filtraten van de Mn-bepaling (zie hieronder) worden met water tot 250 cm^3 aangevuld. Een deel hiervan wordt zwak ammoniakaal gemaakt en daarna met azijnzuur weer zwak zuur. Na toevoeging van 10 cm^3 NH_4Cl van 10 % slaat men in de kookhitte met ammoniumoxalaat van 4 % het Ca neer. Na 4 uren wordt afgefiltreerd en een paar keeren uitgewasschen.

¹⁾ Voor een later aangebrachte wijziging in de uitvoering der methode zie men de bepaling van K_2O , opl. in 5-proc.- HCl in grond.

Men lost het neerslag in heet HCl van 25 % op, neutraliseert in de kookhitte met ammoniak na toevoeging van 10 cm³ NH₄Cl en een druppel methylo ranje en een overmaat ammoniumoxalaat. Den volgenden dag wordt afgefiltreerd en uitgewasschen met heet water, het neerslag opgelost in 2 n H₂SO₄ en tenslotte met $\frac{n}{10}$ KMnO₄ bij 70° getitreerd.

De dubbele praecipitatie wordt toegepast, omdat het calciumoxalaat bij aanwezigheid van veel alkalizouten natriumzouten kan insluiten; ook de scheiding van Ca en Mg is bij éénmalige praecipitatie op deze manier niet volkomen.

Daar bij de latere analyses K en Na niet meer in het filtraat van de Ca- en Mg-bepalingen worden bepaald, kan thans met éénmalige praecipitatie volgens de methode-RICHARDS (12) worden volstaan.

RICHARDS voegt een HCl-oxaalzuuroplossing toe en neutraliseert dan in de kookhitte met ammoniak van 5 % met methylo ranje als indicator; dit neutraliseeren moet ongeveer een half uur duren. Daarna wordt nog een overmaat ammoniumoxalaat toegevoegd en na minstens 4 uur gefiltreerd. De scheiding van Ca en Mg is dan volkomen.

MgO. Het filtraat van de Ca-bepaling wordt in een Berlijnsch-porceleinen schaal drooggedampt en gegloeid, en de gloeirest opgenomen in met HCl aangezuurd water; daarna wordt gefiltreerd. In het filtraat slaat men het Mg met een alcoholische ammoniumcarbonaatoplossing neer volgens de methode van SCHAFFGOTT (25, blz. 60). Den volgenden dag zuigt men het neerslag af in een Pt-Neubauerkroes en wast uit met 70 cm³ van een verdunde SCHAFFGOTT'sche oplossing (20 cm³ oplossing + 50 cm³ alcohol + 50 cm³ water). Na drogen in een stoof wordt gegloeid, eerst zacht en tenslotte 5 minuten op een Mekerbrander.

Daar bij aanwezigheid van groote hoeveelheden K en Na het neerslag soms alkali kan bevatten, is dit bij eenige bepalingen nagegaan, evenwel met negatief resultaat.

Bij de latere bepalingen van het Mg is de „oxin“-methode gevolgd (20, blz. 28). Deze iets snellere en voornamelijk voor kleinere hoeveelheden nauwkeurigere methode wordt als volgt uitgevoerd.

Na het indampen en gloeien van het filtraat der Ca-bepaling, neemt men de gloeirest op in HCl-houdend water en filtreert. Het filtraat, dat ongeveer 50 à 60 cm³ bedraagt, wordt geneutraliseerd met ammoniak na toevoeging van een druppel methylo ranje en 5 cm³ 10-%ige NH₄Cl-oplossing. Daarna verhit men tot koken en voegt 3 cm³ 5-%ige alcoholische ortho-oxychinoline oplossing

toe, waarna men onder flink omschudden ongeveer 3 cm³ ammoniak van 20 % bijdruppelt. Na 10—15 minuten wordt afgefiltreerd, 5 keeren uitgewasschen met warmen 1-%igen ammoniak en nog een keer met water; het neerslag lost men op in 15 cm³ 4 n. HCl en wast het filter na met water. Na afkoeling voegt men 5 cm³ KBr van 20 % en een paar druppels methylo-rood toe, daarna uit een buret zooveel $\frac{n}{10}$ KBrO₃ tot de roode kleur verdwenen is. De overmaat broom wordt dan bepaald door toevoeging eener KJ-oplossing van 20 % en titratie met $\frac{n}{10}$ natriumthiosulfaat. Tegen het einde der titratie voegt men wat stijfsel toe. 1 cm³ KBrO₃ = 0,504 mg MgO.

Fe₂O₃ + Al₂O₃. Het SiO₂-vrije filtraat wordt even ammoniakaal gemaakt en daarna met azijnzuur weer zwak zuur. Na toevoeging van 5 cm³ NH₄Cl van 10 % en 5 cm³ ammoniumacetaat van 20 % wordt even opgekookt. Na filtratie wast men een paar keeren met warm water uit, lost het neerslag weer op in HCl en praecipiteert opnieuw Fe en Al. Na filtreren en een paar keeren uitwasschen gloeit men het filter met het neerslag en weegt als Fe₂O₃ + Al₂O₃. Eventueel aanwezig P₂O₅ moet worden afgetrokken.

Mn₃O₄. Voor de bepaling van het Mn wordt het filtraat van het sulfiden-neerslag (zie de ZnO-bepaling) in een Berlijnsch-porceleinen schaal drooggedampt, afgerookt, in HCl en water opgenomen en zoo noodig gefiltreerd. Aan het filtraat voegt men broomwater toe, maakt flink ammoniakaal en kookt op, waarna de vloeistof met azijnzuur zwak zuur wordt gemaakt. Nadat het neerslag is afgefiltreerd, wordt een paar keeren uitgewasschen, opgelost in HCl van 25 % en opnieuw met broomwater gepraecipiteerd, enz. Men gloeit het filter met het neerslag op een teclu-vlam en weegt tenslotte het neerslag als Mn₃O₄.

ZnO. De filtraten van de Fe- en Al-bepaling worden ingedampt tot 100 à 150 cm³. Vervolgens leidt men in de warmte H₂S in (25, blz. 121). Den volgenden dag filtreert men af door een gehard filter en wast uit met 3-%ig, met H₂S verzadigd azijnzuur. Men behandelt het neerslag op het filter met koud HCl (1 dl HCl van 25 % + 5 dln water), waarin het ZnS oplosbaar is. De oplossing wordt drooggedampt en de verdampingsrest opgenomen in water met een paar druppels HCl. Nu voegt men in een porceleinen schaalje druppelsgewijs Na₂CO₃-oplossing van 1.5 % toe, tot er juist een troebeling ontstaat. Vervolgens wordt in de kookhitte verder Na₂CO₃ bijgedruppeld tot een duidelijk rose kleuring van phenolphthaleïne optreedt.

Daarna filtreert men af en wast met heet water uit. Na drogen gloeit men het filter boven een Teclu-brander en weegt het achtergebleven ZnO .

CuO . Hetgeen bij de Zn -bepaling na de behandeling met HCl als onoplosbaar op het filter terugbleef, wordt met het filter verascht, tenslotte 5 minuten op de blaasvlam gegloeid en als CuO gewogen.

LITERATUURLIJST

1. FRES. *Zeitschr. f. anal. Ch.* 38, 1899, 56.
2. Codex Alimentarius dl. 3, 1909, 104.
3. FRES. *Zeitschr. f. anal. Ch.* 49, 1910, 380.
4. *Pharm. wbl.*, 1920, 1257.
5. *Ref. Pharm. Wbl.*, 1919, 1313.
6. *Zeitschr. f. angew. Ch.* 30, 1917, 169 en *Chem. Zentr. Bl.* 1917 II, 324.
7. KÖNIG. Untersuchung landw. und gewerbl. wichtiger Stoffe 1911, 972.
8. TREADWELL. *Lehrb. der anal. Ch.* II, 1930, 295.
9. *Chem. Wbl.* 1906, 599.
10. TIEMANN u. GÄRTNER. Untersuchung des Wassers. 1889.
11. Dr. J. TILLMANS u. Dr. W. SUTTHOFF, *Zeitschr. f. anal. Ch.* 50, 1911, 485.
12. *Zeitschr. f. anorg. Ch.* 28, 1901, 71.
13. *Chem. Zeit.* 33, 1909, 1249.
14. WINKLER. *Zeitschr. f. angew. Ch.* 28, 1915, 23.
15. *Landw. Versuchsst.* 55, 1901, 183.
16. D. J. DE JONG, *Chem. Wbl.* 1915, 626.
17. V. ROTHMUND u. A. BURGSTALLER, *Zeitschr. f. anorg. Ch.* 63, 1909, 330.
18. *Chem. Zeit.* 37, 1913, 901.
19. FRES. *Zeitschr. f. anal. Ch.* 53, 1914, 359.
20. R. BERG. Die anal. Verwendung von O-Oxychinolin und seiner Derivate, 1938, 28.
21. FRESSENIUS. *Quant. Chem. Anal.* II. 6e druk, 1887, 638.
22. *Pharm. Wbl.* 1917, 553.
23. FRES. *Zeitschr. f. anal. Ch.* 53, 1914, 561.
24. FRES. *Zeitschr. f. anal. Ch.* 53, 1914, 561 en 41, 1902, 419.
25. TREADWELL. *Lehrb. d. anal. Ch.* II. 1930.

b. Onderzoek van den grond

Vocht. 10 g grond worden bij 105° gedroogd tot constant gewicht.

Organische stof. De bepaling van de organische stof geschiedt volgens de methode van ISTSCHEREKOW (1).¹⁾ Bij 500 mg zeer fijn gewreven grond voegt men $50 \text{ cm}^3 \frac{n}{5} \text{ KMnO}_4$, 50 cm^3 gedestilleerd water en $2 \text{ cm}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4$ 1 : 10. Hierna verwarmt men gedurende 50 minuten in een kokend waterbad, terwijl

¹⁾ Zie de literatuurlijst op blz. 527.

een paar keeren flink wordt omgeschud. Na toevoeging van $50 \text{ cm}^3 \frac{n}{5}$ oxaalzuur en $15 \text{ cm}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4$ 1 : 10 kookt men even op om het gevormde MnO_2 op te lossen en titreert daarna met $\frac{n}{5} \text{ KMnO}_4$. Bij de berekening van het humusgehalte wordt aangenomen, dat voor de oxydatie van 0,01 g humus $9,72 \text{ cm}^3 \frac{n}{5} \text{ KMnO}_4$ noodig is.

CaCO₃-azijnzuur. De bepaling hiervan wordt uitgevoerd volgens de volumetrische methode van SCHEIBLER (2 en 3) met azijnzuur van 20—25 %. Vergeleken wordt met zuiver CaCO_3 .

CaCO₃-HCl. Deze bepaling wordt eveneens volgens de methode van SCHEIBLER gedaan, met HCl van ongeveer 8 %.

CaO, oplosbaar in 10-proc. HCl. 20 g grond worden gegloeid en gedurende $\frac{1}{2}$ uur gekookt met 100 cm^3 HCl van 10 %. Na afkoeling vult men aan met water tot 250 cm^3 en filtreert. Een gedeelte van het filtraat wordt een paar keeren met HCl drooggedampt om het SiO_2 onoplosbaar te maken. Na af-filtreeren en uitwasschen van het SiO_2 maakt men het filtraat zwak ammoniakal en daarna weer zwak zuur met azijnzuur. Na toevoeging van $5 \text{ cm}^3 \text{ NH}_4\text{Cl}$ -oplossing van 10 % en 10 cm^3 ammoniumacetaat-oplossing van 5 % wordt opgekookt, het neerslag afgefiltreerd en een paar keeren uitgewasschen. Na oplossen van het neerslag in HCl wordt het ijzer en aluminium nogmaals op dezelfde wijze gepraecipiteerd, afgefiltreerd en uitgewasschen. Uit de gezamenlijke filtraten slaat men nu het mangaan neer door koken met broom water in zwak ammoniakale oplossing. Na zwak aanzuren met azijnzuur wordt gefiltreerd en een paar keeren uitgewasschen. Vervolgens wordt het neerslag opgelost in HCl en het mangaan opnieuw als yoren gepraecipiteerd, gefiltreerd en uitgewasschen. In de gezamenlijke filtraten slaat men, na zoo noodig eenig inkoken, in de kookhitte de kalk neer met een heete ammoniumoxalaat-oplossing van 4 %. Den volgenden dag wordt afgefiltreerd en uitgewasschen met warm water. Men lost het neerslag op in 2 n. H_2SO_4 en titreert met KMnO_4 .

MgO, oplosbaar in 10-proc. HCl. Het MgO wordt bepaald in het filtraat van de CaO-bepaling met O. Oxychinoline, zooals is beschreven bij het drainwateronderzoek.

K₂O, oplosbaar in 5-proc. HCl. 40 g grond worden met 200 cm^3 HCl van 5 % gedurende 2 uren gekookt aan een opgaanden koeler en na afkoeling

gefiltreerd. Voor elk procent CaCO_3 , hetwelk de grond bevat, vervangt men $1,24 \text{ cm}^3$ HCl van 5 % door HCl van 25 %. Van het filtraat worden 100 cm^3 op het waterbad een paar keeren met water drooggedampt om het HCl grootendeels te verwijderen. Na overspoelen in een maatkolfje van 250 cm^3 maakt men ammoniakaal en kookt op na toevoeging van ammoniumcarbonaat-oplossing, welke 10 % ammonia bevat, vult na afkoeling aan tot 250 cm^3 en filtreert. Van het filtraat worden 200 cm^3 drooggedampt, de NH_4 -zouten voorzichtig weggegleeid en na bevochtigen van het residu met HCl opnieuw drooggedampt. Men spoelt de droogrest met warm water in een maatkolfje van 50 cm^3 , vult na afkoeling aan tot 50 cm^3 en filtreert.

In een deel van het filtraat wordt de K_2O bepaald volgens de cobaltnitriet-methode, welke als volgt wordt uitgevoerd. Men dampst de oplossing na toevoeging van een paar druppels azijnzuur in een bekersglasje in tot droog, neemt op in 10 cm^3 water, voegt 5 cm^3 verzadigde NaCl -oplossing en daarna 5 cm^3 natriumcobaltnitriet-reagens toe en schudt flink om. Den volgende dag wordt afgefiltreerd op een Jena-glas-filterkroesje (63a G 4), het neerslag in het kroesje gebracht, uitgewassen met zoo weinig mogelijk azijnzuur van 10 % en één keer met water, totaal met 10—12 cm^3 waschvloeistof. Men brengt daarna het kroesje met het neerslag in een bekersglas van 250 cm^3 in 60 cm^3 water, voegt 5 cm^3 H_2SO_4 1 : 10 toe en een afgemeten hoeveelheid $\frac{n}{10} \text{ KMnO}_4$ in overmaat, brengt onder omroeren even aan de kook en laat 10 minuten in bedekt bekersglas staan. Nu wordt $\frac{n}{10}$ oxaalzuur toegevoegd — aequivalent met de toegevoegde hoeveelheid KMnO_4 — even opgekookt en getitreerd met $\frac{n}{10} \text{ KMnO}_4$. $1 \text{ cm}^3 \frac{n}{10} \text{ KMnO}_4 = 0,737 \text{ mg K}_2\text{O}$.

Dat de hier gebruikte factor afwijkt van die, welke bij het drainwater-onderzoek opgegeven werd, vindt zijn oorzaak in een latere wijziging in de uitvoering van de cobaltnitrietmethode. Ook bij de drainwateranalyse wordt deze wijziging, die een meer constanten factor geeft, in het vervolg toegepast.

Na₂O, oplosbaar in 5-proc. HCl. In een gedeelte van het filtraat, verkregen na afrooken van de NH_4 -zouten — zie de K_2O -bepaling — bepaalt men Na_2O met magnesiumuranylacetaat, zooals is beschreven bij het drainwateronderzoek.

K₂O en Na₂O totaal. Van den in een agaadmortier zeer fijn gewreven grond mengt men 1 g met 3 g ammoniumfluoride en rookt af op een kleine

vlam. Wanneer geen dampen meer ontwijken, voegt men nog 2 g NH_4F toe en rookt opnieuw af; daarna worden 1 g NH_4F en 2 g H_2SO_4 toegevoegd en eenigen tijd op een waterbad geplaatst, waarna men tenslotte het over-tollige H_2SO_4 afrookt. Het residu wordt nu opgenomen in heet water, op-gekookt met wat H_2O_2 en daarna met ammoniak en ammoniumcarbonaat. Na afkoelen vult men aan tot 250 cm^3 en filtreert.

In 200 cm^3 van dit filtraat worden K_2O en Na_2O bepaald volgens de te voren omschreven methoden.

CaO, uitwisselbaar. Ter bepaling van de uitwisselbare basen overgiet men 20 g grond met 100 cm^3 n. BaCl_2 -oplossing (4) en laat de suspensie na enkele keeren omschudden staan tot den volgenden dag, waarna wordt afgefiltreerd, de grond op het filter gebracht en uitgewasschen met n. BaCl_2 -oplossing tot 500 cm^3 . Omzetting van CaCO_3 en eventueel aanwezig MgCO_3 met de BaCl_2 -oplossing van eenige beteekenis is niet waarschijnlijk (5). Uit 250 cm^3 van het filtraat slaat men in de kookhitte het Ba neer met een oplossing van KCrO_4 na toevoeging van eenige druppels ijsazijn. Zoodra voldoende KCrO_4 is toegevoegd neemt de vloeistof een oranjegele kleur aan. Na afkoeling wordt aangevuld tot 500 cm^3 . Uit 400 cm^3 van het filtraat slaat men na indampen tot ongeveer de helft het Ca neer met ammoniumoxalaat en bepaalt dit verder titrimetrisch met KMnO_4 .

MgO, uitwisselbaar. Het filtraat van de CaO-bepaling wordt ingedampt tot ongeveer 200 cm^3 en hierin MgO bepaald volgens de methode van SCHMITZ (6). Hiertoe voegt men een oplossing van ammoniumphosphaat toe en maakt gedurende het opkoken ammoniakaal, waarna nog ongeveer $\frac{1}{10}$ van het volume aan 20-%igen ammoniak wordt bijgedaan. Indien het neerslag niet spoedig ontstaat of te fijn is, moet nog even weer worden opgekookt. Den volgenden dag zuigt men af op een platina-GOOCH'sche kroes, wast uit met ammoniak van 2½ %, droogt en gloeit tenslotte op de blaasvlam en weegt als $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$.

K_2O , en Na_2O , uitwisselbaar. De andere 250 cm^3 van het BaCl_2 -extract worden opgekookt met een ammoniakale ammoniumcarbonaat-oplossing. Na afkoeling wordt aangevuld tot 500 cm^3 en gefiltreerd. Van dit filtraat dampt men 400 cm^3 droog, rookt de NH_4 -zouten af en spoelt het residu met warm water in een maatkolfje van 100 cm^3 en filtreert. In een deel van dit filtraat bepaalt men K_2O volgens de cobaltnitriet-methode en in een andere gedeelte Na_2O met magnesiumuranylacetaat.

K₂O, oplosbaar in $\frac{n}{10}$ HCl. 60 g grond worden in een kolf van 1 l gebracht en zooveel 10 n. HCl toegevoegd als equivalent is met de hoeveelheid aanwezige basen, berekend uit de bepaling van het S-cijfer. — Men bepaalt het S-cijfer, door 5 g grond een nacht te laten overstaan met $100\text{ cm}^3 \frac{n}{10}$ HCl onder zoo nu en dan omschudden, en na filtratie in 25 cm^3 na opkoken het niet verbruikte HCl te titreeren met $\frac{n}{10}$ NaOH. — Verder voegt men $\frac{n}{10}$ HCl toe tot in totaal 600 cm^3 vloeistof aanwezig is, schudt gedurende een uur bij kamertemperatuur en filtreert direct. 500 cm^3 van het filtraat worden drooggedampt in een porceleinen schaal onder toevoeging van 2 à 3 cm^3 H₂O₂ van 30 %. Het residu wordt nu opgenomen in heet water en in een 250 cm^3 kolfje overgespoeld. Na toevoeging van 1 à 2 druppels phenolphthaleïne en zooveel kalkmelk tot de vloeistof rood is gekleurd, plaatst men het kolfje gedurende een uur in een kokend waterbad, vult na afkoeling aan tot 250 cm^3 en filtreert. Van het filtraat worden 200 cm^3 in een bekglas tot koken verhit, daarna ammoniakale ammoniumcarbonaat-oplossing toegevoegd tot geen neerslag meer gevormd wordt en even doorgekookt. Men filtreert warm en wast met warm water uit. Het filtraat wordt nu drooggedampt en de NH₄-zouten worden afgerookt; het residu wordt opgenomen in precies 15 cm^3 water en gefiltreerd. Hiervan brengt men 3 cm^3 in een haematokriet en voegt 1 cm^3 natriumcobaltnitriet-reagens toe. Na $1\frac{1}{2}$ uur staan wordt 15 minuten gecentrifugeerd, waarna wordt afgelezen.

In plaats van sedimentrisch kan het K₂O ook titrimetrisch worden bepaald, als aangegeven bij de bepaling van K₂O, oplosbaar in HCl van 5 %.

Totaal-P₂O₅ (oplosbaar in 12,5-proc. HNO₃). 20 g grond worden na gloeien gedurende $\frac{1}{2}$ uur gekookt met 100 cm^3 HNO₃ van 12,5 %. Na afkoeling vult men aan tot 250 cm^3 en filtreert. Van het filtraat worden 100 cm^3 ingedampt tot ongeveer 50 cm^3 en hierin volgens de methode van VON LORENZ het phosphorzuur neergeslagen.

P₂O₅, oplosbaar in citroenzuur van 1 %. Van den grond worden 20 g met 200 cm^3 citroenzuur van 1 % gedurende 2 uren geschud en den volgenden dag nog 1 uur (7). Nadat 100 cm^3 van het filtraat grootendeels zijn ingedampt, neutraliseert men met een Na₂CO₃-oplossing van 10 %, dampt verder in tot droog en gloeit zacht. De massa wordt dan fijngewreven, opnieuw gegloeid en de asch in een maatkolfje van 110 cm^3 gespoeld. Na neutralisatie met

HNO_3 worden nog 5 cm³ sterk HNO_3 toegevoegd, waarna men het kolfje gedurende $\frac{1}{2}$ uur op een kokend waterbad plaatst. Na afkoeling vult men aan en bepaalt in 100 cm³ van het filtraat na indampen hiervan tot 50 cm³ het P_2O_5 volgens de methode van VON LORENZ (8).

Daar de grond in de lysimeters veel CaCO_3 bevat, moet extra een aequivalente hoeveelheid vast citroenzuur worden toegevoegd.

Cl, oplosbaar in water. Men schudt 50 g grond gedurende 2 uren met 250 cm³ gedestilleerd water. Na 24 uren laten staan onder een enkelen keer omschudden wordt gefiltreerd en bepaalt men in 100 cm³ het Cl door titratie met AgNO_3 volgens de methode van WINKLER, als bij het drainwater-onderzoek aangegeven.

SO_3 -totaal. In een Pt-schaal bevochtigt men 20 g grond met 10 cm³ van een mengsel van gelijke deelen SO_4 -vrije KNO_3 (24 g + 100 cm³ water) en KOH (56 g + 100 cm³ water) en dampt op een waterbad droog (9). Hierna wordt voorzichtig gegloeid, met water in een porceleinen schaal overgespoeld en met 20 cm³ HCl van 25 % zuur gemaakt. Na toevoeging van 10 cm³ HNO_3 van 65 % wordt drooggedampt en na bevochtigen met 10 cm³ HCl van 25 % nogmaals drooggedampt. Dan wordt opgenomen in warm water na toevoeging van enkele druppels HCl, gefiltreerd en uitgewassen, waarna men het SO_4 met BaCl_2 -oplossing in de kookhitte neerslaat.

SO_3 , oplosbaar in 10-proc. HCl. 25 g grond worden gedurende $\frac{1}{2}$ uur gekookt met 125 cm³ HCl van 10 %, waaraan voor elk procent CaCO_3 nog 0,65 cm³ HCl van 25 % is toegevoegd. Na afkoeling vult men aan tot 250 cm³ en filtreert, waarna uit 200 cm³ van het filtraat het SO_4 wordt neergeslagen.

Stikstof. Het gehalte aan stikstof wordt bepaald volgens de gewijzigde methode van JODLBAUER (10). 5 g grond worden direct in een destillatiekolf overgoten met 15 cm³ phenolzwavelzuur. Na verloop van ongeveer $\frac{1}{2}$ uur voegt men 3 g zinkstof, dan 20 cm³ geconcentreerd H_2SO_4 en vervolgens twee druppels kwik toe, en destrueert, aanvankelijk op een kleine vlam, tot kleurloos. Na bekoeling verdunt men met water tot ongeveer 300 cm³ en destilleert den ammoniak over na toevoeging van eenige stukjes geraspt zink, 125 cm³ alcalische natriumsulfide-oplossing en 25 cm³ natriumsulfide. De ammoniak wordt opgevangen in $\frac{n}{10}$ H_2SO_4 . Op de destillatiekolf moet een glashelm worden aangebracht, waarbij de dampen door water strijken.

Gebruikte oplossingen:

1. Phenolzwavelzuur, verkregen door 100 g zuiver, gekristalliseerd phenol in zuiver H_2SO_4 van s. g. 1,84 op te lossen en de oplossing met hetzelfde H_2SO_4 tot 1 l aan te vullen.
2. Alcalische natriumsulfide-oplossing: 500 g NaOH en 15 g $\text{Na}_2\text{S} + 9 \text{H}_2\text{O}$ oplossen in 1 l water.
3. Natriumsulfide-oplossing, bevattende 250 g $\text{Na}_2\text{S} + 9 \text{H}_2\text{O}$ in 1 l water.

Onverweerde silicaten. Deze worden bepaald volgens de methode-van BEMMELEN (11). 5 g grond worden gedurende precies 1 uur met 50 cm³ HCl van 22,9 % in een kolf met luchtkoelbuis op een zandbad gekookt, waarna wordt afgefiltreerd en uitgewassen in een maatkolf van 250 cm³. De onopgeloste rest, die bij het uitwassen geheel op het filter is gebracht, wordt nu in een waterdroogstoof gedroogd. Na drogen brengt men het residu in een bekerglas, waarbij het zoo volledig mogelijk van het filter wordt verwijderd. Het filter wordt verbrand en de asch eveneens in het bekerglas gebracht. Nu voegt men 50 cm³ KOH van s. g. 1,05 toe, verwarmt gedurende juist 7 minuten in een waterbad op 55° C en koelt snel af door toevoeging van 50 cm³ water. Vervolgens filtreert men af door een van te voren gedroogd en gewogen filter en wast uit tot een totaal volume van 250 cm³. Het residu wordt bij het uitwassen geheel op het filter gebracht, gedroogd bij 100° tot constant gewicht en gewogen als „onverweerde silicaten”.

SiO₂ in de verweeringssilicaten. Voor de bepaling hiervan dampst men 100 cm³ van het tot 250 cm³ aangevulde zoutzuur-extract en 100 cm³ van het KOH-extract, verkregen bij de bepaling der „onverweerde silicaten”, samen droog na toevoeging van HCl tot zure reactie. Daarna wordt een paar keeren drooggedampt met HNO_3 om de organische stof te vernietigen en daarna weer een paar keeren met HCl tot hard droog om het SiO_2 onoplosbaar te maken. Na bevochtigen met HCl laat men nu ongeveer 15 minuten staan, neemt op in heet water, filtreert en wast uit. Het filter wordt nu gegloeid en het residu gewogen. De gloeirest wordt afgerookt met NH_4F en opnieuw gewogen. Het gewichtsverschil geeft de hoeveelheid SiO_2 aan.

LITERATUURLIJST

1. W. ISTSCHEREKOW. *Jahresber. u. Agric. Ch.* 1904, S 653.
2. C. R. FRESENIUS. *Anleitung zur quantitativen chem. Analyse*, 6. Aufl. S. 452.
3. P. BRUIN. *Chem. Weekbl.* 34, 1937, blz. 755.
4. E. W. BOBKO en D. L. ASKINASI. *Zeitschr. f. Pfl. D. u. B.* A VI, 1926, S 103.

5. P. BRUIN en J. TEN HAVE. *Chem. weekbl.* 32, 1935, blz. 375.
P. BRUIN, *Versl. v. landb. onderz.* 44 (15) A. 1938, blz. 713.
6. F. P. TREADWELL. *Lehrb. d. Anal. Ch.* II, 1930. S 58.
7. LEMMERMAN — FRESSENIUS. *Methoden f. d. Untersuchung d. Bodens.* Verlag Chemie. Berlin W 10, 1932, S 72.
8. N. VON LORENZ. *Landw. Verss.* 1901, 55, S 183.
9. J. KÖNIG. *Die Untersuchung landw. u. gewerblich wichtiger Stoffe* 1911, S 51.
10. *Meth. v. onderzoek van meststoffen aan de R. L. Proefst.* 1916.
11. *Gecodificeerde voorschriften voor grondonderzoek* 1913. Buitenzorg.

c. Onderzoek der gewassen

Hiervoor kan verwezen worden naar: „Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen der Rijkslandbouwproefstations”, n°. XXII, 1918, blz. 85. In de daar beschreven methoden van onderzoek werden evenwel vanaf 1932 de volgende wijzigingen aangebracht.

SO_3 . Voor de bepaling van de totale hoeveelheid SO_3 wordt de methode van BENEDICT ¹⁾ toegepast. In een kookkolf van 750 cm³ maakt men 10 g stof even vochtig met water en voegt dan 30 cm³ rookend HNO_3 toe. Het bevochtigen met water is noodig om ontvlaming te voorkomen. Vervolgens verwarmt men voorzichtig op een kleine vlam tot ongeveer volledige destructie. Den inhoud van de kolf spoelt men daarna over in een porceleinen schaal, voegt 30 cm³ BENEDICT-reagens toe en dampst tot bijna droog in. Dan dampst men verder droog op een zandbad, waarna men langzamerhand sterker verhit tot de schaalinhoud geheel zwart en bros is. Tenslotte verhit men gedurende 20 minuten op de vrije vlam van een BARTHEL'schen spiritusbrander. Na afkoeling wordt de gloeirest opgenomen in 20—30 cm³ 10-%ig HCl , overgespoeld in een ERLÉNMEIJER-kolf van 300 cm³, verdund tot ongeveer 100 cm³ en 15 minuten gekookt. Den volgenden dag filtreert men en slaat het sulfaat met $BaCl_2$ -oplossing in de kookhitte neer.

BENEDICT-reagens: 200 g kopernitrat en 50 g kaliumchloraat met water oplossen tot 1 l.

MgO . MgO wordt bepaald met o. oxychinoline op de wijze, beschreven bij het drainwateronderzoek.

K_2O . K_2O volgens de cobaltnitrietmethode, beschreven bij het grondonderzoek.

Na_2O . Na_2O met magnesiumuranylacetaat, beschreven bij het drainwateronderzoek.

¹⁾ S. R. BENEDICT, *Chem. Zentralbl.* 80, II, 1587 (1909) naar *Journ. Biol. Chem.* 6, 363 (1908).