

LANDBOUWKUNDIGE AFD. N.V. NEDERLANDSCHE KALI-IMPORT MIJ, AMSTERDAM
LANDBOUWPROEFSTATION EN BODEMKUNDIG INSTITUUT T.N.O., GRONINGEN

KALIUMFIXATIE
EN VERSTOORDE KALIUMHUISHOUDING

ONDERZOEK NAAR DE KALIUMFIXATIE
OP DE LANGJARIGE PROEFVELDEN
TE AMMERZODEN EN WEHE

WITH A SUMMARY:
POTASSIUM FIXATION AND
DISTURBED POTASSIUM CONDITION

POTASSIUM FIXATION
ON TWO LONG CONTINUED EXPERIMENTAL FIELDS

J. TEMME
EN
H. W. VAN DER MAREL

STAATSDRUKKERIJ



UITGEVERIJBEDRIJF

INHOUD

	Blz.
WOORD VOORAF	3
INLEIDING	4
I. LANDBOUWKUNDIG ONDERZOEK	6
1. De kaliumhuishouding toegelicht aan de hand van opbrengstresultaten	6
2. De kaliumhuishouding toegelicht aan de hand van de kaliumbalans	12
3. De kaliumhuishouding toegelicht aan de hand van het calcium-kalium- en het magnesium-kalium-antagonisme bij aardappelen	14
II. CHEMISCH ONDERZOEK	19
III. RÖNTGENOLOGISCH ONDERZOEK	26
IV. PRACTISCHE MAATREGELEN OM DE NADELEN VAN DE KALIUMFIXATIE VOOR DE GEWASSENPRODUCTIE TE VOORKOMEN OF TE VERMINDEREN	30
SAMENVATTING	33
SUMMARY	36
ILLUSTRATIES	38
LITERATUUR	39
BIJLAGEN (TABELN).	41

WOORD VOORAF

Het verheugt me, dat de z.g. „Centrale Kaliproefvelden” te Ammerzoden en te Wehe, welke indertijd door wijlen H. LINDEMAN, Directeur van de N.V. Vereenigde Kalimaatschappij te Amsterdam, werden aangelegd, aanleiding zijn geworden tot een gezamenlijke studie van Dr Ir J. TEMME, landbouwkundige bij de N.V. Nederlandsche Kali-Import Maatschappij, en Dr Ir H. W. VAN DER MAREL, scheikundige-mineraloog aan het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. Vele resultaten van de genoemde proefvelden werden landbouwkundig bewerkt, terwijl in onderlinge samenwerking door talrijke analyses in grond en gewas meer inzicht in de gestelde problemen werd verkregen en er tenslotte een röntgenologisch onderzoek der gronden plaatsvond.

De belangstelling voor de kalihuishouding der kleigronden en voor de kalivoorziening der op deze gronden verbouwde gewassen neemt gedurende de laatste jaren toe en verschillende onderzoekers zowel aan ons instituut als elders in Nederland komen bij hun studies met dit onderwerp in aanraking. Vooral het probleem der kalifixatie trekt daarbij de aandacht.

Met de thans voor ons liggende publicatie beogen de schrijvers een bouwsteen toe te voegen aan het beeld, dat de landbouwwetenschap zich zo langzamerhand van het kalivraagstuk der kleigronden heeft gevormd. Men zal er belangrijke feiten in vinden, maar daarnaast ook suggesties, welke ter overdenking worden gegeven en zullen aansporen tot verder onderzoek. Zo vragen de auteurs in het bijzonder aandacht voor de betekenis der kationenverhoudingen bij de beschouwing der moeilijkheden, welke op de z.g. kalifixerende gronden bij de cultuur van bepaalde gewassen worden ondervonden. De beperktheid van hun materiaal laat echter niet toe om uit te maken, hoe de verschillende factoren, welke bij het probleem der kalivoorziening van deze gewassen een rol spelen, gewaardeerd moeten worden. Voortzetting van het onderzoek te velde en in het laboratorium zal daarvoor nodig zijn.

Wij hopen, dat verdere uitwisseling van ervaring en samenwerking tussen de verschillende instanties van onderzoek de oplossing van het kaliprobleem der kleigronden in Nederland zal brengen.

*De wnd. Hoofddirecteur van het
Landbouwproefstation en
Bodemkundig Instituut T.N.O.*

P. BRUIN

INLEIDING

Omstreeks 1930 werden door wijlen H. LINDEMAN, Directeur van de N.V. Verenigde Kalimaatschappij te Amsterdam, proefvelden aangelegd op een aantal sterk uiteenlopende grondsoorten, welke volgens de practijk zeer arm waren aan kalium. Deze proefvelden dienden niet alleen voor een studie van de groei van verschillende gewassen op de betreffende grondsoorten, doch zij werden tevens gebruikt voor het demonstrenen van de voor ieder gewas typische kaliumgebreksverschijnselen.

Deze z.g. „Centrale Kaliproefvelden” werden steeds volgens hetzelfde principe aangelegd. Zij waren door een tweetal overlangs lopende paden in drie stroken verdeeld; elke strook omvatte 8 veldjes van gewoonlijk $8\frac{1}{2}$ bij 10 meter. Het gehele proefveld kreeg een voor elke strook gelijke stikstof- en fosfaatbemesting. De middelste strook kreeg nooit een kalibemesting (PN-strook), de andere stroken ontvingen elk jaar een kalibemesting met dien verstande, dat de éne (KPN) een lichte en de andere (K_2 PN) een zware kaligift ontving. De kaligift op de K_2 PN-strook was altijd tweemaal zo groot als die op de KPN-strook. De fosfaatbemesting was, evenals de stikstofbemesting, voor alle stroken dezelfde; de stikstofgift werd, voor wat betreft vorm en hoeveelheid, aangepast aan de grondsoort en het verbouwde gewas.

Op de proefvelden werden zoveel mogelijk soorten gewassen verbouwd; ieder jaar werd de opbrengst van zaad, stro, aardappelen of bieten en loof van elk veldje bepaald en omgerekend in ha-opbrengst.

De elkaar in een bepaalde vruchtwisseling opvolgende gewassen reageerden uiteraard zeer verschillend op het wel of niet geven van een kalibemesting. Het verschil in reactie op de bemestingstoestand kwam, naarmate het proefveld langere tijd als zodanig in gebruik was, steeds duidelijker tot uiting.

Het proefveld *Ammerzoden* werd in 1928 aangelegd op een kalium-arme rivierkleigrond in de Bommelerwaard. Volgens HOEKSEMA (1950) ligt het proefveld in een dichtgeslibde Maasbedding, ca 0,5 m lager dan de ernaast gelegen bouwland-complexen. Daar echter reeds in de Romeinse tijd Waalwater ten Oosten van Rossum in de Maas moet hebben gestroomd, zouden wij op dit proefveld niet met een zuivere Maaskleiafzetting te maken hebben. Ook in verband met de wordingsgeschiedenis van rivierkleigronden in het algemeen, zouden op dit proefveld grondverschillen kunnen worden verwacht.

Spoedig na de aanleg van het proefveld toonde de grond reeds een grote kalium-armoede en een, voor een kleigrond sterk afwijkend gedrag t.o.v. het beschikbaar komen van kalium voor de gewassen. LINDEMAN sprak het vermoeden uit, dat in deze grond sprake zou zijn van kaliumfixatie — d.i. het vastleggen van kalium in een voor de plant moeilijk opneembare vorm. VAGELEER en ALTEN (1933) stelden dit feit langs chemische weg vast uit het sterk afwijkende verloop van de sorptiekromme, welke werd verkregen door de grond van dit proefveld te schudden met een oplossing van KCl van toenemende sterkte. Ook HAUSER (1941) vond bij het opnieuw bestuderen van deze grond, uit het verschil in concentratie vóór en ná het schudden ervan met een KCl-oplossing van bepaalde sterkte, een sterke vastlegging van kalium. ARENS (1950) zag, bij de thermische analyse van de kleifractie van sterk kaliumfixerende gronden, in het temperatuur-tijd diagram bij ongeveer 150° C een diepere inzinking (endotherme reactie), dan bij niet fixerende gronden het geval was.

Op grond van de productiecijfers van het proefveld *Ammerzoden* toonde DE

FERRIÈRE (1951) aan, dat groei en productie van bepaalde — om hun gevoeligheid voor de kaliumhuishouding bekend staande — gewassen (aardappelen, bruine bonen en rode klaver), sterk benadeeld werden door de verstoorde kaliumhuishouding van deze Ammerzodense grond. Suikerbieten bleken daarentegen voor deze verstoring minder gevoelig te zijn.

Verder toonde FERRARI (1950, 1951) bij zijn bodemvruchtbaarheidsonderzoek in de stroomruggrondgebieden van de Bommelerwaard aan, welke grote economische nadelen de landbouw in de Bommelerwaard van een verstoorde K-huishouding in de grond ondervindt.

Na het in gebruik nemen van het proefveld Ammerzoden bleek het gedurende lange tijd niet mogelijk — ondanks zeer ruime kalibemestingen — bij verschillende gewassen hier hoge opbrengsten te verkrijgen. Pas na langdurige bemesting kwam hierin verandering.

Het proefveld *W e h e* werd in 1931 aangelegd op een kalium-arme zavelgrond in Noord-Groningen. Gezien de wijze waarop deze grond is ontstaan zijn hier niet zo spoedig grondverschillen in de diverse veldjes van het proefveld te verwachten. De op de verschillende percelen verkregen opbrengsten toonden te *Wehe* al spoedig de bestaande kalium-armoede aan. Bovendien bleek op dit proefveld, dat de in de bemesting toegediende kalium op normale wijze de gewassen ten goede kwam; van een verstoorde kaliumhuishouding in deze grond was dus geen sprake. Het was te *Wehe* — in tegenstelling met het te Ammerzoden waargenomene — reeds de eerste jaren mogelijk met kaliumbemesting hoge opbrengsten te verkrijgen, óók bij voor de kaliumhuishouding zeer gevoelige gewassen zoals aardappelen, rode klaver en bruine bonen.

1. LANDBOUWKUNDIG ONDERZOEK

1. DE KALIUMHUISHOUDING TOEGELICHT AAN DE HAND VAN ENKELE OPBRENGSTRESULTATEN

a. Aardappelen (Eigenheimer)

De te Ammerzoden en Wehe in de loop der jaren verkregen aardappelopbrengsten zijn grafisch weergegeven in fig. 1. Te Ammerzoden geven de aardappelopbrengsten op de PN-strook in het begin een vrij sterke daling te zien. Blijkbaar was hier enkele jaren na de aanleg van het proefveld nog wat kalium voor de plant beschikbaar. Deze voor de aardappel opneembare kaliumvoorraad werd echter in de jaren 1929—1932 steeds kleiner, want sinds 1932 blijven de opbrengsten vrijwel op een gelijk, laag niveau schommelen. Op de met kalium bemeste stroken ziet men tot 1939 een toenemende stijging van de opbrengsten.

De lijnen, welke de te Ammerzoden van jaar tot jaar verkregen opbrengsten verbinden, hebben — zoals te verwachten was — een zeer onregelmatig verloop. Hierbij valt het op, dat de toppen en dalen in de opbrengsten van alle drie de stroken van jaar tot jaar vrijwel parallel lopen. Dit wijst op een samenstel van factoren, welke voor de 3 bemestingsobjecten zijn invloed in gelijke richting heeft doen gelden (gezamenlijke invloed van weersomstandigheden, vruchtwisseling, enz.). DE FERRIÈRE (1951) heeft deze waargenomen schommelingen in verband gebracht met de regenval. Na het uiteenrafelen van de op het proefveld Ammerzoden verkregen gegevens, vond deze onderzoeker dat er slechts een gering verband bleek te bestaan tussen regenval en aardappelopbrengst; het effect door de kaliumbemesting teweeggebracht was groter dan dat van de regenval in de verschillende jaren.

Uit de in fig. 1 vermelde aardappelopbrengsten blijkt verder, dat op het proefveld Wehe — in tegenstelling met het te Ammerzoden waargenomene — reeds van het eerste proefjaar af op de KPN- en K_2 PN-veldjes de hoogste opbrengsten werden verkregen.

Dit wijst op een verschil in de kaliumhuishouding van de zavel te Wehe en de rivierklei te Ammerzoden. Dit verschil komt nog duidelijker tot uiting, wanneer de meeropbrengsten, als op beide proefvelden onder invloed van de kaliumbemestingen verkregen, worden vergeleken (zie fig. 1). Deze liggen te Wehe — althans in de jaren 1932 t/m 1938 — vrijwel op één niveau, terwijl ze te Ammerzoden elk opvolgend jaar groter worden. Bij deze vergelijking valt echter op, dat te Wehe de schommelingen in de lijn dezer meeropbrengsten veel groter zijn dan te Ammerzoden. Volgens DE FERRIÈRE (1951) houden bedoelde schommelingen te Wehe wél duidelijk verband met de regenval, althans met die over de eerste 9 maanden van het jaar; goede aardappeloogsten werden verkregen bij matige regenval in dit tijdvak. De meeropbrengst door kalibemesting was volgens deze onderzoeker het grootst, wanneer een natte en koele zomer volgde op een droger voorjaar.

b. Suikerbieten

Bij dit gewas gelijken de opbrengstlijnen van Ammerzoden en Wehe — welke zijn weergegeven in fig. 2 — meer op elkaar dan bij aardappelen. Zowel te Ammerzoden als te Wehe reageert de suikerbiet op de gegeven kalibemesting van het eerste

FIG. 1. Opbrengst aardappelen in kg per ha op de proefvelden Ammerzoden en Wehe en meeropbrengst als gevolg van kaliumbemesting in % van niet met kalium behandeld object

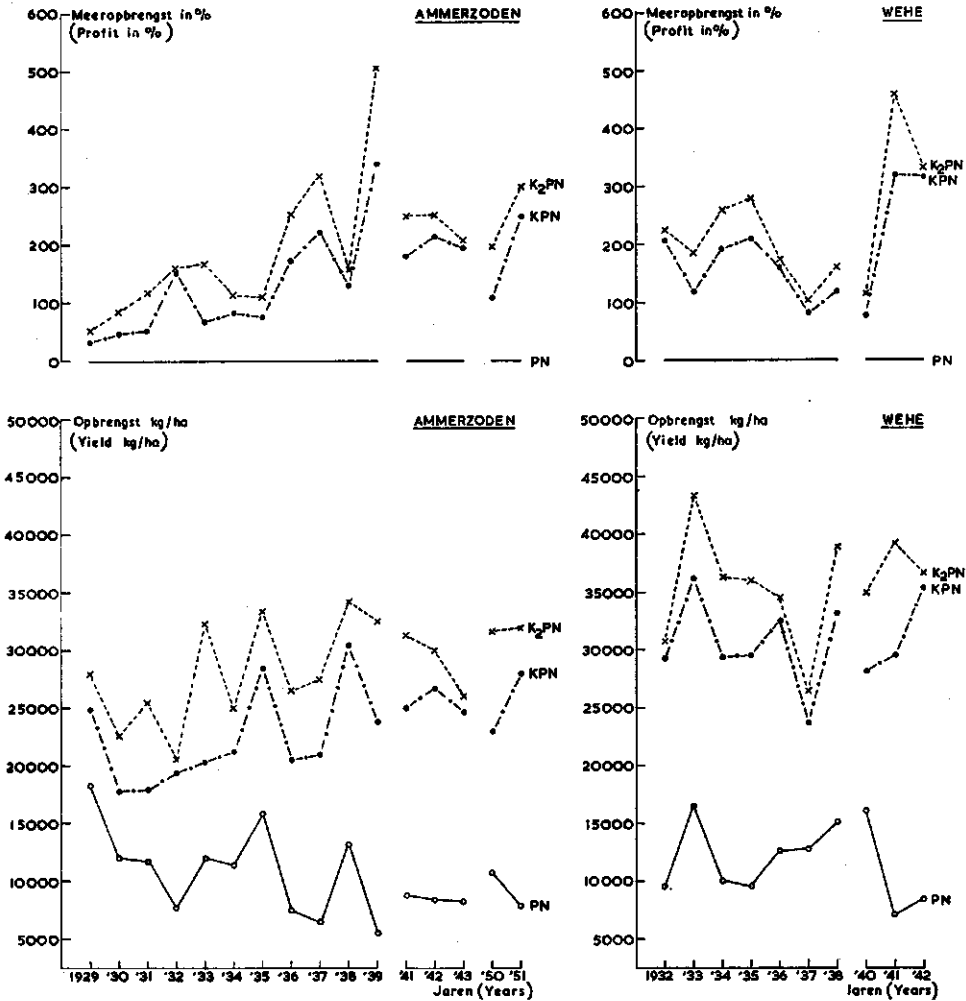


FIG. 1. Yield of potato tubers in kg/ha on experimental fields Ammerzoden and Wehe and profit of K-manuring in % of plot not treated with potassium

FIG. 2. Opbrengst suikerbieten in kg per ha op de proefvelden Ammerzoden en Wehe en meeropbrengst als gevolg van kaliumbemesting in % van niet met kalium behandeld object

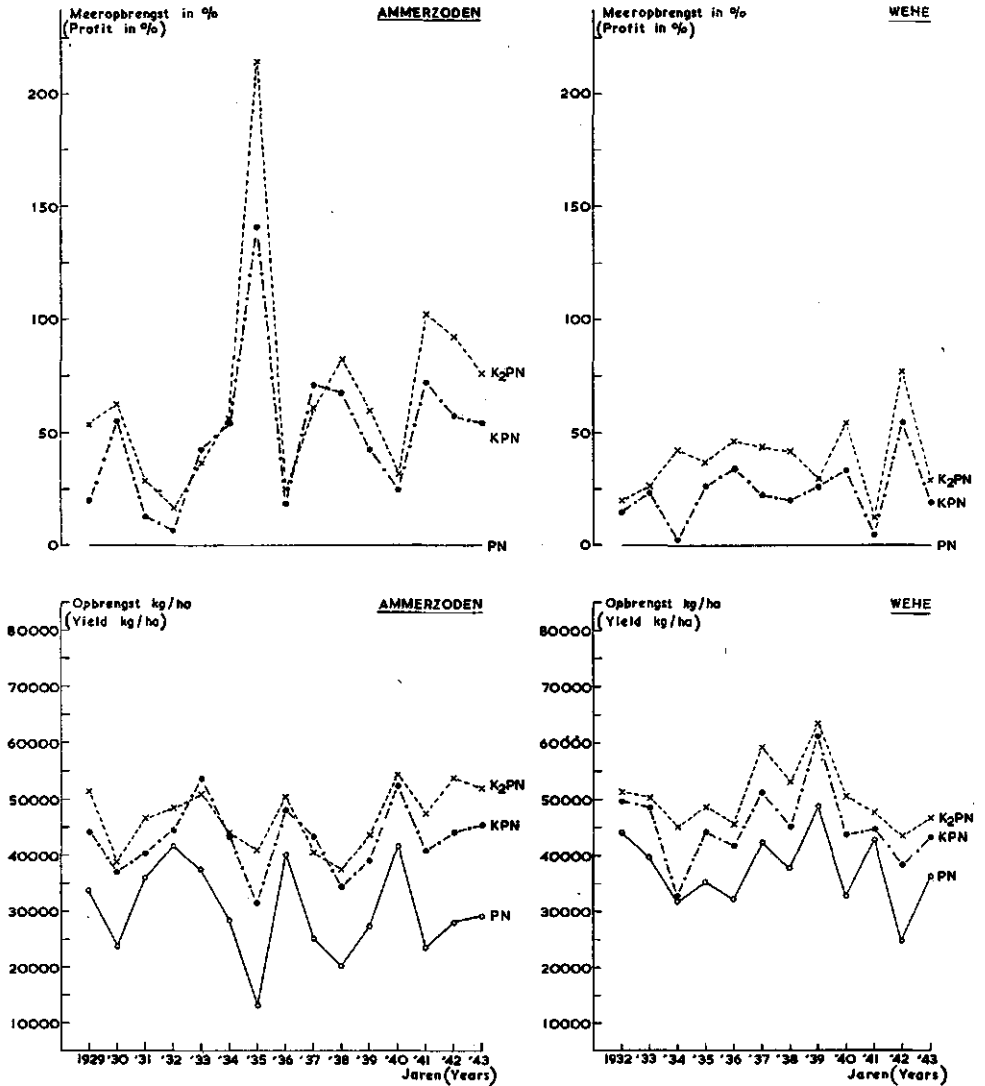


FIG. 2. Yield of sugar beets in kg/ha on experimental fields Ammerzoden and Wehe and profit of K-manuring in % of plot not treated with potassium

proefjaar af, ofschoon de op de met kalium bemeste percelen verkregen meeropbrengsten kleiner zijn dan bij aardappelen. Evenals bij het laatstgenoemde gewas, komen ook bij suikerbieten in de opbrengstlijnen schommelingen voor, die voor de PN-, KPN- en K_2 PN-veldjes van jaar tot jaar vrijwel parallel lopen. Het opbrengstniveau van de bemeste objecten ligt te Ammerzoden practisch even hoog als te Wehe.

Uit het bovenstaande volgt allereerst dat de suikerbieten weinig gevoelig zijn voor het tussen Ammerzoden en Wehe bestaande verschil in de kaliumhuishouding. M.a.w., dit gewas heeft weinig last van het te Ammerzoden bestaande K-fixatieverschijnsel. Blijkbaar kan de suikerbiet, dank zij het groter opnemend vermogen van haar wortelstelsel voor kalium, haar behoefte aan dit voedingselement ook nog aanvullen met een gedeelte van het gefixeerde K, dat in de met kalium bemeste percelen voorkomt. Vergelijkt men in fig. 2 de opbrengstniveau's van de PN-veldjes te Ammerzoden en Wehe, dan blijkt, — in tegenstelling met hetgeen men in fig. 1 bij de aardappelen ziet — het niveau van de bietenopbrengst te Ammerzoden lager te liggen dan te Wehe. De mogelijkheden van nalevering van kalium uit de minerale reserve zijn te Wehe nl. groter dan te Ammerzoden. DE FERRIÈRE (1951) heeft ook bij suikerbieten de in de opbrengstlijnen optredende schommelingen met de regenval in verband gebracht. Volgens hem zijn suikerbieten op het laag gelegen proefveld te Ammerzoden zeer gevoelig voor een teveel aan regen en zij zouden aldaar niet zo spoedig last van droogte hebben. Het effect van een kaliumbemesting zou hier bij suikerbieten het hoogst zijn, wanneer de regenval meer gelijkmatig over de groeiperiode was verdeeld.

Daarentegen wordt volgens dezelfde onderzoeker op het proefveld Wehe in een droog voorjaar grote schade geleden. Het rendement van de kalibemesting is aldaar het hoogst, wanneer na een droge lente een natte periode volgt.

c. Bruine bonen

In fig. 3 zijn de op de drie stroken PN, KPN en K_2 PN te Ammerzoden en Wehe verkregen opbrengsten van bruine bonen uitgezet. Dit gewas blijkt, evenals aardappelen, zeer sterk op de kalibemesting te reageren. Dat de bruine boon gevoelig is voor de kaliumhuishouding van de grond is ook uit de praktijk bekend, hoewel dit gewas bij een goede oogst (3000 kg) slechts ca 60 kg K_2O per ha aan de grond onttrekt, tegen ca 250 kg bij suikerbieten (45 000 kg).

Opvallend is te Ammerzoden de in de loop der jaren waarneembare daling van de opbrengsten op de met kalium bemeste stroken. Dit in tegenstelling met het bij aardappel en suikerbiet waargenomene.

De bruine boon blijkt te Ammerzoden dus in sterke mate te reageren op één of meer andere groeifactoren, dan op kalium-tekort alleen. Ook hier is het weer moeilijk deze factor(en) onmiddellijk aan te geven. Met DE FERRIÈRE (1951) zouden wij kunnen aannemen dat de, in de loop der jaren verslechterde, organische-stofpositie van de grond er iets mee te maken heeft. Het gedurende een groot aantal jaren geheel achterwege blijven van organische bemestingen zal zich op deze stugge kleigrond bij dit gewas in sterke mate wreken. Te Wehe had deze nalatigheid blijkbaar niet veel invloed op de opbrengsten.

T.a.v. het verband opbrengst-regenval vond DE FERRIÈRE (1951), dat een gelijkmatige regenval gedurende de gehele groeiperiode optimaal is voor dit gewas. Dit wijst erop dat de structuur van de grond te Ammerzoden (waterhuishouding, wortelontwikkeling, enz.) mede van betekenis is voor de opbrengst van bruine bonen.

FIG. 3. Opbrengst bruine bonen in kg per ha op de bemestingsproefvelden Ammerzoden en Wehe en meeropbrengst als gevolg van kaliumbemesting in % van niet met kalium behandeld object

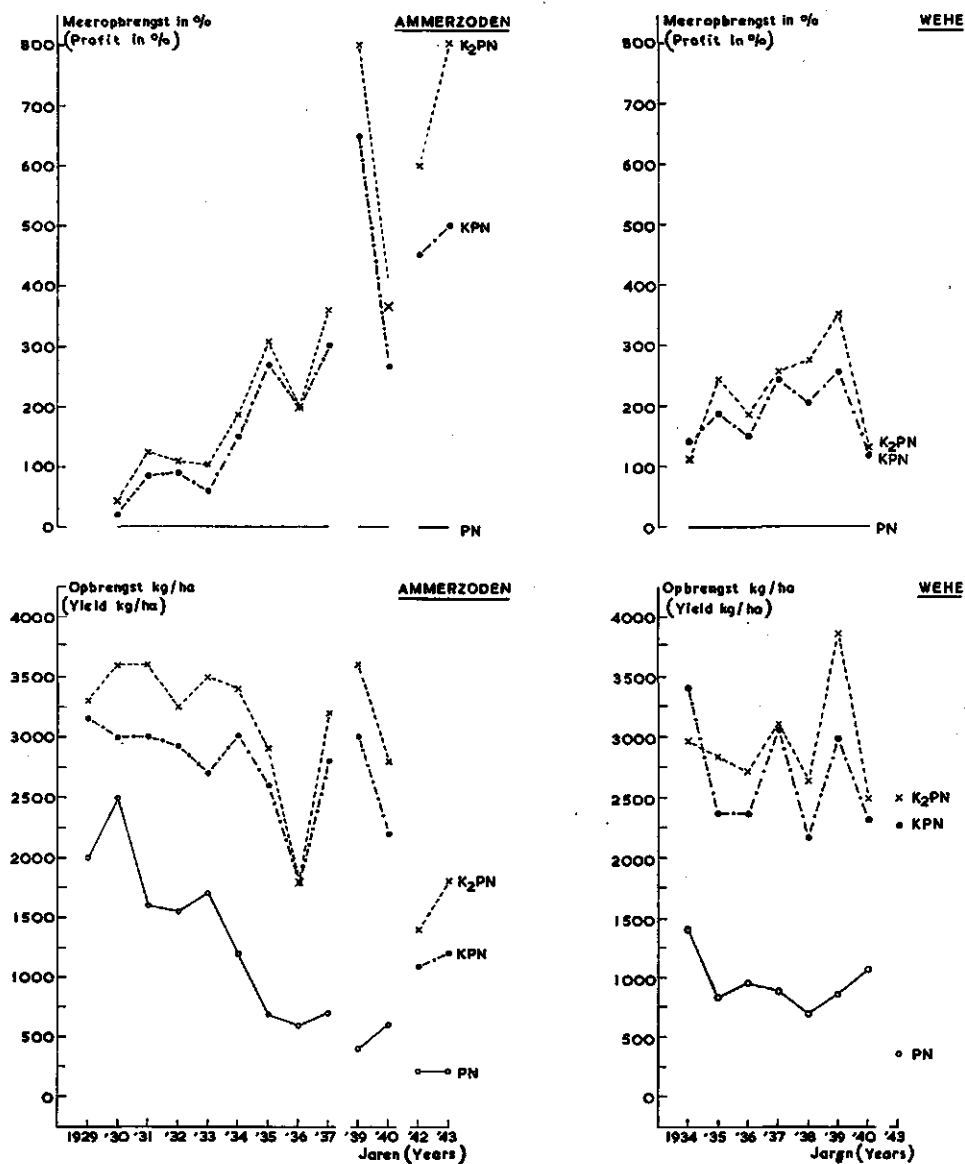


FIG. 3. Yield of beans in kg/ha on experimental fields Ammerzoden and Wehe and profit of K-manuring in % of plot not treated with potassium

d. Rode klaver

Op de proefvelden Ammerzoden en Wehe werd een groot aantal jaren rode klaver verbouwd. De verkregen meeropbrengsten (groene massa) zijn in relatieve maat in fig. 4 weergegeven.

Het vergelijken van de absolute opbrengstcijfers was hier niet mogelijk, aangezien de klaver op beide proefvelden niet steeds op dezelfde wijze werd geoogst. Te Ammerzoden werd nl. meestal slechts één snede verkregen, terwijl de klaver te Wehe als regel 2 á 3 maal per seizoen werd gemaaid. De opbrengstlijnen in fig. 4 geven dan ook relatieve waarden aan t.o.v. het PN-perceel.

FIG. 4. Meeropbrengst rode klaver als gevolg van kaliumbemesting in % van niet met kalium behandeld object op de proefvelden Ammerzoden en Wehe

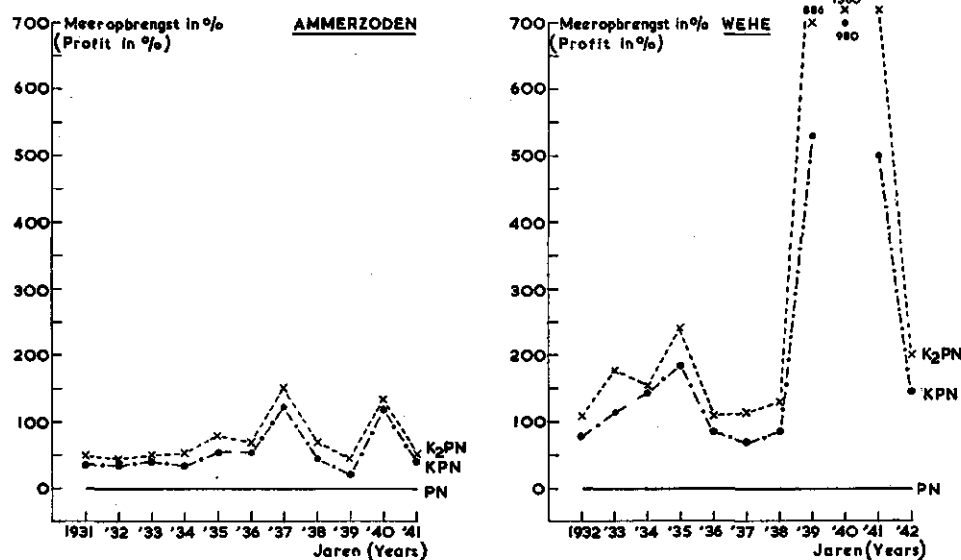


FIG. 4. Profit of K-manuring in % of plot not treated with potassium on experimental fields Ammerzoden and Wehe

Uit de cijfers blijkt, dat de meeropbrengsten te Wehe op KPN en K₂PN veel groter waren dan te Ammerzoden. Hieruit volgt dat rode klaver op het proefveld Ammerzoden, ondanks de op KPN en K₂PN verbeterde kalitoestand, nog niet voldoende kalium kon opnemen.

Immers bleek verder aan de hand van enkele, wél onderling vergelijkbare klaveropbrengsten, dat het opbrengstniveau te Wehe zeer veel hoger lag dan dat te Ammerzoden. Dat de klaver te Wehe zoveel beter groeide, was ook de reden waarom dáár 2 tot 3 sneden mogelijk waren tegen slechts één te Ammerzoden.

Gezien de te Ammerzoden en Wehe opgedane ervaringen, moet rode klaver beschouwd worden als een gewas, dat wel bijzonder gevoelig is voor een tekort aan gemakkelijk opneembare kalium (zie hierover verder onder Samenvatting).

e. *Haver*

Dit gewas kwam in de loop der jaren slechts sporadisch op beide proefvelden voor. In tabel I zijn enkele opbrengsten vermeld.

TABEL 1. Opbrengsten aan haver in kg per ha op de proefvelden Ammerzoden en Wehe

Jaar	Opbrengsten in kg per ha					
	Ammerzoden			Wehe		
	PN	KPN	K ₂ PN	PN	KPN	K ₂ PN
1933	—	—	—	3 760	3 880	4 110
1942	—	—	—	3 060	3 529	3 647
1949	4 980	4 950	4 700	—	—	—
1951	3 430	3 610	3 370	—	—	—
<i>Year</i>	<i>Yield in kg per ha</i>					

TABLE 1. Yields of oats on Ammerzoden and Wehe

Uit de vermelde opbrengstgegevens blijkt wel, dat haver t.o.v. de andere hier behandelde gewassen het best in staat is om kalium te bemachtigen uit een kali-arme grond. Dit is zelfs nog mogelijk uit een grond welke, zoals te Ammerzoden het geval is, kalium bovendien nog sterk fixeert. Ook in de praktijk is bekend, dat haver zeer goed in staat is om het moeilijk toegankelijke kalium uit de grond op te nemen. Het wel zeer gunstige resultaat, dat in 1949 op de PN-strook van Ammerzoden werd verkregen, is méde te danken aan de K-bemesting welke hier in 1947 en 1948 werd toegediend naar respectievelijk 300 en 200 kg zwavelzure kali per ha.

2. DE KALIUMHUISHOUDING TOEGELICHT AAN DE HAND VAN DE KALIUMBALANS

Voor de beide proefvelden Ammerzoden en Wehe werd over de desbetreffende proefveldperioden een „kaliumbalans” opgesteld en wel aan de hand van:

- a. de hoeveelheid kalium, door de gewassen aan de grond onttrokken,
- b. de hoeveelheid kalium met het drainwater uit de grond afgevoerd,
- c. de hoeveelheid kalium met de bemestingen aan de grond toegediend.

Deze kaliumbalans werd opgesteld met het doel om te weten te komen hoeveel K van de aan de grond toegediende hoeveelheden, uiteindelijk door de grond werd vastgelegd (gefixeerd) en geadsorbeerd.

Bij de berekening van de hoeveelheid kalium, welke door de verschillende oogsten aan de grond werd onttrokken, werd aangenomen dat elk gewas — zowel in het PN-, het KPN- als in het K₂PN-perceel — per eenheid van droge stof een normale hoeveelheid kalium bevatte. Dit is natuurlijk niet geheel juist omdat, zoals ook uit de analyses is gebleken, het kaliumgehalte in een gewas van het PN-object gewoonlijk veel lager is dan dat in eenzelfde, gegroeid op de met K bemeste objecten.

De verliezen aan kalium met het drainwater afgevoerd, werden — rekening

houdend met de verschillende grondsoorten — geschat op grond van de daarvoor algemeen in Nederland aanvaarde cijfers. Zie tabel 8 op blz. 41 en 42.

In tabel 8 is tevens (tussen haakjes) opgegeven hetgeen wordt onttrokken, gefixeerd enz., indien rekening werd gehouden met het gemiddelde kaliumgehalte van de voornaamste verbouwde gewassen op de verschillende objecten van beide proefvelden. Deze gemiddelde gehalten, becijferd uit een groot aantal analyses (in de loop der jaren verricht door het Landbouwproefstation van het Kalisyndicaat te Lichterfelde — Berlijn) zijn vermeld in tabel 2.

TABEL 2. % K_2O in de droge stof van de voornaamste landbouwgewassen op de proefvelden Ammerzoden en Wehe

Gewas	% K_2O normale oogst	Proefveld Ammerzoden						Proefveld Wehe								
		PN	K_2O %	KPN	K_2O %	K_2PN	K_2O %	PN	K_2O %	KPN	K_2O %	K_2PN	K_2O %	PN	KPN	K_2PN
Aardappelen - Eigenheimer (potatoes)	2,4	1,29	1,46	1,82	71	80	100	1,75	1,85	2,38	73	77	100			
Suikerbieten - Kuhn (sugar beets)	1,0	0,51	0,73	0,92	55	79	100	0,62	0,78	0,89	69	87	100			
Bruine bonen - CEKA (beans)	1,7	1,35	1,52	1,67	81	91	100	1,34	1,63	1,78	75	91	100			
Erwten - groene (peas)	1,4	1,25	1,38	1,43	87	96	100	1,26	1,36	1,46	86	93	100			
Gerst - zomer (barley)	0,7	0,67	0,70	0,66	101	106	100	0,71	0,73	0,74	96	98	100			
Tarwe - zomer (oats)	0,7	0,68	0,66	0,64	106	103	100	0,73	0,69	0,72	101	96	100			
Gemiddeld (average)	1,32	0,96	1,07	1,19	83	92	100	1,07	1,17	1,33	83	90	100			
Op $K_2PN = 100$ (on $K_2PN = 100$)					81	90	100				80	88	100			
Op normale oogst = 100 (on normal = 100)	100				73	81	90				81	89	101			

Crop	% K_2O normale crop ¹	Experimental field Ammerzoden	Experimental field Wehe

TABEL 2. % K_2O on dry matter of the most important agricultural crops on experimental fields Ammerzoden and Wehe

¹ % K_2O in corps under normal conditions.

Hieruit zien we, dat het gemiddelde K_2O -gehalte van de gewassen te Ammerzoden lager is dan te Wehe. Dit gem. gehalte bedroeg nl. te Ammerzoden voor de PN-, KPN- en K_2PN -strook achtereenvolgens 0,96%, 1,07%, 1,19%. Voor Wehe waren deze cijfers respectievelijk 1,07%, 1,17% en 1,33%. Hieruit kan voor PNA'zoden: KPNA'zoden: K_2PNA 'zoden: PN-Wehe: PKN-Wehe: K_2PN -Wehe een onderlinge verhouding voor het K_2O -gehalte worden berekend van 73 : 81 : 90 : 81 : 89 : 101,

wanneer het gemiddelde K_2O -gehalte van een normale oogst van de betreffende gewassen op 100 wordt gesteld.

Uit de cijfers van tabel 8 blijkt dat op het proefveld Ammerzoden in de loop van 16 jaren meer dan de helft van de in meststofvorm toegediende kalium niet door het gewas werd opgenomen. Dit geldt ook, indien de hoeveelheid kalium door de verschillende gewassen onttrokken, herleid wordt op de in tabel 2 gevonden verhouding van het gemiddelde K_2O -gehalte in het gewas bij de verschillende objecten.

Uiteraard zal op de sterk K-fixerende grond te Ammerzoden aanvankelijk meer worden gefixeerd dan naderhand. En wel des te meer naarmate de fixatie minder was afgestompt onder invloed van de regelmatige (en ruime) kaligiften. In totaal werd op Ammerzoden, gedurende 16 jaren (waarbij de K-fixatie slechts gedeeltelijk werd opgeheven) ca 3000 kg per ha niet opgenomen. De orde van grootte van dit cijfer staat in een goede verhouding tot dat voor de hoeveelheid kalium, welke volgens het chemisch onderzoek (zie Hfdst. II) nodig blijkt voor het — onder laboratoriumomstandigheden — totaal opheffen van het fixerende vermogen, nl. ± 6000 kg K_2O per ha, berekend op een bouwvoor-dikte van 25 cm.

Uit de in tabel 8 voor Wehe vermelde cijfers blijkt, dat aldaar in de loop van 12 jaren ongeveer een vierde gedeelte van de met meststoffen toegediende K niet door het gewas werd opgenomen. Dit is derhalve veel minder dan te Ammerzoden, hetgeen a priori ook te verwachten was. De tegenstelling in het vastleggend vermogen komt wel zeer duidelijk tot uiting, indien men bedenkt dat te Ammerzoden bij de hoogste gift gemiddeld per jaar 189 kg K_2O niet werd opgenomen, tegen gemiddeld slechts 61 kg K_2O bij de hoogste gift te Wehe.

Wordt tenslotte nog rekening gehouden met de vermeerdering aan uitwisselbare kalium-ionen in de met kalium bemeste objecten (bouwvoor à 25 cm), dan worden de hierbovengenoemde cijfers voor niet opgenomen K nog enkele procenten lager. Uit al deze berekeningen komt de grote tegenstelling in vastlegging van kalium tussen Ammerzoden en Wehe duidelijk naar voren.

Het is te verwachten, dat te Wehe procentsgewijs minder vastgelegd zal worden, wanneer de kaliumgiften nog hoger worden. In dat geval zal echter weer de hoeveelheid met het drainwater afgevoerde kalium, in deze lichte zavel belangrijk toenemen.

3. DE KALIUMHUISSHOUING TOEGELICHT AAN DE HAND VAN HET CALCIUM-KALIUM- EN HET MAGNESIUM-KALIUM-ANTAGONISME BIJ AARDAPPELEN

Wij vermeldden reeds (zie Hfdst. I, 1) dat op het proefveld Wehe in de eerste jaren na aanleg al direct een goede reactie op de toegediende kaliumbemesting werd gevonden, terwijl dit op het proefveld Ammerzoden niet het geval was. In de praktijk is ook bekend, dat in de Bommelerwaard, de Langstraat en de Biesbosch in verschillende gevallen bij een gift van 500 kg K_2O per ha nog kaligebrek in de aardappelen kan optreden. Dit zou er op wijzen, dat de toegediende kali op dergelijke gronden op de een of andere wijze niet voor de plant ter beschikking komt. FERRARI (1952) gebruikt bovengenoemd feit als definitie voor het verschijnsel van kalifixatie en wijst o.m. op het grote verschil dat er bestaat t.a.v. de beschikbaarheid van bemestingskali voor de aardappel tussen gronden in de Bommelerwaard en gronden in de Haarlemmermeer, waar de kali gemakkelijker door de aardappelplant wordt opgenomen. FERRARI haalt in dit verband aan, dat de gronden van de Haarlemmermeer volgens onderzoek van HAUSER chemisch weinig kalium fixeren.

Wij vragen ons echter af, of er bij de, door FERRARI met het verzamelbegrip kali-fixatie aangeduide, slechte beschikbaarheid van kalium in de rivierkleigronden van o.m. Bommelerwaard, Langstraat en Biesbosch, wellicht onderscheid gemaakt moet worden tussen de langs chemische weg te bepalen fixatie van kalium en mogelijk andere factoren, die de opneming van kalium door de gewassen eveneens zouden kunnen belemmeren. Wij wijzen hierbij vooral op de grote overmaat aan calcium en/of magnesium, welke in bepaalde rivierkleigronden t.o.v. kalium aanwezig kan zijn. FERRARI wijst bij zijn studie reeds op de betekenis van het kalk-kali-antagonisme voor de opneming van kalium door de aardappelplant, wanneer hij de invloed van de pH op de kalivoorziening van aardappelen bij de door hem bestudeerde gronden nader onderzoekt.

Dit overbekende calcium-kalium-antagonisme werd het eerst omschreven door EHRENBURG (1919). Minder bekend is echter het magnesium-kalium-antagonisme, dat voor het eerst door GARNER (1923) bij tabak en door LAGATU (1924) bij de druif werd aangetoond. Nadien hebben nog verschillende onderzoekers het magnesium-kalium-antagonisme beschreven, o.a. LOEWING (1928) bij haver, tarwe en mais, BROWN (1928) bij tarwe, HOAGLAND (1933) bij tomaten en gerst, KNOBLAUCH (1933) bij aardappel, KIDSON (1940) bij appel, STANFORD (1942) bij mais en WALSH (1945) bij aardappel, tabak, suikerbiet, tarwe en gerst. Hier in Nederland zijn het geweest VAN ITALIE (1937) bij haver, TEMME (1950) bij erwten en haver, MULDER (1950) bij appel en peer, BUTIJN (1950) en VAN STUIVENBERG (1950) eveneens bij appel en peer. Het bleek dat het ene gewas gevoeliger voor het magnesium-kalium-antagonisme is dan het andere. Dit is ook t.o.v. het calcium-kalium-antagonisme het geval.

Naar aanleiding van bovenstaande overwegingen en literatuurgegevens bestudeerden wij de invloed van het calcium-kalium- en het magnesium-kalium-antagonisme op de opneming van kalium door aardappelen. Hierbij werden niet alleen de resultaten van de proefvelden te Ammerzoden en Wehe verwerkt; óók van de aanwezige gegevens over een drietal in de Bommelerwaard gelegen proefvelden — t.w. Ophemert (ZGE 595), Asch (ZGE 596) en Kerkwijk (ZGE 594) — werd een dankbaar gebruik gemaakt. Op genoemde proefvelden werden in 1949 aardappelen verbouwd; gegevens aangaande bemesting en opbrengst aan knollen, alsmede de analysecijfers van het loof der verschillende objecten werden in tabel 9 bijeengebracht ¹.

Verder is in fig. 5 de hoeveelheid kalium in het blad tegen de hoeveelheid calcium en magnesium uitgezet (een en ander in millieq. per 100 g droge stof). Uit de verschillende gegevens komt niet alleen het calcium-kalium-antagonisme, maar ook het magnesium-kalium-antagonisme bij de aardappelplant duidelijk naar voren. Hoewel men bij oppervlakkige beschouwing de indruk zou kunnen krijgen, dat het laatste antagonisme een groter invloed heeft op de opneming van kalium dan het eerste (immers, uit de grondanalyses blijkt, dat overwegend meer calcium dan magnesium aanwezig is, terwijl de gehalten aan deze elementen in het loof ongeveer dezelfde orde van grootte hebben) laat dit materiaal deze conclusie toch niet toe, daar er een nauwe correlatie gevonden wordt tussen calcium en magnesium.

De totale hoeveelheid kalium + calcium + magnesium (in millieq. per 100 g droge stof) is voor het aardappelloof van de verschillende veldjes van de 3 proefvelden praktisch aan elkander gelijk (circa 300 millieq. per 100 g droge stof). Zoals bekend

¹ De verschillende gegevens werden ons welwillend afgestaan door de Rijkslandbouwconsulent voor Zuidelijk Gelderland te Tiel.

FIG. 5. K_2O gehalte aardappelloof t.o.v. MgO - en CaO -gehalte aardappelloof in millieq. per 100 g droge stof

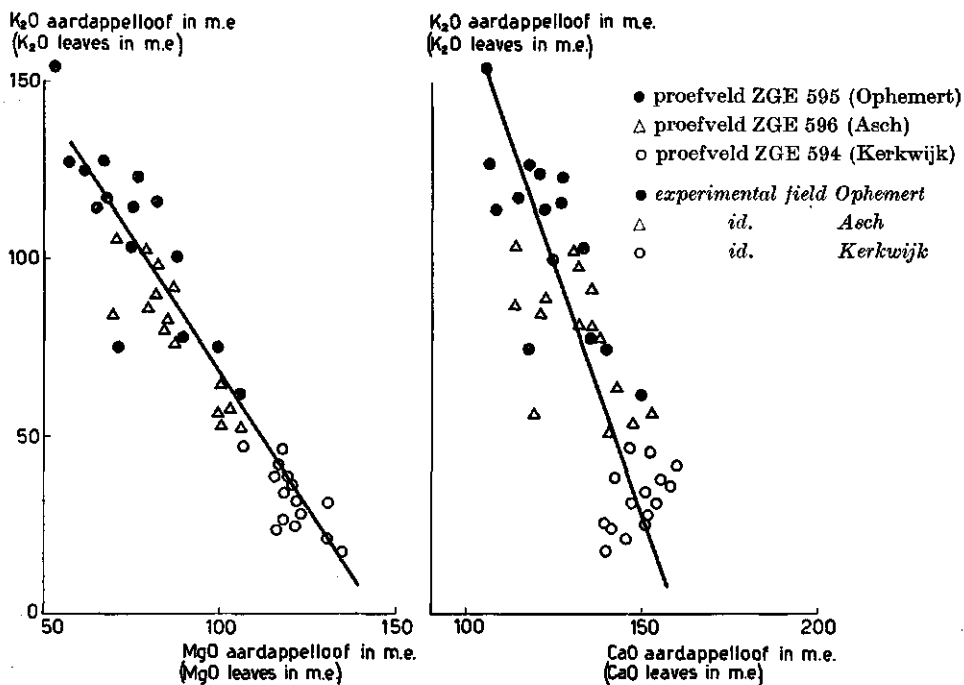


FIG. 5. K_2O of potato leaves in regard to MgO and CaO leaves in m.e. on 100 g dry matter

tracht elk gewas te streven naar een gelijkblijvende hoeveelheid kationen in de weefsels (S-waarde). Gaan in het voedingsmilieu b.v. 2-waardige kationen overheersen, dan zullen deze in grotere hoeveelheden worden opgenomen, hetgeen dan ten koste van de eenwaardige geschiedt. Hieruit volgt, dat Ca- en Mg-ionen de opname van K in sterke mate kunnen tegenwerken.

Dit zal op de opbrengst van gewassen, welke voor dergelijke wanverhoudingen gevoelig zijn, een ongunstige invloed kunnen hebben, zoals b.v. bij aardappelen. De in het loof gevonden hoeveelheden K en $Ca + Mg$ werden in fig. 6 nog met elkaar in verband gebracht (m.e. per 100 g droge stof).

Het onderzoek van de grond met behulp van een extractie met Na-acetaat azijnzuur pH 4,8 (Morgan-extract; zie ook Hoofdstuk II — Chemisch Onderzoek) laat duidelijk zien, hoezeer het quotient $(Ca + Mg) : K$ bij de verschillende gronden kan uiteenlopen. Voor Kerkwijk bedroeg dit quotient 1057, voor Asch 395 en voor Ophemert 224. Het grote traject, dat voor de verhouding $(Ca + Mg) : K$ in de grond wordt verkregen, vraagt in verband met de hiervoor gesignaleerde Ca-K- en Mg-K-antagonismen o.i. wel een bijzondere aandacht. Dit traject is immers ruimer dan waarmee we bij het K-HCl-cijfer (in 0,001%) der onbemeste objecten van genoemde proefvelden te maken hebben (de K-HCl-cijfers waren in 1949 resp. 12, 13 en 15). De vraag komt verder op, in hoeverre de verhouding $(Ca + Mg) : K$ in de grond bij

Fig. 6. K_2O -gehalte aardappelloof t.o.v. $CaO + MgO$ -gehalte aardappelloof in milliaeq. per 100 g droge stof

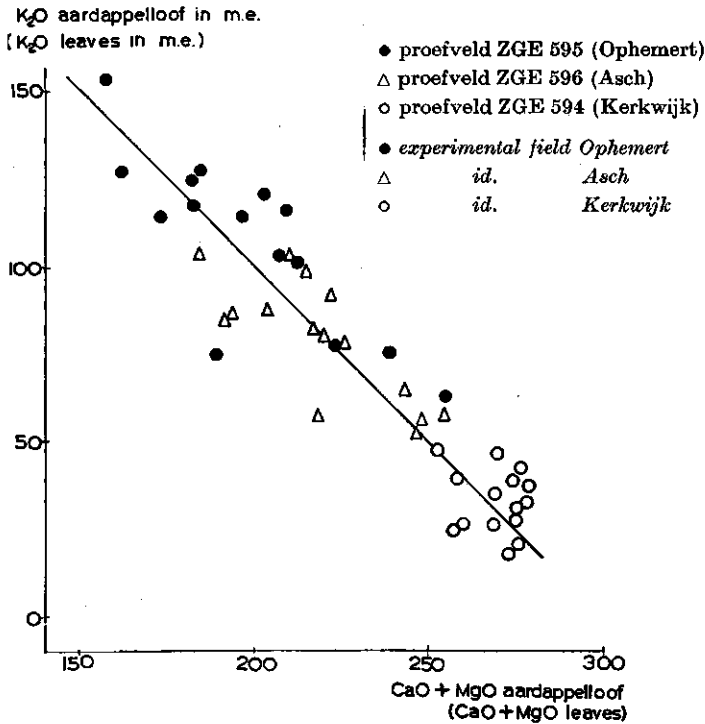


FIG. 6. K_2O potato leaves in regard to $CaO + MgO$ leaves in m.e. on 100 g dry matter

een bepaalde kalitoestand van invloed zal zijn op het effect van een kalibemesting op het kaligehalte van het loof en in samenhang daarmee tevens op de opbrengst. Bij deze beschouwingen hebben wij nog met een derde factor te maken en wel met de kalifixatie. Deze bedroeg in 1950 bij de drie genoemde proefvelden, volgens de „natte” methode bepaald, resp. 55%, 29% en 20% en bij de „droge” methode resp. 70%, 59% en 56%. Het is niet mogelijk om uit de resultaten van slechts enkele proefvelden uit te maken, welke cijfers men bij de interpretatie der landbouwkundige feiten het beste kan gebruiken. Een serie proefvelden zal daarvoor nodig zijn.

Wij moeten dus wel volstaan met enkel de vermelding van de samenhang tussen K_2O -gehalte van het aardappelloof en de knolopbrengst, welke in 1949 op bovengenoemde proefvelden werd gevonden, zonder daar in bovenbedoelde zin conclusies aan te kunnen verbinden.

De bemesting op deze proefvelden ging tot 400 kg K_2O per ha, terwijl er bovendien nog bij verschillende kalitoestanden en ook met stalmest als proefvariabele werd gewerkt. De resultaten van alle veldjes tezamen geven de in fig. 7 weergegeven samenhang te zien.

Het effect van de kalibemesting op het kaligehalte van het loof neemt toe, wanneer het kaligehalte van het onbemeste object hoger is, dus in de volgorde Kerkwijk

FIG. 7. K_2O -gehalte aardappelloof in % op 100 g droge stof t.o.v. knolopbrengst in q/ha

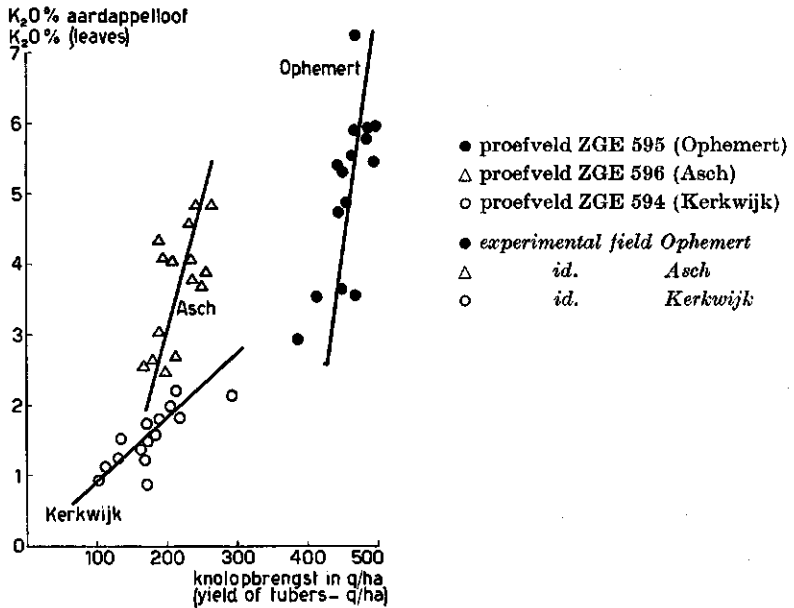


FIG. 7. K_2O of potato leaves in % on 100 g dry matter in regard to yield of tubers in q/ha

(1 tot 2,2% K_2O), Asch (2,5—4,8%), Ophemert (3 tot 6% en hoger), terwijl het effect van de kalibemesting op de knolopbrengst in deze volgorde afneemt (meer-opbrengst na kalibemesting te Kerkwijk, Asch en Ophemert resp. circa 150, 70 en 50 q/ha).

De kaligehalten van het proefveld te Kerkwijk zijn zeer laag. Ophemert onderscheidt zich door de aldaar gevonden gemakkelijke kaliopname bij bemesting en door een zeer hoge opbrengst.

II. CHEMISCH ONDERZOEK

1. HUMUS, STIKSTOF, CaCO_3 , pH, GRANULAIRE SAMENSTELLING

TABEL 3. Granulaire samenstelling, humus, stikstof en pH — proefvelden Ammerzoden en Wehe

Omschrijving	Proefveld Ammerzoden						Proefveld Wehe		
	Perceel 12			Perceel 9			PN	KPN	K_2PN
Bemesting	PN	KPN	K_2PN	PN	KPN	K_2PN			
Granulometrische samenstelling (<i>granulometric analysis</i>)									
> 60 μ %	24,2	23,2	28,8	24,8	23,5	28,3	65,2	64,8	65,7
60 — 16 μ %	20,8	21,7	23,8	20,5	21,8	24,5	21,8	21,7	21,3
16 — 2 μ %	22,8	20,6	18,7	22,4	20,3	18,5	4,5	4,8	3,8
< 2 μ %	27,0	28,7	24,3	27,6	28,8	24,3	6,8	6,7	7,0
Humus %	3,1	3,4	3,0	2,7	3,0	2,7	1,4	1,4	1,4
TOTAAL (<i>total</i>)	97,9	97,6	98,6	98,0	97,4	98,3	99,7	99,4	99,2
Stikstof (N) %	0,209	0,228	0,186	0,185	0,211	0,177	0,96	0,97	0,95
Humus: N	15	15	16	15	14	15	15	14	15
pH	7,4	7,4	7,3	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2
<i>Manuring</i>	<i>PN</i>	<i>KPN</i>	<i>K₂PN</i>	<i>PN</i>	<i>KPN</i>	<i>K₂PN</i>	<i>PN</i>	<i>KPN</i>	<i>K₂PN</i>
<i>Description</i>	<i>Plot 12</i>			<i>Plot 9</i>			<i>Experimental field Wehe</i>		
	<i>Experimental field Ammerzoden</i>								

CaCO_3 = sporen in alle monsters.

CaCO_3 = only traces in all samples.

TABEL 3. *Granulometric analysis, humus, nitrogen and pH — experimental fields Ammerzoden and Wehe*

Uit de in tabel 3 opgegeven cijfers voor humus, stikstof, CaCO_3 , pH en granulaire samenstelling blijkt duidelijk, dat de grond van proefveld Ammerzoden ongelijk van samenstelling is. Zo bevat de grond van de K_2PN -strook beduidend minder fijne fractie dan die van de KPN- en PN-strook. De KPN-strook bevat verder de grootste hoeveelheid organisch materiaal (humus). In tegenstelling hiermede is de grond van het proefveld te Wehe vrij uniform van samenstelling, hetgeen ook verwacht mocht worden (zie Inleiding).

2. KALIUMFIXATIE

In tabel 4 is aangegeven hoeveel kalium door de verschillende gronden in niet uitwisselbare vorm wordt vastgelegd, wanneer deze met een oplossing van KCl van bepaalde sterkte worden geschud of gedroogd.

TABEL 4. K_2O gefixeerd in % na schudden en na drogen (bij $70^\circ C$) van 20 g grond met een oplossing van KCl, welke 20 mg K_2O bevat

Omschrijving	Proefveld Ammerzoden						Proefveld Wehe		
	Veld 9			Veld 12			PN	KPN	K_2PN
	PN	KPN	K_2PN	PN	KPN	K_2PN			
Na schudden (after shaking)	61	44	26	58	45	28	11	11	11
Na drogen (after drying)	84	78	69	86	77	68	29	28	28

Description	Plot 9		Plot 12		Experimental field Wehe
	Experimental field Ammerzoden				

TABEL 4. % K_2O fixed after shaking and after drying (at $70^\circ C$) of 20 g of soil with a solution of KCl containing 20 mg K_2O

Uit de cijfers volgt, dat het proefveld Ammerzoden — en hier speciaal het onbemeste object — zeer veel kalium vastlegt, vooral indien de grond vooraf met KCl wordt gedroogd.

Uit nader onderzoek bleek nog, dat het fixatievermogen van de grond te Ammerzoden groter was, dan dat van mede in het onderzoek betrokken buitenlandse gronden welke om hun sterke kaliumfixatie bekend staan. Vooral kwam dit tot uiting, wanneer een KCl-oplossing van een hoge concentratie werd gebezigd.

Ten gevolge van de langdurige bemesting ging de kaliumfixatie merkbaar achteruit, namelijk wanneer dit verschijnsel werd bepaald volgens de „natte” fixatiemethode van 60 tot 27%. Bij toetsing volgens de „droge” fixatiemethode waarbij de contractie van de roosterplaten van de kalifixerende illiet (zie Hoofdstuk III) sterk wordt bevorderd, is de vermindering van het fixerend vermogen onder invloed van de langdurige kalibemesting echter geringer geweest, nl. van 85 tot 68%.

De verlaging van het kaliumfixerend vermogen, gaat zoals verder onder kationenwaarde zal blijken, gepaard met een verlaging van het adsorptievermogen.

3. ADSORPTIECOMPLEX

In tabel 10 is de bezetting van het adsorptiecomplex vermeld. Als verdringingsvloeistof werd gebezigd 0,5 N Mg-acetaat (K,Na) en 0,5 N Na-acetaat (Ca,Mg,Mn).

Calcium. Ammerzoden en Wehe bevatten achtereenvolgens ongeveer 92 en 90 uitwisselbare Ca-ionen op 100 totaal uitwisselbare ionen. Dit is in Nederland voor dit soort gronden normaal.

M a g n e s i u m. Het gehalte van de grond van beide proefvelden aan uitwisselbare Mg-ionen is, gerekend op 100 totaal uitwisselbare ionen, eveneens normaal.

K a l i u m. Het gehalte van uitwisselbare kalium-ionen is bij beide proefvelden laag t.o.v. het totaal van alle uitwisselbare ionen, vooral te Ammerzoden. Als gevolg van de regelmatige bemestingen met kalimeststoffen treedt hierin wel enige verbetering op, doch gehalten van 3,5% (Wehe) en 2,3% (Ammerzoden) kaliumionen bij de hoogste kaliumgift zijn wel zeer laag.

K a t i o n e n w a a r d e. Deze grootheid, die wel het meest geschikt is om bij de vergelijking van het adsorptiecomplex van verschillende gronden te gebruiken, heeft voor de aan afslibbare delen rijkere grond van Ammerzoden een beduidend hogere waarde dan voor de grond te Wehe. Dit was a priori ook te verwachten.

Beschouwt men in tabel 10 de verhoudingen *totaal uitwisselbare ionen : kationenwaarde (b)* of *natrium-ionen geadsorbeerd uit $\frac{1}{2}$ N Na-acetaat : kationenwaarde (c)*, dan valt op, dat de waarde van deze verhouding op het proefveld Ammerzoden afneemt, maarmate zwaarder met kalium wordt bemest.

Dit verschijnsel treedt te Wehe niet op. In tegenstelling hiermee werd de verhouding *totaal uitwisselbare ionen : adsorptie-capaciteit Na-acetaat (a)* door kaliumbemesting *niet* gewijzigd. De te Ammerzoden waargenomen verlaging van de waarde van de quotiënten b) en c) op de met kalium bemeste percelen, wordt veroorzaakt doordat aldaar het adsorptievermogen kleiner geworden is. Dit als gevolg van het teruglopen van de kaliumfixatie onder invloed van de regelmatig toegediende bemestingen met kalium. Immers bij een grond met een sterk kaliumfixerend vermogen zullen er steeds „fixatie-plekken” zijn, waar zich min of meer gemakkelijk uitwisselbare kationen bevinden. Dit aantal zal afnemen, naarmate er meer kali is gefixeerd. Dit laatste geldt ook wanneer NH_4 -ionen, die als verdringingsionen bij de bepaling van de kationenwaarde werden gebruikt, gefixeerd worden.

C a : K, M g : K en (C a + M g) : K v e r h o u d i n g e n. Opvallend zijn de grote verschillen, welke tussen de beide gronden bestaan t.o.v. de Ca/K en Mg/K-verhoudingen in het adsorptiecomplex (tabel 10).

Deze verschillen komen nog duidelijker tot uiting na bepaling van de in Na-acetaat azijnzuur pH 4,8 (extractievloeistof volgens MORGAN) uit de grond extraheerbare hoeveelheden van de drie genoemde kationen en de dienovereenkomstige verhoudingen (zie tabel 5). Dit zou er op kunnen wijzen, dat een gebufferde oplossing bij een schudproef (evenwichtsreactie) een beter beeld geeft van de in de grond bestaande (en door de plant te verwerken) kationenverhoudingen dan een percolatievloeistof (aflopende reactie). In het laatste geval worden alle ionen van het complex verdrongen zonder dat er iets van de activiteiten van de ionen tot uiting kan komen.

² De gehalten van het Morgan-extract werden op het laboratorium van de Kali-Import Mij als volgt bepaald: kalium vlamfotometrisch, calcium titrimetrisch en magnesium colorimetrisch met behulp van een photo-electrometer. Er werd dus geen gebruik gemaakt van de druppelmethode volgens Morgan, gevolgd door schattingen van kleur of troebeling bij de chemische reacties verkregen.

TABEL 5. Calcium, magnesium en kalium in mg per l (p.p.m.), zomede de Ca : K, de Mg : K en de (Ca + Mg) : K verhouding in milliaeq. (m.e.) bij extractie van de grond met Nacetaat azijnzuur pH 4,8 (Morgan)

Omschrijving (Description)	Ammerzoden								
	Ca		Mg		K		$\frac{Ca}{K}$	$\frac{Mg}{K}$	$\frac{Ca+Mg}{K}$
	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	me	me	me
PN	1460	73,0	87	7,1	3	0,08	913	89	1002
KPN	1470	73,5	109	8,4	7	0,18	408	47	455
K ₂ PN	1190	59,5	103	7,9	14	0,36	165	22	187
	Wehe								
	Ca		Mg		K		$\frac{Ca}{K}$	$\frac{Mg}{K}$	$\frac{Ca+Mg}{K}$
	mg	me	mg	me	mg	me	me	me	me
PN	350	17,5	31	2,5	5	0,13	135	19	154
KPN	340	17,0	26	2,1	9	0,23	74	9	83
K ₂ PN	320	16,0	24	2,0	17	0,43	37	5	42

TABLE 5. Calcium, magnesium and potassium in p.p.m. and Ca : K, Mg : K and (Ca + Mg) : K in m.e. by extraction of the soil with Morgan solution

Uit de cijfers blijkt dat te Ammerzoden de Ca : K, Mg : K en de (Ca + Mg) : K verhoudingen veel ongunstiger liggen dan te Wehe. Vooral op de PN-strook van Ammerzoden is de (Ca + Mg) : K verhouding wel zeer hoog (1002) in vergelijking met die te Wehe (154).

In tabel 11 is ook nog van een aantal andere gronden, w.o. afkomstig van de proefvelden te Ophemert, Asch en Kerkwijk (waarvan asanalyses van het bladloof bekend zijn, zie Hoofdstuk I, 3), het resultaat vermeld van de Morgan-analyse. In deze tabel zijn tevens vermeld de fixatiecijfers (na schudden en na drogen met een oplossing van KCl), de pH, zomede het gehalte (%) aan humus, calciumcarbonaat en fractie < 2 μ . Tenslotte nog het gehalte (in 1/1000%) aan K₂O dat oplost bij schudden van de grond met 0,1 N HCl, d.i. het K₂O-cijfer.

Uit de cijfers blijkt, dat de (Ca + Mg) : K en de Mg : K verhouding op het proefveld te Kerkwijk (ZGE 594) resp. 1057 en 184 bedraagt. Deze wanverhouding gaat gepaard, zoals in Hoofdstuk I, 3 is gebleken, zowel met een slechte opbrengst bij aardappelen — de hoogste opbrengst bedroeg hier bij een bemesting van 400 kg K₂O per ha slechts ongeveer 220 Q/ha — als met een laag K₂O-gehalte van het aardappel-loof; het K₂O-gehalte was hier maximaal ca 2%. Ook diverse andere gronden in de Bommelerwaard, Langstraat en Biesbosch bezitten naast een hoog kalifixerend vermogen óók nog een sterke wanverhouding tussen Ca en Mg enerzijds en K anderzijds, m.a.w. een hoge waarde voor het quotiënt (Ca + Mg) : K. Dit quotiënt bereikt in een enkel — in tabel 11 weergegeven — geval zelfs een waarde van ca 3400 (zie

monster no. 456). In tegenstelling hiermede is op verschillende andere gronden in Nederland, o.a. de vrij sterk K-fixerende zeekleigronden te Scheemda (no. 268) en Bellingwolde no. 266) — de besproken verhouding (Ca + Mg) : K veel gunstiger, nl. respect. 225 en 262.

Ook in het K_2PN object van Ammerzoden is de (Ca + Mg) : K verhouding in de loop van de 23-jarige bemesting à gemiddeld 300 kg K_2O per ha wel dermate sterk gedaald (van 1002 tot 187), dat wij hierin een aanwijzing zien, dat daardoor ondanks een nog vrij grote kalifixatie (27% bij schudden en 68% bij drogen) toch nog een goede aardappelopbrengst werd verkregen (bij een pH van 7,3).

Verder blijkt nog uit de uitkomsten van het proefveld te Ophemert, dat het ondanks een vrij aanzienlijke K-fixatie (20% bij schudden en 50% bij drogen) zeer wel mogelijk is om goede aardappelopbrengsten te verkrijgen bij een $KHCl$ -cijfer van 15, mits de pH (in 1949 = 5,6) en de (Ca + Mg) : K verhouding (in 1950 = 224) niet te hoog zijn. Deze laatste waarde dient derhalve, naast het pH-cijfer, mede te worden beoordeeld bij de waardering van het voor de kalitoestand in de grond gevonden cijfer, t.a.v. de verbouw van aardappelen. Uiteraard spreekt het vanzelf dat de betekenis van de voor dit quotiënt gevonden waarde voor de groei en opbrengst van de aardappelplant mede afhangt van de hoeveelheid in de grond gevonden kalium. Zo zal bij éénzelfde quotiëntswaarde een hoger kaligehalte gunstiger zijn dan een lager.

In het voorgaande menen wij een sterke aanwijzing te mogen zien, dat de teleurstellende resultaten, welke met kalibemesting bij de verbouw van aardappelen op verschillende gronden in de Bommelerwaard, de Langstraat en de Biesbosch worden opgedaan, niet enkel te wijten zijn aan de sterke kaliumfixatie, doch óók — en mogelijk zelfs grotendeels — aan de op de betreffende percelen bestaande Ca : K- en de Mg : K-wanverhouding. Deze wanverhoudingen worden, tezamen met de chemisch te definiëren kaliumfixatie en eventueel andere factoren, die de opneming van voldoende kalium door de plant belemmeren, door FERRARI (1952) samengevat in het begrip kalifixatie. FERRARI neemt immers bij zijn definitie voor K-fixatie de plant als criterium. Daarnaast wordt echter door hem op blz. 71, 72, 73 en in het bijzonder op blz. 126 (Summary) naar aanleiding van de resultaten van verschillende onderzoekers aan een oorzaak gedacht, die door het chemische begrip fixatie gedekt wordt. Bij deze chemische definitie wordt — zoals algemeen gebruikelijk is — onder kaliumfixatie verstaan het proces, waarbij K-ionen zodanig gebonden worden, dat ze met oplossingen van neutrale, of gebufferde zwakzure zouten niet meer vrij zijn te maken.

De door FERRARI voor het begrip K-fixatie gegeven omschrijving lijkt ons echter minder gelukkig en aanleiding gevend tot begripsverwarring.

Bevat de grond b.v. een overmaat aan Mg- en/of Ca- t.o.v. K-ionen, dan zal t.g.v. de hieruit voortvloeiende ionen-antagonismen de kaliumopneming door de plant belemmerd worden, zonder dat er sprake behoeft te zijn van K-fixatie. O.i. kan men beter spreken van een *verstoorde kaliumopneming* (wanneer de plant als criterium wordt genomen) of van een *verstoorde kaliumhuishouding* (indien de grond als criterium geldt), *veroorzaakt hetzij door kaliumfixatie, hetzij door een wanverhouding tussen calcium en/of magnesium enerzijds en kalium anderzijds. Het ene gewas is hiervoor ook gevoeliger dan het andere — zie b.v. de grote tegenstelling tussen aardappelen en suikerbieten.*

4. KALIUM OPLOSBAAR BIJ DIVERSE EXTRACTIES

In tabel 12 zijn gegevens vermeld, waaruit volgt dat bij percolatie van de grond met 0,5 N Mg-acetaat beduidend méér kalium wordt opgelost dan bij het schudden met overmaat 0,1 N HCl. De bij de laatstgenoemde methode optredende reacties leiden tot een zekere afstomping (neutralisatie) van het zuur tijdens het schudden. De mate van neutralisatie is afhankelijk van de aard van het gebezigde grondmateriaal. Verder zal zich bij het schudden van een kaliumfixerende grond met 0,1 N HCl (K_{HCl} -cijfer) een evenwicht gaan instellen tussen de hoeveelheid kalium welke door het HCl is vrijgemaakt (kalium uit adsorptiecomplex + gefixeerd kalium) en de hoeveelheid kalium die tijdens het schudden door de grond wordt gefixeerd. Beide verschijnselen — uitwisseling en fixatie — staan zoals verderop zal blijken, tot op zekere hoogte los van elkander.

In tabel 12 zijn tevens vermeld de hoeveelheden kalium, welke vrijkomen wanneer de verschillende gronden achtereenvolgens met 0,05 N, 0,1 N en 10% HCl — met telkens driemaal 250 cc van elk der genoemde zoutzuuroplossingen — worden gepercoleerd. Uit de desbetreffende cijfers blijkt duidelijk, dat bij percolatie met 0,05 N HCl praktisch alle gemakkelijk bereikbare kalium wordt opgelost. Verder kan nog opgemerkt worden, dat uit de langdurig met kalium bemeste gronden — vooral bij het sterk kalium fixerende proefveld Ammerzoden — door 0,05 N HCl belangrijk méér K wordt opgelost dan uit de grond van de niet met kalium bemeste objecten.

Bij de daaropvolgende percolatie met 0,1 N HCl worden slechts zeer geringe hoeveelheden kalium opgelost. Pas bij de percolatie met 10% HCl komt kalium in grote hoeveelheden vrij. Dit ook des te meer naarmate de grond met meer kalium werd bemest.

Uit het bovenstaande mag men wel de conclusie trekken, dat het gefixeerde kalium voor een deel zeer gemakkelijk in 0,05 N HCl oplost, en dat dit voor een ander deel langzaam vrijkomt bij sterke aantasting met 10% HCl. Jaren geleden wees CHAMINADE (1934) reeds op het verschijnsel, dat gefixeerde kalium gemakkelijk door zwak HCl kan worden opgelost.

Uiteraard mag hieruit nog *niet* de conclusie getrokken worden dat de plant het gefixeerde kalium en vooral *alle* gefixeerde kalium gemakkelijk kan bemachtigen. Tenslotte kan nog n.a.v. de gegevens van tabel 12 worden opgemerkt, dat per eenheid fractie 2—16 μ — d.i. de fractie welke van overwegend belang is voor de nalevering van kalium uit kaliumhoudende mineralen — Ammerzoden armer aan kalium is dan Wehe. In totaal wordt immers op het eerstgenoemde proefveld in het PN-object 0,022% K_2O opgelost in 0,1 N HCl + 10% HCl (na voorafgaande verwijdering van uitwisselbare ionen door 0,05 N HCl) tegen 0,013% K_2O in het PN-object van Wehe. Aangezien het betreffende object van Ammerzoden ca $5 \times$ zoveel fractie 2—16 μ bevat dan dat van Wehe, zou men bij gelijke naleveringsmogelijkheid voor Ammerzoden veel meer moeten vinden dan 0,022% K_2O .

In tabel 13 is verder aangegeven hetgeen bij achtereenvolgende percolaties aan kalium uit de grond van de PN-strook te Ammerzoden vrijkomt, wanneer deze vooraf onder verschillende omstandigheden met KCl verzadigd werd. Dit werd gedaan om te weten te komen, in welke mate de grond met kalium verzadigd kan worden en hoeveel in dat geval gefixeerd wordt.

Allereerst werd de grond op diverse manieren (zie toelichting in tabel 13 onder-

aan) met een overmaat KCl behandeld. Daarna werd de KCl, die niet op de één of andere wijze door de grond was vastgelegd, door uitspoeling en affiltreren verwijderd. Tenslotte werd de grond gepercoleerd met HCl van verschillende sterkte.

Zoals te verwachten was, blijken óók na deze kunstmatige fixatie in 0,05 N HCl grote hoeveelheden kalium uit de grond in oplossing te zijn gegaan.

Deze hoeveelheden bestaan voor het grootste gedeelte uit uitwisselbare kalium-ionen; een ander gedeelte is afkomstig van gemakkelijk toegankelijke, gefixeerde kalium-ionen. Verder blijkt in 0,1 N HCl uit de met KCl behandelde grond meer kalium op te lossen dan uit de onbehandelde.

Dit wijst reeds op een zekere fixatie van kalium. De bij percolatie met 10% HCl gevonden kaliumhoeveelheden tonen duidelijk aan — vooral indien de cijfers van de onbehandelde met die van de met KCl behandelde grond vergeleken worden — dat vrij grote hoeveelheden kalium gefixeerd kunnen worden. Ten slotte kan nog opgemerkt worden, dat de hoeveelheid kalium door 10% HCl opgelost uit de met KCl behandelde grond toeneemt, naarmate het contact met KCl sterker is geweest.

Op grond van de hiervoor besproken analyseresultaten en aan de hand van de uitkomsten van de totaal-analyses van de PN-grond van Ammerzoden (zie tabel 14) kan becijferd worden hoeveel kalium door deze grond langs kunstmatige weg sterk wordt gefixeerd.¹

Daaruit blijkt (zie tabel 14), dat afhankelijk van de omstandigheden waaronder de overmaat KCl (in de betreffende laboratoriumproef werd per 100 g grond ongeveer 25 g KCl toegevoegd) met de grond in aanraking was gebracht, hoeveelheden van 1500 tot ruim 6000 kg K_2O per ha (bouwvoor = 25 cm) gefixeerd kunnen worden.

Uit tabel 14 volgt tevens, dat naarmate de grond na toevoeging van KCl meermalen achtereen bevochtigd en gedroogd wordt, de gefixeerde hoeveelheid kalium toeneemt. Deze grotere fixatie van kalium is nog niet zo zeer merkbaar bij de extractie met 0,05 N, 0,1 N en 10% HCl. Zij treedt echter vooral duidelijk aan het licht, wanneer ook het totale gehalte aan K_2O van de met KCl behandelde gronden in de berekeningen wordt betrokken. Blijkbaar wordt als gevolg van het afwisselend drogen en bevochtigen een groot deel van de totaal gefixeerde kalium op een wel zeer moeilijk bereikbare plaats in de grond opgeborgen.

Ook in de praktijk is bekend, dat het kalium-fixatieverschijnsel zich in een jaar met gunstige regenval minder sterk doet gelden dan in een droog jaar.

¹ Teneinde te weten te komen hetgeen onder natuurlijke omstandigheden wordt gefixeerd, is het juister om bij de berekeningen uit te gaan van het verschil in K_2O -gehalte tussen het K_2PN - en een PN-object. Als gevolg van de grote onregelmatigheid in het proefveld te Ammerzoden moest echter worden afgezien van een bepaling van de hoeveelheid sterk gefixeerde kalium in de sinds 1928 met kalium bemeste stroken.

III. RÖNTGENOLOGISCH ONDERZOEK

Voor dit onderzoek werden allereerst de anorganische kleideeltjes (fractie $< 2 \mu$) uit de betreffende monsters geïsoleerd. Hiertoe werd de grond met H_2O_2 behandeld, waarop — ná filtratie over een membraanfilter — in Atterbergcylinders, onder toevoeging van 0,1 N NH_4OH werd afgeslibd.

Van de op deze wijze verkregen fractie $< 2 \mu$ werd van de beide proefvelden het adsorptievermogen (kationenwaarde) bepaald, waarbij achtereenvolgens met 0,5 N Na-acetaat en 0,5 N NH_4Cl werd gepercoleerd (zie hierover noot 1 tabel 10). Het resultaat van deze bepalingen is in tabel 6 vermeld.

TABEL 6. Kationenwaarde in milliaeq. per 100 g anorganische deeltjes $< 2 \mu$

Proefveld Ammerzoden						Proefveld Wehe		
Veldje 9			Veldje 12					
PN	KPN	K ₂ PN	PN	KPN	K ₂ PN	PN	KPN	K ₂ PN
49,2	48,8	46,7	48,8	48,4	46,8	45,2	45,5	45,3
Plot 9			Plot 12			Experimental field Wehe		
Experimental field Ammerzoden								

TABEL 6. Cation exchange capacity in m.e. per 100 g anorganic particles $< 2 \mu$

Uit de cijfers blijkt, dat het adsorptievermogen van de kleifraction te Ammerzoden wat hoger ligt dan dat te Wehe. De gevonden waarden zijn normaal voor de Nederlandse rivier- en zeelegronden, waarvan het adsorptievermogen uiteenloopt van ± 40 tot 49 milliaeq. per 100 g deeltjes $< 2 \mu$ (1950).

Uit de analyses blijkt verder dat het adsorptievermogen van de kleifraction te Ammerzoden lager wordt, naarmate de grond met meer kali is bemest. De verschillen in het adsorptievermogen (kationenwaarde) werden dus blijkbaar tijdens het slibben met 0,1 N NH_4OH door het geringe aantal NH_4 -ionen (welke evenals K-ionen gefixeerd kunnen worden) niet geheel genivelleerd. Dit is ook niet het geval met de NH_4 -ionen uit de 0,5 N NH_4Cl -oplossing, welke werd gebruikt bij de bepaling van de kationenwaarde. Ook bij gebruik van een geconcentreerde KCl-oplossing bleek (zie Hoofdstuk II) dat er nog verschil optreedt in de gefixeerde hoeveelheden kalium, naarmate de toegevoegde KCl langere of kortere tijd op de grond kon inwerken.

Uit het röntgenologisch onderzoek van de hierbovengenoemde fracties $< 2 \mu$ (welke werden verkregen door afslibben in tegenwoordigheid van NH_4 -ionen, waarvan bekend is, dat zij evenals het kaliumion sterk worden gefixeerd), kon de mineralogische samenstelling van de fractie $< 2 \mu$ bepaald worden (zie tabel 7).

Zoals bekend bedraagt het adsorptievermogen van illiet ± 40 , van kaolinit ± 10 à 20, van montmorilloniet ± 100 à 120 en van kwarts ± 5 milliaeq. per 100 g.¹

¹ Het adsorptievermogen van montmorilloniet wordt slechts weinig veranderd door malen etc., daar dit mineraal in de natuur steeds voorkomt in plaatjes van zeer kleine afmetingen van een bepaalde grootte ($\pm 180 \times 50 \text{ \AA}$). Dit in tegenstelling met illiet, kaolinit en kwarts, waarvan de grootte wél aan wisselingen onderhevig is.

TABEL 7. Mineralogische samenstelling fractie $< 2 \mu$ bij gebruik van 0,1 N NH_4OH als peptisator

Proefveld (<i>experimental field</i>)	Illiet	Kaoliniet	Montmorilloniet	Kwarts
Ammerzoden	± 80	± 5	± 5	± 10
Wehe	± 80	± 5	± 10	± 5

TABEL 7. Mineralogical composition of separate $< 2 \mu$ obtained with 0,1 N NH_4OH as peptisator

Wordt verder nog rekening gehouden met het feit, dat ondanks de oxydatie met H_2O_2 , niet alle organische stof (adsorptievermogen humus, lignine en wortelresten is resp. 150—200, 200—300 en 20—30 milliaeq. per 100 g) uit de fractie $< 2 \mu$ werd verwijderd, dan bestaat er overeenstemming tussen adsorptievermogen en mineralogische samenstelling.

Uit het bovenstaande blijkt wel dat aan de door afslibben met 0,1 N NH_4OH verkregen kleifracties van Ammerzoden geen bijzondere afwijkingen te zien zijn, b.v. een geheel ander kleimineraal, of een afwijkend adsorptievermogen, waarmede het hoge K-fixatievermogen van deze grond zou kunnen worden verklaard.

Daarop werden de monsters afgeslibd met 0,01 N NaOH; de overmaat loog werd door filtratie uit de kleisuspensie verwijderd. De aldus verkregen fractie fixeerde — in tegenstelling met de door afslibben met 0,1 N NH_4OH verkregen fractie — zeer sterk kalium.

Bovendien was in het röntgenbeeld van de NaOH-fractie een grote verandering opgetreden. Inplaats van de voor illiet karakteristieke 10,8 Å-reflectie in de NH_4OH -fractie verscheen hier nl. een 15,6 Å-reflectie. De verder voor illiet karakteristieke lijnen (w.o. de reflecties van de 3,03-, 2,82-Å-lijnen en de 1,68-, 1,64 Å-band) waren evenwel in het diagram van de Na-fractie nog aanwezig. Dit verschil tussen de beide — op verschillende wijzen verkregen — fracties $< 2 \mu$ in het röntgendiagram, werd behalve bij nog andere sterk kalium fixerende rivierkleigronden eveneens waargenomen bij vrij sterk kalium fixerende zeekelegronden (o.m. de grond van het voormalige proefveld te Scheemda (Pr 90) en dat te Bellingwolde (Pr 82). Door DE VRIES en HETTERSCHIJ (1945) werd reeds gewezen op het merkwaardige verschijnsel, dat óók zeekelegronden het kalium sterk kunnen fixeren. Deze vondst kan thans bevestigd worden met de door ons vermelde chemische- en röntgenologische gegevens omtrent het K-fixierend vermogen van bepaalde zeekelegronden.

Op grond van de genoemde 15,6 Å-reflectie werd aanvankelijk gedacht aan de aanwezigheid van het mineraal vermiculiet, waarvan bekend is dat het K- en NH_4 -ionen fixeert in een moeilijk uitwisselbare vorm. Wanneer de hiergenoemde ionen gefixeerd worden, gaan — zoals door BARSHAD (1948) voor vermiculiet werd aangetoond — de roosterplaten van dit mineraal naar elkaar toe, waardoor een gewoon biotietrooster wordt gevormd (zie fig. 8, nos. 1 t/m 5).

In deze toestand, waarbij de K- en NH_4 -ionen als het ware „bekneld” (gefixeerd) zijn, kunnen zij — gelijk eveneens door BARSHAD werd aangetoond — niet worden omgewisseld tegen andere ionen. De gedachte dat in de sterk kaliumfixerende kleigronden vermiculiet in grote hoeveelheden zou voorkomen, moest echter worden verlaten. Ten eerste komen in de röntgen-opname van de fractie $< 2 \mu$ van sterk kaliumfixerende kleigronden de verschillende typische illietreflecties voor (zie hier-

voren), terwijl de voor vermiculiet karakteristieke 4,64 Å en 3,60 Å-reflecties ontbreken. Verder wordt vermiculiet door sterk HCl gemakkelijk aangegrepen, terwijl de sterk kaliumfixerende kleigronden enkele uren koken met 25% HCl gemakkelijk kunnen weerstaan zonder verlies aan kaliumfixerend vermogen. Tenslotte was het niet goed verklaarbaar, waar al het vermiculiet (welk mineraal dan in de sterk kaliumfixerende kleigronden het hoofdbestanddeel van de fractie $< 2 \mu$ zou vormen) opeens vandaan zou komen temidden van afzettingen die in hun fractie $< 2 \mu$ hoofdzakelijk uit illiet bestaan.

Naar aanleiding van al deze feiten kan de conclusie worden getrokken, dat het kaliumfixatieverschijnsel in de sterk kaliumfixerende rivier- en zeekleigronden in Nederland wordt veroorzaakt door een bepaalde illietvariëteit, welke evenals vermiculiet de eigenschap heeft, dat bepaalde kationen de — zich op enige afstand van elkaar bevindende — roosterplaten kunnen samentrekken. Deze illietvariëteit onderscheidt zich echter niet alleen in het röntgenbeeld van het gewone illiet. Ook bij de thermische analyse vertoont deze pseudo-illiet verschil t.o.v. echte illiet. Het blijkt nl. dat het kaliumfixerende illiet bij thermische analyse een diepere inzinking (endotherme reactie) vertoont dan de gewone illiet (zie ARENS, (1950). Wij stellen voor dit kaliumfixerende illiet naar het proefveld Ammerzoden — waar het aan de gewassen duidelijk merkbare kalifixatieverschijnselen voor het eerst werd opgemerkt — „ammerzodiet” te noemen.

Men kan de contractie van de roosterplaten bij het insluiten van gefixeerde ionen bij vermiculiet en ammerzodiet gemakkelijk röntgenologisch vervolgen. Hiertoe worden de genoemde mineralen eerst samengebracht met verschillende zoutoplossingen; de overmaat zout wordt daarop uitgewassen, waarna van het — met een bepaald kation verzadigde — mineraal een röntgenopname wordt gemaakt (zie fig. 8, nos. 6 t/m 10).

Verder onderzoek leerde (hierover volgt een nadere publicatie), dat het al of niet samentrekken van de roosterplaten verband houdt met de valentie, de polariseerbaarheid en de diameter van het gehezigde kation, dat in contact werd gebracht met vermiculiet of „ammerzodiet”.

Alleen ionen met een grotere polariseerbaarheid (αD in Å³)¹ dan het K-ion ($\alpha D = 0,956$) zoals het Rb- ($\alpha D = 1,367$), het NH₄- ($\alpha D = 1,604$) en het Cs-ion ($\alpha D = 2,24$) blijken nl. in staat om de roosterplaten samen te trekken en worden dan gefixeerd. Derhalve wordt het Li ($\alpha D = 0,002$)-, het Na ($\alpha D = 0,210$)-, het Mg ($\alpha D = \pm 0,2$)-, het Ca ($\alpha D = 0,445$)- en het Sr ($\alpha D = 0,843$)-ion niet gefixeerd. Ook het Ba-ion ($\alpha D = 1,634$), dat op zichzelf een grotere polariseerbaarheid bezit dan het K-, NH₄- en het Rb-ion, doch dat — in tegenstelling met de laatste ionen — tweewaardig is en waarvan dus $2 \times$ zo weinig nodig is ter compensering van de negatieve ladingen in het rooster, wordt niet gefixeerd.

Worden de roosterplaten samengetrokken, dan gaat „ammerzodiet” over in een normaal — resistent — illietrooster.

Deze omzetting — van ammerzodiet tot illiet — is ook oorzaak van de verlaging van het adsorptievermogen (zie Hoofdstuk II) wanneer dit — zoals bij de bepaling van de kationenwaarde gebruikelijk is — bepaald wordt door behandeling van de grond (fractie $< 2 \mu$) met een overmaat van NH₄-ionen. Eveneens wordt door deze

¹ De hier vermelde cijfers omtrent de grootte van de polariseerbaarheid der verschillende ionen zijn ontleend aan de gegevens van BÖTTCHER (1946).

omzetting de verlaging van het adsorptievermogen veroorzaakt, welke optreedt naarmate een kaliumfixerende grond te velde meer en meer met kalium wordt verzadigd als gevolg van de telkenjare toegediende kalium-meststoffen (zie de quotiënten b en c in tabel 10, blz 45).

Tenslotte veroorzaakt het samentrekken van de roosterplaten óók, dat het K-ion voor een groot gedeelte moeilijk door sterk HCl kan worden opgelost. Naast de kalium-ionen, welke nog via breukvlakken gemakkelijk door verdund HCl (0,05 N en 0,1 N) losgemaakt kunnen worden, bevindt zich het grootste gedeelte (ca 2/3 deel) van de gefixeerde („beknelde”) ionen, na deze samentrekking, in een illietrooster. Het mineraal illiet is — zoals bekend — goed bestand tegen de inwerking van HCl, b.v. tegen een percolatie met 10% HCl gedurende 2 uren bij kamertemperatuur.

Uit het bovenstaande blijkt wel duidelijk dat de z.g. „evenwichtstheorie”, welke door CHAMINADE (1934) en DOMINGO (1944) wordt voorgestaan, slechts ten dele juist is. Hierbij wordt immers verondersteld dat er een evenwicht zou bestaan tussen het kalium-ion in het mineraal en de geabsorbeerde kalium-ionen aan de ene zijde en tussen de geadsorbeerde kalium-ionen en die in de oplossing aan de andere zijde.

De diffusietheorie van VERVELDE (1950) ter verklaring van het kaliumfixatieverschijnsel is onjuist. Daarbij wordt nl. aangenomen dat het evenwicht tussen de kalium-ionen in de micellaire ruimten van de „poreuze” mineralen en die in het bodemvocht zich bij een verbreking slechts langzaam (door diffusie) zou herstellen.

Eveneens is onjuist de wel zeer ingewikkelde (fantasierijke) theorie van HAUSER (1941) ter verklaring van de kaliumfixatie in de Nederlandse gronden. Hierbij wordt immers verondersteld dat het muscoviet¹ welke in de fractie $< 2 \mu$ voorkomt zou zijn omgeven door een sponsachtige organo-minerale hydrolysefilm, dewelke dan — mits onverstoord — K-ionen zou doornlaten ter vervanging van ledige kaliumplaatsen in het muscovietkristal. Wordt het huidje echter verstoord (o.a. door behandeling van de grond met 0,1 N HCl of met H_2O_2) dan zou de genoemde sponsachtige laag van het mineraaloppervlak in elkaar vallen en de kristalporiën van het muscovietkristal verstoren. Het gevolg hiervan zou zijn, dat het K-ion niet meer in die mate zou kunnen worden doorgelaten als voordien.

¹ Toentertijd was men nog onkundig van het feit dat de fractie $< 2 \mu$ van de Nederlandse gronden grotendeels bestaat uit het kleimineraal illiet en niet uit het mineraal muscoviet.

IV. PRACTISCHE MAATREGELEN OM DE NADELEN VAN DE KALIUM-FIXATIE VOOR DE GEWASSENPRODUCTIE TE VOORKOMEN OF TE VERMINDEREN

Het ligt voor de hand — en uit het voorgaande blijkt dit nog eens ten overvloede — dat het kaliumfixerende vermogen van de grond af zal nemen, naarmate grotere hoeveelheden kalimeststoffen worden aangewend. In de praktijk kent men nog andere middelen om de nadelen van de ongunstige kaliumvoorziening van de plant op gronden met een verstoorde kalihuishouding — althans gedeeltelijk — op te heffen. Hier van kunnen genoemd worden een diepere ontwatering, het regelmatig gebruik van organische meststoffen (stalmest), zomede het bedekken van de grond met een laag stro. De hier genoemde maatregelen leiden tot een betere lucht- en vochtvoorziening van het wortelstelsel, dat zich daardoor beter zal kunnen ontwikkelen. Door de gestimuleerde wortelgroei zal de plant een groter volume grond af kunnen tasten op zoek naar kalium. Vooral mulchen geeft — zoals algemeen bekend is ¹ — een grotere vochtigheid in de grond. De gunstige werking van stalmest zou daarnaast ook nog terug te brengen zijn op een betere voorziening van het wortelstelsel met kalium. Een gedeelte van het kalium in stalmest zal adsorptief gebonden zijn, waardoor het geleidelijk aan de wortels afgegeven zal worden. Hierdoor wordt de plant bevoordeeld t.a.v. het opnemen van kalium-ionen.

Na het toedienen van stalmest of na mulchen blijkt de hoeveelheid uitwisselbare K-ionen, de hoeveelheid in 0,1 N HCl oplosbare K-ionen en de hoeveelheid in Morgan's extractievloeistof oplosbare K-ionen in de grond, enigszins te zijn toegenomen; vooral na mulchen is zulks het geval ².

Door deze handelingen verminderde het kaliumfixerend vermogen van de grond volgens de hier gevolgde „droge” methodiek echter niet merkbaar. Dank zij mulchen daalde enkel de „natte” fixatie van de grond. Een en ander blijkt duidelijk uit de gegevens in tabel 15.

Alleen door algehele verzadiging van het fixerend mineraal met kalium-ionen kan het fixatievermogen opgeheven worden. Hiermee zullen evenwel enorme hoeveelheden kaliummeststoffen gemoeid zijn.

De op de met kalium bemeste objecten van het proefveld Ammerzoden opgedane ervaringen zijn echter zodanig, dat het onnodig is, dat het kaliumfixerende vermogen van een grond eerst geheel tenietgedaan moet worden, voordat goede aardappelopbrengsten kunnen worden verkregen. Immers, omstreeks 1938 en 1939 werden te Ammerzoden reeds goede aardappelopbrengsten verkregen op de K₂PN veldjes. Het K₂PN-cijfer bedroeg toentertijd op genoemde veldjes ongeveer 15 à 16 en de pH 7,0 à 7,1. De kaliumfixatie was in deze jaren echter nog lang niet geheel opgeheven. Integendeel, na 23 jaren met ca 300 kg K₂O per ha (per jaar) bemest te zijn, bedroeg de kaliumfixatie in 1950 nog 27%, bepaald volgens de „natte” methode en 68% bepaald volgens de „droge” methode. In de onbemeste veldjes bedroeg in dat jaar de kaliumfixatie resp. 60% en 85%. De pH was voor beide objecten praktisch gelijk, nl. 7,3.

¹ Zie hierover in het bijzonder het onderzoek van TURK (1947), VERMA (1951) en voor wat Nederland betreft van BUTIJN (1950).

² 10 ton stalmest bevat ± 50 kg K₂O en 40 ton mulch ± 250 kg K₂O.

Naast de kaliumfixatie, zal de in de grond bestaande $(Ca + Mg) : K$ verhouding een rol spelen — en ons inziens zelfs de grootste rol — bij het, na kaliumbemesting, al dan niet bereiken van een verbeterde kaliumvoorziening van het aardappelgewas.

Bezit de grond nl. een grote hoeveelheid Ca- en/of Mg-ionen in geadsorbeerde toestand (en dit is het geval te Ammerzoden en bij vele andere zware rivierkleigronden in Bommelerwaard, Langstraat, Land van Altena en Biesbosch), dan zou het onmiddellijke effect van zeer grote kaligiften weleens ontoereikend kunnen zijn. Dit ondanks het feit, dat het kaliumfixerend vermogen van de grond in belangrijke mate werd teniet gedaan. In dit stadium van onderzoek is het nog niet mogelijk de invloed op de kaliumhuishouding van rivierkleigronden van elk der door ons besproken factoren — *kaliumfixatie, $(Ca + Mg) : K$ verhouding* en een op de een of andere wijze bepaald *kalitoestandcijfer* — quantitatief te omschrijven.

Of de verbetering van de K-toestand van deze gronden moet geschieden met telken jare herhaalde ruime kaliumbemestingen (ca 300 kg K_2O per ha) of met enkele zeer hoge kaligiften moet nader worden onderzocht.

Ten aanzien van de aanwending van kalimeststoffen kan nog het volgende worden opgemerkt. Het breedwerpig strooien verhoogt — vooral wanneer dit vroegtijdig geschiedt — de kans op fixatie in sterke mate. Sedert enkele jaren worden door verschillende onderzoekers (o.a. L. J. P. KUPERS, Rijkslandbouwconsulent te Zevenbergen en J. PRUMMEL, Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. te Groningen) proeven genomen, om na te gaan of *rijenbemesting met kalimeststoffen*, onder verschillende praktische omstandigheden, zal kunnen leiden tot een betere (en meer economische) kaliumvoorziening van de gewassen op K-fixerende gronden. Op theoretische gronden mag men dit nl. verwachten, zoals door VAN WIJK en DE WIT (1951) opgemerkt wordt.

Uit de in de vorige hoofdstukken vermelde resultaten komt wel duidelijk naar voren, dat, wanneer in gronden de kaliumhuishouding verstoord wordt door een ongunstige $Ca : K$ en $(Ca + Mg) : K$ verhouding, voorzichtigheid met bekalking geboden is. FERRARI komt op basis van zijn resultaten tot een bekalkingsadvieschema voor de vruchtopvolging in de Bommelerwaard en acht het 't meest voordelig om bij lage en middelmatig hoge kalitoestanden met bekalking niet verder te gaan dan tot een pH van resp. 6,6 en 6,9. Wij achten het in verband met de invloed van het $Mg : K$ antagonisme tevens van belang aandacht te schenken aan een eventueel nadeel van toediening van magnesiumhoudende meststoffen (o.a. patentkali).

FERRARI wijst ook op de betekenis van de gewassenkeuze op kaliumfixerende gronden. Door aardappelen alleen op kaliumrijke percelen te verbouwen zou men volgens hem al veel winnen. Wij wijzen in dit verband nog op gegevens in de recente literatuur, welke bij de keuze van de gewassen voor gronden met een op enigerlei wijze verstoorde kaliumhuishouding van belang zijn. De minst gevoelige gewassen moeten gezocht worden in de groep van de monocotylen. Volgens DRAKE c.s. (1951) zouden de eenzaadlobbigen (grassen, granen etc.), in verband met het lagere adsorptievermogen van hun wortelsubstantie bij voorkeur eenwaardige kationen (w.o. kalium) opnemen. De dicotyle gewassen (klaver, bruine bonen, aardappelen etc.) vertonen daarentegen, in verband met hun hoger adsorptievermogen, een voorkeur voor het opnemen van tweewaardige kationen (Ca, Mg etc.) en zullen derhalve kalium moeilijker tot zich nemen. Op gronden met een slechte K-huishouding, welke o.a. gekenmerkt zijn door het voorkomen van grote hoeveelheden Ca en/of Mg, zullen

deze tweezaadlobbige gewassen het dus moeilijker hebben dan de eenzaadlobbigen, voor zover het de kaliumvoeding betreft.

Dit komt ook in ons onderzoek wel zeer duidelijk tot uiting in het verschillende gedrag van haver en rode klaver op het proefveld Ammerzoden. Haver neemt bij voorkeur éénwaardige kationen op—rode klaver bij voorkeur tweewaardige (adsorptievermogen wortelstelsel haver zéér laag — adsorptievermogen rode klaver zeer hóóg). In dit licht bezien zou het verbouwen van haver (of een ander graan) als groenbemestingsgewas in b.v. boomgaarden op gronden met een verstoorde K-huishouding, de voorkeur verdienen boven het gebruik van rode klaver voor dit doel. Haver bleek te Ammerzoden gemakkelijk K uit de grond op te kunnen nemen. Wordt het gewas groen gemaaid en daarna ondergeploegd, dan komt aldus een gedeelte van de, voor andere gewassen moeilijk opneembare kalium in omloop en wel aan organisch materiaal adsorptief gebonden. De goede werking van stalmest op gronden met een verstoorde kalihuishouding wekt de gedachte, of wellicht ook andere organische stoffen, zoals turfmolm, veen, strocompost als intermediair adsorbens bij de kaliumvoorziening op speciaal dit soort gronden met voordeel zouden kunnen worden gebezigd. Nader onderzoek zal dit moeten leren.

SAMENVATTING

De resultaten van de langjarige kaliumproefvelden van de N.V. Vereenigde Kalimaatschappij te Ammerzoden (sedert 1928) en te Wehe (sedert 1931) werden onderzocht. Beide velden waren gelegen op kalium-arme gronden, doch de rivierkleigrond (Ammerzoden) bleek in sterkere mate kalium te fixeren dan de mariene zavelgrond (Wehe). Verder bevatte de rivierkleigrond méér Ca + Mg t.o.v. K dan de mariene zavelgrond.

Rode klaver bleek het meest gevoelig te zijn voor een verstoorde kaliumhouding in de grond. Ook aardappelen en bruine bonen reageerden daarop sterk. Suikerbieten waren niet zo gevoelig en haver was het minst gevoelig. Het laatste gewas kon op een sterk kaliumfixerende kleigrond zijn behoefte aan K nog grotendeels dekken uit de minder toegankelijke kalium in de grond (gefixeerde kalium en kalium uit mineralen).

Door regelmatig gebruik van ruime kalibemestingen bleek het mogelijk de sterke K-fixatie op het proefveld Ammerzoden af te remmen. Hiermede ging een hoger rendement van de toegediende kalimeststof bij aardappelen en bruine bonen gepaard. Suikerbieten reageerden reeds dadelijk op de toegediende kalibemesting.

Het grote verschil tussen beide proefvelden met betrekking tot de reactie van aardappelen op de toegediende kalibemesting was opvallend. Een kalibemesting gaf te Ammerzoden in de beginne slechts een zeer geringe opbrengststijging, zodat het niveau van het K_2PN object niet hoger kwam dan ca 250 Q/ha tegen ca 200 Q/ha voor het onbemeste object. Wehe daarentegen reageerde spoedig op de gegeven kalibemesting, zodat hier reeds na enkele jaren een opbrengst werd bereikt van ca 350 Q/ha tegen ca 120 Q/ha voor onbemest. Wij hebben sterk de indruk gekregen, dat de geringere reactie op de kaliumbemesting te Ammerzoden niet werd veroorzaakt door de kaliumfixatie alleen. Uit de resultaten van nog 3 andere proefvelden in de Bommelerwaard bleek nl. dat aardappelen gevoelig waren voor het calcium-kalium- en mogelijk nog gevoeliger voor het magnesium-kalium-antagonisme. Vele van de sterk kaliumfixerende en kalium-arme rivierkleigronden bevatten grote hoeveelheden calcium en magnesium ten opzichte van kalium, zowel in relatieve als absolute zin. Dit kwam vooral tot uiting bij éénmalige extractie van de grond met een bufferoplossing met pH 4,8 (extractievloeistof volgens MORGAN). Zo bedroeg de (Ca + Mg) : K verhouding (in m.e.) in de grond van de niet met kalium bemeste veldjes van de proefvelden te Ammerzoden en Kerkwijk resp. 1002 en 1057 bij een totale hoeveelheid Ca + Mg (in p.p.m. extractievloeistof) van resp. 1547 en 1575 naast kaliumhoeveelheden van resp. 3,0 en 3,2 (in p.p.m. extractie-vloeistof).

Op het laatste proefveld werd met 400 kg K_2O per ha een aardappelopbrengst (knollen) verkregen van slechts 220 Q/ha bij het wel zeer geringe K_2O gehalte in het aardappelooft van ongeveer 2% (normaal = ca 5%). In een zware rivierkleigrond (komgrond) werd zelfs een (Ca + Mg) : K verhouding gevonden van ca 3400 met daarbij 1942 p.p.m. Ca + Mg t.o.v. 1 p.p.m. K.

Dit soort gronden, welke gewoonlijk een zeer hoge kaliumfixatie bezitten (ca 70% bepaald volgens de „natte” fixatiemethode en ca 80% volgens de „droge” fixatiemethode) zijn derhalve wel zeer ongeschikt voor de verbouw van aardappelen. Aardappelen kunnen hier mogelijk wél met succes verbouwd worden wanneer, door de aanwending van grote hoeveelheden kalimeststoffen, de verstoorde kaliumhuis-

houding in de grond verbeterd is. Dit blijkt duidelijk uit de op de K_2PN strook van het proefveld Ammerzoden uiteindelijk verkregen aardappelopbrengsten, waar na 8 jaarlijkse bemestingen van ca 400 kg K_2O per ha goede opbrengsten werden verkregen. Verder hadden de K_2PN percelen hier na 23 jaar een $(Ca + Mg) : K$ verhouding (in m.e.) van gemiddeld 187 bij een gehalte van $Ca + Mg$ en K van resp. 1293 en 14 p.p.m. Bij het opmaken van de kaliumbalans van Ammerzoden bleek, dat in de loop van 16 jaren op de KPN- en K_2PN -strook resp. 57 en 59% van de toegediende kalimeststof niet door het gewas werd opgenomen. Dit waren hoeveelheden van respect. circa 1400 en 3000 kg K_2O per ha.

Verder bleek de grond van het K_2PN perceel, na 23 jaar met kalium bemest te zijn, nog 68% te fixeren van de toegediende KCl , wanneer de K -fixatie bepaald werd volgens de „droge” methode en 27% wanneer de fixatie bepaald werd volgens de „natte” methode.

Bij langdurige en intensieve behandeling van de grond, afkomstig van het niet met kalium bemeste object, met een zeer geconcentreerde KCl -oplossing (afwisselend bevochtigen en drogen bij ca $100^\circ C$) blijkt er een fixatie op te treden welke overeenkomt met ongeveer 6000 kg K_2O per ha, gerekend op een bouwvoor van 25 cm.

Voor Wehe werd bij de kaliumbalans voor het KPN en het K_2PN object gevonden, dat van het met de bemesting toegediende kalium respect. 23 en 21%, overeenkomend met ongeveer 300 en 550 kg K_2O per ha in de loop van 12 jaren niet door de gewassen werd opgenomen.

Rode klaver is een gewas dat als gevolg van het hoge adsorptievermogen van zijn wortelsubstantie bij voorkeur 2-waardige kationen opneemt. Het gevolg hiervan is, dat bij de verbouw van dit gewas op de K -arme, doch Ca - en Mg -rijke grond te Ammerzoden, ondanks de hoge K -bemesting veelal nog een misgewas werd verkregen.

Het K -fixatieverschijnsel wordt teweegebracht door een mineraal in de kleifractie $< 2 \mu$, hetwelk zich enkel van het kleimineraal illiet onderscheidt door de aanwezigheid van roosterplaten, welke beweeglijk zijn. Wij stellen voor deze, tot nu toe in de literatuur nog niet gesignaleerde illietvariëteit „ammerzodiet” te noemen, naar het proefveld te Ammerzoden, waar de nadelige gevolgen van het kaliumfixatieverschijnsel voor het eerst werden opgemerkt.

Ionen met een grotere polariseerbaarheid (αD in \AA^3) dan K , zoals het Rb , NH_4 - en het Cs -ion kunnen de roosterplaten van het ammerzodiet samentrekken. Dit is niet het geval met het Li -, Na -, Mg -, Ca - en het Sr -ion, welke alle een kleinere polariseerbaarheid dan het K -ion bezitten.

Ook het Ba -ion, dat op zichzelf een grotere polariseerbaarheid bezit dan het K -, NH_4 - en Rb -ion, doch dat in tegenstelling met de vorige ionen tweewaardig is en waarvan dus maar 2 maal zo weinig nodig is ter compensering van de negatieve ladingen in het rooster, kan de roosterplaten niet samentrekken.

Als gevolg van deze contractie raken de betreffende ionen als het ware „bekneld” d.i. gefixeerd. Ze kunnen dan nl. niet omgewisseld worden tegen andere ionen, zoals wél het geval is bij ionen die enkel aan het adsorptiecomplex van de grond zijn gebonden.

Na de contractie is uit het ammerzodietrooster een gewoon illietrooster gevormd, hetwelk — zoals bekend — resistent is.

Bovenstaande resultaten zijn in overeenstemming met hetgeen werd gevonden bij achtereenvolgende percolatie van de grond met HCl. Circa 2/3 deel van het gefixeerde kalium is zeer ontoegankelijk, omdat dit deel na contractie van het „ammezodiet” zich tussen de roosterplaten bekneld bevindt. Dit gedeelte is dan ook zeer moeilijk oplosbaar in het bij de extractie gebezigde 10%-ige HCl.

Uit het onderzoek bleek nog, dat het kaliumfixerende vermogen van een grond volgens de gebezigde droge fixatiemethode niet veel verminderde na het geven van stalmest of het aanbrengen van een mulchlaag (van stro). Men ziet enkel de hoeveelheid uitwisselbaar kalium, de hoeveelheid kalium oplosbaar in 0,1 N HCl en de hoeveelheid kalium oplosbaar in Morgan's extractievloeistof (Na-acetaat azijnzuur van pH 4,8) toenemen.

Dat met deze middelen op rivierkleigronden met een sterk verstoorde kaliumhuishouding goede resultaten worden verkregen, kan als gevolg van verbetering van andere groeifactoren (structuur, waterhuishouding, met een daarmee gepaard gaande gunstiger wortelontwikkeling) worden gezien. Verder speelt de aangewende organische stof een rol, doordat deze het aan de grond toegediende kalium in een gemakkelijk voor de plant beschikbare vorm vasthoudt, waardoor het niet spoedig naar de ondergrond uitspoelt.

Tenslotte worden in Hoofdstuk IV nog enkele punten besproken, volgens welke men de ongunstige invloed van een verstoorde kaliumhuishouding zou kunnen beteugelen, w.o. het verbouwen van haver als groenbemestingsgewas in boomgaarden op gronden die kalium fixeren.

SUMMARY

POTASSIUM FIXATION AND DISTURBED POTASSIUM CONDITION

Two long-term experimental fields were used to investigate the K-fixation. The first field (Ammerzoden) was laid out in 1928 on a river clay soil (Meuse) with a strong potassium fixing power and high amounts of Ca + Mg in regard to amount of K (according to MORGAN analysis); the second (Wehe) was laid out in 1931 on a marine loam with a very slight potassium fixing power and less Ca + Mg in regard to amount of K (see table 4). Both soils were very poor in potassium available to plants. Several crops (see figs. 1, 2, 3 and 4) were grown on a normal system of rotation over periods of 23 (Ammerzoden) and 12 (Wehe) years.

On the field of Wehe optimum yields of potatoes were obtained on the plots, dressed with potassium fertilizers from the outset. The yields vary from year to year, depending on seasonal variations; especially evident was the influence of rainfall, as was recently proved by DE FERRIERE.

On the field of Ammerzoden, however, optimum yields of potatoes could only be obtained after 8 years of cultivation, when the potassium supplying power of the soil had increased in consequence of heavy dressings with potash fertilizers. Red clover proved to be even more sensitive to potassium availability in the soil than potatoes. Sugarbeets were less sensitive to the low potassium status of the soil at Ammerzoden and Wehe. Oats were the least sensitive crop with regard to the small quantities of potassium available in the soil of Ammerzoden (table 1). Potatoes turned out to be very sensitive, not only to the potassium availability of this soil but also to the calcium: potassium and magnesium: potassium antagonisms existing in the soil. (see table 5). This was proved by ash analyses of potato leaves (see figs. 5, 6 and table 9).

In spite of heavy dressings with potash fertilizers low yields of potatoes were obtained while the potassium content of the potato leaves also remained low on the experimental field at Kerkwijk (pH 5.6). This was caused not only by the high potassium fixing power (55% and 70% after „wet” and „dry” method of analysis, respectively) but also — and probably essential — by the high (Ca + Mg) : K and Mg : K ratios (in m.e.) as found in the soil extract with Morgan's solution (1057 and 195 respectively). See table 11 and fig. 7.

For, it turned out that high yields of potatoes could be obtained on soils with high potassium fixing powers (see experimental fields Ophemert — pH 5.6 — and K₂PN-parcels of field Ammerzoden — pH 7.2 —) if the (Ca + Mg) : K ratio was low (224 and 187 respectively). From a „potassium-balance” (in which were compared the quantities of potassium added in potash fertilizers with those removed from the soil by crops and drainage water), it appeared (see tables 8 and 2) that at Ammerzoden on the 1 K and 2 K plots about 1400 and 2900 kgs K₂O per hectare were not assimilated by the crops over a period of 16 years. This corresponds with 57% and 59% of the amount of potassium applied. By intensive treatment of the soil from the plot never dressed with potassium (alternatively wetted and dried with a concentrated solution of KCl) it was found that about 6000 kgs K₂O per ha were fixed, calculated to a depth of the soil sample of 25 cm (see table 14).

The soil at Wehe had only a very slight capacity to fix potassium. Here about 300 kgs and 550 kgs K₂O/ha were not assimilated by the crops over a period of 12 years on the 1 K and 2 K plots, respectively. This corresponds with 23 and 21% of the amount of potassium applied (see table 8).

By X-ray investigation it was proved that in the soil of Ammerzoden potassium was fixed by a clay mineral present in the separate $< 2 \mu$ of the same constitution as illite, but having lattices that are able to contract when ions with high polarizabilities (such as K, Rb, NH₄ and Cs) penetrate into the lattices. Na, Mg, Ca and Sr-ions having a lower polarizability, are unable to contract the lattices. This is the reason that the latter ions are not fixed in contrast with the former, see fig. 8. In consequence of the contraction of the lattices the adsorption capacity of this new mineral is reduced to that of common illite (see quotients a, b and c of table 10 and tables 6 and 7). For this potassium fixing mineral the name „ammerzodite” is suggested.

The potassium, fixed by „ammerzodite” could be removed partly by 0.05 N HCl and partly by 0.1 N HCl (tables 12 and 13). This part of the fixed potassium, which can easily be removed, is found in cracks of the crystals. The remaining part (about 2/3 of the total fixed potassium) is so tightly bound, that it could not even be removed by 10% HCl at room temperature. This part of the fixed potassium occurs in the inner part of the crystals of illite, which were formed after contraction of the lattices of „ammerzodite”. It is a well-known fact that illite is resistant to the attack of concentrated HCl.

It was proved that the potassium fixation power of a soil is not significantly lowered after

application with farmyard manure or after mulching with straw, according to the „dry” potassium fixation method used in our investigations (see table 15). However, the amounts of exchangeable potassium and of potassium dissolved by 0.1 N HCl and by Morgan's extracting solution, have augmented.

The beneficial effect of farmyard manure and mulching with straw is caused mainly by improvement of structure (better development of roots and water holding capacity). Furthermore this beneficial effect must be ascribed to the adsorption of potassium by organic compounds in farmyard manure and straw-mulch. This adsorption prevents potassium to be leached to the subsoil.

In order to avoid the bad effect of a disturbed supply of potassium of the soil to very sensitive crops, such as potatoes and beans, which have a high cation exchange capacity of their root-substances, the use of potassium fertilizers mixed with an adsorbens (e.g. peat with a high adsorption capacity) is suggested. Moreover the use of oats as a green manuring crop in fruit orchards situated on potassium fixing soils may be tried. This crop has a high extracting power for potassium (low cation-exchange capacity of the root substances). Thus it would be possible to mobilize the potassium of the soil which is rather firmly bound by the minerals.

TOELICHTING bij fig. 8

Uit de photo's 1 t/m 5 blijkt (naar meting en berekening) dat de basisreflectie (1ste ring) van vermiculiet (Ca-vermiculiet = 13,5 Å, Mg vermiculiet = 15,6 Å) door behandeling met een kalium- of ammoniumzout van ongeveer dezelfde grootte is geworden (K-vermiculiet = 10,9 Å en NH₄-vermiculiet = 11,2 Å) als die van de basisreflectie van biotiet (10,9 Å). De afstand tussen de roosterplaten is derhalve als gevolg van bovengenoemde behandeling kleiner geworden. De overige reflecties van Ca-, Mg-, K- en NH₄-vermiculiet zijn gelijk aan die van biotiet.

Verder blijkt uit de photo's 6 t/m 10 dat de basisreflectie (1ste ring) van de fractie $< 2\mu$ (Ca fractie $< 2\mu = 15,6$ Å en Mg fractie $< 2\mu = 15,6$ Å) uit het niet met kalium bemeste object van het proefveld Ammerzoden door behandeling met een kalium of ammoniumzout (K-fractie $< 2\mu = 10,8$ Å en NH₄ fractie $< 2\mu = 10,8$ Å) van dezelfde grootte zijn geworden als die van de basisreflectie van illiet (10,8 Å). De afstand tussen de roosterplaten is derhalve als gevolg van bovengenoemde behandeling ook hier kleiner geworden.

De overige reflecties van de Ca-, Mg-, K-, en NH₄-fractie $< 2\mu$ van Ammerzoden zijn, met uitzondering van enkele reflecties afkomstig van een lichte bijmenging van andere mineralen, gelijk aan die van illiet. In dit geval wordt de lichte 7,5 Å en 1,54 Å reflectie in de fractie $< 2\mu$ van Ammerzoden veroorzaakt door de op zichzelf zeer intensieve (karakteristieke) reflectie van resp. kaoliniet en kwarts. De zeer intensieve 17,9—23,1 Å reflectieband van montmorilloniet (na behandeling van de preparaten met glycerine) was dermate zwak, dat ze enkel zichtbaar was op het negatief van de fractie $< 2\mu$ van Ammerzoden.

EXPLANATION (see fig. 8)

From the photos 1, 2, 3, 4 and 5 it may be concluded (after measurement and calculation) that the basal reflection (first ring) of vermiculite (Ca-vermiculite = 13.5 Å, Mg-vermiculite = 15.6 Å) has enlarged to about that of biotite (10.9 Å) if the sample is treated with a salt of potassium or ammonium (K-vermiculite = 10.9 Å and NH₄-vermiculite = 11.2 Å). The distance between the layers has thus diminished. The other reflections of Ca-, Mg-, K- and NH₄-vermiculite are equal to those of biotite.

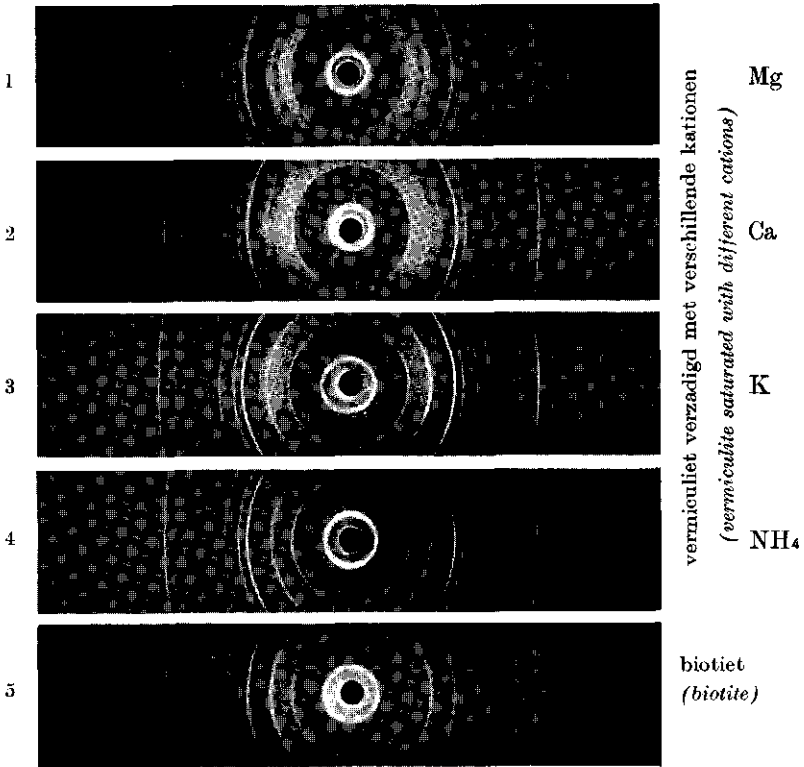
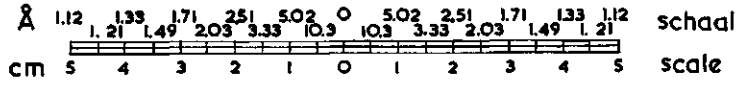
From the photos 6, 7, 8, 9 and 10 it may further be concluded that the basal reflection (first ring) of the separate $< 2\mu$ from the object not treated with potassium of Ammerzoden (Ca separate $< 2\mu = 15.6$ Å and Mg separate $< 2\mu = 15.6$ Å) has enlarged to that of illite (10.8 Å) if the sample is treated with a salt of potassium or ammonium (K-separate $< 2\mu = 10.8$ Å) and NH₄-separate $< 2\mu = 10.8$ Å). The distance between the layers thus has diminished also in this case.

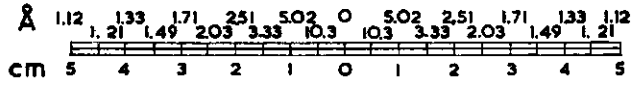
The other reflections of the Ca-, Mg-, K- and NH₄-separate $< 2\mu$ of Ammerzoden are (with the exception of some reflections originating from a weak defilement with other minerals) the same as those of illite. Thus the faint 7.5 Å and 1.54 Å reflection in the separate $< 2\mu$ of Ammerzoden are caused by some kaolinite and quartz respectively.

The very intensive (characteristic) 17.9—23.1 Å reflectionband of montmorilloniet (after pre-treatment of the sample with glycerol) was so faint that it could only be observed in the negative of the separate $< 2\mu$ of Ammerzoden.

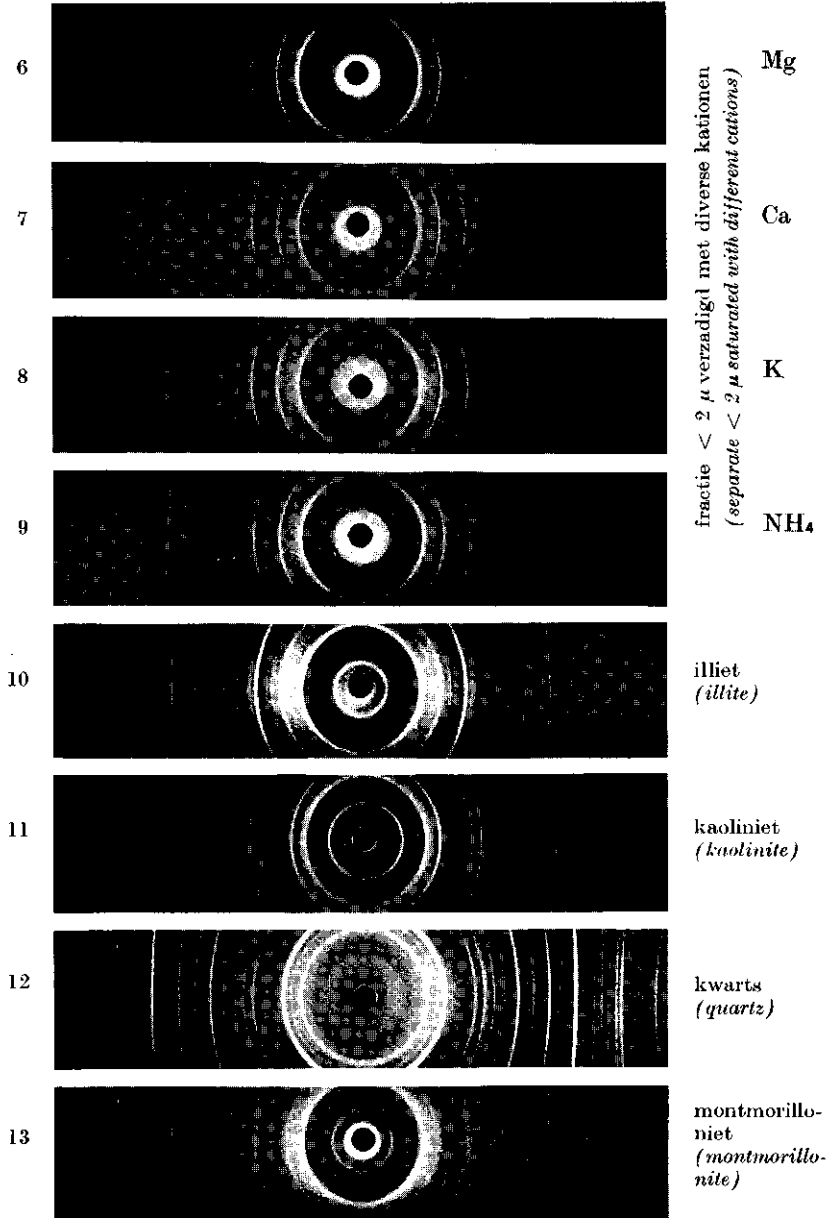
FIG. 8. Röntgenopname van vermiculiet en de fractie $< 2 \mu$ uit het niet met K bemeste object van het proefveld Ammerzoden na verzadiging met diverse kationen. Verder van biotiet, illiet, kwarts, kaoliniet en montmorilloniet.

FIG. 8. X ray diffraction pattern of vermiculite and the $< 2 \mu$ separate of the plot not treated with K-manure from experimental field Ammerzoden after saturation with different cations. Furthermore of biotite, illite, quartz, kaolinite and montmorillonite.





schaal
 scale



fractie \vee 2 μ verzadigd met diverse kationen
 (separate \vee 2 μ saturated with different cations)

LITERATUUR

- ARENS, P. L. 1951 A study on the differential thermal analysis of clays and clay minerals. Proefschrift Wageningen.
- BARSHAD, J. 1948 Vermiculite and its relation to biotite as revealed by base-exchange reactions, X-ray analysis, differential thermal curves and water content. *Am. Mineral.* **33**, 655—678.
- 1950 The effect of the interlayer cation on the expansion of the mica type of crystal lattices. *Am. Mineral.* **35**, 225—238.
- BÖTTCHER, C. J. F. 1946 Computation of the radius and the polarizability of a number of ions. *Rec. d. Trav. Chim. Pays Bas.* **65**, 19—38.
- BROWN, D. D. 1928 The effect of different proportions of calcium nitrate and potassium di-hydrogen phosphate on the growth of wheat in sand cultures. *Soil Sci.* **26**, 441—446.
- BUTIJN, J. 1950 Magnesium en kaliumgebrek in de fruitteelt. *Med. Dir. Tuinbouw* **13**, 813—816.
- 1950 Bodembedekkers sparen vocht. *De Fruitteelt* **40**, 24—26.
- CHAMINADE, R. 1934 Etude des équilibres entre le complexe absorbant et les solutions des sols. *Ann. Agron.* **6**, 781—792.
- DOMINGO, W. R. 1944 Over de vastlegging (fixatie) van kali in de grond. *Landbouwk. T.* **56**, 151—164.
- DRAKE, M., J. VENGRIS and WM. G. COLBY 1951 Cation-exchange capacity of plant roots. *Soil Sci.* **72**, 139—147.
- EHRENBERG, P. 1919 Das Kalk-Kali Gesetz. *Landw. Jahrb.* **54**, 1—159.
- FERRARI, TH. J. 1950 Onderzoek betreffende kali- en fosfaatbemesting op de stroomgronden van de Bommelerwaard. *Maandbl. Landbouvoorlichtingsd.* **7**, 22—28.
- 1952 Een onderzoek over de stroomruggronden van de Bommelerwaard met als proefgewas de aardappel. Proefschrift Wageningen.
- FERRIÈRE, P. J. J. FR. DE 1951 Deux champs centraux d'essais d'engrais potassiques aux Pays Bas. Publ. de la Soc. Comm. des Potasses d'Alsace.
- GARNER, W. W., J. E. MC. MURTREY, C. W. BACON and E. C. MOSS 1923 Sand drown a chlorosis of tobacco due to magnesium deficiency and the relation of sulphates and chlorides of potassium to the disease. *J. Agr. Research* **23**, 27—40.
- HAUSER, G. F. 1941 Die nichtaustauschbare Festlegung des Kalis im Boden. Proefschrift Wageningen.
- HOAGLAND, D. R. and J. C. MARTIN 1933 Absorption of potassium by plants in relation to replaceable, non replaceable and soil solution potassium. *Soil Sci.* **36**, 1—33.
- HOEKSEMA, K. J. 1950 Over de invloed van het bodemgebruik op de bemestings-toestand van de landerijen in de Bommelerwaard. *Landbouwk. T.* **62**, 276—281.
- ITALLIE, TH. B. VAN 1935 Magnesiumgebrek bij granen. Korte Meded. Rijkslandb. Proefst. Groningen No. 42.
- 1936 Hooghalense ziekte en de samenstelling van graanplanten. *Landbouwk. T.* **48**, 125—142.

- ITALIE, TH. B. VAN Magnesium Mangel und Ionenverhältnisse in Getreidepflanzen. *Bodenk. u. Pflanzenernähr.* 5, 303—334.
- KIDSON, ELSON B., H.O. 1940 Magnesium deficiency of apples in the Nelson district of New Zealand. *J. Pomology Hort. Sci.* 18, 119—134.
- ASKEW and E. CHITTENDEN
- KNOBLAUCH, H. L. and 1934 A magnesium deficiency induced by previous fertilizer treatments. *J. Am. Soc. Agron.* 26, 609—615.
- T. E. ODLAND
- LAGATU, H. et L. MAUME 1924 Etude par l'analyse périodique des feuilles de l'influence des engrais de chaux, de magnésie et de potasse sur la vigne. *Compt. Rend. d. Sci. de l'Acad. d. Sci.* 179, 932—934.
- LOEHWING, W. F. 1928 Calcium, potassium and iron-balances in certain crop plants in relations to their metabolism. *Plant Physiol.* 3, 261—274.
- MAREL, H. W. VAN DER 1950 The mineralogical composition of the clay ($< 2\mu$) separate of the Dutch soils and their cationic exchange capacity. 4th Int. Congr. Soil Sci, Amsterdam. II, 92—94.
- 1950 Identification of minerals in soil clay by X-ray diffraction patterns. *Soil Sci.* 70, 109—136.
- MULDER, D. 1950 Magnesium deficiency in fruit trees on sandy soils and clay soils in Holland. *Plant and Soil.* 2, 145—157.
- STANFORD, G., J. B. KELLY 1942 Cationic balance in corn grown on highlime soils in relation to and W. H. PIERRE potassium deficiency. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 6 (1941), 335—341.
- STUIVENBERG, J. H. M. 1951 De bemesting van rivierkleigronden. *De Fruitteelt* 41, 830—832.
- VAN
- en A. POWWER 1952 Enkele gedachten over voedingsevenwichten van vruchtbomen. *Med. Dir. Tuinbouw* 15, 80—89.
- TEMME, J. 1950 Enkele resultaten van twee bemestingsproefvelden. *Landbouwk. T.* 62, 362—368.
- TURK, L. M. and N. L. 1947 Effect of various mulching materials in orchard soils. *Soil Sci.* 64, 111—125.
- PARTRIDGE
- VAGELER, P. und F. 1933 Untersuchungen über den Landwirtschaftlichen Wert der wichtigsten Bodenarten Hollands. *Ztschr. Pflanzenern. D. u. Bodenk. A.* 28, 65—116.
- ALTEN
- VERMA, A. B. S. and 1951 Effects of organic mulches on soil conditions and soybean yields. *Soil Sci.* 68, 149—156.
- HELMUT KOHNKE
- VERVELDE, G. J. 1950 Ion adsorption by soil-minerals as a Donnan-equilibrium. *Proc. Kon. Ned. Akad. Wetensch.* 53, 919—930.
- VRIES, A. DE en C. W. G. 1945 Onderzoekingen over de methodiek bij kalibepalingen in grond. *Verl. Landbouwk. Onderz.* 50 (4) A, 139—191.
- HETTERSCHIJ
- WALSH, THOMAS and THOMAS F. O'DONOHUE 1945 Magnesium deficiency in some crop plants in relation to the level of potassium nutrition. *J. Agr. Sci.* 35, 254—263.
- WIJK, W. R. VAN en C. 1951 Een natuurkundige theorie over de wijze van meststof toedienen. *Landbouwk. T.* 63, 764—775.
- T. DE WIT

TABEL 8. Niet door het gewas opgenomen kalium in % van kalium toegediend bij de bemesting op de proefvelden Ammerzoden en Wehe¹

Omschrijving	In de totale periode			Gemiddeld per jaar		
	PN	KPN	K ₂ PN	PN	KPN	K ₂ PN
PROEFVELD AMMERZODEN (periode 1928/1943) - <i>experimental field Ammerzoden (period 1928/1943)</i>						
K ₂ O onttrokken door de gewassen in kg per ha berekend uit de opbrengsten (a) (K ₂ O removed by crops in kg per ha)	1 304 (952)	2 061 (1 669)	2 359 (2 123)	81 (59)	129 (104)	147 (133)
K ₂ O verloren door uitspoeling in kg per ha volgens schatting (b) (K ₂ O in drainwater in kg per ha, as estimated)	sporen	320	800	sporen	20	50
K ₂ O in gewas + uitspoeling in kg per ha (a + b) (K ₂ O in crop and drainwater)	1 304 (952)	2 381 (1 989)	3 159 (2 923)	81 (59)	149 (124)	197 (183)
K ₂ O in gewas + uitspoeling in kg per ha als gevolg van K-bemesting . . . (c) (K ₂ O in crop and drainwater in kg per ha from K-manuring)		1 077 (1 037)	1 855 (1 971)		67 (65)	116 (123)
K ₂ O toegediend in bemesting in kg per ha (d) (K ₂ O in manure in kg per ha)		2 439	4 877		152	305
Niet opgenomen en geadsorbeerd kalium als K ₂ O in kg per ha (d-c) (not assimilated and adsorbed K as K ₂ O in kg per ha)		1 363 (1 403)	3 022 (2 906)		85 (87)	189 (182)
Niet opgenomen en geadsorbeerd kalium als K ₂ O in % $\frac{(d-c)}{d} \times 100$ (not assimilated and adsorbed K ₂ O in % of K ₂ O added in manure)		56 (57)	62 (59)			

¹ Bij de berekening van de hoeveelheid K₂O, welke door de diverse gewassen werd onttrokken, is aangenomen dat het K₂O-gehalte van het betreffende gewas normaal was en verder bij elk gewas voor de verschillende objecten (PN, KPN, K₂PN) gelijk. De cijfers welke tussen haakjes zijn geplaatst, geven aan hetgeen onttrokken werd, gefixeerd etc., indien de hoeveelheid K₂O welke door de diverse gewassen werd onttrokken, werd berekend door de hierbovengenoemde waarden terug te brengen op de in tabel 2 gevonden verhouding van 73 : 81 : 90 voor Ammerzoden en van 81 : 89 : 101 voor Wehe voor respectievelijk de objecten PN, KPN, K₂PN.

vervolg tabel 8 z.o.z.
(continuation table 8 next page)

Vervolg tabel 8 (continuation table 8)

Description	In total period			Average per year		
	PN	KPN	K ₂ PN	PN	KPN	K ₂ PN
PROEFVELD WEHE (periode 1932/1943) — experimental field Wehe (period 1932/1943)						
K ₂ O onttrokken door de gewassen in kg per ha berekend uit de opbrengsten (a) (K ₂ O removed by crops in kg per ha)	848 (687)	1 602 (1 426)	1 838 (1 856)	71 (57)	133 (119)	153 (155)
K ₂ O verloren door uitspoeling in kg per ha volgens schatting (b) (K ₂ O in drainwater in kg per ha)	240	480	1 080	20	40	90
K ₂ O in gewas + uitspoeling in kg per ha (a+b) (K ₂ O in crop and drainwater)	1 088 (927)	2 082 (1 906)	2 918 (2 936)	91 (77)	173 (159)	243 (245)
K ₂ O in gewas + uitspoeling in kg per ha als gevolg van K-bemesting . . . (c) (K ₂ O in crop and drainwater in kg per ha from K-manuring)		994 (979)	1 830 (2 009)		83 (81)	152 (167)
K ₂ O toegediend in bemesting in kg per ha (d) (K ₂ O in manure in kg per ha)		1 281	2 562		107	213
Niet opgenomen en geadsorbeerd kalium als K ₂ O in kg per ha (d-c) (not assimilated and adsorbed K as K ₂ O in kg per ha)		287 (302)	732 (553)		24 (26)	61 (46)
Niet opgenomen en geadsorbeerd kalium als K ₂ O in % $\frac{(d-c)}{d} \times 100$ (not assimilated and adsorbed K ₂ O in % of K ₂ O added in manure)		22 (23)	28 (21)			

² The amounts for K₂O removed by the crops were calculated in this way that it was assumed that the K₂O of the cultivated crops were normal and also for each crop the same for the three objects (PN, KPN, K₂PN).

The numbers in brackets for the amounts of K₂O in the crop fixed, etc. were calculated from the above mentioned ciphers in this way, that it was assumed that the average K₂O % of the crops cultivated were to be 73 : 81 : 90 for Ammerzoden and 81 : 89 : 101 for Wehe for respectively the objects PN, KPN and K₂PN (see Table 2).

TABLE 8. Potassium not assimilated in % of potassium added in manure on experimental fields Ammerzoden and Wehe ²

TABEL 9. Bemesting in kg resp. ton per ha en kalium-, calcium- en magnesiumgehalte van aardappelloop in % en in milliaeq. (m.e.) per 100 g droge stof van de proefvelden te Ophemert (ZGE 595), Asch (ZGE 596) en Kerkwijk (ZGE 594). Verder opbrengst aardappelknollen (in Q per ha)¹.

Bemesting (manuring)				Op 100 g droge stof (on 100 g dry matter)						Oppbrengst in Q/ha (Yield in Q/ha)	
Veld (plot)	CaCO ₃ ton/ha	K ₂ O kg/ha	Stalmest (farm- yard manure) ton/ha	K ₂ O		CaO		MgO			K+Ca + Mg m.e.
				%	m.e.	%	m.e.	%	m.e.		
PROEFVELD OPHEMERT ZGE 595											
5,15	20	0	0	2,93	62,2	4,16	148,5	2,13	105,7	316	383
7,23	10	0	0	3,67	77,9	3,79	135,3	1,80	89,3	302	443
9,19	0	0	0	5,37	114,0	3,03	108,2	1,31	65,0	287	444
14	20	0	25	3,53	74,9	3,91	139,6	2,01	99,7	314	412
17	10	0	25	4,73	100,4	3,47	123,9	1,78	88,3	313	440
24	0	0	25	5,38	114,2	3,42	122,1	1,51	74,9	311	440
10	20	250	0	7,23	153,5	2,95	105,3	1,06	52,6	311	466
6	10	250	0	4,86	103,1	3,70	132,1	1,52	75,4	311	454
1	0	250	0	5,53	117,4	3,21	114,6	1,37	67,9	300	466
18	20	250	25	5,45	115,7	3,55	126,7	1,66	82,3	325	492
21	10	250	25	5,78	120,5	3,56	127,1	1,53	75,9	323	482
16	0	250	25	3,53	74,9	3,31	118,2	1,44	71,4	264	464
8	20	400	0	5,88	124,8	3,36	120,0	1,25	62,0	307	463
2	10	400	0	5,97	126,7	3,29	117,5	1,35	66,9	311	483
4	0	400	0	5,97	126,7	2,96	105,7	1,15	57,0	289	485
<i>Gemiddeld .</i>				5,05	107,1	3,44	123,0	1,52	75,6	306	454
PROEFVELD ASCH ZGE 596											
5,15	10	0	0	2,49	52,9	3,94	140,8	2,14	106,1	300	196
7,23	5	0	0	2,69	57,1	3,33	118,9	2,01	99,7	276	180
9,19	0	0	0	2,58	54,7	4,12	147,1	2,03	100,7	302	168
14	10	0	25	2,71	57,5	4,27	152,5	2,05	101,7	312	212
17	5	0	25	3,06	64,9	4,00	142,8	2,02	100,2	308	192
24	0	0	25	3,89	82,5	3,70	132,1	1,72	85,3	300	256
10	10	250	0	4,32	91,7	3,79	135,3	1,74	86,3	313	188
6	5	250	0	4,12	87,4	3,18	113,5	1,61	79,9	281	196
1	0	250	0	3,71	78,7	3,85	137,5	1,77	87,8	304	248
18	10	250	25	4,63	98,3	3,69	131,7	1,67	82,8	313	232
21	5	250	25	4,85	102,9	3,68	131,4	1,59	78,9	313	264
16	0	250	25	4,18	88,7	3,43	122,5	1,63	80,8	292	236
8	10	400	0	4,01	85,1	3,39	121,0	1,43	70,9	277	204
2	5	400	0	3,79	84,6	3,78	135,0	1,71	84,8	304	232
4	0	400	0	4,91	104,2	3,19	113,9	1,43	70,9	289	244
<i>Gemiddeld . .</i>				3,73	79,4	3,69	131,7	1,77	87,8	299	217

¹ De gewasanalyses werden verricht door het Centraal Instituut voor Landbouwkundig Onderzoek (C.I.L.O.) te Wageningen.

Vervolg tabel 12 (continuation table 12)

Bemesting (manuring)				Op 100 g droge stof (on 100 g dry matter)						Opbrengst in Q/ha (Yield in Q/ha)	
Veld (plot)	CaCO ₃ ton/ha	K ₂ O kg/ha	Stalmest (farm- yard manure) ton/ha	K ₂ O		CaO		MgO			K+Ca +Mg m.e.
				%	m.e.	%	m.e.	%	m.e.		
PROEFVELD KERKWIKJ ZGE 594											
5,15	20	0	0	0,99	21,0	4,07	145,3	2,63	130,5	297	101
7,23	10	0	0	0,85	18,0	3,89	138,9	2,72	134,9	292	172
9,19	0	0	0	1,15	24,4	3,95	141,0	2,35	116,6	282	117
14	20	0	25	1,34	28,4	4,23	151,0	2,48	123,0	302	159
17	10	0	25	1,26	26,7	4,22	150,7	2,38	118,1	296	137
24	0	0	25	1,22	25,9	3,89	138,9	2,44	121,0	286	158
10	20	250	0	1,50	31,8	4,12	147,1	2,63	130,5	309	134
6	10	250	0	1,74	36,9	4,42	157,8	2,43	120,5	315	171
1	0	250	0	1,64	34,8	4,21	150,3	2,39	118,6	304	186
18	20	250	25	1,82	38,6	3,97	141,7	2,34	116,1	296	220
21	10	250	25	1,49	31,6	4,32	154,2	2,46	122,0	308	169
14	0	250	25	2,16	45,8	4,26	152,1	2,37	117,6	315	294
8	20	400	0	1,80	38,2	4,34	155,0	2,41	119,6	313	190
2	10	400	0	1,98	42,0	4,47	159,6	2,35	116,6	318	206
4	0	400	0	2,22	47,0	4,09	146,0	2,15	106,6	300	214
Gemiddeld . . .				1,54	32,7	4,16	148,6	2,44	120,8	302	175

TABLE 9. Manuring in kg or tons per ha and potassium, calcium and magnesium contents of potato leaves in % and in m.e. per 100 g dry matter of experimental fields at Ophemert (ZGE 595) Asch (ZGE 596) and Kerkwijk (ZGE 594). Yields of potato tubers (in Q per ha).

TABEL 10. Uitwisselbare ionen en adsorptievermogen van de proefvelden Ammerzoden en Wehe

Omschrijving (<i>description</i>)	Proefveld Ammerzoden						Proefveld Wehe		
	Veldje 12			Veldje 9					
Bemesting (<i>manuring</i>)	0-K	+K	+2K	0-K	+K	+2K	0-K	+K	+2K
UITWISSELBARE IONEN in millieq. per 100 g (<i>exchangeable cations in m.e. per 100 g</i>)									
Ca	25,5	26,8	20,0	26,6	26,4	19,9	7,9	7,6	7,6
Mg	1,9	1,9	1,8	2,0	2,0	0,9	0,6	0,6	0,6
K	0,30	0,45	0,51	0,32	0,42	0,53	0,25	0,28	0,30
Totaal uitwisselbaar (<i>total exchangeable</i>) .	27,70	29,15	22,31	28,92	28,82	22,33	8,75	8,48	8,50
$\frac{Ca}{K}$	85	59	39	83	63	38	32	27	25
$\frac{Ca}{Mg}$	13,4	14,1	11,1	13,3	13,2	10,5	13,2	12,7	12,7
$\frac{Mg}{K}$	6,3	4,2	3,5	6,3	4,8	3,6	2,4	2,1	2,0
$\frac{Ca+Mg}{K}$	91	64	43	89	68	41	34	29	27
$\frac{Ca}{tot.} \times 100$	92	92	90	92	92	89	90	90	89
$\frac{Mg}{tot.} \times 100$	6,8	6,5	8,1	6,9	6,9	8,5	6,9	7,1	7,1
$\frac{K}{tot.} \times 100$	1,1	1,5	2,3	1,1	1,5	2,4	2,9	3,3	3,5
ADSORPTIEVERMOGEN in millieq. per 100 g (<i>cation exchange capacity in m.e. per 100 g</i>)									
Adsorptie Na uit $\frac{1}{2}$ N Na-acetaat	30,3	31,8	24,3	31,3	31,6	24,3	8,4	8,2	8,2
<i>Adsorption of Na from $\frac{1}{2}$ Na-acetate</i>									
Kationenwaarde ¹	25,1	27,5	22,3	26,1	27,5	22,4	7,6	7,2	7,3
<i>Cation exchange capacity</i>									
a. $\frac{Adsorptie Na uit Na-acetaat}{Totaal uitwisselbaar} \times 100$.	109	109	109	108	110	109	0,96	0,97	0,96
b. $\frac{Totaal uitwisselbaar}{Kationenwaarde} \times 100$	110	106	100	111	105	100	115	118	116
c. $\frac{Adsorptie Na uit Na-acetaat}{Kationenwaarde} \times 100$.	121	116	109	120	115	108	111	114	112
<i>Manuring</i>	0-K	+K	+2K	0-K	+K	+2K	0-K	+K	+2K
<i>Description</i>	<i>Plot 12</i>			<i>Plot 9</i>			<i>Experimental field Wehe</i>		
	<i>Experimental field Ammerzoden</i>								

TABLE 10. Exchangeable cations and cation exchange capacity of experimental fields Ammerzoden and Wehe

Na en Mn = sporen = < 0,1 millieq. per 100 g; H = afwezig.

Ca = bepaald door Ca in eerste $\frac{1}{2}$ N Na-acetaat percolaat van 250 cc (op 20 g grond) te corrigeren met Ca in tweede $\frac{1}{2}$ N Na-acetaat percolaat. Bij van nature kalkhoudende gronden of bij gronden welke bekalkt zijn (Wehe) is deze werkwijze niet geheel juist.

Mg = sporen in 2de percolaat; K = sporen in 2de percolaat.

Na and Mn = traces = < 0.1 m.e. per 100 g; H = absent.

Ca = found by subtracting Ca in second $\frac{1}{2}$ N Na-acetate percolate of 250 cc (on 20 g of soil) from Ca in first $\frac{1}{2}$ N Na-acetate percolate. With soils containing CaCO_3 from origin or with soils which are limed (Wehe) this method is not accurate.

Mg = traces in second percolate; K = traces in second percolate.

a. quotient for ratio adsorption of Na from $\frac{1}{2}$ N Na-acetate and total exchangeable cations.

b. quotient for ratio total exchangeable cations and cation exchange capacity.

c. quotient for adsorption of Na from $\frac{1}{2}$ N Na-acetate and cation exchange capacity.

¹ De kationenwaarde van een grond (in millieq. per 100 g) wordt bepaald door deze vooraf met kwartszand te mengen en daarop in percolatiebuizen te percoleren met achtereenvolgens $\frac{1}{2}$ N Na-acetaat en $\frac{1}{2}$ N NH_4Cl . De overmaat NH_4Cl wordt met 80% alcohol uitgewassen, waarna gepercoleerd wordt met $\frac{1}{2}$ N NaCl. In het percolaat wordt de hoeveelheid NH_4 -ionen bepaald welke door de grond waren geadsorbeerd.

¹ *Cation-exchange capacity of a soil (in m.e. per 100 g) was estimated as follows. The soil was mixed with quartz sand and the mixture was percolated in glass tubes with $\frac{1}{2}$ N Na acetate and $\frac{1}{2}$ N NH_4Cl successively. The excess of the NH_4Cl salt was washed away with 80% alcohol. Thereafter the soil was percolated with $\frac{1}{2}$ N NaCl and in the filtrate the NH_4 -ions, adsorbed by the soil, were determined quantitatively.*

TABEL II. Calcium, magnesium en kalium in mg per l (p.p.m.) zomede de Ca, K en de Ca + Mg : K verhouding in millieq. (m.e.) bij extractie van de grond volgens de methode Morgan. Verder de hoeveelheid K_2O in %, welke wordt gefixeerd bij schudden en drogen (70°C) met een oplossing van KCl, zomede pH, humus (%), fractie $< 2\mu$ (%), $CaCO_3$ (%) en K_2O (1/1000 %) bij schudden met 0,1 n HCl.

N°. grond (soil)	Omschrijving ¹ Description ¹	Morgan extraction						% K_2O gefixeerd (% K_2O fixed)			Humus (%)	Fractie $< 2\mu$ % (separate $< 2\mu$ %)	$CaCO_3$ (%) ²	K—HCl 1/1000
		Calcium (Ca)	Magnesium (Mg)	Kalium (K)	Ca : K	Mg : K	(Ca + Mg) : K	Na schudden (after shaking)	Na drogen (after drying)	pH				
ZEE-AFZETTING (marine sediment)														
268	Scheemda (Pr. 90)	1286	68	12	207	18	225	22	62	7,0	3,3	28,9	0,2	11
266	Bellingwolde (Pr. 82)	1316	92	11	235	27	262	43	64	6,4	4,6	37,8	sp (tr)	12
308	Nw Beerta (Pr. 80)	1036	170	20	102	27	129	11	38	6,0	4,6	44,9	nihil	22
595	Wehe (K.I.M.)	350	31	5	135	20	154	11	29	7,2	1,4	6,8	sp (tr)	5
229	Haarlemmermeer	684	64	55	24	4	28	7	14	5,4	3,3	35,2	nihil	26
148	Schoondijke	720	120	27	53	15	68	1	29	6,9	1,3	13,2	0,2	14
RIVIERAFZETTING (river sediment)														
346	Horszen (Z.G.E. 378)	577	55	8	141	22	163	13	64	4,9	3,3	21,0	nihil	8
589	Ammerzoden (K.I.M.)	1460	87	3	912	90	1002	61	84	7,4	3,1	27,0	sp (tr)	8
456	Hoenzadriel (50/85 cm)	1780	162	1	2967	447	3413	77	78	7,4	1,3	59,7	sp (tr)	11
466	De Hoeve (20/40 cm)	1436	176	6	479	96	575	78	81	6,4	2,5	53,0	sp (tr)	13
343	Ophemert (Z.G.E. 595)	962	123	10	185	39	224	20	58	5,4 ³	5,4	36,1	nihil	12 ⁴
341	Asch (Z.G.E. 596)	1181	140	7	331	64	395	29	59	5,3 ³	4,8	43,3	sp (tr)	10 ⁵
344	Kerkwijk (Z.G.E. 594)	1396	179	3	873	185	1057	55	70	5,6 ⁷	6,9	49,3	nihil	9 ⁶
365	Delwijnen	1337	128	5	514	81	595	44	78	6,3	4,3	32,7	nihil	8
367	Hedel	1446	132	4	723	108	831	45	78	6,9	2,4	34,6	0,1	9
450	Veldriel	1691	125	5	650	79	729	74	76	5,7	6,4	52,6	nihil	11
38	Amersongen	1803	148	18	196	27	222	32	68	7,6	3,0	70,1	sp (tr)	18
C16	Woerden	789	100	44	35	7	42	26	56	4,8	11,3	56,5	nihil	41
601	Mijdroecht (100 cm)	1132	95	17	132	18	150	11	32	3,1	15,7	43,3	nihil	16
721	Vleuten	1059	119	39	53	10	63	8	45	7,1	3,5	25,8	sp (tr)	32

¹ De met Pr., K.I.M. of Z.G.E. aangeduide monsterplaatsen zijn afkomstig van proefvelden (the soils indicated with Pr., K.I.M., Z.G.E. are from experimental fields).

² Sp = sporen = $< 0,1\%$ (tr. = traces = $< 0,1\%$).

³ In 1949 = 5,6

⁴ in 1949 = 15

⁵ in 1949 = 5,3

⁶ in 1949 = 13

⁷ in 1949 = 5,6

⁸ in 1949 = 12

TABEL II. Ca, Mg and K in p.p.m. and Ca : K, Mg : K and Ca + Mg : K in m.e. by extraction of the soil after Morgan. Furthermore % K_2O fixed after shaking and after drying (70°C) with a KCl solution and pH, humus (%), separate $< 2\mu$ (%), $CaCO_3$ (%) and K_2O (1/1000%) after shaking with 1/10 n HCl.

TABEL 12. K_2O oplosbaar in 1/1000% bij diverse extracties en percolaties — proefvelden Ammerzoden en Wehe

Omschrijving proefveld (description experimental field)	Proefveld Ammerzoden						Proefveld Wehe		
	Veldje 12			Veldje 9					
Bemesting (manuring)	0-K	+K	+2K	0-K	+K	+2K	0-K	+K	+2K
K_2O oplosbaar bij diverse extracties (K_2O soluble in various extracts)									
K_2O uitwisselbaar percolatie 1e 250 cc 0,5 N Mg-acetaat	14	21	24	15	20	25	12	13	14
<i>K_2O exchanged by percolation</i> 2e 250 cc 0,5 N Mg-acetaat	sp	sp	sp	sp	sp	sp	sp	sp	sp
K_2O uitwisselbaar schudden 0,5 N Mg-acetaat	3	6	7	5	6	7	3	4	5
<i>K_2O exchanged by shaking</i> 0,5 N Mg-acetaat									
K_2O oplosbaar 0,1 N HCl schudden 1 uur . <i>K_2O soluble in 0,1 N HCl after shaking</i> 1 hour	8	13	15	8	12	16	5	6	7
K_2O oplosbaar bij achtereenvolgende percolaties met HCl (K_2O soluble in successive percolations with HCl)									
0,05 N HCl (first) 1e 250 cc	15	22	34	16	21	34	20	21	22
(second) 2e 250 cc	1	1	2	1	1	1	sp	sp	sp
(third) 3e 250 cc	sp	sp	sp	sp	sp	sp	sp	sp	sp
(total) totaal .	16	23	36	17	22 27	35 36	20 21	21 22	22 23
0,1 N HCl (first) 1e 250 cc	1	1	2	1	2	2	sp	sp	sp
(second) 2e 250 cc	sp	sp	sp	sp	sp	sp	sp	sp	sp
(third) 3e 250 cc	sp	sp	sp	sp	sp	sp	sp	sp	sp
(total) totaal .	1	1	2	1	2	2	sp	sp	sp
10% HCl (first) 1e 250 cc	7	8	11	8	9	12	6	6	6
(second) 2e 250 cc	7	8	10	7	9	11	4	4	4
(third) 3e 250 cc	7	8	9	7	9	10	3	3	3
(total) Totaal .	21	24	30	22	27	33	13	13	13
Totaal (total) 0,05 N HCl + 0,1 N HCl + 10% HCl	38	48	68	40	51	70	33	34	35

TABEL 12. K_2O in 1/1000% soluble in various extracts and percolations—experimental fields Ammerzoden and Wehe

Vervolg tabel 12 (continuation table 12)

Omschrijving proefveld (description experimental field)	Experimental field Ammerzoden						Experimental field Wehe		
	Plot 12			Plot 9					
Bemesting (manuring)	0-K	+K	+2K	0-K	+K	+2K	0-K	+K	+2K
a. <u>Uitwisselbaar 0,5 N Mg-acetaat</u> oplosb. schudden 0,1 N HCl	1,75	1,61	1,60	1,88	1,67	1,56	2,40	2,17	2,00
b. <u>oplosb. percolatie 0,05 N HCl</u> oplosb. schudden 0,1 N HCl	2,00	1,77	2,40	2,13	1,83	2,19	4,00	3,50	3,14
c. <u>oplosb. percolatie 10% HCl</u> oplosb. 0,05 N HCl + 0,1 N HCl	1,24	1,00	0,80	1,22	1,13	0,89	0,65	0,62	0,59
d. <u>oplosb. percolatie 0,05 N HCl</u> uitwisselb. 0,5 N Mg-acetaat	1,14	1,09	1,50	1,13	1,10	1,40	1,67	1,61	1,57

- a. Quotient for ratio K_2O exchanged by 0,5 N Mg-acetate and K_2O soluble in 0.1 N HCl by shaking
- b. Quotient for ratio K_2O soluble in 0.05 N HCl by percolation and K_2O soluble in 0.1 N HCl by shaking.
- c. Quotient for ratio K_2O soluble in 10% HCl by percolation and K_2O soluble in 0.05 N HCl and 0.1 N HCl by percolation.
- d. Quotient for K_2O soluble in 0.05 N HCl by percolation and K_2O exchanged by 0.5 N Mg-acetate by percolation.

TABEL 13. K_2O oplosbaar bij achtereenvolgende HCl percolaties van telkens 250 cc in 1/1000% (Proefveld Ammerzoden, object PN) — zonder en na voorafgaande behandeling van de grond met een sterk geconcentreerde oplossing van KCl al dan niet gevolgd door drogen bij ca 100°C

Omschrijving <i>Description</i>	Zonder KCl <i>(without KCl)</i>		Na inwerking overmaat KCl <i>(after contact with excess of KCl)</i>				
	On-behandeld <i>(not treated)</i>	Na 1 uur schudden H_2O ¹	$\frac{1}{2}$ uur schudden ²	2 weken overstaan + 1 uur schudden ³	1 × droog- dampen + 1 uur schudden ⁴	6 × droog- dampen + 1 uur schudden ⁵	
0,05 N HCl	1e 250 cc	15	20	900	913	925	913
	2e 250 cc	1	1	25	26	30	33
	3e 250 cc	sp	1	11	13	13	16
	Totaal .	16	22	936	952	968	962
0,1 N HCl	1e 250 cc	1	1	9	11	11	13
	2e 250 cc	sp	sp	6	6	6	6
	3e 250 cc	sp	sp	3	3	4	5
	Totaal .	1	1	18	20	21	24
10 HCl	1e 250 cc	7	5	25	26	31	34
	2e 250 cc	7	9	26	28	28	30
	3e 250 cc	7	5	16	17	16	16
	Totaal .	21	19	67	71	75	80
Totaal 0,05 N HCl+0,1 N HCl	17	23	954	972	989	986	
Totaal 0,1 N HCl+10 % HCl	22	20	85	91	96	104	
Totaal 0,05 N HCl+0,1 N HCl+10 % HCl	38	42	1021	1043	1064	1066	

¹ = after shaking 1 hour with H_2O .

² = after shaking $\frac{1}{2}$ hour with KCl.

³ = after standing two weeks over and shaking 1 hour with KCl.

⁴ = after drying 1 × and shaking 1 hour with KCl.

⁵ = after wetting and drying 6 × and shaking 1 hour with KCl.

TABEL 13. K_2O soluble in successive percolations with HCl in 1/1000% — experimental field Ammerzoden, object PN — with and without treatment with a concentrated solution of KCl partly followed by drying at appr. 100°C

TABEL 14. K_2O oplosbaar bij achtereenvolgende HCl-percolaties en K_2O totaal in 1/1000% Object PN — proefveld Ammerzoden. Ook na verschillende voorbehandelingen met KCl.

Omschrijving Description	Zonder KCl	Na inwerking overmaat KCl (after contact with an excess of KCl)			
	(without KCl) 1 uur schudden 1	$\frac{1}{2}$ uur schudden 2	2 weken overstaan + 1 uur schudden 3	1 × droog- dampen + 1 uur schudden 4	6 × droog- dampen + 1 uur schudden 5
3 × 250 cc 0,05 N HCl	22	936	952	968	962
3 × 250 cc 0,1 N HCl	1	18	20	21	24
3 × 250 cc 10 % HCl	19	67	71	75	80
Totaal 0,05 N HCl + 0,1 N HCl . . .	23	954	972	989	986
Totaal 0,05 N HCl + 0,1 N HCl + 10 % HCl	42	1 021	1 043	1 064	1 066
K_2O totaal analyse (total analysis) . . .	1 830	2 850	2 925	3 000	3 065
K_2O (totaal) — K_2O (0,05 N HCl) — K_2O (0,1 N HCl) ⁶	1 807	1 896	1 953	2 011	2 079
Vershil idem t.o.v. zonder voorbehan- deling KCl ⁷		89	146	204	272
Id. doch omgerekend in kg/ha à bouw- voor = 25 cm ⁸		2 670	4 380	6 120	8 160
K_2O totaal — (K_2O 0,05 N HCl + K_2O 0,1 N HCl + K_2O 10 % HCl) ⁹	1 788	1 829	1 882	1 936	1 999
Vershil idem t.o.v. zonder voorbehan- deling KCl ¹⁰		41	94	148	211
Id. doch omgerekend in kg per ha à bouw- voor = 25 cm ¹¹		1 230	2 820	4 440	6 330

¹ after shaking 1 hour with H_2O .

² after shaking $\frac{1}{2}$ hour with KCl.

³ after standing two weeks over and shaking 1 hour with KCl.

⁴ after drying 1 × and shaking 1 hour with KCl.

⁵ after wetting and drying 6 × and shaking 1 hour with KCl.

⁶ K_2O total analysis — K_2O soluble in 0.05 N HCl and in 0.1 N HCl.

⁷ as (6) but in regard to sample not treated with KCl.

⁸ as (7) but calculated in kgs per ha to a depth of 25 cms.

⁹ K_2O total analysis — (K_2O soluble in 0.05 N HCl and in 0.1 N HCl and in 10% HCl).

¹⁰ as (9) but in regard to sample not treated with KCl.

¹¹ as (10) but calculated in kgs per ha to a depth of 25 cms.

TABLE 14. K_2O soluble in successive percolations with HCl and K_2O total in 1/1000% of sample 512 experimental field Ammerzoden, object PN. Also treated with an excess of KCl in different ways before HCl percolations.

TABEL 15. K_2O gefixeerd in % na schudden en na drogen (bij $\pm 70^\circ C$) van 20 g grond met een N Mg acetaat, K_2O in 1/1000% bij schudden met 0,1 N HCl (KHCl-cijfer) zomede K, Ca en

Nummer		Omschrijving proefveld <i>Description</i>	Duur proof in jaren (<i>experiment in years</i>)	% K_2O gefixeerd (% K_2O fixed)			
				Na schudden (<i>after shaking</i>)		Na drogen (<i>after drying</i>)	
0	b		0	b	o	b	
A. Stalmest ca 7 à 10 ton/ha (<i>farmyard manure ca 7 to 10 tons/ha</i>)							
483	482	Nederhemert ¹	1	40	40	78	80
538	532	Bovenkerk ¹	1	45	39	83	79
534	533	Raamsdonksveer ¹	1	46	50	79	83
549	550	Biesbosch ¹	1	43	46	75	76
551	552	Biesbosch ¹	2	44	36	73	68
667	672	Wageningen	15	17	18	70	68
Totaal (<i>total</i>)				235	229	458	454
				100	97	100	99
B. Stromulch ca 30 à 40 ton/ha bij aanleg en ca 10 ton elk volgend jaar (<i>straw mulch ca 30 to 40 tons/ha</i>)							
543	542	Geldermalsen	5	29	20	73	73
612	605	Haamstede	1	2	2	13	14
614	607	Burgh	4	5	sp	15	12
616	609	Waarde	1	5	4	14	11
617	610	Waarde	4	2	5	13	17
569	577	Wilhelminapolder	1	3	sp	24	25
576	571	Wilhelminapolder	2	12	10	32	33
570	572	Wilhelminapolder	2	2	2	19	23
573	574	Tholen	1	3	3	12	15
Totaal (<i>total</i>)				63	46	215	223
				100	73	100	104
C. Grasopslag geregeld afgemaaid en dan ter plaatse laten liggen (<i>grass regularly cut down</i>)							
545	544	Geldermalsen	5	5	5	56	59
667	666	Wageningen	15	17	17	70	72
Totaal (<i>total</i>)				22	22	126	131
				100	100	100	104

O = onbernest = *not manured*; b = bernest = *manured*; 10 ton stalmest bevat ca 50 kg K_2O en straw mulch ca 250 kgs of K_2O). De grondmonsters welke bij elkander behoren zijn afkomstig next to each other).

TABEL 15. K_2O fixed in % after shaking and drying at $\pm 70^\circ C$ of 20 g of soil with a solution of acetate, K_2O in 1/1000% after shaking with 0.1 N HCl and K, Ca and Mg in p.p.m. b)

¹ = beide objecten kregen 100 à 150 kg K_2O /ha — (*both objects received 100 to 150 kgs of K_2O /ha*)

lossing van KCl welke 20 mg K_2O bevat. Verder uitwisselbare K_2O in 1/1000% bij schudden met 0,5 g in p.p.m. oplosbaar in Morgan's extractievloeistof.

K_2O uitwisselbaar (K_2O exchangeable) 1/1000 %		K_2O in 0,1 n HCl 1/1000 %		Morgan's extract p.p.m.					
				K		Ca		Mg	
o	b	o	b	o	b	o	b	o	b
2	5	10	15	6	10	1 256	1 182	94	81
6	7	9	10	2	10	6 803	6 448	92	119
7	7	9	9	4	7	5 682	5 151	93	109
6	5	11	15	8	9	5 900	4 850	124	134
6	7	13	13	14	13	4 640	6 417	119	90
17	18	37	39	30	39	1 688	2 226	117	118
44	49	89	101	64	88	25 969	26 274	639	651
100	111	100	113	100	137	100	101	100	102

at year and ca 10 tons/ha in successive years)

12	20	19	23	15	34	1 648	2 748	113	126
6	11	18	19	44	56	193	227	9	6
16	24	22	32	72	97	492	618	20	23
40	42	59	61	123	135	2 717	2 564	66	63
36	42	51	58	116	127	10 65	845	101	84
18	28	21	36	36	69	7 870	7 827	90	78
10	20	16	24	25	41	7 712	8 022	85	74
48	50	59	63	117	158	7 135	7 145	93	95
24	26	36	38	78	79	2 791	2 710	79	78
210	263	301	354	626	796	31 623	32 706	656	627
100	125	100	118	100	127	100	103	100	96
27	23	35	36	47	42	1 138	1 100	101	97
17	17	37	45	30	46	1 688	1 648	117	119
44	40	72	81	77	88	2 826	2 748	218	216
100	99	100	112	100	114	100	97	100	99

ton stro ca 250 kg K_2O (10 tons of farmyard manure contains ca 50 kgs of K_2O and 40 tons of
naast elkander gelegen percelen (the soils samples belonging to each other are from plots situated

containing 20 mg K_2O . Furthermore K_2O exchangeable in 1/1000% after shaking with 0.5 N Mg
reaction of the soil after Morgan.