

# OVERDRUK

UIT HET LANDBOUWKUNDIG TIJDSCHRIFT, MAANDBLAD VAN HET  
NED. GENOOTSCHAP VOOR LANDBOUWWETENSCHAP.

56ste JAARGANG No. 686

MAART 1944

K 2267

## Het voorkomen van kali in den bodem,

door

Dr JAC. VAN DER SPEK.

---

Kali komt in den bodem op verschillende wijzen voor. De voornaamste zullen hier besproken worden, terwijl tevens gewezen zal worden op de opneembaarheid van elk van deze vormen van kali voor de planten.

### A. Kali opgelost in het bodemvocht.

Aangezien alle kaliumzouten in water oplosbaar zijn, zal het bodemvocht in meer of mindere mate kali bevatten. Na een bemesting met een kalimeststof zal de hoeveelheid kali in het bodemvocht het grootst zijn, omdat deze meststof na het uitstrooien in eerste instantie in het bodemvocht zal oplossen. Tengevolge van verschillende oorzaken, zoals opname door de planten, binding door de klei-humus-substantie, uitspoeling, wijzigt zich deze hoeveelheid. De hoeveelheid kali, die in het bodemvocht voorkomt, is dan ook zeer wisselend.

Men heeft getracht om de hoeveelheid, die op een bepaald tijdstip in het bodemvocht aanwezig is, te bepalen door den grond met  $\text{CO}_2$ -houdend, gedestilleerd water te schudden en in het extract na affiltreeren van den grond het kali-gehalte te bepalen. Schudt men den afgefilterde grond opnieuw met water, dan vindt men in het tweede extract evenwel een hoeveelheid kali, die soms weinig van die in het eerste extract verschilt.

In de volgende Tabel I zijn opgenomen de hoeveelheden kali, uitgedrukt in mg  $\text{K}_2\text{O}$  per 100 g grond, die bij herhaalde extractie met water van monsters van eenige kali-proefvelden op zand- en dalgronden door *Hetter-schij* zijn gevonden. De monsters zijn genomen na de oogst en zijn afkomstig van objecten, die geen en wel kali ontvingen. De schudverhouding was 1 op 10 en de schudduur bedroeg één uur.

TABEL I.

Gehalten aan K<sub>2</sub>O bij herhaalde extractie met water.

Proefveld	Grondsoort en herkomst	Zuurgraad	Org. stof %	Object	Extracties							Som eerste 5 extracties	
					1e	2e	3e	4e	5e	6e	7e		
Pr 8	Oude dalgrond	5.1	29	o kali	7.2	7.2	7.2	4.8	4.8	—	—	31	—
	Sappemeer			kali	9.6	9.6	9.6	7.2	7.2	—	—	—	43
OO 63	Dalgrond	5.5	18	o kali	5.0	5.0	3.3	5.0	3.3	—	—	22	—
	De Krim (Ov.)												
ZGr 1	Oude dalgrond	4.8	12	o kali	3.6	3.1	3.1	1.3	2.4	0.9	—	14	—
	Borgercompagnie			kali	5.9	5.0	3.7	2.5	1.8	3.0	—	—	19
OO 51	Zandgrond	5.4	7	o kali	2.3	2.3	1.5	2.3	2.3	—	—	11	—
	Markelo			100 K <sub>2</sub> O	3.9	3.1	3.1	3.9	3.9	—	—	—	18
				240 K <sub>2</sub> O	6.2	3.9	6.2	3.9	3.1	—	—	—	23
NGl 63	Zandgrond	5.7	6	o kali	2.4	1.7	1.6	0.8	1.0	0.8	0.9	8	—
	Epe			kali	6.1	3.6	2.6	2.0	1.6	1.7	2.1	—	16
NGl 67	Zandgrond	6.1	5	o kali	1.5	1.1	1.2	0.9	0.9	0.9	0.9	5.5	—
	Hummelo			kali	8.8	5.0	4.4	3.5	3.1	2.7	2.6	—	25
Pr 100	Nieuwe dalgrond	5.5	4	o kali	1.6	1.2	0.9	0.8	0.6	0.8	0.6	5	—
	Emmercompascuum			300 K <sub>2</sub> O	5.7	2.8	1.7	1.5	1.1	1.4	1.1	—	13

Bij herhaalde extractie, zelfs tot twaalf maal toe, blijkt steeds kali in het waterextract voor te komen, al neemt het gehalte hieraan bij opvolgende extracties in het algemeen af.

Verder zou men verwachten, dat uit den grond van de veldjes, die in geen jaren een kali-bemesting ontvingen, de in water oplosbare kali reeds lang is verwijderd door de planten en door uitlooiing met het regenwater. Uit de cijfers van Tabel I blijkt evenwel, dat de water-extracten van deze gronden toch kali bevatten en des te meer, naarmate het gehalte aan organische stof hooger is.

Het bovenstaande is alleen te verklaren, wanneer in den bodem ook kali op een andere wijze dan opgelost in het bodemvocht voorkomt en die bij aanraking van den grond met water, daarin overgaat. Dit is inderdaad het geval, en wel adsorptief gebonden aan de klei-humus-substantie. Van geadsorbeerde bestanddeelen is het bekend, dat zij, in aanraking gebracht met een vloeistof, daarin overgaan, totdat een zeker evenwicht is bereikt tusschen de in oplossing gegane en geadsorbeerde hoeveelheid. Zoo is het ook het geval met de aan de klei-humus-substantie adsorptief gebonden kali.

Maar bij schudden van een grond met water kunnen ook andere zouten dan kalium-zouten en ook andere aan de klei-humus-substantie adsorptief gebonden stoffen dan kali, en wel voornamelijk kalk, magnesia en natron, in dat water overgaan. De basische bestanddeelen van deze zouten en deze andere adsorptief gebonden stoffen, die in het water zijn overgegaan, kunnen met de aan de klei-humus-substantie adsorptief gebonden kali in uitwisseling treden tengevolge waarvan iets van deze kali in het water overgaat. Bij het schudden van een grond met water vinden dus verschillende processen plaats, waarvan het uiteindelijke resultaat een ingewikkeld evenwicht is, waarmede de hoeveelheid kali, die in het water overgaat, samenhangt.

Aangezien de verhouding vloeistof : grond bij het schudden met water veel grooter is dan in den oorspronkelijken grond, zal in de extractievloeistof een evenwicht ontstaan, dat slechts bij benadering op dat in het bodemvocht gelijk is.

Een water-extract van een grondmonster geeft dus *niet* de in het bodemvocht aanwezige kali aan en door herhaalde extractie met water zal men de in het bodemvocht opgeloste kali niet kunnen bepalen. Door toevoeging van steeds versche hoeveelheden water aan den afgefilterden grond zullen zich telkens nieuwe en andere evenwichten instellen en in de extracten zal men steeds kali, zij het in afnemende mate, vinden.

De in het bodemvocht opgeloste kali zal door uitwisseling met de aan de klei-humus-substantie adsorptief gebonden basen en waterstof aan het klei-humus-complex worden geadsorbeerd en des te meer naarmate de grond meer klei en humus bevat. De planten zullen kali aan het bodemvocht onttrekken en wel in verschillende mate. De in het bodemvocht opgeloste kali is bovendien onderhevig aan uitspoeling door het zich naar beneden bewegende regenwater. Deze uitspoeling is voor alle gronden niet gelijk, maar hangt af van de grondsoort, de doorlatendheid van den grond voor water en de hoogteligging van den grond.

Het is dus duidelijk, dat de in het bodemvocht opgeloste kali een evenwicht weergeeft, dat zeer labiel is en van zeer veel factoren afhangt, waarvan de voornaamste zijn: de grondsoort, de vochtigheidstoestand van den grond, het tijdstip na de bemesting, het verbouwde gewas en het groeistadium van dit gewas.

#### B. *Kali in uitwisselbaren vorm (adsorptief) gebonden aan het klei-humus-complex.*

Het zijn de in het bodemvocht aanwezige kalium-ionen, die in uitwisseling kunnen treden met de aan het klei-humus-complex adsorptief gebonden basen en waterstof en aldus aan het klei-humus-complex adsorptief gebonden worden. Deze binding is gering bij zure gronden, wier klei-humus-complex vrij wat adsorptief gebonden waterstof bevat.

Bij een zuren grond zal een zeker evenwicht bestaan tusschen de waterstof-ionen in het bodemvocht en de aan het klei-humus-complex adsorptief gebonden waterstof. Lost wat kaliumzout in het bodemvocht op, dan zullen kalium-ionen uit deze vloeistof uitwisselen tegen adsorptief gebonden waterstof van het klei-humus-complex, waardoor in het bodemvocht meer waterstof-ionen zullen komen. Het evenwicht van de waterstof wordt dus verschoven in dien zin, dat het bodemvocht meer en het complex minder waterstof bevat en de verschuiving van het evenwicht in deze richting, waarbij het bodemvocht zuurder wordt, blijkt slechts zeer gering te kunnen zijn. Dit is ook de reden, waarom bij behandeling van een zuren grond met een KCl-oplossing er zoo weinig kalium door den grond wordt geadsorbeerd. De KCl-oplossing bezit gewoonlijk een zure reactie (pH ongeveer 5) en bevat dus vrijwat waterstof-ionen. Bij een neutralen of alkalischen grond zal een groote hoeveelheid kalium-ionen in het bodemvocht vrijwat aan het klei-humus-complex adsorptief gebonden basen kunnen verdringen, aangezien de zuurgraad van het bodemvocht in dit geval weinig in zure richting zal veranderen.

Met het bovenstaande zal men rekening moeten houden, wanneer men het gehalte aan adsorptief gebonden kali van een zuren grond door een kali-bemesting wil verhoogen. Om dit te bereiken zal men een dergelijken grond vooraf dienen te bekalken.

Om in het bezit te komen van uitwisselbare kali hoeft het klei-humus-complex van een grond geen kalium-ionen uit het bodemvocht door uitwisseling op te nemen. Het klei-humus-complex van elken grond bevat van nature in meer of mindere mate kali in dezen vorm. Deze kali is afkomstig van de in den grond aanwezige kali-bevattende minerale en organische bestanddeelen. Door verweering of ontleding van deze bestanddeelen komen er kaliumionen aan het oppervlak van de gronddeeltjes te liggen, en deze kaliumionen bezitten de eigenschap om tegen andere positieve ionen uit te wisselen. Door vergroting van het specifieke oppervlak van de gronddeeltjes, hetgeen door verkleining van deze deeltjes te bereiken is, zal het gehalte aan uitwisselbare kali dan ook moeten toenemen.

*Kelley, Dore en Brown* (1) vonden inderdaad bij het fijnmalen in een kogelmolen van colloïdale gronddeeltjes van verschillende Amerikaansche gronden een aanzienlijke toeneming van het gehalte aan uitwisselbare kali. Eenzelfde toeneming konden zij ook waarnemen bij het fijnmalen van een kalium-bentoniet en bij beidelliet (Tabel II).

TABEL II.

Effect van fijnmalen op het gehalte aan uitwisselbare basen.

Grondsoort	a = onge- malen b = 30 uur gemalen	Milligramequivalenten uitwisselbare basen				
		Ca	Mg	K	Na	Totaal
Dublin clay adobe .....	a	58.1	6.1	0.3	1.1	65.6
taken near Gilroy, California	b	60.4	109.3	29.0	5.9	204.9
Ramona clay loam .....	a	54.7	2.5	0	0	57.2
taken near La Habra, Cali- fornia .....	b	59.9	71.2	25.3	0	156.4
Glacial drift soil .....	a	54.0	2.7	1.0	1.4	59.1
from Indiana .....	b	57.3	21.0	19.3	13.6	111.2
Limestone soil .....	a	32.8	2.3	0	1.0	36.1
Central Tennessee .....	b	41.7	27.3	26.0	0	95.0
Cecil clay subsoil .....	a	14.2	0	0.2	3.9	18.3
Alabama .....	b	14.0	6.8	7.3	6.0	34.1
Kalium-bentoniet .....	a	31.8	2.0	0.9	0	34.7
	b	32.3	38.4	29.0	2.3	102.0
Beidelliet .....	a	47.0	4.2	sp.	sp.	51.2
	b	55.0	59.0	18.7	1.7	134.4

De monsters waren vóór het fijnmalen verzadigd met kalk (met een neutrale normaal-oplossing van  $\text{CaCl}_2$ ). De Cecil clay subsoil was voor het fijnmalen nagenoeg neutraal en bezat daarna een pH van 5.8.

*Bepaling van het gehalte aan uitwisselbare kali.* De aan het klei-humus-complex in uitwisselbare vorm gebonden kali wordt gewoonlijk bepaald door een bepaalde hoeveelheid grond (meestal 25 g) met een normaal-oplossing van ammoniumchloride of ammoniumacetaat uit te loogen. Hierbij wisselt de kali van het klei-humus-complex tegen het ammonium van de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ -oplossing uit en gaat in de oplossing over. *Hissink* (2) heeft er op gewezen, dat dit uitloogingsproces tot een eindpunt voert en dat dit eindpunt bij de normale kleigronden, bij het uitloogen van 25 gram grond, voor de kali na ongeveer een kwart liter wordt bereikt. Men is evenwel gewoon tot een liter uit te loogen.

*Schachtschabel* (3) vond bij uitloogen met een normaal  $\text{NH}_4\text{Cl}$ -oplossing eveneens een eindpunt. Hij ging verder na of door mechanisch insluiten, tengevolge van vereeniging van primaire deeltjes tot secundaire, kali aan het uitwisselingsproces onttrokken werd. Daartoe schudde hij een grond met een oplossing van  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  om de secundaire deeltjes uiteen te doen vallen en loogde den grond na affiltreren uit met een  $\text{NH}_4\text{Cl}$ -oplossing. In het filtraat en de uitloogvloeistof werd *dezelfde* hoeveelheid uitwisselbare kali gevonden als bij uitloogen met een  $\text{NH}_4\text{Cl}$ -oplossing zonder voorbehandeling met  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Hieruit trok *Schachtschabel* de conclusie, dat geen kali door mechanisch insluiten aan het uitloogingsproces was onttrokken.

Loogt men niet uit, maar schudt men den grond met een oplossing van ammoniumchloride en bepaalt in het extract de kali, dan wordt in het eerste extract maar een deel van de uitwisselbare kali gevonden. Herhaalde extractie met een versche hoeveelheid oplossing is dan noodig om alle uitwisselbare kali in oplossing te brengen, zooals uit een onderzoek van *Nehring* (3) blijkt. Deze onderzoeker schudde 25 g grond met 250 cc (verhouding 1 op 10) van n/10 oplossingen van  $\text{NaCl}$  en verschillende ammoniumzouten gedurende één uur en bepaalde in het extract de kali. Deze extractie herhaalde hij driemaal met het volgende resultaat (Tabel III).

TABEL III.

Herhaalde extractie met n/10 oplossingen van NaCl en verschillende ammoniumzouten.

Gehalte aan uitwisselbare kali in mg per 100 g grond.

Grondsoort	n/10 NaCl extract			n/10 NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> extract			n/10 NH <sub>4</sub> -acetaat extract			n/10 NH <sub>4</sub> -oxalaat extract		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	Zand .....	3.3	0.1	0	2.9	0	0	4.4	1.1	0	—	—
Leem .....	11.1	5.2	3.2	21.9	7.5	0.8	18.3	4.1	1.7	—	—	—
Leemig zand ....	28.4	4.8	1.9	32.0	0.7	0.3	30.8	2.0	0.3	16.8	5.8	—
Leem .....	19.2	8.5	2.7	35.4	5.6	1.1	29.2	5.9	1.8	21.2	0.5	—

Aangenomen mag worden, dat bij sommige gronden zelfs na drie extracties nog niet alle uitwisselbare kali in oplossing is gegaan. De eerste extractie met NaCl geeft in het algemeen lagere waarden dan die met de ammoniumzouten. Dit wordt hieraan toegeschreven, dat tengevolge van de sterkere hydratering van het Na-ion het uitwisselingsvermogen van dit ion tegenover het NH<sub>4</sub>-ion geringer is.

Ook bij het uitloggen vond *Hissink* (2), dat met een normaal oplossing van NaCl, het eindpunt iets later optreedt dan met oplossingen van NH<sub>4</sub>Cl, hetgeen hij aan de geringere verdringende kracht van de Na-ionen toeschreef.

De extracties met ammoniumoxalaat filtreerden slecht, aangezien dit zout peptiseerend werkt, welke invloed bij herhaalde extractie toeneemt.

*Het gehalte aan uitwisselbare kali.* Normale gronden bevatten slechts kleine hoeveelheden uitwisselbare kali. Toch loopen deze hoeveelheden voor verschillende gronden nog al uiteen. In het algemeen liggen zij tusschen 10 en 50 mg per 100 g grond, hetgeen overeenkomt met 125 à 625 kg K<sub>2</sub>O per ha in een laag van 10 cm (V.G. van den grond op 1.25 gesteld). Deze verschillen worden hierdoor veroorzaakt, dat het gehalte aan uitwisselbare kali met zeer vele factoren samenhangt. Als voornaamste factoren zijn te noemen: het gehalte aan klei-humus-substantie, dus aan adsorbeerend complex; de mate van bemesting met kalizouten; de mate van onttrekking van kali aan den grond door de verbouwde gewassen; de meer of mindere uitspoeling door het regenwater; de veroudering van den grond.

Voor een onderlinge vergelijking van de gehalten aan uitwisselbare kali van verschillende gronden kan men de gehalten aan uitwisselbare kali per 100 g klei-humus-substantie omrekenen. Hiervoor kan men aannemen, dat de klei-substantie en de humus-substantie de kali in gelijke mate adsorbeeren, ofschoon hieromtrent niets bekend is in tegenstelling met de kalk, waarvan men weet, dat ze door de humus-substantie in aanzienlijk grootere hoeveelheid wordt geadsorbeerd dan door de klei-substantie (bij de ongeveer neutrale reactie bindt 100 g humus-substantie ongeveer 4.5 maal meer kalk (CaO) dan 100 g klei-substantie).

Volgens *Visser* (5) zou van een vaste verhouding tusschen de aan de klei-substantie en aan de humus-substantie gebonden kali, op een wijze, zooals men dit bij de kalk aanneemt, geen sprake zijn.

*C. Kali als bouwstoffen van de in de klei-substantie voorkomende mineralen en als bestanddeel van de in den grond voorkomende organische stof.*

Na verwijdering van de uitwisselbare kali kan aan een grond door dezen met een sterk zuur, zooals zoutzuur, te behandelen nog meer kali onttrokken worden. De kali, die bij behandeling van een grond met een sterk zuur in oplossing gaat, verminderd met de uitwisselbare kali, is door *Hissink* (2) „zuur-oplosbare” kali genoemd.

Afhankelijk van de concentratie van het zuur, waarmee men den grond behandelt en van de wijze, waarop men dit doet, zal men verschillende cijfers voor de zuur-oplosbare kali vinden.

*Bepaling van het gehalte aan zuur-oplosbare kali.* Voor de bepaling van het kali-getal wordt bij de zand- en dalgronden een hoeveelheid luchtdroge grond, zoo groot, dat deze 6.25 g humus bevat, een uur bij kamertemperatuur met 300 cc 0.1 normaal zoutzuur geschud. Bij kleigronden neemt men 60 g grond met 600 cc 0.1 normaal zoutzuur. Bij deze behandeling gaat een gedeelte van de kali van het adsorbeerend complex in oplossing, totdat een evenwichtstoestand tusschen de in oplossing gegane kali en de aan het adsorbeerend complex gebonden kali is bereikt. Schudt men na affiltreeren van de vloeistof den grond opnieuw met een versche hoeveelheid zoutzuuroplossing, dan gaat een nieuwe hoeveelheid kali van het adsorbeerend complex in oplossing, totdat zich een nieuw evenwicht heeft ingesteld (6). Door herhaalde extractie volgens deze wijze zal men steeds kali aan het adsorbeerend complex kunnen onttrekken en dit zal men des te langer kunnen voortzetten naarmate de grond meer klei en humus bevat. Een eindpunt wordt volgens *Schachtschabel* (3) op deze wijze vrijwel niet bereikt.

Het blijkt nu, dat men bij de eerste extractie volgens deze wijze een hoeveelheid kali in oplossing brengt, die nagenoeg gelijk is aan het gehalte aan uitwisselbare kali. Zuur-oplosbare kali gaat dus bij de eerste extractie praktisch niet in oplossing, maar eerst bij volgende extracties. Hoeveel zuur-oplosbare kali op deze wijze aan het adsorbeerend complex onttrokken wordt, zal dus van het aantal extracties afhangen, maar bovendien van de meer of mindere aantastbaarheid van de aanwezige kali-bevattende minerale bestanddeelen.

Gewoonlijk behandelt men voor de bepaling van de zuur-oplosbare kali den grond met een 5 % zoutzuur-oplossing. Men gaat daarbij uit van een vaste verhouding grond : vloeistof. Maar daar bij kleigronden het gehalte aan klei-substantie sterk uiteen kan loopen, zullen in de verhouding klei-substantie : vloeistof groote verschillen kunnen optreden. En aangezien het voornamelijk de klei-substantie is, die de zuur-oplosbare kali bevat, zal de verhouding grond : vloeistof van grooten invloed zijn op de uitkomsten van de bepaling, een feit, waarop *Maschhaupt* (7) reeds gewezen heeft. Bij kleirijke gronden zal de verhouding klei-substantie : vloeistof enger zijn dan bij klei-arme gronden en bij eerstgenoemde gronden zal derhalve naar verhouding minder kali in oplossing kunnen gaan dan bij laatstgenoemde. Naarmate men op een bepaalde hoeveelheid vloeistof meer grond neemt zal men naar verhouding steeds minder kali vinden en naarmate de grond kleirijker is, zal deze mindere hoeveelheid grooter worden, zooals uit de cijfers van Tabel IV blijkt.

TABEL IV.

Invloed van de verhouding grond : 200 cc HCl op de hoeveelheid  $K_2O$ , welke in 5-proc. HCl in oplossing gaat.

No. B	Per 100 g drogen grond grammen		mg $K_2O$ per 100 g drogen grond opgelost in 200 cc 5-proc. HCl bij grammén grond				Verschil kolom	
	CaCO <sub>3</sub>	slibfractie	10	20	30	40	4 minus 5	5 minus 7 resp. 6
11283	0	11.1	103	96	—	84	7	12
7157	0	11.7	154	147	—	129	7	18
7118	0	15.5	166	156	—	139	10	17
7454/56	0	18.6	223	209	188	183	14	26
7124	0	19.5	186	176	154	150	10	26
11287	2.5	20.5	172	160	152	146	12	14
7144	0.2	20.7	210	195	179	176	15	19
7120	1.8	27.2	251	231	212	210	20	21
11458	0.2	30.1	235	213	192	—	22	21
8537	3.7	31.0	210	168	155	—	42	13
6246	10.1	31.9	328	303	275	—	25	28

Bij gronden met ongeveer 60 % slibfractie vond *Maschhaupt* (7), dat bij behandeling van 40 g grond met 200 cc 5-proc. HCl per 100 g grond gemiddeld zelfs 78 mg minder kali in oplossing ging, dan wanneer 25 g grond

werd genomen. Bij gronden met ongeveer 40 % slibfractie werd bij 60 g grond ongeveer 49 mg minder kali gevonden dan bij 40 g.

Om de hoeveelheden zuur-oplosbare kali van verschillende kleigronden met elkaar te kunnen vergelijken zou het gewenscht zijn steeds *zooveel* grond met een bepaalde hoeveelheid zuur te behandelen, dat gelijke hoeveelheden slibfractie in gebruik zijn. Hieraan zijn echter praktische bezwaren verbonden. Door weinig grond in bewerking te nemen, zoodat de in gebruik zijnde hoeveelheden slibfractie slechts weinig uiteenloopen, kan men aan het bovenstaande zooveel mogelijk tegemoet komen.

Door het Bodemkundig Instituut wordt voor de bepaling van het gehalte aan zuur-oplosbare kali steeds 10 g grond met 200 cc van een 5 proc. zoutzuur-oplossing gedurende twee uur gekookt. Om een regelmatige verwarming van de vloeistof te bevorderen wordt de kookkolf in een glycerinebad met een temperatuur van 130° C geplaatst, terwijl om verandering van de zoutzuur-concentratie door verdamping van water tegen te gaan de kookkolf van een terugvloeikoeler is voorzien.

Neemt men een sterkere zoutzuur-oplossing dan worden hogere kali-gehalten gevonden. Door een zoo sterk mogelijke zoutzuur-oplossing te nemen is het evenwel niet mogelijk alle in den grond aanwezige kali daaraan te onttrekken. Om dit tot stand te brengen, dus om het „totaal kali”-gehalte van den grond te leeren kennen, moet de grond ontsloten worden, hetgeen het best kan geschieden volgens de methode *Smith* (8).

*Kali-bevattende mineralen als bron voor de zuur-oplosbare kali.* Röntgenografische onderzoeken hebben duidelijk aangetoond, dat het klei-complex grootendeels is samengesteld uit mineralen en dat er onder deze mineralen voorkomen, die kali bevatten. Deze kali-bevattende mineralen moeten dus als de leveranciers van de zuur-oplosbare kali worden beschouwd, zoodat de zuur-oplosbare kali tot de bouwsteenen van de in de kleisubstantie voorkomende kali-bevattende mineralen behooren.

In de Nederlandsche gronden heeft men voornamelijk de volgende kali-bevattende mineralen aangetroffen.

De tot de glimmer-groep behorende

muscoviet  $K Al_2 (Al Si_3) O_{10} (OH)_2$

en

biotiet  $K_2 (Mg_3 Fe) Al (Al_2 Si_5) O_{20} (OH)_4$

en de tot de veldspaatgroep behorende

kali-veldspaat ( $K Al Si_3 O_8$ ), hetzij als orthoklaas of als mikrolieten.

Alle bovengenoemde kali-bevattende mineralen vond *van Baren* (9) in een Rijnklei van Lexkesveer bij Wageningen, terwijl hij in een Maasklei van Echt, Z.O. van Roermond, voornamelijk muscoviet aantroef en in een Maasklei van Hedel (Gld.) naast muscoviet ook orthoklaas. Verder nam hij waar, dat in de fracties beneden de 100 mu van deze gronden de hoeveelheid veldspaat, evenals de hoeveelheid kwarts, zeer sterk afneemt naarmate de deeltjes kleiner worden, terwijl daarentegen de hoeveelheid glimmer sterk toeneemt. Vermoedelijk moet dit hieraan worden toegeschreven, dat de veldspaat gemakkelijker door hydrolyse wordt aangetast dan de glimmers. Het mineraal muscoviet komt dus hoofdzakelijk in de fijnste fracties van een grond voor. Zoo vond *Favejee* (10) op grond van röntgenografisch onderzoek in de kleifracties, d.w.z. in de fracties van de deeltjes met een diameter kleiner dan 2 mu, van verschillende Nederlandsche zeekleigronden een muscoviet-gehalte liggende tusschen 27 en 40 %. Voor kweldergrond vóór den Negenboerenpolder (Gr.) was dit percentage 40 à 45 en voor zeeslib 24 à 30. Voor rivierkleigronden vond hij een muscoviet-percentage liggende tusschen 23 en 36, terwijl de kleifractie van een leemgrond uit de omgeving van Eindhoven 51 à 58 % muscoviet bleek te bevatten.

Verder heeft *Clark* (11) bij röntgenografisch onderzoek van bodemprofielen waargenomen, dat in de fracties, kleiner dan 2 mu, van boven elkaar liggende lagen het gehalte aan glimmer van boven naar beneden afneemt met een gelijktijdige toeneming van het gehalte aan kaolinit, terwijl volgens *Ehlers* (12) het gehalte aan glimmer afneemt en dat aan kaolinit toeneemt naarmate de gronden tot een geologisch oudere periode behooren, zoodat in diluviale gronden hoofdzakelijk glimmer voorkomt naast weinig kaolinit en in tertiaire gronden voornamelijk kaolinit naast weinig glimmer.

Overgang van zuur-oplosbare kali in uitwisselbare kali. Zooals reeds is medegedeeld, vonden *Kelley* c.s. (1), dat door fijner malen van colloïdale gronddeeltjes het gehalte aan uitwisselbare kali toeneemt. Wanneer nu deze gronddeeltjes voor het grootste gedeelte uit mineralen zijn samengesteld, moeten deze mineralen ook de toeneming veroorzaken. In verband met de structuur van de kali-houdende mineralen is dit zeer goed aan te nemen. Zij splijten langs de vlakken, waarin de kaliumionen zijn gelegen. Door het fijner malen van deze mineralen zullen dus steeds meer kaliumionen van het binnenste van deze mineralen naar het oppervlak verhuizen. Waren zij eerst in hoofdzaak door zuren in oplossing te brengen, nadat zij aan het oppervlak zijn komen te liggen, zullen zij ook de eigenschap om tegen andere positieve ionen uit te wisselen verkregen hebben.

In overeenstemming hiermede vonden *Kelley* en *Jenny* (13), dat door een neutrale ammonium-acetaat oplossing aan de kali-houdende mineralen muscoviet en biotiet door fijnmalen veel meer kalium onttrokken kan worden, zooals uit Tabel V blijkt.

TABEL V.

Effect van fijnmalen op de extractie van kalium door ammonium-acetaat.

		Basen geëxtraheerd door $\text{NH}_4$ -acetaat		Geadsorbeerd $\text{NH}_4$
		Mg	K	
Muscoviet ....	gezeefd	m.e.	m.e.	m.e.
	100 mesh	sp.	9.1	10.5
	gemalen	sp.	52.5	48.3
Biotiet .....	gezeefd			
	100 msh	14.3	8.2	8.8
	gemalen	113.0	60.0	62.0

De geadsorbeerde hoeveelheid  $\text{NH}_4$  uit de acetaat-oplossing bleek equivalent te zijn met de in oplossing gegane hoeveelheid kalium, zoodat dus de kalium tegen  $\text{NH}_4$  was uitgewisseld.

Verder konden deze onderzoekers waarnemen, dat de basen-uitwisselingscapaciteit van de veldspaten door het steeds fijner malen van deze mineralen steeds meer toenam, voornamelijk bij orthoklaas. Dit is eveneens een gevolg van het steeds grooter worden van het gehalte aan uitwisselbare kali. In den fijnsten toestand bedroeg bij dit mineraal de uitwisselingscapaciteit per 100 g 91.5 m.e.

Maar niet alleen door ze fijner te malen, ook door verweering en aantasting van de kali-houdende mineralen zullen kalium-ionen van het meer inwendige naar het oppervlak verhuizen en van zuur-oplosbare kali in uitwisselbare overgaan. Verweering heeft voornamelijk aan de mineraaloppervlakken plaats en bestaat in een hydrolyse van de daar aanwezige silicaten.

Muscoviet is resistenter voor verweerende invloeden dan biotiet. Dat biotiet gemakkelijker wordt aangetast, wordt aan de aanwezigheid van ijzer in dit mineraal toegeschreven. Dit ijzer gaat door hydrolyse over in ijzerhydroxyde, dat snel oxydeert en daarbij overgaat in ijzeroxyde, zoodat het ijzer aan het mineraal onttrokken wordt en dit gedeeltelijk uiteenvalt.

De veldspaten met hun ruimtelijke structuur en twee splijtvlakken verweeren gemakkelijker dan de glimmers met hun plaatstructuur en één splijtvlak. Bij hydrolyse van orthoklaas valt dit kalium-aluminium-silicaat uiteen in kalium-hydroxyde en zuur aluminium-kieselzuur. Dit laatste verliest kieselzuur en hydrateert, waarbij kaoliniet  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ontstaat. Het kalium van de veldspaat is hierdoor vrijgemaakt en zet zich om in kalium-bicarbonaat. De hydrolyse kan nu voortgaan.

In den grond zal dus ook een overgang van zuur-oplosbare kali in uitwisselbare kali plaats vinden. Of dat veel of weinig is, zal in hoofdzaak afhangen van de soort van kali-houdende mineralen, die er in voorkomt en van de mate, waarin de mineralen in dien grond worden aangetast. Hierbij zullen vooral vochtigheidstoestand, koolzuurgehalte en zuurgraad een rol spelen.



Volgens proeven van *Abel* en *Magistad* (14) zou gedurende het braak liggen van een grond, dus wanneer deze slechts aan zon en regen is blootgesteld, niet-uitwisselbare, dus zuur-oplosbare, kali in uitwisselbare overgaan.

Dat bij het uitloogen van een grond met een oplossing van een ammoniumzout ter bepaling van de uitwisselbare kali een eindpunt wordt bereikt, wijst er op, dat er dus tijdens deze bepaling practisch geen overgang van zuur-oplosbare kali in uitwisselbare plaats vindt.

*Overgang van uitwisselbare-kali in niet-uitwisselbare of zuur-oplosbare.* Vele onderzoekers hebben kunnen waarnemen, dat ook uitwisselbare kali in niet-uitwisselbare kan overgaan. Aan een dergelijken overgang worden verschillende namen gegeven, zooals kali-vastlegging, kali-fixeering, terwijl *Chaminade* (15) dit verschijnsel met den naam van retrogradatie betitelt.

Deze kali-binding in niet-uitwisselbaren vorm zou volgens *Chaminade* reeds worden teweeggebracht door den grond een paar weken in contact met een oplossing van een kaliumzout te laten staan. Hij stelde vast, dat bij dergelijke proeven van de toegevoegde hoeveelheid  $K_2O$  (20 tot 50 mg per 100 g grond) tot ongeveer 20 à 30 % in niet-uitwisselbaren vorm kan overgaan.

*Volk* (16) daarentegen nam bij zijn proeven waar, dat bij enkel staan van den grond met een  $KCl$ - of  $KHCO_3$ -oplossing geen binding van kali in niet-uitwisselbaren vorm plaats vond, maar dat deze eerst optrad bij indrogen bij kamertemperatuur en bij afwisselend bevochtigen en weer indrogen van den grond, terwijl temperatuursverhooging tot  $70^\circ$  dit proces versnelde. Deze binding zou zich bijna uitsluitend tot de deeltjes van de fractie kleiner dan 2  $\mu$  bepalen, terwijl de aard van deze fractie ook van invloed zou zijn. De hoeveelheid, die werd gebonden, nam bij toevoeging van grootere hoeveelheden aanvankelijk snel toe om vervolgens slechts weinig meer te stijgen. Zij nam af na uitlooging van den grond met  $HCl$  en vermeerderde door behandeling van den grond met kalk en uitloogen met  $Na_2CO_3$ .

Dat de grond gemakkelijk kali in niet-uitwisselbaren vorm kan binden, is door *Hetterschij* op de volgende wijze aangetoond. Hij mengde verschillende kleigronden met een oplossing van  $KCl$  zoodanig, dat aan 100 g grond 60 mg  $K_2O$  werden toegevoegd. De aldus behandelde gronden liet hij vier weken in glasdoozen staan. Tegelijkertijd bewaarde hij op dezelfde wijze gedeelten van deze gronden gemengd met dezelfde hoeveelheid water, doch zonder kali. Na vier weken liet hij de gronden aan de lucht drogen. Gedeelten van de gedroogde gronden werden gedurende één uur met een normaal oplossing van ammoniumacetaat, schudverhouding 1 : 10, geschud, waarna de grond op een *Zsigmondy*-membraan scherp werd afgezoogen en éénmaal met water uitgewassen. In het filtraat werd het kali-gehalte bepaald. Door vergelijking van de kali-cijfers van de filtraten der wel en niet met  $KCl$  behandelde gronden kan berekend worden, welk percentage van de toegevoegde 60 mg  $K_2O$  in niet-uitwisselbaren vorm is vastgelegd. Door schudden van den grond met een ammonium-acetaat oplossing, bepaalt men weliswaar niet alle uitwisselbare kali, maar de verkregen cijfers kunnen toch wel een indruk geven van de kali-binding in niet-uitwisselbaren vorm.

In Tabel VI zijn voor eenige zeekleigronden de cijfers, die *Hetterschij* bij dit onderzoek verkreeg, opgenomen.

Bij grond No. 105321 uit Zoutkamp is dus van de toegevoegde 60 mg  $K_2O$   $56 - 10.5 = 46.5$  mg of  $46.5 \times 100 : 60 = 77.5$  % in uitwisselbaren vorm opgenomen en 22.5 % in niet-uitwisselbaren vorm vastgelegd (kolom 7). Bij de onderzochte gronden varieert het percentage van de toegevoegde kali, dat in niet-uitwisselbaren vorm is gebonden, van 22.5 tot 80. Voor sommige gronden is dit percentage dus vrij groot. Een verband tusschen het gehalte aan kleisubstantie en de mate van binding is bij deze gronden niet waar te nemen.

Ook in het veld zal een overgang van uitwisselbare kali in niet-uitwisselbare plaats vinden, vooral daar de gronden in de natuur aan herhaaldelijk indrogen en weer bevochtigen zijn blootgesteld. Vooral na een bemesting met kali zal men een dergelijken overgang kunnen verwachten. Dat deze inderdaad plaats vindt, toonen de  $KHCl$ -cijfers, welke *Hetterschij* bij een kali-proefveld vóór en op verschillende tijdstippen na de kali-bemesting gevonden heeft en die in Tabel VII zijn weergegeven.

TABEL VI.  
Binding van kali in niet-uitwisselbaren vorm.

No.	Herkomst	Op 100 g grond komen voor:				Van de toegevoegde kali vastgelegd in proc.
		Org. stof	Slibfractie	mg K <sub>2</sub> O geëxtraheerd door NH <sub>4</sub> -acetaat		
				zonder KCl	met KCl	
		g	g			
105321	Zoutkamp	1.6	13	10.5	56	22.5
104051	Molenrij	2.6	16	6	45	35
842	Uithuizermeeden	2.4	17	7	40	45
105277	Uithuizen	1.9	22	9.5	41	50
308	Spijk	2.0	22	11.5	48	40
104053	Warhuizen	1.6	29	9	34	60
105287	Oosterburen	1.8	33	13.5	42	55
304	Spijk	1.6	33	11.5	46	40
283	Huizinge	2.3	40	16	43	55
104764	Meeden	3.3	42	6	42	40
756	Finsterwolde	4.1	51	39	50	80
840	Uithuizermeeden	2.6	54	23	55	45
860	Garmerwolde	8.8	54	14.5	44	50
758	Midwolda	3.7	60	20	40	65
106135	Hamdijk	4.6	66	25	67	35
104856	Schildwolde	9.2	68	16	49	45
877	Westerlee	6.1	70	15	39	60
761	Scheemda	3.7	72	21	50	50
759	Midwolda	3.5	74	28	39	80
857	Schildwolde	4.0	78	20	47	55

TABEL VII.  
K<sub>HCl</sub>-cijfers vóór en op verschillende tijdstippen ná een kali-bemesting.

Kali-proefveld op zavelgrond Pr. 172	Bouwvoor				Ondergrond			
	Vóór de bemesting	Ná de bemesting			Vóór de bemesting	Ná de bemesting		
		6 weken	3 maanden	5 maanden		6 weken	3 maanden	5 maanden
Geen K <sub>2</sub> O .....	8.5	8	7	8.5	7.5	7.5	7.5	7.5
200 kg K <sub>2</sub> O (oude nul-object) .....	11	14	12	10.5	8	8	8	7.5
200 kg K <sub>2</sub> O (oude K-object) .....	11	16	13.5	12	10	9.5	9.5	8

Bij beschouwing van deze cijfers ziet men, dat ná de bemesting de K<sub>HCl</sub>-cijfers van de bouwvoor eerst toenemen om vervolgens vrij snel te dalen, zoodat 5 maanden ná de bemesting deze weer op hetzelfde niveau als vóór de bemesting zijn aangeland. Deze daling is natuurlijk voor een deel aan onttrekking door het gewas toe te schrijven, maar volgens een analyse van het verbouwde gewas is deze hoeveelheid gering ten opzichte van de gedaalde hoeveelheid. Het zou natuurlijk ook mogelijk zijn, dat deze daling ten deele veroorzaakt is door een verplaatsing van kali naar den ondergrond. De K<sub>HCl</sub> cijfers van den ondergrond toonen evenwel aan, dat een dergelijke verplaatsing niet heeft plaats gehad. Zoowel de ondergrond van de objecten, die geen kali ontvingen, als die van de met kali bemeste objecten, geven dezelfde K<sub>HCl</sub>-cijfers. Die voor het object 200 kg K<sub>2</sub>O (oude K-object) zijn wel iets hooger dan de K<sub>HCl</sub>-cijfers van de beide andere

objecten, maar dit verschil bestond reeds vóór de bemesting. De waargenomen daling zal dan ook wel grootendeels aan een binding van kali in niet-uitwisselbaren vorm moeten worden toegeschreven.

Dat er een overgang van uitwisselbare kali in niet-uitwisselbare in den grond kan plaats vinden, staat wel vast.

Toch blijkt uit verschillende onderzoekingen (3, 17), dat niet alle gronden in staat zijn aantoonbare hoeveelheden kali in niet-uitwisselbaren vorm vast te leggen. Bij sommige gronden is dit eerst het geval, nadat zij herhaaldelijk beplant zijn, waardoor zij een zekere hoeveelheid uitwisselbare en niet-uitwisselbare kali hebben verloren. Volgens onderzoekingen van *Chaminade* (18) zou de binding in niet-uitwisselbaren vorm eerst optreden, wanneer de grond een hoeveelheid uitwisselbare kali bevat, welke beneden 4 % van de som der uitwisselbare basen, bepaald bij pH = 7, is gelegen.

Toediening van organische stof schijnt de binding in niet-uitwisselbaren vorm tegen te gaan.

Aangenomen mag worden, dat de in niet-uitwisselbaren vorm overgegane kali zich wel hoofdzakelijk in het buitenste gedeelte van de gronddeeltjes zal bevinden. Om in het inwendige van deze deeltjes te geraken moet diffusie plaats vinden en diffusie is een zeer langzaam proces. De in niet-uitwisselbaren vorm overgegane kali zal dus wel in hoofdzaak door zoutzuur in oplossing gebracht kunnen worden, zoodat men hier te maken heeft met een overgang van uitwisselbare kali in zuur-oplosbare. Op welke wijze deze overgang verklaard moet worden, zal nader uiteengezet worden door den Heer *Domíngo*, die ook het belangrijke werk van *Hauser* (19) over de kali-binding in niet-uitwisselbaren vorm zal bespreken.

*Het gehalte aan zuur-oplosbare kali.* Het gehalte aan zuur-oplosbare kali van een grond, waarmede dus bedoeld wordt het gehalte aan kali, dat bij behandeling van dezen grond met een sterk zuur in oplossing gaat, verminderd met zijn gehalte aan uitwisselbare kali, zal dus, behalve van de sterkte van het zuur en de verhouding grond : zuuroplossing, in hoofdzaak afhangen van de soort van kali-houdende mineralen, die in dien grond voorkomen en van de hoeveelheid daarvan. Aangezien het gehalte aan kali in deze mineralen niet gelijk is, terwijl ook de wijze, waarop de kali in deze mineralen gebonden zit, niet dezelfde is en deze mineralen ook niet in dezelfde mate worden aangetast, is het te verwachten, dat het gehalte aan zuur-oplosbare kali voor gronden van verschillende formaties in meer of mindere mate zal uiteen loopen. Bovendien zal dit gehalte ook eenigszins afhangen van de mate, waarin overgang van zuur-oplosbare kali in uitwisselbare en van uitwisselbare kali in zuur-oplosbare heeft plaats gevonden.

Reeds in 1920 heeft *Hissink* (2) aangetoond, dat het gehalte aan zuur-oplosbare kali ten opzichte van dat aan uitwisselbare kali aanzienlijk grooter is.

*Hissink* heeft van een zevental meer of minder zware kleigronden, die geen koolzure kalk en geen in water oplosbare zouten bevatten, de in zuur-oplosbare basen bepaald door deze gronden met een 25-proc. zoutzuuroplossing te koken (10 g grond met 200 cc zuur-oplossing gedurende 2 uur).

Als resultaat van dit onderzoek vond hij de voor deze zeven gronden in Tabel VIII weergegeven gemiddelde cijfers.

TABEL VIII.

Gemiddelde gehalten in procenten op luchtdrogen grond aan uitwisselbare en zuur-oplosbare basen.

Base	Uitwisselbaar	Zuur-oplosbaar	Verhouding uitwisselbaar tot zuur-oplosbaar als 1 :
Kalk .....	0.834	0.251	0.3
Magnesia .....	0.080	1.340	16.7
Kali .....	0.024	0.826	34.4
Natron .....	0.033	0.270	8.2

Uit deze cijfers blijkt duidelijk het geringe gehalte aan uitwisselbare kali ten opzichte van dat aan zuur-oplosbare kali. Tegenover 34 % zuur-oplosbare kali staat slechts 1 % uitwisselbare kali. Dit is in sterke tegenstelling met de kalk. Bij de kalk blijkt tegenover 1 % uitwisselbare slechts 0.3 % zuur-oplosbare voor te komen. Bijna alle kalk komt dus in den uitwisselbaren vorm voor. Het is dus begrijpelijk, dat *Kelley* c.s. bij het fijner malen van colloïdale gronddeeltjes vrijwel geen toeneming van de uitwisselbare kalk vond, terwijl het gehalte aan uitwisselbare kali aanzienlijk toenam (zie Tabel II).

Ik wees er reeds op, dat door behandeling met een sterk zuur niet alle in den grond aanwezige kali, daaraan onttrokken kan worden. De zuur-oplosbare kali is dus slechts een deel van de in den grond aanwezige „totaal kali”. Welk deel dit is, daarvan geven de volgende cijfers van *Maschhaupt* (7) ons een indruk. Bij een zavelgrond uit de Provincie Groningen met ongeveer 23 % slibfractie vond *Maschhaupt*, dat in 5-proc. HCl 0.168 %  $K_2O$  in oplossing ging, wanneer 40 g van dezen grond met 200 cc zuur-oplossing werden gekookt. Dit cijfer geeft dus de zuur-oplosbare plus de uitwisselbare kali aan. Na ontsluiting van dezen grond werd een totaal kaligehalte van 1.55 % gevonden. Voor een Dollardgrond uit den Reiderwolderpolder met ongeveer 66 % slibfractie waren deze percentages resp. 0.365 en 2.71.

Het gehalte aan uitwisselbare kali plus het gehalte aan zuur-oplosbare kali, zooals dit hier bepaald is, bedragen dus ongeveer een achtste à een tiende van het gehalte aan totaal kali.

Hoe staat het nu met het gehalte aan zuur-oplosbare kali bij zandgronden met meer of minder organische stof?

In een monster van de bouwvoor (18 cm) van een zeer ouden dalgrond met ruim 26 % organische stof vond *Hissink* (2) destijds bij koken met een 25-proc. zoutzuuroplossing van den vooraf zacht gegloeiden grond een gehalte aan zuur-oplosbare kali op droge stof van 0.118 %, terwijl dat aan uitwisselbare kali 0.016 % bedroeg. Bij dezen grond zou dus tegenover 1 % uitwisselbare kali 7 % zuur-oplosbare staan. Het is evenwel vrijwel zeker, dat deze humushoudende zandgrond nog iets klei-substantie bevat, zoodat de zuur-oplosbare kali voor een deel en misschien wel voor het grootste deel hiervan afkomstig is en niet van de organische stof.

Bij een zandgrond uit Lisse (bollengrond) vond ik als gemiddelde van verschillende bedden de in Tabel IX opgenomen cijfers.

TABEL IX.  
Gemiddelde gehalten in procenten op drogen grond aan uitwisselbare en zuur-oplosbare kali bij een zandgrond.

Diepte van de laag in cm	CaCO <sub>3</sub>	Org. stof (gl.)	Slibfractie	Zandfractie	K <sub>2</sub> O uitwisselbaar	K <sub>2</sub> O zuur-oplosbaar (5% HCl)
0—10	0	2.0	2.4	95.6	0.019	0.025
10—20	0	2.1	2.2	95.7	0.014	0.025
20—30	0	2.1	2.3	95.6	0.009	0.025
30—40	0	2.1	2.3	95.6	0.008	0.024

Terwijl dus het gehalte aan uitwisselbare kali naar diepere lagen afneemt, blijft het gehalte aan zuur-oplosbare kali gelijk. Deze zuur-oplosbare kali moet, voorzoover zij niet van de organische stof afkomstig is, afkomstig zijn van de in dezen zandgrond voorkomende minerale bestanddeelen. Hoeveel op rekening van de organische stof gesteld moet worden, is evenwel niet bekend.

Het hoogere gehalte aan uitwisselbare kali in de bovenste lagen in vergelijking tot dit gehalte in de onderste lagen kan niet het gevolg zijn van ontleding van minerale of organische bestanddeelen in deze lagen, tengevolge waarvan zuur-oplosbare kali in uitwisselbare is overgegaan. Was dit wel het geval geweest, dan zou het gehalte aan zuur-oplosbare kali in

alle lagen niet gelijk zijn. Vermoedelijk moet dit hogere gehalte, althans voor een deel, toegeschreven worden aan binding van kali in uitwisselbaren vorm door de organische stof uit de in den loop der tijden gegeven kalibemesting. Maar dan heeft deze toeneming van het gehalte aan uitwisselbare kali geen vermeerdering van het gehalte aan zuur-oplosbare kali tengevolge gehad, zooals men zou verwachten.

In dit verband moet er op gewezen worden, dat *Hauser* (10) heeft kunnen aantonen, dat de organische stof onder geen enkele omstandigheid kali in niet-uitwisselbaren vorm vastlegt, ook niet wanneer zij irreversibel indroogt.

Men krijgt den indruk, dat de organische stof, zooals zij in de bovenste lagen voorkomt, in het geheel geen zuur-oplosbare kali bevat.

Om dit nader na te gaan heb ik van een ouden dalgrond en van twee zandgronden, resp. van IJhorst en Heino, de gehalten aan uitwisselbare kali en aan zuur-oplosbare kali (5% HCl) bepaald en wel in den oorspronkelijken grond en nadat de organische stof door zacht gloeien resp. door behandelen met kali-vrije waterstofsperoxyde was gedestruueerd.

Tabel X bevat de granulaire samenstelling van deze gronden, terwijl in Tabel XI de verkregen kali-cijfers zijn opgenomen.

TABEL X.  
Granulaire samenstelling van de onderzochte gronden.

No. B	Herkomst	Diepte van de laag in cm	De droge stof bevat in procenten:				Zuurraad (pH)
			CaCO <sub>3</sub>	Org. stof	Slibfractie	Zandfractie	
700	Oude dalgrond Sappemeer	0—18	0	27.1	6.7	66.2	—
2495	Zandgrond	0—25	0	7.7	4.1	88.2	5.4
2496	IJhorst	25—50	0	5.1	3.7	91.2	4.4
3310	Zandgrond	0—20	0	5.6	4.1	90.3	5.3
3311	Heino	20—40	0	6.3	3.4	90.3	4.3

TABEL XI.

Gehalten in procenten op drogen grond aan uitwisselbare en zuur-oplosbare kali (5% HCl) van de onderzochte gronden na verschillende bewerkingen.

No. B	Uitwisselbare K <sub>2</sub> O			Zuur-oplosbare K <sub>2</sub> O		
	Oorspr. grond	na zacht gloeien	na behandeling met H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Oorspr. grond	na zacht gloeien	na behandeling met H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
700	0.019	0.026	0.026	0.043	0.054	0.036
2495	0.010	0.009	0.011	0.021	0.019	0.020
2496	0.004	0.004	0.005	0.015	0.016	0.015
3310	0.016	0.013	0.016	0.013	0.016	0.012
3311	0.012	0.010	0.013	0.012	0.012	0.012

Bij de zandgronden zijn de gehalten aan uitwisselbare kali en aan zuur-oplosbare kali door de destructie van de organische stof practisch niet veranderd. Door deze destructie heeft dus geen overgang van zuur-oplosbare kali in uitwisselbare plaats gehad. Bij den ouden dalgrond is dit wel het geval. Door behandeling met H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> is het gehalte aan uitwisselbare kali iets toegenomen en is het gehalte aan zuur-oplosbare kali evenveel afgenomen. Ook door zacht gloeien is het gehalte aan uitwisselbare kali iets toegenomen en wel evenveel als door behandeling met H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Het gehalte aan zuur-oplosbare kali is door deze behandeling echter ook toegenomen.

De organische stof van den ouden dalgrond bevat dus iets zuur-oplosbare kali. Het grootste gedeelte van deze kali is bij den ouden dalgrond evenwel van de minerale bestanddeelen afkomstig. Bij de zandgronden schijnt de organische stof geen zuur-oplosbare kali te bevatten en moet alle zuur-oplosbare kali van de minerale bestanddeelen afkomstig zijn. Onder minerale bestanddeelen moet hier verstaan worden de deeltjes, zoowel van de slibfractie als van de zandfractie. In de zandfractie van den ouden dalgrond bleek namelijk 14 mg zuur-oplosbare kali per 100 g drogen grond voor te komen. Door *Maschhaupt* (7) is er reeds op gewezen, dat bij behandeling van een grondmonster met een zuur ook uit het zand iets kali in oplossing gaat. Zoo vond hij, dat van de zandfractie van een monster Dollardslik, met 73.6 % zand, bij behandeling met 5-proc. HCl gemiddeld 0.105 %  $K_2O$ , berekend op het  $CaCO_3$ -vrije zand, in oplossing ging.

D. *De opneembaarheid voor de planten van de verschillende vormen van kali, die in den bodem voorkomen.*

Thans willen we nog even nagaan, hoe het gesteld is met de opneembaarheid voor de planten van de verschillende vormen van kali, die in den bodem voorkomen en die in de voorafgaande bladzijden zijn besproken.

De in het bodemvocht opgeloste kali kan natuurlijk direct door de plantenwortels worden opgenomen. Maar ook de in uitwisselbaren vorm aan het klei-humus-complex gebonden kali kunnen de plantenwortels opnemen, al zal dit vermoedelijk iets moeilijker gaan dan met de opgeloste kali. Toch blijken de plantenwortels niet alle uitwisselbare kali uit den grond te kunnen halen, zooals *Hoagland* en *Martin* (17) bij herhaaldelijk beplanten (tot elf maal toe) met tomaten en gerst van verschillende gronden in potten hebben waargenomen. Door bepaling van de door de planten opgenomen kali en de uitwisselbare kali in den grond vóór en na eenige beplantingen konden zij vaststellen, dat, wanneer veel uitwisselbare kali aanwezig was, door de planten in de eerste plaats slechts overwegend uitwisselbare kali werd opgenomen. Bij verdere beplantingen bleek in verhouding tot de opgenomen hoeveelheid uitwisselbare kali steeds grootere hoeveelheden niet-uitwisselbare kali opgenomen te worden.

*Schachtschabel* (3) kon deze waarnemingen bij herhaaldelijk beplanten van een zevental verschillende gronden met Neubauer-kiemplanten bevestigen. Deze onderzoeker bepaalde, hoeveel kali door iedere beplanting aan den grond was onttrokken en tevens de gehalten aan uitwisselbare kali vóór en na iedere beplanting door uitloogen van den grond met een normaal oplossing van  $NH_4Cl$ . Uit deze gegevens, die in Tabel XII gedeeltelijk zijn weergegeven, kon hij berekenen hoeveel uitwisselbare kali en hoeveel niet-uitwisselbare kali door de planten was opgenomen.

Uit de bij dit onderzoek verkregen resultaten bleek, dat de uitwisselbare kali slechts tot een zeker evenwichtspunt aan de Neubauer-planten werd afgegeven. Dit punt lag bij een des te hoogere waarde, naarmate de grond colloïdrijker was, dus meer fijne deeltjes bevatte, en eveneens hooger naarmate meer niet-uitwisselbare kali door de planten werd opgenomen, hetgeen in het algemeen bij de zwaardere gronden het geval was. Naarmate de grond lichter was, werd dit evenwichtspunt des te eerder bereikt. Dit is vermoedelijk ook de reden, waarom de lichte zavelgronden eerder kalibehoeftig zijn dan de zware kleigronden.

Dat de planten niet alle uitwisselbare kali uit den grond kunnen opnemen, kan misschien een gevolg zijn van het waargenomen verschijnsel, dat, naarmate de hoeveelheid uitwisselbare kali afneemt, de overgebleven uitwisselbare kali des te sterker door het klei-complex gebonden wordt. Maar het kan ook hieraan moeten worden toegeschreven, dat er steeds een overgang, zij het dan misschien ook een geringe, van zuur-oplosbare kali in uitwisselbare plaats heeft en dat deze overgang des te grooter is, naarmate het klei-complex minder uitwisselbare kali bevat.

Uit bovengenoemde proeven en uit die van vele andere onderzoekers blijkt, dat de planten dus in staat zijn ook niet-uitwisselbare kali uit den grond op te nemen en wel des te meer naarmate er minder uitwisselbare kali aanwezig is.

Over den in den grond aanwezigen kalivoorraad heeft *Maschhaupt* (20) aan de hand van de bij zijn lysimeter-onderzoekingen verkregen gegevens, enkele interessante beschouwingen gegeven. De gehomogeniseerde jonge zavelgrond uit den Nieuwen Ruigezandsterpolder, in 1877 bedijkt, waarmede de lysimeters van onder tot boven zijn gevuld, bevat bij een slib-

TABEL XII.

Onttrekking van uitwisselbare en niet-uitwisselbare  $K_2O$  door de kiemplanten  
(mg per 100 g grond).

	Neubauer-planten	Uitw.baar na .... beplanting	Opname van uitw.baar $K_2O$	Opname van niet-uitw.baar $K_2O$
<b>Göschwitz</b> (55.3 % < 2 $\mu$ )				
Oorspr. grond .....	—	71.0	—	—
1e beplanting .....	66.0	44.8	26.2	39.8
2e " .....	41.1	29.8	15.0	26.1
3e " .....	19.6	24.5	5.3	14.3
4e " .....	15.7	23.7	0.8	14.9
5e " .....	14.9	22.1	1.6	13.3
Totaal 1—4 .....	142.4		47.3	95.1
<b>Ebersdorf</b> (18.5 % < 2 $\mu$ )				
Oorspr. grond .....	—	52.1	—	—
1e beplanting .....	44.0	12.9	39.2	4.8
2e " .....	8.5	7.9	5.0	3.5
3e " .....	7.3	6.3	1.6	5.7
4e " .....	4.1	6.1	0.2	3.9
Totaal 1—4 .....	63.9		46.0	17.9
<b>Baumgarten</b> (9.2 % < 2 $\mu$ )				
Oorspr. grond .....	—	17.0	—	—
1e beplanting .....	21.0	5.6	11.4	9.6
2e " .....	4.4	4.7	0.9	3.5
3e " .....	1.3	3.8	0.9	0.4
4e " .....	3.8	3.4	0.4	3.4
Totaal 1—4 .....	30.5		13.6	16.9
<b>Renthendorf</b> (6.1 % < 2 $\mu$ )				
Oorspr. grond .....	—	39.1	—	—
1e beplanting .....	36.0	4.6	34.5	1.5
2e " .....	7.9	3.8	0.8	7.1
3e " .....	2.3	3.4	0.4	1.9
Totaal 1—3 .....	46.2		35.7	10.5

gehalte van 23 % per 100 g drogen grond gemiddeld 20.5 mg  $K_2O$  oplosbaar in 0.1 n HCl, gemiddeld 201 mg  $K_2O$  oplosbaar in 5-proc. HCl en gemiddeld 1610 mg totaal  $K_2O$ . Hieruit laat zich berekenen, dat de grond in de lysimeters gemiddeld per ha en tot 1 m diepte bevat: 3234 kg  $K_2O$  oplosbaar in 0.1 n HCl, 31705 kg  $K_2O$  oplosbaar in 5-proc. HCl en 253640 kg totaal- $K_2O$ . Het gemiddelde jaarlijksche kali-verlies bedroeg met het drainwater 58 kg  $K_2O$  per ha en door het gewas, berekend over een 15-jarige periode, 246 kg (door praktijkogsten zou dit zijn 169 kg).

Toegevoerd aan den grond werd totaal jaarlijks uit regen, bemesting en zaaizaad gemiddeld 73.4 kg per ha, zoodat de grond jaarlijks per ha verloor 231 kg  $K_2O$  (met praktijkooigsten 154 kg). Aannemende, dat de kali door de planten onttrokken wordt aan een grondlaag ter dikte van 1 m, dan zou in deze laag een hoeveelheid kali aanwezig zijn, oplosbaar in 0.1 n HCl, voldoende voor 14 jaar (bij praktijkooigsten voor 21 jaar), oplosbaar in 5-proc. HCl voldoende voor 137 jaar (bij praktijkooigsten voor 206 jaar) en een totaal-kali gehalte voldoende voor 1100 jaar (bij praktijkooigsten van 1650 jaar).

Uit deze cijfers blijkt wel overtuigend, dat de kali van de in den grond aanwezige kali-houdende mineralen op een of andere wijze ter beschikking van de planten moet komen, anders zou er in den grond wel zeer spoedig een tekort aan kali voor de planten heerschen.

Verschillende onderzoekers hebben nagegaan of de planten in staat zijn kali uit de kali-houdende mineralen op te nemen. *Blanck* (21) heeft uitgebreide potproeven genomen met zand en fijn gemalen, kali-houdende mineralen met haver als proefplant. Hij vond daarbij, dat bij biotiet 10—15 % van het totaal-kali gehalte werd opgenomen en bij muscoviet hoogstens slechts 3 %. Bij kali-veldspaat was de opname van kali niet grooter dan bij muscoviet. Tot dezelfde resultaten kwam *Prianischnikow* (22) en andere onderzoekers. Bij al deze proeven is echter niets bekend omtrent de fijnheid van de gebruikte mineralen en ook niet over het gehalte aan uitwisselbare kali, dat, zooals we gezien hebben, nauw met de fijnheid der mineralen samenhangt. In welke mate de planten bij deze proeven dus uitwisselbare kali en in welke mate niet-uitwisselbare hebben opgenomen, daarover is niets te zeggen. Toch schijnt het wel vast te staan, dat van de verschillende kali-houdende mineralen biotiet het snelst zijn kali afstaat, terwijl muscoviet-kali minder goed wordt opgenomen dan biotiet-kali. Het voorkomen van biotiet in een kleigrond, zooals van *Baren* in de Rijnklei van Lexkesveer gevonden heeft, zou dan ook als buitengewoon gunstig voor de natuurlijke rijkdom aan kali van een dergelijken grond moeten worden beschouwd. Verder zouden glimmers een meer geschikte kali-bron vormen dan de veldspaten. Mogelijk moet dit hieraan worden toegeschreven, dat de glimmers volgens *Kelley* en *Jenny* (13) hun kali afgeven, zonder dat daarbij de structuur (het rooster) wordt verstoord, terwijl bij orthoklaas alleen kali vrij komt, wanneer het mineraal uiteenvalt. Maar hier staat tegenover, dat de veldspaten gemakkelijker aangetast worden dan de glimmers, zoodat deze laatste overwegend in de fijnste fracties voorkomen en de eerste in de iets grovere fracties, terwijl juist de fijnere deelen in de eerste plaats in aanmerking komen als bron voor de plantenvoedingsstoffen.

Aangenomen mag worden, dat de planten van de niet-uitwisselbare kali in de eerste plaats wel die kali opnemen, die het gemakkelijkst door zuren wordt opgelost. Het kan zijn, dat daarbij de zuur-oplosbare kali eerst in uitwisselbare overgaat, hetgeen hierop zou neerkomen, dat in de rhizosfeer door stoffen, die door de wortels worden afgescheiden, een hydrolyse van de aan het oppervlak der kali-houdende mineralen liggende silicaatmoleculen plaats vindt, waardoor deze uiteenvallen en kali aan het oppervlak komt.

In ieder geval heeft er in den grond bij onttrekking van uitwisselbare kali aan het bodemcomplex een nalevering van kali uit de niet-uitwisselbare kali plaats. De in den grond voorkomende zuur-oplosbare kali kan dus als een soort „reserve-kali” worden beschouwd. Of deze nalevering groot is en vlug plaats vindt, zal van den aard van de in den grond voorkomende kali-houdende mineralen afhankelijk zijn. Voor deze nalevering zal evenwel ook in aanmerking komen de door den grond in niet-uitwisselbaren vorm gebonden, dus gefixeerde of geretrogradeerde kali. In welke mate deze kali voor nalevering in aanmerking komt, zal hiervan afhangen, hoe sterk deze kali gebonden wordt. Dit punt is nog nader in onderzoek.

#### LITERATUUR.

- (1) *W. P. Kelley, W. H. Dore* en *S. M. Brown*, The nature of the base-exchange material of bentonite, soils, and zeolites, as revealed by chemical investigation and X-ray analyses. *Soil Science* 31, 25 (1931).
- (2) *D. J. Hissink*, Bijdragen tot de kennis van de adsorptie-verschijnselen in den bodem. Versl. Landb. Onderz. Rijkslandb. Proefst. 24, 144 (1920).



- (3) *P. Schachtschabel*, Aufnahme von nicht-austauschbarem Kali durch die Pflanzen. Bodenk. u. Pflanzenern. 3 (48), 107 (1937).
- (4) *K. Nehring*, Die Bestimmung des austauschbaren Kaliums als Mittel zur Beurteilung der Kalibedürftigkeit der Böden. Bodenk. u. Pflanzenern. 30 (75), 36 (1942).
- (5) *W. C. Visser*, Over den kalirijkdom van kleigronden. Versl. Landb. Onderz. 48, 729 (1942).
- (6) *O. de Vries* en *C. W. G. Hetterschij*, Remarks on the determination of the potassium regime of the soil. Rec. trav. chim. 59, 789 (1940).
- (7) *J. G. Maschhaupt*, Het zavelproefveld van het Rijkslandbouwproefstation te Groningen in de jaren 1911-1934. Tevens bijdrage tot de kennis der kalk- en kalihuishouding in de Groninger klei- en zavelgronden. Versl. Landb. Onderz. 42, 543 (1936).
- (8) *J. L. Smith*, Ann. 159, 82 (1871).
- (9) *F. A. van Baren*, Het voorkomen en de beteekenis van kali-houdende mineralen in Nederlandse gronden. Diss. Wageningen 1934.
- (10) *J. Ch. L. Favejee*, Mineralogische onderzoekingen aan kleien en kleimineralen. II. Quantitative X-ray analysis of some Dutch soils. Med. Landbouwhoogeschool Wageningen 43, 43 (1939).
- (11) *G. L. Clark*, *F. F. Riecken* en *D. H. Reynolds*, X-ray diffraction studies of two-micron fractions of some genetic soil profiles. Zeitschr. f. Krist. 96, 273 (1937).
- (12) *J. Ehlers*, Röntgenanalytische Untersuchungen von Tonen der keramischen Industrie. Zeitschr. f. angew. Mineralogie 1, 397 (1939).
- (13) *W. P. Kelley* en *H. Jenny*, The relation of crystal structure to base exchange and its bearing on base exchange in soils. Soil Science 41, 367 (1936).
- (14) *F. A. E. Abel* en *O. C. Magistad*, Conversion of soil potash from the nonreplaceable form. Journ. Amer. Soc. Agron. 27, 437 (1935).
- (15) *R. Chaminade* en *G. Drouineau*, Recherches sur la mécanique chimique des cations échangeables. Ann. Agron., Nlle série 6, 677 (1936).
- (16) *N. J. Volk*, The fixation of potash in difficultly available form in soils. Soil Science 37, 267 (1934).
- (17) *D. R. Hoagland* en *J. C. Martin*, Absorption of potassium by plants in relation to replaceable, non-replaceable and soil-solution potassium. Soil Science 36, 1 (1933).
- (18) *R. Chaminade*, La rétrogradation du potassium dans les sols. Ann. Agron., Nlle série 6, 818 (1936).
- (19) *G. F. Hauser*, Die nichtaustauschbare Festlegung des Kalis im Boden. Diss. Wageningen 1941.
- (20) *J. G. Maschhaupt*, Lysimeter-onderzoekingen aan het Rijkslandbouwproefstation te Groningen en elders. Versl. Landbouwk. Onderz. 47, 165 (1941).
- (21) *E. Blanck*, Die Glimmer als Kaliquelle für die Pflanzen und ihre Verwitterung. J. Landw. 60, 97 (1912).
- Idem*, Die Bedeutung des Kalis in den Feldspäten für die Pflanzen. J. Landw. 61, 1 (1913).
- (21) *D. E. Haley*, Availability of potassium in orthoclase for plant nutrition. Soil Science 15, 167 (1923).
- (22) *D. Prianischnikow*, Vegetationsversuche mit verschiedenen kalihaltigen Mineralien. Landw. Vers. Stat. 77, 399 (1912).