

631.416.4

INSTITUUT VOOR BODEMVRUCHTBAARHEID, GRONINGEN

DE GEHALTEN VAN DE GROND AAN KALI OPLOSBAAR
IN ZOUTZUUR BIJ OPLOPENDE CONCENTRATIES

(BIJDRAGE TOT DE KENNIS VAN DE KALIFIXATIE)

WITH A SUMMARY

THE AMOUNTS OF POTASSIUM SOLUBLE IN HYDROCHLORIC ACID
OF VARIOUS CONCENTRATIONS IN SOILS

(CONTRIBUTION TO THE KNOWLEDGE OF POTASSIUM FIXATION)

JAC. VAN DER SPEK

J. TEN HAVE

CENTRUM VOOR



VERSL. LANDBOUWK. ONDERZ. No. 65.11 — WAGENINGEN — 1959

159125

INHOUD

	blz.
I. INLEIDING.	3
II. DE OPLOSBAARHEID VAN KALI IN ZOUTZUUR BIJ VERSCHILLENDE KLEI-GRONDEN	4
1. Kritiek op de gevolgde analysemethode.	5
2. Bespreking van de gevonden analyseresultaten	9
3. Kali in de slib- en zandfracties	14
III. DE OPLOSBAARHEID VAN KALI IN ZOUTZUUR VAN VERSCHILLENDE STERKTEN BIJ JARENLANGE BEMESTING MET KALI.	17
1. Bespreking van de verschillende kaligehalten	20
2. Het verschil in kaligehalten op de al dan niet met kali bemeste veldjes in vergelijking met de totaal gegeven hoeveelheid kali	23
IV. DE OPLOSBAARHEID VAN DE KALI IN ZOUTZUUR VAN VERSCHILLENDE CONCENTRATIES BIJ STERK FIXERENDE GRONDEN, ZONDER EN MET EEN KALIBEMESTING	26
1. Resultaten bij herhaalde extractie	31
2. Bemesting en kali-onttrekking op het proefveld Ammerzoden	36
SAMENVATTING	38
SUMMARY	40
LITERATUUR	42

DR. JAC. VAN DER SPEK en J. TEN HAVE waren ten tijde van dit onderzoek verbonden aan het toenmalige Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. te Groningen.

I. INLEIDING

In een voorgaande verhandeling (VAN DER SPEK, 1944) is er door een van ons reeds op gewezen, dat de planten in staat zijn naast uitwisselbare kali ook niet-uitwisselbare kali uit de grond op te nemen en naar verhouding des te meer naarmate er minder uitwisselbare kali aanwezig is.

Van de niet-uitwisselbare kali zullen de planten in de eerste plaats die kali opnemen, die het gemakkelijkst door de kalimineralen wordt afgegeven dus het gemakkelijkst door zuren wordt opgelost. Met de meer of mindere aantastbaarheid van de kalimineralen door zuren hangt de mate van nalevering van kali door de grond samen.

Teneinde iets meer omtrent de oplosbaarheid van de niet-uitwisselbare kali in zoutzuur te weten te komen, zijn van een vijftal kleigronden de hoeveelheden kali bepaald, die bij koken van 10 g van deze gronden met 200 ml zoutzuuroplossingen van 0,5%, 1,0%, 2,5%, 5,0%, 10,0% en 25,0%, gedurende twee uur in een glycerinebad met terugvloei-coeler, opgelost werden.

Verder werden in dit onderzoek enkele monsters van vier kaliproefvelden en van twee sterk kalifixerende rivierkleigronden betrokken.

II. DE OPLOSBAARHEID VAN KALI IN ZOUTZUUR BIJ VERSCHILLENDE KLEIGRONDEN

Voor dit onderzoek zijn genomen (1) een grond uit de in 1924 ingedijkte Carel-Coenraadpolder, (2) een uit de polder Simson (Nieuw-Beerta, ingedijkt 1550), dus een jonge en een oude, zeer zware kleigrond uit het Dollardgebied in noordoostelijk Groningen, (3) een lichte kleigrond uit de in 1875 ingedijkte Westpolder, noordwestelijk Groningen, (4) een zware zavelgrond uit de Oude Bildtpolder ten noorden van de Middelweg, ingedijkt tussen 1505 en 1508 in Het Bildt (Fr.) en (5) een zware rivierkleigrond uit Heteren (Betuwe) van een perceel, dat in geen jaren enige bemesting had ontvangen.

Tabel I (bovenste gedeelte) geeft een overzicht van de granulaire samenstelling van de onderzochte monsters van deze gronden.

TABEL I. Granulaire samenstelling van de onderzochte monsters

No. B	Herkomst	Diepte van de laag in cm	De droge grond (105° C) bevat in procenten					
			CaCO ₃	Org. stof (elem.)	Deeltjes		Slibfractie	Zandfractie
					< 2 μ	2-16 μ		
3568	Carel Coenraadpolder	0-14	8,7	5,6	38,7	17,8	56,5	29,2
7198	Polder Simson	0-25	0	4,8	48,9	23,1	72,0	23,2
7208								
7218								
7146	Westpolder	0-25	9,0	2,3	32,4	11,8	44,2	44,5
17800	Oude Bildtpolder	0-20	5,0	2,2	26,2	10,6	36,8	56,0
12813	Heteren	0-20	0	3,7	40,9	24,6	65,5	30,8
2660	Carel Coenraadpolder	0-25	9,1	5,0	—	—	51,1	34,8
No. B	Origin	Depth of the layer in cm	CaCO ₃	Organic matter	Particles		Silt < 16 μ	Sand > 16 μ
					< 2 μ	2-16 μ		
					Dry soil (105° C) in %			

TABEL I. Granular composition of the investigated soil samples

Van de onderzochte monsters gingen de in tabel 2 opgenomen hoeveelheden kali in de verschillende zoutzuurconcentraties in oplossing. Tevens is in deze tabel opgegeven hoeveel uitwisselbare kali (bepaald door percolatie met een normaal NH₄Cl-oplossing) deze gronden bevatten en hoeveel kali er totaal bij volledig ontsluiten van de grond vrijkomt.

Onder de gehalten aan kali oplosbaar in de verschillende zoutzuurconcentraties en aan totaal kali nà ontsluiten zijn ook begrepen de gehalten aan uitwisselbare kali.

TABEL 2. Gehalten aan uitwisselbare kali, kali oplosbaar in zoutzuur van verschillende concentraties en totaal kali in % van de droge grond

Herkomst	Gehalten aan kali (K_2O) in procenten op droge grond							
	uitwisselbaar	oplosbaar in HCl van						Totaal na ontsluiten
		0,5%	1,0%	2,5%	5,0%	10,0%	25,0%	
C.C.-polder	0,091	0,126	0,189	0,311	0,480	0,658	0,848	2,370
Polder Simson	0,036	0,085	0,153	0,302	0,509	0,726	0,948	2,581
Westpolder	0,027	0,060	0,114	0,227	0,384	0,548	0,707	2,091
Oude Bildtpolder	0,026	0,068	0,122	0,220	0,340	0,474	0,604	2,037
Heteren	0,014	0,041	0,069	0,165	0,322	0,528	0,755	2,434

Na aftrek van de gehalten aan uitwisselbare kali - after deduction of the contents exchangeable K_2O :

C.C.-polder	—	0,035	0,098	0,220	0,389	0,567	0,757	2,279
Polder Simson	—	0,049	0,117	0,266	0,473	0,690	0,912	2,545
Westpolder	—	0,033	0,087	0,200	0,357	0,521	0,680	2,064
Oude Bildtpolder	—	0,042	0,096	0,194	0,314	0,448	0,578	2,011
Heteren	—	0,027	0,055	0,151	0,308	0,514	0,741	2,420

Origin	exchangeable	soluble in HCl of						total
		0.5%	1.0%	2.5%	5.0%	10.0%	25.0%	
	<i>Potassium contents (K_2O) in % of dry soil</i>							

TABEL 2. Contents of exchangeable potassium, potassium soluble in hydrochloric acid of various concentrations and total potassium in % of dry soil

Voor een juist inzicht in de kalihuishouding van de onderzochte grondmonsters is het beter deze laatste gehalten apart te beschouwen en van de eerste af te trekken. Men krijgt dan de waarden, die in het benedenste gedeelte van tabel 2 zijn opgenomen.

1. KRITIEK OP DE GEVOLGDE ANALYSEMETHODE

Daar de gronden uit de C.C.-polder, Westpolder en Oude Bildtpolder nog veel koolzure kalk bevatten en deze een gedeelte van het zoutzuur verbruikt om in oplossing te gaan, worden de 10 g van deze monsters feitelijk met zoutzuur van een lagere concentratie gekookt dan de 10 g van de monsters zonder koolzure kalk. Het gevolg hiervan is dat bij de gronden met koolzure kalk minder niet-uitwisselbare kali in oplossing zal zijn gegaan, dan met de aangegeven zoutzuurconcentratie overeenstemt en dit verschil zal groter zijn naarmate deze concentratie lager is.

Wij hebben nu eens nagegaan welke zoutzuurconcentraties overblijven, wanneer met de hoeveelheid zoutzuur, die nodig is om de koolzure kalk op te lossen, rekening gehouden wordt.

De C.C.-polder bevat 8,3 g $CaCO_3$ per 100 g luchtdroge grond, of per 10 g 0,83 g $CaCO_3$ en deze hoeveelheid verbruikt 0,61 g HCl. De 10 g luchtdroge grond zijn

gekookt met 200 ml 0,5 % HCl overeenkomende met 1,0 g HCl. Er is dus over 0,39 g HCl overeenkomende met 0,2 %.

Op deze wijze zijn voor de drie genoemde monsters de overblijvende zoutzuurconcentraties berekend, welke in tabel 3 zijn opgenomen.

TABEL 3. Zoutzuurconcentraties na aftrek van de hoeveelheid zoutzuur door de aanwezige hoeveelheid CaCO_3 verbruikt

In plaats van	Zoutzuurconcentraties		
	C.C.-polder	Westpolder	Oude Bildtpolder
0,5 %	0,20	0,18	0,32
1,0 %	0,70	0,68	0,82
2,5 %	2,20	2,18	2,32
5,0 %	4,7	4,7	4,8
10,0 %	9,7	9,7	9,8
25,0 %	24,7	24,7	24,8
<i>Instead of</i>	<i>Concentrations of hydrochloric acid</i>		

TABLE 3. *Concentrations of hydrochloric acid after deduction of the quantity hydrochloric acid used up by the quantity of CaCO_3 present in the soil*

Wanneer wij nu aannemen dat de in het benedenste gedeelte van tabel 2 opgenomen hoeveelheden niet-uitwisselbare kali in oplossing zijn gegaan bij de in tabel 3 opgenomen zoutzuurconcentraties, dan kunnen wij door interpolatie of uit een grafiek opmaken hoeveel niet-uitwisselbare kali bij 0,5 % HCl enz. in oplossing zou zijn gegaan, wanneer de grond inderdaad met deze zoutzuurconcentraties was gekookt, dus geen koolzure kalk in de grond aanwezig was geweest.

TABEL 4. Op aanwezigheid van CaCO_3 gecorrigeerde gehalten aan niet-uitwisselbare kali, die in oplossing gaan in HCl van verschillende concentraties

Herkomst	Op aanwezigheid van CaCO_3 gecorrigeerde gehalten aan niet-uitwisselbare kali, die in oplossing gaan in HCl van					
	0,5 %	1,0 %	2,5 %	5,0 %	10,0 %	25,0 %
C.C.-polder	0,073	0,122	0,240	0,400	0,571	0,757
Polder Simson	0,049	0,117	0,266	0,473	0,690	0,912
Westpolder	0,066	0,111	0,220	0,367	0,524	0,680
Oude Bildtpolder	0,060	0,107	0,202	0,319	0,450	0,578
Heteren	0,027	0,055	0,151	0,308	0,514	0,741
<i>Origin</i>	<i>Contents of non-exchangeable potassium, corrected on the presence of CaCO_3, soluble in HCl of</i>					
	<i>0.5%</i>	<i>1.0%</i>	<i>2.5%</i>	<i>5.0%</i>	<i>10.0%</i>	<i>25.0%</i>

TABLE 4. *Contents of non-exchangeable potassium, corrected on the presence of CaCO_3 , soluble in HCl of various concentrations*

De door grafische interpolatie verkregen waarden zijn in tabel 4 weergegeven. Tevens zijn in deze tabel opgenomen de waarden uit tabel 2 voor de monsters uit polder Simson en Heteren.

Voor 25,0% HCl is aangenomen dat de iets lagere zoutzuurconcentratie geen invloed op de hoeveelheid opgeloste niet-uitwisselbare kali heeft gehad. In verband met de invloed gevonden bij 10,0% HCl is deze aanname zeker te rechtvaardigen.

Uit de cijfers van tabel 4 blijkt dat de invloed van de aanwezige koolzure kalk op het in oplossing gaan van niet-uitwisselbare kali bij 0,5% HCl, zoals te verwachten was, zeer groot is. Bij de C.C.-polder en Westpolder met de zeer hoge CaCO_3 -gehalten van ongeveer 9% kan bij deze zoutzuurconcentratie, wanneer met de aanwezige koolzure kalk rekening gehouden wordt, de dubbele hoeveelheid niet-uitwisselbare kali in oplossing gaan. Bij 1,0% HCl is deze invloed, hoewel in procenten veel minder, toch nog niet onaanzienlijk. Bij 2,5% HCl is zij nog minder en bij de nog hogere zoutzuurconcentraties is zij vrijwel te verwaarlozen.

Bij het nagaan van de oplosbaarheid van niet-uitwisselbare kali in zoutzuur moet dus terdege met de aanwezigheid van koolzure kalk rekening gehouden worden, vooral wanneer het percentage CaCO_3 hoog is. Men zou nu zoveel meer zoutzuur van de betreffende sterkte, als voor de neutralisatie van de koolzure kalk nodig is, kunnen nemen. Maar in dit geval verandert men de verhouding grond: hoeveelheid vloeistof en deze verhouding is van invloed op de hoeveelheid kali, die per 100 g droge grond gerekend, in oplossing gaat (VAN DER SPEK, 1944). Ook zou men de betreffende sterkte van het zoutzuur zodanig kunnen verhogen, dat na neutralisatie van de aanwezige hoeveelheid koolzure kalk, nog juist 200 ml zoutzuur van de betreffende sterkte aanwezig is. Maar ook deze wijziging zal vermoedelijk wel van invloed zijn op de hoeveelheid niet-uitwisselbare kali, die in oplossing gaat.

Bij een grond die veel uitwisselbare kali bevat, welke gemakkelijk in zoutzuur oplost, zal deze zeer waarschijnlijk ook van invloed zijn op de hoeveelheid niet-uitwisselbare kali, die bij koken met zoutzuur in oplossing gaat en wel in dien zin, dat deze hoeveelheid hierdoor iets verlaagd wordt. Deze invloed zal bij de lagere zoutzuurconcentraties het grootst zijn.

Maar niet alleen de uitwisselbare kali, ook de andere uitwisselbare basen zullen zeer waarschijnlijk op deze hoeveelheid van invloed zijn, omdat zij een gedeelte van het zoutzuur verbruiken om in oplossing te gaan.

Om nu de invloed van de koolzure kalk en van de uitwisselbare basen nog eens nader in beschouwing te nemen, zijn van een drietal gronden de koolzure kalk en de uitwisselbare basen eerst met 0,1 n HCl verwijderd, waarna zij met 0,5% en 1,0% HCl op de aangegeven wijze zijn gekookt.

Aangezien de voorraad van de gronden met koolzure kalk uit tabel 1 (bovenste gedeelte) verbruikt was, is voor dit doel een andere grond uit de C.C.-polder (B 2660), van de laag van 0-25 cm, met 9,05% CaCO_3 op droge grond berekend genomen. De granulaire samenstelling van deze grond is eveneens in tabel 1 (benedenste gedeelte) opgenomen. Verder is hiervoor gebruikt de grond uit de polder Simson zonder CaCO_3 en met 0,036% uitwisselbare kali (B 7198/7208/7218) en een grond van een kaliproefveld gelegen in dezelfde polder, die gedurende een tiental

jaren zwaar met kali was bemest (zie Pr 80 met kali blz. 17). Deze laatste grond bevat een spoor CaCO_3 (0,2 %) en 0,109 % uitwisselbare kali (tabel 11 en 12).

Van deze drie gronden is op de gebruikelijke wijze met 0,1 n HCl de som van de uitwisselbare basen bepaald. Deze bedraagt voor de grond uit de C.C.-polder 27,55 m.eq. per 100 g luchtdroge grond, voor die uit de polder Simson 32,0 m.eq. en die uit de polder Simson met kali 32,6 m.eq. Van deze gronden is 10 g luchtdroge grond met 0,1 n HCl behandeld en wel B 2660 met 300 ml (voor het oplossen van de CaCO_3 is nodig 172 ml 0,1 n HCl en voor het verwijderen van de uitwisselbare basen 28 ml), B 7198/7208/7218 met 100 ml (nodig voor het verwijderen van de uitwisselbare basen 32 ml) en Pr 80 met kali eveneens met 100 ml (nodig voor het oplossen van de CaCO_3 3,8 ml en voor het verwijderen van de uitwisselbare basen 32,6 ml).

Na een nacht overstaan bij kamertemperatuur werd de vloeistof over een membraanfilter afgezogen en de grond op het filter uitgewassen eerst met 0,1 n HCl (ca. 100 ml) en daarna nog een paar maal met gedestilleerd water. In de aldus verkregen filtraten is de kali (dit is dus de uitwisselbare kali) bepaald.

De residu's op het filter zijn in een erlenmeyerkolf van 500 ml gebracht en gedroogd bij niet te hoge temperatuur (boven een radiator), waarna zij gekookt zijn met 200 ml HCl van resp. 0,5, 1,0 en 2,5 % in een glycerinebad met gebruik van een terugvloeikoeler. In de filtraten is de kali bepaald.

Tabel 5 bevat de verschillende resultaten van dit onderzoek.

TABEL 5. Kaligehalten, oplosbaar in HCl van verschillende concentraties

No.	Gehalten aan kali (K_2O) in procenten op droge grond oplosbaar in HCl van											
	0,1 n	0,5 %	1,0 %	0,5 %	1,0 %	0,5 %	1,0 %	0,5 %	1,0 %	0,5 %	1,0 %	
	uitwisselbaar	oorspronkelijk monster		niet uitwisselbaar		rekening houdend met CaCO_3		rekening houdend met CaCO_3 en uitw. basen		na verwijdering CaCO_3 en uitw. basen met 0,1 n HCl		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
B 2660	0,079	0,107	0,164	0,028	0,085	0,064	0,108	0,069	0,112	0,083	0,131	
B 7198 7208/ 7218	0,037	0,085	0,153	0,048	0,116	—	—	0,056	0,122	0,072	0,134	
Pr 80	0,108	0,172	0,246	0,064	0,138	0,065	0,139	0,074	0,145	0,099	0,158	
No.	0.1 n	0.5%	1.0%	0.5%	1.0%	0.5%	1.0%	0.5%	1.0%	0.5%	1.0%	
	exchangeable	original sample		non-exchangeable		taking into account CaCO_3		taking into account CaCO_3 and exchangeable bases		after removing CaCO_3 and exchangeable bases with 0.1 n HCl		
<i>Potassium contents (K_2O) in % of dry soil soluble in HCl of above-mentioned concentrations</i>												

TABLE 5. Potassium contents, soluble in HCl of various concentrations

De kolommen 5 en 6 bevatten de hoeveelheden niet-uitwisselbare kali, die bij het koken van 10 g van de oorspronkelijke monsters met 200 ml resp. 0,5 % en 1,0 % HCl in oplossing gaan; in de kolommen 7 en 8 staan deze hoeveelheden, wanneer er rekening mede gehouden wordt, dat de aanwezige koolzure kalk een gedeelte van het zoutzuur wegneemt, waardoor feitelijk met een lagere zoutzuurconcentratie wordt gekookt. De kolommen 9 en 10 geven de hoeveelheden, wanneer er bovendien rekening mede gehouden wordt, dat ook de aanwezige uitwisselbare basen op een gedeelte van het zoutzuur beslag leggen en daardoor de concentratie van het zoutzuur nog meer verlagen. In de kolommen 11 en 12 zijn ten slotte de hoeveelheden kali opgenomen, die bij koken met resp. 0,5 % en 1,0 % HCl in oplossing gaan, wanneer door behandeling met 0,1 n HCl vooraf de aanwezige koolzure kalk en de aanwezige uitwisselbare basen zijn verwijderd.

Uit de cijfers van tabel 5 blijkt dat de invloed van de uitwisselbare basen op de hoeveelheid niet-uitwisselbare kali die bij koken met zoutzuur in oplossing gaat, niet groot en bij 1,0 % HCl al vrijwel te verwaarlozen is. Gaat men evenwel vóór het koken met zoutzuur de aanwezige koolzure kalk en de aanwezige uitwisselbare basen met 0,1 n HCl verwijderen, dan gaat meer niet-uitwisselbare kali in oplossing dan berekend wordt, wanneer men met de aanwezige hoeveelheden koolzure kalk en uitwisselbare basen rekening houdt (vergelijk kolom 11 met 9 en 12 met 10). Blijkbaar worden door de verwijdering van de koolzure kalk en de uitwisselbare basen, vooral door de verwijdering van de uitwisselbare kali, de kali bevattende kleimineralen bij het koken met zoutzuur gemakkelijker aangetast zelfs door HCl van geringe sterkte.

Om voor de verschillende gronden wat betreft het in oplossing gaan van niet-uitwisselbare kali bij het koken met zoutzuur vergelijkbare cijfers te verkrijgen kan men er wellicht mee volstaan eventueel aanwezige koolzure kalk voor het koken, met 0,1 n HCl te verwijderen of, wat vermoedelijk beter is, deze koolzure kalk in rekening te brengen, zoals door ons in tabel 4 is geschied.

2. BESPREKING VAN DE GEVONDEN ANALYSERESULTATEN

Uit de cijfers van tabel 4 blijkt dat door koken met 0,5 % HCl gedurende twee uur nog maar weinig niet-uitwisselbare kali in oplossing wordt gebracht. Het behoeft dus niet te verwonderen dat geen niet-uitwisselbare kali in oplossing gaat bij schudden van een kleigrond met 0,1 n HCl (ca. 0,36 %) gedurende een uur, een methode die dikwijls gebruikt wordt bij de bepaling van uitwisselbare kali. Door koken met sterker zoutzuur lost natuurlijk meer niet-uitwisselbare kali op en wel des te meer naarmate het zuur sterker is. Fig. 1 geeft voor de vijf onderzochte gronden het verloop aan van de oplosbaarheid van de niet-uitwisselbare kali bij verschillende zoutzuurconcentraties.

Aangezien de hoeveelheid kali, die bij de verschillende gronden in de verschillende zoutzuurconcentraties in oplossing gaat, van diverse factoren afhankelijk is (gehalte aan afslibbaar materiaal, rijkdom van de grond aan kali, zowel uitwissel-

FIG. 1. Verloop van de oplosbaarheid van de niet-uitwisselbare kali bij oplopende zoutzuurconcentraties

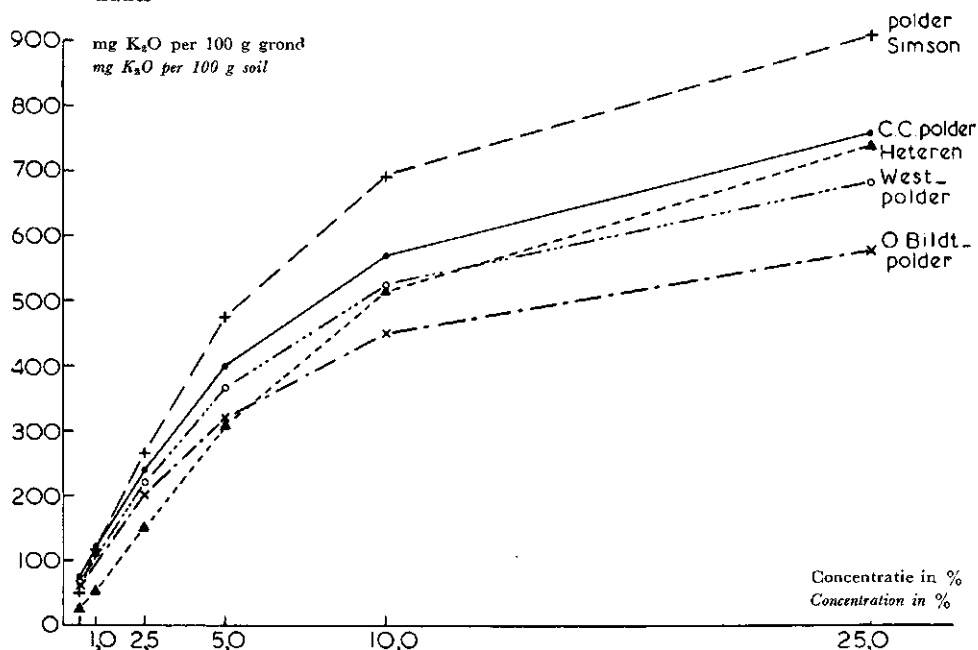


FIG. 1. Fluctuations of the solubility of non-exchangeable potassium with increasing concentrations of hydrochloric acid

baar als niet-uitwisselbaar, enz.) is het voor een onderlinge vergelijking beter om de hoeveelheden, welke in de lagere zoutzuurconcentraties zijn opgelost, uit te drukken in procenten van de in 25% zoutzuur opgeloste hoeveelheid. Tabel 6 bevat deze percentages gescheiden in uitwisselbare en niet-uitwisselbare kali.

De grond uit de jonge Carel Coenraadopolder bevat zeer veel uitwisselbare kali en deze lost gemakkelijk in zoutzuur op. Van de hoeveelheid kali die in 25,0% zoutzuur oplost, behoort ruim 10% tot de uitwisselbare kali. Deze grote hoeveelheid uitwisselbare kali is vermoedelijk van enige invloed geweest op de hoeveelheid niet-uitwisselbare kali die in de lagere zoutzuurconcentraties in oplossing is gegaan. In 0,5% zoutzuur is van de hoeveelheid kali die in 25,0% oplost maar ruim 8% als niet-uitwisselbare kali opgelost.

De iets lichtere grond uit de iets oudere Westpolder, waarin evenals in de grond uit de C.C.-polder vrij veel koolzure kalk aanwezig is, bevat evenwel een aanzienlijk lager gehalte aan uitwisselbare kali dan deze grond. In de verschillende zoutzuurconcentraties lost echter een iets groter percentage van de hoeveelheid kali die in 25,0% zoutzuur oplost, als niet-uitwisselbare kali op; dit verschil in percentage is bij alle zuursterkten relatief ongeveer gelijk.

De zeer zware grond uit de oude polder Simson bevat geen koolzure kalk en is

TABEL 6. Hoeveelheden kali, oplosbaar in oplopende zoutzuurconcentraties uitgedrukt in % van de hoeveelheid oplosbaar in 25% HCl, en uitwisselbare kali per 100 g klei-humussubstantie

Herkomst	Percentages van de in 25,0% HCl opgeloste hoeveelheid K ₂ O als						Uitwisselbare kali per 100 g klei-humussubstantie
	uitwisselbaar	niet-uitwisselbaar, opgelost in HCl van					
		0,5%	1,0%	2,5%	5,0%	10,0%	
C.C.-polder	10,73	8,61	14,39	28,30	47,17	67,33	0,147
Polder Simson	3,80	5,16	12,34	28,06	49,89	72,78	0,047
Westpolder	3,82	9,34	15,70	31,12	51,91	74,12	0,058
Oude Bildtpolder	4,30	9,93	17,72	33,44	52,81	74,50	0,067
Heteren	1,85	3,58	7,29	20,00	40,80	68,08	0,020

Origin	exchangeable	non-exchangeable, soluble in HCl of					Exchangeable potassium per 100 g clay-humus matter
		0.5%	1.0%	2.5%	5.0%	10.0%	
	Percentages of the quantity K ₂ O soluble in 25.0% HCl						

TABEL 6. Quantities of potassium soluble in increasing concentrations of hydrochloric acid expressed in % of the quantity soluble in 25% HCl and exchangeable potassium per 100 g clay-humus matter

zelfs iets zuur (pH ca. 5,7). Het gehalte aan uitwisselbare kali van de klei-humussubstantie is aan de lage kant. De grond wordt niet met kali bemest. De percentages van de in 25,0% zoutzuur opgeloste hoeveelheid niet-uitwisselbare kali zijn bij de verschillende zoutzuurconcentraties lager dan bij de grond uit de Westpolder en des te lager naarmate de zoutzuurconcentratie lager is. Bij 0,5% zoutzuur bedraagt dit percentage niet veel meer dan de helft van dat bij de grond uit de Westpolder. Deze lagere percentages bij de oude polder Simson zijn vermoedelijk hieraan toe te schrijven dat in deze polder, waarvan de grond niet met kali wordt bemest, de gewassen meer niet-uitwisselbare kali aan de kleisubstantie hebben onttrokken dan in de veel jongere Westpolder.

De zware zavelgrond uit de nog iets oudere Oude Bildtpolder bevat nog tamelijk veel koolzure kalk en zijn klei-humussubstantie bevat zelfs iets meer uitwisselbare kali dan de klei-humussubstantie van de grond uit de Westpolder. De grond uit de Oude Bildtpolder zal nog al sterk met kali bemest zijn vanwege de intensieve verbouw van aardappelen op deze grond. Hierdoor is niet alleen het gehalte aan uitwisselbare kali, maar vermoedelijk ook dat aan niet-uitwisselbare kali toegenomen. Het percentage van de in 25,0% zoutzuur opgeloste hoeveelheid uitwisselbare kali is bij deze oude grond iets hoger dan bij de veel jongere grond uit de Westpolder. Ook de percentages van deze hoeveelheid opgelost als niet-uitwisselbare kali zijn hoger, vooral bij de lagere zoutzuurconcentraties. Dit laatste wijst er op, dat deze grond de bij bemesting opgenomen kali in een niet erg stevige vorm heeft vastgelegd.

De zware rivierkleigrond uit Heteren bevat geen koolzure kalk en is vrij zuur (pH = 5,1). Een bemesting heeft deze grond in geen jaren ontvangen. De klei-humussubstantie bevat zeer weinig uitwisselbare kali. Het percentage van de in 25,0% zoutzuur opgeloste hoeveelheid uitwisselbare kali is dan ook zeer laag. De op

deze grond verbouwde gewassen zullen aan hun kalibehoeftte wel voornamelijk voldaan hebben door onttrekking van niet-uitwisselbare kali aan de kleisubstantie. Deze onttrekking moet in de loop der jaren vrij belangrijk zijn geweest. De percentages van de in 25,0 % zoutzuur opgeloste hoeveelheid niet-uitwisselbare kali zijn namelijk vrij laag, vooral bij de laagste zoutzuurconcentratie. De gewassen moeten dus de niet-uitwisselbare kali, die het gemakkelijkst oplosbaar is, voornamelijk onttrokken hebben (zie blz. 3).

Tabel 7, afgeleid uit tabel 4 door de getallen van de C.C.-polder, dus een jonge, kalirijke zeekleipolder, gelijk te stellen aan 100 en de hoeveelheden kali die in zoutzuur van oplopende sterkte bij de vier andere gronden oplossen, in procenten daarvan om te rekenen, laat duidelijk zien dat jarenlange kali-onttrekking resp. kalitoevoeging tot uiting komt in de oplosbaarheid in zoutzuur van niet-uitwisselbare kali en wel des te meer, naarmate het zuur minder sterk is.

TABEL 7. Vergelijking van de oplosbaarheid van de kali, uitgedrukt in % van de hoeveelheden, opgelost van de grond in de Carel Coenraadpolder

Herkomst	Vergelijking van de oplosbaarheid van de kali						
	uit- wissel- baar	niet-uitwisselbaar in zoutzuur van					
		0,5%	1,0%	2,5%	5,0%	10,0%	25,0%
C.C.-polder	100	100	100	100	100	100	100
Polder Simson	39	67	96	111	118	121	120
Westpolder	30	90	91	92	92	92	90
Oude Bildtpolder	29	82	88	84	80	79	76
Heteren	15	37	45	63	77	90	98

Origin	ex- change- able	non-exchangeable in HCl of					
		0.5%	1.0%	2.5%	5.0%	10.0%	25.0%
	<i>Comparison of the solubility of potassium</i>						

TABLE 7. Comparison of the solubility of potassium, expressed in % of the quantities dissolved of the soil in the C.C.-polder

Zo gaan de waarden voor de grond uit de polder Simson bij de lagere zoutzuurconcentraties ten opzichte van die van de C.C.-polder steeds meer dalen. Dit is in nog sterkere mate het geval bij de grond uit Heteren. De daling begint daar reeds bij 25 % zoutzuur. De grond uit de Oude Bildtpolder geeft bij de zoutzure fracties van geringere sterkte relatief een stijging te zien (geregelde bemesting met kali), terwijl van de grond uit de nog jonge Westpolder in de verschillende zoutzuurextracten vrijwel eenzelfde percentage als die van de C.C.-polder in oplossing gaat.

Veel scherper treedt aan de dag tot hoever de „verwering” is voortgeschreden, wanneer we de verschillen in aantasting gaan uitdrukken in procenten van de overeenkomstige verschillen bij de C.C.-polder (tabel 7a). Zeer duidelijk is het verschil tussen de grond uit de polder Simson en die uit Heteren.

TABEL 7a. De oplosbaarheid van de kali uitgedrukt in de verschillen in aantasting

Herkomst	Vergelijking van de oplosbaarheid van de kali, uitgedrukt in de verschillen in aantasting in % van de verschillen in de Carel Coenraadpolder						
	uit-wisselbaar	niet-uitwisselbaar in zoutzuur van					
		0,5%	0,5-1,0%	1,0-2,5%	2,5-5,0%	5,0-10,0%	10,0-25,0%
C.C.-polder	100	100	100	100	100	100	100
Polder Simson	39	67	139	126	129	127	119
Westpolder	30	90	92	92	92	92	84
Oude Bildtpolder	29	82	96	80	73	77	69
Heteren	15	37	57	81	98	120	122

Origin	ex-changeable	non-exchangeable in HCl of					
		0,5%	0,5-1,0%	1,0-2,5%	2,5-5,0%	5,0-10,0%	10,0-25,0%
	<i>Comparison of the solubility of potassium expressed in the weathering differences in % of the differences in the C.C.-polder</i>						

TABEL 7a. The solubility of the potassium expressed in the weathering differences

Het is waarschijnlijk, dat bij de grond uit Heteren de aantasting van de niet-uitwisselbare kali reeds is voortgeschreden tot de fractie die in 25 % zoutzuur oplosbaar is. Een versterking van dit vermoeden wordt in de volgende paragraaf gegeven. Een aanwijzing daarvoor kan men ook nog zien in tabel 8, waarin zowel de gehalten der gronden aan deeltjes $< 2 \mu$, resp. $< 16 \mu$, als ook de gehalten aan in 25 % zoutzuur oplosbare kali in procenten van de overeenkomstige getallen van de grond uit de C.C.-polder zijn vermeld.

TABEL 8. Gehalten van de onderzochte gronden aan deeltjes $< 2 \mu$, $< 16 \mu$ en kali oplosbaar in 25 % HCl uitgedrukt in % van deze gehalten in de C.C.-polder

Herkomst	Vergelijking van de gehalten aan		
	deeltjes $< 2 \mu$	deeltjes $< 16 \mu$	K-HCl-25%
C.C.-polder	100	100	100
Polder Simson	126	127	120
Westpolder	84	78	90
Oude Bildtpolder	68	65	76
Heteren	106	116	98

Origin	<i>particles</i> $< 2 \mu$	<i>particles</i> $< 16 \mu$	<i>K-HCl</i> 25%
	<i>Comparison of the contents</i>		

TABEL 8. Contents of particles $< 2 \mu$, $< 16 \mu$ and potassium soluble in 25% HCl expressed in % of these contents in the C.C.-polder

In verband met het voorgaande is op te merken dat bij de gronden uit de Simsonpolder en uit Heteren de procentuele K-HCl-25 %-getallen lager zijn dan de daarbij behorende percentages voor de granulometrische fracties $< 2 \mu$, resp. $< 16 \mu$, terwijl dit bij de gronden uit de Westpolder en de Oude Bildtpolder juist omgekeerd is.

3. KALI IN DE SLIB- EN ZANDFRACTIES

Uit tabel 2 volgt dat door 25,0 % zoutzuur bij de vijf onderzochte gronden resp. 35,8 %, 36,7 %, 33,8 %, 29,65 % en 31,0 % van de in die gronden voorkomende hoeveelheid totaal kali als uitwisselbare plus niet-uitwisselbare kali in oplossing wordt gebracht. Bij de zeekleigronden lost een iets groter percentage op naarmate het gehalte aan afslibbare bestanddelen groter is. Ten aanzien van de sterkte van het zuur zijn bovenstaande percentages maar gering.

De geringe oplosbaarheid van de niet-uitwisselbare kali in zoutzuur moet vermoedelijk op de volgende wijze verklaard worden (ROBORGH, 1935; HAUSER, 1941): Bij behandeling met zoutzuur wordt voornamelijk het buitenste laagje van de gronddeeltjes aangetast, waarbij de hierin voorkomende kaliumionen in oplossing gaan. De dikte van dit aangetaste laagje zal groter zijn naarmate het zuur sterker is. Het ten gevolge van de hydrolyse eveneens vrij gekomen kiezelzuur scheidt zich, daar het in het sterke zuur niet oplosbaar is, vrijwel geheel af en omhult de gronddeeltjes als een beschermend huidje, waardoor een verdere aantasting wordt tegengegaan.

Naarmate de gronddeeltjes kleiner zijn, zal een groter gedeelte van hun niet-uitwisselbare kali opgelost worden. Maar ook de soort van de aanwezige kalimineralen zal van invloed zijn op de hoeveelheid kali die oplost, omdat de verschillende kalihoudende mineralen niet even gemakkelijk door zuren worden aangetast.

Het is nu gebleken dat de kali in de grond gedeeltelijk in de slibfractie (deeltjes kleiner dan 16μ) en gedeeltelijk in de zandfractie wordt aangetroffen en dat des te meer totaal kali in de zandfractie en des te minder in de slibfractie aanwezig is, naarmate de grond lichter is (meer zand bevat).

Zo werden voor de vijf onderzochte kleigronden de volgende waarden gevonden door van de oorspronkelijke grond en van het zand (deeltjes groter dan 16μ) het totaal gehalte aan kali door ontsluiten te bepalen (tabel 9).

Bij behandelen van de grond met een zuur zal dus zowel kali uit de slibfractie als uit de zandfractie in oplossing gaan. Omdat de deeltjes van de zandfractie groter zijn dan die van de slibfractie, zal de kali uit de zandfractie niet zo gemakkelijk opgelost worden als die uit de slibfractie. Bovendien zullen in de zandfractie kalimineralen, waaronder misschien gedeeltelijk verweerde, moeten voorkomen, die tegen verwerende invloeden tamelijk resistent zijn. Anders zouden zij ten gevolge van de verwerende invloeden wel zodanig zijn aangetast, dat zij tot de slibfractie zijn gaan behoren. De kali uit de zandfractie zal dus *a priori* minder oplosbaar zijn dan de kali uit de slibfractie.

TABEL 9. Gehalten aan totaal kali in grond, zand- en slibfracties

Herkomst	De droge grond bevat in %		Totaal K ₂ O per 100 g		Van de totaal K ₂ O is aanwezig			K ₂ O per 100 g slibfractie		
	slibfractie	zandfractie	grond	zand	in de zandfractie	in de slibfractie		totaal	uitwisselbaar	niet-uitwisselbaar
						uitwisselbaar	niet-uitwisselbaar			
Polder Simson	72,0	23,2	2,581	1,759	0,408	0,036	2,137	3,018	0,050	2,968
Heteren	65,5	30,8	2,434	1,779	0,548	0,014	1,872	2,879	0,021	2,858
C.C.-polder	56,5	29,2	2,370	1,860	0,543	0,091	1,736	3,232	0,161	3,071
Westpolder	44,2	44,5	2,091	1,580	0,703	0,027	1,361	3,140	0,061	3,079
Oude Bildtpolder	36,8	56,0	2,037	1,500	0,840	0,026	1,171	3,253	0,071	3,182
Origin	silt < 16 μ	sand > 16 μ	soil	sand	sand	ex-changeable	non-ex-changeable	total	ex-changeable	non-ex-changeable
	Dry soil %		Total K ₂ O per 100 g		Total K ₂ O		K ₂ O per 100 g silt			

TABEL 9. Total potassium contents in soil, sand and silt

Teneinde enige indruk te krijgen omtrent de oplosbaarheid van de kali van de zandfractie zijn van de gronden uit de Westpolder, de Oude Bildtpolder en Heteren 5 g zand met 200 ml HCl van 5 % op de gebruikelijke wijze gekookt. Daarbij ging per 100 g zand resp. 0,088 g, 0,069 g en 0,075 g K₂O in oplossing of berekend op de hoeveelheid zand die in 100 g droge grond voorkomt, resp. 0,039 g, 0,039 g en 0,023 g K₂O, en op de hoeveelheid kali die per 100 g droge grond in de zandfractie van de drie betreffende gronden voorkomt, resp. 5,5 %, 4,6 % en 4,2 %. Bij de jonge, lichte kleigrond uit de Westpolder gaat dus het hoogste percentage in oplossing, bij de zware zavelgrond uit de veel oudere Oude Bildtpolder een iets lager percentage en bij de zware, uitgeoerde rivierkleigrond uit Heteren het laagste percentage.

Bij koken van 10 g grond met 5 % HCl kan per 100 g droge grond, wanneer met de aanwezige CaCO₃ rekening wordt gehouden en na aftrek van de uitwisselbare kali, resp. 0,367 g, 0,319 g en 0,308 g K₂O in oplossing gaan (zie tabel 4). Van deze hoeveelheden zijn vermoedelijk hoogstens bovenstaande hoeveelheden K₂O van de kali der zandfractie afkomstig. Van de zuuroplosbare (niet-uitwisselbare) kali die in de slibfractie aanwezig is, kan dus resp. 0,328 g, 0,280 g en 0,285 g d.i. in procenten van deze hoeveelheid resp. 24,1, 23,9 en 15,2 in oplossing gaan. Bij de grond uit de Westpolder en bij de iets oudere en iets lichtere, maar vermoedelijk sterk met kali bemeste, grond uit de Oude Bildtpolder lost dus een vrijwel even groot percentage op, maar bij de zware, uitgeoerde rivierkleigrond uit Heteren een veel lager percentage.

Wat de oplosbaarheden van de kali van de drie genoemde gronden betreft, vinden we dus de in tabel 10 opgenomen percentages.

TABEL 10. Gehalten aan oplosbare kali (K_2O)

Herkomst	Van de totaal K_2O is aanwezig in de		Percentage van nevenstaande hoeveelheden oplosbaar in 5% HCl	
	slibfractie (niet uitwisselbaar)	zandfractie	slibfractie (niet uitwisselbaar)	zandfractie
Westpolder	1,361	0,703	24,1	5,5
Oude Bildipolder	1,171	0,840	23,9	4,6
Heteren	1,872	0,548	15,2	4,2
Origin	silt (non-exchangeable)	sand	silt (non-exchangeable)	sand
	Total K_2O		Percentage of adjacent quantities soluble in 5% HCl	

TABLE 10. Contents of soluble potassium (K_2O)

Uit de bovenstaande tabel mag de conclusie getrokken worden, dat de niet-uitwisselbare kali van de rivierkleigrond uit Heteren, zowel die uit de slib-fractie als die uit de zandfractie, *minder* oplosbaar is dan de niet-uitwisselbare kali uit de beide zee-kleigronden. Bovendien volgt uit deze cijfers dat de kali uit de zandfractie veel minder oplosbaar is dan de niet-uitwisselbare uit de slibfractie. Dit heeft over het algemeen tot gevolg dat van de totale hoeveelheid kali, die in een grond voorkomt, een groter percentage in zoutzuur zal oplossen naarmate meer kali in de slibfractie aanwezig is, dus naarmate het gehalte van de grond aan afslibbare delen groter is. Een afwijking van deze algemene regel zal gevonden worden, wanneer men met relatief moeilijk oplosbare kali in de slibfractie te maken heeft, zoals bij de grond uit Heteren het geval blijkt te zijn. Immers laatstgenoemde grond bezit een iets hoger gehalte aan afslibbare delen dan de zee-kleigrond uit de C.C.-polder (65,5 % tegenover 56,5 %) en ook iets meer kali in de slibfractie en toch lost uit deze grond een lager percentage van de totaal aanwezige hoeveelheid kali in 25 % HCl op dan bij de grond uit de C.C.-polder (resp. 31,0 % en 35,8 %). Ook in het voorgaande onderscheidt zich de arme, uitgeboerde rivierkleigrond uit Heteren ten aanzien van de aantastbaarheid der kalimineralen ongunstig van de rijke zee-kleigrond uit de C.C.-polder.

III. DE OPLOSBAARHEID VAN DE KALI IN ZOUTZUUR VAN VERSCHILLENDE STERKTEN BIJ JARENLANGE BEMESTING MET KALI

Teneinde gegevens te verkrijgen over de oplosbaarheid van kali in zoutzuur van verschillende sterkten bij jarenlange bemesting zijn grondmonsters van de bouwvoor van een viertal kaliproefvelden, zowel van de veldjes die geen kalibemesting ontvingen als van die met de hoogste kaligift, hierop onderzocht.

Voor dit onderzoek zijn grondmonsters van de volgende proefvelden genomen:

1. Kaliproefveld Wiersum te Eenrum (Gr.), een lichte zavelgrond (Pr 172). De met kali bemeste veldjes ontvingen in totaal 2550 kg K_2O per ha in 16 jaren.
2. Zavelperceel op het terrein van het landbouwproefstation te Groningen (Pr 1). De grond bestaat uit een lichte, oude zavelgrond afkomstig uit Mensingeweer (gem. Leens, Gr.). De niet met kali bemeste veldjes hadden in geen 30 jaar kali ontvangen; de met kali bemeste veldjes ontvingen in totaal 1750 kg K_2O per ha in 14 jaren.
3. Centraal kaliproefveld op rivierklei te Afferden (Z-Ge. 17). Dit proefveld is aangelegd in 1930/1931. Onderzocht zijn een mengmonster van twee veldjes, die de laagste en een mengmonster van twee veldjes, die de hoogste kaligift ontvingen. De monsters zijn genomen in 1938. De in 1931 gegeven hoeveelheid kali is onbe-

TABEL 11. Granulaire samenstelling van de monsters

Herkomst	De droge grond (105° C) bevat in procenten					
	CaCO ₃	Org. stof	Deeltjes		Slib- fractie	Zand- fractie
			< 2 μ	2-16 μ		
Pr 172						
zonder K ₂ O - without K ₂ O	0,3	1,6	11,3	4,3	15,6	82,5
met K ₂ O - with K ₂ O	0,3	1,8	11,0	4,3	15,3	82,6
Pr 1						
zonder K ₂ O - without K ₂ O	3,6	2,1	15,3	5,9	21,2	73,1
met K ₂ O - with K ₂ O	3,6	2,1	15,1	6,0	21,1	73,2
Z.Ge. 17						
weinig K ₂ O - little K ₂ O	2,2	2,3	21,8	13,0	34,8	60,7
veel K ₂ O - much K ₂ O	1,9	2,2	21,4	13,9	35,3	60,6
Pr 80						
zonder K ₂ O - without K ₂ O	0,2	4,9	47,2	23,0	70,2	24,7
met K ₂ O - with K ₂ O	0,2	4,9	46,8	24,2	71,0	23,9
Origin	CaCO ₃	Organic matter	< 2 μ	2-16 μ	Silt < 16 μ	Sand > 16 μ
			Particles			
	Dry soil (105° C)					

TABLE 11. Granular composition of the investigated soil samples

kend. De eerstgenoemde veldjes ontvingen in totaal in 6 jaren 180 en de laatstgenoemde 1120 kg K_2O per ha. De veldjes met de hoogste kaligift ontvingen dus in de zeven proefjaren ruim 940 kg K_2O per ha meer dan die met de laagste kaligift.

4. Kalihoeveelhedenproefveld met en zonder kalk, gelegen op perceel 11 van de Proefboerderij te Nieuw-Beerta (Pr 80). Dit proefveld ligt in de polder Simson (ingedijkt in 1550) en bestaat uit zeer zware oude Dollardklei. De monsters zijn genomen van de veldjes met kalk. De bij de aanleg gegeven kalkbemesting bedroeg 13800 kg CaO per ha. De met kali bemeste veldjes ontvingen in totaal 5000 kg K_2O per ha in 10 jaren.

Een overzicht van de granulaire samenstelling van de onderzochte monsters is in tabel 11 gegeven.

De genoemde acht monsters zijn onderzocht op hun gehalten aan uitwisselbare kali en de gehalten aan kali oplosbaar in zoutzuur van 0,5 %, 1,0 %, 2,5 %, 5,0 %, 10,0 % en 25,0 %, wanneer 10 g luchtdroge grond met 200 ml van deze oplossingen gedurende twee uur worden gekookt.

De resultaten van deze onderzoeken zijn in tabel 12 opgenomen; de gehalten van in zoutzuur oplosbare kali zijn hierin gecorrigeerd op aanwezige koolzure kalk.

TABEL 12. Gehalten aan uitwisselbare kali en van kali oplosbaar in zoutzuur van oplopende concentraties.

HCl-concentratie	K_2O oplosbaar in HCl in procenten op droge grond zonder (lage) en met (hoge) kalibemesting							
	Pr 172		Pr 1		Z.Ge. 17		Pr 80	
	zonder	met	zonder	met	laag	hoog	zonder	met
0,1 n (uitwisselbaar ¹)	0,008	0,016	0,009	0,011	0,011	0,013	0,042	0,109
0,5 %	0,042	0,058	0,054	0,059	0,042	0,045	0,095	0,172
1,0 %	0,061	0,085	0,077	0,083	0,064	0,070	0,157	0,246
2,5 %	0,106	0,131	0,132	0,139	0,119	0,127	0,297	0,397
5,0 %	0,152	0,178	0,192	0,200	0,201	0,213	0,499	0,604
10,0 %	0,192	0,218	0,260	0,269	0,299	0,316	0,710	0,819
25,0 %	0,244	0,272	0,333	0,345	0,412	0,434	0,929	1,041
HCl-concentration	without	with	without	with	low	high	without	with
	Pr 172		Pr 1		Z.Ge. 17		Pr 80	
	K_2O soluble in HCl in % of dry soil, without (low) and with (high) potassium fertilization							

¹ uitwisselbaar = exchangeable

TABEL 12. Contents of exchangeable potassium and potassium soluble in hydrochloric acid of increasing concentrations

Uit de cijfers van tabel 12 blijkt dat het gehalte aan uitwisselbare kali en de gehalten aan kali oplosbaar in de verschillende zoutzuurconcentraties in de bouwvoor van de met kali bemeste objecten hoger zijn dan deze gehalten in de bouwvoor van

de veldjes die geen, of vrijwel geen kalibemesting ontvingen. Dit verschil zal wel in hoofdzaak aan de bemesting met kali moeten worden toegeschreven. Door deze bemesting stijgt het gehalte aan kali in de bodemoplossing en dit heeft ten gevolge dat ook het gehalte aan uitwisselbare (geadsorbeerde) kali toeneemt en deze toename kan weer een verhoging van de niet-uitwisselbare kali veroorzaakt hebben.

De gewassen onttrekken niet alleen uitwisselbare, maar ook niet-uitwisselbare kali aan de grond, zowel aan de bouwvoor als aan de ondergrond. Er zal een verschil in onttrekking van kali aan de bouwvoor door het gewas tussen de wel en de niet met kali bemeste veldjes bestaan, waardoor er een verschil in de gehalten aan kali in de bouwvoor zal worden gevonden. Ook de uitloging van kali door het zakwater zal hierop van invloed zijn. Op de met kali bemeste veldjes zal de uitloging van kali vermoedelijk groter zijn dan op de niet met kali bemeste.

Gaan we nu eens de verschillende toenamen van het kaligehalte op de met kali bemeste veldjes der onderzochte proefvelden na, dan krijgen we het volgende beeld (tabel 13).

TABEL 13. Verschillen in kaligehalten tussen de al dan niet met kali bemeste veldjes in mg per 100 g droge grond

HCl-concentratie	Verschillen in kaligehalten in mg per 100 g droge grond ten gunste van de bemeste veldjes							
	Pr 172		Pr 1		Z.Ge. 17		Pr 80	
	totaal oplosbaar	niet-uitwisselbaar	totaal oplosbaar	niet-uitwisselbaar	totaal oplosbaar	niet-uitwisselbaar	totaal oplosbaar	niet-uitwisselbaar
0,1 n (uitwisselbaar ¹)	8	—	2	—	2	—	67	—
0,5%	16	8	5	3	3	1	77	10
1,0%	24	16	6	4	6	4	89	22
2,5%	25	17	7	5	8	6	100	33
5,0%	26	18	8	6	12	10	105	38
10,0%	26	18	9	7	17	15	109	42
25,0%	28	20	12	10	22	20	112	45
HCl-concentration	<i>completely soluble</i>	<i>non-exchangeable</i>	<i>completely soluble</i>	<i>non-exchangeable</i>	<i>completely soluble</i>	<i>non-exchangeable</i>	<i>completely soluble</i>	<i>non-exchangeable</i>
	Pr. 172		Pr. 1		Z. Ge. 17		Pr 80	
	<i>Differences in potassium contents in mg per 100 g dry soil in favour of the fertilized fields</i>							

¹ uitwisselbaar = *exchangeable*

TABEL 13. Differences in potassium contents between the fertilized and the not-fertilized fields in mg per 100 g dry soil

In de tweede kolom van elk proefveld is opgenomen de hoeveelheid kali oplosbaar in het zoutzuur van de betreffende concentratie verminderd met de uitwisselbare kali.

1. BESPREKING VAN DE VERSCHILLENDE KALIGEHALTEN

a. De zeer lichte, oude zavelgrond van het proefveld te Eenrum (Pr 172) bevat nog slechts 0,3 % CaCO_3 . Het gehalte aan uitwisselbare kali in de klei-humussubstantie van de met kali bemeste veldjes van dit proefveld is, het lage gehalte aan klei-humussubstantie in aanmerking genomen, behoorlijk toegenomen en bedraagt het dubbele van dat van de niet met kali bemeste veldjes. Het gehalte aan niet-uitwisselbare kali in de kleisubstantie van de met kali bemeste veldjes is, voor zover zij in 0,5 % en 1,0 % zoutzuur oplost, ook vrij sterk toegenomen. De toename van de niet-uitwisselbare kali die oplosbaar is in sterkere zoutzuurconcentraties, is echter weinig groter dan die in 1,0 % zoutzuur. De kali die ten gevolge van de kalibemesting door de grond van dit proefveld als niet-uitwisselbare kali is opgenomen, is blijkbaar voor een groot deel niet bijzonder stevig vastgelegd.

b. De lichte, oude zavelgrond van Pr 1 afkomstig uit Mensingeweer, gelegen in de buurt van Eenrum, bezat in 1923, in welk jaar met het geven van een kalibemesting is begonnen, nog ongeveer 3,9 % CaCO_3 . Bij dit proefveld vertoont de toename van het kaligehalte op de met kali bemeste veldjes een ander beeld dan bij het eerstgenoemde proefveld. Het gehalte aan uitwisselbare kali is hier op de met kali bemeste veldjes minder toegenomen, ofschoon het gehalte aan klei-humussubstantie van de grond van dit proefveld iets groter is. De toename van het gehalte aan niet-uitwisselbare kali, oplosbaar in 0,5 % zoutzuur, is niet groot en minder dan bij het eerstgenoemde proefveld, maar deze toename wordt geleidelijk iets groter naarmate de sterkte van het zoutzuur toeneemt. Toch bedraagt de totale toename bij 25,0 % zoutzuur bij dit proefveld per 100 g droge grond slechts 12 mg tegen 28 mg bij het voorgaande proefveld.

c. Een zelfde beeld als bij proefveld Pr 1 vertoont de toename van het kaligehalte op de met de hoogste kaligift bemeste veldjes van het proefveld te Afferden (Z.Ge. 17). De lichte rivierkleigrond van dit proefveld is eveneens ruim van CaCO_3 voorzien. Alleen is de toename van het gehalte aan niet-uitwisselbare kali op dit proefveld bij de sterkere zuurconcentraties iets groter en des te groter naarmate het zoutzuur sterker is, ofschoon het verschil in kaligiften tussen de objecten van dit proefveld minder bedraagt dan de hoeveelheid gegeven op de met kali bemeste veldjes van Pr 1 nl. ruim 940 kg K_2O per ha in de zeven proefjaren tegen 1750 kg K_2O in de veertien proefjaren. Deze grotere toename moet zonder twijfel voor een groot deel worden toegeschreven aan het feit dat het proefveld Z.Ge. 17 een aanmerkelijk hoger gehalte aan slibfractie heeft dan het proefveld Pr. 1 (resp. ca. 35 % en ca. 21 %); het kalifixerend vermogen van de rivierkleigrond kan echter ook van invloed zijn geweest. Bij vergelijking van de kaligehalten van de *niet* met kali bemeste veldjes van de proefvelden Pr 1 en Z.Ge. 17 blijkt dat de rivierkleigrond van proefveld Z.Ge. 17 de kali steviger gebonden houdt dan de zeekleigrond van proefveld Pr 1. Bij proefveld Pr 1 zijn deze kaligehalten oplosbaar in de zwakkere zoutzuurconcentraties (tot 2,5 %), niettegenstaande het lagere gehalte aan kleisubstantie, hoger dan die bij proefveld

Z.Ge. 17, terwijl bij de sterkere zoutzuurconcentraties deze gehalten lager zijn en wel des te lager naarmate de sterkte van het zoutzuur toeneemt (zie tabel 12).

d. De zeer zware, oude Dollardklei van het proefveld op perceel 11 van de Proefboerderij te Nieuw-Beerta bezat bij de aanleg geen CaCO_3 en had een zure reactie (pH ongeveer 5,7). Van dit proefveld zijn onderzocht de veldjes die naast de kalibemesting bij de aanleg in 1928 ook een kalkbemesting ontvingen. Deze bekalking blijkt op deze zwak zure grond geen invloed op de kali-opname gehad te hebben. Dit proefveld bezit namelijk ook veldjes die alleen een kalibemesting en geen kalkbemesting ontvingen. De gehalten aan kali oplosbaar in 0,1 n zoutzuur waren zowel op de bekalkte als op de onbekalkte veldjes in de verschillende jaren van onderzoek (1931-1936-1938) vrijwel gelijk (VERSLAG 1935-'39). In 1931 had de grond van de bekalkte veldjes een pH-waarde van gem. 7,5 (CaCO_3 -gehalte gem. 0,59) en die van de onbekalkte veldjes een pH-waarde van gem. 6,1. De toename van het gehalte aan uitwisselbare kali van de niet kali bemeste veldjes is zeer hoog. Het gehalte aan niet-uitwisselbare kali oplosbaar in 0,5 % zoutzuur van de grond van deze veldjes is betrekkelijk weinig toegenomen, het gehalte oplosbaar in 1,0 en 2,5 % zoutzuur daar-

TABEL 14. Vergelijking van de oplosbaarheid van de kali, uitgedrukt in % van de hoeveelheden, opgelost van de grond in de Carel Coenraadpolder

Herkomst	Vergelijking van de oplosbaarheid van de kali						
	uitwisselbaar	niet-uitwisselbaar in zoutzuur van					
		0,5%	1,0%	2,5%	5,0%	10,0%	25,0%
C.C.-polder	100	100	100	100	100	100	100
Pr. 172	9	47	43	41	36	32	31
geen K_2O							
no K_2O							
met K_2O	18	58	57	48	40	35	34
with K_2O							
Pr. 1	10	62	56	51	46	44	43
geen K_2O							
no K_2O							
met K_2O	12	66	59	53	47	45	44
with K_2O							
Z. Ge. 17	12	42	43	45	47	50	53
weinig K_2O							
little K_2O							
veel K_2O	14	44	47	48	50	53	56
much K_2O							
Pr 80	46	73	94	106	114	117	117
geen K_2O							
no K_2O							
met K_2O	120	86	112	120	124	124	123
with K_2O							
Origin	ex-changeable	non-exchangeable in hydrochloric acid of					
		0,5%	1,0%	2,5%	5,0%	10,0%	25,0%
	Comparison of the solubility of potassium						

TABEL 14. Comparison of the solubility of potassium, expressed in % of the quantities dissolved of the soil in the C.C.-polder

entegen aanmerkelijk meer. De grote hoeveelheid uitwisselbare kali bij de met kali bemeste veldjes zal vooral bij 0,5% zoutzuur de hoeveelheid niet-uitwisselbare kali, die in oplossing is gegaan, hebben verlaagd (zie ook blz. 9). Bij nog sterker zoutzuur wordt de toename van het gehalte aan niet-uitwisselbare kali nog iets groter, maar in steeds mindere mate, zodat de toename van 10% zoutzuur tot 25% slechts 3 mg K_2O per 100 g droge grond bedraagt. De door de grond van dit proefveld ten gevolge van de kalibemesting opgenomen kali is dus blijkbaar niet bijzonder stevig vastgelegd.

In de tabellen 14 en 14a, waarin de oplosbaarheid van de kali in de verschillende zoutzuurconcentraties vergeleken is met die van de C.C.-polder, is de invloed van de kalibemesting merkbaar aan de meerdere oplosbaarheid, voornamelijk bij de lagere zoutzuurconcentraties.

De waarden van de grond van Pr 80 gaan bij de lagere zoutzuurconcentraties ten opzichte van die van de grond uit de C.C.-polder steeds meer dalen. Dit is ook

TABEL 14a. De oplosbaarheid van de kali uitgedrukt in de verschillen in aantasting

Herkomst		Vergelijking van de oplosbaarheid van de kali, uitgedrukt in de verschillen in aantasting in % van de verschillen in de C.C. polder						
		uit-wisselbaar	niet-uitwisselbaar in zoutzuur van					
			0,5%	0,5-1,0%	1,0-2,5%	2,5-5,0%	5,0-10,0%	10,0-25,0%
C.C.-polder		100	100	100	100	100	100	100
Pr 172	geen K_2O	9	47	39	38	29	23	28
	no K_2O							
	met K_2O	18	58	55	39	29	23	29
	with K_2O							
Pr 1	geen K_2O	10	62	47	47	38	40	39
	no K_2O							
	met K_2O	12	66	49	47	38	40	41
	with K_2O							
Z. Ge. 17	weinig K_2O	12	42	45	47	51	57	61
	little K_2O							
	veel K_2O	14	44	51	48	54	60	63
	much K_2O							
Pr 80	geen K_2O	46	73	126	119	126	123	118
	no K_2O							
	met K_2O	120	86	151	128	129	126	119
	with K_2O							
Origin		ex-changeable	non-exchangeable in HCl of					
			0.5%	0.5-1.0%	1.0-2.5%	2.5-5.0%	5.0-10.0%	10.0-25.0%
		Comparison of the solubility of potassium expressed in the weathering differences in % of the differences in the C.C.-polder						

TABEL 14a. The solubility of the potassium expressed in the weathering differences

het geval bij Z.Ge. 17. Het is waarschijnlijk dat de aantasting van de grond van Z.Ge. 17 reeds is voortgeschreden tot de fractie die in 25 % zoutzuur oplosbaar is.

Anders is het bij de grond van Pr 172 en Pr 1, welke vanaf de sterkste zoutzuurconcentraties relatief een stijging vertonen.

Tabel 14a laat duidelijk zien met welk een merkwaardig verschijnsel wij hier te maken hebben. Immers bij de grond van Pr 1 welke in jaren geen kalibemesting, in welke vorm dan ook, heeft gehad, ziet men een vrij plotselinge stijging optreden bij de zoutzuurconcentraties lager dan 2,5 %. Deze stijging is door de kalibemesting iets sterker geworden. De vraag komt op of er door verwerking in de loop der jaren misschien een aanspreking van de kalivoorraad heeft plaats gevonden, die gelijkmatig tot uiting komt bij aantasting met zoutzuur van stijgende concentraties; door kalitoevoer van elders (b.v. uit de ondergrond, een opvoer in wortels, stalmest voor het begin van de proef) wordt deze vermindering weer tot zekere hoogte ongedaan gemaakt, wat tot uiting komt in de bovengenoemde stijging der waarden. Onderzoek van monsters uit diepere lagen zou hieromtrent meer helderheid kunnen verschaffen.

Kan de oorzaak van het verschillend gedrag van de beide Groninger zavelgronden ten opzichte van de rivierkleigrond uit Afferden ook liggen in de meer of minder gemakkelijke aantastbaarheid van de kalimineralen?

Door MASCHHAUPT (1941) werd gevonden, dat per lysimeter in 21 jaren 280 g K_2O oplosbaar in 5 % zoutzuur gevormd moet zijn, d.i. rond 3200 kg K_2O per ha, wat overeenkomt met 150 kg K_2O per jaar. De grond was een zavelgrond uit de Nieuwe Ruigezandster polder met een slibgehalte (deeltjes kleiner dan 16 μ) van 22,8 %. Ook zegt MASCHHAUPT van de Dollardpolders (1936): „De gehaltcijfers voor de verschillende lagen zijn door de jaren heen merkwaardig constant gebleven, ondanks de belangrijke hoeveelheden kali, welke jaarlijks aan de grond onttrokken worden” (bedoeld wordt de kali oplosbaar in 5,0 % zoutzuur) en verder: „De conclusie ligt voor de hand, dat de voorraad in 5,0 % zoutzuur oplosbare kali steeds weer uit andere moeilijker oplosbare kaliverbindingen wordt aangevuld”.

Bij Z.Ge. 17 heeft men waarschijnlijk te maken met moeilijker aantastbare kalimineralen of met mineralen welke kali vast kunnen leggen.

3. HET VERSCHIL IN KALIGEHALTEN OP DE AL DAN NIET MET KALI BEMESTE VELDJES IN VERGELIJKING MET DE TOTAAL GEGEVEN HOEVEELHEID KALI

In tabel 15 wordt een overzicht gegeven van de bemesting en de hoeveelheden kali welke als uitwisselbare en als in 25 % zoutzuur oplosbare kali in de bouwvoor van de met kali bemeste objecten meer zijn gevonden dan in die van de niet bemeste. De laatsten zijn omgerekend in kg per ha bij een bouwvoordikte van 20 cm en een volumegewicht van de grond van 1,25. Ook zijn opgenomen de meerdere hoeveelheden kali, welke door de gewassen van de bemeste veldjes aan de grond zijn onttrokken.

TABEL 15. Overzicht van de bemesting en van de hoeveelheden kali, welke in de bemeste objecten meer worden gevonden dan in de onbemeste

Proefveld	Op de met kali (hoogste kaligift) bemeste veldjes (kg K ₂ O per ha)				
	gegeven K ₂ O	meer ont- trokken door de gewassen	meer uit- wisselbaar	meer niet- uitwisselbaar HCl 25%	resteert van de bemesting
Pr 172	2550 (16 j)	1000	200	500	850
Pr 1	1750 (14 j)	950	50	250	500
Z. Ge. 17	ruim 940 (7 j)	300	50	500	100
Pr 80	5000 (10 j)	200	1675	1125	2000
<i>Experimental field</i>	<i>K₂O applied</i>	<i>more taken up by the crops</i>	<i>more ex- changeable</i>	<i>more non- exchangeable</i>	<i>remains of the fertilization</i>
<i>Potassium in the fertilized fields (highest potassium dressing) in kg K₂O/ha</i>					

j = year ruim = upwards of

TABEL 15. Survey of the fertilization and of the quantities of potassium which on the fertilized fields are found in excess of the quantities found in the unfertilized fields

Aannemende, dat de aan de ondergrond door de gewassen onttrokken kali bij de onbemeste en de bemeste objecten gelijk is, moeten deze resterende hoeveelheden kali zijn uitgespoeld of wel zeer stevig zijn vastgelegd.

Na aftrek van de meerdere hoeveelheid kali, welke door de gewassen aan de grond is onttrokken, resteren nog van de gegeven bemesting bij Pr 172 1550, bij Pr 1 800, bij Z.Ge. 17 640 en bij Pr 80 4800 kg K₂O, overeenkomende met resp. 61, 46, 68 en 96 % van de gegeven bemesting. Als uitwisselbare kali is resp. 8, 3, 5 en 33 % aanwezig, als kali oplosbaar in 25 % zoutzuur resp. 20, 14, 53 en 23 %, terwijl resp. 33, 29, 10 en 40 % van de gegeven bemesting is uitgespoeld of zeer stevig vastgelegd.

Een meerdere uitspoeling bij de bemeste objecten van rond 50 kg K₂O per jaar bij Pr 172 en 35 kg bij Pr 1 is misschien wel wat groot; een meerdere jaarlijkse uitspoeling van 200 kg bij Pr 80 is zeker hoog, maar gezien de zeer zware bemesting van 500 kg K₂O waarschijnlijk niet onmogelijk.

Ook VAN DER PAAUW (1957) wijst er op dat de uitspoeling bij een dergelijke overdreven zware bemesting zeer aanzienlijk moet zijn geweest. Ook is bij deze grond nog ruim 30 % van de bemestingskali in uitwisselbare vorm aanwezig, hetgeen wijst op een niet sterke binding.

Bij de rivierkleigrond Z.Ge. 17 is opvallend het hoge percentage (ruim 50 %), dat van de gegeven bemesting oplosbaar is in 25 % zoutzuur; een groot deel van de kali is dus tamelijk stevig vastgelegd.

De in het voorafgaande beschouwde meerdere hoeveelheid kali is verkregen door behandeling van de grond met 25 % zoutzuur. Voor het verkrijgen van de juiste meerdere hoeveelheid moet feitelijk de totale hoeveelheid kali die bij ontsluiten van

de grond wordt gevonden, bepaald worden en dit zowel van de niet als van de wel met kali bemeste veldjes.

De bepaling van de totale hoeveelheid kali door ontsluiten wordt uitgevoerd met 0,5 g grond, zodat voor de berekening van deze hoeveelheid per 100 g grond een grote omrekeningsfactor nodig is. Dit heeft tot gevolg, dat deze hoeveelheid niet op mg nauwkeurig is. En aangezien het hier gaat om zeer kleine verschillen tussen twee vrij hoge gehalten aan totaal kali, zijn deze verschillen uit de aard der zaak ook niet erg nauwkeurig te bepalen, dus niet erg betrouwbaar.

De bepalingen werden meestal in 5-voud uitgevoerd met een standaardafwijking van 0,036, overeenkomende met 900 kg K_2O per ha.

Ondanks bovengenoemd bezwaar is van de proefvelden Z.Ge. 17 en Pr 80 de totale hoeveelheid kali van de niet en de wel met kali bemeste veldjes door ontsluiten van de grond zo nauwkeurig mogelijk bepaald.

Bij Z.Ge. 17 werd op de veldjes met de laagste kaligift totaal 2,013 g K_2O per 100 g droge grond gevonden en op die met de hoogste kaligift totaal 2,067 g K_2O of 54 mg K_2O per 100 g droge grond meer, d.i. 1350 kg K_2O per ha. In plaats van minder, wordt volgens deze gehalten op de veldjes met de hoogste kaligift vrij wat meer kali als meerdere hoeveelheid gevonden dan de op deze veldjes meer gegeven kali (ruim 940 kg K_2O per ha). De grote standaardafwijking van de bepaling van het totale gehalte aan kali laat in dit geval niet toe een conclusie te trekken over het lot van de kali welke niet door de gewassen werd onttrokken en niet in het extract van 25 % zoutzuur werd teruggevonden.

Bij Pr 80 werd op de veldjes zonder kali totaal 2,581 g K_2O en op de veldjes met kali totaal 2,700 g K_2O per 100 g droge grond gevonden, dus op de laatste veldjes 119 mg K_2O meer d.i. 2975 kg K_2O per ha. Bij een gegeven hoeveelheid van 5000 kg K_2O per ha worden op de met kali bemeste veldjes dus 2975 kg meer gevonden dan op de niet met kali bemeste veldjes, dat is iets meer dan de helft. Volgens tabel 15 wordt op de bemeste veldjes (omgerekend in kg K_2O per ha) ongeveer 1700 kg K_2O meer aan uitwisselbare kali gevonden dan op de onbemeste. Dit verschil bedraagt aan in 25 % zoutzuur oplosbare kali rondweg 1100 kg, waarvan rond 1000 kg reeds in 5 % zoutzuur oplosbaar is. Er blijft dan nog maar weinig van de als meststof gegeven kali over, die zo sterk gebonden is, dat zij niet in 25 % zoutzuur opgelost wordt. Hoewel de fout der bepalingen van de totale kali tamelijk groot is, mogen we toch wel concluderen, dat de door deze grond in niet-uitwisselbare vorm gebonden kali niet bijzonder stevig is vastgelegd.

Omtrent het kalifixerend vermogen van de grond van deze beide proefvelden is bekend, dat de Dollard-kleigrond van proefveld Pr 80 geen kali fixeert. De rivierkleigrond van proefveld Z.Ge. 17 doet dit wel.

IV. DE OPLOSBAARHEID VAN DE KALI IN ZOUTZUUR VAN VERSCHILLENDE CONCENTRATIES BIJ STERK FIXERENDE GRONDEN, ZONDER EN MET KALIBEMESTING

Een apart onderzoek is gewijd aan twee sterk kalifixerende gronden, nl. die van Ammerzoden en van Hedel, proefvelden van de N.V. Nederlandse Kali-Importmij.

TEMME en VAN DER MAREL (1952) bespreken het eerstgenoemde proefveld uitvoerig. Volgens HOEKSEMA (1950) zou men hier met een Maas-Waal-afzetting te maken hebben.

Onze monsters zijn afkomstig van een bouwvoor van 20 cm van proefveldstroken zonder kali, met lage en dubbel zo hoge kalibemesting en werden in 1951 genomen (aanleg van het proefveld in 1928).

Het nieuwe Centraal Kaliproefveld te Hedel werd na de oogst van 1947 aangelegd, zodat 1948 het eerste proefjaar was. Het bevat vier stroken door overlangs lopende paden gescheiden. Een strook ontving geen kali, een tweede een lage kalibemesting en de beide andere resp. twee- en driemaal zoveel als de tweede strook.

TABEL 16. Granulaire samenstelling van de grondmonsters uit de proefvelden bij Ammerzoden en Hedel

No.	De droge grond (105° C) bevat in procenten						
	CaCO ₃	Organische stof	Deeltjes		Slibfractie	Zandfractie	
			< 2 μ	2-16 μ			
Ammerzoden							
30B 063	geen K ₂ O	0	2,7	31,2	23,6	54,8	42,5
	no K ₂ O						
064	weinig K ₂ O	0,1	3,3	32,8	21,6	54,4	42,2
	little K ₂ O						
065	veel K ₂ O	0,1	2,7	26,9	20,8	47,7	49,5
	much K ₂ O						
Hedel							
30B 059	geen K ₂ O	0	2,5	35,5	23,0	58,5	39,0
	no K ₂ O						
061	middelmatig K ₂ O	0	2,4	37,1	24,9	62,0	35,6
	moderate K ₂ O						
062	veel K ₂ O	0	2,6	31,3	20,4	51,7	45,7
	much K ₂ O						
No.	CaCO ₃	Organic matter	Particles		Silt < 16 μ	Sand > 16 μ	
			< 2 μ	2-16 μ			
	Dry soil (105°C) in %						

TABLE 16. Granular composition of soil samples from the experimental fields at Ammerzoden and Hedel

TABEL 17. Kaliegehalten in % van de droge grond

	Gehalten aan K ₂ O in procenten van de droge grond						
	uitwis- selbaar	oplosbaar in HCl van					
		0,5%	1,0%	2,5%	5,0%	10,0%	25,0%
Ammerzoden							
30B 063 geen K ₂ O <i>no K₂O</i>	0,006	0,025	0,046	0,125	0,251	0,392	0,569
064 weinig K ₂ O <i>little K₂O</i>	0,008	0,032	0,057	0,142	0,276	0,427	0,618
065 veel K ₂ O <i>much K₂O</i>	0,014	0,055	0,075	0,146	0,259	0,385	0,545
Hedel							
30B 059 geen K ₂ O <i>no K₂O</i>	0,014	0,032	0,048	0,117	0,249	0,431	0,597
061 middelmatig K ₂ O <i>moderate K₂O</i>	0,012	0,034	0,053	0,128	0,272	0,472	0,659
062 veel K ₂ O <i>much K₂O</i>	0,010	0,042	0,057	0,120	0,238	0,402	0,551
	exchange- able	<i>soluble in HCl of</i>					
		0.5%	1.0%	2.5%	5.0%	10.0%	25.0%
	<i>Potassium contents in % of dry soil</i>						

TABEL 17. Potassium contents in % of dry soil

TABEL 18. Kaliegehalten in % van de fractie < 2 μ

	Gehalten aan K ₂ O in procenten van de fractie < 2 μ						
	uitwis- selbaar	oplosbaar in HCl van					
		0,5%	1,0%	2,5%	5,0%	10,0%	25,0%
Ammerzoden							
30B 063 geen K ₂ O <i>no K₂O</i>	0,019	0,080	0,147	0,400	0,804	1,257	1,823
064 weinig K ₂ O <i>little K₂O</i>	0,024	0,098	0,174	0,433	0,841	1,302	1,883
065 veel K ₂ O <i>much K₂O</i>	0,056	0,204	0,279	0,543	0,963	1,432	2,026
Hedel							
30B 059 geen K ₂ O <i>no K₂O</i>	0,039	0,090	0,125	0,330	0,701	1,213	1,682
061 middelmatig K ₂ O <i>moderate K₂O</i>	0,032	0,092	0,143	0,345	0,733	1,272	1,777
062 veel K ₂ O <i>much K₂O</i>	0,032	0,134	0,182	0,383	0,760	1,283	1,760
	exchange- able	<i>soluble in HCl of</i>					
		0.5%	1.0%	2.5%	5.0%	10.0%	25.0%
	<i>Potassium contents in % of fraction < 2 μ</i>						

TABEL 18. Potassium contents in % of fraction < 2 μ

Van dit proefveld zijn mengmonsters van de stroken zonder kali en met een gemiddelde en hoge kalibemesting in het onderzoek betrokken. De monsters werden eveneens in 1951 genomen van de laag 0–20 cm.

Als fixatiecijfers zijn voor de grond van het proefveld Ammerzoden gevonden: 58 (geen kali), 46 (weinig kali) en 25 (veel kali); voor de grond van het proefveld Hedel resp. 40, 38 en 24.

De fixatie is bepaald met Mg-acetaat volgens de zg. „natte methode”. Hiertoe zijn aan 2,5 g luchtdroge grond, 10 ml KCl-oplossing welke 2,5 mg K_2O bevat toegevoegd. De volgende dag is afgezogen op een glasfilterkroes en gepercoleerd met 0,5 n Mg-acetaatoplossing tot 50 ml. In het percolaat is vlamfotometrisch de kali bepaald, waarbij werd vergeleken met een standaardoplossing, waarbij KCl wordt opgelost in 0,5 n Mg-acetaat (A). Voor de bepaling van de uitwisselbare kali is evenzo gehandeld, alleen is de 10 ml KCl-oplossing vervangen door 10 ml gedestilleerd water (B). Het fixatiecijfer, uitgedrukt in mg K_2O per 100 g droge grond is dan $(2,5 + B-A)$ maal 40.

Tabel 16 geeft een overzicht van de granulaire samenstelling van de onderzochte monsters.

De gehalten aan kali oplosbaar in verschillende zoutzuurconcentraties zijn opgenomen in tabel 17. Hiervoor werden weer 10 g luchtdroge grond gedurende 2 uur

TABEL 19. Hoeveelheden kali, oplosbaar in oplopende zoutzuurconcentraties, uitgedrukt in % van de hoeveelheid oplosbaar in 25% HCl

	Percentages van de in 25,0% HCl opgeloste hoeveelheid K_2O als					
	uitwisselbaar	niet-uitwisselbaar, opgelost in HCl van				
		0,5%	1,0%	2,5%	5,0%	10,0%
Ammerzoden						
30B 063 geen K_2O <i>no K_2O</i>	1,05	3,34	7,03	20,9	43,2	67,8
064 weinig K_2O <i>little K_2O</i>	1,29	3,88	7,93	21,7	43,4	67,8
065 veel K_2O <i>much K_2O</i>	2,75	7,34	11,02	24,0	44,8	67,9
Hedel						
30B 059 geen K_2O <i>no K_2O</i>	2,34	3,02	5,70	17,3	39,4	69,8
061 middelmatig K_2O <i>moderate K_2O</i>	1,82	3,34	6,22	17,6	39,4	69,8
062 veel K_2O <i>much K_2O</i>	1,82	5,81	8,53	20,0	41,4	71,1
	<i>exchange able</i>	<i>non-exchangeable, soluble in HCl of</i>				
		<i>0.5%</i>	<i>1.0%</i>	<i>2.5%</i>	<i>5.0%</i>	<i>10.0%</i>
	<i>Percentages of the quantity K_2O soluble in 25.0% HCl</i>					

TABEL 19. Quantities of potassium soluble in increasing concentrations of hydrochloric acid expressed in % of the quantity soluble in 25% HCl

TABEL 20. Toename van het kaligehalte op de bemeste objecten t.o.v. de onbemeste

	Toename van het kaligehalte op de met kali bemeste objecten t.o.v. de niet bemeste in mg K ₂ O per 100 g fractie kleiner dan 2 μ							
	Ammerzoden				Hedel			
	weinig K ₂ O		veel K ₂ O		middelmatig K ₂ O		veel K ₂ O	
	totaal	niet-uitwisselbaar	totaal	niet-uitwisselbaar	totaal	niet-uitwisselbaar	totaal	niet-uitwisselbaar
	Uitwisselbaar	5		37		— 7		— 7
Exchangeable								
0,5% HCl	18	13	124	87	2	9	44	51
1,0% „	27	22	132	95	18	25	57	64
2,5% „	33	28	143	106	15	22	53	60
5,0% „	37	32	159	122	32	39	59	66
10,0% „	45	40	175	138	59	66	70	77
25,0% „	60	55	203	166	95	102	78	85
	<i>total</i>	<i>non-exchangeable</i>	<i>total</i>	<i>non-exchangeable</i>	<i>total</i>	<i>non-exchangeable</i>	<i>total</i>	<i>non-exchangeable</i>
	<i>little K₂O</i>		<i>much K₂O</i>		<i>moderate K₂O</i>		<i>much K₂O</i>	
	<i>Ammerzoden</i>				<i>Hedel</i>			
	<i>Increase of the potassium content on the fields fertilized with potassium with respect to the not fertilized fields in mg K₂O per 100 g fraction smaller than 2 μ.</i>							

TABEL 20. Increase of the potassium content on the fertilized fields with respect to the not fertilized fields

aan een koeler gekookt met 200 ml zoutzuur van de betreffende sterkte. In deze tabel zijn ook de gehalten aan uitwisselbare kali opgenomen.

Omdat het verschil in de granulaire samenstelling van de monsters van hetzelfde proefveld nogal groot is, werden om beter vergelijkbare waarden te krijgen in tabel 18 de uitwisselbare en de in zoutzuur oplosbare kali berekend in procenten van de fractie kleiner dan 2 μ. Volgens VAN DER MAREL en VENEKAMP (1955) mag worden aangenomen dat alleen de fractie < 2 μ kalium zal vastleggen. De kali van de zandfractie (> 16 μ) zal door de behandeling met zoutzuur weinig worden aangetast; bij behandeling met zoutzuur van 5% lost namelijk slechts 4 à 5% op van de hoeveelheid kali, welke in de zandfractie voorkomt (blz. 15)¹.

Evenals dit bij de eerste onderzoeken is gedaan (tabel 6) worden in tabel 19 de gevonden kaligehalten uitgedrukt in percentages van de in zoutzuur van 25% opgeloste hoeveelheid kali.

Uit deze cijfers blijkt bij het 24-jarige proefveld Ammerzoden zowel voor de uit-

¹ Het is nog een lacune in dit onderzoek, dat de fractie 2-16 μ niet onderzocht is.

wisselbare als voor de niet-uitwisselbare kali door de kalibemesting een toename van de gehalten, voornamelijk aan gemakkelijk oplosbare kali. Dit komt vooral tot uiting bij de zwaarste bemesting. Bij het 4-jarige proefveld Hedel is het gehalte aan uitwisselbare kali bij de met kali bemeste objecten eerder iets lager; voor de niet-uitwisselbare kali geldt hetzelfde als bij het proefveld Ammerzoden, alleen in mindere mate.

In tabel 20 is de toename van de uitwisselbare kali en van de kali oplosbaar bij de verschillende zoutzuurconcentraties van de met kali bemeste objecten ten opzichte van het onbemeste perceel aangegeven in mg K_2O per 100 g fractie $< 2 \mu$.

De verschillen in oplosbaarheid van de kali van de bemeste veldjes ten opzichte van de onbemeste bij de verschillende zoutzuurconcentraties zijn, zoals te verwachten is, bij Hedel met zijn 4-jarige kalibemesting kleiner dan bij Ammerzoden met zijn 24-jarige. Bij de grond van dit laatste proefveld is het gehalte aan uitwisselbare kali, vooral bij de hoogste kaligift, behoorlijk toegenomen, hoewel het nog niet hoog is te noemen.

Door de kalibemesting neemt het gehalte aan niet-uitwisselbare kali, zowel bij Ammerzoden als bij Hedel sterk toe met de toename van de concentratie van het zuur.

De kali die ten gevolge van de kalibemesting, door de grond van deze proefvelden is opgenomen, wordt blijkbaar gedeeltelijk vrij stevig vastgelegd; eerst bij zwaardere bemesting komt meer gemakkelijk oplosbare kali ter beschikking.

Evenals bij de te voren onderzochte gronden is gedaan, is in tabel 21 de oplos-

TABEL 21. Vergelijking van de oplosbaarheid van de kali, uitgedrukt in % van de hoeveelheden, opgelost van de grond in de Carel Coenraadpolder

Herkomst	Vergelijking van de oplosbaarheid van de kali						
	uitwissel- baar	niet-uitwisselbaar in zoutzuur van					
		0,5%	1,0%	2,5%	5,0%	10,0%	25,0%
C.C.-polder	100	100	100	100	100	100	100
Ammerzoden							
Geen K_2O - No K_2O	7	26	33	50	61	68	74
Weinig K_2O - Little K_2O	9	32	39	53	64	70	77
Veel K_2O - Much K_2O	19	63	57	63	71	75	81
Hedel							
Geen K_2O - No K_2O	15	25	28	43	59	73	77
Middelmatig K_2O - Moderate K_2O	12	29	32	46	62	77	82
Veel K_2O - Much K_2O	12	49	43	52	65	78	81
Origin	exchange- able	non-exchangeable in HCl of					
		0.5%	1.0%	2.5%	5.0%	10.0%	25.0%
	<i>Comparison of the solubility of potassium</i>						

TABLE 21. Comparison of the solubility of potassium expressed in % of the quantities dissolved of the soil in the C.C. polder

TABEL 21a. De oplosbaarheid van de kali uitgedrukt in de verschillen in aantasting

Herkomst	Vergelijking van de oplosbaarheid van de kali, uitgedrukt in de verschillen in aantasting in % van de verschillen in de C.C.-polder						
	uitwisselbaar	niet-uitwisselbaar in zoutzuur van					
		0,5 %	0,5-1,0 %	1,0-2,5 %	2,5-5,0 %	5,0-10,0 %	10,0-25,0 %
C.C.-polder	100	100	100	100	100	100	100
Ammerzoden							
Geen K_2O - No K_2O	7	26	43	67	79	82	95
Weinig K_2O - Little K_2O	9	32	49	68	80	84	98
Veel K_2O - Much K_2O	19	63	49	70	82	85	100
Hedel							
Geen K_2O - No K_2O	15	25	33	58	82	106	89
Middelmatig K_2O - Moderate K_2O	12	29	35	61	86	112	96
Veel K_2O - Much K_2O	12	49	35	61	84	108	91
Origin	exchangeable	non-exchangeable in HCl of					
		0.5%	0.5-1.0%	1.0-2.5%	2.5-5.0%	5.0-10.0%	10.0-25.0%
	Comparison of the solubility of potassium expressed in the weathering differences in % of the differences in the C.C. polder						

TABEL 21a. The solubility of the potassium expressed in the weathering differences

baarheid van de kali in de verschillende zoutzuurconcentraties vergeleken met die van de C.C.-polder. De gehaltcijfers van tabel 17 zijn van te voren gecorrigeerd op de gehalten aan deeltjes kleiner dan 2μ van de onbemeste objecten.

Ook bij deze gronden gaan de waarden t.o.v. die van de C.C.-polder, evenals bij de rivierkleigronden uit Heteren en Afferden, reeds bij 25,0 % zoutzuur en lager zeer sterk dalen.

De invloed van de kalibemesting is, voornamelijk bij de lagere zoutzuurconcentraties, zowel in tabel 21 als in 21a duidelijk.

Bij de niet met kali bemeste rivierkleigronden treft men niet, zoals bij de oudere zeelegronden (tabel 14a), een stijging der relatieve verschillen aan bij de lagere zoutzuurconcentraties.

1. RESULTATEN BIJ HERHAALDE EXTRACTIE

Omdat de hoeveelheid kali, welke in oplossing gaat bij de gebruikte bepalingmethode afhankelijk is van de verhouding tussen grond en oplosmiddel (MASCHHAUPT, 1936 en VAN DER SPEK, 1944, blz. 129) en ook van de tijdsduur van het koken, is van het monster 30 B 065 (hoogste bemesting Ammerzoden) 1 g in plaats van 10 g met 200 ml zoutzuur gedurende 2 uur aan een koeler gekookt. Deze bewerking is na telkens affiltreren en uitwassen enige malen herhaald. Gekookt is met zoutzuur

van 0,5, 5,0, 20,0 en 25,0%. Hierbij bleek, dat bij de laatste drie concentraties na 5 à 6 keer extraheren bij de volgende extracties voor elk van deze concentraties dezelfde hoeveelheid kali in oplossing is gegaan; met 5,0% zoutzuur ging het oplossen iets langzamer. Het is niet onmogelijk dat met zoutzuur van 0,5% hetzelfde resultaat bereikt zal kunnen worden, wanneer de extractie maar lang genoeg wordt voortgezet. In tabel 22 zijn de resultaten opgenomen.

Volgens tabel 17 lost bij koken gedurende 2 uur van 10 g grond van het monster 30B 065 met 200 ml HCl van 0,5%, 5,0%, 10,0% en 25,0% resp. 0,055, 0,259, 0,385 en 0,545 mg per 100 g droge grond op. Deze gehalten verschillen aanmerkelijk van die verkregen bij koken gedurende 2 uur van 1 g grond met 200 ml HCl van dezelfde concentraties. Hieruit blijkt dus duidelijk dat de hoeveelheid kali, welke in oplossing gaat, sterk afhangt van de verhouding tussen grond en oplosmiddel. Bij koken met 0,5% HCl is dit verschil naar verhouding het grootst en neemt af naar mate de concentratie van het zoutzuur toeneemt.

TABEL 22. Kaliegehalten in % van de droge grond bij herhaalde extractie door koken met zoutzuur van oplopende concentraties

Aantal malen gekookt	K ₂ O in procenten van de droge grond (30B 065) bij herhaalde extractie door koken van 1 g met 200 ml HCl van			
	0,5%	5,0%	20,0%	25,0%
1	0,121	0,350	0,565	0,621
2	0,077	0,151	0,146	0,149
3	0,083	0,104	0,087	0,084
4	0,084	0,126	0,075	0,057
5	0,070	0,111	0,066	0,052
6	0,067	0,090	0,063	0,047
7	0,069	0,079	0,060	0,045
8	0,047	0,078		0,046
	0,618	1,089	1,062	1,101
Number of times boiled	K ₂ O in % of the dry soil (30B 065) with repeated extraction by boiling of 1 g with 200 ml HCl			
	0.5%	5.0%	20.0%	25.0%

TABEL 22. Potassium contents in % of dry soil with repeated extraction by boiling with hydrochloric acid of increasing concentrations

Er mag toch zeker worden aangenomen, dat de gefixeerde kali nu wel geheel is opgelost. Daarom zijn alle monsters van de proefvelden Ammerzoden en Hedel op dezelfde manier geëxtraheerd met zoutzuur van 20% – de bepaling werd in 3-voud uitgevoerd – om zo mogelijk de hoeveelheid kali welke werkelijk is gefixeerd, te weten te komen. Daar de granulaire samenstelling van de monsters nog al uiteenloopt, zijn de gehalten ook berekend in procenten van de fractie kleiner dan 2 μ, waardoor ze beter vergelijkbaar zijn. Tabel 23 geeft de resultaten van dit onderzoek.

TABEL 23. Kaligehalten in % van de droge grond en in % van de fractie < 2 μ en toename van de hoeveelheid kali in mg K₂O per 100 g fractie < 2 μ in de met kali bemeste objecten bij herhaalde extractie door koken met zoutzuur van 20 %

a. Ammerzoden

Aantal malen gekookt	K ₂ O in oplossing gegaan bij herhaalde extractie door koken van 1 g grond met 200 ml HCl van 20 %						Toename van de kali in de bemeste objecten in mg K ₂ O per 100 g fractie < 2 μ	
	in procenten van							
	de droge grond			de fractie < 2 μ			weinig K ₂ O	veel K ₂ O
	geen K ₂ O	weinig K ₂ O	veel K ₂ O	geen K ₂ O	weinig K ₂ O	veel K ₂ O		
1	0,570	0,624	0,565	1,83	1,90	2,10	70	270
2	0,142	0,163	0,146	0,45	0,50	0,54	50	90
3	0,088	0,102	0,087	0,28	0,31	0,32	30	40
4	0,077	0,082	0,075	0,25	0,25	0,28	0	30
5	0,067	0,071	0,066	0,21	0,22	0,24	10	30
6	0,067	0,069	0,063	0,21	0,21	0,23	0	20
7	0,067	0,069	0,060	0,21	0,21	0,22	0	10
							160	490

Number of times boiled	no K ₂ O	little K ₂ O	much K ₂ O	no K ₂ O	little K ₂ O	much K ₂ O	little K ₂ O	much K ₂ O
	in % of						Potassium increase of fertilized fields in mg K ₂ O per 100 g fraction < 2 μ	
	dry soil			fraction < 2 μ				
	K ₂ O dissolved with repeated extraction by boiling of 1 g soil with 200 ml HCl of 20%							

b. Hedel

Aantal malen gekookt	K ₂ O in oplossing gegaan bij herhaalde extractie door koken van 1 g grond met 200 ml HCl van 20 %						Toename van de kali in de bemeste objecten in mg K ₂ O per 100 g fractie < 2 μ	
	in procenten van							
	de droge grond			de fractie < 2 μ			weinig K ₂ O	veel K ₂ O
	geen K ₂ O	weinig K ₂ O	veel K ₂ O	geen K ₂ O	weinig K ₂ O	veel K ₂ O		
1	0,609	0,663	0,562	1,72	1,79	1,80	70	80
2	0,182	0,207	0,177	0,51	0,56	0,57	50	60
3	0,086	0,105	0,090	0,24	0,28	0,29	40	50
4	0,075	0,079	0,070	0,21	0,21	0,22	0	10
5	0,077	0,079	0,070	0,22	0,21	0,22	-10	0
							150	200

Number of times boiled	no K ₂ O	little K ₂ O	much K ₂ O	no K ₂ O	little K ₂ O	much K ₂ O	little K ₂ O	much K ₂ O
	in % of						Potassium increase of fertilized fields in mg K ₂ O per 100 g fraction < 2 μ	
	dry soil			fraction < 2 μ				
	K ₂ O dissolved with repeated extraction by boiling of 1 g soil with 200 ml HCl of 20%							

TABEL 23. Potassium contents in % of dry soil and in % of the fraction < 2 μ and increase of the quantity potassium in mg K₂O per 100 g fraction < 2 μ in the fertilized fields with repeated extraction by boiling with hydrochloric acid of 20 %

Na enige malen twee uur koken werden de gehalten aan in zoutzuur oplosbare kali vrijwel gelijk, zodat we kunnen aannemen dat nu nog alleen de oorspronkelijke kalimineralen worden aangetast en de gefixeerde kali geheel in oplossing is gegaan.

Bij de monsters van het proefveld Ammerzoden wordt per 100 g fractie $< 2 \mu$ bij de laagste kaligift 160 en bij de hoogste 490 mg K_2O meer gevonden dan bij het niet met kali bemeste perceel. Als uitwisselbare kali is 5 en 37 mg per 100 g fractie $< 2 \mu$ meer gevonden (tabel 20), zodat voor de niet-uitwisselbare in zoutzuur oplosbare K_2O resp. 155 en 453 mg meer gevonden wordt, wat overeenkomt met resp. 1275 en 3050 kg K_2O per ha. Bij de monsters van het proefveld Hedel bedragen deze laatste waarden 157 en 207 mg per 100 g fractie $< 2 \mu$, overeenkomende met resp. 1450 en 1625 kg K_2O per ha.

Gezien de cijfers in de laatste twee kolommen van tabel 23 zou men tot de conclusie kunnen komen, dat de gefixeerde kali ook in zoutzuur van 20% tamelijk moeilijk oplosbaar is.

Ter vergelijking zijn ook monsters van het 10-jarige kaliproefveld Pr 80 – zie blz. 17 –, dus van een niet-kalifixerende grond, op dezelfde manier met zoutzuur van 20% gekookt. De resultaten zijn opgenomen in tabel 24.

Bij dit proefveld met zijn niet-kalifixerende grond wordt reeds na tweemaal koken van 1 g grond met 200 ml HCl van 20% bij verder koken geen toename van het ge-

TABEL 24. Kaligehalten in % van de droge grond en in % van de fractie $< 2 \mu$ en toename van de hoeveelheid kali in mg K_2O in de met kali bemeste objecten bij herhaalde extractie door koken met zoutzuur van 20% (Pr. 80, Nieuw Beerta)

Aantal malen gekookt	K_2O in oplossing gegaan bij herhaalde extractie door koken van 1 g grond met 200 ml HCl van 20%				Toename van de kali op het bemeste perceel in mg per 100 g	
	in procenten van de				droge grond	fractie $< 2\mu$
	droge grond		van de fractie $< 2 \mu$			
	zonder kali	met kali	zonder kali	met kali		
1	1,057	1,154	2,24	2,47	97	230
2	0,200	0,212	0,42	0,45	12	30
3	0,131	0,131	0,28	0,28	0	0
4	0,112	0,112	0,24	0,24	0	0
					109	260

Number of times boiled	<i>without K_2O</i>	<i>with K_2O</i>	<i>without K_2O</i>	<i>with K_2O</i>	Potassium increase of fertilized fields per 100 g	
	in % of				dry soil	fractie $< 2\mu$
	dry soil		fractie $< 2 \mu$			
	K_2O dissolved with repeated extraction by boiling of 1 g soil with 200 ml HCl of 20%					

TABEL 24. Potassium contents in % of dry soil and in % of the fraction $< 2 \mu$ and increase of the quantity potassium in mg K_2O in the fertilized fields with repeated extraction by boiling with hydrochloric acid of 20%

TABEL 25. Kaliegehalten van de grond, de zand- en de slibfracties

No.	Totaal K ₂ O per 100 g		Van de totaal kali is aanwezig			K ₂ O per 100 g slibfractie			Totaal K ₂ O per 100 g slibfractie hoger door de kalibemesting
	grond	zand > 16 μ	in de zandfractie	uitwisselbaar (tabel 17)	niet-uitwisselbaar	totaal	uitwisselbaar	niet-uitwisselbaar	
Ammerzoden									
30B 063	1,899	1,510	0,642	0,006	1,251	2,292	0,011	2,281	
064	2,062	1,576	0,665	0,008	1,389	2,566	0,015	2,551	0,274
065	2,070	1,423	0,705	0,015	1,350	2,862	0,031	2,831	0,570
Hedel									
30B 059	1,983	1,493	0,582	0,014	1,387	2,395	0,024	2,371	
061	2,121	1,512	0,538	0,012	1,571	2,554	0,019	2,535	0,159
062	2,090	1,445	0,660	0,010	1,420	2,765	0,019	2,746	0,370
No.	soil	sand > 16 μ	sand-fraction	exchangeable	non-exchangeable	total	exchangeable	non-exchangeable	Total K ₂ O per 100 g silt fraction higher in consequence of potassium fertilization
	Total K ₂ O per 100 g		Total K ₂ O						

TABEL 25. Potassium contents of the soil, sand- and siltfractions

halte aan kali op het met kali bemeste perceel t.o.v. het niet met kali bemeste perceel per 100 g droge grond gevonden. Wel gaat er in die gevallen dan nog kali in oplossing, maar deze hoeveelheid is gelijk voor het niet en het wel met kali bemeste perceel. De hoeveelheid kali die ten gevolge van de kalibemesting door de grond van dit proefveld is opgenomen, is dus gemakkelijk in zoutzuur oplosbaar. Deze hoeveelheid bedraagt 109 mg K₂O per 100 g droge grond.

Volgens tabel 13 bedraagt de toename van het gehalte aan K₂O op het met kali bemeste perceel van dit proefveld bij koken van 10 g grond met 200 ml HCl van 10 % eveneens 109 mg K₂O per 100 g droge grond. Van deze 109 mg K₂O is nog 67 mg in uitwisselbare vorm aanwezig. Bij koken met HCl van 25 % is deze toename nog iets groter nl. 112 mg K₂O per 100 g droge grond. Bij de bepaling van het totale gehalte aan kali door ontsluiten bedraagt het verschil tussen de percelen met en zonder kalibemesting bij dit proefveld 119 mg K₂O per 100 g droge grond (zie blz. 25), zodat de door de grond opgenomen hoeveelheid kali vrijwel geheel in zoutzuur gemakkelijk oplosbaar is.

De oplosbaarheid in zoutzuur van de door de grond opgenomen kali bij bemesting

van een kalifixerende en niet-kalifixerende grond komt uit onze bepalingen dus duidelijk naar voren.

Van de monsters van de proefvelden Ammerzoden en Hedel zijn ook de gehalten aan totaal kali, zowel van de grond als van de zandfracties (deeltjes $> 16 \mu$), bepaald. Deze bepalingen werden in 4- en 5-voud uitgevoerd. Tabel 25 geeft de gevonden gemiddelde waarden.

Ten gevolge van de kalibemesting blijkt het totaal kaligehalte per 100 g slibfractie van de met kali bemeste objecten bij het proefveld Ammerzoden 0,274% en 0,570% hoger te zijn dan dat van het niet met kali bemeste perceel; bij het proefveld Hedel bedraagt dit verschil 0,159% en 0,370%.

2. BEMESTING EN KALI-ONTTREKKING OP HET PROEFVELD AMMERZODEN

Het matig en het zwaar bemeste object van het proefveld Ammerzoden ontvingen per jaar resp. 140 en 290 kg K_2O per ha (VAN DER MAREL EN VENEKAMP, 1955); of in totaal in 24 jaren resp. 3350 en 6950 kg. De onttrekking door de gewassen in deze periode is uit de gegevens van TEMME EN VAN DER MAREL (1952) berekend door de onttrekking van de eerste 16 jaren met 1,5 te vermenigvuldigen; deze bedraagt dan resp. 1950, 3100 en 3550 kg per ha. Met enig verlies door uitspoeling is door ons geen rekening gehouden, daar wij van mening zijn dat door een dergelijk sterk fixerende grond vermoedelijk geen kali (of althans weinig) door uitspoeling verloren zal gaan.

Door de gewassen is dan op de met kali bemeste objecten 1150 en 1600 kg K_2O per ha meer aan de grond onttrokken dan door die op het niet met kali bemeste perceel, zodat van de kalibemesting 2200 en 5350 kg zou moeten resteren. Hierbij is aangenomen, dat door de gewassen van de bemeste veldjes evenveel kali door afbraak van bodemmineralen wordt opgenomen als door die van het onbemeste perceel.

Wanneer we mogen aannemen, dat door de gewassen van het onbemeste object per jaar nog gemiddeld het zeer ruime bedrag van 40 kg K_2O per ha (in 24 jaren 960 kg) meer aan kalium uit directe afbraak van bodemmineralen is opgenomen dan door de gewassen van de bemeste objecten (VAN DER MAREL EN VENEKAMP, 1955, noot 1, blz. 26), dan zouden door laatstgenoemde gewassen rond 2100 en 2550 kg K_2O per ha meer aan de bemesting zijn onttrokken dan door die op het onbemeste object. Van de bemesting zou dan resteren resp. 1250 en 4400 kg.

Door de gewassen op het onbemeste perceel is 1950 kg K_2O per ha aan de grond onttrokken. Dit is gedeeltelijk uitwisselbare kali, maar zeer zeker grotendeels ook kali die beschikbaar gekomen is door afbraak door de plantewortels van mineralen afkomstig zowel uit de bouwvoor als uit de ondergrond.

De uit de bemesting in de bouwvoor resterende hoeveelheden van 1250 en 4400 kg K_2O per ha zullen dan ook wel bij benadering juist zijn.

Bij de berekening van de toename of mindere afname van de hoeveelheid kali bij de met kali bemeste objecten door middel van de gehalten aan totaal K_2O is aangenomen, dat het zand (deeltjes $> 16 \mu$) niet direct aan de kalilevering zal deelnemen. Daar de granulaire samenstelling van de objecten nog al verschillen vertonen, is om

tot een betere vergelijking te kunnen komen, uitgegaan van de gehalten aan totaal kali per 100 g slibfractie (tabel 24).

Uit de hogere gehalten aan totaal K_2O van de bemeste percelen van 0,274 % en 0,570 % per 100 g slibfractie volgt, dat in de bouwvoor hiervan 3700 en 6800 kg K_2O per ha meer aanwezig is dan in die van het onbemeste perceel. Deze hoeveelheden zijn hoger dan de van de bemesting resterende hoeveelheden, welke volgens de gewassenbalans zijn gevonden. Aangezien de standaardafwijking bij de bepaling van de totaal kali nogal groot is, kunnen we aan de gevonden gehalten niet te veel waarde hechten.

De uitwisselbare kali is bij de met kali bemeste percelen 50 en 250 kg K_2O per ha hoger geworden.

Voor de berekening van de gefixeerde kali zijn wij uitgegaan van de herhaalde extractie met 20 % zoutzuur (tabel 23). De toename van de gehalten aan in zoutzuur oplosbare niet-uitwisselbare kali bij de met kali bemeste objecten bedraagt 0,155 % en 0,453 %, berekend op de fractie $< 2 \mu$, wat overeenkomt met 1275 en 3050 kg K_2O per ha.

Voor het proefveld te Ammerzoden komen we nu tot het volgende overzicht (tabel 26):

TABEL 26. Kalibalans van het proefveld Ammerzoden

Kalibalans van het proefveld Ammerzoden	Lichtste bemesting <i>lightest dressing</i>	Zwaarste bemesting <i>heaviest dressing</i>	Potassium balance of the experimental field Ammerzoden
	kg K_2O per ha		
Door de gewassen aan de bemeste objecten meer onttrokken dan aan de niet-bemeste objecten	2100	2550	<i>Quantity of potassium withdrawn by the crops from the fertilized fields in excess of the quantity withdrawn from the non-fertilized fields</i>
In de bemeste objecten meer uitwisselbare kali dan in de niet-bemeste	50	250	<i>Quantity exchangeable potassium in the fertilized fields in excess of the quantity in non-fertilized fields</i>
Gefixeerd van de bemestingskali	1275	3050	<i>Quantity of the potassium dressing fixed</i>
Kalibemesting	3425 3350	5850 6950	<i>Potassium dressing</i>
Van de bemesting resteert	- 75	1100	<i>Left from the fertilizers applied</i>

TABLE 26. Potassium balance of the experimental field Ammerzoden

Bij het object met de lichtste kalibemesting is de niet door de gewassen opgenomen kali blijkbaar geheel gefixeerd; het is waarschijnlijk, dat bij de zwaarste bemesting nog een klein gedeelte van de kali naar de ondergrond is afgevoerd, waarop ook door VAN DER MAREL EN VENEKAMP (1955) wordt gewezen.

SAMENVATTING

Aangezien de gewassen naast de aanwezige uitwisselbare kali ook in staat zijn niet-uitwisselbare kali op te nemen, werd het van belang geacht iets te weten te komen omtrent de oplosbaarheid in zuren van de kali uit de grondmineralen. Met de meer of mindere oplosbaarheid van de kali in zuren hangt de nalevering van kali door de grond samen. Daarom is van enkele monsters van kleigronden van verschillende herkomst de oplosbaarheid van de kali in zoutzuur van verschillende concentraties vergeleken.

Bij de analyse van deze monsters is gebleken, dat terdege rekening moet worden gehouden met de aanwezigheid van koolzure kalk. Vooral indien het percentage hiervan hoog is, kunnen bij de lagere zoutzuurconcentraties veel te lage waarden voor de niet-uitwisselbare kali worden gevonden (tabellen 2 en 4).

Fig. 1 geeft voor vijf van de onderzochte gronden het verloop aan van de niet-uitwisselbare kali, welke bij oplopende zoutzuurconcentraties in oplossing gaat.

Daar de hoeveelheid kali die bij de diverse gronden bij de verschillende zoutzuurconcentraties in oplossing gaat, van verschillende evenwichtsfactoren afhankelijk is, is het voor een onderlinge vergelijking van de oplosbaarheid van de kali overzichtelijker om de hoeveelheden welke in de lagere zoutzuurconcentraties zijn opgelost, uit te drukken in procenten van de in 25 % zoutzuur opgeloste hoeveelheid (tabellen 6 en 19). Om een goed inzicht te krijgen in het proces van verwerking resp. veroudering van de verschillende kleigronden wordt de oplosbaarheid van de kali in de verschillende zoutzuurconcentraties vergeleken met de hoeveelheden gevonden voor de Carel Coenraadpolder, een jonge, kalirijke zeeklei (tabellen 7, 7a, 14, 14a en 21, 21a).

Uit het onderzoek is gebleken, dat bij de rivierkleigronden uit Heteren (tabel 7 en 7a), Afferden (Z.Ge. 17, tabel 14 en 14a), Ammerzoden en Hedel (tabel 21 en 21a), gronden met een hoge kalifixatie, de aantasting van de niet-uitwisselbare kali waarschijnlijk reeds is voortgeschreden tot de fractie, die in 25 % zoutzuur oplosbaar is. Bij de zeer zware zeeklei uit de oude polder Simson (ingedijkt 1550), welke geen kalibemesting ontving (tabel 7 en Pr 80 – tabel 14 en 14a) is de aantasting nog niet zo ver voortgeschreden. De zeekleigrond uit de Oude Bildtpolder geeft bij de zoutzuurfracties van geringe sterkte relatief zelfs een stijging te zien t.o.v. de overeenkomstige fracties van jonge zeekleigronden (geregelde bemesting met kali in verband met de intensieve aardappelcultuur). Dit wijst er op, dat bij deze grond de ten gevolge van de kalibemesting opgenomen kali niet erg stevig is vastgelegd (tabel 7 en 7a).

Uit het onderzoek naar het voorkomen van kali in de slib- en zandfracties is ook gebleken, dat de niet-uitwisselbare kali van de rivierklei uit Heteren, zowel die uit de slibfractie als uit de zandfractie, minder oplosbaar is dan de niet-uitwisselbare kali uit de zeekleigronden van de Westpolder en Oude Bildtpolder (tabel 10).

Teneinde iets te weten te komen omtrent de oplosbaarheid van de kali in zoutzuur van verschillende sterkten bij jarenlange bemesting met kali zijn van verschillende proefvelden monsters in dit onderzoek betrokken.

Bij de met kali bemeste veldjes zijn de gehalten aan uitwisselbare kali en die aan kali oplosbaar in de verschillende zoutzuurconcentraties in de bouwvoor hoger dan bij de objecten welke geen of vrijwel geen kalibemesting ontvingen (tabellen 12, 13, 14 en 14a en verder ook 18, 20, 21 en 21a). Uit dit onderzoek blijkt verder dat de onderzochte rivierkleigronden de uit de bemesting vastgelegde kali steviger gebonden houden dan de zeekleigronden. Dit blijkt vooral bij de resultaten van de hierna te noemen herhaalde extractie. Merkwaardig is bij de oudere zeekleigronden en de lagere zoutzuurconcentraties de stijging in kaligehalte uitgedrukt in procenten van de overeenkomstige stijging in de Carel Coenraadpolder, welke uitgaat boven de waarden die bij de hoge concentraties zijn gevonden; bij de rivierkleigronden is dit niet het geval (tabellen 7a-14a-21a).

Bij de proefvelden op rivierklei te Ammerzoden en Hedel blijkt verder het totaal-kaligehalte per 100 g slibfractie bij de met kali bemeste objecten behoorlijk hoger te zijn dan dat van de onbemeste percelen (tabel 25).

Daar we mogen aannemen dat bij herhaaldelijk koken met sterk zoutzuur de gefixeerde kali wel geheel in oplossing zal gaan, zijn de monsters van de proefvelden Ammerzoden en Hedel herhaaldelijk met 20% zoutzuur behandeld om zo mogelijk de hoeveelheid gefixeerde kali te weten te komen (tabel 23). Na enige malen koken worden de gehalten aan in zoutzuur opgeloste kali bij de monsters van de bemeste en onbemeste objecten vrijwel gelijk, zodat waarschijnlijk nu nog alleen de oorspronkelijke kalimineralen worden aangetast. Ter vergelijking zijn ook monsters van een niet-kalifixerende grond op dezelfde manier behandeld (tabel 24). Bij deze grond is de meerdere hoeveelheid kali welke bij het bemeste object aanwezig is, veel gemakkelijker oplosbaar dan bij de kalifixerende gronden.

Op basis van de resultaten van dit onderzoek is een berekening gemaakt van de toename van de hoeveelheid kali in de bouwvoor van het proefveld Ammerzoden door de kalibemesting. We komen dan tot de conclusie dat bij het object met de lichtste kalibemesting de volgens de kali-onttrekkingsbalans (vergelijking der gewassen op de wel en niet bemeste objecten) resterende hoeveelheid kali geheel is gefixeerd; bij de zwaarste bemesting is waarschijnlijk nog een klein gedeelte van de bemestingskali naar de ondergrond afgevoerd.

SUMMARY

THE AMOUNTS OF POTASSIUM, SOLUBLE IN HYDROCHLORIC ACID OF VARIOUS CONCENTRATIONS IN SOILS

Since plants can take up both non-exchangeable and exchangeable potassium, it must be considered important to know something about the solubility of the potassium of soil minerals in acids. The capacity of soils to release potassium is closely correlated with the solubility of potassium in acids. The investigation was begun by comparing the solubility of potassium in clay soils of different origin.

From an analytical point of view the presence of calcium carbonate proved to be very important; with high percentages hereof too low data for non-exchangeable potassium may be found when using hydrochloric acid of low concentration (tables 2 and 4).

Fig. 1 shows the effect of the concentration of hydrochloric acid on the amount of dissolved non-exchangeable potassium in 5 types of clay soil.

As the amount of potassium soluble in hydrochloric acid of different concentrations depends on several equilibrium factors, for a mutual comparison it might be best to express the quantities of potassium dissolved in hydrochloric acid of a lower concentration as percentages of the amount dissolved in hydrochloric acid of 25 per cent (tables 6 and 19).

To get a good insight into the weathering or ageing conditions of the various clay soils the tables 7, 7a, 14, 14a, 21 and 21a give a comparison of the solubility of potassium of the investigated soils in HCl of different strengths with the corresponding amounts found in the Carel Coenraadpolder, a young virgin calcareous marine clay soil.

The weathering of minerals in the river clay soils at Heteren (table 7 and 7a), Afferden (Z.Ge. 17, table 14 and 14a), Ammerzoden and Hedel (table 21 and 21a), soils with a high potassium fixation power, seems already to have proceeded until the fraction of non-exchangeable potassium, soluble in HCl of 25 per cent. However in the very heavy marine clay soils in the old Simson polder (enclosed in 1550), which never received any potassium dressing, weathering has not yet gone so far. The marine clay soil from Oude Bildt polder even shows a relative increase in the fractions of HCl of low concentration as compared with the corresponding amounts in almost virgin, recently reclaimed clay soils (regular application of K-fertilizers). This points to the possibility that the potassium, absorbed by this soil from fertilizers, is still not firmly fixed (table 7). From the investigation into the presence of potassium in the silt and sand fractions it also appeared that the non-exchangeable potassium of the river clay soil at Heteren is less soluble than that of the marine clay soils in the West polder and Oude Bildt polder (table 10).

In order to investigate the solubility of potassium in soils regularly dressed with potassium in hydrochloric acid of different strengths samples from some experimental fields were used.

The amounts of exchangeable potassium and of potassium soluble in HCl of different concentrations are higher in plots fertilized with potassium than in those which received no or hardly any potassium (tables 12, 13, 14 and 14a and also 20, 21 and 21a). Another result is that the investigated river clay soils proved to fix the potassium absorbed from fertilizers better than marine clay soils. The results of the continued extractions, hereafter mentioned, show this fact very clearly.

Remarkable in the older marine clay soils is the increase of the solubility of potassium at the lower hydrochloric acid concentrations in comparison with the analogous increase found in the Carel Coenraadpolder. This surpasses the values stated at the higher acid concentrations. In river clay soils this phenomenon does not occur.

The fertilized plots on river clay at Ammerzoden and Hedel appear to contain more total potassium (exchangeable plus non-exchangeable) than the plots that did not receive fertilizers (table 25).

Since it may be presumed that after repeated boiling with strong hydrochloric acid the fixed potassium will dissolve totally, we tried to determine the quantity of total fixed potassium in the samples from the experimental fields at Ammerzoden and Hedel by treating them in this way with 20 % HCl (table 23). After repeated boiling the amounts of potassium, soluble in further amounts of hydrochloric acid, of the fertilized and the non-fertilized plots became almost identical. Now presumably only the original potassium containing minerals remained in the samples. For comparison samples from a soil, not or only weakly fixing potassium, were treated in the same way (table 24). In this soil the surplus of potassium in the fertilized plots could be more readily dissolved than in strongly potassium fixing soils.

We tried in connection with this investigation to calculate the increase of the amount of potassium in the top soil of the experimental field at Ammerzoden, brought about by potassium fertilization. We arrived at the conclusion that in the plot, getting the least K-dressing, the amount of potassium not taken up by the crop has been totally fixed; on the plots, receiving most K-fertilizers, a minor part of the potassium from the fertilizers has probably been drained off to the subsoil.

LITERATUUR

- HAUSER, G. F., Die nichtaustauschbare Festlegung des Kalis im Boden. Diss. Wageningen 1941.
- HOEKSEMA, K. J., Over de invloed van het bodemgebruik op de bemestingstoestand van de landerijen in de Bommelerwaard. *Landbouwk. T.* 62, 4/5 (1950) 276-281.
- MAREL, H. W. VAN DER EN J. T. N. VENKAMP, Onderzoek naar het verschijnsel der kalifixatie in Nederlandse gronden. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 61.8 (1955).
- MASCHHAUPT, J. G., Het zavelproefveld van het rijkslandbouwproefstation te Groningen in de jaren 1911-1934. *Versl. Landbouwk. Onderz.*, 42 (14) A (1936).
- Lysimeteronderzoekingen aan het rijkslandbouwproefstation te Groningen en elders II. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 47 (4) A (1941).
- PAAUW, F. VAN DER, Het kali-kalkproefveld Pr 80 op perceel 11. *Vijfjarig Verslag (1951 t/m 1955) van de Vereniging tot Exploitatie van Proefboerderijen in de klei- en zavelstreken van de provincie Groningen (1957)* 45-51.
- ROBORGH, R. H. J., A study on the nature of clay. Diss. Wageningen 1935.
- SPEK, JAC. VAN DER, Het voorkomen van kali in de bodem. *Landbouwk. T.* 56, 686 (1944) 124-140.
- TEMME, J. EN H. W. VAN DER MAREL, Kaliumfixatie en verstoorde kaliumhuishouding. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 58.6 (1952).
- VERSLAG over de jaren 1935-1939 van de Vereniging tot Exploitatie van Proefboerderijen in de klei- en zavelstreken van de prov. Groningen (1940) 169.