

Die Toepassing van die Grenskonsentrasie-konsep op die Beoordeling van die Bruikbaarheid van Water vir die Besproeiing van Brak Fynsandgronde in Suid-Kaapland*

J H MOOLMAN

[GRONDKUNDE-SEKSIE, WINTERREËNVALSTREEK, DEPARTEMENT VAN LANDBOU-TEGNIËSE DIENSTE, PRIVAATSAK X5023, STELLENBOSCH, 7600]

EN

H W WEBER

[DEPARTEMENT VAN GROND- EN LANDBOUWATERKUNDE, UNIVERSITEIT VAN STELLENBOSCH, STELLENBOSCH, 7600]

Abstract

The evaluation of the threshold concentration concept on the appreciation of the usefulness of water for the irrigation of the salty fine sandy soils of the Southern Cape.

In an attempt to reclaim an unproductive saline-sodic fine sandy soil in the Southern Cape, the well-known fact was affirmed that leaching of the accumulated soluble salts by fresh irrigation waters resulted in the deterioration of the physical condition of this soil. However, such a deterioration was also encountered — quite unexpectedly — on plots of the same soil which received the full amount of gypsum as determined by the gypsum requirement, viz. 4 t/ha or, alternatively, organic matter in the form of molasses meal amounting to 22,4 t/ha. Infiltration rate was used as a measure for the changes in soil physical conditions and, in the case of the latter-mentioned treatments, decreases of 43% and 45%, respectively, were observed over a period of 13 months.

Gypsum dissolved in the irrigation water, however, resulted in a decrease of only 13,9% and when compared with the control treatment (no ameliorants added to either soil or water), a relative increase of even 118% in the infiltration rate was effected.

Supplementary permeability studies in the laboratory using water with varying concentrations of dissolved gypsum showed that the electrolyte content of the natural irrigation water

was far too low to prevent dispersion and/or swelling of colloidal clay particles. By constructing the threshold concentration curve of the soil under consideration, it appeared that even as low an Exchangeable Sodium Percentage (ESP) as 7% would give rise to clay dispersion in this soil, if the electrolyte concentration of the irrigation water was less than 40 mS/m. As the electrolyte content of the irrigation water used was only 15 mS/m, it was concluded that this so-called "good quality" water was, if unamended, unsuitable for reclamation as well as normal irrigation of this soil. It has, therefore, to be amended by addition of gypsum in order to provide the necessary electrolytes to keep the soil in a flocculated state.

Inleiding

Die infiltrasietempo van gronde vir besproeiingswater is onder meer 'n funksie van die grond se permeabiliteit, wat op sy beurt weer grootliks beïnvloed word deur die aard van die katione deur die kleimineraal geadsorbeer. Hierby oefen geadsorbeerde kalsiumione 'n voordelige invloed op die permeabiliteit uit deurdat hulle die grondkolloïedes in 'n uitgevlakte toestand hou en hierdeur swelling verhoed (Brooks, Bower en Reeve, 1956; Allison, 1964; en talle ander), terwyl geadsorbeerde natriumione die kolloïedes ontvlok, die grondstruktuur sodoende vernietig en, daarmee gepaard, hidrouliese konduktiwiteit belemmer of in ernstige gevalle selfs geheel en al onmoontlik maak

*Uittreksel uit 'n M.Sc.(Landbou)-tesis ingedien deur eersgenoemde outeur by die Universiteit van Stellenbosch

(Brooks *et al*; 1956; Van der Merwe en Burger, 1969; Van Rooyen, 1970). Harris (1931) berig dat die permeabiliteit eksponensieel afneem met 'n toename in die konsentrasie van geadsorbeerde natriumione. Die oorsaak vir hierdie permeabiliteitsafname is die dispergerende aksie van natrium op die koloidale kleimineralen as gevolg van die hoëgraadse hidrasie van die natriumioon in waterige suspensies en ander faktore, wat die

grondkolloïedes laat swel (Allison, 1964). Dié effek word vanselfsprekend groter hoe armer die water van die suspensie aan sout is. Om dus 'n drastiese vermindering van permeabiliteit van gronde met 'n onwenslik hoë uitruilbare natrium persentasie (UNP) te verhoed, moet hulle nooit met vars water besproei word nie en die elektrolietkonsentrasie van die perkolerende besproeiingswater moet hoog genoeg wees om 'n klei-ontvlokking

TABEL 1
PROFIELBESKRYWING VAN DIE PROEFGROND
Landvorm : Alluviale terras
Helling : 0%
Grondvorm : Oakleaf
Grondserie : Vaal River

Horison	A _p	B ₂₁	B ₂₂	B ₂₃	
Diepte (m)	0–0,18	0,18–0,36	0,36–0,60	0,60–1,20	
Kleur	10YR 6/4(dr) 10YR 4/4(n)	10YR 6/4(dr) 10YR 4/4(n)	10YR 4/4(dr) 10YR 3/3(n)	10YR 6/4(dr)* 25YR 4/4(n)**	
Vlekke	Geen	Geen	Geen	Geen	
D.G.O. (%)					
Gr. S. 2,0–0,5 mm	0,4	0,4	0,4	0,4	
Med. S. 0,5–0,2 mm	0,6	0,6	0,6	0,6	
Fyns. 0,2–0,02 mm	70,0	69,0	68,0	66,0	
Slik 0,02–0,002 mm	21,0	22,0	19,0	21,0	
Klei <0,002 mm	8,0	8,0	12,0	12,0	
Tekstuurklas	Fynsandleem	Fynsandleem	Fynsandleem	Fynsandleem	
Struktuur	Apedaal	Struktuurloos-massief	Struktuurloos-massief	Struktuurloos-massief	
Konsistensie	Effens hard	Hard tot baie hard	Baie hard	Hard	
Konkresies/Klip	Geen	Geen	Geen	Geen	
Oorgang	Duidelik	Duidelik	Geleidelik	–	
Bulkdigtheid (kg/m ³)	1370	1500	1710	1530	
pH	6,10	7,90	7,70	7,55	
Weerstand ohms (Pasta)	880	800	220	160	
Algemeen	Baie harde kors aan oppervlakte	Baie digte ploegbank	Uiters verdigte horison, donkerder as daaroorliggende lae	–	
EG _e (mS/m)	74	180	267	339	
$\left[\begin{array}{l} \text{Ca}^{++} \text{ me/l} \\ \text{Mg}^{++} \text{ " } \\ \text{Na}^{+} \text{ " } \\ \text{K}^{+} \text{ " } \\ \text{NAV(m mol/l)}^{1/2} \\ \text{Alkaliniteit me/l} \\ (\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^-) \\ \text{Cl}^- \end{array} \right] \text{***}$	1,62	1,23	1,92	2,41	
	1,09	1,36	3,75	5,48	
	3,83	5,63	24,53	31,23	
	0,20	0,11	0,10	0,15	
	3,29	4,95	14,58	15,72	
	0,55	1,42	1,33	0,72	
	1,10	1,12	5,20	7,60	
	UNP (%)	4,71	7,30	22,31	24,10
	KUK (me/100 g grond)	5,51	5,48	–	–

*dr = droog **n = nat *** = oplosbare soute

en -swelling in sodanige gronde te voorkom. Die minimum elektroliekonsentrasie vir hierdie doel is deur Quirk en Schofield (1955) as die sogenaamde "grenskonsentrasie" gedefinieer.

Alhoewel daar 'n definitiewe interaksie tussen die UNP van die grond en die grenskonsentrasie van die besproeiingswater bestaan, is sogenaamde "gemiddelde" grenskonsentrasies nie sonder meer op alle gronde met dieselfde UNP van toepassing nie (McNeal en Coleman, 1966a; Nagshineh-Pour, Kunze en Carson, 1970; Rhoades en Ingvalson, 1969). Volgens Rhoades en Merrill (1975) bestaan daar vir elke grond ten opsigte van permeabiliteit 'n unieke verband tussen sy UNP en die grenskonsentrasie van die besproeiingswater.

In 'n poging om 'n verdigte sout-natrium-fynsandgrond te herwin is gevind dat loging van geakkumuleerde oplosbare soute en 'n gelyktydige verlaging van die UNP deur toevoeging van Ca^{++} -ione in die vorm van gips, die infiltrasietempo van die grond nie verbeter het nie. Gevolglik was dit die doel met aanvullende laboratoriumeksperimente om vas te stel of die grenskonsentrasiekonsep van Quirk en Schofield (1955) 'n verklaring kan aanbied vir die onverwagte afname van infiltrasietempo ten spyte van die vermeldde gipsbehandeling.

Proefuitleg, grond en klimaat

'n Veldproef vir die herwinning van die vermeldde sout-natrium-fynsandgrond is op die landerye van die Hoër Landbouskool Oakdale, naby Riversdal, in 1975 uitgelê. Dit het bestaan uit 8 behandelings wat volgens 'n ewekansige blokontwerp in 8 blokke herhaal is om 'n totaal van 64 persele van 5 x 5 m elk, te gee. Elke perseel is deur walletjies van 0,5 m breedte begrens. Die grondoppervlakte is vooraf gelykgesleep en 4 rye van 16 persele elk uitgelê. Die totale oppervlakte het, met die nodige afstande tussen die persele, sowat 2800 m² beslaan. Die grond was voorheen nog nooit besproei nie. Pedologies word die grond geklassifiseer as 'n Oakleaf-vorm/Vaalriver-serie. Die tekstuur is van bo tot by 1,2 m diepte deurgaans 'n fynsandleem met 'n lae persentasie klei. Met diepte is daar slegs 'n baie geringe afname in die hoë fynsandpersentasie en 'n ewe onbeduidende toename in klei-inhoud. Tabel 1 gee die resultate van die deeltjiegrootteontleding sowel as ander fisiese en chemiese eienskappe asook pedologiese kenmerke van die onderskeie horisonte van die profiel aan.

Hierdie profiel wat 'n hoëgraadse verdigting toon (Tabel 1) is verteenwoordigend van uitgebreide oppervlakte van landbougrond in Suid-Kaapland wat, na gelang van die beskikbaarheid van water, in 'n mindere of meerdere mate besproei word en waar verbrakings- en verdigtingsprobleme aangetref word. Alhoewel die elektriese geleiding van die versadigde grondpasta-ekstrak (EG_c) en UNP-waardes van die boonste horisonte nie daarop dui dat hulle ernstige brakprobleme het nie, is die res van die proefgebied tot verskillende grade verbrak. 'n Omvattende ondersoek wat voor die begin van die eksperiment op die 0,15- tot 0,30 m-laag van al 64 persele uitgevoer is, het getoon dat 20 persele as sout-, 31 persele as sout-natrium-, en 13 as natriumgrond geklassifiseer moet word. Wat egter meer betekenisvol was, is die feit dat selfs gronde wat volgens die bestaande brakgrond-identifikasiesisteen in geeneen van die bovermelde drie klasse val nie, na besproeiing dieselfde simptome van permeabiliteitsverlaging getoon het, asof hulle sout-natrium- of natriumgronde was. Hierdie verskynsel kom wydverspreid op die besproeide fynsandgronde van Suid-Kaapland voor.

Die verbraking onder besproeiing geskied relatief vinnig in die semiariede klimaat van hierdie substreek. Daar is byvoorbeeld in die Riversdal-omgewing sowat 1 000 ha landbougrond wat sedert 1969 met soutarme, naastenby soutvrye water [totale opgeloste stowwe (TOS) <100 mg/l] afkomstig vanuit die Korente-Vetterivierdam, besproei word. In die laaste paar jaar het ernstige brak- en verdigtingsprobleme egter op dié gronde al hoe meer na vore begin kom, 'n probleem wat aanleiding tot hierdie ondersoek gegee het. Tabel 2 toon die samestelling van die totale opgeloste stowwe (TOS) van hierdie water, soos dit ook vir die besproeiing van die proefpersele gebruik was.

Die Korente-Vetterivierdam is aan die voet van die Langeberg, sowat 10 km noord van Riversdal geleë. Waarskynlik bevat die water heelwat humiensure, want dit het 'n bruin kleur, 'n eienskap wat kenmerkend is van riviere wat in die Kaapse berggebiede ontspring. Volgens die U.S. Salinity Laboratory Staff (1954), word dié water as 'n C_1S_1 -kwaliteit geklassifiseer en is dus vir besproeiing geskik. Dit word in gesementeerde kanale vanaf die dam versprei en kan daarom nie deur sugwaters met oplosbare soute vanuit die grond gemineraliseer word nie. Die kwaliteit is dwarsdeur die jaar so te sê konstant, met slegs onbeduidende skommeling in soutinhoud bo of onderkant die gemiddelde.

'n Algemene klage by die boere is dat hierdie "vars"

TABEL 2
CHEMIESE EIENSKAPPE VAN DIE KORENTE-VETTERIVIERDAM-WATER

Besproeiingsdatum	Ca ⁺⁺ me/l	Mg ⁺⁺ me/l	Na ⁺ me/l	K ⁺ me/l	Cl ⁻ me/l	HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ⁼ me/l	EG mS/m	TOS mg/l	NAV (mmol/l) ^{1/2}
76-04-05	0,10	0,29	0,53	0,00	1,90	0,20	15	96,0	1,34
76-04-27	0,10	0,29	0,53	0,00	1,50	0,20	4	37,6	1,29
76-09-01	0,06	0,20	0,43	0,01	1,90	0,20	12	76,8	1,19
76-12-30	0,10	0,16	0,70	0,03	1,90	0,20	12	76,8	1,94
77-01-18	0,17	0,18	0,78	0,04	1,99	0,20	16	102,4	2,39
77-01-31	0,17	0,28	0,78	0,03	1,85	0,20	12	76,8	1,64
77-03-23	0,17	0,25	0,75	0,02	1,85	0,20	12	76,8	1,63

water baie stadig op fynsandgronde infiltreer, sodat groot volumes besproeiingswater óf weens verdamping óf weens oppervlakte-afloop verlore gaan. Besproeide gronde van die soort hierbo beskryf bevat op plekke baie oplosbare natrium en gevolglik is hoë uitruilbare natriumpersentasies te verwagte. Daar kan derhalwe gepostuleer word dat die elektrolietinhoud van die water te laag is om te voorkom dat die diffuse dubbellaag swel, of vertikale kleibeweging as gevolg van ontvlokkings sal plaasvind.

Kleiswelling en kleibeweging lei tot die verstopping van grondporië wat hidrouliese konduktiwiteit laat afneem, soos deur die lae infiltrasiesnelhede weerspieël word.

Die gemiddelde jaarlikse reënvalsyfer soos gemeet oor 'n 95-jaar waarnemingsperiode, is 452 mm, alhoewel groot afwykings vanaf die gemiddelde voorkom. Die reënval is redelik gelykmatig oor die jaar versprei en die gemiddelde winterreënval is slegs 16 mm hoër as die gemiddelde somerneerslae. Die gemiddelde daaglikse temperatuur is ongeveer 29°C gedurende Februarie en 18,5°C gedurende Augustus, maar uiterstes soos 40°C kom in die somer voor. Die gemiddelde daaglikse minimum temperatuur is ongeveer 17°C gedurende Februarie en 5°C gedurende Augustus, maar daal selde benede vriespunt. Die gemiddelde jaarlikse "Klas-A-Pan"-verdamping is 1 740 mm.

Materiaal en Metodes

Veldproewe

Voor proefuitleg is 'n tentatiewe ondersoek op die proefterrein uitgevoer. Agtien grondmonsters is vanaf die sowat 2 800 m² totale terreinoppervlakte geneem en van hulle versadigde grondekstrakte is die volgende eienskappe bepaal: pH, EG_c, gipsbehoefte, oplosbare katione en anione. Die EG_c-waardes het

gewissel tussen 84 en 400 mS/m, en die gipsbehoefte vir die boonste 0,15-m-grondlaag was gemiddeld 4 t/ha.

Omdat die elektrolietinhoud van die besproeiingswater oënskynlik vir hierdie gronde te laag is om 'n volgehoue medium infiltrasiesnelheid (20–63 mm/h, volgens die USDA Soil Conservation Service) te verseker, is 'n werkshipotese opgestel naamlik dat 'n afname van infiltrasietempo op hierdie fynsandgrond verhinder sal kan word deur die hoeveelheid gips benodig –

- óf in vaste vorm, eenmaal as 'n geheel of meermale in paaie-mente oor die waarnemingsperiode verspreid,
- óf in opgeloste vorm met die besproeiingswater paaie-ments-gewyse, toe te dien.

Ten einde die strukturele verbeteringseffek van die chemiese behandeling van grond en water deur middel van gips te vergelyk met die effekte wat dalk deur organiese grondamendemente bewerkstellig kan word, is melassemeel (Weber en Van Rooyen, 1971; Van Rooyen en Weber, 1972; Van Rooyen en Weber, 1977) asook poliakriëlamied as aggregeerders en aggregeestabiliseerders gebruik. Tabel 3 gee die agt behandelings en hulle toedieningsmetodes. Aanvullend moet gesê word dat die GW-, GW₁- en GW₂-behandelings toegedien is deur die vereiste hoeveelheid gips eers in 'n 2 m³-tenk met 1,1 m³ water op te los, die betrokke perseel daarmee te besproei en die res van die benodigde 75 mm water (≡ 1,875 m³) te gebruik om enige onopgeloste gips uit die tenk en pype na die perseel te spoel. Die gips wat hiervoor gebruik is, is 'n afvalprodukt wat by die vervaardiging van dubbelsuperfosfaat verkry word. Dit het 'n reinheid van 89%. Die proefgewas op alle persele was lusern.

Laboratoriumondersoeke

Die grenskonsentrasie-kurwe van bovermeide Oakleaf-

TABEL 3
BEHANDELING VAN PROEFPERSELE

Nommer	Behandeling	Beskrywing
1	Kontrole	Persele besproei met onbehandelde water uit die Korente-Vetterivierdam
2	GO	Volle gipsbehoefte as 'n grondoppervlakte-toediening in vaste vorm gegee by aanvang van die projek (= 4 t/ha)
3	GO/3	Gips as 'n oppervlakte-toediening in vaste vorm gegee teen 1,333 t/ha/a, vir 3 jaar, sodat 'n totaal van 4 t/ha toegedien is
4	GW ₁	Gips in besproeiingswater opgelos met 'n konsentrasie van 1,67 g/l (EG = 160 mS/m), wat 1,333 t/ha gips per besproeiing is. Slegs een besproeiing per jaar, sodat na 3 jaar die volle ekwivalent van die gipsbehoefte (4 t/ha) toegedien is
5	GW ₂	Dieselfde soos by GW ₁ maar met 'n konsentrasie van 0,835 g/l = 0,6665 t/ha gips. Na 3 jaar is daar 2 t/ha gips toegedien
6	GW	Gips word met 'n konsentrasie van 0,53 g/l = 0,42 t/ha met elke besproeiing in die water opgelos. Na 3 jaar is weer sowat 4 t/ha gips toegedien, afhangende van aantal besproeiings
7	MEL	Melassemeel-toediening van 1% per massa van 1 ha grond 0,15 m diep = 22,4 t/ha. D't is breedwerpig gestrooi en tot sowat 5 cm diepte ingehark
8	PAM	Oppervlakte-bespuiting van grond met 2% poli-akriëlamied-oplossing teen 1 l/m ² . Die PAM-persele is voor toediening na 'n geskikte voginhoud gebring en sowat 0,03 m diep gehark. Die klein aggregeate so-doende gevorm is daarna met die oplossing bespuit. Oplossing is vooraf met Na ₂ CO ₃ tot pH 8–9 gebring

Vaalrivergrond is verkry deur die maksimum permeabiliteit van drie tekstureel homogene monsters uit die 0,15- tot 0,3 m-laag, maar met verskillende UNP's te bepaal. Die monsters is van verskillende plekke van die proefarea geneem. Hiervoor is vyf konsentrasies van gipsbevattende waters gebruik. Tabel 4 dui die belangrikste fisiese en chemiese eienskappe van die grondmonsters asook die chemiese kenmerke van die water wat vir die eksperiment gebruik is, aan.

Die grondmonsters is in dubbelring-perspex-permeameters (McNeal en Reeve, 1964) tot 'n bulkdigtheid van 1 430 kg.m⁻³ gepak en die hidrouliese konduktiwiteit K met 'n waterhoof van 45 mm, as 'n funksie van die EG van die perkolerende water, bepaal. Die K-waardes is elke uur, vir drie uur lank, bepaal en elke kombinasie van UNP-EG is driekeer herhaal. Die gemiddeldes van dié drie waardes is gebruik om die grenskonsentrasie van daardie spesifieke UNP te bereken, d.w.s. die EG van die perkolerende water waarby 'n afname van 15% in hidrouliese konduktiwiteit relatief tot die maksimum verkreeë waarde, waargeneem is.

Alle ander bepalinge van 'n grondfisiese (infiltrasietempo, breukmodulus) en chemiese (pH, EG_c, oplosbare Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Cl⁻, HCO₃⁻ + CO₃⁼ in die versadigingsekstrak, uitruilbare Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, KUK) aard, is volgens die voorskrifte van die US Salinity Laboratory Staff (1954) gedoen.

Alle katioonkonsentrasies is deur middel van vlamemissie (K⁺ en Na⁺) en atoomabsorpsie (Ca⁺⁺ en Mg⁺⁺) op 'n Varian Techtron Model 1200 Atoomabsorpsie Spektrofotometer gelees. Die versadigde grondpasta is egter volgens die metode van Longenecker en Lyerly (1964) voorberei, waarvolgens die grondmonsters in filtreerpapierbakkies oornag op 'n kapillêre adsorpsiebad van water-versadigde sand moet staan. Monsters wat daarna nog nie aan die vereistes van 'n versadigde pasta, soos gedefinieer deur die USSS-staff (1954), voldoen het nie, is met die hand tot by die regte voginhoud gebring. Dit was hoofsaaklik die sout-natrium-grondmonsters wat op die kapillêre bad nie genoegsaam met water versadig geraak het nie. Die pH van die versadigde pasta is gemeet deur 'n Metrohm E516 pH-meter met 'n glas-kalomel elektrode en vir die EG_c-bepalinge is 'n Metrohm E381 weerstandbrug met 'n platinumkonduktiwiteit

teitsel gebruik. Die grondmonsters is vir die hierbo vermelde ontledings op 6 tye, te wete 0, 1½, 3, 6, 10 en 12 maande na die proefbegin, uit die 0 tot 0,15- en 0,15- tot 0,30 m-lae geneem.

Statistiese analise

Alle data, behalwe dié van permeabiliteitstudies, is statisties met behulp van 'n Buroghs B7700 rekenaar verwerk. Die verandering met betrekking tot 'n spesifieke parameter wat na 3 maande waargeneem is, sowel as die werklike waarde van dié eienskap na 10 of 12 maande, is aan 'n analise van variansie onderwerp. Om die verskille tussen behandelings statisties teenmekaar op te weeg, is hulle met behulp van 'n Q-tabel (Snedecor en Cochran, 1969) met mekaar vergelyk.

Resultate en Bespreking

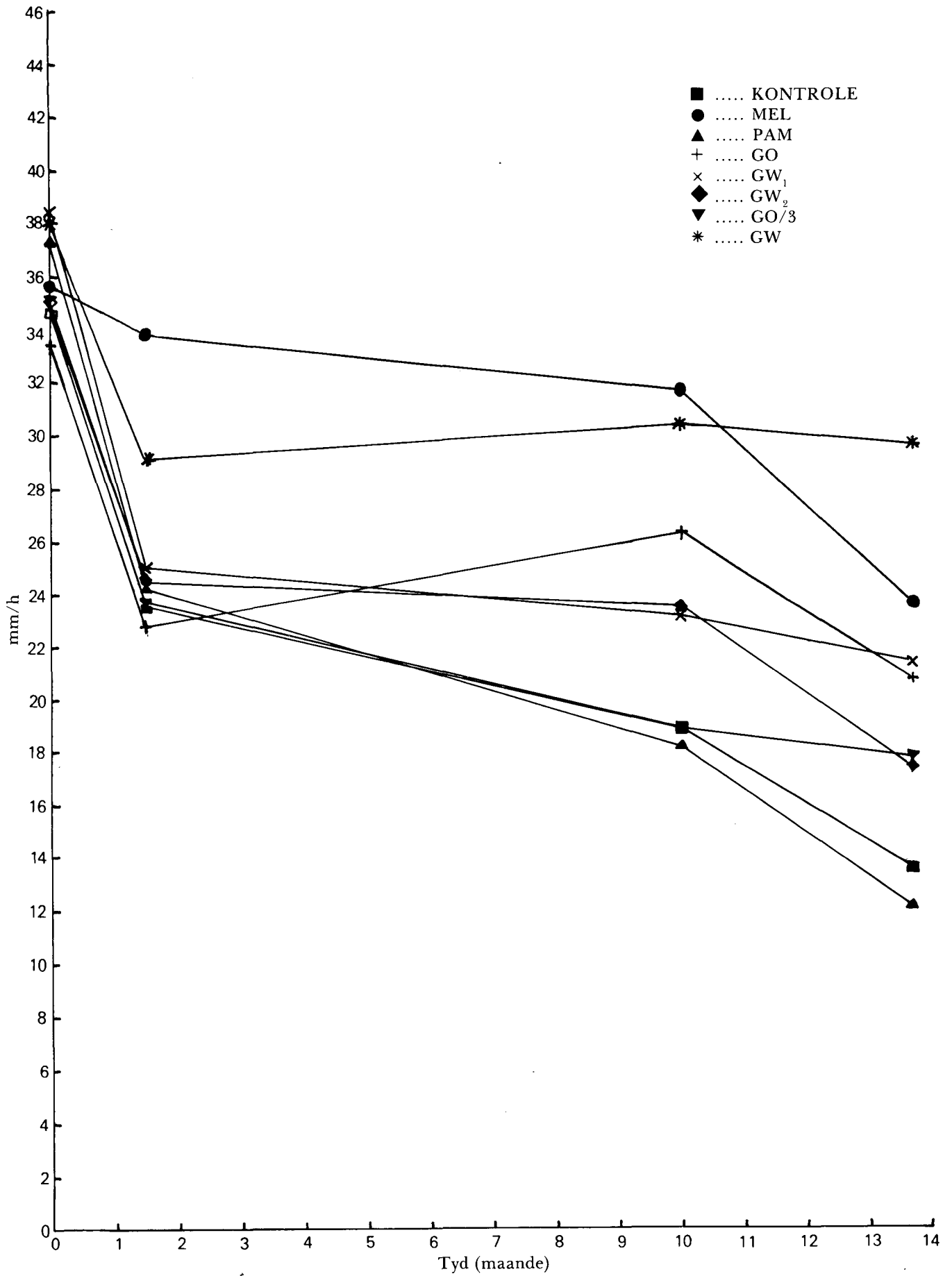
Infiltrasietempo (IT)

Die IT van die grond is vir die eerste keer in Januarie 1976 bepaal, sowat 'n maand voordat die behandelings toegedien is. Daarna is die bepalinge in Maart en September 1976 en in Maart 1977 herhaal, d.w.s. 6 weke, 10 en 13 maande na die behandelings. Die resultate is as mm/h-waardes teen tyd in maande in Fig. 1 gestip en hulle toon aan, dat in plaas van 'n verwagte IT-toename as gevolg van die werking van die behandelings, 'n drastiese afname van IT op alle persele gedurende die 13 maande van besproeiing plaasgevind het. Die vinnigste daling het binne die eerste 6 weke plaasgevind, behalwe op die melassemeelpersele waar dit binne die laaste drie maande gebeur het.

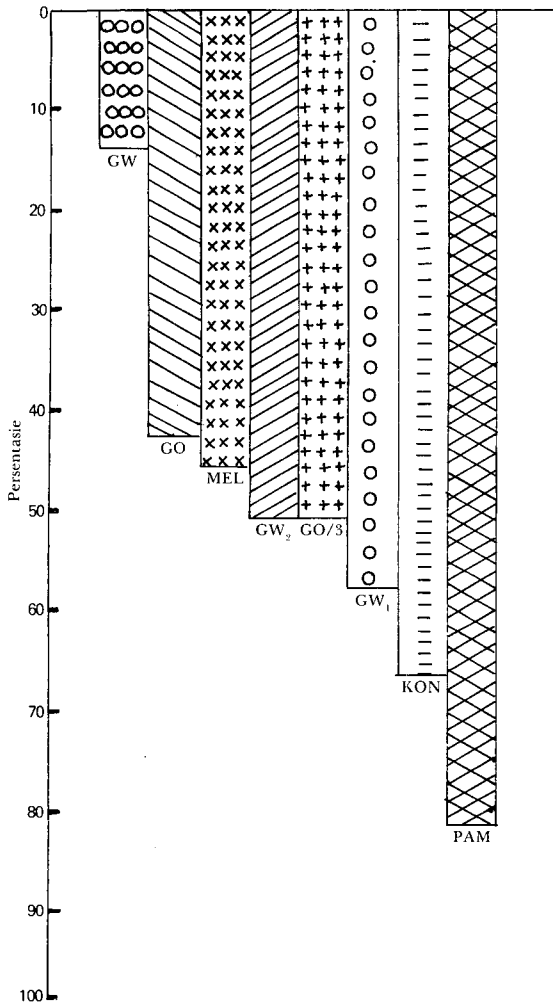
As aanvaar word dat die infiltrasietempo van 'n grond al sy fisiese eienskappe integreer, dan dui die daling van IT met tyd op 'n algemene verswakking van grondfisiese gesteldheid, terwyl 'n IT-toename 'n verbetering en stabilisasie van verbeterde grondstruktuur sou beteken. Dus het nie een van die behandelings 'n verbetering van grondstruktuur teweeggebring nie, maar daar was duidelike verskille in die graad van ver-

TABEL 4
EIENSKAPPE VAN GROND- EN WATERMONSTERS IN PERMEABILITEITSTUDIES GEBRUIK

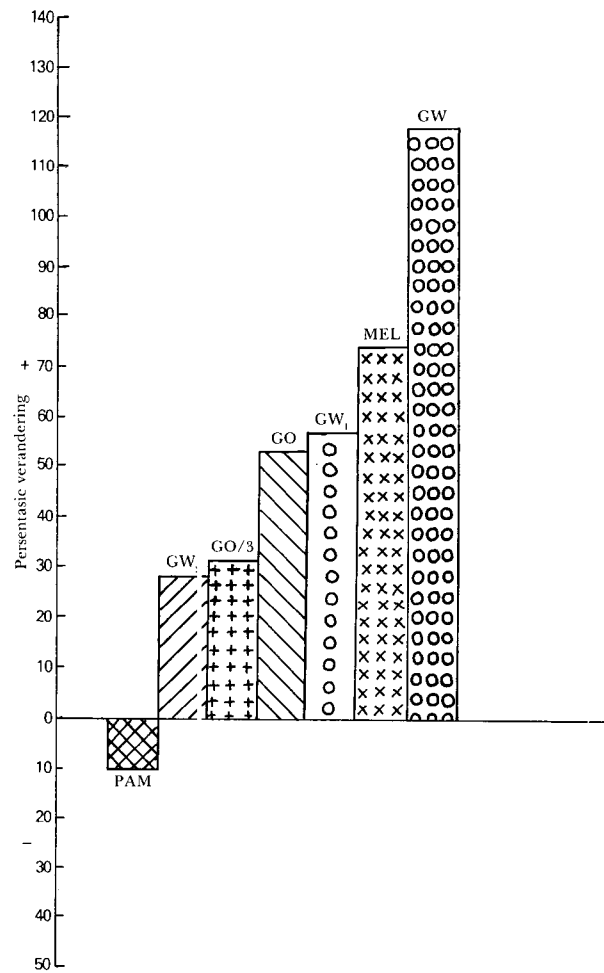
GROND						
Teksturele samestelling (%)						
Monsternr.	Fynsand 0,2—0,02 mm	Slik 0,02—0,002 mm	Klei <0,002 mm	KUK me/100 g	EG _c mS/m	UNP %
1	72,5	20,1	7,4	7,0	119	7,0
2	71,0	20,5	8,5	7,0	299	13,7
3	73,4	19,5	7,1	7,0	368	24,6
WATER						
Gipsoplossing	Versadig	Versad/2	Versad/4	Versad/8	Distill. water	
Ca ⁺⁺ (mc/l)	26	14	7,3	3,9	0	
EG (mS/m)	199	119	69	39	1	



Figuur 1
Veranderinge van infiltrasietempo (mm/h) met tyd (maande)



Figuur 2
Afnames (%) in infiltrasietempo na 13 maande



Figuur 3
Veranderinge (%) in infiltrasietempo na 13 maande, vergeleke met kontrole (kontrole-waardes = 0-lyn)

swakking waarneembaar. Fig. 2 beeld die persentasie van IT-afname, 13 maande na proefbegin uit. Daarvolgens het die poliakriëlamied(PAM)-persele die grootste daling getoon, naamlik 81,4% vergeleke met die IT voor die proefbegin, terwyl die IT van die persele wat 0,6665 t/ha gips in die besproeiingswater opgelos (GW) ontvang het, 'slegs' met 13,9% gedaal het. Die tweede kleinste afname, naamlik 43% met die GO-behandeling (volle gipsbehoefte van 4 t/ha as 'n eenmalige oppervlakte-toediening in vaste vorm), is drie keer hoër as die IT-afname met die GW-behandeling.

Aangesien selfs die kontrolepersele, wat normale besproeiingspraktyke in die Riversdalgebied verteenwoordig, 'n drastiese IT-afname ondergaan het, is die *relatiewe* verandering van IT soos op die resultate van kontrolepersele gebaseer, belangriker geag vir die doelstellings van hierdie eksperiment as die *absolute* veranderings soos in Fig. 1 en 2 uitgebeeld. Fig. 3 toon die relatiewe veranderings van IT met betrekking tot kontrole. Hiervolgens het daar 'n 118%-verhoging in IT op die GW-persele plaasgevind. Aangesien hierdie gunstige resultaat

na slegs 13 maande behaal is, kan aanvaar word dat indien die finale IT-meting, soos oorspronklik beplan, 3 jaar na aanvang van die proef geneem is, dit ongetwyfeld hoër en waarskynlik 'n absolute verbetering, sou gewees het.

Vloedskade het egter die eksperiment na 14 maande beëindig. Ook met die ander behandelings is daar, relatief gesien, 'n mate van sukses behaal, veral wanneer in gedagte gehou word dat die terras, waarop die veldproef aangelê is, nog nooit vantevore met die lae elektoerietwater (soos vir kontrole gebruik) besproei was nie. Derhalwe kan die sukses van die GW-behandeling reeds op 'n stadium van 'n relatiewe na 'n absolute skaal verplaas word.

Die oorsaak vir die absolute afnames van IT op die proefpersele, insluitende die kontrole, word toegeskryf aan die verwydering van oplosbare soutes as gevolg van logging en hulle onvoldoende, of te stadige, verplasing deur die Ca^{++} -ione van gips. Om dié effek te demonstree, is uit bovermelde reekse van bepalings die grafieke van die verandering in die elektriese geleidingsvermoë van die versadigde grondpasta-ekstrak (EG.)

en die natriumadsorpsieverhouding in die grondpasta-ekstrak (NAV_c) van die 0,15- tot 0,30 m-lae uitgesoek. Dit word hier as Fig. 4 en 5 aangetoon. Volgens Fig. 4 het die EG_c op die GO-persele van 490 na 65 mS/m gedaal, 'n patroon wat met al die ander behandelings ook gevolg is. Dié grafiek bewys dat 'n relatief groot verlaging van NAV_c tussen ses weke en drie maande na toediening op alle persele plaasgevind het, maar daarna nie meer wesenlik verander het nie. Dit het natuurlik die verhouding tussen EG_c en NAV_c al hoe ongunstiger laat ontwikkel. Die interne verskille in NAV_c tussen die behandelings is ook redelik groot. Op die kontrolepersele het dit slegs van 'n aanvanklike waarde van 12,18 tot 9,01 (mmol/l)^{1/2} gedaal (met selfs 'n kortstondige verhoging tot 14,56 na 6 weke). Aan die anderkant het die NAV_c van die GO-persele van 'n aanvanklike 15,02 tot by 3,51 (mmol/l)^{1/2} gesak. Die gevolgtrekking uit hierdie waarneming sal, in meer besonderhede, onder die volgende subhoof bespreek word.

Permeabiliteit en grenskonsentrasies

Soos voorheen vermeld is, beeld die grenskonsentrasiekurwe die toenemende minimum soutkonsentrasie van die perkolerende besproeiingswater uit (gemeet in EG-waardes) wat benodig word om 'n grond met toenemende UNP-waardes se klei-ontvlokking met besproeiing te verhinder. Aangesien die direkte bepaling van die UNP-waardes 'n omslagtige en tydrowende prosedure is,

word gewoonlik slegs die NAV_c -waardes bepaal en die UNP-waardes indirek van 'n grafiek, wat die verband tussen die NAV_c - en UNP aantoon, afgelees. Ten einde so 'n grafiek daar te stel, is die uitruilbare natrium van 20 monsters op 3 verskillende tye, te wete 0, 3 en 10 maande na proefbegin, bepaal (dus op 'n totaal van 60 ontledings-monsters). Die 20 grond-monsters is op reëlmatige afstande op die proefterrein geneem sodat 'n verteenwoordigende populasie van die 64 persele verkry is. Die uitruilbare natrium is as 'n persentasie van die gelyktydig bepaalde, kation-uitruilkapasiteit (wat tussen 4,64 en 7,10 me/100 g grond gewissel het) bereken om 60 UNP-waardes te verkry. Deur middel van 'n liniêre-regressie-berekening is die volgende verband tussen UNP en NAV_c vasgestel:

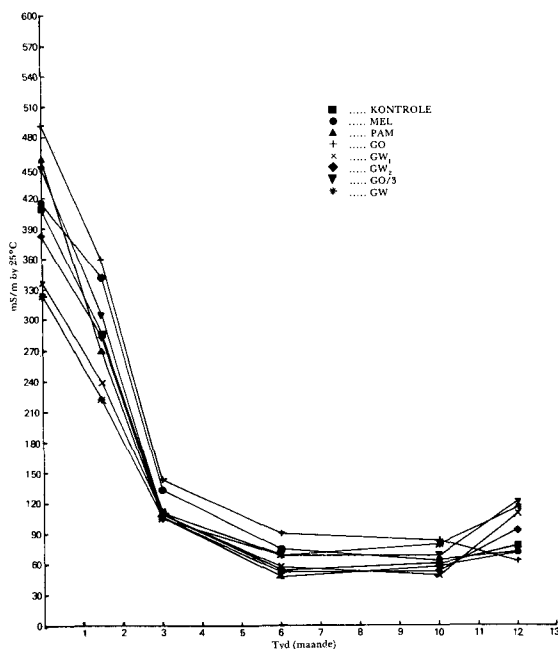
$$UNP = -0,42 + 1,56 NAV_c$$

$$S_{y.x} = 2,50; r^2 = 0,90$$

$$S_o = 0,50; r = 0,95 \text{ (hoogs betekenisvol)}$$

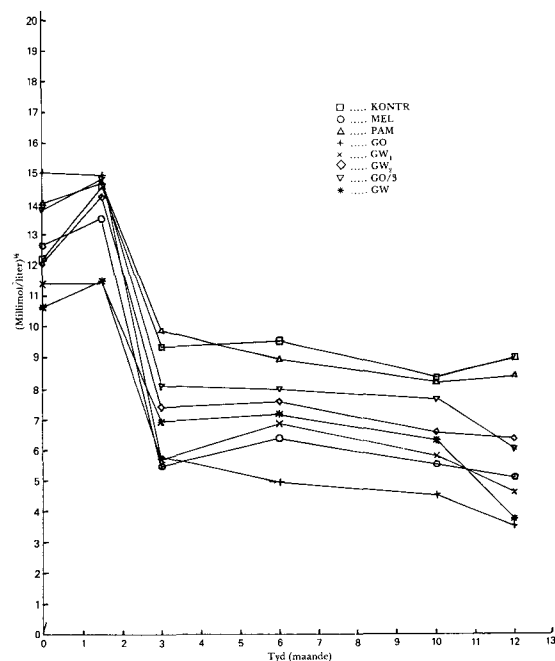
$$S_1 = 0,70; r_{(0,01)} = 0,35$$

Met behulp van hierdie regressievergelyking kon 'n grafiek getrek word waarvan alle ander UNP-waardes afgelees is (Fig. 6). In tabel 5 is die UNP-waardes as behandelingsgemiddeldes bereken, wat die waarneming vanaf die NAV—bepalings bevestig, dat die kontrole-, PAM-, en GO/3-behandelings na 10 maande nog steeds 'n redelik hoë uitruilbare natriumpersentasie gehad het. ('n Variansie analise op die UNP-waardes is nie uitgevoer nie, aangesien so 'n berekening alreeds op die NAV_c -waardes gedoen is en dus identiese resultate sou gegee het.)



Figuur 4

Afnames van oplosbare soute in 0,15- tot 0,30 m dieptelaag soos bepaal as elektriese geleiding van grondekstrak (EG_c) in mS/m, met tyd (maande)

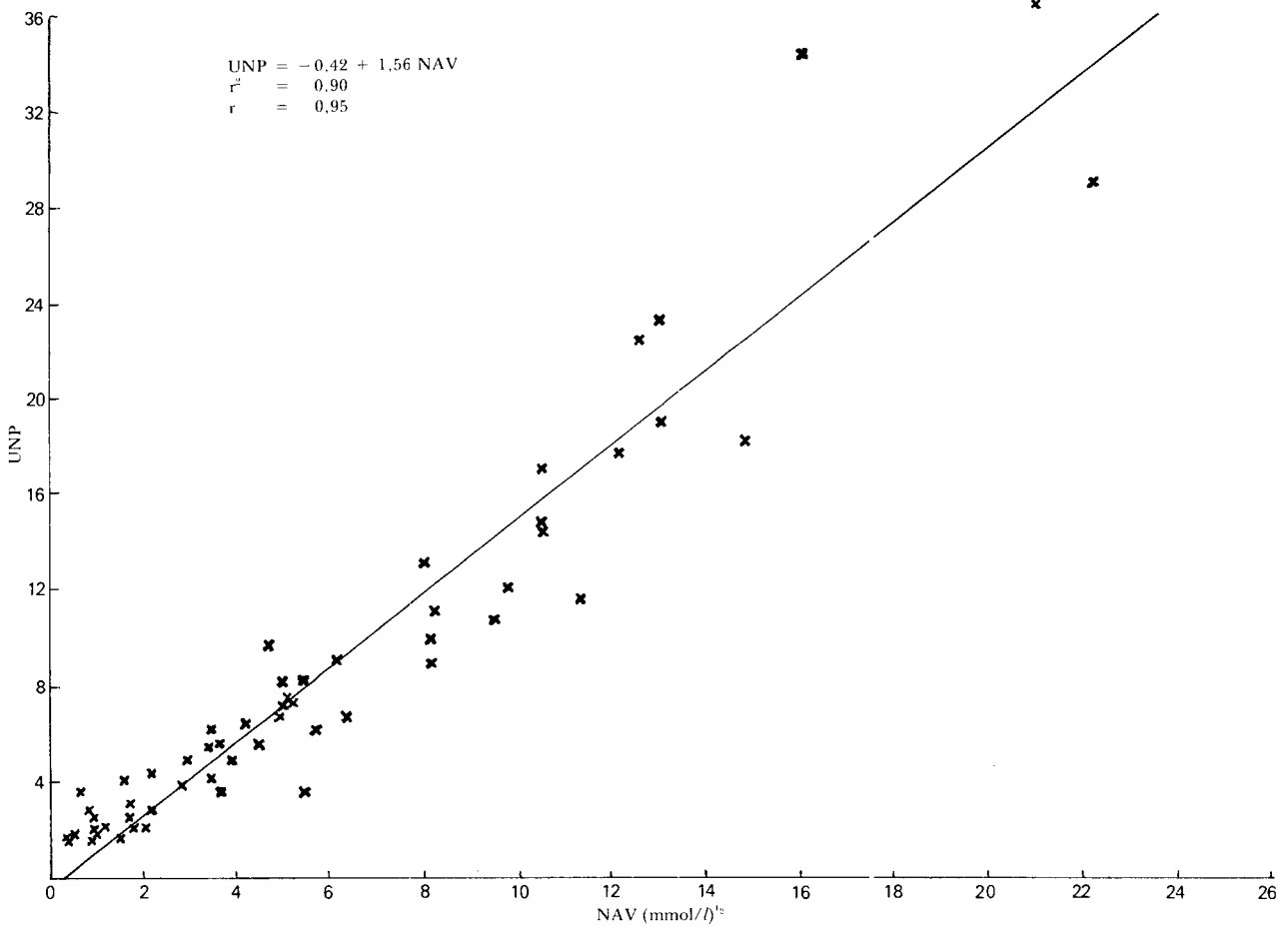


Figuur 5

Veranderinge van natrium adsorpsie verhoudinge (NAV) in (mmol/l)^{1/2} van grondekstrak van 0,15 tot 0,30 m dieptelaag, met tyd (maande)

TABEL 5
DIE VERANDERING VAN NUP GEMIDDELDES VAN DIE PROEFPERSELE AS 'N FUNKSIE VAN TYD
TYD (MAANDE)

Behandeling \ Diepte	0		3		10	
	0—0,15 m	0,15—0,30 m	0—0,15 m	0,15—0,30 m	0—0,15 m	0,15—0,30 m
KONTROLE	11,42	18,58	3,83	14,18	4,12	12,67
MEL	11,51	19,26	1,87	8,11	2,90	8,20
PAM	12,09	21,45	5,22	14,95	4,44	12,41
GO	13,69	23,02	0,83	8,63	1,80	6,64
GW ₁	9,19	17,35	2,73	8,50	2,71	8,65
GW ₂	9,89	18,36	2,76	11,13	3,32	9,87
GO/3	12,53	21,15	2,14	12,24	2,59	11,53
GW	9,63	16,18	2,54	10,39	2,25	9,47



Figuur 6
Verband tussen natriumabsorpsieverhouding (NAV) van grondekstrak
en uitruilbare natriumpersentasie (UNP)

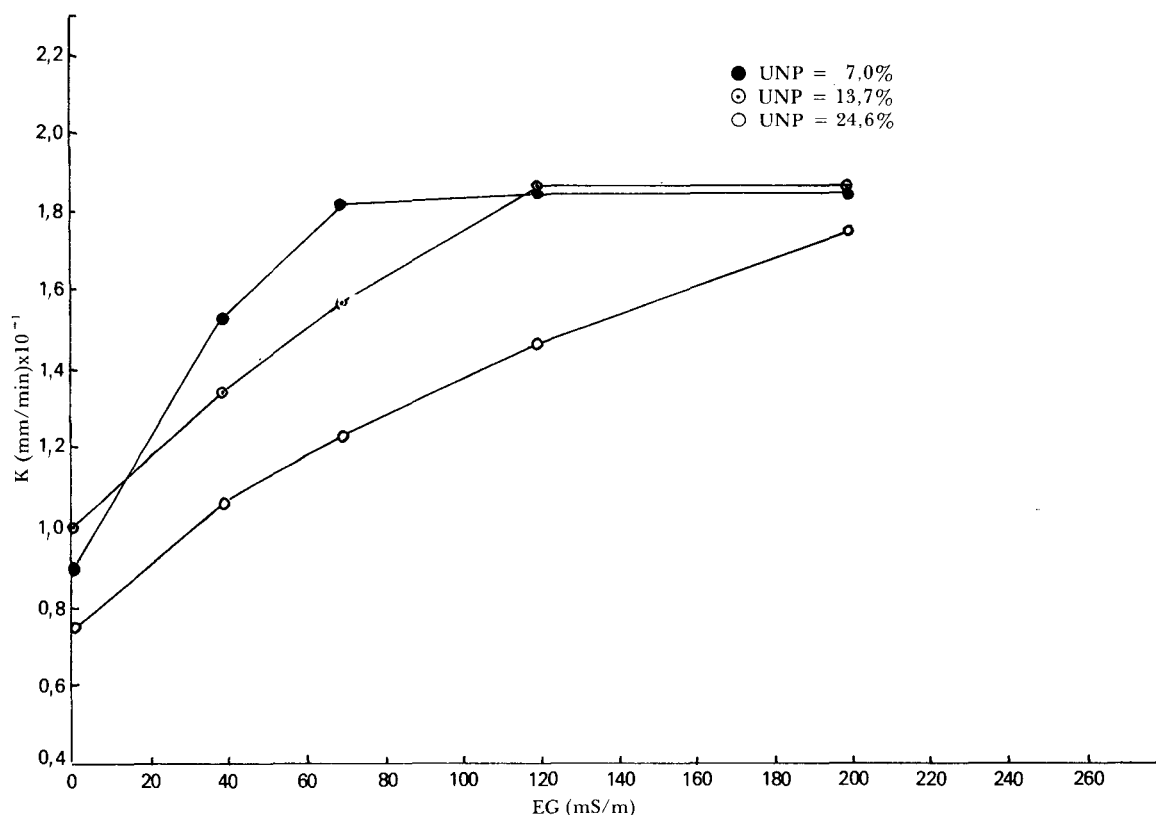
Die toename in hidrouliese konduktiwiteit (K) gemeet as 'n funksie van die EG_{bw} (sien Tabel 4), word in Fig. 7 grafies voorgestel (bw = besproeiingswater; hier is dit dieselfde as die perkolerende oplossing). Daar kan gesien word dat met alle UNP-waardes, 'n EG_{bw} -toename van 1 tot 39 mS/m 'n aansienlike verhoging in K tot gevolg gehad het. Dit is egter slegs die UNP = 24,6% monster wat 'n volgehoue toename in K getoon het, namate die EG_{bw} verhoog is tot by 199 mS/m. In die geval van beide UNP = 7% en 13,7% het die hidrouliese konduktiwiteit by EG_{bw} -waardes van 69 en 119 mS/m, onderskeidelik, afgeplat. Dit is redelik lae EG_{bw} -waardes, maar indien die bulkdigtheid van die grondkolomme hoër as $1\,430\text{ kg/m}^3$ was, sou die maksimum hidrouliese konduktiwiteit waarskynlik by 'n groter EG_{bw} verkry kon gewees het.

In Fig. 8 word die toename van K as 'n funksie van tyd vir vyf oplossings van verskillende EG_{bw} -waardes vir die monster met UNP = 24,6% grafies voorgestel. Deur die EG_{bw} van 1 tot 69 mS/m te verhoog (onderste drie kurwes), het die hidrouliese konduktiwiteit van 0,06 tot 0,12 mm/min toegeneem, dit wil sê met 100%. Dit is egter duidelik dat by aldie onderste kurwes daar eers 'n dalende tendens bestaan (byvoorbeeld by 'n EG_{bw} van 69 mS/m het die K-waarde binne 'n tydsbestek van 2 uur van 0,129 na 0,119 mm/min afgeneem) en eers na die tweede uur het dit konstant gebly. Hieruit moet afgelei word dat selfs 'n aanvanklike EG_{bw} van 69 mS/m nog nie groot genoeg was om die ontvlokking van die kleideeltjies te verhoed nie. Namate die

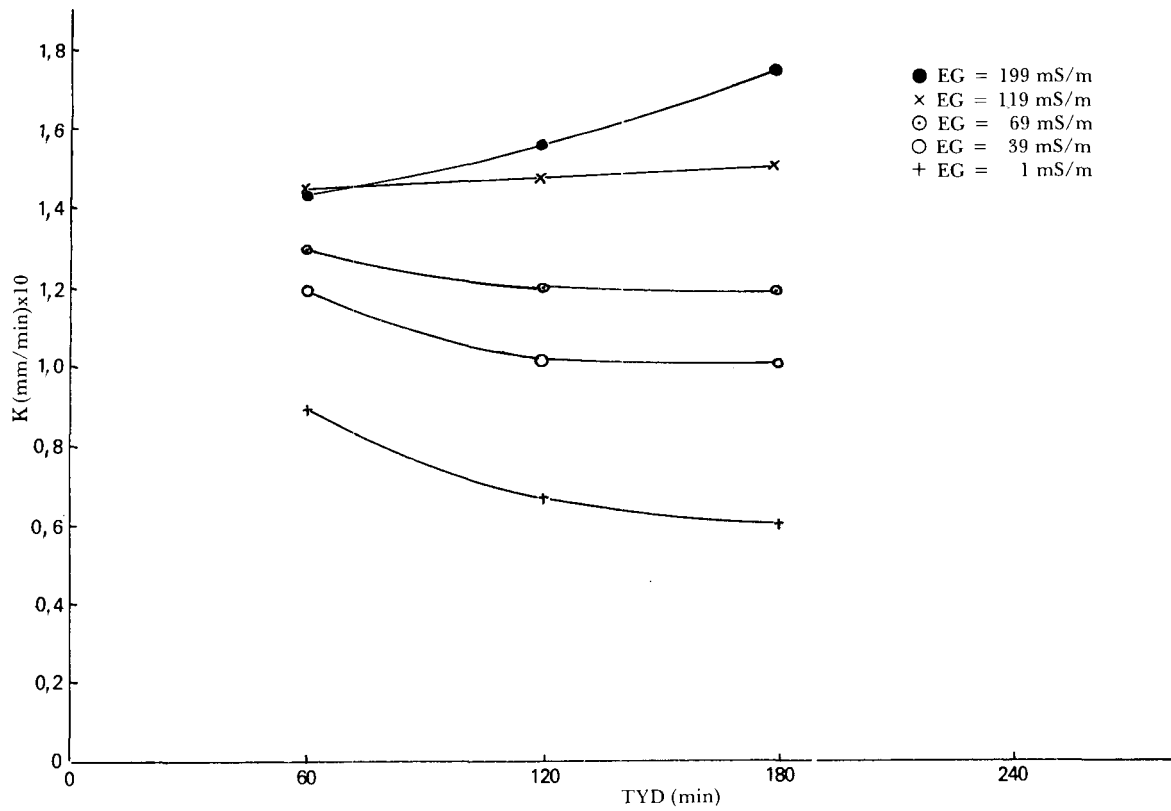
geadsorbeerde Na^+ -ione egter gelyktydig met die logging deur die Ca^{++} -ione van die gips verplaas is, het die kleidispersie verminder en het K-waardes gevolglik konstant gebly. Op dieselfde wyse het die hidrouliese konduktiwiteit, gemeet oor die drie-uur-periode, by EG_{bw} -waardes van 119 en 199 mS/m toegeneem, maar in hierdie twee gevalle (boonste twee kurwes) was daar van die begin af 'n stygende tendens, dit wil sê daar het oënskynlik geen aanvanklike klei-ontvlokking plaasgevind nie omdat die soutgehalte van die perkolerende oplossing hoog genoeg was om dit te verhinder.

Met behulp van die resultate van hierdie K- EG_{bw} -bepalings is 'n grenskonsentrasiekurwe vir die fynsandgrond onder bespreking met 'n reeks van UNP-waardes (Fig. 9) opgestel. Die EG_{bw} -waardes wat hiervoor gebruik was, was verteenwoordigend van die besproeiingswater afkomstig vanuit die Korente-Vetterivierdam, met en sonder gipsbyvoegings. Die verkreë afnames van infiltrasie-tempo op die veldpersele kan deur middel van hierdie grenskonsentrasiekurwe soos volg verklaar word:

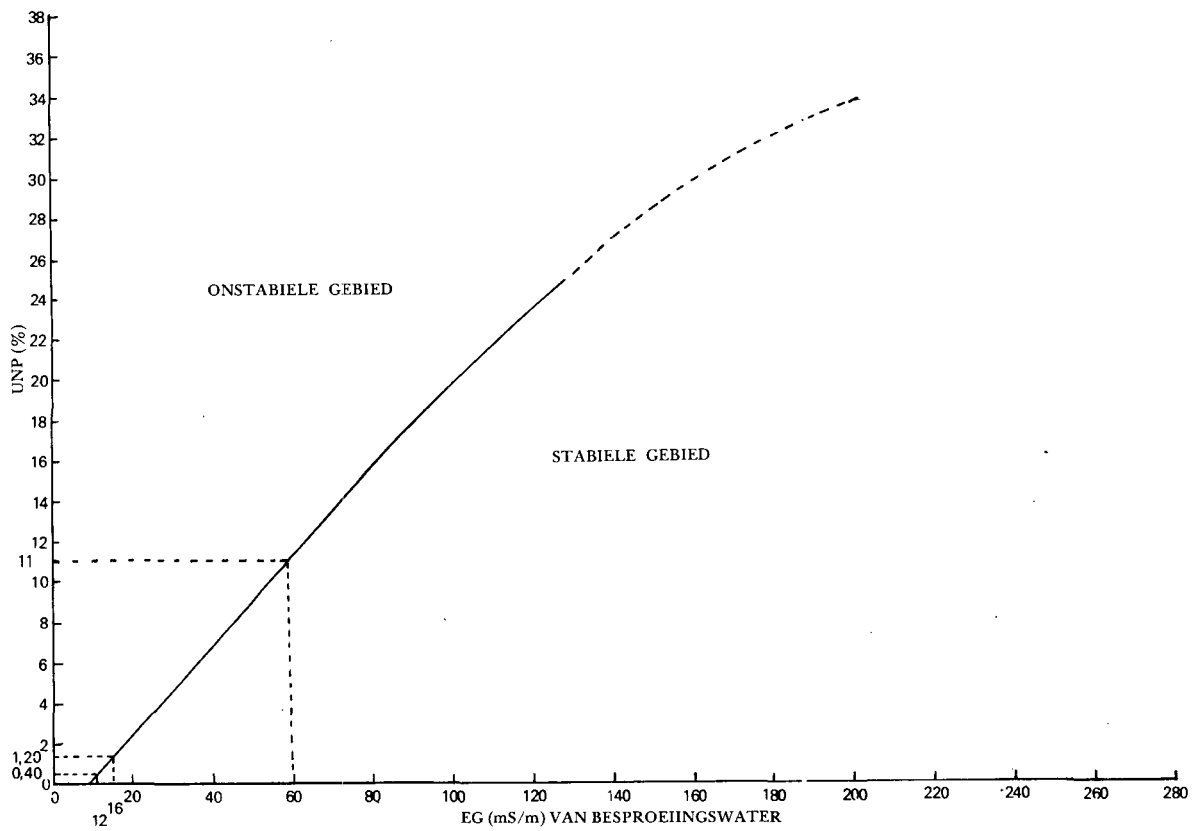
Met die aanvang van die veldproef was die elektroliet-konsentrasie van die grondoplossing (EG_r) hoog genoeg om te verseker dat die kleideeltjies in 'n uitgevlokte toestand sal bly. Namate die oplosbare soute egter deur opeenvolgende besproeiings geloog is, het die EG_r gedaal. Terselfdertyd is sommige van die uitruilbare Na^+ -ione deur Ca^{++} -ione verplaas en het die UNP ooreenkomstig afgeneem, soos deur Fig. 4 en 5 bewys.



Figuur 7
Verandering in hidrouliese konduktiwiteit (K) met toename van elektriese geleidingsvermoë van besproeiingswater (EG_{bw})



Figuur 8
Verandering van hidrouliese konduktiwiteit (K) met tyd vir die grondmonster met 'n uitruilbare natriumpersentasie (UNP) = 24,6%



Figuur 9
Grenskonsentrasiekurwe van besproeiingswaters vir Oatleaf-fynsandgronde

Aangesien beide die EG_c en UNP dus gelyktydig afgeneem het en veral aangesien die UNP-waardes relatief laag was in vergelyking met die aanvaarde standaard, was 'n permeabiliteitsafname van die grond eintlik nie te wagte nie. In werklikheid het dit wel plaasgevind.

Uit 'n vergelyking van die UNP- en EG-skale op die grenskonsentrasiekurwe van hierdie fynsandgronde, is dit ooglopend dat die EG vinniger as die UNP afneem, in ooreenstemming met die kondisies onder natuurlike grondtoestande tydens logging. Gevolglik het in die grond onder bespreking die meerderheid van die EG_c -UNP-kombinasies, wat voor die behandelingsbegin in die "stabiele" gebied geval het, met verloop van tyd in die "onstabiele" gebied inbeweeg. So byvoorbeeld was die UNP en EG_c van 'n sekere perseel aanvanklik 28,22% en 769 mS/m onderskeidelik. Hierdie kombinasie lê klaarblyklik ver regs in die stabiele gebied (nie meer op die grafiek nie). Na slegs 10 maande se behandeling was die betrokke twee waardes 11,5% en 44 mS/m onderskeidelik. Hierdie kombinasie lê egter, na oorskryding van die grenskonsentrasiekurwe, reeds in die onstabiele gebied en sou ongetwyfeld, met verdere tydsverloop en volgehoue behandeling, nog verder na links beweeg het, gesien teen die agtergrond van die tempo van verandering tot dusver.

Die permeabiliteitstudies op hierdie fynsandgrond het aangetoon dat 'n grondlaag met 'n UNP van so laag as 7 aan klei-ontvlokking blootgestel sal wees indien die EG van die perkolerende oplossing toegelaat word om laer as 40 mS/m te daal. Soortgelyke toestande is met ander kombinasies van UNP-EG-waardes gevind wat uiteindelik aanleiding tot die konstruksie van die grenskonsentrasiekurwe vir hierdie bepaalde grond gegee het.

Die EG_{bw} -waardes van die Korente-Vette-water varieer tussen 12 en 16 mS/m. Vanaf Fig. 9 kan gesien word dat slegs die persele waarvan die UNP onderskeidelik <0,4 en 1,2 is, nie 'n infiltrasietempo-afname sou ondervind het nie. Tien maande na die behandelings begin het, het 67% van die persele in die 0,15- tot 0,3-m laag egter 'n UNP >7 gehad en slegs 33% 'n UNP tussen 7 en 2. Dit is dan hoofsaaklik die 67% persele met UNP's >7 waar daar met 'n drastiese infiltrasietempo-verlaging rekening gehou moes word terwyl met die oorblywende 33% ten minste 'n geleidelike verlaging baie waarskynlik was. Byvoeging van gips tot die besproeiingswater het in die geval van die GW-behandeling, die EG_{bw} tot 60 mS/m verhoog en dit hou gronde met UNP <11 uit die onstabiele gebied uit.

Hieruit volg dat, tensy die elektrolietkonsentrasie van die besproeiingswater (EG_{bw}) groot genoeg is (dit wil sê dit of natuurlike oplosbare soute of kunsmatig toegevoegde soute, byvoorbeeld gips bevat), daar weens 'n onvermydelike klei-ontvlokking 'n daling in die permeabiliteit sal moet plaasvind.

Die vraag by watter UNP-waarde die nadelige effek van die uitruilbare Na^+ op die grondfisiese eienskappe waarneembaar word, kan derhalwe nie sommer met 'n enkele syfer beantwoord word nie. Soos hierbo verduidelik, hang dit van die UNP- $EG_{c\ of\ bw}$ -kombinasies af wat vir elke grond verskillend is. Indien sommige navorsers dus 'n kritiese waarde van 15% vermeld (USSL-Staff, 1954; Bower, Harper, Moodie, Overstreet en Richards, 1958; McNeal 1968) en ander outeurs waardes van laer as 15% aangee (Emerson, 1954; Martin en Richards, 1959; McNeal en Coleman, 1966a), kan die gevolgtrekking net wees dat dié waardes wel vir die gronde korrek is waarop die outeurs hul eksperimente gedoen het, maar dat dit geensins vir alle ander gronde moet geld nie. Al wat verwag kan word is dat daar 'n geleidelike verswakking van grondfisiese eienskappe met toenemende UNP sal wees as die $EG_{c\ of\ bw}$ onveranderd bly,

maar indien laasgenoemde waardes kunsmatig verhoog word deur gipstoevoeging, sal hierdie nadelige effek verminder of selfs opgehef kan word.

Ander faktore, byvoorbeeld porositeit, kan ook beide die permeabiliteit en infiltrasietempo aansienlik beïnvloed. Wanneer die porositeit laag is, byvoorbeeld by fynsandgronde, sal die nadelige effek van geadsorbeerde Na^+ -ione alreeds by relatief lae UNP's waarneembaar word. Dit maak dié tipe gronde soveel eerder vatbaar vir 'n permeabiliteitsafname weens klei-ontvlokking. Die porositeit is in die geval van 'n verdigte grond alreeds laag en 'n verstopping van die porieë sal dus 'n veel groter effek op die permeabiliteit hê as by 'n grond met dieselfde UNP maar met 'n hoër porositeit.

Frenkel, Goertzen en Rhoades (1978) het dan ook aangetoon dat vir 'n bepaalde UNP, die permeabiliteitsafname weens klei-ontvlokking, al hoe erger word namate die bulkdigtheid van die grond toeneem. Só byvoorbeeld het dié outeurs gevind dat met 'n UNP van 10 en 'n bulkdigtheid van 1 550 kg/m³, daar 'n 30% afname in permeabiliteit is namate die elektrolietkonsentrasie van 10 tot 0 me/l verlaag word. Met 'n bulkdigtheid van 1 680 kg/m³ was hierdie afname 90%.

Opsomming en Gevolgtrekkings

1. Alhoewel 'n fynsandgrond met 'n lae klei-inhoud bloot op sterkte van sy chemiese ontledingsdata volgens konvensionele standaarde nie as 'n sout-natrium-grond beskou kan word nie, kan dit nogtans onder sekere omstandighede wel soos 'n sout-natrium-grond met toediening van elektrolietarme water, reageer.
2. Die gedrag van sodanige fynsandgrond word gekenmerk deur die ontvlokking van die klei en die toeswel van die grondporieë net soos dit gewoonlik die geval is by konvensioneel erkende sout-natrium-gronde (UNP >15%, EG_c > 400 mS/m), wanneer hul uitvlokkende katione deur logging met elektrolietarme besproeiingswater verwyder word en die grond hierdeur na 'n natriumgrond (UNP >15%, EG_c < 400 mS/m) verander word.
3. Alombekende grondverbeteringsmiddels (gips in vaste vorm en in besproeiingswater opgelos) asook betreklik onbekende behandelings (melassemeel en poliakrielamied) kon 'n afname in die infiltrasietempo van hierdie gronde wat nog nooit vantevore besproei was, nie verhinder nie. Daar is egter wel groot verskille in die intensiteit van IT-afname tussen die verskillende behandelings waargeneem.
4. Deur die grond met gips, wat tydens elke besproeiing in die water opgelos was, te behandel is die IT-afname tot slegs sowat 14% beperk terwyl besproeiing met onbehandelde water op onbehandelde grond (kontrolepersele) 'n IT-afname van sowat 67% veroorsaak het. Die gips wat by die besproeiingswater gevoeg is, het die elektrolietkonsentrasie genoegsaam verhoog om klei-ontvlokking met 'n gevolglike drastiese IT-afname, te voorkom.
5. Aanvullende laboratoriumstudies het bewys dat die hidrouliese konduktiwiteit van hierdie fynsandgronde grootliks deur die elektrolietkonsentrasie van die besproeiingswater beïnvloed word.
6. Met behulp van die permeabiliteitstudies kon 'n grens-

konsentrasiekurve vir die besproeiing van fynsandgronde gekonstrueer word.

7. Hierdie grenskonsentrasiekurve het bevestig dat, tensy gips daarin opgelos word, die elektrolietarme besproeiingswater van die Suid-Kaap ongeskik vir gebruik op brak fynsandgronde is.

Literatuurverwysings

- ALLISON, L.E. (1964) Salinity in relation to irrigation. *Adv. in Agron.* 16 139–180.
- BOWER, C.A., HARPER, W.G., MOODIE, C.D., OVERSTREET, R. and RICHARDS, L.A. (1958) Report of the nomenclature committee appointed by the board of collaborators of the U.S.A. Salinity Laboratory. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 22 270.
- BROOKS, R.H., BOWER, C.A. and REEVE, R.C. (1956) The effect of various exchangeable cations upon the physical conditions of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 20 325–327.
- EMERSON, W.W. (1954) The determination of the stability of soil crumbs. *J. Soil Sci.* 5 233–250.
- FRENKEL, H., GOERTZEN, J.O., RHOADES, J.D. (1978) Effects of clay type and contents, exchangeable sodium percentage, and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. Journal* 42 32–39.
- HARRIS, A.E. (1931) Effect of exchangeable sodium on soil permeability. *Soil Sci.* 32 435–466.
- LONGENECKER, D.E. en LYERLY, P.J. (1964) Making soil pastes for salinity analysis: A reproduceable capillary procedure. *Soil Sci.* 97 268–275.
- MARTIN, J.P. en RICHARDS, S.J. (1959) Influence of exchangeable hydrogen and calcium and of sodium, potassium and ammonium at different hydrogen levels on certain physical properties of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 23 335–338.
- McNEAL, B.L. (1968) Prediction of the effect of mixed-salt solutions on soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32 190–193.
- McNEAL, B.L. en COLEMAN, N.T. (1966) Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30 308–312.
- McNEAL, B.L. en REEVE, R.C. (1964) Elimination of boundary-flow errors in laboratory conductivity measurements. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28 713–714.
- MOOLMAN, J.H. (1977) 'n Ondersoek na die behandelings- en herwinningsmoontlikhede van verdigbare brak fynsandgronde onder besproeiing. M.Sc.(Landbou)-tesis, Universiteit van Stellenbosch, November 1977.
- NAGSHINEH-POUR, B., KUNZE, G.W. en CARSON, C.D., (1970) The effect of electrolyte composition on hydraulic conductivity of certain Texas soils. *Soil Sci.* 110 124–127.
- PETROFINA (1972) Protection of soils against erosion. Manual prepared by Petrofina for FOA Rome.
- QUIRK, J.P. en SCHOFIELD, R.K. (1955) The effect of electrolyte concentration on soil permeability. *J. Soil Sci.* 6 163–178.
- RHOADES, J.D. en INGVALSON, R.D. (1969) Macroscopic swelling and hydraulic conductivity properties of four vermiculite soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 33 364–369.
- RHOADES, J.D. en MERRIL, S.D. (1975) Assessing the suitability of water for irrigation: Theoretical and empirical approaches. Proceedings: "Expert consultation on prognosis of salinity and alkalinity". Rome, Italy, 3–6 June 1975, FAO of the U.N.
- SNEDECOR, G.W. en COCHRAN, W.G. (1969) Statistical Methods, 6th Edition. The Iowa State University Press.
- U.S. SALINITY LABORATORY STAFF (L.A. RICHARDS, Ed.) (1954) Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. U.S.D.A. Handbook No 60. United States Dept. Agric. Washington.
- VAN DER MERWE, A.J. en BURGER, R. du T. (1969) The influence of exchangeable cations on certain physical properties of a saline-alkali soil. *Agrochimophisica* 1 63–66.
- VAN ROOYEN, P.C. (1970) The reclamation of a saline-sodic soil under a low moisture regime. M.Sc.(Agric.) Tesis Universiteit van Stellenbosch.
- VAN ROOYEN, F.C. en WEBER, H.W. (1972) Verbetering van infiltrasie-eigenskap op sout-natriumgronde met behulp van melassemeel en ander amendemente. *Gewasproduksie* 1 59–63.
- VAN ROOYEN, P.C. en WEBER, H.W. (1977) Long-term effects of five ameliorants on a saline-sodic soil of South Africa. *Geoderma* 19 213–225.
- WEBER, H.W. en VAN ROOYEN, P.C. (1971) Polysaccharides in molasses meal as an ameliorant for saline-sodic soils compared to other reclamation agents. *Geoderma* 6 233–253.