Over antagonistische werkingen van zouten bij planten

DOOR

J. G. MASCHHAUPT.

I.

Inleiding.

Reeds jaren geleden toonde Ringer aan, dat de levensduur van dierlijke weefsels in een „physiologische keukenzoutoplossing" verlengd wordt, indien men aan deze oplossing kleine hoeveelheden van een K- of Ca-zout, beter nog van *beide* zouten, in de verhouding, waarin ze ongeveer in het bloed voorkomen, toevoegt. Op grond van deze onderzoekingen, welke herhaald werden door Locke, heeft men meer en meer de physiologische zoutoplossing door de vloeistof van Ringer-Locke vervangen.

Sedert hebben verschillende physiologen zich bezig gehouden met de studie van de eischen, welke door dierlijke cellen gesteld worden aan de samenstelling van het medium waarin zij leven. Zoo vond Herbst (1, pag. 427) [1]) bij onderzoekingen door hem in de laatste jaren der vorige eeuw verricht, dat voor de ontwikkeling der bevruchte eieren van zee-egels tot larven beslist onontbeerlijk zijn: Na, K, Ca, Mg, Cl, SO_4, HCO_3 en een geringe overmaat aan OH-ionen boven de H-ionen, terwijl de verschillende elementen in een bepaalde verhouding aanwezig dienen te zijn.

De bovengenoemde bestanddeelen zijn die van het normale zeewater, dat volgens van 't Hoff e.a. op 100 mol Na Cl ongeveer 2,2 K Cl, 7,8 $MgCl_2$, 3,8 $MgSO_4$ en 2,3 $CaCl_2$ bevat.

De oplossing van Ringer-Locke verschilt, wat de samenstelling betreft, in zooverre van zeewater, dat Mg en SO_4 daarin

---

1) Deze cijfers tusschen haakjes verwijzen naar de literatuuropgave achter deze verhandeling.

2095392

ontbreken; de verhouding der afzonderlijke ionenconcentraties komt echter nagenoeg overeen met de verhouding, waarin ze in zeewater voorkomen. Hieruit volgt, dat er, wat de aanwezige zouten betreft, een merkwaardige overeenkomst bestaat tusschen bloed en zeewater.

Voor de vraag naar de beteekenis van de combinaties van verschillende electrolyten voor het leven der dierlijke cellen zijn vooral de onderzoekingen van Jacques Loeb (1 en 3—10) belangrijk. Deze onderzoeker experimenteerde o.a. met de bevruchte eieren en de zich daaruit ontwikkelende embryonen van een kleinen zeevisch, Fundulus heteroclitus. Deze eieren zijn daarom voor dergelijke proeven zoo bijzonder geschikt, omdat ze in de verschillende ontwikkelingsstadia zich niet storen aan belangrijke verschillen in osmotischen druk: zij ontwikkelen zich evengoed in zuiver water als in normaal of verdund zeewater.

Loeb vond nu, dat bij overbrenging van bevruchte Fundulus-eieren uit zeewater in een zuivere Na Cl-oplossing van denzelfden osmotischen druk (ongeveer 5/8 M. p. L.) geen der eieren zich ontwikkelt. De keukenzout-oplossing kan echter, niet alleen door toevoeging eener kleine hoeveelheid Ca- of Mg-zout, maar zelfs door toevoeging van bijna ieder willekeurig meerwaardig kation (Co, Sr, Ba, Ni, Mn, Zn, Pb, UO_2) gemaakt worden tot een medium, waarin zich de eieren wèl ontwikkelen. Merkwaardig is, dat zelfs vergiften als lood- en zinkzouten hiertoe dienen kunnen.

Ook $Al^{\cdot\cdot\cdot}$, $Cr^{\cdot\cdot\cdot}$, en $Th^{\cdot\cdot\cdot}$ zijn in staat de giftige eigenschappen van de zuivere Na Cl-oplossing ten deele op te heffen, tenminste indien slechts sporen dezer verbindingen worden toegevoegd.

Voor ieder zout, dat hiertoe in staat is, bestaat een optimale concentratie; deze optimale concentraties loopen bij de verschillende zouten sterk uiteen.

$Cu^{\cdot\cdot}$, $Hg^{\cdot\cdot}$ en $Fe^{\cdot\cdot\cdot}$ oefenen de bedoelde werking niet uit; evenmin de eenwaardige kationen.

De zouten met meerwaardige kationen op zichzelf, dus zonder Na Cl, in water opgelost tot de bovenbedoelde optimale concentraties, brengen de ontwikkeling totaal tot stilstand.

Heeft eenmaal de larve zich uit het ei ontwikkeld, dan kan de giftigheid der zuivere Na Cl-oplossing niet meer opgeheven worden door toevoeging van een der genoemde meerwaardige kationen, doch slechts door toevoeging van $Ca\,Cl_2 + K\,Cl$.

Uit onderzoekingen van Wo. Ostwald (1, pag. 428) blijkt dat er met betrekking tot de hier besproken verschijnselen geen essentieel verschil bestaat tusschen de in zeewater levende dieren en die welke in zoetwater leven. Zoo verdraagt Gammarus pulex de Geer goed verdund zeewater; laat men echter achtereenvolgens de afzonderlijke componenten van het zeewater weg, dan neemt de levensduur meer en meer af, en neemt de giftigheid der oplossing dus meer en meer toe.

Osterhout (13) onderzocht in hoeverre hetgeen Ringer, Herbst en vooral Loeb bij hunne proeven vonden omtrent de werking van zoutcombinaties op het dierlijk organisme, ook geldt voor planten.

In de eerste plaats experimenteerde Osterhout met verschillende zeealgen. Op grond van waarnemingen omtrent den levensduur der algen in verschillende zoutoplossingen komt hij tot de volgende conclusies:

1°. alle zouten uit het zeewater zijn ieder op zichzelf vergiftig;

2°. in een mengsel dezer zouten worden, indien tusschen de concentraties der zouten de juiste verhouding bestaat, de giftige eigenschappen wederkeerig opgeheven. Een zoodanige oplossing is „physiologisch geëquilibreerd";

3°. deze „physiologisch geëquilibreerde oplossingen" hebben zoowel voor planten als voor dieren dezelfde fundamenteele beteekenis.

De veronderstelling ligt nu voor de hand, dat we bij de door Osterhout geconstateerde feiten uitsluitend te maken hebben met een aanpassing der algen aan een bepaald groeimedium, het zeewater. Indien we echter hetzelfde, behalve bij zeeplanten, ook waarnemen bij zoetwater- en bij landplanten, dan is er van een dergelijke aanpassing aan het groeimedium geen sprake, doch dan zijn deze feiten een direct gevolg van bepaalde fundamenteele eigenschappen der levende materie.

Ten einde hieromtrent zekerheid te krijgen herhaalde Osterhout (16) zijn proeven met een groote verscheidenheid van lagere en hoogere water- en landplanten. Van de hoogere planten experimenteerde hij vooral met tarwe. Een groot aantal (400—500) tarwekorrels liet hij kiemen in verdund kunstmatig zeewater[1]), en in oplossingen der componenten of mengsels der componenten. Na 40 dagen bepaalde hij de gemiddelde totale lengte der wortels per tarweplant. De verschillen in de wortelontwikkeling waren zeer groot en veel sprekender dan die bij stengel en blad.

Uit de cijfers, welke Osterhout in tabel VII der genoemde publicatie (16) opgeeft, volgt echter niet, dat het verdunde zeewater een bij uitstek geschikt medium is voor de wortelontwikkeling: in verdund zeewater was de totale wortellengte 360 m.M., in gedestilleerd H_2O 740 m.M., dus ruim tweemaal zoo groot[2]). Wel blijkt uit de opgegeven cijfers zeer duidelijk

---

1) 1000 c.c. $NaCl$ + 78 c.c. $MgCl_2$ + 38 c.c. $MgSO_4$ + 22 c.c. KCl + 10 c.c. $CaCl_2$. Sterkte van alle oplossingen 3 M/25 (= $\frac{3}{25}$ grammolecuul per Liter). Verdund kunstmatig zeewater 3 M/25 bevat 8,74 gr. zouten per Liter.

2) Bij mijn proeven met mais was de wortelontwikkeling in verdund zeewater steeds, zoo niet beter dan toch zeker niet minder goed dan in gedest. H_2O.

de giftige werking der enkelvoudige zoutoplossingen, en hoe de giftigheid wordt opgeheven door toevoeging der andere zouten.

Zoo was na 40 dagen de gemiddelde totale lengte der wortels per tarweplant:

in: gedestilleerd H_2O	740	m.M.
$NaCl$ $\frac{3\,M}{25}$	59	„
KCl	68	„
$CaCl_2$	70	„
$MgCl_2$	7	„
1000 $NaCl$ + 10 $CaCl_2$	254	„
1000 $NaCl$ + 22 KCl + 10 $CaCl_2$	324	„
1000 $NaCl$ + 78 $MgCl_2$ + 10 $CaCl_2$	327	„
Verdund kunstmatig zeewater	360	„

Osterhout vestigt de aandacht op het onderscheid dat er bestaat tusschen „physiologisch geëquilibreerde oplossingen" en de gewone „voedingsoplossingen", welke laatste in zoo'n verdunden toestand gebruikt worden, dat geen der componenten een vergiftige werking uitoefent, ook niet indien ze elk voor zich in oplossing zijn [1]).

Loeb vond bij zijn proeven, dat de schadelijke werking van eenwaardige kationen slechts door meerwaardige kationen en niet of slechts in geringe mate door andere eenwaardige kationen kan opgeheven worden. Osterhout (19) daarentegen constateerde bij zijn proeven met tarwe een duidelijk antagonisme tusschen

---

[1]) Deze meening kan ik niet geheel deelen, tenminste niet ten aanzien van 0,5 gr. $MgSO_4$ per Liter. Bovendien hebben de wortels van de verschillende planten een zeer uiteenloopende gevoeligheid voor de werking van enkelvoudige zoutoplossingen. Ter vergelijking moge hier de samenstelling van verdund kunstmatig zeewater en van enkele der bekende cultuurvloeistoffen volgen.

	zeewater $\frac{3\,M}{25}$	Knop.	Crone.	Sachs.
	gr. per L.	gr. per L.	gr. per L.	gr. per L.
$NaCl$	6,96	—	—	0,50
$MgCl_2$	0,90	—	—	—
$MgSO_4$	0,55	0,25	0,50	0,50
KCl	0,20	0,12	—	—
$CaCl_2$	0,13	—	—	—
KNO_3	—	—	1,00	1,00
$Ca(NO_3)_2$	—	1,00	—	—
$CaSO_4$	—	—	0,50	0,50
KH_2PO_4	—	0,25	—	—
$Ca_3(PO_4)_2$	—	—	0,25	0,50
$Fe_3(PO_4)_2$	—	—	0,25	—

Na Cl en K Cl. Bereikten de wortels bij een tarweplantje na 30 dagen in K Cl (0,12 M.) een gemiddelde totale lengte van 67 m.M., in een Na Cl-oplossing van dezelfde moleculaire concentratie een lengte van 55 m.M., in *mengsels* van beide oplossingen bereikten de wortels een totale lengte, welke boven de beide genoemde getallen lag, bijv. in 30 c.c. K Cl + 100 c.c. Na Cl 185,5 m.M., in 5 c.c. K Cl + 100 c.c. Na Cl 94,4 m.M.

Magnesiumzouten zijn voor de hoogere planten veel giftiger dan K-, Na- en Ca-zouten (2, pag. 850; zie verder hoofdstuk II en III). Maar ook de giftwerking van magnesiumzouten kan volgens Osterhout (19, 15, 20) door toevoeging van Na Cl gedeeltelijk worden opgeheven. Maar aangezien het mengsel van Na- en Mg-zout ook minder giftig is dan de zuivere Na Cl-oplossing, kan men ook zeggen, dat omgekeerd toevoeging van Mg-zouten de giftige werking der zuivere Na Cl-oplossing opheft.

In dezelfde publicatie (19; zie ook 20) geeft Osterhout voor tarwe een antagonisme-curve voor $Mg\,Cl_2$ + Na Cl, aangevende de lengte der wortels na 30 dagen bij verschillende verhoudingen tusschen de beide zouten (conc. der vloeistof 0,12 M.). Uit deze curve blijkt, dat de sterkste wortelgroei plaats had in 100 c.c. Na Cl + 7,5 c.c. $Mg\,Cl_2$. In dit mengsel bereikten de wortels een gezamenlijke lengte van ruim 200 m.M., terwijl deze in zuiver Na Cl 55 m.M., in zuiver $Mg\,Cl_2$ slechts 5 m.M. bedroeg.

Bij Na Cl + $Ca\,Cl_2$ wordt hetzelfde waargenomen; alleen heeft de curve hier een geheel ander beloop. Toevoeging van geringe hoeveelheden $Ca\,Cl_2$ aan de Na Cl-oplossing heeft grooten invloed op den wortelgroei; het optimum wordt bereikt bij 5 c.c. $Ca\,Cl_2$ + 100 c.c. Na Cl met een wortellengte van 440 m.M. (in zuiver $Ca\,Cl_2$ 85 m.M., in zuiver Na Cl 55 m.M.).

Een dergelijk antagonisme werd door Osterhout geconstateerd bij algen, levermossen, equisetaceeën en alle door hem onderzochte phanerogamen (Allium, Helianthus, Zea, Pisum, Beta, Alopecurus, Linum, Lupinus, Vicia, Raphanus, Trifolium, Medicago).

Na de boven beschreven resultaten zijner onderzoekingen medegedeeld te hebben zegt Osterhout: „Aus dem oben Gesagten dürfen wir schliessen, dass die herrschende Ansicht, Natrium habe keinen Wert für die Pflanze, aufgegeben oder doch modifiziert werden muss, indem wir dem Natrium eine Schutzwirkung zuschreiben müssen."

Op grond van de overeenstemmende resultaten, welke Osterhout verkreeg bij proeven, waarbij grond met dezelfde oplossingen gedrenkt werd, meent hij te mogen aannemen dat dergelijke antagonistische werkingen ook een groote rol spelen in den bodem.

Toen ik mij enkele jaren geleden bezig hield met onderzoekingen omtrent de reactieverandering van zoutoplossingen

onder invloed van daarin groeiende plantenwortels [1]), werd mijn aandacht gevestigd op de bovengenoemde onderzoekingen van Osterhout. Hoewel bij de door mij genomen proeven de groei der wortels in de verschillende zoutoplossingen zeer uiteenliep, was toch met uitzondering van een enkele oplossing (bijv. KH_2PO_4) in alle oplossingen een duidelijke groei der wortels waar te nemen. In sommige oplossingen was de wortelontwikkeling bijzonder krachtig, een paar maal zelfs in de voor de hoogere planten zoo giftige magnesiumzouten.

Traden bij mijn proeven niet steeds, zooals bij de proeven van Osterhout, onmiskenbaar giftige eigenschappen aan den dag, dan konden hiervoor al dadelijk twee omstandigheden aansprakelijk gesteld worden, te weten: 1°. de veel grootere verdunning (2 ‰) der oplossingen waarmede de plantenwortels in aanraking waren, 2°. de inrichting van de proef.

Wat dit laatste punt betreft zij er hier aan herinnerd, dat Osterhout experimenteerde met plantjes, wier wortelstelsels geheel in de te onderzoeken zoutoplossingen gedompeld waren. Bij mijn proeven daarentegen groeiden de planten in potten gevuld met aarde en slechts den wortels, die onder uit den pot te voorschijn kwamen, werd gelegenheid gegeven zich in de zoutoplossingen verder te ontwikkelen. Hierdoor waren de planten in staat met een groot deel van het wortelstelsel op normale wijze de verschillende aschbestanddeelen op te nemen en deze te transporteeren naar de wortels, welke niet in de aarde doch onder uit den pot in de zoutoplossingen groeiden.

Nu zou volgens Loeb (3, 10*a* en andere publicaties van Loeb) — en Osterhout (19) neemt deze meening over voor plantaardige cellen — de giftwerking der enkelvoudige zoutoplossingen daaraan toegeschreven moeten worden, dat het kation van het in de oplossing aanwezige zout, volgens de wet der massawerking, andere kationen uit het protoplasma uitdrijft, terwijl het leven slechts mogelijk is bij een combinatie van het protoplasma met verschillende ionen in zeer bepaalde verhoudingen (ionenproteiden).

Was deze opvatting juist, dan was de veronderstelling niet gewaagd dat een transport van de benoodigde zouten van uit de normaal gevoede plant naar de zich in enkelvoudige zoutoplossingen bevindende wortels, de giftige werking dezer oplossingen, althans ten deele, had opgeheven, door vervanging van de aan de wortelcellen onttrokken ionen.

Een uittreden van verschillende kationen uit plantencellen, onder invloed van een deze cellen omspoelende zoutoplossing, is door meerdere onderzoekers aangetoond geworden. (Nathanson 55, Meurer 54, Ruhland 56, Niklewski 52). Ook

---

[1]) Reactieverandering van den bodem tengevolge van plantengroei en bemesting. Verslagen van landbouwkundige onderzoekingen der Rijkslandbouwproefstations X, 1911.

ik had bij mijn proeven over de reactieverandering van zoutoplossingen gelegenheid dit uittreden waar te nemen [1]; zoo werd in een $MgSO_4$-oplossing (2 ‰), waarin maïswortels zich bij uitzondering bijzonder goed ontwikkeld hadden, de aanwezigheid eener belangrijke hoeveelheid Ca geconstateerd, terwijl ook andere zoutoplossingen kleine hoeveelheden Ca of K bleken te bevatten. Juist dit feit gaf mij aanleiding om het aan de inrichting mijner proeven toe te schrijven, dat door mij, op een enkele uitzondering na, bij de enkelvoudige zoutoplossingen geen bepaalde vergiftigingsverschijnselen werden waargenomen.

Uit de aanwezigheid van belangrijke hoeveelheden Ca in de $MgSO_4$-oplossing, waarin aanvankelijk slechts één enkele korte wortel reikte, doch waarin zich langzamerhand een geheel wortelstelsel ontwikkelde, volgt, dat er inderdaad transport van minerale bestanddeelen plaats heeft van de plant naar de wortels, in ieder geval een transport in het wortelstelsel in benedenwaartsche richting over belangrijke afstanden. Bovendien bewijst de vorming van vrij lange wortels aan in gedestilleerd water geplaatste kiemplantjes, dat er transport van minerale bestanddeelen van uit het zaad naar de wortels plaats heeft. De opmerking van Niklewski (52) naar aanleiding van de onderzoekingen van Hansteen (49), dat een dergelijk transport niet kan plaats hebben, „da wohl in der wachsenden Pflanze die Mineralsalze wohl nur in der Richtung der transpirierenden Oberfläche hin transportirt werden", is derhalve onjuist.

De bovenstaande overwegingen gaven mij aanleiding de proeven van Osterhout, volgens de door mij bij de bestudeering der reactieverandering van zoutoplossingen gevolgde methode van onderzoek, te herhalen, dus met planten, welke in staat waren door middel van het overgroote deel der wortels zich op *normale* wijze van de benoodigde minerale bestanddeelen te voorzien.

In de eerste plaats was het voor mij van belang te weten, of bij een dergelijke inrichting der proef ook van een giftige werking der enkelvoudige zoutoplossingen sprake was; mocht dit het geval zijn, dan verloren de resultaten van mijn vroegere onderzoekingen waarschijnlijk een deel hunner beteekenis.

Maar bovendien achtte ik het van belang de proeven van Osterhout te herhalen met planten, welke onder minder abnormale groeiomstandigheden verkeerden dan bij zijn onderzoekingen het geval was, *voor het verkrijgen van juistere inzichten met betrekking tot de bemesting onzer cultuurgewassen.*

De opvatting van Liebig volgens welke de voor den plantengroei onmisbare bodembestanddeelen en de chemische meststoffen, welke we op het land brengen, slechts te beschouwen zijn als „plantenvoedsel" heeft zich, naar het mij toeschijnt, al te hardnekkig vastgezet in de hoofden, zoowel van de onderzoekers op

---

[1]) l. c. pag. 86.

landbouwkundig gebied als van de mannen der landbouwpraktijk. Het is zeer waarschijnlijk, gezien de onderzoekingen van Loew, Loeb, Osterhout e.a., dat deze opvatting voor een goed deel *onjuist* is, en dan kan het niet anders of deze verkeerde zienswijze moet het verkrijgen van meerdere kennis op het gebied der bemesting in den weg staan.

Thans blijft de aandacht gevestigd op stikstof, phosphorzuur en kalium als onmisbaar „voedsel" voor de planten, indien we het, in hoofdzaak door praktische motieven geleide, zoeken naar „stimuleerende" of „katalytisch werkende" meststoffen, waarmede vooral Japansche onderzoekers zich hebben bezig gehouden, buiten beschouwing laten. Mogelijk wordt de aandacht hierdoor afgeleid van andere, voor een goede ontwikkeling der gewassen eveneens zeer nuttige bestanddeelen van den bodem en blijft ons oog gesloten voor tal van vraagstukken, welke voor de cultuur der gewassen van groote beteekenis zijn. Loew heeft reeds sinds jaren gewezen op de eischen, welke onze cultuurgewassen aan een bepaalde verhouding tusschen CaO en MgO in den bodem stellen; dit vraagstuk is nog lang niet tot oplossing gebracht, daar het onderzoek zich weer ten deele in verkeerde banen heeft bewogen. Het is verder geenszins onmogelijk, dat men, in deze richting verder zoekende, nog meerdere gegevens verkrijgt omtrent de eischen, welke door de plantenwortels aan de chemische samenstelling der bodemvloeistof gesteld worden, gegevens, die voor de vraag hoe men bemesten moet, van groot belang zullen kunnen zijn.

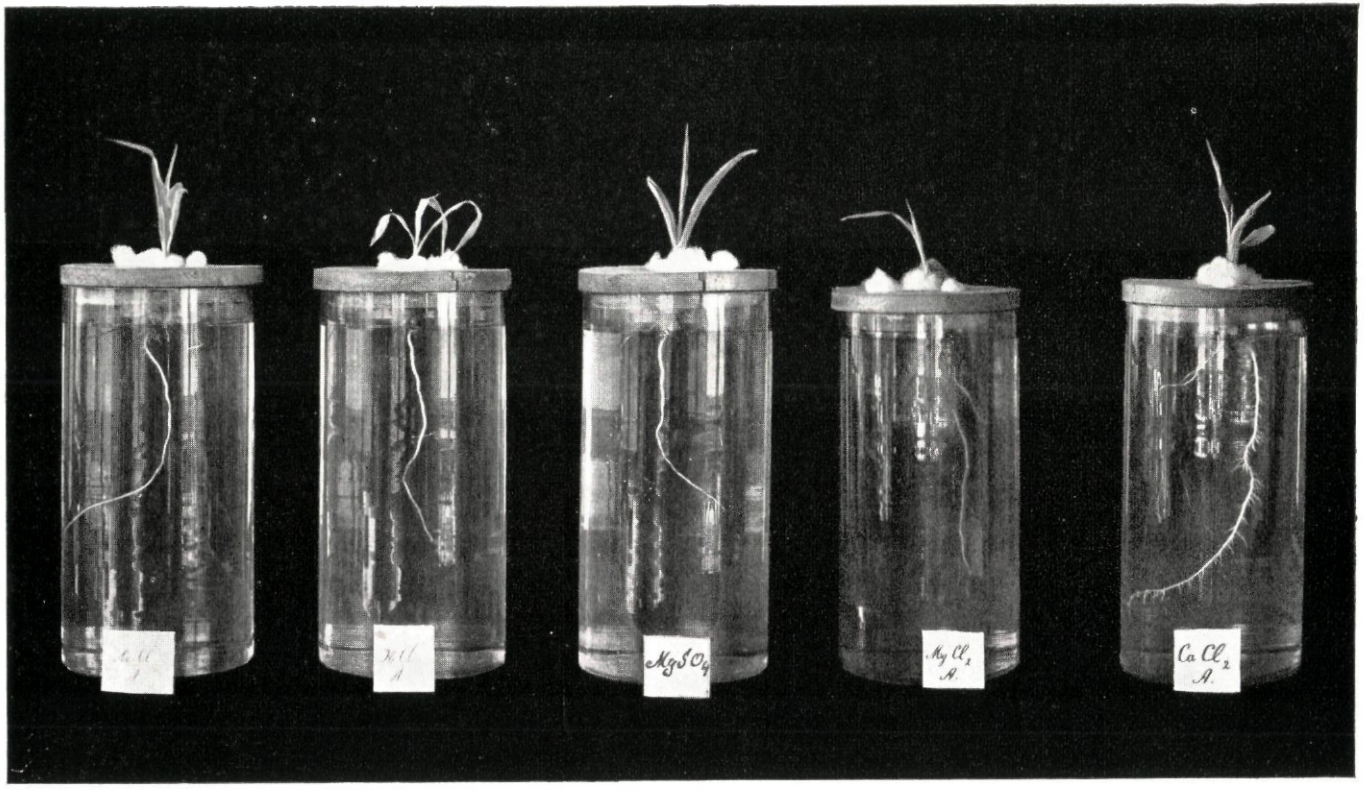
II.

De in de jaren 1910—1912 aan het Rijkslandbouwproefstation te Groningen verrichte onderzoekingen.

Op een enkele uitzondering na werden de proeven steeds genomen met maïs, omdat bij mijn vroegere onderzoekingen gebleken was, dat de wortels van maïs een geringere gevoeligheid voor de verschillende zoutoplossingen bezitten dan die der overige cultuurgewassen. Bovendien kan men maïs vooraf in zaagsel laten kiemen en daarna de meest krachtige exemplaren in de bloempotten poten (1 plant per pot). Alvorens over te gaan tot de proeven in potten laat ik hier de resultaten van enkele proeven met watercultures volgen.

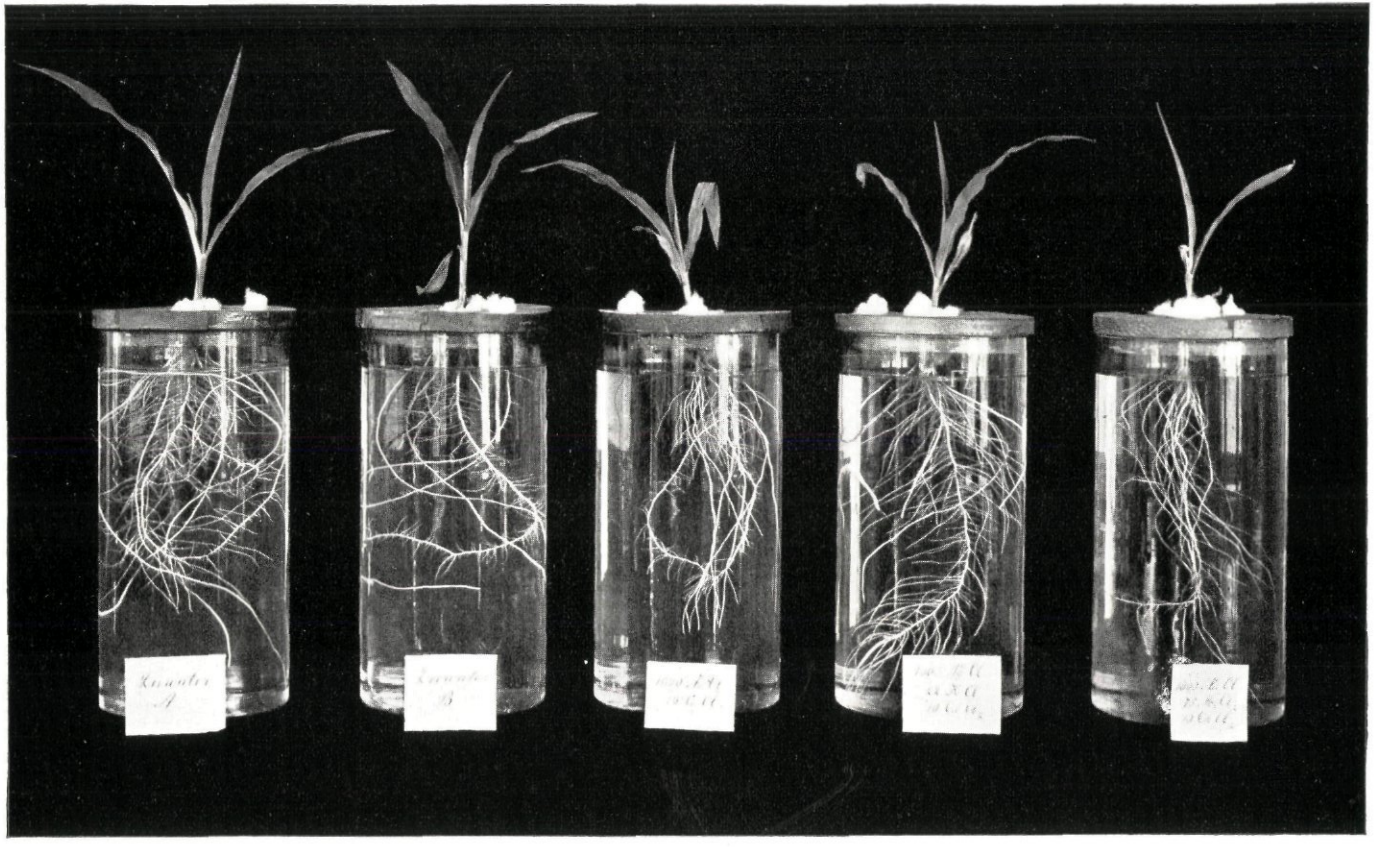
Watercultures.

Den 7den Juni 1910 werden maïskiemplantjes geplaatst in glazen cilinders gevuld met 2 L. der volgende oplossingen:



Na Cl K Cl $Mg\ SO_4$ $Mg\ Cl_2$ $Ca\ Cl_2$

Concentratie der oplossingen $\frac{3}{32}$ mol per Liter.



Kunstmatig zeewater.		1000 cc. Na Cl	1000 cc Na Cl	1000 cc Na Cl
$\frac{3}{32}$ mol per Liter.	$\frac{3}{25}$ mol per Liter.	10 „ Ca Cl_2	22 „ K Cl	78 „ Mg Cl_2
			10 „ Ca Cl_2	10 „ Ca Cl_2

Concentratie der oplossingen $\frac{3}{25}$ mol per Liter.

		Concentratie.	
		$\frac{3}{25}$ mol. p. L.	$\frac{3}{32}$ mol. p. L.
1	$NaCl$	7,02 gr. p. L.	5,42 gr. p. L.
2	KCl	8,94 „ „ „	6,98 „ „ „
3	$MgSO_4$ 7 aq.	29,59 „ „ „	23.13 „ „ „
4	$MgCl_2$ 6 aq.	24,52 „ „ „	19,06 „ „ „
5	$CaCl_2$ 6 aq.	26,28 „ „ „	20,53 „ „ „
6	Verdund kunstmatig zeewater [1])		
7	1000 c c. $NaCl$ + 22 c c. KCl + 10 c.c $CaCl_2$.		
8	1000 „ $NaCl$ + 78 „ $MgCl_2$ + 10 c c. $CaCl_2$.		
9	1000 „ $NaCl$ + 10 „ $CaCl_2$.		

Als concentratie der oplossingen werd gekozen die welke Osterhout bij zijn proeven met tarwe gebruikte, n.l. $\frac{3}{32}$ resp. $\frac{3}{25}$ grammolecuul per liter.

Een week nadat de plantjes in de oplossingen geplaatst werden viel op te merken, dat de wortels in de oplossingen 6—9 flink groeiden; bij de wortels in de oplossingen 1—4, dus in de enkelvoudige zoutoplossingen, kon geen groei worden waargenomen, terwijl de wortels bruin werden en duidelijk een begin van afsterven vertoonden. In de $CaCl_2$-oplossing groeide de wortel echter wel en vormden zich, zij het ook korte, zijwortelt jes; in deze oplossing behielden de wortels gedurende veel langeren tijd, zelfs langer dan een maand, een gezond uiterlijk.

Veertien dagen na het begin der proef werden de cilinders met de plantjes gefotografeerd (zie Plaat I en II). Het verschil in beworteling is op dat tijdstip zeer frappant. In de enkelvoudige zoutoplossingen $NaCl$, KCl, $MgCl_2$, $MgSO_4$ ziet men slechts een enkele wortel zonder zijwortels, evenals bij het begin der proef; het uiterlijk dezer wortels is ziekelijk. Alleen in $CaCl_2$ hebben zich zeer korte zijwortels gevormd en is de kleur nog glanzend wit.

Een geheel ander beeld vertoonen de wortels in de overige oplossingen. Meerdere wortels zijn in de vloeistof doorgegroeid en er vormden zich tallooze lange zijwortels; het geheele wortelstelsel maakt een gezonden indruk. De krachtigste ontwikkeling vond plaats in het verdunde zeewater en in 1000 c.c. $NaCl$ + 22 c.c. KCl + 10 c.c. $CaCl_2$. Iets minder was de ontwikkeling in 1000 c.c. $NaCl$ + 10 c.c. $CaCl_2$ en in 1000 c.c. $NaCl$ + 78 c.c. $MgCl_2$ + 10 c.c. $CaCl_2$. Hoewel het niet onmogelijk is, dat deze geringere ontwikkeling verband houdt met de samen-

[1]) 1000 c c. $NaCl$ + 78 c.c. $MgCl_2$ + 38 c.c. $MgSO_4$ + 22 c.c. KCl + 10 c.c. $CaCl_2$ d. i. bij de concentratie $\frac{3}{25}$ M. een zoutgehalte van 8,79 gr. p. Liter. Het zoutgehalte van natuurlijk zeewater is ongeveer 4 maal zoo groot.

stelling dezer oplossingen (het $MgCl_2$ in oplossing 8 bijv. is schadelijker dan het KCl in oplossing 7), mag aan deze verschillen niet al te veel waarde gehecht worden, aangezien slechts met enkele individuen geëxperimenteerd werd.

Ook bij stengel en blad treden zeer duidelijke verschillen op, die vrijwel parallel gaan met de verschillen in wortelontwikkeling. Natuurlijk zullen wij bij de enkelvoudige zoutoplossingen al gauw te maken hebben met de gevolgen van het onderbreken van het watertransport naar de bladeren door het spoedig afsterven der wortels. Bij het zeewater vertoonden de plantjes nog na ± 2 maanden een gezond uiterlijk.

In 1911 bleek dat ook in de genoemde enkelvoudige zoutoplossingen van de halve sterkte ($\frac{3}{64}$ M.) geen wortelgroei plaats vindt en de wortels spoedig afsterven; alleen in $CaCl_2$ valt eenige lengtegroei en vorming van korte zijworteltjes waar te nemen. Verder werden proeven aangezet met de volgende oplossingen:

	NaCl			
1126 c.c.	NaCl + 22 c.c.	KCl.		
1048 „	NaCl + 22 „	KCl + 78 c.c.	$MgCl_2$.	
1088 „	NaCl + 22 „	KCl + 38 „	$MgSO_4$.	
1010 „	NaCl + 22 „	KCl + 78 „	$MgCl_2$ + 38 c.c.	$MgSO_4$.
1000 „	NaCl + 22 „	KCl + 78 „	$MgCl_2$ + 38 c.c.	$MgSO_4$ + 10 c.c. $CaCl_2$.

De laatste oplossing heeft de samenstelling van zeewater. Sterkte der oplossingen $\frac{3}{32}$ en $\frac{3}{25}$ M.; beide series werden in duplo aangezet.

Slechts in het verdunde „zeewater" had een goede wortelontwikkeling plaats; in de andere oplossingen groeiden de wortels in het geheel niet en stierven weldra af.

Hieruit zou dus volgen, dat bij de genoemde concentraties en bij de bovenvermelde verhoudingen NaCl, KCl, $MgCl_2$ en $MgSO_4$ elkanders giftwerking niet vermogen op te heffen; in ieder geval bleek van een dergelijke werking bij deze proeven niets. $CaCl_2$ vervult onder deze zouten echter een zeer bijzondere rol: slechts door toevoeging van dit zout wordt eene oplossing verkregen, in welke de wortels kunnen groeien. Ook bij de proeven in 1910 genomen waren het slechts de oplossingen met $CaCl_2$ die geschikt bleken te zijn voor de ontwikkeling der wortels.

Uit deze proeven volgt dus dat: 1°. oplossingen van NaCl, KCl, $MgSO_4$, $MgCl_2$ en $CaCl_2$ in een concentratie van $\frac{3}{25}$, $\frac{3}{32}$ of $\frac{3}{64}$ mol per L. voor de wortels van maïs bepaald sterk giftige eigenschappen bezitten, 2°. door vermenging van deze oplossingen de giftigheid niet merkbaar afneemt, zoolang $CaCl_2$ geen deel uitmaakt van het mengsel, 3°. in een mengsel van deze oplossingen in een verhouding waarin zij een vloeistof vormen die, wat de samenstelling betreft, ongeveer met verdund

zeewater overeenkomt, de wortels een zeer geschikt groeimedium vinden, welk feit voor een belangrijk deel samenhangt met de aanwezigheid van de slechts geringe hoeveelheid $CaCl_2$ (bij de concentratie $\frac{3}{25}$ M. 0,13 gr. $CaCl_2$ per 1148 c.c. vloeistof).

Ten slotte werd nog door middel van dergelijke watercultures nagegaan, of ook iets bespeurd kon worden van het door Osterhout (19) geconstateerde antagonisme tusschen NaCl en KCl. Hiertoe werden maïskiemplantjes geplaatst in de volgende oplossingen:

NaCl							
1126	c.c.	NaCl	+	22	c.c.	KCl	concentratie $\frac{3}{32}$ M.
1000	„	NaCl	+	148	„	KCl	
500	„	NaCl	+	648	„	KCl	
200	„	NaCl	+	948	„	KCl	
KCl							

Van een opheffing der giftwerking door toevoeging van KCl viel niets te bespeuren: alle oplossingen waren even schadelijk. Opgemerkt moet hier echter worden: 1°. dat deze proef met slechts enkele individuen niet toelaat met alle zekerheid een conclusie te trekken hoewel men, indien er inderdaad een duidelijk antagonisme tusschen NaCl en KCl bestond, toch wel bij een der vier mengsels eenige uitwerking had mogen verwachten; 2°. dat mogelijk bij gebruikmaking van oplossingen van geringere sterkte wèl een antagonisme aan den dag zou zijn getreden.

De proeven in potten.

Het essentieele verschil tusschen deze inrichting der proef en de vloeistofcultures is, zooals op pag. 6 reeds werd opgemerkt, dat:

1°. de plant in de aarde geiegenheid vindt zich normaal te voeden, waardoor secundaire storingen in het bovengrondsche gedeelte van de plant tengevolge van het groeien van een deel der wortels in een oplossing, die ongeschikt is voor het plantenleven, voorkomen worden;

2°. uit de hooger gelegen deelen van de plant die bouwstoffen, organische en anorganische, aangevoerd kunnen worden, welke voor den groei der wortels noodig zijn;

3°. aanvulling kan plaats hebben van eventueel door de zoutoplossingen aan de wortels onttrokken zouten.

Bij de bloempotten, welke bij de proef gebruikt werden, werd de opening in den bodem zooveel mogelijk vergroot om de kans te vergrooten, dat meerdere wortels een weg naar buiten vinden. Alvorens de potten met grond te vullen, werden op de openingen in den bodem zeer dunne wattenvliesjes gelegd om

het uitvallen van grond te voorkomen. Het vullen der potten en het poten der gekiemde maïskorrels geschiedde op dezelfde wijze als vroeger [1].

Voor het oplossen van de zouten werd gedestilleerd water gebruikt, dat nogmaals onder toevoeging van kaliumpermanganaat in een glazen destillatie-apparaat werd overgedestilleerd.

Plaat III toont ons de inrichting der proef; de kisten waren tijdens de proefneming gesloten, zoodat de wortels zich in een donkere ruimte bevonden.

De maïskorrels werden den 7den Juli te kiemen gelegd in zaagsel van vurenhout, den 15den Juli in de bloempotten gepoot, terwijl onder de bloempotten bekerglazen met gedestilleerd water werden geplaatst. Den 25sten Juli, toen er onder uit iederen pot minstens één wortel van ruim 10 c.M. lengte te voorschijn kwam, werd het gedestilleerde water door de zoutoplossingen vervangen. Den 8sten September, dus ruim 6 weken later, werden de afgebeelde fotografieën genomen.

Plaat III geeft een goed beeld van het verschijnsel. In gedestilleerd water groeien de wortels zeer goed. In de Na Cl-oplossing (conc. $= \frac{1}{10}$ mol per L.) zijn de beide wortels, nadat ze uit het gedestilleerde water in deze oplossing werden overgebracht, niet meer in lengte toegenomen; na 10 dagen begonnen ze reeds af te sterven. Een Na Cl-oplossing van de sterkte $\frac{M}{10}$ (= 5,8 gram per L.) heeft dus voor maïswortels sterk giftige eigenschappen.

Vervangt men echter in de keukenzout-oplossing 10 c.c. door 10 c.c. eener $Ca\,Cl_2$-oplossing van dezelfde moleculaire concentratie, dan verkrijgt men weer een oplossing, waarin de wortels zeer goed kunnen groeien. De osmotische druk van de oplossing is nagenoeg dezelfde gebleven, daarin behoeft men de oorzaak dus niet te zoeken, doch wel in een specifieke werking van het Ca-ion.

De keukenzoutoplossing kunnen wij zonder eenige reserve giftig noemen: de wortels vertoonden niet den minsten groei in deze oplossing en stierven na 10 dagen reeds af.

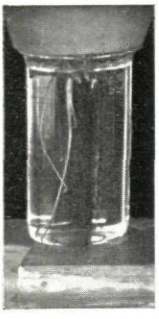
In gedestilleerd water neemt men een flinke ontwikkeling der wortels waar en de wortels behouden ook op den langen duur een volkomen gezond uiterlijk. Toch zou men misschien aan gedestilleerd water zoo niet een giftige dan toch tot op zekere hoogte een groeibelemmerende werking kunnen toeschrijven, want voegt men aan het gedestilleerde water wat van een kalkzout toe, dan krijgt men, zooals de foto's 25—27 op plaat V doen zien, een nog veel sterkeren wortelgroei. (Sterkte der Ca-zoutoplossingen $= \frac{M}{10}$, overeenkomende met 0,11 gr. $Ca\,Cl_2$, 0,164 gr. $Ca(NO_3)_2$ en 0,136 gr. $Ca\,SO_4$ per 10 c.c.).

---

[1]) Verslagen van landbouwkundige onderzoekingen der Rijkslandbouwproefstations X, 1911, pg. 78.

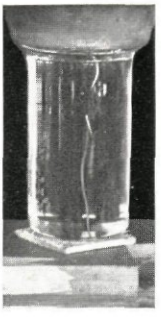
H_2O | Na Cl $\frac{m}{10}$ L. | 990 cc. Na Cl 10 „ Ca Cl_2 $\frac{m}{10}$ L.

1



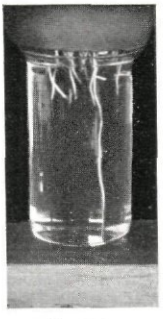
Na Cl

2



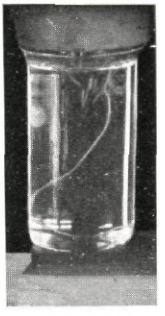
K Cl

3



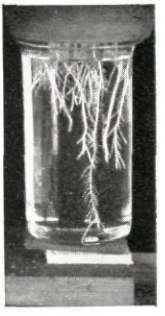
$Mg\ SO_4$

4



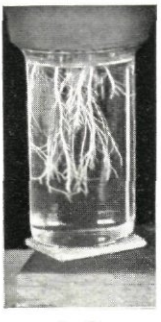
$Mg\ Cl_2$

5*a*



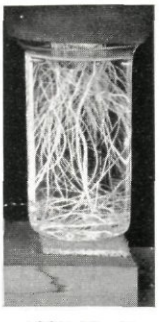
$Ca\ Cl_2$

5*b*



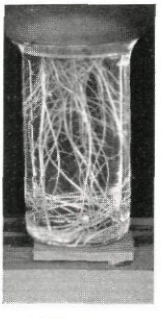
$Ca\ Cl_2$

6



1000 Na Cl
10 $Ca\ Cl_2$

7

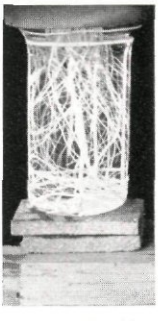


1138 K Cl
10 $Ca\ Cl_2$

8

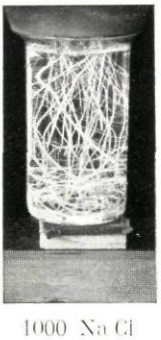
1138 $Mg\ Cl_2$
10 $Ca\ Cl_2$

9



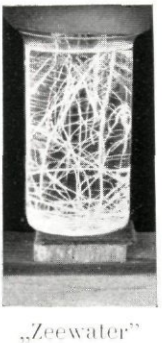
1000 Na Cl
22 K Cl
10 $Ca\ Cl_2$

10



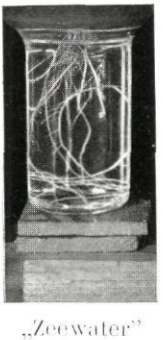
1000 Na Cl
78 $Mg\ Cl_2$
10 $Ca\ Cl_2$

11*a*



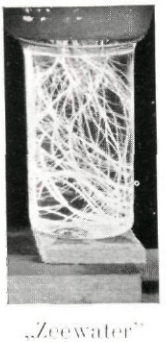
„Zeewater"

11*b*



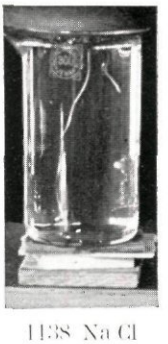
„Zeewater"

11*c*



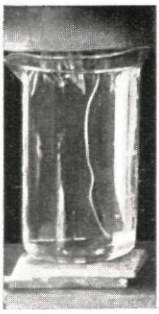
„Zeewater"

12



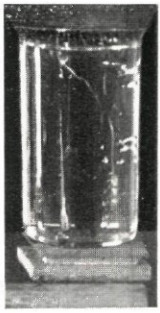
1138 Na Cl
10 K Cl

13



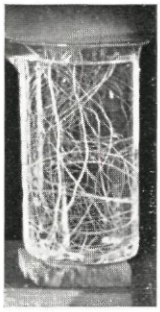
1138 Na Cl
10 $Mg\,SO_4$

14



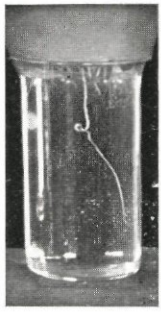
1138 Na Cl
10 $Mg\,Cl_2$

15



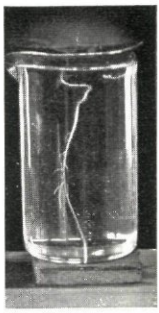
1138 Na Cl
10 $Ca\,Cl_2$

16



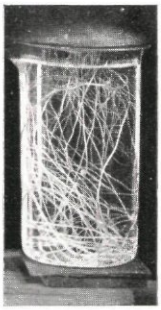
1000 Na Cl
78 $Mg\,Cl_2$
38 $Mg\,SO_4$
32 K Cl

17



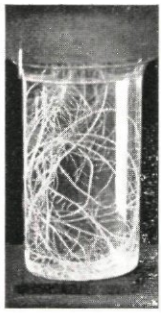
1010 Na Cl
78 $Mg\,Cl_2$
38 $Mg\,SO_4$
22 K Cl

18



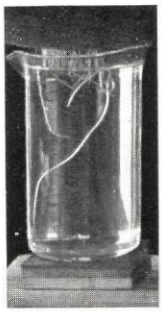
1022 Na Cl
78 $Mg\,Cl_2$
38 $Mg\,SO_4$
10 $Ca\,Cl_2$

19



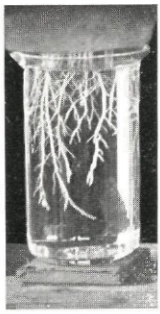
1060 K Cl
78 $Mg\,Cl_2$
10 $Ca\,Cl_2$

20



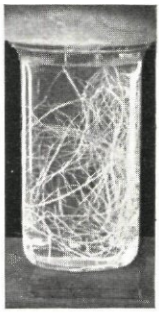
1116 $Mg\,SO_4$
22 K Cl
10 $Ca\,Cl_2$

21



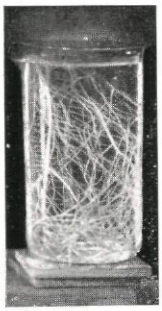
1088 $Ca\,Cl_2$
38 $Mg\,SO_4$
22 K Cl

22



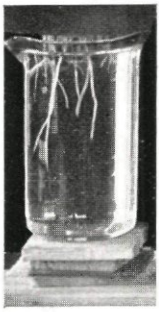
1100 K Cl
38 $Mg\,SO_4$
10 $Ca\,Cl_2$

23



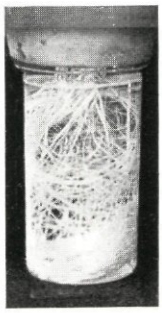
1100 Ca Cl
38 $Mg\,SO_4$
10 $Ca\,Cl_2$

24



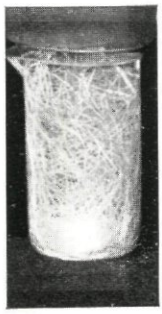
1138 $Mg\,SO_4$
10 $Ca\,Cl_2$

25



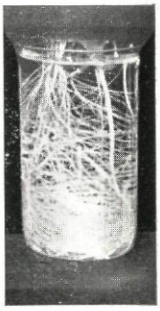
990 H_2O + 10 $Ca\,Cl_2$
m
10

26



990 H_2O + 10
$Ca\,(NO_3)_2$
m
10

27



990 H_2O + 10
$Ca\,SO_4$
m
10

Aan de hand van de fotografieën op plaat IV en V kunnen we het verschijnsel nog nader bestudeeren. Deze foto's zijn afkomstig van verschillende series proeven door mij in 1910—1912 aangezet en zoo gekozen, dat ze de verschillende resultaten van het onderzoek demonstreeren. De foto's werden niet steeds na een even langen groeitijd genomen; aan de uitkomsten doet dit echter niets af. Zooals de onderstaande tabel aantoont, zijn de verschillen in de tijden, verloopen tusschen het tijdstip waarop de wortels in de zoutoplossingen werden gebracht en dat waarop de fotografische opname gedaan werd, bovendien over het algemeen niet zoo groot.

De concentratie der oplossingen is $\frac{3}{32}$ M. behalve bij 5*b* en 11*c*, waarbij de concentratie $\frac{3}{25}$ M. is. Aanvankelijk werden de proeven met beide concentraties aangezet; toen er geen merkbaar verschil in wortelgroei optrad, werden de daarop volgende proeven slechts genomen met de concentratie $\frac{3}{32}$ M.

	Oplossingen onder de planten geplaatst.	Gefotografeerd.	Aantal dagen.
1	21 Mei.	22 Juni.	32
2	"	"	32
3	"	"	32
4	23 Mei.	"	30
5*a*	"	"	30
5*b*	"	"	30
6	28 Mei.	23 Juni.	26
7	13 Juni.	4 Juli.	21
8	8 "	"	26
9	28 Mei.	23 Juni.	26
10	"	"	26
11*a*	27 Mei.	22 Juni.	26
11*b*	24 "	23 "	30
11*c*	27 "	22 "	26
12	11 Juli.	19 Augustus.	39
13	"	"	39
14	"	"	39
15	"	"	39
16	15 Juli.	"	35
17	30 Juni.	"	50
18	"	"	50
19	15 Juli.	"	35
20	13 "	"	37
21	13 "	"	37
22	15 "	"	35
23	27 Juni.	"	53
24	11 Juli.	"	39

De foto's 1—4 toonen weer duidelijk de giftigheid aan van de oplossingen met slechts een der zouten: $NaCl$, KCl, $MgSO_4$ en $MgCl_2$. Van deze enkelvoudige zoutoplossingen onderscheidt een oplossing van $CaCl_2$ met dezelfde moleculaire concentratie zich door een redelijke wortelontwikkeling (zie 5*a* en 5*b*). De wortels en de zijwortels blijven echter kort en zijn dikker dan gewoonlijk of vertoonen plaatselijke verdikkingen; overigens be-

houden de wortels een gezond uiterlijk, hetgeen in de overige enkelvoudige zoutoplossingen niet het geval is.

Ook bij 21 waar $CaCl_2$ in de oplossing sterk overheerscht (1088 c.c. $CaCl_2$ + 38 c.c. $MgSO_4$ + 22 c.c. KCl) treden deze karakteristieke korte en dikke wortels op.

Bij 6 en 15 ziet men hoe de giftige werking eener NaCl-oplossing door toevoeging van slechts 10 c.c. $CaCl_2$ wordt opgeheven. Ook een KCl-oplossing wordt door toevoeging eener dergelijke geringe hoeveelheid $CaCl_2$ tot een vloeistof, waarin de maïswortels zich zeer goed ontwikkelen, beter dan meestal in gedestilleerd water het geval is (zie foto 7).

Voegt men echter dezelfde hoeveelheid $CaCl_2$ toe aan een $MgCl_2$- of een $MgSO_4$-oplossing, dan blijkt, zooals de foto's 8 en 24 overtuigend bewijzen, de giftigheid dezer magnesiumzoutoplossingen niet merkbaar te zijn afgenomen. Bij 24 ziet men duidelijk hoe een dichte bundel wortels onder uit den pot gegroeid is, maar dat de groei der wortels, bij aanraking der oplossing, onmiddellijk tot stilstand is gebracht.

De Mg-zouten nemen derhalve onder de genoemde zouten een bijzondere plaats in: zij worden niet door dezelfde kleine hoeveelheid $CaCl_2$ onschadelijk voor het leven der wortelcellen gemaakt, doch behoeven hiertoe, zooals later zal blijken, een veel groetere hoeveelheid $CaCl_2$.

12, 13 en 14 toonen aan, dat de ontgifting van een NaCl-oplossing noch door toevoeging van 10 c.c. KCl, noch door toevoeging van 10 c.c. $MgSO_4$ of $MgCl_2$ verkregen kan worden en waarschijnlijk is geen enkel zout daartoe in staat, behalve de kalkzouten. Moge er al, zooals Osterhout heeft gemeend te kunnen aantoonen, een zeker antagonisme bestaan tusschen al de genoemde zouten onderling, bijv. NaCl en KCl, NaCl en $MgSO_4$, KCl en $MgSO_4$, dit antagonisme is nimmer zoo sprekend als tusschen de Ca-zouten en de overige zouten: *de aanwezigheid van een Ca-zout is een besliste voorwaarde voor een goede ontwikkeling der wortels.* Een krachtige groei werd door mij slechts waargenomen bij die oplossingen, waarin zich $CaCl_2$ bevond. Ook uit de afgebeelde foto's blijkt dit. Wèl komen hierbij gevallen voor waarin de wortels niet gegroeid zijn ondanks de aanwezigheid van $CaCl_2$, zooals bij 8, 20 en 24, maar in deze gevallen bevatten de oplossingen steeds belangrijke hoeveelheden Mg-zout en was de hoeveelheid $CaCl_2$ blijkbaar onvoldoende om de giftwerking van het Mg-zout op te heffen.

Evenals bij de watercultures werd bij deze proeven geen vermindering van de giftigheid waargenomen, indien *meerdere* componenten van het zeewater met elkander gemengd werden zoolang het $CaCl_2$ aan de oplossing ontbrak. Dit blijkt o.a. uit No. 16 en 17. De oplossing van No. 16 onderscheidt zich van zeewater doordat zij inplaats van 10 c.c. $CaCl_2$ dezelfde hoeveelheid KCl bevat (32 c.c. KCl inplaats van 22 c.c. en geen $CaCl_2$), de oplossing van 17 onderscheidt zich van zeewater doordat de

10 c.c. $CaCl_2$ vervangen zijn door 10 c.c. NaCl (1010 c.c. inplaats van 1000 c.c. NaCl en geen $CaCl_2$).

Noch bij 16 noch bij 17 is de oorspronkelijk aanwezige wortel iets gegroeid en geen der nieuwe wortels is in de vloeistof doorgegroeid. Vervangt men echter 10 c.c. KCl bij 16 of 10 c.c. NaCl bij 17 door 10 c.c. $CaCl_2$ van dezelfde moleculaire concentratie, waarbij de samenstelling gelijk wordt aan die van kunstmatig zeewater, dan verkrijgt men een oplossing, waarin de wortels zich uitstekend kunnen ontwikkelen en ook op den langen duur volkomen gezond blijven, zooals uit de foto's 11*a*, 11*b* en 11*c* blijkt. Men ziet, alles hangt hier af van de aanwezigheid van kleine hoeveelheden kalk.

Om te onderzoeken, of mogelijk bij *geringere concentratie* iets zou zijn te bespeuren van een daling der giftigheid der oplossingen, naarmate de samenstelling meer tot die van zeewater nadert, werden dezelfde proeven in triplo herhaald, doch met oplossingen van de halve sterkte, dus $\frac{3}{64}$ M.

De oplossingen hadden dus weer de volgende samenstellingen:

a. NaCl.

b. 1126 c.c. NaCl + 22 c.c. KCl.

c. 1048 „ NaCl + 22 „ KCl + 78 c.c. $MgCl_2$.

d. 1088 „ NaCl + 22 „ KCl + 38 „ $MgSO_4$.

e. 1010 „ NaCl + 22 „ KCl + 38 „ $MgSO_4$ + 78 c.c. $MgCl_2$.

f. 1000 c.c. NaCl + 22 c.c. KCl + 38 c.c. $MgSO_4$ + 78 c.c. $MgCl_2$ + 10 c.c. $CaCl_2$ = zeewater.

Uit de resultaten dezer proeven krijgt men wel den indruk, dat de mengsels *b*—*e*, die dus geen $CaCl_2$ bevatten, iets minder giftig zijn dan de zuivere NaCl-oplossing; de verschillen tusschen de parallellen onderling zijn echter van dien aard, dat men een afname der giftigheid door toevoeging van KCl, $MgCl_2$ en $MgSO_4$ aan de NaCl-oplossing niet als bewezen mag aannemen. De overwegende invloed van $CaCl_2$ was ook hier weer niet twijfelachtig.

Bij vergelijking van 6, 7, 9, 10, 11, 18, 19, 22 en 23 bemerkt men dat, voor zoover het de hier onderzochte zouten betreft, de samenstelling der zoutoplossing slechts weinig invloed heeft op de wortelontwikkeling, mits de vloeistof slechts $CaCl_2$ bevat (10 c.c. op 1138 c.c.) en de Mg-concentratie niet te hoog is.

Op blz. 14 werd er op gewezen, dat de Mg-zouten in tegenstelling met KCl en NaCl een veel grootere hoeveelheid $CaCl_2$ behoeven om een oplossing op te leveren, waarin de wortels zich goed kunnen ontwikkelen. Behalve uit de afgebeelde proeven 8, 20 en 24 blijkt dit nog uit meerdere andere proeven. Voor $MgCl_2$ werd dit nog meer in het bijzonder nagegaan bij de concentratie $\frac{3}{64}$ M. en werd tevens onderzocht in welke verhouding $MgCl_2$ en $CaCl_2$ gemengd moesten worden om de voor den

wortelgroei meest gunstige samenstelling te krijgen. Onderzocht werden de mengsels $MgCl_2$: $CaCl_2$, 99 : 1, 95 : 5, 90 : 10, enz. 30 : 70, 20 : 80, 10 : 90.

In het mengsel 95 : 5 vertoonden de wortels slechts gedurende korten tijd een uiterst geringen groei.

Bij de verhouding 90 : 10 groeiden de wortels echter goed. Tusschen deze en de volgende verhoudingen valt echter geen groot verschil te bespeuren totdat bij de verhouding 10 : 90 de wortelgroei weer tot die in de zuivere $CaCl_2$-oplossing nadert. Men krijgt den indruk, dat bij de verhoudingen 60 : 40 en 50 : 50 de samenstelling der oplossing voor den wortelgroei het gunstigst is. Meerdere proeven, en dan proeven waarbij een quantitatieve bepaling van den groei mogelijk is, zouden echter noodig zijn om uit te maken of de bovengenoemde verhoudingen voor maïs inderdaad de meest gewenschte zijn. Het zou dan echter nog de vraag zijn of de aldus gevonden verhouding Mg : Ca voor dezelfde plant ook zou gelden bij andere concentraties der zoutoplossingen en in geval er behalve $MgCl_2$ en $CaCl_2$ nog andere zouten aanwezig waren.

Antagonisme tusschen NaCl en KCl.

Op blz. 11 bleek, dat er bij de watercultures van het door Osterhout geconstateerde antagonisme tusschen de bovengenoemde zouten niets bespeurd kon worden. Ook volgens deze methode gelukte het niet met zekerheid een antagonistische werking tusschen NaCl en KCl aan te toonen. Bij de concentratie $\frac{3}{32}$ M. werd, in welke verhouding de zouten ook gemengd werden, geen groei waargenomen; na een paar weken begonnen de wortels bruin te worden, stierven ze dus af.

In de veronderstelling, dat bij geringere concentratie der zoutoplossingen, dus bij geringere giftigheid, het antagonisme eerder aan den dag zou treden, werd de proef herhaald bij de concentratie $\frac{3}{64}$ M. Men kreeg den indruk dat bij deze proef iets van een antagonistische werking aan den dag kwam, vooral bij 1000 c.c. NaCl + 148 c.c. KCl, in welk mengsel zich uit de oorspronkelijke wortel vrij lange zijwortels vormden, terwijl na 5 weken de wortels nog een gezond uiterlijk hadden; bij 500 c.c. NaCl + 648 c.c. KCl vormden zich enkele kortere zijwortels, doch na 5 weken waren de wortels reeds bruin. Doch bij een herhaling dezer proef bleek bij het mengsel 1000 c.c. NaCl + 148 c.c. KCl niets van een vermindering der giftigheid, maar had in het mengsel 500 c.c. NaCl + 648 c.c. KCl en vooral in het mengsel 200 c.c. NaCl + 948 c.c. KCl een vrij belangrijke vorming van zijwortels plaats.

De proef werd vervolgens bij nog geringere concentratie herhaald, n.l. bij $\frac{3}{100}$ M. Bij een vroegere proef was n.l. gebleken, dat in een oplossing van 1 gr. NaCl per L. de maïswortels nog

zeer goed groeien, doch bij 2 gr. per L. de groei al onbeduidend is en na een paar dagen geheel ophoudt.

Bij $\frac{3}{100}$ M. per L. = 1,74 gr. Na Cl naderen we voor dit zout dus de grens, boven welke de groei onmogelijk wordt. In Na Cl $\frac{3}{100}$ M. vond een redelijke groei en vorming van zijwortels plaats. Bij 1000 c.c. Na Cl + 148 c.c. K Cl en bij 500 c.c. Na Cl + 648 c.c. K Cl was de wortelontwikkeling beter dan in enkel Na Cl, bij 200 c.c. Na Cl + 948 c.c. K Cl veel minder. Hieruit zou men weer tot het bestaan eener antagonistische werking tusschen Na Cl en K Cl kunnen concludeeren, ware het niet dat bij 1126 c.c. Na Cl + 22 c.c. K Cl bijna geen groei plaats vond, hetgeen het vertrouwen in deze proef alweer schokt.

Antagonisme tusschen Na Cl en Mg SO_4.

Proeven werden aangezet met de volgende oplossingen:

Na Cl $\frac{3}{32}$ M.

1110	c.c.	Na Cl +	38	c.c.	Mg SO_4.
1000	„	Na Cl +	148	„	Mg SO_4.
500	„	Na Cl +	648	„	Mg SO_4.
200	„	Na Cl +	948	„	Mg SO_4.

Mg SO_4 $\frac{3}{32}$ M.

Van het bestaan van een antagonisme viel niets te bespeuren; na 10 dagen begonnen de wortels reeds bruin te worden. De proef werd daarna herhaald bij een 6-maal geringere concentratie, dus $\frac{1}{64}$ M. In de Na Cl-oplossing groeiden de wortels vrij goed, in 1110 c.c. Na Cl + 38 c.c. Mg SO_4 vrij wat beter. Bij 1000 c.c. Na Cl + 148 c.c. Mg SO_4 had aanvankelijk nog een geringe groei plaats, maar bij de volgende oplossingen in het geheel niet meer. Ook hier heeft men dus een aanduiding, doch ook niet meer dan dat, voor een antagonistische werking.

Samenvatting.

De boven beschreven proeven leeren ons, dat oplossingen van Na Cl, K Cl, Mg Cl_2 en Mg SO_4 bij een zekere concentratie niet alleen sterk giftige eigenschappen bezitten voor de wortels van hoogere planten, indien het geheele wortelstelsel zich in de zoutoplossingen bevindt, *doch ook, indien de in de zoutoplossingen gedompelde wortels deel uitmaken van een overigens normaal gevoede plant.*

Ca Cl_2 is veel minder giftig dan de bovengenoemde zouten; bij een concentratie van $\frac{3}{25}$ M. per Liter (= 26,28 gr. Ca Cl_2 6 aq.) heeft nog een aanmerkelijke groei plaats, terwijl de overige zouten bij dezelfde concentratie van het eerste oogenblik af elken groei verhinderen.

Zelfs bij de concentratie $\frac{3}{25}$ M. wordt de giftige werking van een Na Cl- of een K Cl-oplossing opgeheven door toevoeging eener geringe hoeveelheid $Ca\,Cl_2$ (10 c.c. $Ca\,Cl_2$ $\frac{3}{25}$ M. op 1138 c.c. Na Cl of K Cl).

Om hetzelfde resultaat te bereiken bij een oplossing van $Mg\,Cl_2$ of $Mg\,SO_4$ is belangrijk meer $Ca\,Cl_2$ noodig.

Het bestaan eener antagonistische werking tusschen Na Cl en K Cl en tusschen Na Cl en $Mg\,SO_4$, door Osterhout bij zijn proeven aangetoond, kon niet met zekerheid vastgesteld worden. Echter zijn er wel aanwijzingen voor het bestaan van een dergelijk antagonisme verkregen; de methode van onderzoek, welke werd toegepast, eigent zich echter niet voor het aantoonen van kleine verschillen in giftigheid der oplossingen. In ieder geval is de afname in giftigheid, indien men twee of meer der genoemde zouten, met uitzondering van $Ca\,Cl_2$, met elkander vermengt, uiterst gering vergeleken met die, welke verkregen wordt door toevoeging van slechts geringe hoeveelheden $Ca\,Cl_2$.

Kalkzouten spelen hier dus een zeer bijzondere rol, een rol die door geen ander zout kan overgenomen worden. Blijkbaar is de rol van de kalk hier niet die van een eigenlijke *voedingsstof*, want de voor den groei der wortels benoodigde bouwstoffen kunnen in voldoende hoeveelheid door de normaal gevoede plant aangevoerd worden.

III.

Overzicht der tot nu toe verrichte onderzoekingen in verband met de antagonistische werkingen van zouten bij planten.

De specifieke werkingen, welke Ca en Mg op planten uitoefenen, treden bij al deze onderzoekingen zoozeer op den voorgrond, dat we met de bespreking van enkele oudere onderzoekingen, omtrent de beteekenis van Ca en Mg voor het leven der hoogere planten, moeten aanvangen.

De eerste systematische onderzoekingen over de voeding der planten, welke in den aanvang van de tweede helft der negentiende eeuw door Salm-Horstmar, Stohmann, W. Wolf, W. Knop, Sachs, Nobbe e. a. volgens de methode der watercultures verricht werden, bewezen reeds aanstonds, dat de hoogere planten noch Ca noch Mg kunnen ontberen.

In 1875 onderzocht Böhm (40) de beteekenis van de minerale voedingsstoffen voor de ontwikkeling van kiemplantjes van Phaseolus multifloris. Hij vond dat Ca ook voor kiemplantjes, die op kosten van het aanwezige reservevoedsel leven, beslist noodzakelijk is; de ontwikkeling in oplossingen van Mg-, K- en Na-sulfaat (resp. -phosphaat) stond zelfs bij die der plantjes in gedestilleerd H_2O ten achter en de plantjes in de genoemde zout-

oplossingen gingen in doorsnee ook eerder ten gronde. Opvallend was echter de gunstige werking der verschillende Ca-zouten. Verder constateerde Böhm, dat de giftige werking van Mg-carbonaat door $CaCO_3$ kan opgeheven worden. Ten slotte toont hij nog aan, dat het zetmeeltransport naar den stengel bij afwezigheid van Ca tot staan gebracht wordt.

Böhm wijst er nog op, dat de gunstige werking, welke Ca-zouten blijkens zijne proeven op den wortelgroei uitoefenen, reeds vroeger door Stohmann (Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. 121, 1862) en door W. Wolf (Landw. Vers. St. Bd. 6, 1864, S. 218) werd waargenomen.

In 1880 werd het onderzoek in deze richting voortgezet door von Raumer en Kellermann (41). Ook zij constateerden bij afwezigheid van Ca zeer typische ziekteverschijnselen bij blad en stengel, terwijl de wortelgroei in hooge mate belemmerd werd en na korten tijd een afsterven van de wortels plaats vond. Ontbrak in de oplossing tevens Mg, dan waren de afwijkingen bij de wortels veel minder sprekend. De door hen bij kalkgebrek geconstateerde storingen in het zetmeeltransport brachten hen tot de veronderstelling, dat de kalk, niet zooals Böhm meende, een rol speelt bij het zetmeel*transport*, doch dat de functie der kalk samen moet hangen met de omzetting van het zetmeel in cellulose.

Bij de voortzetting dezer proeven door von Raumer (42*a*) bleek opnieuw, dat bij weglaten van Ca uit de voedingsoplossing slechts eene zeer zwakke ontwikkeling der plantjes plaats vindt en deze spoedig afsterven, terwijl de ontwikkeling veel beter is, indien men behalve Ca ook Mg weglaat. Uit de door hem waargenomen verschijnselen leidt von Raumer nu verder de vermoedelijke functies van Ca en Mg af (l.c. pag. 279).

Eindelijk mag hier nog vermeld worden dat ook von Liebenberg (51) een studie maakte van de veranderingen, welke bij kalkgebrek in de plant optreden; hij merkt op, dat het afsterven steeds daar aanvangt waar de sterkste groei plaats heeft, zoodat Ca in ieder geval noodig is voor opbouw van de cellen, maar een antwoord op de vraag, welke rol Ca daarbij speelt, kan volgens von Liebenberg dit onderzoek niet geven.

Ten slotte zij hier nog melding gemaakt van een uitvoerige studie van von Portheim (44*a*) over de anatomische veranderingen in de plant bij gebrek aan kalk.

Gaan we thans over tot de bespreking van de onderzoekingen van Oscar Loew. Deze onderzoekingen nemen bij de behandeling van het vraagstuk, dat ons thans bezighoudt, eene belangrijke plaats in, omdat Loew de eerste is geweest, die het volle licht heeft laten vallen op het feit, dat Ca en Mg, chemisch zoo na verwant, in het leven der planten lijnrecht tegenover elkander staan. Bovendien heeft Loew reeds bij het begin zijner onderzoekingen een theorie opgesteld, welke het zoo verschillend gedrag van Ca en Mg ten opzichte van de plantencel, althans

van Spirogyra-cellen, op aannemelijke wijze verklaart. Hoe men verder ook over zijn theorie en over zijn geringe toegankelijkheid voor de beschouwingen van andere onderzoekers moge denken, deze verdienste kan men Loew niet ontzeggen.

In 1892 publiceert Loew (25) zijn eerste onderzoek. Hij stelt zich de vraag, hoe of het komt, dat Mg-zouten, die toch onontbeerlijk voor het plantenleven zijn, zoo schadelijk werken indien niet tevens Ca-zouten aanwezig zijn, en waarom er bij gelijktijdige aanwezigheid van Ca-zouten van die schadelijke werking niets valt te bespeuren.

Op grond van de uitkomsten van dit onderzoek, waarbij Loew ook proeven nam omtrent de giftige werking van neutraal kaliumoxalaat en zeer verdund vrij oxaalzuur op Spirogyra-cellen, komt Loew tot de volgende theorie waaraan hij in den loop der jaren slechts weinig veranderd heeft. In het verslag van bedoeld onderzoek zegt Loew: „Enthält der Chlorophyllkörper ein Gerüst bestehend aus der Ca-Verbindung des Plastins und der Zellkern ein Gerüst bestehend aus der Ca-Verbindung des Nucleins, so wird bei der Einwirkung von Mg-Salzen starker Säuren ein Austausch von Ca gegen Mg stattfinden müssen. Hierdurch wird aber auch die physikalische Beschaffenheit der Gerüstsubstanz verändert, die Quellungscapacität wird eine andere und wahrscheinlich die Festigkeit verringert. Dieses bringt aber eine Structurstörung mit sich, infolge deren auch Umlagerung des activen Proteinstoffes zu passiven erfolgt. Die Symptome beim Absterben durch $MgSO_4$ sind in der That die gleichen wie bei verdünnter Lösung von oxalsaurem Kali, wenn auch die Wirkung weit langsamer sich vollzieht."

Vooral zijn talrijke proeven met Spirogyra, waarbij Loew de ineenschrompeling en het afsterven van de celkern onder invloed van kaliumoxalaat en magnesiumzouten zeer duidelijk kon waarnemen, drongen hem tot het opstellen dezer theorie.

Een tiental jaren later formuleert Loew (28) zijn theorie als volgt, waarbij dan tevens zijne meening omtrent de rol van het magnesium tot uiting komt.

„Wenn dieses Ca (n.l. uit de calciumproteidverbindingen in chlorophyllkorrels en celkernen) durch Mg ersetzt wird, ändert sich voraussichtlich die Imbibitionskapazität der Gebilde, eine zum Tode führende Strukturstörung ist die Folge. Ist aber neben Mg genug Ca in Lösung, so wird die schädliche Wirkung der Mg durch den gelösten Ca nach dem Gesetz der Massenwirkung verhindert und die Mg kann nun ihre ernährungsphysiologische Rolle ausführen, welche darin besteht, dass sie als Phosphat die Assimilation der P_2O_5 bei der Bildung von Nucleoproteiden und Lecithin ermöglicht."

Tot staving zijner theorie voert Loew de volgende feiten aan:

1. Neutrale oxalaten en ook Mg-zouten zijn voor lagere algen en voor gisten en bacteriën niet giftig. Deze organismen

kunnen echter kalk ontberen en bezitten dus blijkbaar ook geen organen met calciumproteidverbindingen.

2. Uit de theorie moet per se volgen, dat er een bepaalde verhouding tusschen Ca en Mg moet bestaan waarbij de plant zich het best ontwikkelt. Loew meent, dat de talloze proeven door hem en zijn medewerkers in deze richting genomen, het bestaan eener dergelijke verhouding (kalkfactor) hebben bewezen.

3. Bladeren moeten tot de kalkrijkste organen behooren omdat zij rijk zijn aan chlorophyllkorrels; dit is inderdaad het geval en geldt ook voor de bladeren die geen oxaalzure kalk bevatten (grassen). Verder vond Church, dat albinobladeren en Aso dat de witte deelen van gepanacheerde bladeren een lager kalkgehalte bezitten dan de groene.

4. In het dierlijk lichaam zijn de weefsels met talrijke groote celkernen ook de kalkrijkste.

Enkele jaren later toonde Loew (29) aan, dat nog een ander kalkonttrekkend middel dezelfde verandering bij de celkern te voorschijn kan roepen als kaliumoxalaat en Mg-zouten, n.l. natriumfluoride. De lagere plantaardige organismen die geen Ca behoeven, door kaliumoxalaat en magnesiumzouten niet gedood worden, blijken ook veel minder gevoelig te zijn voor Na Fl [1]).

Ook dit feit geeft weer steun aan de theorie van Loew.

Uit het bovenstaande blijkt, dat Loew een helder licht heeft laten vallen op het tusschen Ca en Mg bestaande antagonisme en dat hij hiervoor reeds in 1892 een zeer plausibele verklaring heeft gegeven, die vooral gebaseerd is op zijn waarnemingen omtrent de contractie van de celkern door kaliumoxalaat en Mg-zouten bij Spirogyra.

In 1900, dus 8 jaar later, geeft J. Loeb (3) een verklaring van de giftwerking van enkelvoudige zoutoplossingen op dierlijke cellen, welke vrijwel met die van Loew overeenkomt.

Loeb zegt: „The salt or electrolytic molecules do not enter into this combination (with proteids) as a whole but through their ions. The great importance of these ion-proteidcompounds lies in the fact that by the substitution of one ion for another the physical properties of the proteid compounds change (for instance their power to absorb water and their state of matter)". — Dit is in meer algemeene bewoordingen hetgeen Loew reeds vroeger heeft gezegd (zie pag. 20).

Het moet ons bevreemden, dat Loew na de onderzoekingen van Benecke, Loeb, Osterhout e.a. zich tot het antagonisme tusschen Ca en Mg is blijven bepalen en zijn onderzoek ook niet uitgestrekt heeft over andere zouten. Slechts vermeldt

---

1) Naast de Ca-onttrekkende werking oefent Na Fl nog een andere giftwerking uit.

hij in een in 1914 verschenen publicatie (38), dat noch kaliumtartraat noch kaliumsulfaat bij Spirogyra dezelfde contractie van de celkern te voorschijn roept als kaliumoxalaat, terwijl hij in 1906 (30) de onschadelijkheid van 0,5 pct. KNO_3, K_2HPO_4 en KH_2PO_4 voor Spirogyra aantoont. Ook moet het ons verwonderen dat de onderzoekingen van Osterhout en van Hansteen hem geen aanleiding hebben gegeven ook proeven te nemen met wortels van hoogere planten inplaats van met algen.

Uit de onderzoekingen van Osterhout e.a. en ook uit mijne proeven volgt, dat niet alleen Mg-zouten maar ook andere zouten eene schadelijke werking op plantaardige cellen uitoefenen, die door Ca kan opgeheven worden. Het door Loew, op den voorgrond geplaatste antagonisme tusschen Ca en Mg is dus waarschijnlijk een bijzonder, zij het dan ook het meest frappante, geval van een algemeen verschijnsel.

Ook von Portheim en Samec (43) zijn deze meening toegedaan; zij achten een onderzoek naar de giftwerking en naar de ontgiftende werking der verschillende voor het plantenleven onontbeerlijke zouten gewenscht, daar het schijnt alsof „einerseits alle Komponenten der für die meisten assimilierenden Pflanzen notwendigen Verbindungen mit Ausnahme der Kalksalze eine Giftwirkung und einige, wenn nicht alle eine entgegengesetzte, also entgiftende Wirkung hervorrufen können ohne dass eine vollständige Aufhebung der Giftigkeit erreicht wird, während andererseits das Kalzium meist nur schwach giftige, hingegen aber so stark entgiftende Eigenschaften zu besitzen scheint, dass die Toxizität jedes einzelnen oder der Summe der anderen Stoffe durch dasselbe paralysiert werden kann".

Czapek (l.c. 851—852) uit zich in gelijken zin. Naar aanleiding van de theorie van Loew zegt hij: „Gerade die parallelen, durch Oxalsäure verursachten Erscheinungen müssen uns jedoch auf den Gedanken bringen, dass die Mg-Wirkung nichts Spezifisches ist, sondern Symptome bedingt, welche auf anderem Wege ebenfalls hervorgerufen werden können" . . . . . Die Loewsche Hypothese erklärt wohl einen Teil der Erscheinungen, doch glaube ich, dass sie nicht von genügend allgemeinen Gesichtspunkten aus die Sachlage beurteilt, wenn sie einseitig den ja unleugbar in vielen Fällen sehr wichtigen Antagonismus zwischen Ca und Mg hierbei in den Vordergrund stellt".

Deze uitlating van Czapek gaf Loew (30) aanleiding eerstgenoemde te verwijten, dat hij het geheele vraagstuk weer vertroebelde en van een eenzijdig partijstandpunt uit behandelde.

Daar Czapek zich bij zijn kritiek op de theorie van Loew vooral gebaseerd had op onderzoekingen van Benecke (45, 46, 47), voelde deze zich gedrongen nog enkele nieuwere waarnemingen omtrent de giftwerking van neutrale zouten op algencellen, aan zijn vroegere onderzoekingen toe te voegen (48).

Volgens Loew (30) zou het afsterven van algen bij afwezigheid van Ca en in tegenwoordigheid van verschillende K-zouten,

zooals door Benecke was geconstateerd geworden, een langzaam afsterven tengevolge van gebrekkige voeding zijn, waarmede de werkelijke vergiftiging door Mg bij afwezigheid van Ca in het geheel niet te vergelijken is. Door eene nieuwe reeks onderzoekingen (48) toont Benecke nu aan, dat Spirogyra in oplossingen van $KNO_3 + K_2HPO_4 + MgSO_4$ aq. + KCl (resp. NaCl) [1]) de cellen even snel afsterven als in oplossingen waarbij het $MgSO_4$ vervangen is geworden door K_2SO_4 of Na_2SO_4. Verder toont hij aan, dat in afwijking van de door Loew verkregen resultaten, Spirogyra in 0,5-procentige oplossingen van KNO_3 en K_2HPO_4 even snel sterven als in een 0,5-procentige $MgSO_4$-oplossing. In zwakkere oplossingen (0,1 pct.) bleek $MgSO_4$ giftiger te zijn dan K_2HPO_4 en dit zout weer giftiger dan KNO_3. Voegt men 0,05 pct. Ca-nitraat, -phosphaat, -sulfaat of -chloride toe, *dan verdwijnt ook de giftige werking van KNO_3 en K_2HPO_4.*

Bij herhaling der proeven met *isosmotische* oplossingen inplaats van oplossingen met dezelfde procentische concentratie, werden dezelfde resultaten verkregen, terwijl tevens bleek, dat Na iets minder giftig is dan K en van de anionen Cl iets minder giftig dan SO_4 en NO_3.

Ook al bestaat er, zooals Loew beweert, doch door Benecke bestreden wordt, een groot verschil tusschen de schadelijke werking van Mg-zouten eenerzijds en K- en Na-zouten anderzijds, dan is dit nog geen reden, waarom aan beide giftwerkingen niet éénzelfde oorzaak ten grondslag zou kunnen liggen. Loew (30) zelf constateerde ook tusschen de giftwerking van kalium-oxalaat en die van $MgSO_4$ een aanmerkelijk onderscheid, terwijl hij uit de overeenkomst in werking van beide zouten op de celkern de conclusie trok, dat men bij Mg-vergiftiging te doen heeft met een kalkonttrekking.

Zooals blijkt uit het overzicht dat Loew (l.c. pag. 9) van de resultaten zijner proeven met Spirogyra nitida geeft, bestaat er tusschen de werking van kalium-oxalaat en $MgSO_4$ in ieder geval een sterk *gradueel* verschil. En wanneer men nu bij andere zouten eene nog zwakkere giftwerking waarneemt dan bij $MgSO_4$, die echter ook door toevoeging van Ca kan opgeheven worden, dan bestaat er geen aanleiding om de mogelijkheid, dat we ook daar te doen hebben met een verdringing van Ca, zoo ver weg te werpen als Loew doet en er is m.i. geen enkele reden om in dat geval „einen Tod durch Verhungern" aan te nemen.

Waarschijnlijk is Loew ertoe gekomen om bij den dood door inwerking van K- en Na-zouten een andere doodsoorzaak aan te nemen, doordat hij in deze oplossingen bij algen geen contractie der celkernen waarnam. Het is echter de vraag of er wel een oorzakelijk verband tusschen verschrompeling van de kern en den dood der cel bestaat en of niet de dood kan in-

---

[1]) Concentratie van ieder der zouten 0,1 pct.

treden nog vóór de zoutoplossingen de celkern zoodanige veranderingen heeft doen ondergaan, dat deze zich door verschrompeling aan ons openbaren.

De door mij genomen proeven moeten er naar het mij voorkomt toch wel veel toe bijdragen om den indruk te vestigen, dat we bij K- en Na-zouten met een overeenkomstige giftwerking te doen hebben als bij de Mg-zouten. Van een „dood door verhongeren" was bij deze proeven althans geen sprake, aangezien bij de in de zoutoplossingen gedompelde wortels de normale aanvoer van alle voedingsstoffen verzekerd was; bij deze proeven behoeft er geen twijfel aan te bestaan of we behalve bij de Mg-zouten ook bij Na Cl en K Cl wel met een „wahre Giftwirkung" te doen hebben.

In 1910 publiceerde Hansteen (49) [1]) een belangrijk onderzoek waardoor een nieuw licht wordt geworpen op den aard der giftige werkingen, welke Mg- en andere zouten op de *plantenwortels* uitoefenen.

Hansteen beoogde in de eerste plaats, door systematisch onderzoek, de quantitatieve verhouding tusschen K en Ca vast te stellen, waarbij niet alleen de giftwerking van het K volledig wordt opgeheven, maar waarbij tevens voor de cultuurgewassen de gunstigste samenwerking tusschen beide stoffen wordt verkregen. De andere vraag, welke hij door dit onderzoek wou trachten op te lossen was die naar den *aard der giftwerking* van het Ca-vrije medium. „Denn diese, meinte ich, musste man an dem Orte des ersten und unmittelbaren Angriffes, also an den Wurzeln, die ja mit dem schädlichen Medium in direkten Kontakt kommen, nicht aber — so wie es bisher üblich gewesen ist — an den Stengeln, die die Krankheitssymptome erst nachträglich und daher auch nicht rein zeigen können, studieren".

Hansteen experimenteerde met kiemplantjes van tarwe, welke in reageerbuizen, gevuld met de zoutoplossingen, geplaatst werden. Elke proef duurde hoogstens 14 dagen, „während welcher Zeit die Pflanzen aus ihrem Endosperm auch anorganische Nahrung in genügenden Mengen ziehen konnten". Ik vestig op dit laatste de aandacht, omdat ook Hansteen dus blijkbaar doordrongen is van het belang deze proeven te nemen met planten, welke de beschikking hebben over de voor een normalen groei vereischte anorganische voedingsstoffen.

Verder moet hier over de wijze van uitvoering der proeven nog aangestipt worden, dat: 1°. de oplossingen gedurende de proef eenmaal ververscht werden; 2°. de concentraties zeer klein waren ($\frac{M}{50} - \frac{M}{3200}$), zoodat een vrijwel volledige dissociatie der

---

[1]) Met het onderzoek van Hansteen maakte ik eerst na beëindiging mijner proeven kennis.

zouten aangenomen mocht worden; 3°. bij elke proef bepaald werd de hoeveelheid droge stof van wortels, stengel en blad.

Hansteen begint met het onderzoek van enkelvoudige zoutoplossingen: K-, Ca-, Mg- en Na-nitraat.

$Mg(NO_3)_2$ blijkt zelfs nog bij de concentratie $\frac{M}{3200}$ = 0,0047 pct. (zonder kristalwater) de wortelontwikkeling geheel onmogelijk te maken, terwijl heftige ziekteverschijnselen optreden. Bij KNO_3 schijnt de giftigheid bij $\frac{M}{400}$ = 0,025 pct. op te houden. Onder deze grens, dus bij nog zwakkere concentratie, ontwikkelen de wortels zich normaal en zelfs beter dan in gedestilleerd H_2O; het optimum ligt bij $\frac{M}{800}$, bij welke concentratie 2-maal meer wortelmassa geproduceerd wordt dan in H_2O [1]).

In $Ca(NO_3)_2$ was de wortelontwikkeling steeds normaal, zelfs bij $\frac{M}{50}$ = 0,328 pct. (zonder kristalwater); de optimale concentratie ligt blijkbaar bij $\frac{M}{1600}$. Gewezen wordt op de, ook vroeger reeds waargenomen, sterke ontwikkeling van de wortelharen in de Ca-oplossingen.

Het verschil in werking door de genoemde zoutoplossingen op de tarwewortels uitgeoefend, moet toegeschreven worden aan specifieke eigenschappen der kationen K, Na, Mg en Ca, daar de anionen der zouten steeds dezelfde waren.

Vervolgens nam Hansteen proeven met mengsels van KNO_3 en $Ca(NO_3)_2$; de concentratie was $\frac{M}{100}$. De ontgiftende werking van het calciumzout trad duidelijk aan den dag; de oplossingen met de verhouding $\frac{K}{Ca}$ = 19,5 (100 c.c. KNO_3 + 5 c.c. $Ca(NO_3)_2$) gaven de beste wortelontwikkeling te zien.

Bij herhaling dezer proeven met isosmotische oplossingen (KNO_3 = 0,101 pct.) verkreeg Hansteen dezelfde resultaten.

Bij de concentratie $\frac{M}{50}$ was wederom de beste wortelontwikkeling die bij $\frac{K}{Ca}$ = 19,5.

Bij een andere serie proeven ($\frac{M}{100}$) werd behalve bij $\frac{K}{Ca}$ = 19,5 ook bij $\frac{K}{Ca}$ = 0,975 en bij $\frac{K}{Ca}$ = 390,0 een zeer goede ontwikkeling der wortels waargenomen. Weer een ander maal bleek het voldoende slechts 0,1 c.c. $Ca(NO_3)_2$ aan 100 c.c. KNO_3 (conc. = $\frac{M}{100}$) toe te voegen om de schadelijke werking van de zuivere KNO_3-oplossing op te heffen; de verhouding $\frac{K}{Ca}$ was in dit geval dus 975,0.

---

[1]) Uit vroeger door mij genomen proeven zou volgen, dat de giftigheidsgrens voor $MgSO_4$ en KNO_3 bij hoogere concentratie ligt dan door Hansteen werd gevonden; ik experimenteerde evenwel met gerst en met mais, van welke gewassen de wortels minder gevoelig voor verschillende enkelvoudige zoutoplossingen schijnen te zijn dan van tarwe.

Uit deze proeven moet men naar mijn meening wel de conclusie trekken, dat de tarwewortels geen al te groote eischen stellen aan een bepaalde verhouding tusschen K en Ca in de omringende vloeistof.

Bij KCl en KH_2PO_4 wordt de schadelijke werking eveneens door Ca geparalyseerd, onverschillig of Ca gebonden is aan NO_3 of aan Cl.

Voor de ontgifting van Mg-zouten is ook volgens deze proeven belangrijk meer Ca noodig; bij $MgSO_4 + Ca(NO_3)_2$ en $MgCl_2 + Ca(NO_3)_2$ vindt Hansteen de beste wortelontwikkeling bij $\frac{Mg}{Ca} = 0{,}6$ of $0{,}3$.

Hansteen constateert evenals Osternout een antagonisme tusschen K en Mg (nitraten). „Da aber selbst bei dem optimalen Verhältniss $\frac{K}{Mg} = 40$ die Wurzelentwicklung nicht eine durchweg normale war, muss dieser Antagonismus nur als ein beschränkter aufzufassen sein."

Met betrekking tot het antagonisme tusschen K en Na (proeven met de nitraten) zegt Hansteen: „Ein Antagonismus scheint also auch zwischen K und Na zu bestehen; dieser Antagonismus ist aber nur ganz schwach, kaum merkbar", hetgeen in overeenstemming is met de resultaten van mijn proeven.

De anatomische veranderingen, welke bij afwezigheid van Ca bij wortels en stengel door Hansteen, en ook reeds door vroegere onderzoekers, werden waargenomen, brachten hem tot een geheel andere opvatting omtrent den aard der schadelijke werking dan in de theorie van Loew ligt opgesloten. „In erster Linie handelt es sich nach Loew um Zerstörungen im Innern des Zellkörpers, nach meiner Auffassung dagegen um *Wirkungen auf der Oberfläche der Zellen.*"

Daar tusschen beide theorieën een fundamenteele tegenstelling schijnt te bestaan, achtte Hansteen het gewenscht deze kwestie nog verder experimenteel te onderzoeken.

In de eerste plaats tracht hij wortels *van binnen uit* overvloedig van Ca te voorzien, terwijl ze van buiten met een Ca-*vrije* oplossing in aanraking zijn. Hansteen bereikt dit met zgn. „Doppelkulturen", d.w.z. met cultures van planten waarbij een deel der wortels in een kalkhoudende vloeistof reikt, terwijl de overige wortels in een vloeistof die geen kalk bevat gedompeld zijn. Deze laatste wortels worden door bemiddeling van de wortels in de kalkhoudende oplossing van kalk voorzien.

Niklewski (52) heeft beweerd, dat Hansteen op deze wijze zijn doel niet bereikt, maar zooals ik op pag. 7 reeds uiteenzette kan ik het bezwaar van Niklewski niet als gegrond beschouwen.

Dat bij de bedoelde „Doppelkulturen" voldoende hoeveelheden Ca in de zeer kleine door zuiver Mg- en K-oplossingen omspoelde wortels binnengetreden waren, om den dood der celkernen te kunnen verhinderen, valt volgens Hansteen niet

te betwijfelen; hij toonde aan, dat deze wortels inwendig minstens even rijk aan Ca waren als de wortels van dezelfde plant, die in de kalkhoudende oplossingen groeiden. Nochtans werden deze wortels even sterk aangetast en even snel gedood als bij de planten die absoluut geen kalk van buiten toegevoerd kregen. Zelfs indien Hansteen de plumula in gips opsloot en zoodoende het kalkverbruik door het bovengrondsche deel der plant verhinderde, ging de wortel die van buiten *niet* met Ca in aanraking was ten gronde. „Dies in Verbindung damit, dass die Wurzeln in den Mg- und K-Lösungen von aussen nach innen in der gewöhnlichen Weise zerstört wurden, zeigt wiederum, dass man es nicht mit Innen-, sondern-jedenfalls wesentlich und in erster Linie- mit Oberflächenwirkungen zu tun hat."

Zelfs indien bij *een en dezelfde* wortel een deel in aanraking werd gebracht met een Ca-*vrije*-, een ander deel met een Ca-*houdende* oplossing, dan nog oefende de kalkvrije oplossing dezelfde schadelijke werking uit. Hoe of Hansteen deze proeven ook wijzigde, steeds bleek de schadelijke resp. de gunstige invloed der omringende vloeistof bij een en dezelfde wortel streng gelokaliseerd te zijn; zelfs even buiten de vloeistof doet de invloed van deze zich niet meer gevoelen.

Deze strenge lokalisatie van den invloed der zoutoplossingen maakt de veronderstelling van Niklewski (52), dat de giftwerking van de zoutoplossingen moet toegeschreven worden aan de onttrekking van Ca aan de wortels, niet waarschijnlijker, hoewel een dergelijke kalkonttrekking wel als een feit moet aangenomen worden. Zoo vond Niklewski, dat schijven van den rooden biet belangrijke hoeveelheden CaO en MgO aan oplossingen van KCl, NaCl en NH_4Cl (conc. $= \frac{M}{20}$) afstaan, terwijl aan H_2O slechts geringe hoeveelheden der genoemde stoffen worden afgegeven. Meurer (54) komt bij zijn onderzoek naar de regulatorische opname van zouten door de wortels van Beta vulgaris en Daucus carota tot dezelfde conclusie, vooral de exosmose van Ca is belangrijk.

Nathansohn (55) daarentegen vond bij dergelijke proeven met Beta vulgaris, dat door NH_4- en K-zouten vooral Mg uitgedreven wordt.

Door mij werd indertijd waargenomen (blz. 6), dat zoutoplossingen vooral Ca aan de wortels kunnen onttrekken, zoodat ook bij wortels die deel uitmaken van een overigens normaal functionneerende plant, een afgifte van Ca, door verdringing van de kalk door een ander zich in de omgevende vloeistof bevindend ion schijnt te kunnen plaats hebben.

„Zieht man, — zegt Hansteen aan het einde zijner verhandeling — nun alles dies und ferner noch in Betracht, dass in einer schädlichen kalkfreien Lösung die zuletzt eintretende Zerstörung des eigentlichen Zellkörpers mit seinem Kerne augenscheinlich nicht primärer Natur ist — was auch in guter Uebereinstimmung mit dem bekannten Faktum steht, dass eben die

plasma- und kernreichsten, aber zellwandärmsten Gewebe des Pflanzenkörpers, die Urmeristeme, auch die kalkärmsten sind — so scheint man zu der Annahme gezwungen, dass die Erkrankung einer Pflanze in einem kalkfreien resp. ihre normale Entwicklung in einem kalkhaltigen Medium jedenfalls hauptsächlich und in erster Linie nicht auf Innen-, sondern auf Oberflächenwirkungen beruhen; dass also der Kalk in erster Linie deshalb für die kalkbedürftige Pflanze notwendig ist, weil er — so wie es zuerst Boehm auf Grundlage seiner Versuche annahm — eine Bedingung für die normale Ausbildung und die erforderliche Erhaltung der Zellwände und der Zellverbände ist. Hierauf müssen seine starken antagonistischen Eigenschaften bei kalkbedürftigen Pflanzen beruhen."

Hansteen stelt zich nu voor, dat de kalk een rol speelt bij de samenkitting der nieuw ingevoegde celwanddeeltjes. Is er in de omgeving van de cel een kalkvrije oplossing dan zou de samenkitting niet plaats vinden, doordat de door de cel gevormde kitstof direct weer vervloeit, hetzij door de voortdurende onttrekking van Ca aan de kitstof, hetzij doordat voor de coagulatie van de kitstof Ca in de omgeving noodig is. „Eine tiefergehende Erklärung des ganzen Verhaltens des Kalkes zur Wandbildung — ob es sich um besondere Einflüsse auf für die Wandbildung notwendige Enzymwirkungen, ob es sich um die Bildung oder Nicht-Bildung (bei Kalkmangel) von notwendigen Verbindungen, oder ob es sich um besondere fällende oder verflüssende (bei Kalkmangel) Wirkungen mit Bezug auf die kolloidalen Baustoffe der Zellwand handelt — muss aber vorläufig unterbleiben."

Dat de kalk met het inwendige van de cel wat te maken heeft, wil Hansteen niet bestrijden, maar naar zijn meening treden deze functies, indien ze bestaan, tegenover de functies bij de vorming van een normalen celwand, zeer op den achtergrond.

Door de uitkomsten van een in 't vorige jaar door Hansteen (50) gepubliceerd onderzoek, heeft zijn opvatting, omtrent de werking van kalkvrije zoutoplossingen op plantenwortels, een krachtigen steun gekregen. Ook over dit onderzoek wil ik daarom hier iets mededeelen.

Hansteen had opgemerkt, dat bij alle proeven de aantasting der wortels door zuivere Mg-oplossingen steeds gepaard ging met het optreden eener troebeling in den vorm van zwevende wolken [1]). Deze troebeling, die noch uit bacteriën, noch uit weefsel-, celwand- of plasmafragmenten bestond, werd door Hansteen in groetere hoeveelheden uit $Mg(NO_3)_2$-oplossingen verzameld en nader onderzocht; zij bleek, onafhankelijk van de plantensoort, steeds te bestaan uit pektinstoffen, lipoiden en phytosterine-

---

[1]) Herhaaldelijk nam ik het troebel worden van zoutoplossingen, met voor de plantenwortels giftige eigenschappen, waar. Ik heb hieraan echter verder geen aandacht geschonken, en dus niet genoteerd, bij welke zoutoplossingen de troebeling optrad.

achtige stoffen. Van de pektinstoffen was reeds bekend, dat zij zeer verbreide bouwstoffen, ook voor zeer jonge celwanden zijn. Lipoiden waren tot nog toe niet als zoodanig aangetroffen geworden; het gelukte Hansteen echter deze stoffen in tal van celwandpreparaten in zoodanige hoeveelheid aan te toonen, dat men volgens dezen onderzoeker mag aannemen, dat de lipioden, naast cellulose en pektinstoffen, als een normaal bestanddeel van alle celwanden van phanerogamen beschouwd moeten worden en dat ze voor de normale constitutie van den celwand noodzakelijk zijn.

Uit dit onderzoek blijkt dus, dat door inwerking van een Mg-zout (van andere zouten spreekt Hansteen niet) de celwanden der wortelcellen stoffen afgeven, die voor de constitutie der celwanden van het grootste belang moeten zijn.

De jonge, nog werkzame celwand is volgens Hansteen te beschouwen als een hydrogelcomplex, welks vaste phase bestaat uit de hydrophile kolloiden cellulose + pektin + kolloidale zeepen. Hij wijst op de groote beteekenis van een dergelijke samenstelling: door de aanwezigheid van de lipoiden wordt bijv. een grens gesteld aan de wateropname door den celwand en schijnt de vastheid en plasticiteit van den jongen celwand te worden verzekerd. Zooveel schijnt, volgens Hansteen, in ieder geval zeker, dat wil de celwand eener levende cel de vereischte geltoestand aannemen kunnen, d.w.z. niet te week of te vast worden, doch juist de noodzakelijk mechanische en physiologische plasticiteit hebben, dan moeten zijn kolloidale bestanddeelen zich met zekere zout-ionen in bepaalde onderlinge verhoudingen kunnen verbinden.

Verder volgt uit de aanwezigheid der genoemde kolloiden in den celwand al onmiddellijk, dat bij de opname van zouten door de wortels de celwand zich niet, zooals tot nu toe meestal werd aangenomen, zal gedragen als een indifferent medium, doch dat in den celwand adsorptie van metaalionen zal plaats hebben; met deze adsorptie door den celwand vangt dus het zoo gewichtige proces der plantenvoeding aan.

Ook toont Hansteen door enkele proeven aan, welke rol de genoemde kolloiden in den celwand spelen bij de watervoorziening van de plant.

Hansteen heeft met dit onderzoek een eersten stap gezet op den langen en moeielijken weg, welke ons moet brengen tot de zoo noodige kennis omtrent de opname van zouten en water door de wortels uit den bodem en zeer terecht merkt hij op (l.c. pag. 595): „Es wäre zu wünschen, dass ein berufener Kolloidchemiker die erwähnten Versuche wieder aufnehmen und dabei planmässige und eingehende Untersuchungen über das Verhalten von isolierten aber chemisch intakten Zellmembranen lebender Pflanzenzellen zu Wasser und Salzen unter verschiedenen Bedingungen anstellen würde, so wie es mit Tierblase, Leim- und Gelatineplatten bereits geschehen ist. Solche Studien

würden sicherlich dazu beitragen können, uns klarere Vorstellungen als jezt von den stofflichen Wechselwirkungen zwischen Pflanze und Umgebung zu geben."

Loew en Hansteen komen derhalve tot twee geheel verschillende theorieën ter verklaring van het antagonisme tusschen Ca en Mg. Is het nu echter wel juist beide theorieën tegenover elkander te stellen? Naar mijn meening zeer zeker niet! Men verlieze toch niet uit het oog, dat Loew zijn theorie opstelde op grond van proeven met *algen*, waarbij hij inderdaad de aantasting van de *celkernen* door Mg-zouten waarnam. Hansteen daarentegen kwam tot zijn opvatting door proeven met *plantenwortels*, waarbij hij de vernietiging der *celwanden* met zekerheid kon vaststellen.

De theorieën van Loew *en van* Hansteen *hebben dus betrekking op twee geheel verschillende verschijnselen.* Om, zooals Loew stilzwijgend doet, aan te nemen, dat de verklaring van het antagonisme tusschen Ca en Mg bij de werking van zouten dezer elementen op *algencellen*, ook per se moet gelden, indien een dergelijk antagonisme wordt waargenomen bij de werking der genoemde zouten op *andere* plantencellen, daartoe is men niet gerechtigd.

Calciumzouten zullen, het blijkt al uit de proeven van Loew en die van Hansteen, in de plantencellen waarschijnlijk meerdere zeer verschillende functies verrichten, welke niet door de andere zouten vervuld kunnen worden. Al deze verschillende functies, welke de kalk vervult, zijn even zoovele redenen voor antagonistische werkingen tusschen Ca en de andere elementen. Er zullen ongetwijfeld door zoutoplossingen in algencellen en in wortelcellen, en in elke andere plantencel, *gelijksoortige* veranderingen worden teweeggebracht. Maar daarnaast kunnen voor elke soort cellen *specifieke* veranderingen optreden, en nu is het slechts de vraag, of deze laatste niet dieper ingrijpen in het leven van de cel, dan de eerstgenoemde veranderingen. Dit laatste schijnt bij de wortelcellen het geval te zijn (aantasten van de celwanden door kalkvrije oplossingen).

Bij de bestudeering van de belangwekkende verhandeling van Szücs (57), dringt zich opnieuw de gedachte bij ons naar voren, dat we bij hetgeen men pleegt samen te vatten onder „antagonistische Ionenwirkungen" te doen hebben met *zeer verschillende verschijnselen* en dat men, naar gelang men door keuze van het onderzoekingsobject of wijze van experimenteeren met het eene dan wel met het andere verschijnsel te doen krijgt, uit den aard der zaak ook *geheel verschillende* theorieën ter verklaring der waargenomen verschijnselen zal moeten opstellen.

Szücs gaat uit van de opvatting van Pauli, dat bij de opname van stoffen door de plantencel, het protoplasmahuidje de rol van een „elektrolyt overbrenger" speelt. Het protoplasmahuidje bindt de ionen (Ionenproteiden) tot een zekere evenwichts-

toestand bereikt is, en, daar het proces omkeerbaar is, kunnen de ionen aan de andere zijde weer worden afgegeven. Uit deze opvatting moet volgen, dat in *mengsels*, waarvan de bestanddeelen door middel van hetzelfde radikaal van het plasmahuidje in de cel getransporteerd worden, de bestanddeelen elkander bij het binnentreden moeten bemoeielijken. Indien nu een der bestanddeelen een bijzondere physiologische werking uitoefent, dan moet hetgeen hierboven geschetst werd, zich uiten door een verzwakking dezer physiologische werking, juist alsof het betreffende bestanddeel in geringere concentratie de cel omgaf. „Nach unserer Auffassung, — zegt Szücs — ist die Ursache der antagonistische Ionenwirkung die gegenseitige Hemmung in der Aufnahme zweier in gleichem Sinne geladener Ionen."

De werking van een bepaald ion, in tegenwoordigheid van een ander met gelijksoortige lading, uit zich op tweeërlei wijze: het werkt ontgiftend op het andere, omdat het de opname daarvan belemmert, en het oefent zelf een giftwerking uit „weil doch ein jedes Ion Gleichgewichtsverschiebungen in der Zelle hervorruft, die schon an sich selber mehr oder minder störend in den Betrieb der Organismen eingreifen können." (Szücs).

Het is noodzakelijk de proeven van Szücs hier vrij uitvoerig te behandelen om duidelijk te doen uitkomen, dat Szücs een geheel andere antagonistische werking bestudeert dan Loew en Hansteen.

Szücs onderzocht eerst de ontgiftende werking van Al op Cu. Van de 3-waardige ionen is Al het minst giftig; de giftige werking treedt bij de ontgiftende werking zeer op den achtergrond; Cu daarentegen is zeer giftig [1]).

Als indicator voor de giftwerking nam Szücs aan: het uitblijven van de geotropische reactie bij hypocotyl en kiemwortel van Cucurbita pepo.

De met de noodige zorg verkregen kiemplantjes werden gedurende een bepaalden tijd in de te onderzoeken oplossingen gedompeld, daarna herhaaldelijk met water afgespoeld, met filtreerpapier oppervlakkig gedroogd, en de kotyledonen met vochtige watten omwonden. Vervolgens werden de kiemplantjes in horizontalen stand in een met waterdamp verzadigde ruimte gebracht en na 24 uur gekeken, hoeveel der wortels nog geotropisch gekromd waren. Szücs ging nu na, hoe lang hij de kiemplantjes in de verschillende oplossingen moest laten, opdat telkens minstens 70 pct. der plantjes (elke proef 10—20 exemplaren) niet meer geotropisch reageerden.

Bij toevoeging van stijgende hoeveelheden $AlCl_3$ aan een 0,025 n $CuSO_4$-oplossing nam de giftigheid van de oplossing af, d.w.z. de kiemplantjes moesten langeren tijd in de oplossing gedompeld worden, wilde na 24 uur bij meer dan 70 pct. de geotropische reactie uitblijven. De maximale ontgifting trad op

---

1) Bij de proeven van Szücs was 0,5 n. $AlCl_3$ minder giftig dan 0,01125 n. $CuSO_4$.

bij de concentratieverhouding 0,025 n $CuSO_4$: 0,15 n $AlCl_3$. Steeg de $AlCl_3$-concentratie nog meer, dan nam de giftigheid weer toe totdat eindelijk de giftigheid grooter was dan van $CuSO_4$ alleen.

Dat inderdaad de werking van het $AlCl_3$ hierin bestaat, dat dit het $CuSO_4$ verhindert binnen te treden, toonde Szücs wel niet door een quantitatieve Cu-bepaling in de wortels aan, maar bleek toch duidelijk uit het verschil in reactie met H_2S, verkregen bij de fijngemaakte worteltjes van planten die één uur in de $CuSO_4$-oplossing en die, welke evenlang in de $CuSO_4$ + $AlCl_3$-oplossing gestaan hadden.

De vergiftiging is het gevolg van de opname van het Cu-ion en niet omgekeerd het binnentreden van Cu een gevolg van de vergiftiging. Ware dit laatste het geval, dan zou bij de hooge $AlCl_3$-concentraties, waarbij de dood zeer snel intreedt, ook de opname van Cu versneld moeten worden en dit was niet het geval.

De koperreactie in de wortelbrij bij deze proeven gaf reeds eenigen grond aan de veronderstelling, dat men bij de ontgifting te maken had met wederzijdsche belemmering bij het intreden der ionen in de cel; Szücs verlangde hiervoor echter meer positieve bewijzen. Hij nam daarom proeven met Spirogyra, waarbij men het binnentreden van alkaloiden door de vorming van neerslagen met het in de cellen aanwezige looizuur microscopisch gemakkelijk kan waarnemen. Als indicator voor de giftwerking koos hij de stolling van het protoplasma die op haar beurt weer vastgesteld werd door te onderzoeken of de chloroplasten nog door centrifugeeren uit hunnen oorspronkelijken stand gebracht konden worden [1]).

Szücs onderzocht eerst de ontgiftende werking van KNO_3 op chininhydrochloride. Deze was zeer duidelijk. Bij stijgende KNO_3-concentratie bereikt de ontgifting een maximum; daarna neemt de giftigheid van de oplossing weer toe, totdat ze weer de oorspronkelijke giftigheid van enkel chininhydrochloride bereikt.

Bij geringe KNO_3-concentratie is, blijkens de vorming van neerslagen in de cel, de dood nog een gevolg van de chinine. Bij hoogere KNO_3-concentraties is dit echter niet zoo; geen spoor van neerslag is te bespeuren evenmin als andere microscopische veranderingen, doch het protoplasma is gestold. Bij toenemende KNO_3-concentratie neemt de remmende werking op de chinine-opname steeds toe. Hier treedt de werking van het KNO_3 dus op den voorgrond; maar we hebben hier niet uitsluitend met de werking van KNO_3 te maken want in KNO_3 0,25 n. stolt het protoplasma zelfs na 3 uur nog in 't geheel niet, terwijl bij

---

1) Na kennisneming van een ander onderzoek, waarvan de publicatie kort na de hier besproken verhandeling verscheen, moet de vraag rijzen, of de stolling van het protoplasma wel als een betrouwbare indicator voor de giftwerking beschouwd kan worden Zie: Szücs, Ueber einige charakteristische Wirkungen des aluminium-Ions auf das Protoplasma. Jahrb. f. w. Bot. 52, 1913, 269.

0,25 n. KNO_3 + 0,0000578 pct. chinine hydrochloride de cellen reeds na ½ minuut allen verstijfd zijn. Men heeft dus ook bij de hoogere KNO_3-concentraties, al treedt er geen waarneembare hoeveelheid chinine in de cel binnen, te doen met een *gecombineerde* werking van chinine + KNO_3. Dit feit is naar mijn meening al een waarschuwing om het verschijnsel waarmede we hier te maken hebben, niet al te eenvoudig op te vatten.

Vervolgens doet Szücs de proef met $Ca(NO_3)_2$. Hij meent op grond van vroegere onderzoekingen, dat Ca de opname van andere ionen veel meer belemmert dan K. De eigen giftwerking van $Ca(NO_3)_2$ zou volgens hem even groot moeten zijn als van KNO_3 daar de aardalkalizouten „. . . . bekanntlich das Eiweiss in annähernd gleichen Konzentrationen fällen, wie die Salze der Alkalien", (l.c. pag. 113). Deze veronderstelling is echter blijkens proeven van Benecke onjuist: $Ca(NO_3)_2$ is voor Spirogyra niet giftig, KNO_3 daarentegen wel.

Inderdaad bleek bij de proeven, dat $Ca(NO_3)_2$ veel sterker ontgiftend werkt dan KNO_3. Bij de concentratie van het toegevoegde $Ca(NO_3)_2$, bij welke de oplossing het minst giftig was, had eerst na 6 uur stolling van het protoplasma plaats, terwijl dit bij KNO_3 in hetzelfde geval reeds na 12 minuten plaats greep. Maximale ontgifting wordt bij $Ca(NO_3)_2$ bij hoogere concentratie bereikt dan bij KNO_3. Nadat de oplossing chinine + $Ca(NO_3)_2$ hare geringste giftigheid heeft bereikt, heeft de daaropvolgende toename der giftigheid bij verdere stijging der $Ca(NO_3)_2$-concentratie slechts zeer langzaam plaats, langzamer dan bij KNO_3.

Zijn deze feiten nu te verklaren, zooals Szücs meent, doordat Ca meer dan K de opname van chinine belemmert bij even groote giftigheid van het calciumnitraat zelf? Het komt mij voor, dat de door Szücs medegedeelde feiten deze verklaring niet toelaten. Bij zijn proeven met KNO_3 n.l. neemt Szücs slechts bij zeer geringe KNO_3-concentratie typischen „Chinintod" waar. „Bei einer Konzentration 0,01 n. KNO_3 ist schon an dem äusseren Bild merklich, dass das KNO_3 bei der Erstarrung mitgewirkt hat. Es ist zwar noch ein schwacher Niederschlag vorhanden, aber die Zellen schrumpften schon nicht mehr, wie dies bei dem typischen Chinintod immer zu beobachten war."

Wat zien we nu in tabel VIII (l.c. pag. 113—114) der verhandeling? Dat bij de proeven Chinin + $Ca(NO_3)_2$ in alle gevallen waarin meer dan 70 pct. van de cellen gedood waren door Szücs „Chinintod" geconstateerd werd!

Uit deze feiten volgt naar mijn meening stellig niet, dat de sterker ontgiftende werking van $Ca(NO_3)_2$ uitsluitend hieraan zou zijn toe te schrijven, dat Ca meer dan K het binnentreden van chinine belemmert. Het komt mij voor, dat de verklaring eerder in deze richting te zoeken is: KNO_3 oefent op Spirogyra een schadelijke werking uit (zie de proeven van Benecke); al heel spoedig, nog voor voldoende chinine is binnengetreden om het

protoplasma tot stolling te brengen heeft de inwerking van KNO_3, resp. KNO_3 in combinatie met chinine, dit reeds gedaan. De werking van $Ca(NO_3)_2$ is een geheel andere; het is veel minder schadelijk dan KNO_3 (Benecke) waarschijnlijk werkt het wel gunstig op den levensduur der cellen. Hierdoor krijgt de chinine, die *vertraagd* binnentreedt (dit is zoowel bij aanwezigheid van KNO_3 als van $Ca(NO_3)_2$ een feit), toch op den duur (na uren) gelegenheid om zich in voldoende hoeveelheid in de cel op te hoopen, zoodat stolling van het protoplasma kan optreden, terwijl $Ca(NO_3)_2$ zelfs bij de hoogere concentraties dit niet kan doen.

Nog sterker ontgiftend werkt $Al(NO_3)_3$ bij welk zout tusschen de onderzochte concentratiegrenzen (0,00005 n — 0,01 n) met toenemende concentratie slechts een toenemende ontgifting geconstateerd werd. Bij 0,0001 n $Al(NO_3)_3$ stierf 70 pct. der cellen eerst na 22—26 uur terwijl bij 0,0005 n zelfs na ongeveer 80 uur nog geen der cellen gedood was; in de zuivere chinineoplossing van dezelfde concentratie volgde de „Chinintod" reeds na 3—4 minuten.

De uitkomsten dezer onderzoekingen bewijzen volgens Szücs, dat de ontgifting van chinine door electrolyten een functie is van de waardigheid van het kation, zooals door Loeb bij andere antagonistische werkingen reeds lang werd vermoed maar nog nimmer zoo duidelijk geconstateerd werd.

Vast staat naar mijn meening, dat de onderzochte zouten de opname van het chinine hydrochloride remmen, eveneens dat de werking in dit opzicht van Al veel sterker is dan van K en Ca. Dat Ca de opname zooveel sterker remt dan K volgt m.i. *niet* uit de proeven van Szücs. Mogelijk is het, dat de waardigheid der kationen hierbij een rol speelt; om hieromtrent zekerheid te krijgen zijn echter onderzoekingen met andere zouten, in de eerste plaats met Na, Ba en Sr-zouten noodig. *Maar naast de waardigheid spelen ongetwijfeld de specifieke werkingen der kationen bij deze proeven* een groote rol; de reeds door Benecke geconstateerde schadelijke werking van KNO_3 en de gunstige werking van $Ca(NO_3)_2$ op Spirogyra treden, naar het mij wil voorkomen, bij deze proeven duidelijk aan den dag.

Herhaling van deze proeven met methylviolet inplaats van met chininehydrochloride gaf resultaten, die in ieder opzicht zoo merkwaardig met de vermelde proeven overeenstemmen, dat ik op deze proeven niet nader behoef in te gaan. Ook nu weer ging bij KNO_3 slechts bij de laagste concentraties de afsterving van de cellen gepaard met blauwkleuring terwijl dit bij $Ca(NO_3)_2$ steeds het geval was. De door Szücs bestudeerde verschijnselen zijn dus niet zoo eenvoudig als hij aanvankelijk wel dacht en Szücs zelf wijst hier ten slotte met nadruk op als hij op pag. 120 l.c. zegt:

„Als die Erstarrung bei einer 0,06 n KNO_3 Lösung + 0,001 pct. Methylviolett eintrat, war aber von letzterem noch keine Spur in der Zelle wahrnehmbar. Und da das Methylviolett das Pro-

toplasma erst bei sehr intensiver Färbung zu erstarren vermag und KNO_3 bei gegebener Konzentration, dazu überhaupt nicht fähig ist, so kann man nicht annehmen, dass hier eine glatte Summation von Fällungen verschiedener Qualität vorliegt, sondern vielmehr *das Methylviolett beziehungsweise auch das Chinin verändert derart das Eiweiss der Zelle, dass es dadurch gegen die zustandsändernde Wirkung mancher Salze empfänglicher wird.*"

Er bestaat dus volgens Szücs een oorzakelijk verband tusschen de belemmerende werking, welke de eene stof op de andere bij het binnentreden in de cellen, uitoefent en de ontgifting, maar hiermede is volgens Szücs geenszins gezegd, dat een ontgifting in 't algemeen slechts op belemmering bij de opname zou moeten berusten; we hebben bij deze proeven met zeer ingewikkelde physiologische processen te doen, die moeielijk te ontwarren zijn.

In een zijner jongere publicaties behandelt Osterhout (21, zie ook: 22, 23 en 24*d*) de vraag, hoe men kan uitmaken of men in een bepaald geval al of niet te maken heeft met eene antagonistische werking. Het komt mij voor, dat het door hem genoemde criterium niet als zoodanig beschouwd mag worden. Osterhout redeneert als volgt.

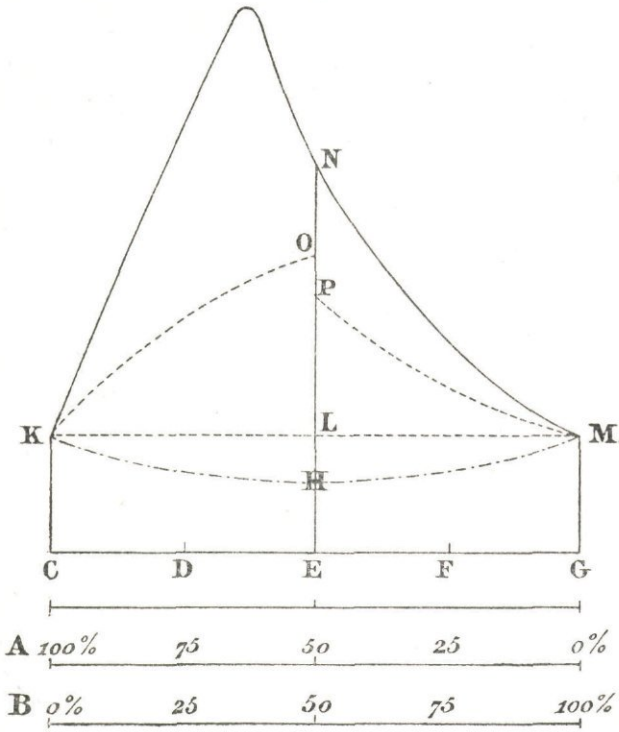
Mengsels van twee zoutoplossingen met gelijke giftigheid moeten precies dezelfde uitwerking hebben op den groei der wortels (Osterhout experimenteerde weer met tarwekiemplantjes) als de zoutoplossingen ieder voor zich, *verondersteld, dat de werkingen, welke de beide zouten op de wortelcellen uitoefenen, zich sommeeren* [1]). Bestaat er tusschen beide zouten een antagonisme, dan is de groei in de mengsels sterker dan in de beide componenten. De groeitoename, uitgedrukt in percenten van den groei in de zuivere zoutoplossingen, is de meest bevredigende maat voor het antagonisme.

Stelt men een en ander grafisch voor, dan komt men tot nevensstaande figuur. Punten op de lijn C G geven de samenstelling van mengsels der zoutoplossingen A en B aan, de ordinaten in deze punten den gemiddelden totalen lengtegroei in een zekeren tijd der wortels van een tarweplantje, geplaatst in de bedoelde mengsels. C K en G M geven dus den lengtegroei in de zuivere oplossingen aan; C K = G M omdat de concentraties van A en B zoo gekozen zijn, dat zij dezelfde giftwerking uitoefenen. De horizontale lijn K L M stelt dan verder voor, den groei in de mengsels indien er geen antagonisme tusschen A en B

---

[1]) Deze voorwaarde zal wel nimmer vervuld worden! Het is toch moeilijk denkbaar, dat twee zouten *A* en *B* veranderingen in de cel, bijv. in de kolloidale stoffen van den celwand of in het protoplasma, teweegbrengen die volkomen identiek zijn, zoodat het absoluut onverschillig is of deze veranderingen door *A*, door *B* of door mengsels van *A* en *B* worden veroorzaakt.

bestond, K N M de antagonisme-curve, terwijl K H M weergeeft het geval, dat de giftigheid der mengsels van de beide zouten *grooter* is dan die van de zuivere oplossingen, het tegenovergestelde van antagonisme dus. De sterkte der antagonistische werking bij een bepaalde mengverhouding bijv. in E wordt aangegeven door de verhouding $\frac{L\,N}{L\,E}$.



Tegen de bovenstaande beschouwingen van Osterhout is naar mijn meening wel het een en ander in te brengen. Het feit toch, dat in mengsels van twee zoutoplossingen met gelijke giftigheid een sterkere groei wordt waargenomen dan in de zuivere zoutoplossingen, m. a. w. dat de curve zich boven de lijn K M verheft, is nog geen bewijs voor het bestaan van antagonisme tusschen de beide zouten, d.w.z. dat zij in de cellen tegenovergestelde veranderingen teweeg brengen (bijv. vervloeiing en coagulatie van kolloidale stoffen, toe- en afname der permeabiliteit), dat hetgeen het eene zout in de cel verandert, door het andere zout weer ongedaan gemaakt wordt. Men kan zich n.l. het geval denken, dat de beide zouten veranderingen teweeg brengen, die niets met elkander te maken hebben, noch elkander tegenovergesteld zijn, noch elkanders werking ondersteunen. Ook in dit geval is het zeer goed mogelijk, dat in een mengsel, hetwelk bijv. voor 50 pct. uit ieder der beide zoutoplossingen

bestaat, de wortelgroei *beter* is dan in de zuivere zoutoplossingen. De concentratie van ieder zout in het mengsel is slechts de helft en de giftwerking van ieder zout op zich zelf dus ook kleiner, hetgeen wel aangenomen moet worden, omdat Osterhout uitgaat van zoutoplossingen, die reeds een zekeren wortelgroei toelaten.

Men dient dus bovendien nog na te gaan, hoe de wortelgroei toeneemt, indien men de beide zoutoplossingen verdunt. Veronderstelt men nu, dat de toename in den groei door verdunning voor A wordt voorgesteld door de lijn K O, en voor B door M P, dan kan men uit het feit, dat voor een *mengsel* der beide zouten de curve K N M zich aanmerkelijk verheft boven de beide verdunningslijnen K O en M P, afleiden, dat A en B antagonisten zijn. Dit volgt echter niet, zooals Osterhout beweert, uit het feit, dat de curve ligt boven K L M.

Toch zal men vermoedelijk ook op deze wijze niet altijd een beslist antwoord krijgen op de vraag, of men met een antagonistische werking te doen heeft en het antwoord wordt des te onzekerder naarmate men experimenteert met meer verdunde en dus minder giftige oplossingen; de antagonisme-curve moet dan, zooals ook Osterhout (23) vond, vlakker worden, waar echter tegenover staat, dat dan ook de verdunningscurven geringere stijging zullen vertoonen.

Een quantitatief onderzoek dezer verschijnselen is echter voor een juist inzicht in het wezen dier verschijnselen zeer zeker gewenscht.

Men dient daarbij echter niet, zooals Osterhout doet, uit te gaan van oplossingen *met gelijke giftwerking*, waardoor het onderzoek beperkt wordt tot oplossingen, die een regelmatigen groei over een lang tijdsverloop mogelijk maken; bij Mg-zouten is men dan beperkt tot zéér verdunde oplossingen. Bovendien is het wenschelijk deze proeven steeds te nemen met *isosmotische* oplossingen om onafhankelijk te zijn van veranderingen in den osmotischen druk. Een gelijktijdig onderzoek naar den invloed der verdunning der zuivere zoutoplossingen op den wortelgroei mag bij deze onderzoekingen niet achterwege blijven.

Het spreekt wel van zelf, dat dergelijke quantitatieve onderzoekingen vele experimenteele moeielijkheden zullen opleveren, vooral als men den eisch stelt, dat de wortels deel uitmaken van overigens normaal gevoede planten.

Osterhout behandelt in een ten vorigen jare verschenen publicatie (22) het vraagstuk voor mengsels van *drie* zouten. De samenstelling der verschillende mengsels geeft hij aan in een gelijkzijdigen driehoek, welks hoekpunten de zuivere zoutoplossingen voorstellen. De concentratie van ieder der zouten kiest hij ook nu weer zoo, dat de drie oplossingen gelijke giftigheid vertoonen ten opzichte van tarwewortels. Vervolgens richt hij in de punten, welke de samenstelling der onderzochte mengsels aangeven, loodlijnen op, wier lengten zich verhouden als

de lengtegroei der wortels in die oplossingen, brengt nu door de uiteinden dier loodlijnen vlakken en verkrijgt zoodoende een ruimtefiguur, dat een beeld geeft van het antagonisme tusschen de drie zouten.

Hier moeten dezelfde bezwaren geopperd worden als bij het quantitatief onderzoek van het antagonisme tusschen twee zouten. Het vraagstuk wordt hier echter nog veel gecompliceerder en het zal zeer moeilijk zijn den juisten invloed van elk der drie zouten uit de verkregen resultaten af te leiden.

Vermelding verdient, dat Osterhout in de besproken publicaties bijna uitsluitend theoretische beschouwingen geeft. Het experimenteele onderzoek met deze theoretische overwegingen tot basis, schijnt dus nog niet ver gevorderd te zijn; zonder twijfel kunnen echter deze beschouwingen een uitgangspunt vormen voor onderzoekingen, welke veel tot de oplossing van het vraagstuk zullen bijdragen.

Het ligt natuurlijk niet op mijn weg de antagonistische werkingen van ionen op *dierlijke* cellen en weefsels uitvoeriger te bespreken; hiervoor mag verwezen worden naar de desbetreffende hoofdstukken in het werk van Höber (1) en naar de achter deze verhandeling genoemde publicaties van Loeb e.a. (3—11).

Toch is het wenschelijk hier nog op enkele punten van overeenkomst tusschen het verschijnsel bij dieren en bij planten te wijzen, en tevens de aandacht te vestigen op het feit, dat men, ook waar bij dierlijke cellen gevallen van antagonisme worden waargenomen, blijkbaar met verschillende verschijnselen te doen heeft.

Uit dit laatste volgt direct, dat een volkomen overeenstemming tusschen de verschijnselen in het planten- en in het dierenrijk niet te verwachten is. Wel hebben zij allen iets gemeenschappelijks, n.l. dat het in de eerste plaats verschijnselen zijn van adsorptie door kolloidale stoffen. Een nadere omschrijving van hetgeen zij allen gemeen hebben kunnen we thans nog niet geven. Zelfs kunnen we niet spreken van adsorptie door *eiwitachtige* stoffen, omdat we, bij de werking van zoutoplossingen op plantenwortels, volgens de onderzoekingen van Hansteen te maken hebben met de kolloïden, welke deel uitmaken van den *celwand* en waarschijnlijk niet, althans niet in de eerste plaats, met een aantasting van het protoplasma.

In sommige gevallen komt op treffende wijze tot uiting, dat we te maken hebben met vervloeiing en coagulatie van kolloïden, n.l. in die gevallen waarin schier alle tweewaardige en ook drie- en vierwaardige kationen antitoxisch werken: hier bestaat een niet te ontkennen verband tusschen de antagonistische functie der verschillende kationen en hunne praecipiteerende werking op negatieve kolloïden (1 pag. 437).

Wat de verschilpunten betreft bij de waargenomen verschijn-

selen van antagonistische werkingen van ionen bij dierlijke organismen, zou ik in de eerste plaats willen wijzen op het groote onderscheid in dit opzicht tusschen Fundulus in zijn verschillende stadia van ontwikkeling en de bevruchte eieren van dezen visch. Kan voor de eieren de giftwerking van Na Cl opgeheven worden door bijna ieder tweewaardig kation, zoodra heeft de larve het ei niet verlaten of de giftwerking kan slechts door Ca + K opgeheven worden.

Ook voor Gammarus, een klein schaaldier uit de golf van San Francisco, is de toevoeging van Ca + K noodig om de giftwerking van Na op te heffen. Bracht Loeb exemplaren van de genoemde diersoort in een zuiver Na Cl-oplossing met denzelfden osmotischen druk als zeewater, dan stierven zij binnen een half uur. Toevoeging van $Ca\,Cl_2$, in een hoeveelheid overeenkomende met die in zeewater, veranderde hieraan niets; toevoeging van K Cl verlengde den levensduur slechts weinig. Voegde Loeb echter behalve $Ca\,Cl_2$ ook K Cl toe, dan bleven de dieren verscheidene dagen in leven. (4 en 8 pag. 171).

Tegenover het door Loeb bij Fundulus en Gammarus waargenomen verschijnsel, dat Na Cl slechts onschadelijk gemaakt kan worden door toevoeging van K Cl + $Ca\,Cl_2$ staat weer de waarneming door een leerlinge (10a) van Loeb in diens laboratorium, dat voor forellen de giftwerking van Na Cl voor een goed deel door enkel $Ca\,Cl_2$ kan opgeheven worden. En wat voor de bevruchte Fundulus-eieren geldt is weer niet toepasselijk op de bevruchte eieren van den zee-egel. (8, pag. 187).

Nog meerdere onderlinge verschillen zijn aan te wijzen. Zoo nam Loeb (3) tot zijn verwondering waar, dat oplossingen die bij Fundulus en bij Gonionemus, een kwalsoort, spiercontractie onmogelijk maken, bijv. 90 cc $Mg\,Cl_2$ + 10 cc $Ca\,Cl_2$ ($\frac{10}{8}$ n) en 80 cc Na Cl + 20 cc K Cl ($\frac{5}{8}$ n), wel de beweging toelaten der ciliën van zee-egellarven. „These experiments certainly warn us against taking it for granted that the mechanics of protoplasmic motions is the same everywhere, although there may be some identity up to a certain point." (Loeb 3, pag. 336).

Het is tot nu toe nog niet gelukt al deze door Loeb en anderen verzamelde feiten op bevredigende wijze onder één gezichtspunt te brengen, maar wel schijnen de feiten er op te wijzen, dat wie hier te doen hebben met werkingen aan de *oppervlakte* der cellen. Wordt de oppervlakte blootgesteld aan de inwerkingen van een enkelvoudige zoutoplossing, dan gaan de ionen met de kolloïden verbindingen aan, waardoor de kolloïden voor het leven van de cel gewenschte eigenschappen verliezen of ongewenschte eigenschappen verkrijgen. Zoo toonde Loeb (9*a* en 9*b*) aan, dat Fundulus-eieren in enkelvoudige zoutoplossingen permeabel worden voor water en zouten; toevoeging van antagonistische zouten doet de permeabiliteit weder afnemen. Osterhout (24*a*, *c*, *e*, *f*, *g*, *h*) heeft hetzelfde voor plantaardige cellen aan-

getoond. Ook kan hier, voor zoover het plantaardige cellen betreft, verwezen worden naar de proeven van Szücs (57) en naar die van Eisler en von Portheim (44*b*).

Ook de gewenschte vastheid van de buitenlaag kan verloren gaan; voorbeelden hiervan vindt men in de aantasting van de bevruchte eieren van den zee-egel en de vervloeiing van ciliën van zeedieren door een Na Cl-oplossing; toevoeging van coagulerend werkende tweewaardige kationen gaat de vervloeiing van de kolloïden tegen. Ook kan op grond van de onderzoekingen van Hansteen hier genoemd worden de inwerking van zoutoplossingen op den celwand van plantenwortels, maar, omdat hier de aantasting slechts door toevoeging van Ca en niet door andere tweewaardige kationen voorkomen kan worden, treedt hier niet zoo duidelijk als bij de eerste twee voorbeelden aan den dag, dat we met vervloeiing en coagulatie van kolloïden te doen hebben.

De vraag ligt voor de hand of er soms *verschillen* zijn aan te wijzen tusschen de antagonistische werkingen bij planten en bij dieren. Men zou geneigd zijn te antwoorden, dat een ontgifting van Na Cl door sporen van bijna alle tweewaardige en enkele meerwaardige kationen, zooals die door Loeb bij bevruchte Fundulus-eieren en nog in enkele andere gevallen (1, pag. 439) werd waargenomen, bij planten blijkbaar niet mogelijk is. Voor zoover mij bekend is, werd deze kwestie voor planten nog niet voldoende onderzocht, en beschikken wij slechts over enkele mededeelingen omtrent de ontgiftende werking van Ba, Sr, Fe en Al. Zoo deelt Osterhout (17) mede, dat oplossingen van Mg-zouten door toevoeging van $Sr\,Cl_2$ onschadelijk werden voor tarwewortels; Fe en Al zijn daartoe niet instaat. Verder zouden Na Cl en K Cl volgens Osterhout, behalve door toevoeging van een geringe hoeveelheid $Sr\,Cl_2$, ook door toevoeging van $Ba\,Cl_2$ hunne schadelijke eigenschappen voor tarwewortels verliezen. Bij proeven door mij met mais genomen werden deze resultaten van Osterhout niet bevestigd. Wel scheen $Sr\,Cl_2$ eenige werking uit te oefenen maar deze kon toch in het geheel niet met die van $Ca\,Cl_2$ vergeleken worden.

Ook kan hier vermeld worden, dat Bruch (42b) indertijd aantoonde, dat Ba en Sr kalk tot op zekere hoogte bij den wortelgroei kunnen vervangen.

Maar zelfs indien het blijkt, dat behalve door Ca, bij planten nimmer ontgifting door twee- of meerwaardige kationen verkregen kan worden, dan is dit toch niet op te vatten als een *principieel* verschil; men bedenke toch, dat de bedoelde ontgifting ook slechts in zeer enkele gevallen bij dierlijke cellen wordt waargenomen.

Ook schijnt, zooals uit de medegedeelde gevallen van antagonisme volgt, voor de dierlijke cel niet steeds de combinatie Na + K + Ca noodzakelijk te zijn, terwijl voor de plantencel de toevoeging van Ca aan een Na-, K- of Mg-zoutoplossing voldoende is.

En zoo gelukt het ook verder voorloopig niet eenig principieel verschil tusschen de verschijnselen van antagonisme bij planten en bij dieren aan te wijzen.

Als merkwaardig punt van *overeenkomst* treft ons echter de bijzondere beteekenis, die zoowel voor het leven der dierlijke cel als voor het leven der plantencel, aan het Ca-ion moet toegeschreven worden. Want moge in sommige gevallen bij dierlijke cellen Ca vervangen kunnen worden door een ander tweewaardig kation, in zeer vele andere gevallen is dit niet mogelijk. (1, pag. 446 e. v.).

Höber oppert de veronderstelling, dat in die gevallen, waarin het slechts te doen is om aan de kolloïdale stoffen zeer bepaalde *statische* eigenschappen mede te deelen, Ca vervangen kan worden door een der overige tweewaardige kationen.

In andere gevallen zullen de veranderingen echter *niet* blijvend mogen zijn, zullen de levensfuncties *reversibele* veranderingen van het protoplasma eischen; mogelijk dat in het bijzonder Ca instaat is om dergelijke *reversibele* veranderingen teweeg te brengen. (1, pag. 447).

Verder treft het ons, dat ook ten opzichte van het dierlijk organisme Mg en Ca meermalen als scherpe antagonisten tegenover elkaar staan. Merkwaardig zijn in dit opzicht de onderzoekingen van Meltzer en Auer (11).

Bij subcutane en intraveneuse inspuitingen van $MgCl_2$ bij konijnen trad volkomen verlamming en anaesthesie op; werd vervolgens $CaCl_2$ intraveneus ingespoten, dan verdwenen oogenblikkelijk alle verschijnselen der Mg-vergiftiging en herstelden de dieren zich volkomen.

Met zekerheid mag men wel zeggen, dat we bij al deze verschijnselen te doen hebben met *kolloïdreacties* en dat ook de kolloïdchemie op dit gebied meer licht zal moeten ontsteken. Indien de kolloïdchemie ons op dit oogenblik nog geen helder beeld van de besproken verschijnselen vermag te geven, en dit beeld nog een verwarden indruk maakt, dan ligt dit, zooals Höber (1, pag. 444) kenschetsend zegt, waarschijnlijk minder daaraan, „dass der gebrauchte Spiegel unzweckmässig ist, indem er die abzubildenden Vorgänge verzerrt, als daran, dass der Spiegel zu trübe ist, um ausser den groben Zügen auch Einzelheiten zu zeigen; die physikalische Chemie der Kolloide ist eben vielfach noch zu lückenhaft entwickelt, als dass sie schon allen unseren Zwecken entsprechen könnte."

IV.

Onderzoekingen omtrent antagonistische werkingen van zouten bij planten, welke in een natuurlijken bodem groeien.

Afgezien van enkele zeer terloops door Osterhout (19) genomen proeven, heeft men zich tot nu toe, met betrekking tot

normaal in aarde groeiende planten, slechts beziggehouden met het antagonisme tusschen Ca en Mg.

Loew trok uit zijn theorie omtrent de rol, welke kalk en magnesia in het plantenleven vervullen, de conclusie, dat er voor de beste ontwikkeling van de plant, in het groeimedium een bepaalde verhouding tusschen CaO en MgO moet bestaan. Bij de beoordeeling van een cultuurgrond en bij de bemesting dient dus volgens Loew niet alleen aandacht geschonken te worden aan de aanwezigheid eener voldoende hoeveelheid der bekende plantenvoedende bestanddeelen, doch tevens aan de verhouding tusschen het in den grond aanwezige CaO en MgO.

Men gevoelt onmiddellijk, dat men hier zeer moeilijk terrein betreedt! Zijn bij watercultures de omstandigheden nog *betrekkelijk* eenvoudig, zoodra men gaat experimenteeren met normale cultuurgronden, schakelt men zoovele onvoldoend bekende en nog geheel onbekende factoren in, dat de uitkomsten van het experiment zeer onzeker worden. Evenals bij het gewone bodem- en meststoffenonderzoek rijst hier direct de vraag: hoe bepaalt men hetgeen van de kalk en de magnesia „assimileerbaar" is, of beter gezegd: hoe kan men te weten komen, in welke verhouding CaO en MgO aanwezig zijn *in de vloeistof waarmede de plantenwortels in den bodem in contact zijn?* Want het is duidelijk, dat het vooral op het laatste aankomt.

Verder krijgt men te doen met de velerlei veranderingen, welke CaO en MgO in de physische, chemische en bacteriologische eigenschappen van den bodem teweeg kunnen brengen.

Loew en zijn talrijke medewerkers hebben de bovengenoemde moeielijkheden wel niet geheel uit het oog verloren, maar toch bij hunne onderzoekingen feitelijk onderschat. Geen wonder dus, dat al deze onderzoekingen te zamen hetzelfde verwarde en weinig bevredigende beeld opleveren, als tallooze andere onderzoekingen op het gebied der bemesting. En wanneer deze onderzoekers tot de vrij stellige conclusie komen, dat bijv. voor granen, met uitzondering van maïs, en voor vlas de *kalkfactor*, d. i. de gewenschte verhouding CaO : MgO in den bodem, gelijk 1, voor maïs = 2, voor erwten en boekweit = 3 en voor tabak = 4 is, dan moet in twijfel getrokken worden, of aan deze cijfers inderdaad wel veel waarde is te hechten. Dergelijke cijfers hebben in geen geval beteekenis indien niet tevens vaststaat, volgens welke methode bepaald moet worden, of de grond de voor een bepaald gewas vereischte kalkfactor bezit; deze methode bestaat zeer zeker nog niet.

Bestaan er inderdaad dergelijke groote verschillen in de voor de afzonderlijke gewassen meest gewenschte verhouding tusschen CaO en MgO, dan zal het wel niet mogelijk zijn een land tegelijkertijd bijv. zoowel voor graangewassen (kalkfactor = 1) als voor erwten (kalkfactor = 3) wat de verhouding CaO : MgO betreft, in den meest gunstigen toestand te brengen. Hiermede verliest dit vraagstuk echter geenszins zijn beteekenis voor de

praktijk; vooral indien het verdere onderzoek in deze richting, behalve aan Ca O en Mg O, ook aandacht schenkt aan de overige bestanddeelen van den bodem, zullen op den duur de resultaten voor de praktijk niet uitblijven, verondersteld natuurlijk dat men het onderzoek niet direct op praktische vragen richt, doch eerst een goed inzicht tracht te krijgen in de verschijnselen, waarmede men te doen heeft.

Ik zal hier de talrijke onderzoekingen van Loew en zijn vele Japansche medewerkers niet verder bespreken. Dit is ook geheel overbodig na de uitvoerige kritische behandeling van dit onderwerp door Dr. J. C. de Ruyter de Wildt (39) in het tijdschrift „Cultura" van het jaar 1906. In deze verhandeling vindt men een uitvoerig overzicht van de tot in het genoemde jaar gepubliceerde onderzoekingen over den „kalkfactor", terwijl de boven door mij aangestipte moeielijkheden, welke deze onderzoekingen opleveren, duidelijk naar voren worden gebracht.

Voor de onderzoekingen, waarvan de resultaten gepubliceerd werden na het verschijnen der verhandeling van de Ruyter de Wildt, zou ik willen verwijzen naar de publicatie van von Portheim en Samec (43) waarin men op pag. 272 een lijst vindt van op dit onderwerp betrekking hebbende publicaties. Verder verschenen na dien tijd nog publicaties van Loew (36—38), Lemmermann, Einecke en Fischer (59), Warthiadi (60), Meyer (61—62) en Haselhoff (63).

Melding zij hier ten slotte nog gemaakt van een publicatie van Lipman en Gericke (64) omtrent antagonisme tusschen *anionen* (Na Cl, Na_2SO_4 en Na_2CO_3) bij gerst op kleigrond. Of we, voor zoover deze proeven bepaalde resultaten opleverden, te maken hebben met een werking der genoemde zouten op de plant, op de physische of chemische eigenschappen van den bodem of op de microflora van den bodem, is niet te zeggen; ook dit onderzoek brengt de oplossing van het vraagstuk niets verder.

V.

Slot.

Sedert de in hoofdstuk II dezer verhandeling beschreven proeven beëindigd werden, zijn reeds weder een drietal jaren verstreken. De reden waarom ik eerst nu tot publicatie mijner onderzoekingen ben overgegaan is hierin gelegen, dat ik aanvankelijk eenigen schroom gevoelde om dit te doen. In de eerste plaats toch heb ik met deze onderzoekingen een terrein betreden, dat ik het mijne niet mag noemen. De omstandigheden echter drongen mij hiertoe.

Bij de bemestingsvraagstukken komt men steeds weer in aanraking met de kwestie der „physiologische reactie" van de als meststof gebruikte zouten. Nu werd van het begrip „physiologische reactie" door de agricultuurchemici wel een ruim gebruik

gemaakt ter verklaring van verschillende verschijnselen op het gebied der bemesting, maar *experimenteel onderzoek* omtrent de physiologische reactie der zouten ontbrak geheel. Ik heb toen getracht door proeven eenig inzicht in deze kwestie te verkrijgen.

Door deze proeven werd mijn aandacht vanzelf gericht op de opname van anorganische voedingsstoffen door de planten, en op de werking van zoutoplossingen op de wortels. Meer en meer werd ik doordrongen van de besliste noodzakelijkheid van een streng wetenschappelijk onderzoek dezer fundamenteele vraagstukken, wilde men met meer succes dan tot nu toe werken aan de oplossing van de vraagstukken, welke voor den praktischen landbouw van meer direct belang zijn.

Ik besloot daarom nog een tijdlang voort te gaan op den eens ingeslagen weg. Wel wist ik, dat ik de uiterst moeielijke vraagstukken op botanisch-physiologisch gebied zelfs niet tot een begin van oplossing zou kunnen brengen, maar ik begreep, dat het voor mijn persoonlijk inzicht in de vraagstukken, waarmede ik mij verder bezig hield, van groot belang moest zijn, indien ik mij gedurende eenigen tijd verdiepte in de physiologische zijde dezer vraagstukken. Voor mij persoonlijk is de tijd en de moeite, aan deze proeven besteed, dan ook geenszins als verloren te beschouwen, daar ik hierdoor geheel anders tegenover de bemestingsvraagstukken ben komen te staan.

De tweede reden, waarom ik aanvankelijk meende te moeten afzien van publicatie, is hierin gelegen, dat het onderzoek moest uitgevoerd worden, terwijl ik al te zeer door werkzaamheden van geheel anderen aard in beslag werd genomen. Tijdens de proefnemingen heb ik mij slechts oppervlakkig met deze vraagstukken kunnen bezighouden; eerst nadat het onderzoek geheel was afgesloten heb ik gelegenheid kunnen vinden, tot een meer grondige studie der literatuur, welke met mijn onderzoek verband hield. De proeven dragen van dit alles maar al te zeer de sporen; meerdere proeven hadden achterwege kunnen blijven, terwijl verzuimd werd te trachten op andere, zeer voor de hand liggende vragen, een antwoord te krijgen. Dit had voorkomen kunnen worden, indien ik reeds tijdens de proefneming de verkregen resultaten rustig had kunnen bestudeeren; de omstandigheden waren toentertijd echter aan het Groningsche Proefstation voor wetenschappelijk werk nog weinig gunstig. Maar al ware dit laatste niet het geval geweest, dan nog zou het bezwaar bestaan hebben, dat het botanisch-physiologisch gebied waarop ik mij bewoog, mij vreemd was.

Ten slotte heb ik gemeend over deze bezwaren te moeten heenstappen en tot publicatie der door mij verrichte proefnemingen te moeten overgaan, omdat ik hierdoor gelegenheid had, de aandacht te vestigen op de dringende noodzakelijkheid om, in het belang van een verder vruchtbaar natuurwetenschappelijk onderzoek op het gebied van den landbouw, de bedoelde vraagstukken tot onderwerp te maken van eene nauwgezette studie.

Ons gebrek aan kennis omtrent de opname van water en anorganische bestanddeelen uit den bodem, van de middelen waarover de wortels beschikken om deze stoffen tot zich te nemen, ons gebrek aan kennis met betrekking tot de eischen, welke de wortels aan hunne omgeving stellen, willen zij in ieder opzicht goed functionneeren, zijn even zoovele leemten, welke in de allereerste plaats aangevuld dienen te worden. *Richt men het onderzoek niet op deze fundamenteele vraagstukken, dan is het landbouwkundig onderzoek voor een groot deel tot onvruchtbaarheid gedoemd!*

We moeten aan het bovenstaande nog toevoegen, dat ook onze kennis van de functies, welke de verschillende aschbestanddeelen in de plant verrichten, nog zéér onvolledig is. Meerdere kennis op dit gebied zal ons vermoedelijk in staat stellen een inzicht te krijgen in de ziekelijke afwijkingen van niet-parasitairen aard, die zoo dikwijls bij de gewassen op het veld worden waargenomen en welke waarschijnlijk aan voedingsstoornissen zijn toe te schrijven. Misschien wordt het dan mogelijk om door een onderzoek van de plant een diagnose op te stellen, welke althans *aanwijzingen* kan geven voor de bemesting, welke moet worden toegepast om het kwaad te verhelpen. Voor enkele bestanddeelen (N, P_2O_5 en K_2O) beschikt men thans slechts over zeer grove uiterlijke kenteekenen, welke een gebrek of een overmaat aan deze bestanddeelen karakteriseeren.

De onderzoekingen omtrent de voor den landbouw zoo belangrijke ziekelijke afwijkingen van enkele gewassen op veen- en zandgronden in de provincies Groningen en Drenthe, zouden door een studie in deze richting ten zeerste gebaat zijn. Het mag zelfs niet onmogelijk geacht worden, dat een onderzoek langs dezen weg, hoe moeielijk deze misschien ook schijnt, spoediger tot het doel leidt, dan het zeker niet minder moeielijke onderzoek van den humusrijken zandgrond [1]).

---

[1]) Ter toelichting kan het volgende dienen:

Sedert enkele jaren wordt er op hooge zandgronden in de Veenkoloniën en op ontginningen in Drenthe bij rogge een ziekteverschijnsel waargenomen, dat volgens Hudig is toe te schrijven aan een afwijking in den bodem, door Hudig aangeduid als de „Hooghalensche ziekte".

Blijkens de resultaten verkregen op een voorloopig proefveld, aangelegd te Spitsbergen (Zuidbroek, prov. Groningen) kan *kalk* de kwaal verhelpen. Maar hoe werkt de kalk in dit geval? Verandert zij iets in den grond; neemt de plant onvoldoende kalk op? Meerdere werkingen van de kalk zijn denkbaar. Een antwoord op deze vraag is voor het verdere onderzoek, en voor het vinden van praktische maatregelen ter bestrijding, van groot gewicht! Nu vertoont de rogge een typische afwijking: het niet ontrollen der bladeren. Dit verschijnsel treedt volgens Hansteen (49) en Warthiadi (61) ook op bij een overmaat aan Mg ten opzichte van Ca in het groeimedium. Indien nu botanisch onderzoek van de zieke planten uitwees, dat we hier inderdaad met ziekelijke veranderingen te maken hebben tengevolge van een relatief te veel aan Mg, dan zou dit voor de praktijk van groot gewicht zijn. Langs anderen weg is waarschijnlijk niet zoo gemakkelijk uit te maken of we hier met een ongunstige verhouding tusschen Ca en Mg te doen hebben. De verstoring van de gewenschte verhouding tusschen Ca en Mg zou b.v. het gevolg kunnen zijn van een veelvuldig gebruik van betrekkelijk kalkarme meststoffen naast magnesiarijke ruwe kalizouten.

Jaarlijks worden door tallooze onderzoekers over de geheele wereld, ten koste van veel tijd en van veel arbeidskracht, proefnemingen verricht omtrent de bemesting onzer cultuurgewassen.

Zeker, deze proefnemingen zijn niet nutteloos, maar staat het resultaat van al deze proeven wel in verhouding tot al den tijd en al de werkkracht welke er aan ten koste worden gelegd? Het meerendeel dezer onderzoekingen is gespeend van elke physiologische gedachte, vele onderzoekingen worden zelfs beheerscht door geheel onjuiste voorstellingen omtrent de voeding der planten!

Moet het ons dan nog verbazen, dat de resultaten in het algemeen zoo onbevredigend zijn? Inplaats van *doelbewust zoeken* ziet men op dit gebied zoo dikwerf: *tasten in den blinde.*

De toestand verbetert niet vóór men het onderzoek in de eerste plaats richt op de aangeduide *fundamenteele* vraagstukken. Naarmate ons inzicht in deze richting verdiept wordt, zullen we beter instaat zijn door proefnemingen een antwoord te krijgen op de vragen, welke voor de praktijk van meer direct belang zijn.

Nog steeds is men te veel van meening, dat de landbouwpraktijk het meest gebaat is met de onderzoekingen, welke zich nauw aan de praktijk aansluiten. Schijnbaar de kortste weg, in werkelijkheid een zéér lange weg, die dikwijls zelfs niet tot het gewenschte doel leidt en die veel nuttelooze krachtverspilling en ontmoediging veroorzaakt!

Wat we noodig hebben, wil het landbouwkundig onderzoek zich breeder kunnen ontwikkelen, is: streng wetenschappelijk onderzoek van de *fundamenteele* vraagstukken, onderzoek naar de wijze, waarop de planten het water en de anorganische voedingsstoffen opnemen, van de voorwaarden, welke vervuld moeten zijn, willen de wortels hunne gewichtige taak naar behooren vervullen, eene studie van de functies der aschbestanddeelen in de plant. Deze onderzoekingen moeten het hechte fundament vormen voor verder onderzoek in verband met de bemesting onzer cultuurgewassen.

Ongetwijfeld eene zeer zware taak, waarvoor slechts weinigen berekend zullen zijn, omdat men voor een vruchtbaar onderzoek in de aangegeven richting meerdere gebieden der natuurwetenschap moet beheerschen.

Maar indien aan onze Nederlandsche landbouwproefstations voor een ernstig wetenschappelijk plantenphysioloog de gelegenheid geopend werd om zich in *volle vrijheid* aan deze taak te geven, zou er dan niemand voor te vinden zijn, hetzij direct, hetzij binnen enkele jaren?

Een specialen eisch zal men uit den aard der zaak aan dezen onderzoeker moeten stellen, een eisch, welken men *niet* stelt aan den onderzoeker aan een universiteit. Hij zal warme belangstelling moeten hebben voor het landbouwkundig onderzoek in het algemeen en voor de landbouwpraktijk, zoodat hij zich volkomen bewust wordt en bewust blijft van de plaats, welke

zijn onderzoek op landbouwkundig gebied inneemt, en opdat de ervaringen bij andere onderzoekingen en in de praktijk opgedaan, zijn onderzoek sturen in die richting, welke voor den landbouw de meeste vruchten belooft. Een belemmering van het vrije wetenschappelijk onderzoek zal men dit niet kunnen noemen, neen, eerder zou ik er een voortdurende prikkel tot verder wetenschappelijk onderzoek in willen zien.

Een instituut voor landbouwkundig onderzoek schijnt mij het bij uitstek gewenschte milieu toe voor wetenschappelijke onderzoekingen omtrent de voeding der planten.

Ik mag hier niet onvermeld laten, dat reeds voor een zevental jaren door een op dit gebied zoo bevoegd man als Prof. Dr. F. A. F. C. Went [1]) op dezelfde gronden de aanstelling van wetenschappelijke botanici, ten behoeve van het landbouwkundig onderzoek, met groote warmte bepleit werd. En nog kort geleden heeft Prof. Went in zijn redevoering „Wetenschap en tropische landbouw", welke bestemd was voor de openingszitting van het Internationale Rubbercongres, dat in September 1914 te Batavia gehouden zou zijn geworden, de noodzakelijkheid betoogd om, in het belang van de landbouwpraktijk, te trachten door streng wetenschappelijk onderzoek een antwoord te krijgen op de vele *principieele* vragen met betrekking tot het plantenleven, waarop wij thans nog geen antwoord weten te geven.

Als voorbeelden wijst Prof. Went onder meer op de door mij genoemde vraagstukken.

Gelukkig bestaat er thans uitzicht, dat er binnen niet te langen tijd voorzien zal worden in de behoefte aan botanisch onderzoek ten behoeve van den landbouw. Onlangs is de Regeering overgegaan tot stichting van een Afdeeling voor Microbiologie aan het Rijkslandbouwproefstation te Groningen, terwijl het voornemen bestaat ook een afdeeling te stichten voor botanisch onderzoek.

Na in zijn rede „Wetenschap en tropische landbouw" enkele oorzaken genoemd te hebben, welke maakten, dat wij tot nu toe op tal van principieele vragen nog geen antwoord kregen, stelt Prof. Went de vraag, hoe men aan deze stelselloosheid van het wetenschappelijk onderzoek een einde kan maken, en hoe men tot stand zal kunnen brengen, dat bepaalde onderwerpen inderdaad zoo ver onderzocht worden, als met onze tegenwoordige methoden mogelijk is. Prof. Went antwoordt dan, — en ik schrijf dat antwoord hier af, omdat ook naar mijn meening slechts op deze wijze een stevige onderbouw voor verder vruchtdragend landbouwkundig onderzoek verkregen kan worden —: „*Door aan hoogstaande wetenschappelijke mannen een positie te verleenen, met als eenige voorwaarde, dat zij zich met onderzoekingen in*

---

1) Plantkunde en Landbouw. Rede uitgesproken bij de opening van de 135ste Algemeene Vergadering van het Provinciaal Utrechtsch Genootschap van Kunsten en Wetenschappen op 3 Juni 1908.

een bepaald onderdeel van een wetenschap bezig houden. Men eische dus geen resultaten, meer speciaal geen resultaten die van onmiddellijk belang voor de praktijk zijn, maar beperke alleen het veld van onderzoek, zoodat bijv. niet de geheele plantkunde voorwerp van waarneming zal mogen zijn, of ook niet de geheele plantenphysiologie, maar laat ons zeggen de voedselopname door de wortels, ..."

Over de *beperking* van het veld van onderzoek heb ik boven een enkel woord gezegd.

Laat ons hopen, dat het mogelijk moge blijken, neen het *moet* mogelijk zijn, om aan een wetenschappelijk botanicus een dergelijke positie bij het landbouwkundig onderzoek hier te lande te verleenen!

De vraag of het voor het onderzoek noodig zal zijn om, zooals Prof. Went verlangt, aan een dergelijk onderzoeker een beperkte onderwijsopdracht te verstrekken, moet hier onbesproken blijven; alleen wil ik verklaren, dat de wenschelijkheid hiervan wel door mij wordt gevoeld.

Groningen, December 1915.

LITERATUUROPGAVE.

1	Höber	Physikalische Chemie der Zelle und der Gewebe. 3te Auflage 1911.
2	Czapek	Biochemie der Pflanzen II 1905.
3	Loeb	On Ion-proteid compounds and their rôle in the mechanics of life phenomena. — I The poisonous charakter of a pure NaCl solution. The Amer. Journ. of Physiology III, 1900, 327.
4	„	Ueber den Einfluss der Wertigkeit und möglicherweise der elektrischen Ladung von Ionen auf ihre antitoxische Wirkung. Pflüger's Archiv f. die gesammte Physiologie 88, 1902, 68.
5	Loeb und Gies	Weitere Untersuchungen über die entgiftenden Ionenwirkungen und die Rolle der Wertigkeit der Kationen bei diesen Vorgängen. Pflüger's Archiv 93, 1903, 246.
6	Loeb	Weitere Bemerkungen zur Theorie der antagonistischen Salzwirkungen. Pflüger's Archiv. 107, 1905, 252.
7	„	Dynamik der Lebenserscheinungen 1906. S. 81.
8	„	The mechanistic conception of life. The Univ. of Chicago Press, 1912, Chap. IX. The rôle of salts in the preservation of life.
9*a*	„	Ueber den Mechanismus der antagonistischen Salzwirkungen. Biochem. Zeitschr. 36, 1911, 275.
9*b*	„	Untersuchungen über Permeabilität und antagonistische Elektrolytwirkung nach einer neuen Methode. Biochem. Zeitschr. 47, 1912, 127.

10*a*	Loeb	Der irreziproke Charakter des Antagonismus zwischen Anionen und Kationen. Biochem. Zeitschr. 66, 1914, 277.
10*b*	Anne Moore	Further evidence of the poisonous effects of a pure NaCl-solution. The Amer. Journ. of Physiology IV, 1900, 386.
11	Meltzer-Auer	The antagonistic action of calcium upon the inhibitory effect of magnesium. The Amer. Journ. of Physiologie 21, 1908, 400.
12	Osterhout	Extreme toxicity of NaCl and its prevention by other salts. The Journ. of Biol. Chem. Vol. I, 1905—1906, 363.
13	„	On the importance of physiologically balanced solutions for plants. Bot. Gaz. Bd. 42, 1906.
14	„	The antitoxic action of potassium on magnesium. University of California publications in Botany 1906. Vol. 2, 235 (Prel. comm.)
15	„	On the importance of physiologically balanced solutions for plants. Univ. of California publ. in Bot. 1906. Vol. 2. (Prel. comm.)
16	„	On the importance of physiologically balanced solutions for plants II Freshwater and terrestial plants. Bot. Gaz. 44, 1907, 259.
17	„	On nutrient and balanced solutions. Univ. of California publ. in Bot. 1907. Vol. II, 317.
18	„	The antagonistic action of Magnesium and Potassium. Bot. Gaz. Bd. 45, 1908.
19	„	Weitere Untersuchungen über die Uebereinstimmung der Salzwirkungen bei Tieren und Pflanzen. Jahrb. f. wiss. Botanik, Bd. 46, 1908, 121.
20	„	On similarity in the behaviour of sodium and potassium. Bot. Gaz. Bd. 48, 1909.
21	„	Quantitative criteria of Antagonism. Bot. Gaz. Bd. 58, 1914, 178

22	Osterhout	The measurement of Antagonism. Bot. Gaz. Bd. 58, 1914, 272.
23	„	The forms of antagonism curves as affected by concentration. Bot. Gaz. Bd. 58, 1914, 367.
24*a*	„	On the decrease of permeability due to certain bivalent kations. Bot. Gaz. Bd. 59, 1915, 317.
24*b*	„	Extreme alterations of permeability without injury. Bot. Gaz. Bd. 59, 1915, 242.
24*c*	„	The effect of some trivalent and tetravalent kations on permeability. Bot. Gaz. Bd. 59, 1915, 464.
24*d*	„	The determination of additive effects. Bot. Gaz. Bd. 60, 1915, 228.
24*e*	„	The permeability of living cells to salts in pure and balanced solutions. Science N. S. 34, 1911, 187.
24*f*	„	The permeability of protoplasm to ions and the theory of antagonism. Science N. S. 35, 1912, 112.
24*g*	„	Reversible changes in permeability, produced by electrolytes. Science N. S. 36, 1912, 350.
24*h*	„	On the nature of antagonism. Science N. S. 41, 1915, 255.
25	O. Loew	Ueber die physiologischen Funktionen der Calcium- und Magnesiumsalze im Pflanzenorganismus. Flora 75, 1892, 368.
26	„	Ueber das Mineralstoffbedürfniss von Pflanzenzellen. Bot. Centr. bl. 63, 1895, 161.
27	„	Ueber die physiologischen Funktionen der Calciumsalze. Bot. Centr. bl. 74, 1898, 257.
28	„	Unter welchen Bedingungen wirken Magnesiumsalze schädlich auf Pflanzen? Flora 92, 1903, 489.
29	„	Ueber die Giftwirkung von Fluornatrium auf Pflanzen. Flora 94, 1905.
30	„	Ueber die Veränderung des Zellkernes durch kalkfällende Mittel. The Bull. of the Coll. of Agric. Tokyo Imp. Univ. Vol. VII, 1906, pg. 7.

31	O. Loew	Note on balanced solutions. Bot. Gaz. Bd. 46, 1908, 302.
32	Loew-Aso	On physiologically balanced solutions. The Bull. of the Coll. of Agric. Tokyo Imp. Univ. Vol. VII, 395.
33	O. Loew	Ueber die Abhängigkeit des Maximalertrags von einem bestimmten quantitativen Verhältnisse zwischen Kalk und Magnesia im Boden. Landw. Jahrb. 31, 1902, 561.
34	„	Einige Bemerkungen zur Giftwirkung der Salze des Magnesiums, Strontiums und Baryums auf Pflanzen. Landw. Jahrb. 32, 1903, 509.
35	„	Ueber das Kalkbedürfniss der Pflanzen. Landw. Jahrb. 34, 1905, 131.
36	„	Kalkdüngung und Magnesiadüngung. Landw. Jahrb. 35, 1906, 527.
37	„	Ueber angebliche Widerlegung der Lehre vom Kalkfactor. Landw. Jahrb. 39, 1910, 335.
38	„	Ist die Lehre vom Kalkfactor eine Hypothese oder eine bewiesene Theorie? Landw. Jahrb. 46, 1914, 733.
39	Dr. J. C. de Ruyter de Wildt	De theorie van O. Loew en „is een maximale opbrengst gebonden aan een bepaalde verhouding tusschen de beschikbare hoeveelheden kalk en magnesia?" Cultura 1906, pg. 463, 505, 557, 650.
40	Boehm (Joseph)	Ueber den vegetabilischen Nährwerth der Kalksalze. Sitz. Ber. der Kais. Akad. der Wiss. Wien. Bd. 71, 1875, 1ster Abt. Math. Naturw. Cl.
41	v. Raumer und Kellermann	Ueber die Function des Kalks im Leben der Pflanze. Landw. Versuchsst. 25, 1880, 25.
42*a*	von Raumer	Kalk und Magnesia in der Pflanze. Landw. Versuchsst. 29, 1883, 253.
42*b*	Bruch	Zur physiologischen Bedeutung des Calciums in der Pflanze. Landw. Jahrb. 1901, Ergänzungsband III, 127.

43 Ritter von Portheim und M. Samec — Ueber die Verbreitung der unentbehrlichen anorganischen Nährstoffe in den Keimlingen von Phaseolus vulgaris II, Flora 99, 1909, 260.

44a von Portheim — Ueber die Notwendigkeit des Kalkes für Keimlinge, insbesondere bei höherer Temperatur. Sitzungsber. der Kais. Akad. der Wiss., Wien. Bd. 110, 1901, Abt. I.

44b M. Eisler und L. von Portheim — Ueber die Beeinflussung der Giftwirkung des Chinins auf Elodea canadensis durch Salze. Biochem. Zeitschr. 21, 1909, 59.

45 Benecke — Ueber Culturbedingungen einiger Algen. Bot. Zeit. 56, 1898, 93.

46 „ — Ueber Oxalsäurebildung in grünen Pflanzen. Bot. Zeit. 61, 1903, 79.

47 „ — Einige neuere Untersuchungen über den Einfluss von Mineralsalzen auf Organismen. Bot. Zeit. 62, 1904, 2te Abt. 114.

48 „ — Ueber die Giftwirkung verschiedener Salze auf Spirogyra und ihre Entgiftung durch Calciumsalze Ber d. deutsch. Bot. Gesell. 25, 1907, 322.

49 Hansteen — Ueber das Verhalten der Kulturpflanzen zu den Bodensalzen. Jahrb. f. wiss. Bot. 47, 1910, 289.

50 „ — Ueber das Verhalten der Kulturpflanzen zu den Bodensalzen III. Beiträge zur Biochemie und Physiologie der Zellwand lebender Zelle. Jahrb. f. wiss. Bot. 53, 1914, 536.

51 A. v. Liebenberg — Untersuchungen über die Rolle des Kalkes bei der Keimung von Samen. Sitzungsber. d. Kais. Akad. d. Wiss. in Wien Bd. 84, 1881, Abt. I. Math. Naturw. Cl.

52 Niklewski — Ueber den Austritt von Ca- und Mg-Ionen aus der Pflanzenzelle. Ber. d. Deutsch. Bot. Gesell. 27, 1909, 224.

53 Magowan — The toxic effect of certain common salts of the soil on plants. Bot. Gaz. Bd. 45, 1908, 45.

54 Meurer — Ueber die regulatorische Aufnahme anorganischer Stoffe durch die Wurzeln von Beta vulgaris und Daucus carota. Jahrb. f wiss Bot. 46, 1909, 503.

55 Nathansohn — Weitere Mitteilung über die Regulation der Stoffaufnahme. Jahrb. f. w. Bot. 40, 1904, 403.

56 W. Ruhland — Zur Frage der Ionenpermeabilität. Zeitschr. f. Bot. 1, 1909, 747.

57 Szücs (Joseph) — Experimentelle Beiträge zu einer Theorie der antagonistischen Ionenwirkungen. I Mitteilung, Jahrb. f. wiss. Bot. 52, 1913, 85.

58 Wo. Ostwald- und Dernoscheck — Ueber die Beziehungen zwischen Adsorption und Giftigkeit. Koll. Zeit. 6, 1910, 297.

59 Lemmermann-Einecke und Fischer — Untersuchungen über die Wirkung eines verschiedenen Verhältnisses von Kalk und Magnesia in einigen Böden auf höhere Pflanzen und Mikroorganismen. Landw. Jahrb. 40, 1911, 173.

60 Warthiadi — Veränderungen der Pflanze unter dem Einfluss von Kalk und Magnesia. Diss. München 1911.

61 D. Meyer — Die Abhängigkeit des Maximalertrages von einem bestimmten Verhältnisse von Kalk und Magnesia im Boden. Landw. Jahrb. 39, 1910, Erg. Bd. III, pg. 254.

62 „ — Ueber die Abhängigkeit des Maximalertrages von einem bestimmten Verhältnisse von Kalk und Magnesia im Boden. Landw. Jahrb. 40, 1911, 339.

63 Haselhoff — Ueber die Wirkung von Kalk und Magnesia bei der Ernährung der Pflanzen. Landw. Jahrb. 45, 1913, 609.

64 Lipman and Gericke — Antagonism between anions as affecting barley yields on a clay-adobe soil. Journ. of Agric. research Vol. IV, 1915, 201.

Ueber antagonistische Salzwirkungen bei Pflanzen.

(Kurze Zusammenfassung obiger Ausführungen).

In den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts fand Sidney Ringer, dass die Muskeln in einer „physiologischen" Kochsalzlösung bald in Zuckungen verfallen. Diese Zuckungen können jedoch aufgehoben werden durch den Zusatz von kleinen Mengen K- oder Ca- Salze, oder noch besser durch den Zusatz beider in Mengen, wie sie ungefähr im Blut vorkommen. Gleichzeitig damit wird auch die Lebensdauer sehr vergrössert. Auf Grund dieser Erfahrung, welche später von Locke bestätigt wurde, wird heute mehr und mehr die alte physiologische Kochsalzlösung von der Ringer-Locke'sche Lösung verdrängt.

Seitdem haben sich mehrere Tierphysiologen mit dem Studium der Forderungen, welche von Tieren und tierischen Zellen an der Zusammensetzung des Mediums gestellt werden, beschäftigt. So fand Herbst am Ende des vorigen Jahrhunderts, dass für die Entwicklung der befruchteten Eier von Seeigeln zu Larven durchaus unentbehrlich sind: Na, K, Ca, Mg, Cl, SO_4, HCO_3 und ein geringfügiger Ueberschuss an OH-Ionen über die H-Ionen.

Die obengenannten Bestandteile sind die Komponenten des normalen Meerwassers. welches nach van 't Hoff u. a. auf 100 Moleküle Na Cl ungefähr 2,2 KCl, 7,8 Mg Cl_2, 3,8 Mg SO_4 und 2,3 Ca Cl_2 enthält. Die Zusammensetzung der Ringer Locke'sche Lösung weicht nur insofern hiervon ab, dass nur das Mg und das SO_4 des Meerwassers fehlt; das Verhältniss der einzelnen Ionen-konzentrationen ist in der Ringer-Locke'sche Lösung aber ganz ähnlich dem Verhältnisse der entsprechenden Ionen im Meerwasser. Hieraus folgt, dass, was die anwesenden Salze betrifft, eine merkwürdige Uebereinstimmung zwischen dem Blute der Wirbeltiere und dem Meerwasser besteht.

Hauptsächlich durch die Untersuchungen von Jacques Loeb sind viele interessante Tatsachen, in Bezug auf die Bedeutung der Ionenkombinationen für das Leben der tierischen Zellen, zu Tage gefördert worden.

Loeb experimentierte vor allem mit den befruchteten Eiern und den sich daraus ergebenden Embryonen des Fundulus heteroclitus. Versetzte er die befruchteten Funduluseier aus dem Meerwasser in eine reine Na Cl-Lösung, welche dem Meerwasser isotonisch war,

so fand er, dass alle Eier abstarben. Die Kochsalzlösung konnte jedoch durch Zusatz von kleinen Mengen von einem fast beliebigen Salz mit mehrwertigem Kation (Mg, Ca, Sr, Ba, Ni, Co, Mn, Zn, Pb, UO_2) zu einem Medium gemacht werden, in welchem die Eier sich mehr oder weniger gut entwickeln konnten. Nicht nur Salze des Calciums oder des Magnesiums, sondern auch typische Protoplasmagifte, wie Blei- und Zinksalze, waren hierzu imstande. Dieses gilt jedoch nur für die Eier; sobald die Larve sich aus dem Ei freigemacht hat, ist Zusatz von $Ca\,Cl_2 + KCl$ zu der Kochsalzlösung unbedingt notwendig für das Leben.

Untersuchungen von Osterhout haben nun gelehrt, dass auch die niedrigeren und höheren Wasser- und Landpflanzen reine Salzlösungen sehr schlecht, dagegen gewisse Gemische sehr gut vertragen. So hat eine reine Na Cl- oder KCl-Lösung (conc. $= \frac{3\ M}{25}$ L) für die Wurzeln des Weizens stark giftige Eigenschaften: das Wachstum stellt sich bald ein und beim längeren Verweilen in der genannten Lösung sterben die Wurzeln ab. Setzt man aber auf 1000 cc Na Cl oder KCl nur 10 cc einer $Ca\,Cl_2$-Lösung mit derselben molekulären Konzentration zu, so bekommt man eine Lösung, worin die Weizenwurzeln recht gut wachsen

Zwischen dem Na- resp. K-Ion einerseits, und dem Ca-Ion andererseits, besteht also ein sehr deutlicher Antagonismus. Dass auch zwischen Mg und Ca ein Antagonismus besteht, wurde schon viele Jahre vor Osterhout von Oscar Loew erkannt. Weiter zeigten die Untersuchungen Osterhouts, dass auch Na und K, Na und Mg, gewissermassen als physiologische Antagonisten zu betrachten sind.

Seine Untersuchungen über die „physiologische Reaktion" verschiedener Salze, worüber früher [1]) in diesen Mitteilungen berichtet wurde, gaben Verfasser Veranlassung, die Versuche Osterhouts, nach der von Verfasser bei den obengenannten Untersuchungen gefolgten Methode, zu wiederholen.

Die von Verfasser angewandte Versuchsmethode ist aus Abbildung III ersichtlich. Die Blumentöpfe sind gefüllt mit Gartenerde, die Bechergläser mit den zu untersuchenden Salzlösungen. Die Löcher im Boden der Töpfe sind soviel wie möglich vergrössert um das Austreten der Wurzeln zu fördern; die Löcher sind durch ein dünnes Baumwollhäutchen abgeschlossen um das Ausfallen von Erde vorzubeugen.

Der grosse Vorteil dieser Versuchsanordnung ist nach der Meinung

---

[1]) Verslagen van landbouwkundige onderzoekingen der Rijkslandbouwproefstations X, 1911.

des Verfassers, dass man experimentiert mit Wurzeln, welche Teil ausmachen von normal ernährten Pflanzen, was nicht der Fall ist, wenn man Keimpflanze mit dem ganzen Wurzelsystem in den Salzlösungen weiter wachsen lässt. Bei diesen Versuchen ist also die ungestörte Zufuhr, von allen für das Wachstum der Wurzeln nötigen Stoffe, gewährleistet, solange keine Schädigung der Wurzeln durch die omringende Lösing stattgefunden hat.

Aus den von Verfasser mit Mais angestellten Versuchen (siehe die Abbildungen) geht hervor, dass Lösungen von Na Cl, KCl, $Mg\ Cl_2$ und $Mg\ SO_4$, oberhalb einer bestimmten Konzentration stark giftige Eigenschaften für die Wurzeln besitzen, nicht nur wenn das ganze Wurzelsystem in die Salzlösung eintaucht, sondern auch, wenn die in die Salzlösungen eintauchenden Wurzeln Teil einer übrigens normal ernährten Pflanze ausmachen. $Ca\ Cl_2$ hat eine viel geringere Giftigkeit; bei einer Konzentration von $\frac{3}{25}$ M pro L (= 26,28 gr. $Ca\ Cl_2$ 6aq) findet noch ein bedeutendes Wachstum statt, indem die übrigen Salze bei derselben Konzentration vom Anfang an jedes Wachsen verhindern.

Selbst bei der Konzentration $\frac{3}{25}$ M wird die Giftwirkung einer Na Cl- oder KCl-Lösung durch Zusatz von nur 10 cc $Ca\ Cl_2$ ($\frac{3}{25}$ M) auf 1138 cc Na Cl oder KCl aufgehoben. Um dasselbe Resultat bei einer $Mg\ Cl_2$- oder $Mg\ SO_4$-Lösung zu erreichen, ist bedeutend mehr $Ca\ Cl_2$ nötig.

Die Existenz einer antagonistischen Wirkung zwischen Na Cl und KCl und zwischen Na Cl und $Mg\ SO_4$, wie Osterhout bei seinen Versuchen gefunden hat, konnte nicht mit Gewissheit festgestellt werden. Jedoch gaben die Versuche von Verfasser Anweisungen, welche die Vermutung rechtfertigen, dass in der Tat antagonistische Wirkungen zwischen den obengenannten Salzen existieren; die von Verfasser angewandte Versuchsmethode eignet sich aber nicht zur Konstatierung geringerer Unterschiede in Giftwirkung der Lösungen. Jedenfalls aber ist die Abnahme der Giftwirkung, wenn man zwei oder mehr der Salze Na Cl, KCl, $Mg\ Cl_2$, und $Mg\ SO_4$ mit einander mischt, äusserst gering und tritt diese Giftigkeitsabnahme weit zurück bei der, welche man wahrnimmt, wenn man nur sehr geringe Mengen $Ca\ Cl_2$ den reinen Salzlösungen zusetzt.

Die Calciumsalze spielen bei diesen Erscheinungen eine ganz besondere Rolle, welche durch kein anderes Salz übernommen werden kann. Offenbar ist die Rolle des Calciums hier nicht die eines Nährstoffes, weil die für das Wachstum der Wurzeln benötigten Baustoffe in genügender Menge von der normal ernährten Pflanze den Wurzeln zugeführt werden können.

Im dritten Abschnitt seiner Abhandlung gibt Verfasser eine

Uebersicht von den bisjetzt angestellten Untersuchungen nach der Bedeutung des Calciums für das Pflanzenleben, und von den Untersuchungen, welche das Studium der antagonistischen Ionenwirkungen bei Pflanzen zum Zweck haben. Eingehend werden die Versuche Oscar Loew's, der schon viele Jahre vor Loeb und Osterhout Ca und Mg als ausgeprägte Antagonisten erkannte, besprochen.

Bereits in 1892 gab Loew eine plausibele Erklärung für diesen, bei seinen Versuchen mit Spirogyra, beobachteten Antagonismus; diese Erklärung ist im Wesen identisch mit der, welche später von Loeb für die antagonistischen Ionenwirkungen gegeben wurde.

Es hat Verfasser befremdet, dass Loew nach den Untersuchungen von Benecke, Loeb, Osterhout u. a. sich zu dem Antagonismus zwischen Mg und Ca beschränkt, und seine Versuche nicht auch zu anderen Salzen ausgedehnt hat. Auch muss es Befremdung wecken, dass die Untersuchungen von Osterhout und von Hansteen, Loew keine Veranlassung gaben seine Versuche, anstatt mit Spirogyra, mit Wurzeln höherer Pflanzen zu wiederholen.

Alsdann behandelt Verfasser die Untersuchungen Hansteen's. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zwungen Hansteen zu der Annahme, dass die Erkrankung einer Pflanze in einem kalkfreien, resp. ihre normale Entwicklung in einem kalkhaltigen Medium jedenfalls hauptsächlich und in erster Linie nicht auf Innen-, wie Loew annimmt, sondern auf Oberflächewirkungen beruhen; Kalk ist deshalb notwendig, weil er eine Bedingung für die normale Ausbildung und die erforderlich Erhaltung der Zellwände und der Zellverbände ist. Durch Hansteen's weitere Untersuchungen über die Zusammensetzung der Zellwände, hat seine Auffassung über die Rolle des Kalkes bei der Ausbildung der Pflanzenwurzeln, eine kräftige Stütze bekommen.

Loew erklärt die antagonistische Wirkung zwischen Ca und Mg durch die Annahme, der Chlorophyllkörper enthalte ein Gerüst, bestehend aus der Ca-Verbindung des Plastins, und der Zellkern ein Gerüst, bestehend aus der Ca-Verbindung des Nucleïns; bei der Einwirkung von Mg-Salzen von starken Säuren sollte ein Austausch von Ca gegen Mg stattfinden, wodurch die physikalische Beschaffenheit der Gerüstsubstanz verändert, die Quellungscapazität eine andere wird, und wahrscheinlich die Festigkeit verringert.

Scheinbar stehen beide Erklärungen einander gegenüber. Man bedenke aber, dass Loew seine Theorie austellte auf Grund seiner Versuche mit *Algen*, Hansteen kam zu seiner Theorie durch Versuche mit *Pflanzenwurzeln*.

Die Theorien von Loew und von Hansteen beziehen sich also auf zwei ganz verschiedene Erscheinungen!

Nach Verfassers Meinung hat man es überhaupt bei den antagonistischen Ionenwirkungen nicht mit ein und derselben Erscheinung,

sondern mit *mehreren* Erscheinungen zu tun. Und je nachdem man es, durch Wahl des Versuchsobjects oder der Untersuchungsmethode, mit der einen oder mit der anderen Erscheinung zu tun hat, wird man auch ganz verschiedene Theorien zur Erklärung der beobachteten Erscheinung aufstellen müssen. Um, wie Loew tut, stillschweigend anzunehmen, dass die Erklärung des Antagonismus zwischen Ca und Mg bei der Wirkung von Ca- und Mg-Salzen auf Algenzellen, allgemein geltend ist, überall wo man Antagonismus zwischen Ca und Mg bei Pflanzenzellen wahrnimmt, ist nicht zulässig.

Zur Bekräftigung dieser Meinung weist Verfasser noch auf die Untersuchungen von Szücs hin.

Weiter bespricht Verfasser die jüngeren Arbeiten Osterhout's über die quantitativen Kriteria des Antogonismus. Obschon er einige Bemerkungen gegen den theoretischen Betrachtungen Osterhout's anführt, meint er, dass sie zu fruchttragenden Untersuchungen, welche die Lösung der Frage der antagonistischen Wirkungen am sehrsten fördern werden, Veranlassung geben können.

Am Schlusse des dritten Abschnittes tritt Verfasser der Frage näher nach der Uebereinstimmung und dem Unterschiede zwischen der Erscheinung des Antagonismus bei Tieren und bei Pflanzen. Er komt zu dem Schlusse, dass von Uebereinstimmung schon darum nicht die Rede sein kann, weil man auch bei den tierischen Zellen nicht mit einer Erscheinung, sondern mit einer grossen Zahl verschiedener Erscheinungen zu tun hat. Ebenso wenig gelingt es typische Unterschiede auf zu weisen. Alle antagonistische Wirkungen, sowohl bei Tieren als bei Pflanzen, haben jedoch dieses gemeinschaftlich, dass es allen Kolloid-Reaktionen sind; weiter steht es fest, dass sowohl im Tier- wie im Pflanzenreiche das Ca-Ion eine besondere Bedeutung zukommt.

Hinsichtlich der vor allem von Loew und seinen Schülern angestellten Untersuchungen mit Beziehung zu den antagonistischen Salzwirkungen (Ca versus Mg; Loew'sche Kalkfactor) bei Pflanzen, welche im natürlichen Boden wachsen, weist Verfasser auf die Schwierigkeiten, welche diese Untersuchungen darbieten. Loew und seine Mitarbeiter haben diese Schwierigkeiten wohl nicht ausser Acht gelassen, aber doch tatsächlich unterschätzt. Zu verwundern ist es dann auch nicht, dass diese Untersuchungen im allgemeinen dasselbe verworrene und wenig befriedigende Bild zeigen wie soviele andere Untersuchungen auf dem Gebiete der Düngung.

Im letzten Abschnitt hebt Verfasser besonders hervor, wie lückenhaft unsere Kenntniss, von der Weise, worauf die Wurzeln ihre wichtigen Funktionen ausüben, noch stets ist.

Die diesbezüglichen Fragen, welche für die Landwirtschaft als von *prinzipieller Bedeutung* zu betrachten sind, wurden bisjetzt all

zu sehr vernachlässigt. *Richtet man aber die Forschung nicht auf diese fundamentellen Fragen, so sind viele landwirtschaftliche Untersuchungen, speziell auf dem Gebiete der Düngung, zur Unfruchtbarkeit verurteilt.*

Eine ausführliche Literaturangabe ist der Abhandlung beigefügt.

Landwirtschaftliche Versuchsstation — Groningen.