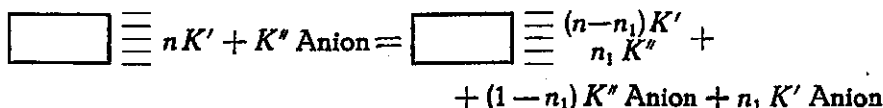


Natuurkunde. — H. J. C. TENDELOO, G. J. VERVELDE en A. J. ZWART VOORSPUIJ:
*Elektrochemisch gedrag van ionen-wisselende stoffen. Potentiaalmetingen aan
 plantenwortels.* (Aangeboden door Prof. H. R. KRUYT.)

(Aangeboden in de zitting van 29 April 1944.)

Zoals bekend is hebben vele vaste stoffen de eigenschap om aan het oppervlak ionen te adsorberen. Wanneer een dergelijke vaste stof gebracht wordt in een oplossing van een of meer elektrolyten, dan stelt er zich een evenwicht in, waarbij de ionen van de vaste stof wisselen tegen de ionen uit de oplossing. In de meeste gevallen is er kationen-wisseling, die in geringe mate beïnvloed wordt door de aanwezige anionen. Omgekeerd zal een anionen-wisseling beïnvloed worden door de aanwezige kationen. Schematisch kan de kationen-wisseling als volgt worden voorgesteld:



waarin de kationen K' niet van dezelfde soort behoeven te zijn.

Talrijke onderzoeken zijn gewijd aan de kationen-wisseling, die voor processen in het levend organisme, den bodem, de techniek e.a. onderdeelen der wetenschap van het allergrootste gewicht is. Door het onderzoek van glaselektroden, van andere samenstelling dan gebruikelijk voor de bepaling van den pH , is gebleken¹⁾, dat het gedrag van glazen als elektrode materiaal begrepen kan worden door beschouwingen, die gebaseerd zijn op de wet der massawerking. Sommige glazen gedragen zich als een materiaal, dat met alle kationen uit de oplossing wisselingen vertoont zonder dat van een bevoorrechtiging van het waterstofion sprake is. Het glas gedraagt zich elektrochemisch als een volledige mengelektrode, welke potentiaal met de theoretisch afgeleide formules beschreven kan worden.

Het bleek nu voorts mogelijk om langs anderen weg te komen tot een inzicht in de potentiaal van ionen-wisselend materiaal, dat in contact wordt gebracht met elektrolytoplossingen van verschillende concentraties. Hierbij werd uitgegaan van de overweging, dat aan het ionen-wisselend oppervlak een andere ionen-concentratie bestaat dan in de vloeistof. In eerste instantie moest het niet uitgesloten geacht worden, dat deze ongelijke ionenverdeling met behulp van het z.g. DONNAN-evenwicht beschreven zou kunnen worden. Daartoe zijn onderzoeken verricht over de potentiaal van plantenwortels in verdunde elektrolytoplossingen, waarover reeds door LUNDEGÅRDH uitvoerige studies gepubliceerd zijn geworden.

Laten wij ons voorstellen²⁾, dat de plantenwortel is opgebouwd uit een dunnen (cellulose) wand, waarbinnen molekulen en molekuulcomplexen, die zure en basische eigenschappen hebben, en die dus waterstof- en hydroxyionen afsplitsen, aanwezig zijn in water. Laten wij voor het oogenblik alleen rekening houden met de waterstofionen-afsplitsende groepen ZH , wier concentratie A is, en die den wand niet kunnen passeeren. De voorwaarden voor het optreden van een DONNAN-evenwicht zijn dan aanwezig.

¹⁾ H. J. C. TENDELOO en A. J. ZWART VOORSPUIJ, Rec. Trav. Chim. 62, 784 en 793 (1943). A. J. ZWART VOORSPUIJ, Onderzoekingen over Glaselectroden. Diss. Utrecht 1943.

²⁾ H. J. C. TENDELOO, G. J. VERVELDE en A. J. ZWART VOORSPUIJ, Rec. Trav. Chim. 63, 97 (1944).

Laat dit systeem zich bevinden in een oplossing waarin alleen kaliumchloride aanwezig is, terwijl voorts de verbinding KZ volledig gedissocieerd gedacht wordt.

Het evenwicht zal dan als volgt zijn:

Componenten	Wortel			Wand	Medium	
	Z^-	K^+	Cl^-		K^+	Cl^-
Concentratie	A	y	$y-A$		c	c

waarvoor volgens DONNAN geldt

$$y(y-A) = c^2. \quad \dots \quad (1)$$

Tengevolge van de ongelijke ionenverdeling, want de concentratie van kalium-ionen in den wortel is grooter dan in het medium, terwijl die van het chloorion in het medium grooter is dan die in den wortel, bestaat er een potentiaalverschil, dat volgens NERNST de waarde heeft

$$E = \frac{RT}{F} \ln v \quad \dots \quad (2)$$

als v voorstelt de verhouding der concentraties voor elk ion aan beide zijden van den wand, dus

$$v = \frac{c}{y} = \frac{y-A}{c} \quad \dots \quad (3)$$

De waarde van v is te berekenen uit de vergelijking

$$v^2 + \frac{A}{c} v - 1 = 0. \quad \dots \quad (4)$$

Dezelfde berekeningen kunnen uitgevoerd worden wanneer de wortel in contact gedacht wordt met twee kationen en één anion, waarbij het evenwicht als volgt wordt voorgesteld:

Componenten	Z^-	Wortel			Wand	Medium		
		K^+	H^+	Cl^-		K^+	H^+	Cl^-
Concentratie	A	y_1	y_2	$(y_1 + y_2 - A)$		c_1	c_2	$c_1 + c_2$

Op analoge wijze is dan

$$v = \frac{c_1}{y_1} = \frac{c_2}{y_2} = \frac{y_1 + y_2 - A}{c_1 + c_2} \quad \dots \quad (5)$$

terwijl de waarde van v gevonden wordt uit

$$v^2 + \frac{A}{c_1 + c_2} v - 1 = 0. \quad \dots \quad (6)$$

Houdt men de waarde van $c_2 = 10^{-5}$, een waterstofionenconcentratie die in koolzuurhoudend water aannemelijk is, neemt men voorts voor A een willekeurige waarde aan, $A = 10^{-1}$, terwijl men c_1 wisselende waarden geeft, dan kan men voor $18^\circ C$ met behulp van de formule

$$E = 57.7 \log v \quad \dots \quad (7)$$

het verloop van E als functie van c_1 berekenen en in grafiek brengen. Men vindt dan curve A in figuur 1, terwijl curve B geldt voor een waarde van $c_2 = 10^{-4}$.

Het valt niet te ontkennen, dat een zekere overeenkomst met aan plantenwortels

werkelijk gemeten potentialen in afhankelijkheid van de elektrolytconcentratie der buitenoplossing bestaat. Hiervan zijn er enkele getekend in figuur 2, terwijl in tabel 1 de

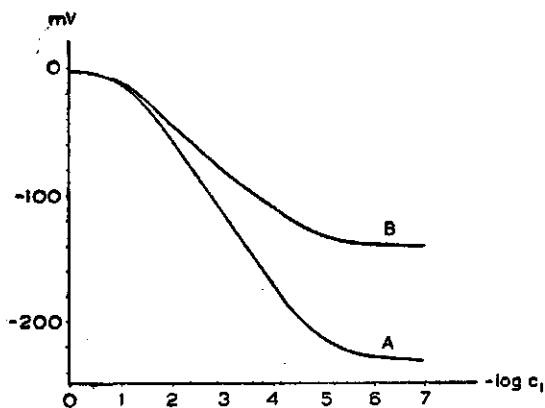


Fig. 1.

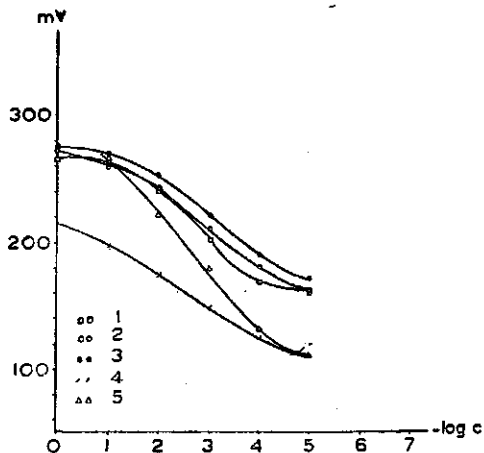


Fig. 2.

daarbij behorende waarden der gemeten e.m.k. van elementen, waarin de plantenwortel als ééne elektrode was opgenomen, vermeld zijn.

TABEL 1.

Plant	Normaliteit KCl	E. M. F.					Curve Fig. 2	
		10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹		10 ⁰
Solanum tuberosum		161	169	202	240	263	265	1
Phaseolus vulgaris		161	180	210	242	259	271	2
Beta vulgaris		172	190	222	254	269	274	3
Triticum vulgare		115	125	149	174	198	215	4
Triticum vulgare (Lundegårdh)		115	132	180	222	267	—	5

Het lijkt waarschijnlijk, dat het acidoid van den plantenwortel, HZ, niet volledig gedissocieerd zal zijn, m.a.w. dat het zich als een zwak zuur zal gedragen.

De ongedissocieerde verbinding HZ zal geen rechtstreekschen invloed uitoefenen op de potentiaal van den wortel, echter wel indirect, doordat er een evenwicht bestaat tusschen het ongedissocieerde deel HZ en het gedissocieerde gedeelte, gevormd door Z⁻ en de als partner hiervan optredende H⁺ en metaalionen, welke laatste twee wel invloed hebben op de potentiaal. We krijgen hier dus een ietwat gecompliceerder systeem, waarbij, indien de ionenconcentraties in het milieu wisselen, ook het aantal negatieve Z⁻ ionen, die bepalend zijn voor het ontstaan van het DONNAN-evenwicht, wisselt.

Het dissociatie-evenwicht, dat in den wortel bestaat, kan met de massawerkingswet beschreven worden; er geldt:

$$K = \frac{[Z^-][H^+]}{[ZH]} \dots \dots \dots (8)$$

en, omdat $[Z^-] + [ZH] = A$, wordt

$$[Z] = \frac{AK}{K + [H^+]} \dots \dots \dots (9)$$

en wanneer we nog $K' = \frac{1}{K}$ stellen, krijgen we

$$[Z^-] = \frac{A}{1 + [H^+] K'} \dots \dots \dots (10)$$

waarbij $[H^+]$ dan de $[H^+]$ -concentratie binnen den wortel voorstelt.

De concentratieverdeling aan weerszijden van den wortelwand kan nu als volgt voorgesteld worden, in het geval we als diffundeerende ionen K^+ , H^+ en Cl^- hebben:

Componenten	Wortel					Wand	Milieu		
	HZ	Z ⁻	K ⁺	H ⁺	Cl ⁻		K ⁺	H ⁺	Cl ⁻
Concentratie	A-z ₁	z ₁	y ₁	y ₂	z ₂		c ₁	c ₂	c ₁ +c ₂

In dit systeem geldt:

$$v = \frac{c_1}{y_1} = \frac{c_2}{y_2} = \frac{z_2}{c_1 + c_2} \dots \dots \dots (11)$$

waarbij v dan weer de verhouding der ionenconcentraties aan weerszijden van den wand is.

Verder hebben we

$$z_1 + z_2 = y_1 + y_2 \dots \dots \dots (12)$$

en ook nog volgens (9)

$$z_1 = \frac{A}{1 + K' y_2}$$

Wanneer we de vergelijkingen (11) en (12) verder uitwerken vinden we voor v de betrekking

$$v^3 + \left(K' c_2 + \frac{A}{c_1 + c_2} \right) v^2 - v - K' c_2 = 0 \dots \dots \dots (13)$$

Bij $K' = 0$ (volledige dissociatie) gaat deze vergelijking over in vergelijking (6).

Deze vrij eenvoudige cubische vergelijking blijkt tenslotte wiskundig vrij onoverzichtelijk te zijn, zoodat we ons voorloopig tevreden stellen met kwalitatieve beschouwingen, toegelicht aan de hand van curves, die met behulp van bepaalde voor de verschillende grootheden aangenomen waarden geconstrueerd zijn.

In tabel 2 is het potentiaal-verloop gegeven voor het geval, dat $A = 10^{-1}$, $K' = 10^{-4}$ en $c = 10^{-5}$, terwijl c_1 weer wisselt.

E is volgens formule (7) berekend met de uit formule (13) gevonden waarden van v .

TABEL 2.

Conc c ₁	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷
E	-2	-11	-47	-83	-113	-136	-143	-145

De bijbehorende curve is weergegeven in fig. 3 (curve B). We kunnen dit geval direct vergelijken met curve A van fig. 1, die voor het gemak ook in fig. 3 ingetekend is. De beide gevallen verschillen slechts daarin, dat in het eene geval volledige, in het andere onvolledige dissociatie voor HZ is aangenomen.

We zien, dat als gevolg van de onvolledige dissociatie van HZ de afstand tusschen de beide asymptoten kleiner wordt, alsmede, dat de maximale potentiaal-verandering bij 10-voudige verdunning aanzienlijk kleiner is geworden dan 58 mV (ruim 36 mV tusschen 10⁻¹ en 10⁻³ norm KCl).

Hier zien we dus een o.a. bij de plantenwortels inderdaad waargenomen belangrijke afwijking van de „ideale” elektrodefunctie optreden.

Wenschelijk zou het zijn om uit de experimenteële waarden de grootte der constanten K' en A voor het gemeten object af te kunnen leiden. Alvorens wij hiertoe overgaan, willen we eerst nog een overzicht geven van de wijze, waarop veranderingen in de grootheden c_1 , c_2 , K' en A hun invloed doen gelden op de potentialen en op het verloop van de curve, die de betrekking tusschen E en c_1 weergeeft. Daartoe zijn in tabel 3 een aantal berekende potentialen samengebracht, waarbij thans ook de grootte A wisselende waarden heeft.

TABEL 3.

Grootheden	c_1	10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	Curve Fig. 4
$A = 10^{-1}$ $c_2 = 0$		-1	-12	-58	-116	-174	-232	-290	-348	1
$A = 10^{-2}$ $c_2 = 0$		0	-1	-12	-58	-116	-174	-232	-290	2
$A = 10^{-1}$ $c_2 = 10^{-5}$ $K' = 0$		-1	-12	-58	-116	-172	-215	-230	-232	3
$A = 10^{-2}$ $c_2 = 10^{-5}$ $K' = 0$		0	-1	-12	-58	-114	-157	-172	-174	4
$A = 10^{-1}$ $c_2 = 10^{-5}$ $K' = 0$		-1	-12	-58	-114	-157	-172	-174	-174	5
$A = 10^{-2}$ $c_2 = 10^{-4}$ $K' = 0$		0	-1	-12	-56	-99	-114	-116	-116	6
$A = 10^{-1}$ $c_2 = 10^{-5}$ $K' = 10^4$		-1	-11	-47	-83	-113	-136	-143	-145	7
$A = 10^{-2}$ $c_2 = 10^{-5}$ $K' = 10^4$		0	-1	-11	-46	-82	-105	-114	-116	8
$A = 10^{-3}$ $c_2 = 10^{-5}$ $K' = 10^4$		-1	0	-1	-11	-46	-73	-82	-83	9

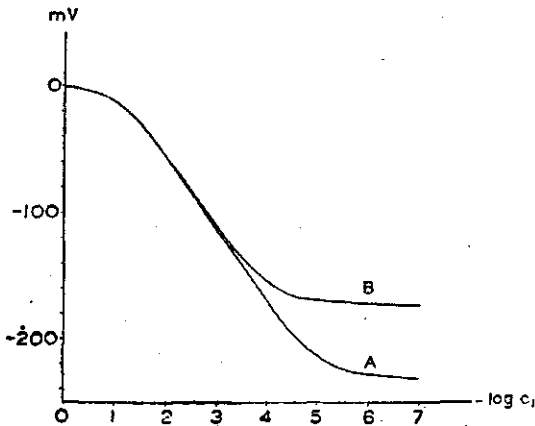


Fig. 3.

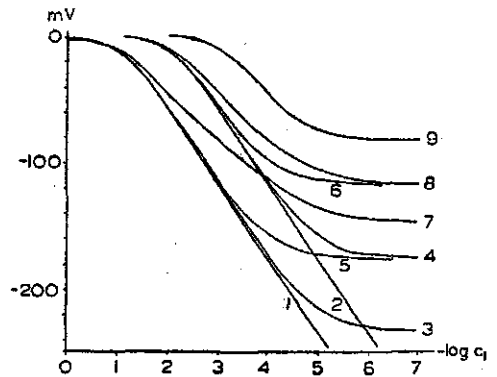


Fig. 4.

De bijbehorende curves worden gegeven door fig. 4, zij geven dus het verband tusschen de potential, berekend uit v , en varieerende waarden van c_1 . De curves laten de volgende conclusies toe:

a. Vergrooting van c_2 (verlaging van de pH) veroorzaakt een tot elkaar naderen der asymptoten (vgl. curve 3 en 5; 4 en 6).

b. Verkleining van de A brengt eveneens de asymptoten dichter bij elkaar, echter zien we ook de curve opschuiven in horizontale richting (vgl. de curves 1 en 2; 3 en 4; 5 en 6; 7, 8 en 9). Veranderingen in de waarde van A zijn niet van invloed op de maximale helling der curve.

c. Bekijken we tenslotte nog den invloed van het invoeren van een dissociatieconstante op den vorm van de curve, dan merken we op, dat 1^o. de asymptoten bij kleiner wordende dissociatieconstante (groter wordende K') tot elkaar naderen en 2^o. bovendien de maximale helling van de curve (helling in het buigpunt) geringer wordt.

Een wiskundige bewerking van de formule (13) laat zien, dat de afstand tusschen de beide asymptoten, wanneer A voldoende groot en c_2 en K' relatief klein zijn, bij benadering weergegeven kan worden door de formule $\frac{RT}{F} \ln \sqrt{\frac{K' c_2^2}{A}}$, waar dus op duidelijke wijze de invloed der grootheden K' , c_2 en A op den afstand der asymptoten tot uiting komt.

De afleiding der betrekking is als volgt:

Voor den afstand der beide asymptoten behoeven we slechts de ligging van de onderste symptoot te berekenen, daar de bovenste asymptoot bij $E = 0$ ligt. De waarde van de onderste asymptoot is te vinden door $c_1 = 0$ te nemen, waarbij dus volgens (13):

$$v^3 + \left(K' c_2 + \frac{A}{c_2} \right) v^2 - v - K' c_2 = 0.$$

Bij voldoende kleine v kunnen we den term v^3 verwaarloozen, en uit de resteerende quadratische vergelijking volgt:

$$v = \frac{1 + \sqrt{1 + 4K' c_2 \left(K' c_2 + \frac{A}{c_2} \right)}}{2 \left(K' c_2 + \frac{A}{c_2} \right)},$$

hetgeen, wanneer $K' c_2$ klein is t.o.v. $\frac{A}{c_2}$, overgaat in

$$v = \frac{1 + \sqrt{1 + 4K' c_2 \cdot \frac{A}{c_2}}}{2 \frac{A}{c_2}} = \frac{1 + \sqrt{1 + 4K' A}}{2 \frac{A}{c_2}}$$

en wanneer $K' A$ groot is t.o.v. 1:

$$v = \frac{\sqrt{4K' A}}{2 \frac{A}{c_2}} = \sqrt{\frac{K' c_2^2}{A}}$$

zoodat tenslotte

$$E_{c_1=0} = \frac{RT}{F} \ln \sqrt{\frac{K' c_2^2}{A}}$$

waarmee dus meteen de waarde voor den afstand der asymptoten gegeven is.

Voor de helling in het buigpunt is het veel minder gemakkelijk een eenvoudige betrekking met de diverse grootheden te vinden; het blijkt echter, dat deze onafhankelijk is van A , wanneer de afstand der asymptoten voldoende groot is. Dit blijkt ook wel uit een vergelijking der curves 7, 8 en 9. Bij constante c_2 (constante pH) wordt de helling dus alleen bepaald door de waarde van K en wel z66, dat bij afnemende K (kleinere dissociatieconstante) de helling afneemt.

De invloed van veranderingen in c_2 (pH -veranderingen) op het verloop der potentiaal-curves is nog eens apart geïllustreerd in tabel 4 en figuur 5, hetgeen ons tevens in de gelegenheid stelt een vergelijking te trekken met metingen van LUNDEGÅRDH¹⁾, welke

1) Untersuchungen über das chemisch-physikalische Verhalten lebender Zellen. *Protoplasma* 35, 548 (1941).

TABEL 4.

Grootheden	c_1								Curve Fig. 5
	10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	
$A = 10^{-1} \quad c_2 = 10^{-5} \quad K' = 10^4$	-1	-11	-47	-83	-113	-136	-143	-145	1
$A = 10^{-1} \quad c_2 = 10^{-4} \quad K' = 10^4$	-1	-6	-27	-56	-78	-85	-86	-86	2
$A = 10^{-1} \quad c_2 = 10^{-3} \quad K' = 10^4$	0	-1	-8	-22	-29	-30	-30	-30	3

graphisch weergegeven zijn in figuur 6, en die verricht werden in *KCl* oplossingen van verschillende concentraties, aangezuurd met verschillende hoeveelheden *HCl*.

Behalve het feit, dat verhooging van c_2 een geringere helling der curves veroorzaakt,

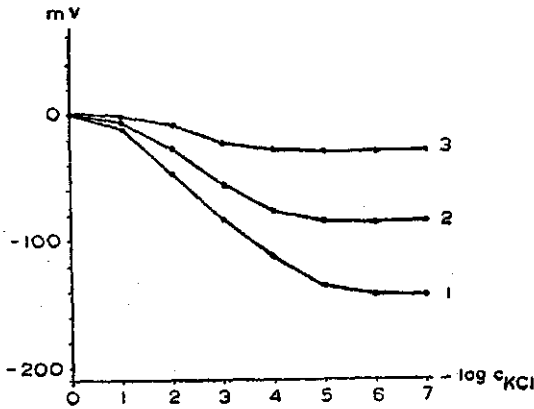


Fig. 5.

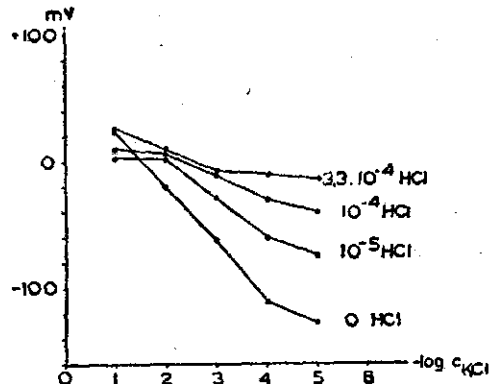


Fig. 6.

en, zooals boven reeds vermeld, den afstand der asymptoten doet verminderen, valt de fraaie overeenkomst der theoretische curves met de door LUNDEGÅRDH gevondene op.

Behandelen we tenslotte de vraag, in hoeverre het mogelijk is om uit de meetresultaten de voor een bepaalden plantenwortel karakteristieke grootheden K' en A quantitatief vast te stellen.

Daartoe werken we vergelijking (13) om tot

$$K' c_2 + A \cdot \frac{v^2}{(v^2 - 1)(c_1 + c_2)} = -v. \quad (14)$$

Hierin stellen K' en A de beide onbekenden voor. De waarde van c_1 ligt voor elke meting nauwkeurig vast, terwijl de c_2 de H^+ -concentratie der meetvloeistof is. De grootheid v volgt uit het experiment en kan volgens vergelijking (7) uit de potentiaalwaarde E berekend worden. Nu stelt E het verschil voor van de gemeten potentiaal met een bij groote c_1 te bereiken nul-potentiaal, welke laatste niet rechtstreeks gemeten wordt. Deze nul-potentiaal moet uit de gemeten potentiaal-curve geëxtrapoleerd worden. Zijn we zodoende ingelicht over de waarde der grootheden c_1 , c_2 en v , dan kunnen we deze in (14) substitueeren, waardoor elke meting een voor de beide onbekenden lineaire vergelijking oplevert. Worden meer dan 2 metingen verricht aan hetzelfde object, dan zullen de waarnemingsvergelijkingen verwerkt moeten worden tot één gemeenschappelijk resultaat. Daartoe volgden wij de door VAN UVEN¹⁾ beschreven methode.

Als voorbeelden hebben we gekozen de in tabel 1 gegeven eigen waarnemingen aan

¹⁾ M. J. VAN UVEN, Mathematical Treatment of the results of agricultural and other experiments. Groningen 1935.

Solanum tuberosum en de waarnemingen van LUNDEGÅRDH aan *Triticum vulgare*. Onze waarnemingen werden verricht in een stilstaande meetoplossing, die van LUNDEGÅRDH in een stroomende.

Voor de metingen van LUNDEGÅRDH werd als geëxtrapoleerde nul-potentiaal genomen de waarde +282, terwijl de c_2 op 10^{-5} gesteld werd, een waarde die ten naastenbij overeenkomt met die van koolzuurhoudende oplossingen van neutrale zouten. De met deze gegevens opgestelde waarnemingsvergelijkingen leveren voor de beide onbekenden de volgende (afgeronde) waarden op: $A = 0,09$ en $K' = 400$. Ter controle werd met deze waarden van A en K' de theoretische curve berekend, waarvan de waarden in tabel 5 naast de experimentele waarden gegeven zijn.

TABEL 5.

c_1	$>10^0$	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}
$E_{\text{exp.}}$		+267	+222	+180	+132	+115
$E_{\text{ber.}}$	+282	+271	+227	+175	+135	+110

De berekende waarden vertoonen een zeer behoorlijke overeenstemming met de gemetene, zoodat we mogen concluderen, dat we met de voor A en K' gevonden waarden den betreffenden plantenwortel goed kunnen karakteriseeren.

Voor onze eigen metingen aan *Solanum tuberosum* stelden we de nul-potentiaal op +265, de c_2 weer op 10^{-5} . We komen zoo tot de (afgeronde) waarden $A = 0,04$ en $K' = 12000$. De met deze waarden berekende theoretische waarden voor E zijn in tabel 6 naast de gevonden waarden gegeven.

TABEL 6.

c	$>10^0$	10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}
$E_{\text{exp.}}$		+265	+263	+240	+202	+169	+161
$E_{\text{ber.}}$	+265	+265	+261	+237	+198	+166	+143

De overeenstemming is goed, behalve bij de laagste KCl -concentratie, waar een belangrijke afwijking optreedt. We meenen de oorzaak hiervoor te moeten zoeken in het feit, dat de plantenwortel bij onze methodiek bij zeer lage KCl -concentraties invloed gaat uitoefenen op de c_2 in zijn onmiddellijke omgeving, en wel in dien zin, dat de c_2 grooter wordt tengevolge van afgescheiden zure stofwisselingsproducten. Misschien heeft de wortel bij deze lage concentraties ook nog een geringen verhoogenden invloed op de c_1 , tengevolge van de in den wortel aanwezige naar buiten diffundeerende ionen. Zoowel de invloed op de c_2 als, op de c_1 veroorzaakt, dat de wortel bij lage KCl -concentraties minder negatief is, dan de theorie voorspelt. De beïnvloeding van het milieu door den wortel is naar alle waarschijnlijkheid sterker in een stilstaande dan in een stroomende oplossing.

Wij wijzen er tenslotte nog op, dat men de waarden voor *Solanum* en *Triticum* niet met elkaar in verband mag brengen, daar behalve de meettechniek ook de kweekmethode voor beide objecten verschillend was.

Samenvatting.

1. Het verband tusschen de potentiaal van een plantenwortel en de ionenconcentratie in het medium wordt beschreven met de regels, welke gelden voor het DONNAN-evenwicht.
2. De concentratie der voor het DONNAN-evenwicht karakteristieke niet-diffusabele anionen blijkt niet constant te zijn, doordat zij deel uitmaken van een dissociatie-evenwicht, dat verschuift met de *H*-ionenconcentratie.
3. Het blijkt in principe mogelijk een plantenwortel te karakteriseeren door de dissociatieconstante en de concentratie van het „wortelacidoid“.

Zusammenfassung.

1. Der Zusammenhang zwischen dem Potential einer Pflanzenwurzel und der Ionenkonzentration in der wässrigen Lösung wird beschrieben mit den für das DONNAN-Gleichgewicht gültigen Regeln.
2. Es stellt sich heraus dass die Konzentration der für das DONNAN-Gleichgewicht charakteristische nicht diffusabele Anionen nicht konstant ist, weil diese an einem Dissociationsgleichgewicht teilnehmen, das verschoben wird bei Aenderung der Wasserstoffionenkonzentration.
3. Es ist prinzipiell möglich eine Pflanzenwurzel zu charakterisieren durch eine Dissociationskonstante und die Konzentration des „Wurzel-acidoids“.

Summary.

1. The connection between the potential of a plant root and the ionic concentration of an aqueous solution is described with the rules governing the DONNAN equilibrium.
2. The concentration of the non-diffusible anions characteristic for the DONNAN equilibrium is found to be inconstant because they participate in a dissociation equilibrium depending on the hydrogen ion concentration of the medium.
3. In principle it is found to be possible to characterize a plantroot by a dissociation constant and the concentration of the "root-acidoid".

Résumé.

1. La relation du potentiel d'une racine d'une plante et la concentration des ions d'une solution aqueuse est décrite avec les règles gouvernant l'équilibre de DONNAN.
2. La concentration des anions non-diffusables, caractéristiques pour l'équilibre de DONNAN, n'est pas constante parce que ces anions participent à un équilibre de dissociation qui se déplace avec la concentration des ions de hydrogène.
3. De principe il est possible de caractériser la racine par une constante de dissociation et la concentration de „l'acidoid de la racine“.