

PLANTENPHYSIOLOGIE EN SCHEIKUNDE

DOOR

Dr. H. W. HEINSIUS.

Verdeeling van den arbeid — ziedaar een beginsel, dat vooral in onze eeuw op bijna elk gebied in toepassing gebracht is geworden. Ook de wetenschap heeft zich daaraan niet kunnen onttrekken, voornamelijk wegens den verbazenden omvang, dien vele harer onderdeelen, en met name de natuurwetenschappen, in latere tijden hebben verkregen. Terwijl de groote natuuronderzoekers der oudheid, zooals ARISTOTELES en PLINIUS, als het ware de geheele wetenschap beoefenden; terwijl nog onze BOERHAAVE (1668—1738) hoogleeraar was in de genees-, schei- en kruidkunde en over onderwerpen uit elk dier vakken belangrijke werken heeft geschreven; terwijl zelfs nog in het midden dezer eeuw HARTING aan de universiteit te Utrecht les gaf in de microscopische ontleedkunde, de plantenphysiologie, de natuurlijke historie van het plantenrijk en later in de vergelijkende ontleed- en dierkunde — vinden wij thans voor bijna elk dezer onderdeelen en voor nog andere een afzonderlijken hoogleeraar, lector of privatdocent. Geen wonder dus, zoo de beoefenaars van al die takken van wetenschap, ieder op zijn eigen gebied zich bewegende, elkaar wel eens uit het oog verliezen, tot nadeel voor de wetenschap in 't algemeen! Dit is voorzeker wel een schaduwzijde van bovengenoemd beginsel, hoeveel goeds het ook moge hebben.

Intusschen, gelukkig zijn er nog altijd mannen, wier blik ruimer is en die het verband tusschen de natuurwetenschappen blijven zien. Dat, bij voorbeeld, de scheikunde onmisbaar is voor de beoefening der plantenphysiologie — daaraan zal wel niemand twijfelen. Maar

dat ook omgekeerd de laatstgenoemde meermalen belangrijke diensten aan de eerste heeft bewezen, is wellicht minder algemeen bekend. Toch hoop ik dit met enkele voorbeelden uit den laatsten en allerlaatsten tijd aan te toonen.

In de eerste plaats mag dan wel gewezen worden op de talrijke resultaten der *bacteriologie*; een menigte processen, die men vroeger als zuiver scheikundige werkingen beschouwde, zijn gebleken het gevolg te zijn van de levensverrichtingen der bacteriën, die kleinste, maar niet minst belangrijke der planten. Zoo, bij voorbeeld, de vorming van salpeter in den bodem en van ijzeroer in water. Ook weet men thans, dat de vrije stikstof des dampkrings door bacteriën kan worden vastgelegd en op die wijze ook aan de hoogere plantenwereld ten goede komt. Maar enkele dezer onderwerpen zijn reeds vroeger in dit *Album* behandeld en ik kan dus volstaan met naar die opstellen te verwijzen.¹

Reeds in 1877 had de bekende plantenphysioloog PFEFFER, met het doel om de spanning te leeren kennen, die in plantencellen heerscht, een reeks van proeven genomen over de drukking in oplossingen die opgesloten zijn in vaten, waarvan de wand wél voor het oplosmiddel, maar niet voor de opgeloste stof doordringbaar is. Een dergelijken »halfdoordringbaren" wand verkreeg hij o. a. door een poreuzen pot, gevuld met kopersulfaatoplossing, te plaatsen in een oplossing van geel bloedloogzout. Deze beide vloeistoffen drongen nu in den poreuzen wand van den pot en deden, waar ze elkaar ontmoetten, een neerslag ontstaan van ferrocyankoper, dat, na uitwassching, wel water doorliet, maar niet of in geringe mate de hierin opgeloste stoffen. De pot werd vervolgens geheel gevuld met de te onderzoeken oplossing en gesloten met een stop, waaraan een manometer verbonden was. Werd hij nu in water geplaatst, dan trad dit door het halfdoordringbare vlies in de oplossing; deze trachtte zich daardoor uit te zetten en er ontstond een spanning, afleesbaar op den manometer. Eindelijk steeg het kwik in den manometer niet meer. Hieruit blijkt, dat, voor een bepaalde oplossing, een bepaalde spanning evenwicht

¹ HUGO DE VRIES, IJzeroer en ijzerbacteriën, *Album der Natuur*, 1888, blz. 257—261.
H. W. HEINSIUS, Eenige gevallen van symbiose in het plantenrijk, *ibidem*, 1891, blz. 202—206.

maakt met de kracht, waarmee het water tracht binnen te dringen. Men bestempelt deze spanning met den naam van *osmotischen druk*. Deze is gebleken afhankelijk te zijn zoowel van de concentratie der oplossing als van haar temperatuur.

Nu bestaat een plantencel uit een wand van cellulose, waarbinnen het levend protoplasma ligt, dat de vacuole omsluit; dit is een holte, gevuld met celvocht, een waterige oplossing van allerlei stoffen. De cellulosewand is geheel doordringbaar, maar het *levend* protoplasma alleen voor water, terwijl de meeste der daarin opgeloste stoffen er niet of uiterst moeilijk door worden doorgelaten. Daar er nu in de plant meestal overvloedig water voorhanden is, trekt het celvocht dat tot zich en er ontstaat een osmotische drukking, die het protoplasma en daarmede den cellulosewand uitrekt, totdat de veerkracht van dezen laatste er evenwicht mede maakt. Deze spanning tusschen celwand en celinhoud wordt *turgor* genoemd.

Omgeeft men, onder den microscoop, plantencellen met een oplossing van de eene of andere stof in plaats van met water, dan hangt het van de meerdere of mindere concentratie dezer oplossing af of zij aan het celvocht water zal onttrekken of dit aan haar. Is het eerste het geval, dan wordt de vacuole kleiner en de cellulosewand kan dus inkrimpen totdat de turgor geheel is opgeheven; wordt er nog meer water aan het celvocht onttrokken, dan laat het protoplasma van den celwand los, daar het de vacuole blijft omgeven. Door DE VRIES is dit verschijnsel *plasmolyse* genoemd (d. w. z. losmaking van het protoplasma.).

Is nu de turgor opgeheven, maar de plasmolyse nog niet begonnen, dan moet de osmotische drukking van het celvocht juist gelijk zijn aan die der omringende oplossing; immers er wordt nu van binnen niet *meer* drukking uitgeoefend dan van buiten, zooals blijkt uit het niet meer uitgerekt zijn van den celwand. Men zegt dan, dat de beide vloeistoffen *isotonisch* zijn, zij trekken water met gelijke kracht tot zich. Door de spanning van de omringende vloeistof met de proef van PFEFFER te meten, leert men dus tegelijk die in de levende cel kennen. Omgekeerd kunnen op deze wijze de concentratiën bepaald worden der oplossingen van verschillende stoffen, die met het celvocht eener bepaalde plant en dus ook onderling isotonisch zijn. Door DE VRIES is dit dan ook voor een aantal stoffen, hoofdzakelijk zouten, geschied; het spreekt van zelf, dat de methode alleen kan worden toegepast op stoffen, die niet schadelijk zijn voor 't protoplasma; want sterft

dit, dan wordt het onmiddellijk volkomen doordringbaar, ook voor opgeloste stoffen.

Om nu de verschillende stoffen met elkaar te kunnen vergelijken, worden oplossingen daarvan vervaardigd, die per liter evenveel grammen bevatten als hun moleculairgewicht bedraagt; van kalisalpeter (KNO_3) is dat bijv. 101 Gr., van geel bloedloozout ($\text{K}_4 \text{Fe C}_6 \text{N}_6$, 3 aq) 422 Gr. per Liter. Deze worden nu zooveel verdund, dat zij juist even het begin van plasmolyse veroorzaken bij de cellen eener bladopperhuid van *Tradescantia discolor*. Bij kalisalpeter was dat bijv. het geval met een oplossing, die 14,245 Gr. per L. bevatte, dat is $\frac{14,245}{101} = 0,145$ van de moleculaire concentratie; bij geel bloedloozout met een oplossing van 33,76 Gr. per L., dat is $\frac{33,76}{422} = 0,080$ van de moleculaire concentratie. Van 't laatste zout is dus een $\frac{0,145}{0,080} = 1,8$ maal kleinere moleculaire concentratie isotonisch met die van kalisalpeter. Een oplossing van *gelijke* moleculaire concentratie als salpeter zal dus een osmotische drukking uitoefenen, die 1,8 maal *groter* is dan die van salpeter. Gewoonlijk wordt de osmotische drukking van kalisalpeter gelijk 3 gesteld: men noemt dan $3 \times 1,8 = 5,4$ den *isotonischen coëfficiënt* van geel bloedloozout.

De isotonische coëfficiënt eener stof is dus *de osmotische drukking van haar oplossing als deze de gelijke moleculaire concentratie heeft als eene oplossing van kalisalpeter, wanneer de osmotische drukking dezer laatste gelijk 3 wordt gesteld.*

Uit de combinatie en berekening van deze en andere proeven, zooals over vriespuntsverlaging, kookpuntsverhooging, enz. heeft VAN 'T HOFF de geldigheid afgeleid van de wetten van BOYLE en GAY-LUSSAC en van AVOGADRO voor de osmotische spanning in vloeistoffen.¹⁾ Bij *verdunde* oplossingen bestaat er volledige overeenkomst met gasen: voor oplossingen van een bepaalde stof is dus, bij constante temperatuur, de osmotische drukking evenredig met de concentratie en bij constant volumen de osmotische drukking evenredig met de absolute temperatuur; voor oplossingen van verschillende stoffen is, bij gelijke temperatuur en concentratie, de osmotische drukking omgekeerd evenredig met het moleculairgewicht of wel: oplossingen van gelijke moleculaire concentratie hebben bij dezelfde temperatuur gelijke osmotische drukking; de osmotische drukking van een opgeloste stof is, bij bepaalde temperatuur

¹ Zie ook: HUGO DE VRIES, »De wetten van BOYLE, GAY-LUSSAC en AVOGADRO in levende cellen.» *Abh. d. Nat.*, 1887, blz. 196.

en concentratie, even groot als de spanning, door dezelfde stof bij dezelfde temperatuur en concentratie in gastoestand uitgeoefend.

Uit het bovenstaande blijkt duidelijk, dat de physische chemie hier een belangrijken steun heeft ontvangen van de plantenphysiologie.¹⁾

Kan men dus, volgens de wetten van VAN 'T HOFF, uit het moleculairgewicht eener stof hare osmotische drukking afleiden, omgekeerd kan men natuurlijk ook uit de laatste tot het eerste besluiten. Het spreekt van zelf, dat dit geen algemeen gevolgde methode zal worden, maar in enkele twijfelachtige gevallen, waarin andere bepalingen geen zekerheid geven, kan zij toch goede diensten bewijzen. In werkelijkheid is dit reeds geschied en wel door DE VRIES, ter bepaling van het moleculairgewicht der *raffinose*.

Deze suikersoort werd in 1876 door LOISEAU ontdekt; haar formule werd door hem bepaald als $C_{18} H_{32} O_{16} \cdot 5$ aq. Andere onderzoekers vonden evenwel $C_{12} H_{22} O_{11} \cdot 3$ aq en nog andere $C_{36} H_{64} O_{32} \cdot 10$ aq. Volkomen zekerheid was niet te krijgen, daar de stof niet in gasvorm kan gebracht worden.

Nu volgt uit LOISEAU's formule een moleculairgewicht van 594, uit de tweede een van 396 en uit de derde van 1188.

Bij vergelijking van de werking van raffinose-oplossingen met die van rietsuikeroplossingen bleek uit verschillende proeven met *Tradescantia*-cellen, dat gemiddeld een raffinose-oplossing, die 59,57 Gr. per liter bevatte, isotonisch was met een rietsuikeroplossing van $\frac{1}{10}$ moleculaire concentratie; derhalve moest ook de eerstgenoemde oplossing die concentratie hebben en dus het moleculairgewicht $59,57 \times 10 = 595,7$ zijn. Dit getal verschilt zóó weinig van 594, dat die kleine afwijking ongetwijfeld aan de onvermijdelijke waarnemingsfouten moet worden toegeschreven. Hier heeft de physiologische bepaling dus uitgemaakt, dat de formule van LOISEAU de juiste is.

Een ander beginsel uit de physische scheikunde is dat der *electrolytische dissociatie*. Bij het oplossen van een zout, een sterk zuur of base in water vallen de moleculen daarvan ten deele uiteen in *ionen*, dat zijn atomen of groepen van atomen, geladen met electriciteit en die dezelfde samenstelling hebben als de ontledingsproducten

¹ Ik mag hier niet verzwijgen, dat door HAMBURGER overeenkomstige verschijnselen als bij plantencellen zijn waargenomen bij roode bloedlichaampjes.

der opgeloste stof, welke bij het voeren van een electrischen stroom door de oplossing ontstaan. De werking van dezen stroom is dus niet, zooals men vroeger meende, het ontleden van de stof, maar eenvoudig het overvoeren van de ionen naar de polen. De dissociatie is grooter naarmate de verdunning grooter is; zij is volkomen bij een 1000 maal verdunde moleculaire concentratie.

Zoo wordt, in oplossingen, het molecuul chloornatrium (Na Cl) gesplitst in een ion Na dat met positieve en een ion Cl dat met negatieve electriciteit geladen is; het molecuul zwavelzuur (H_2SO_4) in een ion $H+$ en een ion HSO_4- , of wel in twee ionen $H+$ en $H+$ en een ion $S O_4-$, naar gelang van de verdunning; enz. Het positieve wordt *kathion* en het negatieve *anion* genoemd.

Deze theorie der electrolytische dissociatie heeft nu onlangs een merkwaardige bevestiging ontvangen door plantenphysiologische onderzoekingen van KAHLLENBERG en TRUE en later van HEALD. Dezen hebben n. l. de vergiftige werking onderzocht van verschillende electrolyten (d. w. z. stoffen, welker oplossingen den electrischen stroom goed geleiden en die in ionen gesplitst worden) op de wortels van kiemplanten en wel van *Lupinus albus*, *Pisum sativum*, *Zea Mais* en *Cucurbita Pepo*.

Een sterk verdunde oplossing van chloornatrium (Na Cl) en eene van zoutzuur (HCl) bevatten beide chloor-ionen; als derhalve de laatstgenoemde schadelijk is en de eerste niet, dan moet zulks het gevolg zijn van de waterstof-ionen die de eerste mist. Hetzelfde geldt voor de verdunde oplossingen van salpeterzuur en zwavelzuur: zij moeten bij de verdunning, waarin zij volkomen gedissocieerd zijn, d. i. wanneer 1000 of meer L. water zooveel grammen er van bevatten als het moleculairgewicht bedraagt — respectievelijk 63 Gr. en 98 Gr. —, dezelfde physiologische werking hebben als de even sterk verdunde zoutzuuroplossing — 36,5 Gr. per 1000 of meer L. —, wanneer n.l. de even sterk verdunde oplossingen van natriumnitraat en natriumsulfaat onschadelijk zijn.

KAHLLENBERG en TRUE hebben nu deze gevolgtrekking aan een experimenteel onderzoek onderworpen, door de concentratie der oplossingen na te gaan, waarin de lupinewortels zonder schade kunnen groeien. Zij vonden dat de grens voor de schadelijke werking bereikt was, wanneer het moleculairgewicht, in grammen uitgedrukt, was opgelost in 6400 L. water en dat het daarbij volkomen onverschillig is, of men zoutzuur, salpeterzuur of zwavelzuur neemt. Ook een even

sterk verdunde oplossing van zuur kaliumsulfaat (KHSO_4), die evenveel H-ionen bevat, had volkomen dezelfde werking. Verder werden nog ruim 60 andere oplossingen onderzocht, die alle resultaten gaven, volkomen in overeenstemming met de dissociatie-theorie. Was de dissociatie niet volkomen, dan liet zich ook een invloed van de niet ontlede moleculen bespeuren.

Later heeft HEALD dit onderzoek nog uitgebreid. Daarbij bleek o. a., dat bijna altijd het kathion de vergiftige werking uitoefent; slechts bij enkele cyaanverbindingen, zooals cyaankalium en geel bloedloogzout, moest die aan het anion worden toegeschreven. Samengestelde ionen, die elementen bevatten, welke zeer vergiftig zijn, hebben die eigenschap in veel mindere mate, zoowel wanneer een onschadelijk ion zich met een zeer vergiftig verbindt, als wanneer twee zeer vergiftige zich met elkaar verbinden.

Terwijl dus, aan den eenen kant, de physiologische werking der verschillende stoffen door de dissociatie-theorie begrijpelijk wordt, leveren omgekeerd de beschreven resultaten een niet onbelangrijken steun voor die theorie.

Uit al het bovenstaande volgt, naar ik meen, dat ik niet te veel zeide met te beweren, dat ook de plantenphysiologie aan de scheikunde belangrijke diensten kan bewijzen, zoowel als deze aan gene.
