

# DE WORTELS DER PLANTEN ;

DOOR

N. W. P. RAUWENHOFF.

(*Vervolg en slot van bladz. 191.*)

---

## DE RIGTING VAN DEN WORTEL.

In het eerste gedeelte van dit opstel is reeds opgemerkt, dat bij de kieming van het zaad zich terstond een groei in twee rigtingen openbaart, die gewoonlijk polair aan elkander tegenovergesteld zijn. De stengel groeit naar boven, de wortel naar onderen. Aan het punt vanwaar die groei schijnt uit te gaan, den overgang tusschen stengel en wortel, schreef men vroeger een bijzonder gewigt toe en men noemde dit levensknoop; later echter heeft men ingezien, dat hierin ten onregte de eerste oorzaak dier verschillende rigtingen gezocht werd.

Daarna heeft men zich veel moeite gegeven om te ontdekken, door welke oorzaak dan toch de wortel steeds benedenwaarts gedreven werd, en een tal van proeven is hierover genomen, waarbij men nu eens onderstelde, dat de zwaartekracht, dan eens dat het licht hierbij als hoofdoorzaak werkzaam was. Die proeven, zeer vernuftig uitgedacht, hebben soms belangrijke bijzonderheden doen kennen, en ik acht het daarom niet ondienstig ook hierbij een oogenblik stil te staan.

In het algemeen gaat, overal waar een penwortel aanwezig is, deze loodregt naar beneden, en wanneer er hindernissen op dien weg zijn, dan tracht de wortel die te overwinnen of, zoo dit niet mogelijk is, gaat hij daarom heen, om dan vervolgens de oude rigting weder aan te nemen. Men ziet dit duidelijk bij jonge wortels in een steenachtigen zandgrond, en evenzoo bij planten in potten geplaatst, alwaar de

wortels langs den bodem loopen naar de opening onder in den pot, en door deze verder naar beneden doordringen. Vooral springt deze neiging om benedenwaarts te groeijen sterk in het oog bij den jongen wortel van het kiemende zaad. Wanneer dit, zoo als menigvuldig geschiedt, niet met de wortelpunt naar onderen is geplaatst, dan buigt zich deze al groeiende weldra zoodanig om, dat hij met de spits loodregt naar beneden gaat. Brengt men daarna het zaad in eene andere rigting, dan heeft er weder eene kromming plaats, totdat de oude neiging bevredigd is. Door telkens na eenigen tijd het zaad anders te plaatsen, heeft DECANDOLLE aldus vijftien maal den wortel van een kiemenden eikel eene andere rigting doen aannemen. Wordt het zaad zoodanig bevestigd, dat de wortelspits zuiver loodregt naar boven is gerigt, dan groeit deze, gelijk WIGAND opmerkte, eerst in die rigting voort en buigt zich dan eensklaps naar onder, zoodra het labiel evenwigt (gelijk hij het uitdrukt) verbroken is.

Welke is nu de oorzaak van deze bepaalde neiging der wortels? Aanvankelijk schreef men dit toe aan het grooter specifiek gewigt der wortels, die, meer geconcentreerd voedingssap bevattende, aldus naar beneden zouden getrokken worden. Om dit te bewijzen, heeft KNIGHT een vernuftigen toestel uitgedacht. Wanneer, zoo redeneerde hij, de zwaartekracht de hoofdoorzaak is, die den wortel naar beneden drijft, dan moet ook de rigting van dezen eene andere worden, wanneer men de aantrekkingskracht der aarde verhindert in hare gewone rigting te werken. Dan moet bepaaldelijk ook de middelpuntvliedende kracht hier dezelfde werking hebben als bij de lichamen in het algemeen, zooals men dit ziet in de welbekende proef, waarbij, onder het snel ronddraaijen eener schijf, de zwaardere hagelkorrels zich boven het water plaatsen. Ten einde nu dit proefondervindelijk uit te maken, gebruikte hij de volgende inrigting: Aan den omtrek van een rad van 11 duim middellijn, dat zich vertikaal in het water van eene snelvlietende beek bewoog en 150 omwentelingen in de minuut maakte, bevestigde hij zaden in verschillende rigtingen en bespeurde nu, dat bij het kiemen deze allen hunne worteltjes naar buiten en de stengeltjes naar het middelpunt van het rad rigtten. Wanneer hij nu het rad in horizontale rigting liet ronddraaijen, dan verlengden zich ook stam en wortel in horizon-

tale rigting, maar het worteltje boog zich met een hoek van  $10^\circ$  naar onder en het stengeltje even zoo veel naar boven.

Deze proeven zijn in later tijd door WIGAND (*Botan. Unters.*) herhaald en uitgebreid, met nagenoeg dezelfde uitkomst. Het worteltje gedraagt zich als een paslood en wijkt bij genoegzaam snelle om-draaijingen even als dit van de loodlijn af.

Hiermede zou dan schijnen de zaak bewezen te zijn, en KNIGHT was werkelijk ook overtuigd, dat de zwaartekracht eene hoofdrol speelt bij de bepaling van de rigting van den wortel. De schrandere onderzoeker begreep echter wel het bezwaar, dat reeds meermalen tegen de duiding dezer proeven is aangevoerd, dit namelijk: dat van zuiver mechanische werking der zwaartekracht hier geen sprake kan zijn, daar deze slechts werkt in evenredigheid der massa, en het worteltje in verhouding tot het zaad geenszins genoeg massa heeft om daaruit die neiging te kunnen verklaren. Daarom grondt KNIGHT zijne voorstelling tevens op het anatomisch zamenstel van den wortel. Deze groeit alleen aan de spits, de stengel daarentegen over eene grootere uitgestrektheid. Door de zwaartekracht wordt bij een liggenden wortel het voedingssap der jongste cellen in meer innige aanraking met den beneden- dan met den bovenwand gebragt. De eerste wordt daardoor meer gevoed, groeit sterker uit en zoo doende komt in het weeke weefsel allengs eene buiging naar onderen.

Het zou ons te ver afleiden, hier deze zaken nader te ontwikkelen, die trouwens op verre na niet algemeen aangenomen worden. Alleen moet ik opmerken, dat men uit de proeven van KNIGHT en van WIGAND de gegeven verklaring niet met regt kan opmaken, omdat het plantensap, natuurlijk ook aan de werking der middelpuntvliedende kracht gehoorzaamt en daardoor in geheel abnormale omstandigheden gebragt wordt. Bovendien mag men bij een opzoeken der oorzaken, die de rigting der plantendeelen bepalen, ook andere oorzaken van werking, bepaaldelijk het licht, niet vergeten. JOHNSON heeft reeds (*Edinb. n. phil. Journ.*, 1828) zaden in eene dunne aardlaag op een draadnet, of aan de onderzijde van eene vochtige spons doen kiemen en gezien, dat zij horizontaal en ten deele zelfs benedenwaarts groeiden; en evenzoo heeft men mostaardzaden in vochtig mos, door een spiegel van

onderen verlicht, zien kiemen, met het worteltje naar boven, het stengeltje naar beneden gekeerd (*Arch. de Botan.*, II, 451). TREVIRANUS haalt van dergelijke proeven met hare verklaringen nog meer aan (*Physiologie*, II, 598).

Hiermede strijden weder de proeven van WIGAND, die vond, dat de rigting van den wortel gewijzigd wordt, noch door den aard van den kiembodem, hetzij die uit bouwvaarde, zuiver zand, papier, water of kwikzilver bestond;

noch door de vochtigheid, want de wortels dringen in droog kwik, terwijl vochtige lucht daarboven is;

noch door de duisternis van den kiembodem, want zaden, opgehangen aan de oppervlakte van het water in een van boven donker gemaakt glas, kiemden en zonden hunne wortels in het verlichte, onderste gedeelte van het glas;

noch eindelijk bepaalt de bodem als donker en vochtig aanhechtingspunt de rigting van den wortel, want de zaden kiemen zonder bodem, en aan een vertikalen bodem gehecht, waarvan de eene zijde licht, de andere duister is, gaan zij toch loodregt naar beneden, enz.

Tegen deze proeven van WIGAND zou echter vrij wat in te brengen zijn, en zij zijn op verre na niet met die voorzorgen genomen, welke wij reeds bij SENEBIER, DE SAUSSURE en andere oudere physiologen vinden. Vooreerst toch strijdt daarmede de algemeen bekende ervaring, dat de wortels der planten bij voorkeur daar doordringen, waar een vruchtbare en vooral een vochtige bodem aanwezig is. Iedereen weet dit van boomen, die aan een waterkant staan; dientengevolge wijken de wortels aanzienlijk af van de loodlijn.

Men denke hierbij ook aan de luchtwortels der Aroïdeën, die nage-noeg onvertakt verscheidene voeten in de lucht voortgroeijen, maar in den grond gekomen, alras een tal van zijwortels maken. Hetzelfde geschiedt bij sommige Ficussoorten.

Ten anderen kan niet toegegeven worden, dat het licht zonder invloed is, en WIGAND zelf spreekt zich hierin tegen, aangezien hij bij een van anderen verlichtten bodem de wortelspits zich naar boven zag ombuigen. Trouwens dit was uit oudere proeven wel bekend.

Eindelijk moet hierbij ook aan het anatomisch maaksel van den

wortel gedacht worden, en al zijn noch de verklaring van KNIGHT, noch die van DUTROCHET, noch die van WIGAND toereikend, zoo kan toch niet geloofend worden, dat de wijze van celgroei en van celvermenigvuldiging ook op de rigting van den wortel een belangrijken invloed moet uitoefenen.

Voor weinige maanden is dit onderwerp weder ter sprake gebragt door een der beroemdste Duitsche kruidkundigen, door W. HOFMEISTER, die niet slechts aan de zoo evengenoemde punten behoorlijk de aandacht heeft geschonken, maar gedeeltelijk daarin ook eene oorzaak van het verschijnsel heeft aangewezen, die vroeger nagenoeg geheel over het hoofd was gezien. Hij merkt op, dat bij de asorganen de onderscheiden weefsels onder eene verschillende mate van spanning staan. Reeds in den jongsten toestand, zoodra het orgaan uit den knop te voorschijn treedt, scheiden zich de weefsels in de zoodanigen, die eene neiging bezitten om zich in alle rigtingen uit te breiden, en in dezulken, die door de genoemde neiging passief worden uitgerekt en daarmede evenwigt houden, doch geïsoleerd eene kleinere ruimte zouden innemen dan in het levende, ongeschonden orgaan. Tot de eerste soort van weefsels behoort het saprijke parenchym van schors, merg, bladvlakte enz.; de passief uitgerekte weefsels zijn de buitenvlakte der opperhuid en de bundels vaat- en houtcellen. Men ziet dit verschijnsel duidelijk bij jeugdige stengelorganen, wanneer men daarvan doorsneden maakt, die zoo dun zijn, dat de dikte daarvan minder bedraagt dan de middellijn eener cel in de rigting loodregt op de snijvlakte.

Eene dergelijke snede, die alleen opperhuid en schorsparenchym bevat, kromt zich met de holle zijde aan den kant der opperhuid; de snede, die van het merg tot het hout reikt, wordt hol aan de houtzijde, en de snede, door de van opperhuid beroofde schors tot aan den bast of tot aan het hout gaande, wordt hol aan de binnenzijde. Niet altijd zijn bij stengelorganen dergelijke sneden gemakkelijk te maken, maar zeer ligt zijn die krommingen te zien, wanneer men van de saprijke bladeren van eenlobbige gewassen, b. v. knoflook, Hyacinthen of Narcissen, de opperhuid voorzigtig aftrekt. Men verkrijgt dan aan de randen der afgetrokken stukken gewoonlijk gedeelten, die alleen uit den buitenwand der opperhuidcellen bestaan. Deze

stukken nu, zonder celholte noch inhoud, krommen zich naar buiten hol; in water rollen zij zich zelfs op, terwijl zij in geconcentreerde suikeroplossing zich weder ontrollen.

Deze kromming is geheel onafhankelijk van de spanning door vochtwisseling tusschen aangrenzende cellen. De verschillende buiging van overlangs gespleten stengel- en wortelorganen, die DUTROCHET meende op te merken en waaruit hij ten onregte de verschillende rigting van beide geloofde te kunnen verklaren, behoort dus niet hier. Die bedoelde kromming heeft, volgens HOFMEISTER, zelfs plaats bij eencellige planten (b. v. bij *Nitella*), tengevolge van de spanningsverschillen der onderscheiden lagen van den celwand.

Van deze verschillen nu gaat HOFMEISTER uit om de rigting te verklaren, waarin stengel- en wortelorganen groeijen. Die verschillende spanning bewerkt eene neiging om naar boven te groeijen bij al die plantendeelen, welke nog voor zoodanige kromming vatbaar zijn. Wanneer men den stengel van een jong kiemplantje van turksche tarwe (*Zea Mays*) of van erwten (*Pisum sativum*) met was bevestigd aan de ondervlakte van eene horizontale, ondoordringbare plaat, zoodanig dat de stengel over zijne geheele lengte tegen de plaat aanligt, en men brengt nu dezen toestel in eene dicht gesloten, blikken kast, waarvan de wanden nat gehouden worden (dus in eene vochtige, volledig donkere ruimte) dan ziet men binnen 10 tot 24 uren den stengel gebogen in een naar onderen bollen, naar boven geopenden boog, wiens kromming bij *Zea* tot  $110^\circ$ , bij *Pisum* tot  $180^\circ$  klimmen kan. Bij deze buiging heeft, gelijk opzettelijke metingen HOFMEISTER geleerd hebben, verlenging plaats van beide helften van den stengel. Door de vasthechting met was is echter de kromming een weinig tegengehouden, zoodat, wanneer men na de genoemde tijdsruimte het was losmaakt, de kromming nog iets sterker wordt door zamentrekking aan de holle en door verlenging aan de bolle of onderzijde. De beschreven buiging of kromming nu ontstaat niet door vermeerderde neiging om zich uit te zetten van het parenchym der onderste helft, maar door vermindering der elasticiteit, of zoo men wil, door toeneming der uitrekbaarheid van de naar onderen gekeerde opperhuid.

Deze wijziging wordt bij allerlei planten te weeg gebragt, wanneer

men de organen buigt, en men kan de uitkomst der proef dus algemeen aldus uitdrukken: Alle uit hunne natuurlijke stelling gebragte organen zullen zich opwaarts krommen, omdat er spanningsverschillen tusschen de onderscheiden weefsels zijn, en omdat in de onderste lengte-helft van het orgaan de uitrekbaarheid toeneemt van die celwanden, welke de uitzetting verhinderen van de hiertoe neiging hebbende weefsels.

Dit geldt zelfs van de wortels, die in het oudere gedeelte de merkwaardige eigenschap bezitten (welke steeds geheel over het hoofd is gezien) zich opwaarts te krommen, zoodra zij uit de normale rigting gebragt worden.

Tegenovergesteld aan deze actieve, opwaartsche kromming is echter de naar beneden gerigte buiging der jonge wortels. Wanneer men een kiemend zaad of een uitloopenden bol of knol op eene horizontale, ondoordringbare onderlaag zoodanig bevestigt, dat een ontstaande wortel terstond de onderlaag treft, dan ontwikkelt zich deze wortel tegen die onderlaag aan, zonder zich ooit van deze te verwijderen door eene naar onderen holle kromming van den uitgegroeiden wortel. Het verschijnsel wordt iets gewijzigd, wanneer men, in plaats van het zaad van den aanvang der kieming af op de onderlaag te plaatsen, de reeds loodregt naar beneden ontwikkelde wortels op de horizontale, gladde plaat legt en het plantje aan deze onwrikbaar bevestigt. Men bespeurt dan eerst de boven vermelde opheffing van het oudere deel van den wortel, waarin spanningsverschillen tusschen de onderscheidene weefsels voorkomen. Is hierdoor het uiteinde van den wortel een weinig van de plaat opgeligt, dan wendt zich, terwijl de wortel zich verlengt, het nieuw gevormde deel naar beneden, totdat zijn uiteinde onder een scherpen hoek de plaat raakt. Van nu aan blijft de wortel dicht tegen de plaat aangroeijen, en de vroeger gemaakte bogt blijft onveranderd. In dit verschil ligt het fundamentele onderscheid tusschen beide soorten van krommingen, tusschen de opwaartsche en die, welke het middelpunt der aarde zoekt en door HOFMEISTER geocentrische kromming genoemd is.

Het blijkt uit deze proef, dat de geocentrische kromming alleen in het uiterste deel van den wortel plaats vindt. Herinneren wij ons nu, wat straks aangaande het anatomisch maaksel en den groei van den

wortel gezegd is, dan weten wij, dat de top bedekt wordt door een wortelmuts, die van buiten afsterft en van binnen aangroeit, en dat onmiddellijk hieronder en innig hiermede vereenigd het jongste deel van den wortel gevonden wordt, waar krachtige celvermeerdering plaats heeft. Een weinig hooger op heeft deze opgehouden, maar de cellen verlengen zich nog in lengte-richting, terwijl de weefsels meer en meer elk hun bijzonder karakter aannemen. De geocentrische kromming nu heeft plaats in het wortelstuk, dat zich nog verlengt, zooals men gemakkelijk kan aantonen, door op het geheele jongste deel van den wortel puntjes op gelijken afstand van elkander te plaatsen en de wijzigingen in deze afstanden van tijd tot tijd te meten. Het blijkt dan, dat het vermogen der geocentrische kromming zich niet uitstrekt over het geheele wortelstuk, dat nog in de lengte groeit. Het oudste stuk, waar de grootste strekking der gevormde cellen plaats heeft, is daarvoor niet meer vatbaar, maar omgekeerd beperkt zich die kromming ook niet tot het slechts  $\frac{1}{20}$  van een Ned. streep dikke laagje, waar celvermeerdering geschiedt. Er is alzoo een klein schijfje, van 0,5 tot hoogstens 1 Ned. streep dikte, waar die kromming ten gevolge der zwaartekracht kan plaats hebben, en dat, onder den invloed van deze, eenigzins beschouwd kan worden als een druppel van eene taaije vloeistof. In dit gedeelte wordt geen spanningsverschil tusschen de weefsels gevonden, want waar dit voorkomt, bestaat het vermogen om zich benedenwaarts te krommen niet meer. Naarmate eindelijk de wortelmuts een grooter of kleiner deel van den wortel bedekt, en naarmate de strekking in de lengterigting meer of minder aanzienlijk is, zal het voor de benedenwaartsche kromming vatbare schijfje dikker of dunner zijn. Zoo ziet men b. v. bij de luchtwortels der Orchideen, die weinig in de lengte groeijen, eene plotselinge en scherpe buiging van de spits van den groeienden wortel, zoodra deze uit den natuurlijken stand gebracht is. Bij de sterk in de lengte zich ontwikkelende hoofdwortels van vlinder- en kruisbloemige gewassen is daarentegen het voor kromming vatbare gedeelte zeer klein.

Op deze wijze tracht HOFMEISTER het merkwaardige verschijnsel van de eigen rigting, waarin stengel en wortel groeijen, te verklaren. Hoewel wij niet ontveinzen mogen, dat hiermede nog niet alles toege-



licht is, zoodat nader onderzoek geenszins overbodig is, zoo moeten wij echter erkennen, dat door hem eene nieuwe, vroeger geheel onbekende of althans niet behoorlijk opgevatte oorzaak ter verklaring is aangevoerd en door juiste proeven verdedigd, zoodat het vraagstuk eene schrede nader tot zijne oplossing is gebracht.

## VERRIGTINGEN VAN DEN WORTEL.

Er blijft ons over, na te gaan, welke de verrigtingen zijn van den wortel in het plantenleven. Dat die verrigtingen van belang moeten heeten, heb ik reeds gezegd in den aanvang van dit opstel, toen ik op de overdragtelijke beteekenis van het woord „wortel” opmerkzaam maakte.

Steun en voedsel, ziedaar wat de wortel aan de plant verschaft, het laatste alleen, waar de wortels evenals de geheele plant drijvende zijn in het water. Op welke wijze nu deze verrigtingen, bepaaldelijk die der voeding, vervuld worden en welk deel van den wortel daarbij de hoofdrol speelt, dit is nog niet in alle opzigten bekend. Maar het ware niet moeilijk, met de beschrijving der proeven over dit onderwerp genomen, en met het oog op de betrekking van den wortel tot den bodem en het overige der plant, een gansch boekdeel te vullen. Ik zal dus, om van de aandacht mijner lezers en lezeressen geen misbruik te maken, hierover slechts zeer kort zijn en alleen eenige hoofdpunten aanstippen.

Dat de wortel der plant een steun geeft in den grond, is iedereen bekend en behoeft geene nadere toelichting. De penwortel, die diep in den grond boort en de talrijke zijwortels, die herhaaldelijk zich vertakken en wijd en zijd zich verspreiden, vormen zoo vele steunpunten, waardoor der plant een stevige stand verzekerd is en waardoor zij zelfs tamelijk hevige stormen kan doorstaan. Waar de wortels in een gedeelte ontbreken of vergaan zijn, of waar de aard van den bodem eene diepe beworteling belet, daar staat de boom eerder aan omwaaien bloot, gelijk de Pinksterstorm van het jaar 1860 dit nog op vele plaatsen van ons vaderland en bepaaldelijk in het Haagsche bosch geleerd heeft.

Bij vele uitheemsche planten, zoo als sommige Palmen en de meeste

Pandaneën, moeten bovendien de talrijke luchtwortels, die uit verschillende hoogten van den stam benedenwaarts gaan, den noodigen steun verschaffen. Welke verrigtingen de luchtwortels der Orchideën, die nimmer den grond bereiken, te vervullen hebben, is nog niet in alle opzichten bekend.

Belangrijker, maar ook moeilijker toe te lichten is de hoofdverrigting der wortels, om aan de plant uit den bodem voedsel toe te voeren. Dat dit geschiedt, dat de plant uit den grond allerlei stoffen opneemt, en dat zij aldus op een vruchtbaren bouwgrond veel beter gedijt dan op een schralen bodem, is wederom iedereen bekend, maar omtrent de wijze, waarop dit geschiedt, en omtrent de oorzaken van dit vermogen is onze kennis nog onvolledig.

In de eerste plaats moeten wij vragen, in welken vorm neemt de wortel voedingsstoffen op?

Wanneer men niet geheel vreemdeling is op het gebied der plantenkunde, wanneer men weet, dat de wortel, zoo als elk ander plantendeel, uit een aantal cellen en vaten van onderscheiden vorm bestaat en nergens ware openingen van buiten vertoont, dan schijnt het niet twijfelachtig, welk antwoord op die vraag te geven. Integendeel, het mag vreemd schijnen, dat in den tegenwoordigen tijd die vraag nog gedaan wordt, aangezien de voedingsstoffen toch niet anders dan in oplossing door de celwanden heen in den wortel kunnen komen. Immers verschillende proeven met kleurstoffen, in uiterst fijn verdeelden staat in water verspreid aan gezonde wortels aangeboden, hebben geleerd, dat al hetgeen niet volkomen in oplossing verkeerde, niet werd opgenomen.

Doch in den laatsten tijd heeft LIEBIG, naar aanleiding van de belangrijke proeven van WAY, de stelling opgebouwd, dat de plantewortels hun voedsel wel is waar in oplossing bekomen, maar zelve een eigen werking op den bodem uitoefenen. Deze proeven van WAY leerden, dat de bouwgrond van daarin gebragte opgeloste stoffen sommige vastlegt en anderen in oplossing brengt. De drainwateren zijn dien ten gevolge zeer arm aan vaste bestanddeelen, en LIEBIG, hieruit verkeerdelijk besluitende tot hetgeen in den bodem werkelijk in oplosbaren toestand voorkomt (daar hij de vlakke-aantrekking geheel over het hoofd ziet) meent, dat de plantewortels een eigen oplossend ver-

mogen op den grond moeten hebben, daar zij anders de noodige anorganische stoffen niet kunnen bekomen. Deze besluiten, met den naam van LIEBIG en met zijne levendige voorstelling verkondigd, hebben velen verleid om de gewone zienswijze te laten varen en zich in den wortel eene functie te denken, waartoe overigens niet de minste grond bestaat. De onjuistheid der uitspraken van LIEBIG is in MULDER's jongste werk: „De scheikunde der bouwbare aarde” overtuigend en uitvoerig aangetoond, zoodat ik den belangstellende daarheen mag verwijzen. Juist het gebondene in den grond is voor de planten noodig en geeft ons de verklaring van het raadsel, waarom de eerste stortregen niet al de opgeloste stoffen des bodems wegspoelt.

De hoofdoorzaken, waardoor het vocht in de wortels intreedt en verder gevoerd wordt, zijn, voor zoo verre wij die kennen, osmose, capillariteit en vlakke-aantrekking, en voor de bebladerde planten bovendien de verdamping van vocht door de bladeren. Zien wij dit een weinig nader voor de land- en waterplanten.

Vooreerst wat de laatsten betreft, deze hebben hare wortels in het water en dus van alle zijden van vloeistof omgeven. In dat vocht zijn eenige stoffen opgelost, maar die oplossing is op verre na niet zoo geconcentreerd, als die van eiwit- en zetmeelachtige stoffen in de jeugdige celletjes. Er moet dus, volgens de bekende wetten der osmose, van de omringende vloeistof in de cellen treden, die hierdoor een meer verdunnen inhoud verkrijgen en weder met meer inwendig gelegen cellen eene wisseling van vocht veroorzaken. Dit gestoorde evenwigt wordt bij den groei der plant voortdurend onderhouden, omdat, bij de vorming van nieuwe cellen en de vergrooting en wandverdicking der bestaande, aanhoudend nieuwe toestanden geboren worden.

Dit geldt voor alle waterplanten, waarbij dan nog komt, dat diegenen, welke hare bladeren in de lucht verheffen, door de voortdurende verdamping van water, een aanhoudenden toevoer hiervan door de wortels noodzakelijk maken. Maar uit het gezegde volgt niet, dat allerlei planten uit hetzelfde vocht daarom juist altijd dezelfde stoffen in dezelfde betrekkelijke hoeveelheid moeten opnemen. TRINCHINETTI heeft integendeel proefondervindelijk bewezen, dat dit niet plaats heeft. Uit een mengsel van salpeter en keuzenzout (twee zouten, die elkander

niet ontleden) namen b. v. *Mercurialis annua* en *Chenopodium viride* veel salpeter en weinig keukenzout, omgekeerd *Satureja hortensis* en *Solanum Lycopersicum* veel keukenzout en weinig salpeter op.

Wij zien dus hieruit, dat van het omringende vocht niet alle opgeloste stoffen in gelijke hoeveelheid worden opgenomen door de plantenwortels. Dit wordt trouwens nog bevestigd door eene bekende proef van den grooten DE SAUSSURE. Deze bragt een aantal exemplaren van *Polygonum Persicaria* elk in een verschillend vocht en liet nu overal de helft van de omringende vloeistof door de plant opzuigen.

Men zou dus, wanneer alle stoffen gelijkelyk met het water waren opgenomen, van elk 50 deelen in de plant moeten vinden. Doch de uitkomst leerde, dat de planten hadden opgenomen van:

Chloorkalium . . . .	14.7	deelen.
Keukenzout . . . .	13	„
Salpeterzuren kalk . .	4	„
Zwavelzuren kalk . .	14.4	„
Chloorammonium . .	12	„
Azijnzuren kalk . . .	8	„
Zwavelzuur koperoxyde	47	„
Gom . . . . .	9	„
Suiker . . . . .	29	„
Veenaftreksel . . . .	5	„

Alzoo hadden 50 deelen water zeer verschillende hoeveelheden van de onderscheiden stoffen in de wortels ingevoerd. Hieruit verklaart zich dan ook, dat men bij in hetzelfde water groeiende planten geheel afwijkende betrekkelijke hoeveelheden anorganische stoffen aantreft. De wortelharen, welke hier het vocht opnemen, zijn anders zamengesteld, bevatten zelve verschillende stoffen, en daardoor zal de door osmose daarin tredende hoeveelheid van stoffen ook verschillend zijn.

Wat nu de landplanten betreft, hier zijn de wortels in andere toestanden geplaatst. Al blijven osmose, capillariteit, verdamping ook geldig, de omgeving der wortels is een geheel andere. Hier komt eene nieuwe belangrijke oorzaak, de vlakke-aantrekking in het spel. Iedereen weet, dat de wortels der landplanten verrotten, in plaats van hunne verrigtingen goed te vervullen, wanneer zij in een aanhoudend natten bodem

geplaatst worden; en wanneer men nagaat, wat er in de natuur geschiedt, dan vindt men, dat de planten het best gedijen, of dat de wortels het best hunne functien verrigten, wanneer de bodem afwisselend vochtig en droog is, en zelfs dan, wanneer de grond schijnbaar geheel is uitgedroogd, weten de wortelharen nog vocht daaruit op te nemen. Evenzoo wanneer men planten kweekt in glazen met aarde, dan ziet men in de talrijke tusschenruimten van den bodem, die door zijne donkere kleur den vochtigen toestand aanwijst, nergens water. De fijne wortelvezelen loopen overal daartusschen door en zijn niet eens overal met den grond in aanraking.

Met het oog hierop, schijnt het raadselachtig, op welke wijze de wortels het noodige vocht bekomen, want vloeibaar water is er niet in den grond; deze bevat niet anders dan hygroskopisch water, dat op de oppervlakte der gronddeeltjes kleeft, maar voor het oog onzichtbaar is.

Aanvankelijk zou men het eerst denken, dat de wortelharen het vermogen hadden om waterdamp, waarmede de holten in den grond toch opgevuld zijn, te verdigten, maar opzettelijke proeven van SACHS dienaangaande leeren het tegendeel. Jonge komkommersplanten met de ongeschonden wortels gebragt in een glas, waarin water op den bodem en dus de lucht met waterdamp verzadigd was, namen daarvan niet op, maar verdroogden. Ja zelfs onder die omstandigheden had er, zooals eene andere proef met *Camellia*-plantjes leerde, nog verdamping plaats uit den wortel, behalve de verdamping door de bladeren.

Eene andere voorstelling van de werking der wortels in den bodem, door SACHS en anderen in den jongsten tijd ontwikkeld, komt mij veel waarschijnlijker voor. Men kan zich voorstellen, dat, in een met water verzadigden of half uitgedroogden bodem, elk deeltje van alle zijden met een dun waterlaagje omgeven is, zoodat deze waterdeeltjes te zamen eene soort van hollen kogel of sfeer uitmaken, in het midden waarvan het gronddeeltje geplaatst is. Nu zullen die waterdeeltjes, welke het naast aan het bodemgedeelte gelegen zijn, met veel grooter kracht worden vastgehouden dan de meer naar den omtrek der sfeer gelegen waterdeeltjes, omdat de aantrekkingskracht in dubbele reden vermindert, naar mate de afstand van het

middelpunt van aantrekking toeneemt. Denken wij ons nu elke sfeer in een aantal dunne concentrische lagen verdeeld, dan zal elke laag sterker worden vastgehouden, naar mate zij digter bij het centrum gelegen is. Uit een dergelijken bodem kunnen dus de wortelharen slechts dan vocht opnemen, wanneer de vlakke-aantrekking van het vlies op het water grooter is dan de aantrekking of adhaesie van water en grond. Noemen wij de eerste  $a$ , en de krachten, waarmede die waterlaagjes teruggehouden worden, van buiten af gerekend  $b, c, d, e, \dots, n$ , dan moet men hebben  $b < c, c < d, d < e, e < \dots, n$ , en eerst dan kan de wortel vocht opnemen als  $a > b$  is. Stellen wij  $a > e$ , dan wordt het bodemdeeltje van zijne waterlaagjes tot  $e$  toe beroofd.

Dit bodemdeeltje staat echter niet alleen. Het is in aanraking met andere bodemdeeltjes, evenzoo met waterspheertjes omgeven, en deze sferen staan met elkander in evenwigt. Noemen wij die bodemdeeltjes  $A, B, C, D \dots N$ , en hunne waterlaagjes  $W_1, W_2, W_3, W_4 \dots W_n$ ; dan volgt hieruit, dat, zoo het wortelhaartje aan  $W_1$  de buitenste lagen ontleemt, het hygroskopisch evenwigt verbroken zal zijn, en om dit te herstellen zal er eene beweging van water plaats hebben, waarbij een deel naar  $W_1$  gaat. In het volgende oogenblik is de hygroskopische evenwigtstoestand een andere, maar toch analoog aan de beschrevene. Ook deze toestand wordt door het wortelhaartje verstoord, en dit gaat voort, zoo lang  $a$  grooter dan de buitenste waterlaag is.

Aanvankelijk schijnen  $b, c, d, e$ , enz. zeer klein, ten opzichte van  $a$  te zijn, maar hunne grootte neemt bij het gronddeeltje met eene hooge magt toe; zoodat daarna plotseling eene aanzienlijke vermindering in de wateropneming der wortels plaats heeft. Op deze wijze verklaart zich, hoe uit den vochtigen, maar niet natten bodem, de wortels vocht opnemen, en hoe zij dit eindelijk niet meer vermogen, niettegenstaande er nog vocht in den bodem is. Dit vermogen is afhankelijk van de waarde van  $a$ , van die van  $b, c, d, e \dots n$ , van de temperatuur, en van de oppervlakte der wortelharen.

Hieruit volgt tevens, dat, zoo het vermogen der wortelharen om waterdamp te condenseren, even groot is als dat om hygroskopisch vocht op te nemen, de wortelharen om in waterdamp dezelfde hoeveelheid vocht aan de plant aan te bieden, eene meer dan 1000 maal

grootere oppervlakte zouden moeten hebben. Eindelijk volgt hieruit ook, dat een wortelhaartje de stoffen ontvangt, niet slechts van het onmiddellijk aangrenzend bodemdeeltje, maar van een aantal andere tevens, want de hygroskopische beweging, door de vlakke-aantrekking veroorzaakt, heeft ook eene beweging der opgeloste en gebonden stoffen ten gevolge.

Voor deze opneming schijnen de plantenwortels anders gebouwd te zijn dan de in water levende. Althans SACHS vond, dat, wanneer men in aarde gegroeide wortels in water plaatst of omgekeerd, zij zich vooraf voor den nieuwen toestand (zie ook boven, bl. 169) moeten accommoderen, alvorens hunne normale verrigtingen te kunnen voortzetten. Zij kwijnen eerst, maar weldra vallen de oude wortelharen af en er verschijnen nieuwe, die de opneming dan met kracht doen plaats hebben.

De wortels zijn in hunne verrigting ook afhankelijk van de overige deelen der plant. Zoo b. v., wanneer men in den winter een tak van eenen wijnstok in eene warme kas leidt, beginnen de wortels, niet-tegenstaande het koude seizoen, te werken. Evenzoo hebben de tuinlieden, bij het verplanten van heesters, de gewoonte om de takken in te korten of de bladeren weg te nemen, ten einde de verdamping in harmonie te brengen met den toestand der wortels.

Welke veranderingen nu het opgenomen vocht in den wortel ondergaat en hoe het verder door de plant gaat, zullen wij thans niet onderzoeken. Dit ligt buiten ons onderwerp. Alleen wil ik ten besluite nog wijzen op de vraag, welk deel van den wortel het is, dat vocht opneemt.

Deze vraag is verschillend opgevat geworden. DECANDOLLE en TREVIRANUS meenden, dat het bodemvocht door de punt der wortelvezelen intreedt en aldus het spoedigst in den vaatbundel komt. Doch terecht heeft OHLERT aangetoond, dat de wortelspits van buiten een afstervend weefsel vertoont, uit de oudste cellen der wortelmuts bestaande en ongeschikt om vocht op te nemen. Eerst op een afstand van eenige strepen van de punt vangt, volgens hem, dit vermogen aan.

SENEBIER heeft jeugdige peenwortels in water geplaatst, de eene met de punt, de andere met den geheelen wortel in het vocht, en zag beide even goed groeijen; voorts plaatste hij den wortel van eene

jeugdige plant in water, maar boog de punt om tot buiten het water, en de plant verwelkte.

Eene tegengestelde uitkomst verkreeg OHLERT. Jonge plantjes van *Pisum sativum*, *Lupinus luteus* en *Calendula officinalis*, met de punt van den wortel in water gezet, verdroogden. Werd het overige deel van den wortel in eene vochtige atmosfeer gebragt, dan evenzoo. Daarentegen wanneer hij de planten zoo in water bragt, dat de wortel-spits uitstak, groeiden zij allen voortreffelijk; evenzoo als hij de spits afsneed en toelakte, dan maakten zij weldra een tal van nevenwortels. Uit deze proeven besluit hij, dat niet de punt, maar de geheele wortel het vocht opneemt.

Tegen deze proeven is echter het een en ander in te brengen. Vooreerst als hij alleen de wortelmuts in water bragt, dan moet volgens aller getuigenis de wortel te gronde gaan. Dat ook de anderen niet terstond groeiden, vindt zijne verklaring in de boven vermelde uitkomst van SACHS, dat de wortels zich accommoderen moeten, als zij in eene andere middenstof gebragt worden.

Over het algemeen neemt men, zich ook steunende op het anatomisch onderzoek, thans aan, dat de wortel vocht opneemt over de geheele jeugdige oppervlakte, die gewoonlijk met haren bezet en nog niet verkurkt is. Alleen de wortelmuts zelve neemt hieraan geen deel. De *spongiolae* van DECANDOLLE en anderen behooren tot de geschiedenis.

---

In het bovenstaande is de tegenwoordige staat onzer kennis van den plantenwortel beknoptelijk medegedeeld. Er ligt ook hier voor den natuuronderzoeker nog een ruim veld ter bearbeiding, hoewel reeds een tal van belangrijke zaken, vooral in de laatste tijden, aan het licht, zijn gekomen. Moge dit opstel bij de lezers van het Album de kennis van dit plantendeel vermeerderd, en de behandeling van het onderwerp den naam van *scientia amabilis*, ook op dit gebied toepasselijk, niet geheel gelogenstraft hebben!

---