



De invloed der temperatuur op de levensverschijnselen der planten

<https://hdl.handle.net/1874/235812>

mm 13006

~~H. H. HEIDINGA~~
H. H. Heidinga



DE

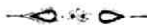
INVLOED DER TEMPERATUUR

OP DE

LEVENSVERSCHIJNSELEN DER PLANTEN,

DOOR

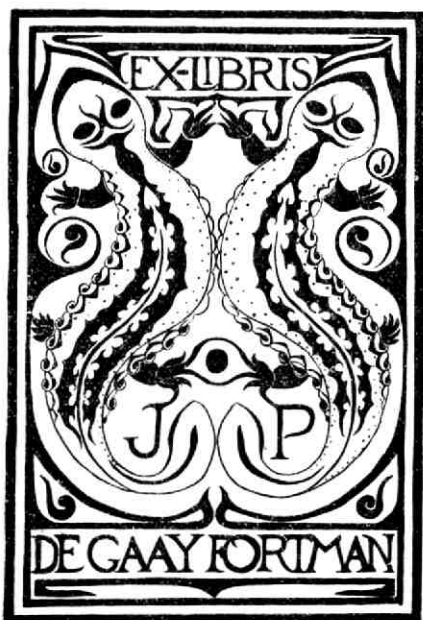
DR. HUGO DE VRIES.



's GRAVENHAGE,
MARTINUS NIJHOFF.

1870.





~~0813/9~~
~~9ESNAT~~
007 1452

DE INVLOED DER TEMPERATUUR

OP DE

LEVENSVERSCIJNSELEN DER PLANTEN.

TRECHT



GEDRUKT BIJ GEBR. GIUNTA D'ALBANI.

ODJ 1452

DE

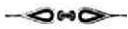
INVLOED DER TEMPERATUUR

OP DE

LEVENSVRSCHIJNSELEN DER PLANTEN.

DOOR

D^r. HUGO DE VRIES.



Rijksuniversiteit te Utrecht
Instituut voor Geschiedenis
EGO 217
der Natuurwetenschappen

's GRAVENHAGE,
MARTINUS NIJHOFF.

1870.

RIJKSUNIVERSITEIT UTRECHT



1662 0373

Dich im Unendlichen zu finden,
Musst unterscheiden und dann verbinden.

GOETHE.

Aufgabe der Physiologie ist es, die Erscheinungen des
Lebens auf bekannte physikalische und chemische
Gesetze zurück zu führen.

UNGER.

VOORBERICHT.

In 1868 schreef de Faculteit van Wis- en Natuurkunde aan de Hoogeschool te Groningen de prijsvraag uit:

Quid notum est de actione caloris in plantarum radices?

Aan de verhandeling, die ik ter beantwoording inzond, viel de onderscheiding te beurt, met de gouden medaille bekroond te worden.

Zij ziet thans, geheel omgewerkt, het licht. Daar ik de beginselen, in de beide motto's uitgedrukt, aan deze bewerking ten grondslag wenschte te leggen, heb ik gemeend aan den eenen kant mijne verhandeling te moeten uitbreiden, door den invloed der warmte niet alleen op de wortels maar op de geheele plant na te gaan, maar haar aan den anderen kant tot de levensverschijnselen te kunnen beperken; hierdoor zijn twee afdec-

lingen, die over den dood der planten tengevolge van werkingen der warmte handelden, vervallen.

In plaats van, naar de veelal gevolgde gewoonte, de nieuwe onderzoekingen in een afzonderlijk hoofdstuk samen te vatten, heb ik mijne eigene proeven, omdat zij of tot kritiek van de resultaten van anderen, of tot het aanvullen van leemten dienen, hier en daar ingelascht, naarmate het verband dit medebracht. In het laatste hoofdstuk, waar de algemeene uitkomsten behandeld worden, zijn de plaatsen, waar die proeven voorkomen, aangeduid.

I N H O U D.

HOOFDSTUK I. Temperatuur der planten	Pag. 1.
§ 1. Temperatuur der planten	” 1.
HOOFDSTUK II. Temperatuurgrenzen van het plantenleven	” 8.
§ 2. Hoogste grens	” 8.
§ 3. Laagste grens	” 22.
HOOFDSTUK III. Invloed van de veranderingen der temperatuur	” 30.
§ 4. Bepaling	” 30.
§ 5. Onschadelijkheid voor het leven	” 33.
§ 6. Invloed op de beweging van het protoplasma	” 36.
§ 7. Indirecte gevolgen.	” 39.
HOOFDSTUK IV. Afhankelijkheid der afzonderlijke levensverschijnselen van de temperatuur	” 45.
A. PHYSISCHE VERSCHIJNSELEN.	
§ 8. Uitzetting.	” 45.
§ 9. Verdamping	” 51.

§ 10. Imbibitie	Pag. 53.
§ 10 <i>a</i> . Bijzondere imbibitie-verschijnselen van den celwand	„ 67.
§ 10 <i>b</i> . Bijzondere imbibitie-verschijnselen van het protoplasma	„ 71.
§ 11. Osmose	„ 73.
§ 12. Filtratie	„ 75.
B. CHEMISCHE VERSCHIJNSELEN.	
§ 13. Stofwisseling.	„ 83.
§ 14. Assimilatie	„ 91.
C. GEMENGDE VERSCHIJNSELEN.	
§ 15. Ontkieming	„ 92.
§ 16. Verdere ontwikkeling.	„ 100.
HOOFDSTUK V. Samenstelling der resultaten.	„ 105.
§ 17. Samenstelling der resultaten	„ 105.

HOOFDSTUK I.

TEMPERATUUR DER PLANTEN.

§ 1.

Temperatuur ¹⁾ der planten.

Een eerste vereischte bij de onderzoekingen omtrent den invloed der temperatuur op de levensverschijnselen der planten is, dat men de temperatuur der onderzochte planten kent. Het is dus noodig, vóórdat men tot het onderzoek zelf overgaat, de verschillende methoden na te gaan, volgens welke deze temperatuur bepaald kan worden. Deze methoden zijn van tweeërlei aard; ten eerste kan de temperatuur van een plantendeel rechtstreeks afgelezen worden, als de bol van een thermometer, of de spits eener thermo-electrische naald er in gebracht is, en ten tweede kan de gezochte temperatuur door middel van die der omgeving bepaald worden. Van de uit te voeren onderzoeking hangt de keus der methode af. De temperatuur van massieve plantendeelen moet bijna altijd door daarin aangebrachte thermometers bepaald worden; thermo-electrische naalden worden tot het aantoonen van kleine temperatuursverschillen tusschen deelen van betrekkelijk geringen omvang aangewend. De tweede methode is bij de meeste proeven de gebruikelijke, en verdient

¹⁾ De temperatuur zal steeds in Celsius-graden worden opgegeven.

ook uit een praktisch oogpunt de voorkeur, omdat zij de bepaling der temperatuur van meerdere organen of planten door één enkele aflezing toelaat. Daarbij wordt de temperatuur der omgeving afgelezen, en daaraan die der plant gelijk gesteld. Het is dus in de eerste plaats noodig, de oorzaken na te gaan, die een verschil tusschen de temperatuur der plant en die van hare omgeving bewerken kunnen, en daaruit de bij deze methode vereischte voorzorgen afleiden. Deze oorzaken zijn: slechte warmte-geleiding, uitstraling en absorptie, warmte-verbruik bij verdamping, warmte-voortbrenging bij physische en chemische processen.

Omtrent de warmtegeleiding in hout zijn onderzoekingen gedaan door Tyndall ¹⁾ en Knoblauch ²⁾.

Tyndall liet van 45 verschillende houtsoorten cubische stukken van gelijke grootte vervaardigen. Een der assen van den cubus was evenwijdig met de vezels, de tweede loodrecht daarop en evenwijdig met de jaarringen en de derde loodrecht op de richting van beiden, waartoe de stukken zoo ver mogelijk van het merg af gekozen waren. In alle drie deze richtingen werd de snelheid van geleiding volgens een methode onderzocht, die voor alle soorten dezelfde was en dus volkomen vergelijkbare resultaten gaf. In de richting van de met de vezels evenwijdige as was de snelheid de grootste, en in die van de derde as het kleinste. Getallenwaarden worden niet opgegeven.

Knoblauch onderzocht de geleidingssnelheid in met de vezels evenwijdige richting en loodrecht daarop, en vond haar even als Tyndall, in de eerste richting grooter dan in de laatste ³⁾. Bij compact hout was dit verschil kleiner (b. v. *Acacia* 1,25: 1.) dan bij week (b. v. *Populier* 1,80: 1.).

¹⁾ Tyndall, < *Philos. Magaz.* 4^e ser. vol. V. 1853. p. 138.

²⁾ Knoblauch, < *Pogg. Ann.* 105. 1858. p. 623—628.

³⁾ Hetzelfde bevonden ook De la Rive en A. De Candolle, < *Pogg. Ann.* 14. 1828. p. 590.

De absolute geleidings-coëfficiënt van droog hout is, met betrekking tot die van andere vaste lichamen zeer klein, en die van levend hout is door de aanwezigheid van imbibitie-water nog geringer. Dientengevolge blijven dikke boomstammen bij de luchttemperatuur steeds achter, wanneer deze verandert. Hun temperatuur is lager dan die der lucht als deze warmer wordt, bereikt eerst eenigen tijd na deze haar maximum, en is bij dalende luchttemperatuur weer hooger ¹⁾). Het verschil zal des te grooter zijn, naarmate de temperatuursverandering der lucht sneller, en de geleidings-coëfficiënt van het hout kleiner is, en naarmate men een meer naar het midden gelegen gedeelte, of het midden van een dikker stam onderzoekt. In onze streken, waar de luchttemperatuur steeds verandert, geldt algemeen de uitspraak van Rameaux ²⁾ „ Un arbre n'a pas une température, il en a d'innombrables”.

Daar de temperatuur van den grond op eenige diepte steeds van die der lucht verschilt, is er nog een andere reden van verschil tusschen de temperatuur der lucht en die van den stam. Is de lucht warmer dan de grond, dan zal de warmte van den stam naar den wortel geleid worden, en de eerste dus kouder, de laatste warmer zijn dan zijn omgeving. Het omgekeerde zal het geval zijn als de lucht kouder is dan de grond.

Behalve de warmtegeleiding is er, zoolang de bladen water verdampen, nog een andere reden, waardoor wortel en stam dezelfde temperatuur trachten aan te nemen. Het is het opstijgende water, dat de temperatuur, die het in den wortel bezat,

¹⁾ Becquerel, < Compt. Rend. 47; 48; < Mém. de l'Inst. 32. 1864. Rameaux, < Ann. sc. nat. 19. 1843, p. 5. Krutzsch, < Chemischer Ackersman 1858. p. 151 (geëxc. in Peters, Jahresbericht I. p. 142); Dezelfde, < Tharander Jahrb. X. 2. F. III (gecit. d. Sachs, Handb. d. Experim. Physiol. p. 50), waar de oudere litteratuur opgegeven is.

NB. In die gevallen, waarin ik de oorspronkelijke bronnen niet heb kunnen raadplegen, is altijd opgegeven, aan welk ander werk ik het vermelde citaat ontleend heb.

²⁾ Rameaux l. c. p. 29.

aan den stam tracht mede te deelen; dit zal in den zomer dus een verlaging van de temperatuur van den stam ten gevolge hebben. Deze verkoeling van den stam wordt echter daardoor eenigzins gematigd, dat de beweging van het water een ontstaan van warmte ten gevolge heeft, evenals dit in het algemeen bij verschijnselen van imbibitie en osmose waargenomen wordt ¹⁾. De volgende proef van Rameaux ²⁾ bewijst den invloed van het opstijgende water ten volle:

In twee even groote Populieren, die dicht naast elkander stonden en door de zon steeds gelijkelijk beschenen werden, werden thermometers op eenigen afstand van den beganen grond in boorgaten aan de schaduwzijde bevestigd. Gedurende geruimen tijd hielden de thermometers gelijken gang. Toen echter een der beide boomen gedood was door invoering van geconcentreerd zwavelzuur in boorgaten dicht boven den grond, stond de thermometer in dezen over dag voortdurend hooger dan in den levenden; soms bedroeg het verschil 8--10°. Na eenigen tijd werd de levende boom van zijn bladen beroofd en zoo het opstijgen van het water uiterst gering gemaakt, waarna de temperatuur in beiden gelijk werd en dit zoolang de waarnemingen voortgezet werden, bleef. Tevens bewijst deze proef dat de verschillen, door andere onderzoekers in de temperatuur van levende en doode boomen gevonden, geheel door den vochtstroom veroorzaakt worden.

De onderzoekingen van Göppert ³⁾ leeren, dat ook in andere weefsels dan hout (b. v. in den bol van Narcissus, den wortelstok van Cicuta), de temperatuur slechts langzaam gelijk wordt aan die der lucht, als de onderzochte stukken eenigzins groot zijn; en dat dus ook in deze de geleidingsnelheid zeer gering

¹⁾ Schumacher, Die Diffusion 1861. p. 65.

²⁾ Rameaux l. c. p. 23.

³⁾ Göppert, Wärme-Entwicklung 1830. p. 168.

is. Iets naders hieromtrent leeren zij niet, daar zij met een ander doel genomen zijn.

Uitstraling en absorptie van warmtestralen moeten een invloed op de temperatuur der planten hebben. Een thermometer, waarvan de bol door een met roet bedekten cilinder omgeven is, staat in heldere nachten steeds lager dan een gewone thermometer dicht bij den eerste. Als hij door de zon beschenen wordt, terwijl de andere in de schaduw hangt, staat hij vele graden hooger. De uitstraling naar de ledige ruimte verkoelt hem onder de temperatuur der lucht, de absorptie van zonnestralen verwarmt hem daarboven. Hetzelfde geldt van de planten: In nachten, waarin de luchttemperatuur $+1$ — $+3^{\circ}$ was, heeft men niet zelden een doodvriezen van bladen waargenomen ¹⁾, waardoor dus een verkoeling door uitstraling bewezen wordt. Boussingault ²⁾ nam waar, dat gras in heldere nachten 7 — 8° kouder kon zijn dan de luchtlaag onmiddelijk er boven. Nadere onderzoekingen hierover ontbreken echter.

Bij de absorptie van lichtstralen door groene plantendeelen komt nog in aanmerking, dat een gedeelte dezer stralen bij de assimilatie verbruikt wordt, en dus niet tot verhooging van de temperatuur van het plantendeel bijdraagt.

De temperatuursverlaging, die planten ten gevolge der verdamping ondergaan, zou uit de hoeveelheid van het verdampte water, het gewicht der plant en de bekende waarde van de latente warmte van waterdamp berekend kunnen worden, als de specifieke warmte van plantenweefsels en de warmtegeleiding in deze bekend was. Daar aan deze voorwaarden niet voldaan is, en rechtstreeksche proeven over dit onderwerp ontbreken, is de invloed van de verdamping op de temperatuur der planten nog geheel onbekend.

¹⁾ Zie o. a. A. Braun, < Bot. Ztg. 1861. p. 263.

²⁾ Boussingault, Landwirthschaft II. p. 400

Bij alle verschijnselen van imbibitie of osmose en alle bij de stofwisseling plaats vindende chemische veranderingen, worden spankrachten in warmte omgezet. Deze warmte kan in de planten worden waargenomen, als de overige in het begin besproken invloeden geëlimineerd zijn. Het is echter voornog onmogelijk de verschillende oorzaken afzonderlijk te bestudeeren, behalve in enkele gevallen, b. v. de warmte-ontwikkeling bij het ontkiemen van zaden of bij het bloeien van vele bloemen, waar de, bij het oxydatie-proces ontstane warmte, die, welke door imbibitie of osmose ontstaan kan, vele malen overtreft en een belangrijke temperatuursverhoging bewerkt. In deze gevallen kan de eigene warmte, dat is het temperatuursverschil tusschen de plant en de omgeving, verscheidene graden bedragen. Terwijl deze punten door vele waarnemers onderzocht zijn, is de eigene warmte, die ook in andere deelen wordt waargenomen en die voor het tegenwoordig doel alleen van belang is, minder dikwijls nagegaan. Zij werd ontdekt door Dutrochet ¹⁾, die tot hare bepaling het gebruik van de thermo-electrische naald invoerde. Door vergelijking van twee gelijke plantendeelen, waarvan het eene door dompeling in water van 50° gedood was en die beiden onder gelijke omstandigheden in een met waterdamp verzadigde ruimte stonden, vond hij een temperatuursverschil ten voordeele der levende plant van meestal $\frac{1}{6}$ — $\frac{1}{10}$ °, hoogstens van $\frac{1}{4}$ °. Deze eigene warmte werd alleen in krachtig fungerende deelen waargenomen, dus b. v. niet in houtige takken of tusschen de reeds gevormde bloembladen van een bloemknop.

Uit het bovenstaande blijkt genoegzaam, dat het tot nu toe onmogelijk is, de temperatuur van een in het vrije groeiende, of door de zon beschenen plant uit de temperatuur der omge-

¹⁾ Dutrochet, < Ann. d. sc. nat. 1839. II. p. 77.

ving af te leiden ¹⁾). Bij proeven, waar de temperatuur der omgeving voor die der plant genomen wordt, tracht men dus den invloed der stralende warmte en de verdamping te elimineeren, en een temperatuursverschil door slechte warmtegeleiding op te heffen door langzame veranderingen van de temperatuur der omgeving, of door langer verblijf in een omgeving van constante temperatuur. Waar de aard der proeven de verdamping of het beschijnen door de zon eischt, kunnen tegenwoordig nog slechts vergelijkende proeven genomen worden, waarbij men zooveel mogelijk behoort zorg te dragen, dat de door deze beide oorzaken bewerkte fout voor alle proeven eener reeks dezelfde is.

De invloed der eigene warmte is in verreweg de meeste gevallen zoo klein, dat zij verwaarloosd kan worden.

¹⁾ Om deze en andere door Sachs o. a. Handbuch p. 69 aangegeven redenen, kan in deze verhandeling van de talrijke phaenologische waarnemingen en de daarop gebaseerde theorien (Boussingault, Quetelet, A. de Candolle, Linsser) geen gebruik gemaakt worden.

HOOFDSTUK II.

TEMPERATUURGRENZEN VAN HET PLANTENLEVEN.

§ 2.

Hoogste grens.

Men heeft gemeend uit de stollingstemperatuur van eiwit de temperatuurgrens van het plantenleven te kunnen afleiden en het is zeker, dat een plant gedood zal worden door een temperatuur, waarbij het eiwit harer cellen stolt. Tegen de conclusie zijn echter drie bezwaren in te brengen: 1° kent men de stollingstemperaturen der verschillende eiwitachtige stoffen onder verschillende omstandigheden slechts zeer onvolledig ¹⁾, 2° kent

¹⁾ Volgens onderzoekingen van Panum (< Archiv für pathol. Anatomie. IV. 1852. p. 441—444.) verandert de aanwezige hoeveelheid zout, bij gelijk zuurghalte, de stollingstemperatuur eener eiwitoplossing. Zijn voornaamste proeven waren deze: 100 volumina eener zure eiwitoplossing werden met een zeker aantal volumina van bijna geconcentreerde zoutoplossingen vermengd, en daarna langzaam verwarmd. In de volgende tabel geeft de eerste kolom de eiwitoplossing, de tweede het tot oplossing gebruikte zuur, de derde het toegevoegde zout aan. In de volgende kolommen geeft het eerste van de beide door — gescheiden getallen de temperatuur, waarbij de op-

men noch de concentratie van het eiwit der plantencellen, noch de hoeveelheden zout of zuur die er mede gepaard voorkomen, 3° is het onbekend, of beneden het stollingspunt van het eiwit gelegen temperaturen niet een doodende verandering der cellen kunnen veroorzaken ¹⁾. Men is dus geheel tot een empirisch-physiologisch onderzoek beperkt, en kan zelfs, na afloop hiervan, de waargenomen verschijnselen niet verklaren.

Dit onderzoek is het meest volledig door Sachs ²⁾ ingesteld. Hij bracht in potten groeiende planten in een verwarmings-toestel ³⁾, verwarmde de lucht tot een bepaalden graad, hield dan de temperatuur eenigen tijd constant, waarna zij, hetzij in den toestel, hetzij daarbuiten tot die van het vertrek afdaalde. In een tweede reeks van proeven dompelde hij de te onderzoeken planten gedurende eenigen tijd in water van constante tempe-

lossing troebel werd, het tweede die waarbij het eiwit zich in vlokken afscheidde, als 1, 2, 4, 6 enz. volumina zout aan 100 volumina der zure oplossing waren toegevoegd.

Eiwit-oplossing.	Gebruikt zuur.	Toegevoegd zout.	Volumina geconc. zoutopl. op 100 vol. d. eiwitopl.									
			1	2	4	6	8	10	16	20	100	
Serum-albumin.	Azijnzuur.	MgSO ₄ .								32—55		19—32
"	"	(C ₂ H ₃ O)NaO.									38—55	19—
"	Phosphorz.	Na Cl.	helder bij 100			50—	27—	19—				
Serum-casein.	"	Na Cl.	"	—80	40—75		30—66			17—60		30—72

¹⁾ Gelijk in het volgende blijken zal, ligt de doodende temperatuur in den regel des te lager, naarmate het watergehalte der cellen grooter is. Daar nu de stollingstemperatuur van eiwit des te hooger ligt, naarmate het eiwit in meer water is opgelost (Lehmann, Lehrb. d. physiol. Chemie 1852. I. p. 311.), pleit dit vooralsnog tegen de veronderstelling dat de stolling van het eiwit de oorzaak van den dood bij hooge temperaturen is; ten minste is het niet geoorloofd aan de afhankelijkheid van beide verschijnselen van het watergehalte een argument voor hun oorzakelijk verband te ontleenen, zoo als dit somwijlen geschied is.

²⁾ Sachs, Ueber die obere Temperaturgrenze der Vegetation, < Flora 1864. p. 5.

³⁾ Zie de teekening en beschrijving hiervan in Sachs, Handbuch p. 64.

atuur. In de volgende tabel voeg ik zijne proeven der eerste reeks met voorbijgang aller bijzonderheden bijeen:

SOORTEN.	TEMPERATUUR		Duur der constante temperatuur.	GEVOLGEN.
	der lucht.	der aarde.		
Nicotiana rustica. 1 ^e ex.	44—45 ^o	44,5 ^o	30 minuten.	Geen storing.
" " 2 ^e "	45		60 "	" "
" " 3 ^e "	45—47	43,5	40 "	" "
" " 4 ^e "	50—51,5		15 "	" "
" " 5 ^e "	51—52	49	11 "	Na 6 dag. oudere bladen dood, jongeren later.
Zea Mais. 1 ^e ex.	47—48	32,5	15 "	Geen storing.
" " 2 ^e "	49—50	41,2	30 "	Na 3 dagen dood.
" " 3 ^e "	50—51,5	40	10 "	" 4 " "
" " 4 ^e "	52	31,5	15 "	" 7 " "
Cucurbita Pepo. 1 ^e ex.	48—48,5	44	20 "	Geen storing.
" " 2 ^e "	50—51	44,5	25 "	" "
Tropaeolum majus. 1 ^e ex.	45		30 "	" "
" " 2 ^e "	50		10 "	" "
Brassica Napus. 1 ^e ex.	49—49,5	36,5	20 "	" "
" " 2 ^e "	50—51	40,5	10 "	Na 4 dagen dood

De proeven der tweede reeks waren de volgende:

SOORTEN.	Temperatuur van het water.	Duur der verwarming.	GEVOLGEN.
<i>Nicotiana rustica</i> (groene deelen).	58—50 °	10 minuten.	Na 4 dagen dood.
<i>Zea Mais</i> .	48,5—49,5	10 "	" 6 " "
<i>Cucurbita Pepo</i> .	50—51	10 "	" 3 " "
<i>Tropaeolum majus</i> .	48,5—50	10 "	" 5 " "
<i>Brassica Napus</i> .	48,5—49,5	10 "	" 4 " "
<i>Ceratophyllum demersum</i> .	45	10 "	Geen storing.
" "	49—50,5	10 "	Na 7 dagen dood.
<i>Vallisneria spiralis</i> .	44—46	10 "	" 24 " "
" "	49—50	10 "	" 24 " "
<i>Phaseolus vulgaris</i> (pl. met wortels).	45—46	10 "	Geen storing.
" "	50	10 "	Na 2 dagen dood.

Verder met afgesneden bebladerde takken:

SOORTEN.	In water van 45—46° (10 minuten).	In water van 50° (10 minuten).
<i>Papaver somniferum</i> .	Geen storing.	Na 2 dagen dood.
<i>Tanacetum vulgare</i> .	" "	" 2 " "
<i>Cannabis sativa</i> .	" "	" 2 " "
<i>Solanum tuberosum</i> .	" "	" 2 " "
<i>Lupinus polyphyllus</i> .	" "	" 2 " "
<i>Allium Cepa</i> .	" "	" 2 " "
<i>Morus alba</i> .	" "	" 6 " "

Behalve Angiospermen onderzocht Sachs nog Chara en Cladophora. Chara stierf na 10 minuten in water van 44—46°, Cladophora na 10 minuten in water van 49—50,5° geweest te zijn. Gedurende 10 minuten op 45° gehouden, bleef Cladophora levend.

Deze proeven leiden tot het resultaat: dat de hoogste temperatuur, die de onderzochte planten gedurende korten tijd zonder schade voor haar leven verdragen kunnen, in lucht omstreeks 50—52°, in water omstreeks 44—46° ligt. Tevens merkte Sachs op, dat deelen van verschillenden ouderdom niet even gevoelig zijn, dat evenmin voor stengels, knoppen of bladen de grenstemperatuur volkomen dezelfde is.

Evenzoo vond Schultze ¹⁾, dat een temperatuur van 47—48° in water de haren van *Tradescantia virginica*, *Urtica urens*, en de cellen van *Vallisneria spiralis* doodde. Bij 46° vond hij steeds eenige cellen onveranderd, bij 45° velen, bij 44° allen.

Zoowel Sachs als Schultze meenen ten gevolge van hunne proeven 45° in water en 52° in lucht als temperatuurgrenzen voor het plantenleven in het algemeen vast te mogen stellen. De waarnemingen van wieren, die in bronnen leven, wier water warmer dan 45° is, pleiten tegen de algemeenheid van dezen regel, daar zij te talrijk en te nauwkeurig zijn om aan hare juistheid te twijfelen ²⁾. Daarenboven kunnen vele zaden in vochtigen toestand tot 52° of hooger zonder nadeel gedurende eenigen tijd verwarmd worden.

Ik wil dus de waarnemingen van in warme bronnen groeiende wieren, voor zoo ver ik die heb kunnen bijeen brengen, te zamen stellen. Hierbij is echter een kritiek der opgaven noodig. Het water der warme bronnen komt met een bepaalde, voor elke bron verschillende, temperatuur omhoog, en stroomt

¹⁾ Max Schultze, *Das Protoplasma der Rhizop. und d. Pflanzenzellen*. 1863. p. 48.

²⁾ Zoo als Schultze l. c. p. 49 en Sachs, *Lehrbuch* 1870 p. 611 doen.

dan in de meeste gevallen als een beek verder. Hierbij verkoelt het natuurlijk. Ook aan de randen van eenigszins groote bassins, in wier midden het warme water omhoog stijgt, kan reeds een lagere temperatuur heerschen. De opgave van de temperatuur der bron, dat is van de temperatuur, waarmede het water te voorschijn treedt, is dus onvoldoende om de temperatuur van in die bron verzamelde wieren te kennen. Hiertoe is steeds noodig dat de bol van den thermometer tusschen de wieren gehouden is. Ik citeer in het volgende dus alleen de waarnemingen, waarbij aan deze voorwaarde voldaan is.

Ehrenberg ¹⁾ vond op Ischia in warme bronnen zoden van levende Oscillarineeën en Eunotien, wier temperatuur 81—85° bedroeg.

Cohn ²⁾ vond in den Carlsbader Sprudel geen vegetatie in water van meer dan 54°; bij 52—44° vond hij Leptothrix, bij lager temperaturen ook Oscillarineeën en Mastigocladen.

Meneghini ³⁾ vond in water dat boven 47, 5° warm was geen wieren; bij deze temperatuur groeide *Anabaena rudis*.

Pedecino ⁴⁾ vond op Ischia een warme bron, waarin Oscillarineeën groeiden, die een temperatuur van 58° hadden; in andere bronnen vond hij de hoogste temperatuur van levende zoden 47°, in nog andere 40°.

Nicolucci ⁵⁾ vond de grens van het plantaardige leven in de door hem onderzochte bronnen bij 60°.

Uit deze waarnemingen volgt, dat er soorten van Oscillarineeën en Diatomeeën bestaan, die in water van hooger tem-

¹⁾ Ehrenberg, < Monatsberichte d. Acad. zu Berlin. 1858. 21 Oct.; 1859 p. 493; (geciteerd door Schultze l. c. p. 49.)

²⁾ Cohn, die Algen des Carlsbader Sprudels. < Abh. der Schles. Ges. d. Wiss. 1862. Heft 2.

³⁾ Meneghini, *Conspectus Algologiae Euganeae*. 1837.

⁴⁾ Pedecino, *Sulle diatomee viventi presso alcune terme dell' Isola d'Ischia*. < Atti. dell. Acad. di Napoli III. 1867. p. 15.

⁵⁾ Nicolucci, < Rendic. d. R. Acad. d. sc. d. Napoli. 1842. p. 252—256, (geciteerd door Pedecino l. c. p. 1.)

peratuur dan 45° leven kunnen en dat de grens voor haar leven verschillend is al naar gelang der bron, dus waarschijnlijk afhankelijk van de soorten, hetgeen daardoor nog meer waarschijnlijk wordt, dat niet alle Oscillarineae bij zoo hooge temperaturen leven kunnen, zooals mijne weldra te vermelden proeven bewijzen.

Omtrent de hoogste temperatuur, die vochtige zaden in lucht kunnen verdragen, bevond Fiedler ¹⁾ dat deze voor Erwt en Rogge en Tarwe 51—52° (gedurende één uur) is. Bij allen ontkiemde echter slechts een klein gedeelte der verwarmde zaden.

De tegenspraak, die tusschen de stelling van Schultze en Sachs, en de resultaten der waarnemingen van in warme bronnen levende wieren bestaat, gaf mij aanleiding de proeven van Sachs zoo veel doenlijk uit te breiden, om na te gaan of het wellicht mogelijk was deze tegenspraak op te heffen.

Mijne proeven zijn de volgende:

I. In potten gezaaide en krachtig groeiende planten werden in een verwarmingstoestel geplaatst, die geheel naar den door Sachs ²⁾ gebruikten toestel ingericht was, doch die zonder de klok gebruikt werd. Een horizontaal scherm beveiligde den stengel en de bladen voor de opstijgende warme lucht; het liet twee thermometers door, waarvan de eene de temperatuur der aarde in het midden, de andere die aan den rand van den pot aangaf. De temperatuur der aarde steeg steeds langzaam, werd dan gedurende een half uur constant gehouden en daalde na afloop der proef eveneens langzaam. Waren de wortels door de verwarming gedood, dan was dit na eenige dagen aan het verlepven en verdroogen der bladen te bespeuren. Na 2—3 weken werden de planten steeds uit de potten genomen om te zien of de wortels zelve dood waren. Het vormen van nieuwe

¹⁾ Sachs, Handbuch d. Experim. Physiol. p. 66.

²⁾ Zie pag. 9.

bijwortels werd steeds belet, en de planten waren zoo gezaaid dat nooit een deel van den stengel mede verwarmd werd.

De inrichting der proef heeft ten gevolge, dat de rand van den pot steeds iets warmer is dan het midden, zoodat dus in de proeven bij de grenstemperatuur de wortels aan den rand van den pot gedood kunnen worden, terwijl die in het midden nog blijven leven. Dit is steeds én aan het verdroogen of afvalen van een zeker aantal der oudste bladen, én aan de wortels zelve na afloop der proef waar te nemen.

SOORTEN	Hoogste temperatuur van het midden.	Hoogstetemperatuur aan den rand.	GEVOLGEN.
Zea Mais.	49,0°	51,9°	Wortels na 14 dagen aan den rand van den pot dood, in het midden niet.
2 ^e ex.	50,1	54,3	Evenzoo.
3 ^e ex.	52,2		Wortels na 4 weken geheel dood.
Tropaeolum majus.	50,5	53,8	Middelste wortels na 3 weken levend, buitenste dood.
2 ^e ex.	52,0	54,6	Alle wortels na 3 weken dood.
Brassica Napus.	47,9	50,4	Geen schade.
2 ^e ex.	52,8	53,2	Na 14 dagen de geheele plant dood.
Calendula officinalis.	46,2		Geen schade.
2 ^e ex.	50,3	53,2	Na 3 weken plant en wortels dood.
3 ^e ex.	51,5		Evenzoo.
4 ^e ex.	54,7	55,5	Evenzoo.
Cytisus Laburnum.	45,9	47,7	Geen schade.
2 ^e ex.	48,0	51,2	Wortels na 2 weken grootendeels onbeschadigd.
3 ^e ex.	51,0	51,1	Na 1 week geheel dood.
4 ^e ex.	51,8	54,5	Evenzoo.
Phaseolus vulgaris.	50,0	56,4	Wortels slechts aan den rand dood.
2 ^e ex.	51,5	52,5	Alle wortels na 3 weken dood.
Lupinus luteus.	47,2	47,9	Geen schade.
2 ^e ex.	50,5	55,6	Geen schade.
3 ^e ex.	51,8		Na 2 weken plant en wortels dood.
Cannabis sativa.	52,0		Na 1 week gestorven.

De resultaten dezer proeven toonen, dat voor de wortels van al deze Angiospermen de grens in niet met water verzadigde aarde omstreeks 50—52° ligt, even als Sachs dit voor de stengels en bladen van de door hem onderzochte soorten bevond.

II. Zaadplanten van meest 2—3 maanden oud werden voorzichtig uit de aarde genomen, daarna een half uur met hare wortels in water van bepaalde, constante temperatuur gehouden, en weer in de vooraf goed toebeide aarde geplant en begoten. Allen groeiden, hetzij de wortels gedood waren of niet, na het verplanten frisch voort, of zoo zij slap hingen werden zij door begieten weer stijf. De te zeer verwarmden hingen na eenige dagen weer slap en verdroogden, en bij het uit de aarde nemen was de wortel volkomen uitgedroogd. De resultaten zijn in de beide volgende tabellen vervat, in welke 0 beteekent dat de verwarming geen schadelijke gevolgen had, en + dat de dood der plant er het gevolg van was.

I.				II.			
	45°	47,5°	50°		45,0-45,5°	46,5-47,0°	47,8-48,4°
Petroselinum sativum.	0	+	+	Phaseolus vulgaris.	0	+	+
Campanula latifolia.	0	+		Brassica Napus.	0	+	+
Aquilegia vulgaris.	0	+	+	Calendula officinalis.	0	+	+
Rosa sp.	0	+	+	Tropaeolum majus.	0	+	+
Epilobium montanum.			+	Zea Mais.		+	+
Silene noctiflora.			+				

De grens ligt dus voor allen tusschen 45° en 47,5°.

III. Jeugdige zaadplanten van Phaseolus haematocarpus, Polygonum Fagopyrum, Lupinus albus, Tropaeolum majus, Convolvulus

vulus tricolor, Cannabis sativa, Agrostemma Githago, Helianthus annuus, die in potten groeiden, werden gedurende een kwartier met haar stengels en bladen in water van 43,9—44,1° gehouden, terwijl de wortels in de niet verwarmde aarde der potten zonder eenige mechanische beschadiging bleven. Na de proef bleven zij zonder andere schade leven, dan dat van eenige de toppen der jonge bladen verdroogden. Een kwartier verblijven in water van 45,3—45,8° doodde ze echter alle. Voor Zea Mais vond ik deze grens tusschen 46,0° en 46,8°, voor Secale Cereale tusschen 46,5° en 48,5°.

IV. Een plantje van Citrus Aurantium werd gedurende een half uur met zijn wortels in water van 46,5° gehouden, en daarna weer in aarde geplant. Het vertoonde volstrekt geen nadeelige werking hiervan. Evenmin een exemplaar, waarvan de wortels een half uur in water van 47,8° bleven. Van een ander exemplaar, waarvan ik de wortels evenlang in water van 50,0—50,5° hield, verwelkten na een paar dagen de bladen, en na eenige dagen was de geheele plant verdroogd.

Twee exemplaren, wier stam en bladen gedurende een half uur in water van 47,6—48,1°, resp. 50,0—50,3°, gehouden werden, bleven zonder eenige schade leven, terwijl van een derde exemplaar, dat een half uur in water van 52,2—52,5° gehouden werd, de bladen en de stam na een paar dagen geheel verdroogd waren. Bij deze plant ligt de grens dus ten 1° hooger dan bij alle vroeger onderzochte, ten 2° voor den stam en de bladen hooger dan voor den wortel.

V. Afgesneden bebladerde takken van Vinca minor, en afgesneden wortelbladen van Iris sambucina, Iris florentina, Anthericum ramosum en Funkia japonica werden gedurende een kwartier in water van verschillende constante temperaturen gehouden en daarna met hun onderste uiteinde in water geplaatst en zoo lang waargenomen, totdat het onderscheid tusschen de door de verwarming gedooden en de niet beschadigden in het uitdroogen

der eerste en het frisch blijven der laatste volkomen duidelijk geworden was. (De waarnemingen werden, om allen twijfel buiten te sluiten, gedurende 14 dagen voortgezet, gedurende welken tijd de als onbeschadigd opgegeven bladen frisch bleven.) Uit het groote aantal tot opzoeking der grens ondernomen proeven geef ik er telkens slechts twee of drie, die de grens insluiten, aan. De opgegeven temperaturen zijn de minimum- en maximum-temperatuur van het waterbad in elke proef.

Vinca minor 45,7—46,2° geen schade; 47,2—47,8° enkele der jongste bladen worden bruin en verdroogen, de overige bladen blijven ongeschonden; 48,2—48,8° de jongste bladen bruin, oudere aan hun top bruin; 49,6—50,1° alle bladen bruin en uitdroogende.

Iris sambucina 49,6—50,1° geen schade; 50,8—54,5° top fletsch, en over een lengte van 5 cm. uitdroogende; 51,7—52,1° top tot halverwege het blad uitdroogende, onderste deel van het blad frisch.

Iris florentina 48,6—49,0° geen schade; 49,3—49,7° top tot 3 cm. uitdroogende; 50,8—51,5° blad geheel uitdroogende.

Funkia japonica 47,8—48,2° geen schade; 49,6—50,1° slap, verlept.

Anthericum ramosum 49,6—50,1° geen schade; 50,8—51,5° de top verdroogt; 51,1—51,7° het geheele blad verdroogt.

Bij *Vinca minor* ligt de grens dus voor jonge bladen lager dan voor oudere, bij de andere voor de toppen der bladen lager dan voor het overige gedeelte. Verder wisselt zij, al naar gelang der soort, tusschen 46° en 51° af.

VI. Afgesneden bebladerde takken van *Taxus baccata* en *Erica carnea*, en afgesneden bladen van *Saxifraga umbrosa*, *Hedera Helix* en *Salisburia adiantifolia* werden gedurende tien minuten in water van verschillende temperaturen gehouden en verder als in V behandeld.

Erica carnea 47,9—48,5° geen schade; 49,8—50,6° de jongste

bladen verdroogen na eenige dagen, de oudste blijven frisch; 51,5—52,0° evenzoo.

Saxifraga umbrosa 49,8—50,6° geen schade, 51,5—52,0° na eenige dagen verdroogd.

Hedera Helix 47,9—48,5° geen schade; 49,8—50,6° na eenige dagen is de bovenste helft van het blad verdroogd; 51,5—52,0° het blad verdroogt geheel.

Salisburia adiantifolia 47,9—48,5° geen schade; 49,8—50,6° na eenige dagen verdroogd.

Taxus baccata 49,8—50,6° geen schade; 51,5—52,0° na eenige dagen verdroogen de jongste bladen en de bovenste helften der oudere.

VII. *Muscineae*. De verwarming geschiedde onder water en duurde telkens een half uur. De planten werden elk met een kluit aarde in het waterbad gebracht en behielden deze ook later. Opgave der proeven en temperaturen als in V.

Physcomitrium pyriforme 45,5—46,4° celinhouden der bladen na 5 dagen geheel normaal, onrijpe, volwassen capsulae frisch; 47,2—47,5° celinhouden na 5 dagen gedesorganiseerd, onrijpe capsulae geel geworden, uitdroogende.

Funaria hygrometrica 39,9—40,2° na 5 dagen waren de celinhouden der bladen geheel normaal; 42,7—43,4° celinhouden gedesorganiseerd. In lucht bleef deze soort bij 46,9° in leven.

Dicranum scoparium 42,7—43,4° celinhouden gedesorganiseerd, bladen geheel ontkleurd.

Marchantia polymorpha 43,7—44,9° kort na de proef zijn er vlekken rondom de stomata geïnfilteerd, de plant blijft eelther leven; 45,5—46,4° geheel geïnfilteerd, weldra verdroogende.

Lunularia vulgaris 42,7—43,4° na vier dagen, niettegenstaande infiltratie als bij *Marchantia*, geheel frisch; 44,7—45,1° frisch met bruine middennerf; 45,5—46,4° droogt geheel uit.

De grenzen wijken dus bij deze planten zeer duidelijk van elkander af.

VIII. *Chlorophyllophyceae*. Duur van het verblijf in het warme water 10 minuten. Opgave als boven.

Oedogonium sp. 41,0—42,2° gedurende eenige dagen na de proef zonderen de planten in 't zonlicht zuurstof af, na 4 dagen is microscopisch geen verandering zichtbaar; 42,8—44,2° zonderen geen zuurstof af, na 4 dagen is de inhoud der meeste cellen een weinig gecontraheerd.

Spirogyra sp. 39,3—40,5° draden na 4 dagen onder 't microscopeoof frisch; 41,0—42,2° draden deels frisch, deels met gecontraheerden inhoud, dood; 42,8—44,2° draden alle dood.

Hydrodictyon utriculatum 42,8—44,2° zonderen eenige dagen rijkelijk zuurstof af; 45,0—46,0° zonderen in 't zonlicht geen zuurstof af; het microscopeoof deed geen verandering zien.

Ook hier wijken de grenzen binnen de groep van elkander af.

IX. *Phycochromophyceae*. Als voren. Duur der verwarming voor *Nostoc* 10; voor de overige 30 minuten.

Nostoc rufescens Ag. 29,9—30,2° den volgenden dag nog geheel bruin, onveranderd; 35,2—36,0° den volgenden dag ten deele bruin, ten deele ontkleurd, blauwachtig; 39,3—40,5° evenzoo; 41,0—42,2° geheel ontkleurd.

Oscillaria Fröhlichii Ktz. en *O.anguina* Bory. 42,7—43,4° na de proef levendige beweging, na een paar dagen tegen den wand van het horologe-glaasje, waarin ze bewaard werden uitgekropen; 44,7—45,1° geen beweging en niet uitgekropen.

Oscillaria chlorina Ktz. 42,7—43,4° levendige beweging gedurende eenige dagen; 44,7—45,1° geen beweging.

Spirulina Jenneri 42,7—43,4° levendige beweging gedurende eenige dagen; 44,7—45,1° geen beweging.

De grens valt dus voor deze Oscillarineeën samen, doch ligt voor *Nostoc* lager.

Uit deze onderzoekingen blijkt, dat de hoogste warmtegraad, dien planten in water verdragen kunnen, voor verschillende soorten zeer verschillend is. Hierdoor is dus de pag. 12 be-

sproken stelling van Schultze en Sachs, naar mijn inzien, weerlegd en treden de planten van warme bronnen geheel in den algemeenen regel. De stelling, dat voor dezelfde organen de grens in verschillenden ouderdom eenigszins afwijkt, wordt door mijn onderzoekingen bevestigd.

Of dienovereenkomstig de grens in lucht bij verdere uitbreiding der onderzoekingen ook zal blijken niet voor alle soorten dezelfde te zijn, blijft nog in het onzekere.

Over de hoogste temperatuur, die planten in gedroogden toestand zonder nadeel kunnen verdragen, is slechts één waarneming bekend gemaakt. De Saussure ¹⁾ droogde eenige pas gekiemde plantjes onder de klok eener luchtpomp door middel van geconcentreerd zwavelzuur uit. Tengevolge hiervan stierven eenige, o. a. Erwt en Mais, doch andere overleefden de uitdrooging. Deze werden nu in drooge lucht tot 70° verwarmd, en groeiden desniettegenstaande later voort, toen zij in vochtige aarde geplaatst waren. De zoo onderzochte soorten zijn: Boekweit, Rogge, Gerst en Kool.

Beter onderzocht is de invloed, dien drooge zaden en sporen van Cryptogamen van hooge temperaturen ondervinden.

Fiedler ²⁾ bevond dat van 100 Erwt en Mais, die luchtdroog een uur lang op 74° verwarmd werden, nog slechts één kiemde; Rogge en Mais-zaden werden bij 70° reeds alle gedood, evenzoo Gerst bij 68°, terwijl bij 72° van 100 Boekweitzaden slechts één in leven bleef. Hoe lager bij de overige proeven de temperatuur in den verwarmingstoestel onder deze grenzen was, hoe meer zaden er later ontkiemden. In vochtigen toestand stierven alle zaden reeds bij 55°.

Waarnemingen van zaden, die aan hooger temperaturen weer-

¹⁾ De Saussure, < Mémoire. d. l. Soc. d. Phys. de Genève. T. III. 2. p. 1—25; (vermeld door Göppert, Wärme-Entw. pag. 56.)

²⁾ Fiedler, in Sachs, Handbuch p. 66.

stand boden, ontbreken echter niet. Zoo vond Pouchet ¹⁾ dat zaden van een Brasiliaansche *Medicago*-soort kiemden, nadat ze vier uren in kookend water gelegen hadden. Dit geschiedde slechts met die zaden, die inwendig droog bleven; van een groot aantal onderzochte zaden stierven alle door en door vochtige, doch die, waarin het water niet binnen gedrongen was, ontkiemden.

Aan nog hogere temperaturen kunnen drooge sporen van Fungi weerstand bieden. Sporen van *Penicillium glaucum* bleven, gedurende een half uur in lucht van 119—121° gehouden, grootendeels onbeschadigd, tot 132° verwarmd stierven ze echter allen ²⁾. Sporen van *Uredo destruens* in droogen toestand tot 128° verwarmd, stierven niet; in vochtigen toestand echter werden zij door 73° en die van *Uredo segetum* door 62° gedood.

De vraag of wellicht de in deze § opgegeven waarden voor de temperatuurgrens hooger gevonden zouden worden, zoo de verwarming niet snel, zoo als in de meeste der medegedeelde proeven, doch langzaam had plaats gevonden, is nog onbeslist. Daar echter snelle temperatuursveranderingen, zoo als in § 5 zal blijken, geen nadeeligen invloed op het plantenleven hebben, is het onwaarschijnlijk dat zij bevestigend beantwoord zal worden.

§ 3.

Laagste grens.

Als de temperatuur tot het vriespunt genaderd is, en hierdoor de levensfunctiën der planten deels ophouden, deels in intensiteit aanzienlijk verminderen, behouden de planten van

¹⁾ Pouchet, < Comptes rendus. T. 63. p. 939.

²⁾ Pasteur, vermeld in Sachs, Handbuch p. 65.

ons klimaat het vermogen deze functiën bij gunstiger temperatuur te hervatten, ja, zij kunnen, dit leert de waarneming elken winter, zonder schade voor haar leven geheel bevroren. Warme-kasplanten sterven daarentegen niet zelden, als zij geruimen tijd aan een temperatuur van $+ 1^{\circ}$ tot $+ 5^{\circ}$ zijn blootgesteld, en menige bij ons in de open lucht gekweekte plant schijnt door het bevroren gedood te worden. Het onderzoek over de laagste grens splitst zich dus in drie deelen: 1°. kunnen planten door het aannemen van lage temperaturen boven 0° gedood worden? 2°. wat geschiedt er bij het bevroren en ontdooien? 3°. is er onder 0° een temperatuur, die de bevroren planten kan dooden?

Dat alle planten der gematigde en koude luchtstreken, die gedurende den winter bevroren zijn, en in het voorjaar weer herleven, zonder schade tot 0° afgekoeld kunnen worden, behoeft geen betoog. Anders is dit voor planten uit warmere landen. Voor deze is een verblijf in een omgeving van $0-5^{\circ}$ in den regel schadelijk, zoo het eenigszins lang duurt. Hier moet echter de vraag onderzocht worden of deze temperaturen, hoe kort ook werkende, schadelijk kunnen zijn. Een aantal feiten pleit voor de onschadelijkheid.

Göppert ¹⁾ liet een aantal tropische planten in den winter bij $+ 1^{\circ}$ tot $+ 4^{\circ}$ buiten staan; bij vele (*Cassia emarginata*, *Coffea arabica*, *Abroma fastuosum*, e. a.) was na den eersten nacht geen beschadiging te ontdekken. Na een paar nachten vertoonde deze zich, even als bij andere (b. v. *Heliotropium peruvianum*) in den eersten nacht. De eerste planten bewijzen dus voor de onschadelijkheid eener kortstondige verkoeling tot 0° ; de andere echter niet daar tegen, daar zij onbedekt waren en dus door uitstraling een afkoeling onder 0° en bevroering konden veroorzaakt worden.

¹⁾ Göppert, *Wärme-Entwicklung*. 1830. p. 43. Zie ook p. 124 sqq.

Karsten ¹⁾ nam waar dat stammen van *Balantium* zonder schade voor hun leven eenigen tijd in een omgeving konden blijven, waarvan de temperatuur verre onder 0° was.

Kabsch ²⁾ geeft aan dat *Agave americana* gedurende korten tijd —1° verdragen kan, doch sterft, als haar temperatuur langeren tijd + 6° bedraagt. Hetzelfde geldt voor andere planten.

Twee waarnemingen werden tot nu toe als bewijzen voor de nadeelige werking van lage warmtegraden boven 0° aangehaald. Het zijn die van Bierkander ³⁾ en van Hardy ⁴⁾.

Bierkander zag dat *Cucumis sativus*, *C. Melo*, *Cucurbita Pepo*, *Impatiens Balsamina*, *Ocymum basilicum*, *Portulaca oleracea* en *Solanum tuberosum* in Septembernachten bij 1—2° boven het vriespunt te gronde gingen. De oorzaak van hun dood kan zijn: 1°. een rechtstreeksche werking van die temperatuur, 2°. een indirecte, en 3°. een verkoeling door uitstraling onder 0°. Om na te gaan of het eerste geval de oorzaak was of niet, bracht ik krachtige, in potten groeiende exemplaren van deze soorten (behalve *C. Melo*, *Impatiens* en *Solanum*, die mij niet ten dienste stonden) met hunne stengels en bladen in een mengsel van water en ijs, en hield ze daarin gedurende een kwartier. Daar al hunne organen vrij dun zijn, konden ze in dien tijd de temperatuur van 0° volkomen aannemen. Noch kort na de proef, noch gedurende drie weken daarna was eenige schadelijke werking te bemerken. In de proef van Bierkander was dus niet het eerste geval de oorzaak, deze bewijst dus tegen de onschadelijkheid van temperaturen tusschen 0° en 2° niets.

¹⁾ Karsten, < Bot. Ztg. 1861. p. 289.

²⁾ Kabsch, < Flora. 1863. p. 586.

³⁾ Bierkander, vermeld in Göppert l. c. p. 124.

⁴⁾ Hardy, Catalogue des végét. cult. à la pépinièr. centr. à Alger 1850 (geogr. exp. door A. De Candolle, < Bibl. univ. de Genève. XXIV. 1853. p. 193 en daaruit Bot. Ztg. 1854. p. 202.)

Hardy bevond, dat van een aantal eenjarige krachtig ontwikkelde planten van tropische boomsoorten, die te Algiers buiten groeiden en in den herfst door rieten bedekt werden, sommige (8 soorten) bij + 5°, andere (11) bij + 3°, nog andere (5) bij + 1° stierven, terwijl een groot getal (20) bij + 1° ongedeerd bleven.

Ik wenschte de in de drie eerste categorien door Hardy opgenoemde soorten evenzoo te onderzoeken, als ik de door Bierkander waargenomen planten onderzocht heb, doch slechts twee dezer soorten kon ik hiertoe bekomen, n.l. *Crescentia Cujete*, die volgens Hardy bij + 5°, en *Bixa Orellana*, die bij + 3° gestorven was. Van beiden werden bladen gedurende een kwartier in een mengsel van water en ijs gehouden, zonder dat óf kort na de proef, óf gedurende de volgende maand, eenige schade was te bespeuren. Met hetzelfde gevolg onderwierp ik aan dezelfde proef nog deze 6 planten: *Bauhinia pubescens*, *Carolinea alba*, *Coccoloba majestica*, *Rheedia glaucescens*, *Calophyllum Madruno*, *Bignonia ferruginea*, waarvan de beide eerste tot geslachten behooren waarvan Hardy andere soorten bij + 5° zag omkomen, en de drie volgende uit geslachten zijn gekozen van welke andere soorten in Algiers bij + 3° gestorven waren. Voor *Crescentia Cujete* en *Bixa Orellana* is dus bewezen dat de volwassen bladen zonder nadeel gedurende korten tijd 0° kunnen verdragen, en voor de overige is het tegendeel niet bewezen.

Al deze feiten voeren tot het besluit: Alle planten kunnen zonder schade voor haar leven gedurende korten tijd tot 0° afgekoeld worden, ook dan, wanneer een langer verblijf in een omgeving van 0—5° voor haar schadelijk is. Op dezen regel zijn nog geen goed geconstateerde uitzonderingen bekend geworden.

Daalt de temperatuur onder 0°, en bereikt zij het vriespunt van de sappen der planten, dat al naar de concentratie van

deze lager of hooger gelegen is ¹⁾, dan zal een gedeelte van het in de cellen aanwezige water in ijs overgaan, en wel daár, waar de concentratie het geringste of bij gelijke concentratie de capillaire ruimte de grootste is, dus, wegens de hoogere concentratie van den celinhoud, aan den buitenkant der celwanden, in de intercellulaire ruimten, of bij hout, waar de celholten lucht bevatten, in deze. Dit feit, uit physische wetten a priori duidelijk, is onlangs door Prilleux ²⁾, door een lange reeks van onderzoekingen aan bevroren planten, empirisch bevestigd gevonden. In de celwanden zelve zullen nooit ijskristallen ontstaan, daar de ruimten in deze veel nauwer zijn dan de fijnste capillaire buizen, en in capillaire buizen het vriespunt van water des te lager ligt, naarmate de buis nauwer is ³⁾. Als nu op eenige plaats het imbibitie-water van de buitenoppervlakte van den celwand in ijs overgaat, is het evenwicht der geïmbibeerde vloeistof verbroken en stroomt er water uit den celinhoud en den celwand naar deze plaats toe, waardoor zich hier nieuw ijs kan vormen. Dit gaat zoo voort, totdat de concentratie der vloeistoffen zóó groot geworden is, dat haar vriespunt onder de aanwezige temperatuur ligt. Opdat er meer ijs zou ontstaan is nu een nieuwe verlaging der temperatuur noodig ⁴⁾, en daar het vriespunt met toenemende concentratie der vloeistof daalt, zal er in de intercellulaire ruimten des te meer water in ijs overgaan, naarmate de temperatuur lager is.

De snelheid, waarmede de temperatuur onder het nulpunt daalt, is van invloed op de plaats waar zich het ijs hoofdzakelijk afzet. Het eerste ijs vormt zich in de grootere ruimten tusschen de cellen. Is nu de verkoeling zoo langzaam, dat

¹⁾ Rüdorff, < Pogg. Ann. 114 (1861). p. 63; 166. p. 55.

²⁾ Prilleux, < Comptes Rendus. T. 70. 1870. p. 405.

³⁾ Sorby, < Philos. Mag. Ser. 4. T. XVIII. p. 105; Mousson, < Bibl. univ. d. Genève. III (1858). p. 296.

⁴⁾ Rüdorff, l. c.

de imbibitie-stroomen steeds evenveel vocht kunnen aanvoeren als dáár bevroest, dan zal een groot gedeelte van het vocht bevroren zijn voor dat de temperatuur laag genoeg is om ook in de kleinere intercellulaire ruimten ijs te doen ontstaan. Te gelijk bewerkt het waterverlies der cellen een contractie der weefsels, waardoor de ruimten, waarin het ijs zich vormen kan, grooter worden. Zeer duidelijk nam Sachs ¹⁾ dit aan bladsteelen van Artischokken waar, bij welke na langzaam bevriezen het parenchym zich van de epidermis door een laag ijs afgezonderd had, terwijl de fibrovasalstrengen alle geïsoleerd en elk door een cilinder van ijskristallen omgeven waren. Op dezelfde oorzaak berust ook het verschijnsel, dat zich op Bieten en Meloenschijven, die, tegen verdamping beschut, langzaam bevriezen, een korst van ijskristallen vormt, terwijl in het weefsel zelf geen ijs waargenomen wordt ²⁾. Daalt de temperatuur sneller, dan vindt men het ijs meer regelmatig in het weefsel verspreid, daar de imbibitie-stroomen dan niet snel genoeg zijn om het water naar verder afgelegene plaatsen te voeren. Zoo zijn snel bevroren schijven van Bieten of Meloenen in hun binnenste geheel hard en bros, en met ijskristallen gevuld. Als de temperatuur van een weefsel, of van enkele cellen of celdraden (Wieren, Characeeën e. a.) plotseling onder het vriespunt van het celvocht daalt, is het mogelijk dat ook binnen in de levende cel zich ijskristallen vormen. Met zekerheid is dit geval slechts in kunstmatige doorsneden waargenomen ³⁾.

Wanneer bij het bevriezen meer ijs gevormd wordt, dan in de oorspronkelijke intercellulaire ruimten kan bevat worden, of wanneer de samentrekking door het verlies van imbibitie-water niet in alle deelen van een orgaan gelijken tred houdt, kunnen verscheuringen van het weefsel ontstaan, die echter het

¹⁾ Sachs, Lehrbuch der Botanik. 2^e Aufl. 1870. p. 615.

²⁾ Sachs, < Ber. d. k. Sächs. Ges. d. Wiss. 1860. I. p. 1.

³⁾ Göppert, l. c. p. 26.

leven der plant meestal niet benadeelen. Zoo o. a. bij de zoo even besproken bladsteelen van Artischokken, die na het ontdooien zonder schade voortleefden. Soms treedt ook het ijs in den vorm van kammen te voorschijn, na de epidermis doorbroken te hebben ¹⁾. In enkele gevallen, b. v. bij Uien, vond Sachs ²⁾ de afzonderlijke cellen na langzaam ontdooien turgescens, doch geheel van elkander geïsoleerd.

De tijd, gedurende welken planten in den bevroren toestand blijven, is van geen invloed, tenzij andere oorzaken, b. v. verdamping, haar benadeelen. In noordelijke landen blijven de overblijvende planten des winters verscheidene maanden bevroren, en in Zwitserland treft men niet zelden planten aan, die gedurende eenige jaren door gletschers overdekt geweest zijn, doch na het wegsmelten van het haar bedekkende ijs weer herleven ³⁾.

Als een bevroren plant verwarmd wordt, zal het ijs in de intercellulaire ruimten smelten. Geschiedt dit verwarmen langzaam, dan voeren de imbibitie-stroomen het water langzamerhand naar de plaats, waar het zich vóór het bevroren bevond, en celwand en celinhoud hernemen hun vorigen toestand geheel weder. Geschiedt het ontdooien snel, dan veroorzaakt het in de meeste gevallen den dood der plant ⁴⁾.

Alle planten uit gematigde en koude klimaten, en alle andere daaromtrent onderzochte planten kunnen zonder schade voor haar leven bevroren en ontdooien ⁵⁾.

Er blijft nog over de derde, aan het begin gestelde vraag te beantwoorden, of n.l. een éénmaal bevroren plant tot elke willekeurige temperatuur kan afgekoeld worden, zonder dat

¹⁾ Caspary, < Bot. Ztg. 1854. p. 665.

²⁾ Sachs, < Ber. d. Sächs. Ges. d. Wiss. I. 1860. p. 29.

³⁾ Charpentier, Essai sur les glaciers 1841, (géôxc. < Bot. Ztg. 1843. p. 13.).

⁴⁾ Zie de bijzonderheden hieromtrent in § 7.

⁵⁾ Sachs, < Flora. 1862. p. 17.

zij, bij daaropvolgend langzaam verwarmen, blijkt het leven verloren te hebben. De oudere onderzoekingen hieromtrent ¹⁾ kunnen de vraag niet beslissen, daar de werking van het snelle ontdooien niet geëlimineerd is, en sedert de noodzakelijkheid om deze te elimineeren bekend geworden is, hebben hierover geen onderzoekingen het licht gezien.

In droogen toestand kunnen zaden aan zeer lage temperaturen weerstand bieden. Zoo vond Göppert ²⁾, dat zaden van 23 soorten, die droog gedurende een half uur door een koudmakend mengsel op een temperatuur van -50° , en wellicht iets lager, gehouden werden, na afloop der proef allen ontkiemden.

¹⁾ Zie o. a. Göppert, l. c. p. 66.

²⁾ Göppert, l. c. p. 52.

HOOFDSTUK III.

INVLOED VAN DE VERANDERINGEN DER TEMPERAATUUR.

§ 4.

Bepaling.

Om den invloed van de temperatuur op de levensverschijnselen der planten te bestudeeren, kan men of planten gedurende den geheelen tijd der waarneming bij constante temperatuur laten leven, en uit de vergelijking van zóó bij verschillende graden gekweekte exemplaren besluiten afleiden, of een zelfde exemplaar bij verschillende temperaturen onderzoeken. Beide methoden worden aangewend, en dikwijls bepaalt de aard der proef de uitsluitende mogelijkheid van een van beide. Bij de eerste methode zal het resultaat, als men individueele verschillen elimineert en alle overige omstandigheden gelijk zijn, steeds het gevolg der temperatuur wezen. Bij de tweede is het echter mogelijk, dat de waargenomen verschijnselen niet geheel het gevolg der constant gedachte temperatuur, maar geheel of ten deele dat van de verandering der temperatuur zullen zijn.

Dit moet in twee gevallen gesplitst worden. Wanneer een ijzeren staaf verwarmd wordt, zet zij zich uit. Beschouwt men in ieder gegeven oogenblik haar lengte, dan is deze een functie der telkens heerschende temperatuur; beschouwt men daaren-

tegen haar verlenging, dan is deze alleen van de temperatuursverandering afhankelijk. De beweging, tot het aannemen van den nieuwen toestand noodzakelijk, is het gevolg der verandering van de temperatuur, de nieuw ontstane toestand ¹⁾ echter het gevolg der temperatuur zelve. De snelheid, waarmede de temperatuur verandert, vergroot de snelheid der beweging, doch heeft op haar eindgevolg geen invloed.

Het tweede geval is, dat het eindresultaat van de verandering der temperatuur een andere toestand is, dan die, welke een functie der nieuw ontstane temperatuur is, d. i., welke na constante inwerking van deze gedurende eenigen tijd waargenomen wordt. De snelheid der temperatuursverandering bepaalt in dit geval den eindtoestand.

In de eerste dezer twee gevallen behooren de meeste der door temperatuursverandering bij de planten veroorzaakte bewegingen of veranderingen van bewegingen. Zoo b. v. het openen en sluiten der bloemen (§ 10 a), het zich krommen bij het bevriezen (§ 8), de snellere of langzamere herstelling van het chemisch evenwicht (§ 13). In de tweede behoort het feit, dat elke snelle temperatuursverandering de beweging van het protoplasma langzamer maakt (§ 6).

De verschijnselen van het eerste geval, dat is dus die, bij welke de terstond na het ophouden der temperatuursverandering aanwezige toestand een functie der nieuwe temperatuur is, zullen in het volgende hoofdstuk behandeld worden met die, welke men slechts uit onderzoekingen bij constante temperaturen kent.

De veranderingen, wier eindtoestand een functie van de snelheid der temperatuursverandering is, maken het onderwerp van dit hoofdstuk uit, de veranderingen der beweging van het pro-

¹⁾ Deze toestand kan in het algemeen óf een toestand van rust óf een toestand van beweging zijn.

toplasma behandelt § 6, de door het snelle ontdoeien veroorzaakte dood en andere niet rechtstreekse gevolgen van temperatuursveranderingen worden in § 7 besproken. Er blijft dus nog de vraag over of er andere verschijnselen zijn, die als functiën van de snelheid van temperatuursveranderingen moeten beschouwd worden.

A. De Candolle ¹⁾ betwijfelt den invloed van temperatuursveranderingen op het plantenleven, daar hij vergeefs in de literatuur naar opgaven daaromtrent gezocht heeft. Op de bewegingen van bewegelijke organen hebben temperatuursveranderingen geenerlei invloed ²⁾. De door deze bewerkte bewegingen van bloembladen zijn in haar grootte evenmin functiën van hare snelheid ³⁾. Een invloed op andere verschijnselen heb ik in de literatuur nergens vermeld gevonden.

Uitgaande van het algemeen bekende feit, dat een snel ontdoeien van bevroren plantendeelen, dat is dus een snelle temperatuursverandering om het vriespunt, gewoonlijk den dood ten gevolge heeft, heeft Karsten ⁴⁾ de volgende stelling uitgesproken: „Plötzliche grosse Schwankungen der Temperatur sind den Pflanzen schädlich, und können sie krank machen oder tödten, auch bei den, die Gesundheit und das Leben der Pflanzen an und für sich nicht gefährdenden Temperaturgraden”.

De zoo gestelde algemeene wet is, ofschoon zij zonder eenig bewijs gebleven is, in onderscheidene handboeken overgenomen ⁵⁾, terwijl het doodvriezen steeds als voorbeeld aangehaald werd. Het is echter klaarblijkelijk onlogisch uit de bij snel ontdoeien waargenomen verschijnselen iets omtrent den invloed van snelle temperatuursveranderingen in het algemeen af te willen leiden.

¹⁾ A. De Candolle, Géographie botanique. 1855. p. 48.

²⁾ Sachs, < Bot. Ztg. 1857. p. 809 sqq; < Ber. d. k. Sächs. Ges. d. Wiss. 1860. p. 22; < Flora 1863. p. 451.

³⁾ Zie § 10 a.

⁴⁾ Karsten, < Bot. Ztg. 1861. p. 289; < Pogg. Ann. 115. 1862. p. 159.

⁵⁾ O. a. Hofmeister, Die Pflanzenzelle p. 280, reg. 1 en reg. 11 van ond.

Daarom komt het mij wenschelijk voor dit punt proefondervindelijk na te gaan ¹⁾).

§ 5.

Onschadelijkheid voor het leven.

De grootste temperatuursverandering, die een plant, tusschen de hoogste grens voor haar leven en het vriespunt harer sappen ondergaan kan, is voor de meeste Phanerogamen van 0—50° in lucht of van 0—44° in water, daar de levensgrens zelve meestal slechts een paar graden hooger ligt. Houdt men dus een plant zoolang bij 0°, totdat zij deze temperatuur aangenomen heeft, en brengt men haar dan plotseling in water van 44° of in lucht van 50°, dan zal het resultaat dezer proef over het al of niet schadelijke van snelle temperatuursveranderingen beslissen. In lucht zal de verandering grooter zijn, doch niet zoo snel, daar bij het brengen van de plant in de verwarmde ruimte een verkoeling van deze plaats vindt, door de ontwijkende warme en de mede ingevoerde koude lucht. Daarenboven zal de geringere warmte-capaciteit van de lucht een waarneembare verkoeling tengevolge van de aan de plant afgestane warmte veroorzaken. In water is de verandering kleiner doch sneller, daar het water, als men een eenigzins groot waterbad gebruikt, bij het indompelen van de ijskoude plant niet merkbaar kouder wordt. Ik heb daarom de laatste methode verkozen en volgens deze een aantal planten onderzocht. Om het door Karsten (zie pag. 32) vermoede ziekmaken duidelijker in het oog te doen vallen, werd de snelle verandering van temperatuur steeds eenige malen herhaald.

¹⁾ Zie § 5.

I. Sedert langen tijd in potten groeiende planten werden aan de volgende proef onderworpen, nadat hare potten, omdat zij gedurende de proef omgekeerd gehouden werden, met een uit twee helften bestaand deksel goed gesloten waren: Eerst bleven de bebladerde stengels der zaadplanten of de wortelbladen der overblijvende soorten gedurende 4 minuten in water van 43—44°, en werden dan plotseling in door smeltend ijs op 0° gehouden water gebracht. Na 4 minuten hierin gebleven te zijn, en dus die temperatuur te hebben aangenomen, werden zij weer plotseling in water van 43—44° gebracht, en deze geheele bewerking dan nog eens herhaald: De temperatuur van de lucht was 19°. De achtereenvolgende veranderingen waren dus 1°. 19—44°, 2°. 44—0°, 3°. 0—44°, 4°. 44—0°, 5°. 0—44°, 6°. 44—19°. De zoo onderzochte planten waren:

A. Bebladerde stengels: *Iberis umbellata*, *Agrostemma Githago*, *Phaseolus vulgaris*, *Ph. haematocarpus*, *Pisum sativum*, *Lathyrus odoratus*, *Cytisus Laburnum*, *Lamium purpureum* (bloeiende), *Vinea minor*, *Cannabis sativa*, *Secale Cereale*, *Zea Mais*.

B. Wortelbladen: *Aquilegia vulgaris*, *Fragaria* sp., *Funkia japonica*, *Iris sambucina*, *I. florentina*, *Anthericum ramosum*.

Gedurende de proef en kort daarna waren alle frisch en gezond, en evenzoo gedurende de volgende weken, tot aan de sluiting der waarnemingen. Er is dus geen schadelijke werking waar te nemen geweest.

II. Wortels van in water met uitsluiting van den bodem gekweekte landplanten werden aan dezelfde proef onderworpen als in I:

Phaseolus vulgaris, *Agrostemma Githago*, *Secale Cereale*.

Ook hier was zoowel kort na de proef, als na een paar weken geen verandering in hun normalen groei waar te nemen.

III. Takken van de volgende slootplanten werden aan dezelfde proef onderworpen:

Myriophyllum spicatum, *Ceratophyllum submersum*, *Potamogeton crispus*, *P. perfoliatus*.

Na ruim eene week waren zij frisch, en toonde ook het microscopisch onderzoek geen verandering.

IV. *Hydrodictyon utriculatum* (jonge exempl.), *Oedogonium* en *Spirogyra* ondergingen dezelfde proef, met dit onderscheid, dat de temperatuur van het warme water telkens slechts 40° was. Vier dagen na de proef werden zij in het zonlicht geplaatst en zonderden H. en O. rijkelijk zuurstof af. Van *Spirogyra* was dit niet waar te nemen, daar slechts betrekkelijk weinig draden onder de andere verspreid waren; zij vertoonden zich echter ook na eene week onder het microscop frisch en turgescens, evenals de beide andere soorten.

Deze onderzoekingen leiden eenstemmig tot de conclusie, dat temperatuursveranderingen, hoe groot en snel zij ook wezen mogen, zoo zij beneden de voor het leven der planten gevonden hoogste grens, en boven het vriespunt blijven, rechtstreeks geen nadeelige werking op het leven der planten hebben. Dus wordt door haar de pag. 32 besproken stelling van Karsten voldoende weêrlegd.

Nadeelig kan een aanzienlijke temperatuursverandering in water dan werken, als zij infiltratie tengevolge heeft. Als bij 44° de lucht der intercellulaire ruimten tengevolge der uitzetting ten deele verdreven is, en dan bij 0° door water vervangen wordt, zal het o. a. van de hoeveelheid van het bij 0° opgenomene water afhangen, of deze verandering al of niet doodelijk is. Een vervanging van alle lucht door water toch, is in de meeste gevallen, vooral als het water niet spoedig door verdamping verwijderd wordt, doodelijk.

Voor de onderzoekingen in water van 0° en 44° behoort men steeds alleen zulke planten en organen te gebruiken, van welke men weet, dat die temperatuur voor hen onschadelijk is. Vele planten of plantenorganen toch verdragen een temperatuur van 44° in water niet.

Invloed op de beweging van het protoplasma.

In § 10 *b* wordt aangetoond, dat de beweging van het protoplasma slechts binnen bepaalde temperatuurgrenzen plaats vindt, en dat tusschen deze de snelheid dier beweging des te grooter is, naarmate de temperatuur hooger is, behalve bij de het dichtst bij het maximum gelegen graden. De beweging wordt dus daar in hare afhankelijkheid van constant gedachte warmtegraden beschouwd; in deze § moet de invloed van de veranderingen der temperatuur besproken worden. Deze invloed is van tweeërlei aard: snelle temperatuursveranderingen kunnen ten eerste de snelheid der beweging en ten tweede den vorm van het protoplasma-net veranderen.

Uit onderzoekingen van Hofmeister ¹⁾ is gebleken, dat snelle verwarming of verkoeling stilstand der beweging kan veroorzaken, ook dan als langzame verwarming of verkoeling tot dezelfde graden geen stilstand ten gevolge zou hebben. Bij constante inwerking der hoogere of lagere temperatuur houdt dan na eenigen tijd de stilstand op, en herneemt de beweging weldra de bij die temperatuur behorende snelheid. Zoo toonden b. v. haren van *Ecbalium agreste* bij 16—17,5° levendige beweging, na snelle verwarming tot 40° stilstand, en na een verblijf van $\frac{1}{2}$ —2 uur bij deze temperatuur weder beweging, die sneller was dan de bij 16—17,5° waargenomene. In haren derzelfde plant, die na langzame verwarming tot 40° snelle protoplasma-beweging toonden, hield deze na plotselinge verkoeling tot 16° op, en herstelde zich eerst na 7 minuten. Een praeparaat van *Nitella flexilis* werd snel van 18,5° tot + 5° verkoeld, ten gevolge waarvan de beweging ophield, om zich na 15 minuten 5—3,5° behouden te hebben weer te herstellen.

¹⁾ Hofmeister, Die Lehre von der Pflanzenzelle. 1867. p. 53—55.

Is de temperatuursverandering niet zoo snel als in deze proeven, of omvat zij niet zoovele graden, dan neemt men niet een ophouden, maar een langzamer worden der beweging waar. Tot nu toe pleitte voor deze stelling slechts de volgende door Dutrochet ¹⁾ medegedeelde waarneming, die, daar zij alleen stond, niet haar behoorlijke verklaring gevonden heeft. Bij verwarming van praeparaten van *Nitella flexilis* van 19° tot 27° werd de beweging in de centrale cellen eerst langzamer; na een constante inwerking van 27° gedurende twee uren was zij echter sneller geworden. Evenzoo veroorzaakte verwarming van 27° tot 34° en van 34° tot 40° eerst verlangzaming, doch daarna versnelling der beweging.

De juistheid der stelling heb ik door eenige onderzoekingen met de wortelharen van *Hydrocharis Morsus Ranae* trachten te bewijzen. Nadat van een wortelstuk, dat tusschen het voorwerpglas en het daaraan geluteerde dekglas in water lag, een haar gemerkt en het snelle terugvinden van dit haar onder het microscoop door een bepaalde plaatsing van de slede der voorwerptafel mogelijk gemaakt was, werd de snelheid der beweging bij de temperatuur van het vertrek bepaald. Daarna werd het voorwerp, terwijl het tusschen de beide glazen bleef, in warm water gebracht en dicht bij den bol van den thermometer gehouden, die de temperatuur van dit water aangaf. Na eenige minuten werd het voorwerpglas snel gedroogd en de snelheid der beweging weer bepaald. Toen het praeparaat de temperatuur van het vertrek had aangenomen, en de oorspronkelijke snelheid zich hersteld had, werd een tweede verwarming uitgevoerd en evenzoo een derde: ²⁾

¹⁾ Dutrochet, < Comptes rendus. V. 1837. p. 777.

²⁾ De opgegeven getallen zijn gemiddelden en berekend naar de waarneming van den tijd, die dicht bij den wand van het protoplasma liggende korreltjes noodig hadden om 1 afdeling van een oculair-micrometer (= $\frac{1}{2}$ mm. van het voorwerp) bij 320-malige vergrooting te doorloopen.

Zoo werd 1 mm. bij 21,7° doorloopen in	205 sec.
Na verwarming tot 28,2°	" " 226 "
" " " 33,0°	" " 240 "
Bij een ander haar werd	
1 mm. bij 20,8°	" " 164 "
Na verwarming tot 27,1°	" " 203 "
" " " 34,0°	stond de beweging stil.
Evenzoo bij een derde haar :	
1 mm. werd bij 20,8° doorloopen in	99 sec.
Na verwarming tot 24,3°	" " 126 "
" " " 33,1°	stond de beweging stil.

Dus hoe meer graden de temperatuursverandering omvat, hoe aanzienlijker de verlangzaming der beweging is.

Een dergelijke vertraging der beweging vond ik ook als de wortelharen snel verkoeld werden. Haren, waarin bij 22,0° de snelheid gemiddeld 1 mm. in de 174 sec. was, vertoonden na langzame verwarming tot 28,4°, waarbij de snelheid toenam, en snelle verkoeling tot 22,0° slechts een snelheid van 1 mm. in de 198 sec. Na langzame verwarming tot 40° en snelle verkoeling tot 22,0° : 1 mm. in de 230 sec.; na een verkoeling van 42,5° tot 22,0° stond de beweging stil.

In de haren van landplanten belette de groote ongelijkmatigheid der beweging de herhaling van deze waarnemingen ¹⁾.

De veranderingen van den vorm van het protoplasma-net, die door snelle temperatuursveranderingen veroorzaakt worden, bestaan voornamelijk in het eenvoudiger worden van het netwerk, het dikker en rozenkransvormig worden der afzonderlijke strengen, of in de vorming van een gelijkmatig wandbelegsel, zonder draden door den celinhoud heen. Als de nieuw ontstane temperatuur binnen de grenzen der protoplasma-beweging ligt en gedurende eenigen tijd constant ingewerkt heeft, neemt

¹⁾ Zie hieromtrent Sachs, Handbuch. p. 455.

het protoplasma zijn oorspronkelijken vorm weder aan; ligt de nieuwe temperatuur buiten die grenzen, dan vertoont het herstel van den vorm zich eerst bij gunstiger temperaturen ¹⁾. Zoo vond Hofmeister, dat in een haar van *Ecbalium agreste*, waarin na 12 minuten verblijven bij 40° het protoplasma-net tot een opeenhooping rondom de kern, en vijf dikke balken vervormd was, na 1½ uur bij die temperatuur gebleven te zijn, een nieuw net ontstaan was, waarin levendige beweging werd waargenomen. Dezelfde tijdelijke vormsverandering van het protoplasma werd door een verwarming tot 45° veroorzaakt.

Sachs ²⁾ nam dergelijke vormsveranderingen in de haren van *Cucurbita Pepo*, *Solanum Lycopersicum* e. a. waar, nadat deze snel tot even boven de temperatuurgrens der protoplasma-beweging verwarmd waren; bij verkoeling herstelde zich steeds de oorspronkelijke vorm.

Snelle verkoeling in lucht van de haren van meeldraden van *Tradescantia virginica*, tot verscheidene graden onder 0°, heft eveneens den oorspronkelijken vorm van het protoplasma tijdelijk op, de strengen vallen tot kogelvormige massa's uiteen, of trekken zich in het wandbekselsel terug ³⁾. Na verwarming beginnen de kogels zich eerst in de rondte te bewegen en smelten daarna tot een nieuw net te zamen.

§ 7.

Indirecte gevolgen.

Ofschoon de indirecte gevolgen van temperatuursveranderingen evenmin als die van de temperatuur in het algemeen, tot het

¹⁾ Hofmeister, l. c. p. 54—58.

²⁾ Sachs, < Flora. 1864. p. 65 sqq.

³⁾ Kühne, *Das Protoplasma*. 1864. p. 101.

onderwerp van deze verhandeling behooren, mogen zij toch om hunne belangrijkheid voor het plantenleven hier in het kort aangeduid worden. De beide voornaamste zijn dat van de veranderingen der vochtigheid van den dampkring bij verandering der temperatuur, en de door snel ontdooien veroorzaakte dood der planten.

Het is bekend, dat in den zomer, wanneer gedurende een lange droogte aan den grond geen water toegevoerd is, vele planten toch frisch en krachtig zijn en niet verwelken, niet-tegenstaande haar voortdurend door verdamping water onttrokken wordt. Het zoo verlorene water moeten de planten door hare wortels uit den bodem opnemen. Deze bevat overdag geen vloeibaar water, doch slechts het hygroscopisch gebundene, dat voor de plant van geen nut is, daar zij het niet aan den grond ontnemen kan ¹⁾). Wanneer nu des avonds de temperatuur daalt en de lucht dus al meer en meer met waterdamp verzadigd wordt, zal ook de aarde zich met hygroscopisch gebonden water verzadigen, totdat eens een oogenblik komt, dat zij geen water meer aan de oppervlakten harer deeltjes verdichten kan. Blijft nu de temperatuur dalen, dan gaat een gedeelte van den waterdamp der hiermede verzadigde capillaire bodemruimten in vloeibaar water over. Dit wordt door de planten opgezogen en hiermede herstellen zij het overdag geleden verlies.

Dat een plant maanden lang frisch kan blijven in een grond, waaraan door de verdamping van de plant steeds water onttrokken, doch waaraan nooit vloeibaar water, maar alleen waterdamp toegevoerd wordt, heeft Sachs ²⁾ door een rechtstreeksche proef met *Phaseolus multiflorus* bewezen.

De luchtwortels van Orchideeën, Bromeliaceeën en andere tropische epiphyten kunnen evenmin dampvormig water uit den

¹⁾ Schumacher, Die Diffusion. 1861. p. 193.

²⁾ Sachs, < Landwirthsch. Versuchsst. I. 1860. p. 236.

atmosfeer opnemen. Ook bij hen is het dus een vereischte, dat er veranderingen in de temperatuur der hun omgevende lucht plaats hebben, zóó, dat bij het dalen van deze, water uit den met waterdamp verzadigden atmosfeer aan hunne oppervlakte in vloeibaren toestand wordt afgezet, hetwelk dan door de wortelcellen opgenomen en aan de overige deelen der plant toegevoerd wordt.

In § 3 is aangetoond, dat planten zonder schade voor haar leven bevroren kunnen, en dat zij na langzaam ontdooit te zijn, haar levensfunctiën voortzetten, doch door snel ontdooien meestal gedood worden, welk laatste verschijnsel doodvriezen (Erfrieren) genoemd wordt ¹⁾. Of een plant bij het ontdooien sterft of blijft leven, hangt dus van de snelheid der temperatuurverandering af, en de omstandigheden, die op het doodvriezen van invloed zijn, behooren dus hier besproken te worden. De beschrijving der eigenschappen der doodgevroren deelen, die deels door het verlies der spanning en de vergrooting der permeabiliteit van den celwand, deels door nog onbekende veranderingen van het protoplasma veroorzaakt worden, ligt echter buiten de grenzen dezer verhandeling ²⁾.

In bevroren toestand zijn de celinhouden en celwanden waterarm, doch bevatten geen ijs. Hun watergehalte daalt met de temperatuur. In de intercellulaire ruimten bevinden zich de ijskristallen, wier gezamenlijk volumen des te grooter is, naarmate het weefsel oorspronkelijk meer water bevatte, en naarmate de temperatuur lager is. Bij het ontdooien gaat dit ijs in water over; geschiedt dit langzaam, dan imbibeeren celwand en celinhoud zich langzaam, waarbij ze hun moleculairen toestand hernemen, zooals die vroeger was; geschiedt het snel,

¹⁾ Rauwenhoff, Over het bevroren van planten. < Jaarb. der K. Nederl. Maatschappij van Tuinbouw te Rotterdam. 1863. p. 37.

²⁾ Zij is gegeven door Sachs, < Ber. d. Sächs. Ges. d. Wiss. 1860. I. p. 1 sqq. en door Rauwenhoff, l. c. p. 34—67.

dan zijn ze na het ontdooien veranderd. Waarom het snel opnemen van water deze veranderingen ten gevolge heeft is nog onbekend.

Alle oorzaken, die het opnemen van water sneller maken, zullen de kans om dood te vriezen vermeerderen, dus 1°. het ontdooien in een omgeving van hooger temperatuur, 2°. het snel ontdooien van een lager temperatuur af, 3°. een grooter watergehalte vóór het bevroren.

Bevroren planten blijven, bij 1—2° ontdood, bijna altijd in leven, bij 10—20° ontdood sterven echter de meeste. Worden bevroren plantendeelen door de zonnestralen getroffen, dan sterven zij; bedekte of in de schaduw staande blijven levend. Verwarmt men een gedeelte van een bevroren blad door aanraking met de vingers, dan sterft dit gedeelte bijna altijd, ook dan, als het overige bij langzaam ontdooien in leven blijft. Bieten en meloenschijven kunnen bij het ontdooien levend blijven, zoo dit in smeltend ijs geschiedt ¹⁾. Deze en een aantal andere in de litteratuur verspreide en gemakkelijk te herhalen waarnemingen bewijzen den invloed van het snelle ontdooien voldoende.

Vele planten kunnen door snel ontdooien niet gedood worden. Zoo bracht Göppert ²⁾ *Lamium purpureum*, *Stellaria media*, *Capsella bursa Pastoris* en andere soorten, nadat zij bij 4—5° bevroren waren, in lucht van 22,5°, waar zij zonder schade ontdoodden. Evenzoo kunnen hout en korstmossen snel ontdooien zonder te sterven ³⁾.

De invloed van de temperatuur, die de planten bij het begin van het ontdooien hebben, blijkt o. a. uit de volgende waarneming van Göppert ⁴⁾: *Senecio vulgaris* en *Chelidonium majus*, die bij 7,5—15° bevroren waren, ontdoodden zonder schade, bij 22,6°

¹⁾ Sachs, < Landw. Versuchsstat. Bd. II. 1862. p. 177.

²⁾ Göppert, Wärme-Entwicklung. 1830. p. 62.

³⁾ Sachs, < Ber. d. Sächs. Ges. d. Wiss. 1860. I. p. 1 sqq.

⁴⁾ Göppert, l. c. p. 66.

bevroren stierven zij, toen zij in lucht van + 6° gebracht waren.

Jongere deelen vriezen lichter dood dan oudere, kruidachtige eerder dan houtige ¹⁾, daar zij meer vocht bevatten; om dezelfde reden lijden de jonge deelen van Pinus-soorten van voorjaarsnachtvorsten, terwijl de boomen zelve des winters onbeschadigd blijven. Ook worden drooge zaden door snelle temperatuursveranderingen om het vriespunt veel minder geschaad dan met vocht verzadigde ¹⁾.

De volgende waarnemingen schijnen nog onder deze derde categorie te behooren. Göppert ²⁾ liet *Senecio vulgaris*, *Fumaria officinalis* en *Poa annua*, nadat zij bij —11° bevroren en daarna zonder schade ontdoooid waren, gedurende 14 dagen bij 15—22° voortleven, waardoor haar turgor, en dus haar watergehalte toenam. Nadat zij toen weer (bij —9,5°) bevroren waren, stierven zij bij het ontdooien, terwijl andere, eveneens bij —9,5° bevroren planten derzelfde soorten in dezelfde ruimte zonder schade de luchttemperatuur aannamen. Schumacher ³⁾ zag, dat op een in den herfst sterk bemest veld de Winterrapen door de winterkoude geheel te niet gingen, terwijl daarnaast op een veronachtzaamd stuk land de veel schraler ontwikkelde planten van de vorst geen schade leden.

Uit de hierboven gegeven beschrijving van het doodvriezen volgt, dat bevroren planten door snelle verwarming ook dan gedood kunnen worden, wanneer deze laatste het vriespunt harer sappen niet bereikt. Hiertoe is alleen noodig dat er genoeg ijs in water overgaat, om vóór het ontdooien van al het ijs zooveel water in korten tijd te leveren, als door de cellen niet meer zonder schade voor haar leven kan opgenomen worden. Hieromtrent zijn echter nog geen onderzoekingen gedaan. Bij proeven over het ontdooien van bevroren planten

¹⁾ Göppert, l. c. p. 45—48. ²⁾ l. c. p. 63.

³⁾ Schumacher, *Die Diffusion*. 1861. p. 233.

moet men wel op deze omstandigheid letten, daar b. v. een bij zeer lage temperatuur bevroren plant plotseling in een omgeving van -2° gebracht en daarna door langzame verwarming ontdooid, tengevolge der eerste behandeling kan gestorven zijn, ook dan wanneer de laatste op zich zelf den dood niet tengevolge zou hebben.

HOOFDSTUK IV.

AFHANKELIJKHEID DER AFZONDERLIJKE LEVENSVRSCHIJNSELEN VAN DE TEMPERAATUUR.

A. Physische verschijnselen.

§ 8.

Uitzetting.

Evenals alle vaste lichamen bij verwarming hun volumen vergrooten, doen dit ook de cellen en weefsels der planten, en even als de ongelijk-assige kristallen zich in verschillende richtingen ongelijk uitzetten, moeten ook de celwanden van protaxone ¹⁾ cellen, die uit dergelijke kristallen in regelmatige rangschikking bestaan, in verschillende richtingen ongelijke lineaire uitzettings-coëfficiënten bezitten. Bij homaxone en polyaxone cellen, dus o. a. bij vele parenchymweefsels, zullen de uitzettings-coëfficiënten in alle richtingen dezelfde zijn.

Een onderzoeking omtrent de absolute grootte en de verhouding der lineaire uitzettings-coëfficiënten van verschillende houtsoorten is door Villari ²⁾ volbracht. Hij gebruikte houtstaven, die parallel met, en andere, die loodrecht op de richting der vezels gesneden waren, en bracht deze in een cilinder met

¹⁾ Zie Haeckel, *Generelle Morphologie*. 1866. I. p. 406.

²⁾ Villari, < *Pogg. Ann.* 133. 1868. p. 400.

dubbelen wand. Tusschen de beide wanden van den cilinder werd warm water of warme olie gebracht, om den toestel te verwarmen. Hij onderzocht het hout in met water doordrenkten toestand, zoodat bij verwarming steeds water als damp ontweek. Om den invloed hiervan zoo gering mogelijk te maken, verwarmde hij de staven snel na haar lengte bij 0° gemeten te hebben, mat ze bij 35° en verkoelde ze eveneens snel tot 0°, waarna de meting herhaald werd. Het gemiddelde der beide bij 0° gevonden lengten, werd dan als werkelijke lengte de grondslag der berekening.

De volgende tabel bevat de naar deze methode gevondene lineaire uitzettings-coëfficiënten voor 1° van verschillende houtsoorten. De opgegeven waarden zijn gemiddelden uit verscheidene metingen.

SOORTEN.	Loodrecht op de vezels.	Evenwijdig met de vezels.	Verhouding.
Buks.	0,0000614	0,00000257	25 : 1
Zilverspar.	0,0000584	0,00000371	16 : 1
Eik.	0,0000544	0,00000492	12 : 1
Mahoni.	0,0000401	0,00000361	12 : 1
Yp.	0,0000443	0,00000565	11 : 1
Populier.	0,0000365	0,00000385	9 : 1
Ahorn.	0,0000484	0,00000638	8 : 1
Noteboom.	0,0000484	0,00000355	8 : 1
Spar.	0,0000341	0,00000541	6 : 1
Tamme Kastanje.	0,0000325	0,00000649	5 : 1

Loodrecht op de vezels zetten zich de houtsoorten dus veel sterker uit dan evenwijdig met deze.

De eerste der beide opgegeven coëfficiënten is grooter, dan

eenige bekende lineaire uitzettings-coëfficiënt, de laatste kleiner dan de meeste andere.

In droogen toestand is de uitzetting-coëfficiënt voor 1° voor Dennehout evenwijdig met de vezels, volgens Kater ¹⁾ = 0,0000040039 en volgens Struve ²⁾ = 0,0000052099.

Uitzettings-coëfficiënten van andere weefsels dan hout zijn nog niet onderzocht.

Grondweefsel bevat in de intercellulaire ruimten, en strengweefsel, als het tot hout is overgegaan, in de lumina zijner cellen lucht. Bij verwarming van het weefsel zet deze lucht zich uit en verlaat dientengevolge ten deele het weefsel, zooals men dit algemeen bij dompeling van luchthoudende plantendeelen in water van 35—45° waarneemt. Bevatten de genoemde ruimten behalve luchtblazen ook nog water, dan wordt door de uitzetting der luchtblazen water uitgeperst. Dit heeft een gewichtsverlies van het weefsel ten gevolge.

Dit gewichtsverlies werd voor dood hout reeds geconstateerd door Du Hamel en Dalibard ³⁾. Hartig ⁴⁾ nam waar, dat uit twijgen van Populieren, Beuken en andere boomen, die juist vóór de sapstijging in het voorjaar afgesneden waren, bij verwarming met de hand water aan de wondvlakte uitvloeit. Sachs ⁵⁾ onderwierp dit verschijnsel aan een uitvoeriger onderzoek. Hij bevond, dat stukken van de meest verschillende houtsoorten, na een maand of langer in water gelegen te hebben, telkens in gewicht verloren als zij in water van 25—50° gebracht werden, en weer zwaarder werden, als zij in koud

¹⁾ Kater, < Nicholl's Journ. Vol. XX (geciteerd door Caspary, < Bot. Ztg. 1855. p. 494).

²⁾ Struve, Beschreibung des grossen Refractors der Sternwarte zu Dorpat. 1825 p. 4 (geciteerd als boven).

³⁾ Du Hamel en Dalibard (geciteerd door Sachs, < Bot. Ztg. 1860. p. 253.)

⁴⁾ Hartig, < Bot. Ztg. 1853. p. 313.

⁵⁾ Sachs, Quellungserscheinungen an Hölzern, < Bot. Ztg. 1860. p. 253.

water kwamen, ofschoon zij bij 25—50° niet met water verza- digd waren.

De volgende tabel bevat de uitkomsten zijner wegingen voor drie soorten. De eerste kolom geeft den tijd tusschen elke twee wegingen verlopen aan, de tweede de temperatuur van het water, waarin de stukken zich zoolang bevonden; in de drie laatste zijn de gewichten in grammen opgegeven:

Tijd van het liggen in water.	Temperatuur.	Berk.	Beuk.	Eik.
5 uur.	0°	75,594	69,651	82,670
$\frac{1}{4}$ "	24	74,045	67,580	82,086
$\frac{1}{4}$ "	26	74,045	67,580	82,086
$\frac{1}{4}$ "	0	79,692	72,899	84,712
16 "	0	82,917	75,604	86,755
$\frac{1}{2}$ "	24	79,959	72,628	85,879
$\frac{1}{2}$ "	24	79,677	72,110	85,296
$\frac{1}{2}$ "	0	83,902	75,475	87,191
4 "	0	85,451	77,673	87,630
$\frac{1}{2}$ "	24	82,494	74,051	86,171

Uit deze en een reeks van andere proeven blijkt verder, dat er veel meer water bij de verwarming uitvloeit, dat ten gevolge van de uitzetting van het water verloren kan worden. Bij de verwarming traden met het water steeds luchtblazen uit.

Hofmeister ¹⁾ bepaalde het gewicht van een stuk Dennehout bij 0°, bij 55° en bij 100° herhaalde malen, terwijl het tusschen elke drie wegingen eenige uren gekookt werd om de lucht te verdrijven. Weldra gaven de wegingen, die in water volbracht

¹⁾ Hofmeister, Spannung, Ausflussmenge und Ausflussgeschwindigkeit d. Säfte lebender Pflanzen, < Flora. 1862. p. 103.

werden, bij een absoluut gewicht van het stuk hout van 6,736 gr. in lucht en 0,775 gr. in koud water, een verschil van 0,1 gr. in het koude en in het warme water, doch bij voortzetting der proef verminderde dit verschil tot op 0,04 gr., welke nog steeds aan de onverdreven lucht moesten worden toegeschreven. Uit deze proef leidt Hofmeister af, dat het waterverlies bij verwarming en de opnemng bij het verkoelen, zoo niet geheel, dan toch voor verre het grootste gedeelte, door de uitzetting en inkrimping der lucht veroorzaakt wordt.

Voor geheele boomstammen volgt hieruit ¹⁾, dat, als een stam ergens verkoeld wordt, het water naar deze plaats uit de andere deelen toestroomt; als een deel verwarmd wordt, zal het water van hier weggevoerd worden.

Een ander gevolg is het bloeden van boomstammen in sommige gevallen, zooals dit o. a. voor den Ahorn door Du Hamel ²⁾ wordt aangegeven. Bij dezen loopt in het voorjaar, als de grond nog bevroren is, een groote hoeveelheid vocht uit insnijdingen in den stam, wanneer deze door de zon beschenen wordt.

Ook bij grondweefsels kan men dit gewichtsverlies waarnemen. Een schijf van een Roode Biet woog, na een dag in water gelegen te hebben, in frisschen toestand, 82,6 gr. Om de er nog ingebleven lucht grootendeels te verdrijven, bracht ik haar in water van 40°, waarin zij drie uur bleef; hierdoor veranderde haar gewicht niet. In water van 12° nam zij in 24 uur in gewicht tot 83,6 gr. toe. Zij had dus 1 gr. water opgenomen, en verloor dit bij 35° gedurende 3 uur weer.

Zooals in § 3 uiteengezet is, kunnen planten zonder schade voor haar leven bevrozen. Hierbij gaat een deel van het imbibitie-water van het protoplasma en den celwand in ijskristallen over, die zich in de intercellulaire ruimten vormen. Het water-

¹⁾ Sachs, l. c. p. 262.

²⁾ Du Hamel, *Physique des arbres*. 1758. II. p. 26.

verlies heeft een vermindering van het volumen der weefsels en, tenzij de weefsels van elkander geïsoleerd worden ¹⁾, ook een volumenvermindering der organen ten gevolge. Om die verandering ten minste voor één richting na te gaan, liet Sachs ²⁾ bladstelen met de middennerf er aan van verschillende planten, na hen gemeten te hebben, bevroren, en mat hen daarna voorzichtig in een koud vertrek, zoodat zij gedurende het meten bevroren bleven.

De volgende tabel bevat de gevonden lengten in millimeters en de daaruit berekende verkorting in percenten der oorspronkelijke lengte:

	Frisch.	Bevroren.	Verkorting.		Frisch.	Bevroren.	Verkorting.
Ranunculus repens.	52	50,2	3,46 %	Tabak.	193	180	1,64 %
Allium Cepa (blad).	199	194	2,51	Roode Lupine.	71	70,3	0,99
Capsella.	82,5	80,5	2,42	Groene Kool.	208	206	0,96
Winterraap.	88	86	1,70	Ballota nigra.	135	134	0,73

De temperatuur, waarbij de planten bevroren en gemeten zijn, heeft op de voor de verkorting gevonden waarden grooten invloed, want hoe lager zij is, hoe meer ijs er zich vormt en hoe grooter dus het waterverlies der cellen zal zijn. Doch hieromtrent ontbreken nadere opgaven.

Aan prismatische stukken uit het weefsel van Bieten en Meloenen nam Sachs deze verkorting niet waar.

Als de verkorting aan verschillende zijden van een bladnerf of blad ongelijk is, zal het bevroren een kromming van dit deel tengevolge hebben, concaaf naar de zijde der grootste

¹⁾ Zie pag. 27.

²⁾ Sachs, < Ber. d. k. Sächs. Gesellsch. d. Wiss. I. 1860. p. 21.

verkorting. Zoo krommen zich de bladen van Rapen ¹⁾, Euphorbia Lathyris ²⁾, Cheiranthus Cheiri ³⁾ en andere planten bij het bevroren naar onderen concaaf, en wel des te sterker, naarmate de omgevende temperatuur lager is. Bij het ontdooien herstelt zich natuurlijk de gewone stand, en neemt men dus een beweging in tegenovergestelde richting waar. Ook bij boomtakken is dit verschijnsel waargenomen ⁴⁾.

Wanneer het imbibitie-water van de houtvezels van boomstammen befrist, kunnen er vriesbarsten ontstaan, die door een in verschillende richtingen ongelijke inkrimping van het hout veroorzaakt worden, zooals uit hun verloop in radiale richting blijkt. Zoowel het verlies van imbibitie-water bij het bevroren ⁵⁾, als de uitzettings-coëfficiënt van hout kunnen in tangentiale richting grooter zijn dan in radiale en zoo het verschijnsel veroorzaken. Daar deze beide punten echter nog niet proefondervindelijk onderzocht zijn, is de ware oorzaak der vriesbarsten nog onbekend ⁶⁾.

§ 9.

Verdamping.

De verdamping van een vloeistof neemt onder overigens gelijke omstandigheden met de temperatuur in snelheid toe, hetzij de vloeistof vrij of door een vast lichaam geïmbibeerd in aanraking is met een ruimte, die niet met haar damp verzadigd

¹⁾ Sachs, l. c. p. 22.

²⁾ Bremer, De somno plantarum, < Amoen. acad. a C. Linné. Vol. IV. 1759. pag. 338.

³⁾ Göppert, Wärme-Entwicklung. p. 12.

⁴⁾ Caspary, Veränd. d. Richt. der Aeste holziger Gewächse, < The Intern. Hortie. Exhib. an bot. Congr. at London. 1866. p. 98.

⁵⁾ Zie pag. 26.

⁶⁾ Zie Caspary, l. c.; Caspary, < Bot. Ztg. 1855. p. 449; 1857 p. 329; en Sachs, Lehrbuch der Botanik. 2e Aufl. 1870. p. 611, 616.

is. In de planten verdampt slechts water, dat door membranen geëmbibeerd is.

Om de afhankelijkheid van de verdamping van den warmtegraad bij planten proefondervindelijk aan te toonen, gebruikt men exemplaren, die in glazen potten groeien, welke door glazen deksels luchtdicht gesloten worden. De deksels laten slechts den stam der plant en den thermometer door. Er kan dus geen verdamping in de aarde der potten tot gewichtsverlies aanleiding geven. Als de planten steeds buiten de zon gehouden worden ¹⁾ en de proef niet zoolang duurt, dat er zich nieuwe organen vormen, kan het gewichtsverlies zonder merkbare fout aan het gewicht van het door de bladen verdampte water gelijk gesteld worden. Wegingen der potten vóór het begin van elke proef en nadat ze gedurende bepaalden tijd in ruimten van verschillende temperatuur gestaan hebben, geven dus het gewicht van het bij die temperatuur verdampte water aan.

Nauwkeurige onderzoekingen over dit onderwerp ontbreken echter nog. Bij deze is het steeds een vereischte, dat zij met geheel gelijke bladen, of beter kort na elkander met hetzelfde blad of dezelfde plant genomen zijn, en dat steeds gelijktijdig de vochtigheid der lucht bepaald is ²⁾.

De invloed van de temperatuur der wortels op de verdamping der bladen is indirect, en behoort dus niet in deze paragraaf besproken te worden ³⁾.

¹⁾ Zie p. 5.

²⁾ Sachs, Handbuch. p. 228.

³⁾ Zie § 11 en § 12.

§ 10.

Imbibitie.

Imbibitie heet de eigenschap van vele vaste lichamen, om, als zij met een vloeistof in aanraking komen, een zekere hoeveelheid van deze in hunne poriën op te nemen en vast te houden. Is de vloeistof een mengsel, dan zal de verhouding der deelen in de geïmbibeerde vloeistof in den regel een andere zijn, dan die in de oorspronkelijke ¹⁾.

Zoowel de absolute hoeveelheid van het geïmbibeerde vocht, als de verhouding tusschen zijne samenstellende deelen (bij gelijke verhouding in de omgevende vloeistof) kan van de temperatuur afhankelijk zijn. Daarenboven hangt van de temperatuur af: 1°. de snelheid, waarmede een nog niet verzadigd lichaam de aangeboden vloeistof opneemt, en 2°. de snelheid, waarmede afwijkingen van den evenwichtstoestand tusschen de concentratie der geïmbibeerde vloeistof en die der omgevende, of tusschen de verschillende deelen der geïmbibeerde vloeistof opgeheven worden.

Noch in de physische, noch in de physiologische handboeken en tijdschriften heb ik eenige onderzoeking vermeld gevonden, die ten doel had een dezer vier vragen op te lossen. Het eenige, wat ik hieromtrent in de litteratuur heb kunnen vinden, zijn een paar proeven van Schumacher over de tweede vraag, die ik weldra in haar geheel mede zal deelen.

Het spreekt van zelf dat de beantwoording dezer vragen noodig is, voordat men de afhankelijkheid der imbibitie-verschijnselen in het plantenleven van de temperatuur met vrucht kan trachten te verklaren. Tot nu toe vindt men omtrent dezen invloed

¹⁾ Zie Modderman, de Leer der Osmose. 1857. p. 135—144; Gunning, Ueber Imbibition thierischer Membranen, < Arch. f. Holl. Beiträge II. 1860. p. 245—259; Schumacher, Pflanzenphysik. Unters., < Bot. Unters. a. d. Phys. Lab. in Berlin. II. 1866. p. 174.

slechts enkele waarnemingen, doch geen rechtstreeksche proeven vermeld. Van conclusiën, op de bij het bevrozen en ontdooien waargenomen feiten gebaseerd ¹⁾, moet hier natuurlijk afgezien worden. Hofmeister vermeldt ²⁾ dat de naalden van *Pinus excelsa* en *P. Strobus* in den zomer des te slapper hangen, naarmate de temperatuur lager is, waaruit hij afleidt, dat hare celwanden bij hooger temperatuur meer vocht bevatten dan bij lager. Evenzoo meent Nägeli ³⁾, zonder hiervoor gronden aan te geven, dat het watergehalte van cellen met de temperatuur toe- en afneemt, doch Sachs ⁴⁾ hield dit (1862) nog niet voor bewezen.

Om zoo mogelijk tot het aanvullen dezer leemte bij te dragen heb ik een reeks van onderzoekingen met levende celwanden gedaan, die de beantwoording der eerste en derde vraag ten doel hadden. Voordat ik tot de beschrijving dezer proeven overga, wil ik echter de onderzoeking van Schumacher ⁵⁾ over de tweede vraag behandelen.

Schumacher overgoot collodiumhuid en boomwol met een oplossing van zuringzuur en bevond, dat beide de concentratie der oplossing verminderden, en dus zelve meer zuringzuur dan water in verhouding tot de oorspronkelijke vloeistof opnamen. Om de afhankelijkheid van dit verschijnsel van de temperatuur te bestudeeren, nam hij nu de volgende proeven:

I. 10 cc. collodium met 1,8 cc. vaste stof werden met 40 cc. zuringzuur-oplossing van 1,22 % overgoten. Van tijd tot tijd werden 10 cc. oplossing tot bepaling van het gehalte aan zuur er uitgenomen en telkens gerestitueerd. De volgende tabel bevat de uitkomsten van deze proef:

¹⁾ Hofmeister, *Die Lehre von der Pflanzenzelle*. p. 379.

²⁾ Hofmeister, l. c.

³⁾ Nägeli, < *Sitzungsber. d. k. Bayr. Acad.* 1861. I. p. 269.

⁴⁾ Sachs, < *Flora*. 1862. p. 21.

⁵⁾ Schumacher, l. c. p. 181—183.

U R E N.	Temperatuur.	Concentratie.	Geabsorbeerd zuringzuur.	Dus weer opgelost.
Bij het begin :	9—11°	1.22 %		
8 uur later:	9—11	1,14	0,039 gr.	
17 " "	38- 50	1,14	0,039	0 gr.
6½ " "	10—12,5	1,17	0,025	+ 0,014
24 " "	7,5—10	1,16	0,029	— 0,004
4 " "		1.13	0,043	— 0,014

II. Boomwol in 100 cc. zuringzuur-oplossing van 1,499 % gebracht, gaf de volgende resultaten:

U R E N.	Temperatuur.	Concentratie.	Geabsorbeerd zuringzuur.	Dus weer opgelost.
Bij het begin :		1,499 %		
6½ uur later:	kamertemp.	1,423	0,071 gr.	
24 " "	38—50°	1,452	0,047	+ 0,024 gr.
24 " "	kamertemp.	1,441	0,058	— 0,011
24 " "	"	1,441	0,000	0

Bij hooger temperatuur bevatten deze stoffen dus minder zuringzuur dan bij lager, in betrekking tot het geïmbibeerde water.

Mijn eigen proeven werden naar de volgende methode genomen:

In krachtig groeiende internodiën bezit het parenchym, zooals bekend is, het streven zich te verlengen, waarin het echter door de epidermis tegengehouden wordt. Deze verhouding heeft een kromming van elke strook epidermis met paren-

chym, die uit zulk een internodium geïsoleerd wordt, ten gevolge, waarbij het parenchym zich aan de convexe zijde bevindt. Dit parenchym is niet met water verzadigd, doch kan hiervan nog opnemen, waardoor zijn lengte vergroot en dus de kromming der strook vermeerderd wordt. Niet zelden ziet men zulke strooken zich in water of zeer verdunde zoutoplossingen tot schroeflijnen in één winden. De hoeveelheid water, die de epidermis zelve opneemt, is zeer gering. Uit de onderzoekingen van Hofmeister is gebleken ¹⁾, dat de oorzaak van deze spanningsverandering alleen in de celwanden gelegen is, en dat de spanning van den celinhoud geen invloed op den vorm van het geheele weefsel heeft. De schroefwindingen der strooken zijn dus het gevolg van de water-imbibitie der celwanden van het parenchym en elke oorzaak, die deze imbibitie verandert, zal door een verandering in de schroefwindingen bemerkbaar worden. Deze methode van waarneming laat, om straks te vermelden redenen, geen absolute bepaling der verlenging van het parenchym toe, doch kan daarentegen, waar dit gewenscht wordt, zeer kleine verschillen zichtbaar maken. De bijzonderheden der methode zijn verschillend naar gelang van de te beantwoorden vraag.

Bij het onderzoek over de vraag: of levende celwanden bij hooger temperatuur meer of minder water kunnen bevatten dan bij lager, stoot men op het bezwaar, dat het zeer moeielijk, ja wellicht onmogelijk is, een levenden celwand zijn maximum van watergehalte te doen opnemen. Als namelijk een weefsel in water van een bepaalde temperatuur voor het oog opgehouden heeft water op te nemen, volgt daar nog niet uit dat het zoo veel water bevat, als het bij die temperatuur bevatten kan; evenals een zoutoplossing, die in aanraking met het zout in vasten toestand, dit niet meer in merkbare hoeveelheid opneemt, daarom nog niet verzadigd is. Ik moet mij dus hier

¹⁾ Hofmeister, < Flora. 1862. p. 508.

beperken tot het onderzoek van celwanden, die zooveel water bevatten, als zij bij de aanwezige temperatuur kunnen opnemen.

I. Een strook parenchym en epidermis uit een jong stengelid van *Valeriana officinalis* vormde gedurende 15 uur in water van 15° drie windingen, en veranderde daarna gedurende 6 uur in water van 15° niet. In water van 43° wond zij zich in één uur zooveel verder, dat het vrije uiteinde (het andere was bevestigd) zich 3 mm. bewoog. Gedurende 12 uur in water van 15° verloor zij deze sterkere winding niet.

II. Een dergelijke strook had na 5 uur in water van 20° opgehouden zich te winden, vormde echter in water van 44° in 10 minuten nog een halve winding er bij, doch ontwond zich in koud water niet weer. Hetzelfde nam ik ook bij andere strooken waar.

III. Strooken epidermis en parenchym, geïsoleerd uit jonge stengeldeelen van: *Taraxacum officinale*, *Oenanthe fistulosa*, *Silva tenuifolius*, *Stachys setifera* en *Veronica Buxbaumii* toonden na 12 uur in water van 20° gelegen te hebben, bij die temperatuur in 5 uur geen toename harer windingen. Een uur lang in water van 40° gehouden namen zij alle duidelijk in winding toe, waarna zij in water van 20° den eenmaal verkregen vorm gedurende eenige uren behielden, en dus het opgenomen water niet weer verloren.

In al deze gevallen kunnen celwanden bij hooger temperatuur meer water opnemen dan bij lagere, doch verliezen het eenmaal opgenomene bij verkoeling niet weer.

Voordat ik overga tot de beantwoording der vraag, hoe de snelheid, waarmede niet met water verzadigde celwanden water opnemen, van de temperatuur afhangt, is het noodig na te gaan hoe deze snelheid van de reeds opgenomene hoeveelheid vocht afhangt. Verder behoort onderzocht te worden, welke voorwaarden daarenboven aan de proeven gesteld moeten worden.

De snelheid, waarmede vocht geïmbibeerd wordt, is des te

grooter, naarmate de afstand van den toestand van verzadiging grooter is. Dit kan eenvoudig geconstateerd worden, door het aantal windingen van strooken epidermis en parenchym vóór het brengen in water, en daarna b. v. om de 5 minuten te bepalen. Bij alle voor de volgende proeven gebruikte soorten vond ik de snelheid in het begin der proef het grootst, en daarna langzaam afnemende. Eenige proeven met jonge interodiën van *Oenanthe fistulosa* mogen als voorbeeld dienen:

Uit stukken van 100 mm. lengte werden strooken van 1—2 mm. breedte geïsoleerd. Zij wonden zich reeds onder het bereiden. Het aantal dezer windingen werd opgeteekend, en na het brengen in water van 16° werd het aantal windingen om de 5 minuten in geheelen en achtste deelen bepaald. De volgende tabel bevat de uitkomsten voor drie zoodanige strooken. De tweede regel bevat telkens de toename gedurende de laatste 5 minuten.

Na x minuten:	0	5	10	15	20	25	30	45	60
I.	1—6 ¹⁾	7—5	9—3	10—0	10—2	10—4	10—5	12—0	12—2
Diff.		5—7	1—6	0—5	0—2	0—2	0—1	0—1	0—0,7
II.	2—0	5—5	6—7	7—4	7—7	8—1	8—2	8—4	
Diff.		3—5	1—2	0—5	0—3	0—2	0—1	0—0,7	
III.	2—1	6—7	8—0	9—0	9—6	10—2	10—4	11—1	11—3
Diff.		4—6	1—1	1—0	0—6	0—4	0—2	0—1,7	0—0,7

Niet altijd is echter het afnemen der verschillen zoo geheel regelmatig als in deze voorbeelden.

Verdere omstandigheden, waarop bij deze proeven gelet moet

¹⁾ In deze en de volgende tabellen dezer paragraaf, geeft het voor het teken — staande cijfer het aantal geheele windingen, het daarachterstaande cijfer het aantal achtste deelen van windingen aan; 1—6 b. v., beteekent dus $1\frac{6}{8}$ omgang der schroeflijn.

worden, zijn de volgende: 1°. De breedte der strooken is van invloed op het aantal windingen. Hoe breeder de strook, hoe geringer het aantal windingen, wanneer de strooken even lang en uit hetzelfde internodium genomen zijn. Strooken voor vergelijkende proeven moeten dus even breed zijn. Tevens belet deze omstandigheid de absolute verlengings coëfficiënt van het parenchym uit een mathematische berekening der schroeflijn af te leiden. 2°. Ook de ouderdom van het internodium heeft invloed, en wel zóó, dat, tenzij men al te jonge deelen gebruikt, het aantal windingen, *ceteris paribus*, des te kleiner is, naarmate het onderzochte stuk ouder is. Om deze omstandigheid te elimineeren, moeten strooken voor vergelijkende proeven dus steeds uit hetzelfde internodium en op dezelfde hoogte genomen worden, iets waardoor men zeer in den omvang der proeven beperkt wordt, daar meestal slechts 3 of 4 zulke strooken uit één internodium verkregen kunnen worden. 3°. Om individueele verschillen te elimineeren is het verder wenschelijk gemiddelden te gebruiken. In plaats van deze zal ik echter steeds de sommen opgeven, hetgeen even goed is, daar in elke reeks steeds het aantal en de lengte der gebruikte strooken voor de verschillende proeven met één plantensoort gelijk zijn.

Ook in zoutoplossingen neemt het parenchym in lengte toe, doch des te minder, naarmate de oplossing meer geconcentreerd is. De volgende proef kan dit aantoonen. Vijf jonge internodiën van *Oenanthe fistulosa*, alle op 100 mm. lengte afgesneden, werden elk in vier even breede strooken gesplitst. Nadat de windingen vóór het brengen in zoutoplossing geteld waren, werd van elk internodium één strook in chloornatrium-oplossing van 0,25 % gebracht. Evenzoo van elk één in NaCl-oplossing van 0,5 %, één in NaCl. van 0,75 % en één in NaCl. van 1,0 %. Na één uur en na twee uur werden de windingen geteld; hare sommen bevat de volgende tabel: (Temperatuur 20°)

	0,25 %	0,5 %	0,75 %	1,0 %
Vóór.	1—6	2—1	2—2	1—7
Na 1 uur.	8—6	7—0	4—4	4—3
Na 2 uur.	9—2	8—2	4—6	4—5

Dus hoe hoger concentratie, hoe minder vocht de celwanden imbibeerden. Bij 5 % en hooger vindt men een verlies van vocht en dus een ontwinden.

Uit het voorgaande kunnen twee methoden afgeleid worden om den invloed der temperatuur op de snelheid, waarmede celwanden zich in water of zoutoplossingen imbibeerden, aan te toonen: 1°. men vergelijkt gelijke strooken uit hetzelfde internodium, die bij verschillende temperaturen zich imbibeerden; 2°. men gebruikt slechts een strook, laat deze zich bij een bepaalde temperatuur imbibeerden en bepaalt na verloop van eenigen tijd de snelheid van het opnemen van water, dus b. v. de verlenging in een half uur. Dan brengt men de strook in water van hooger of lager temperatuur en ziet na een half uur of de snelheid grooter was dan in het voorgaande half uur. Is dit het geval, dan volgt hieruit, daar de snelheid bij gelijke temperatuur hoe langer hoe kleiner wordt, dat de snelheid bij de laatst gebruikte temperatuur grooter is, dan bij de eerst gebruikte. Beide methoden heb ik steeds gevolgd.

I. Jonge stengeldeelten van *Valeriana officinalis*, genomen onder inflorescentiën, wier eerste bloemen zich juist geopend hadden, werden volgens beide methoden onderzocht. De resultaten der proef bevat de volgende tabel; de inrichting was deze: Uit elk stengeldeel (I—V) werd een stuk van de opgegeven lengte in 3 of 4 strooken gesplitst, die elk even lang als het oorspronkelijke stuk waren, en daaruit telkens de twee meest gelijke voor de proef uitgekozen. De eene strook (a) bleef één uur

in water van 43°, daarna een half uur in water van 15°; de andere (*b*) één uur in water van 15°, daarna een half uur in water van 43°. Om het halve uur werd het aantal van hare windingen in geheel en achtste deelen opgeteekend. Kolom D—C bevat de verlenging in het tweede half uur, kolom E—D die in het derde half uur, dus na de verandering der temperatuur.

Nummer.	TEMPERATUUR		Oorspr. lengte. B/.	WINDINGEN NA :			D—C.	E—D.
	van het eerste uur.	van het laatste halve uur.		$\frac{1}{2}$ uur.	1 uur.	1½ uur.		
	A.	B.		C.	D.	E.		
I <i>a</i> .	43°	15°	28 mm.	2—0	2—1	2—1	0—1	0—0
<i>b</i> .	15	43	"	1—1	1—2	1—4	0—1	0—2
II <i>a</i>	43	15	69	3—2	3—3	3—3	0—1	0—0
<i>b</i> .	15	43	"	1—7	2—0	3—3	0—1	1—3
III <i>a</i> .	43	15	75	7—4	8—2	8—4	0—6	0—2
<i>b</i> .	15	43	"	4—2	5—0	7—4	0—6	2—4
IV <i>a</i> .	43	15	60	3—0	3—4	3—4	0—4	0—0
<i>b</i> .	15	43	"	1—4	1—4	2—2	0—0	0—6
V <i>a</i> .	43	15	40	1—7	2—2	2—2	0—3	0—0
<i>b</i> .	15	43	"	1—6	1—6	2—0	0—0	0—2

Vergelijking van de in kolom C en D opgegeven getallen voor elke twee strooken van een zelfde internodium, toont aan, dat het aantal windingen, in gelijke tijden bereikt, bij 43° steeds hooger is dan bij 15°. Evenzoo toonen kolom D—C en E—D, dat de strooken *a* bijna alle bij 15° geen vocht meer opnemen, terwijl daarentegen in de strooken *b*, ten gevolge der grootere warmte, het opnemen van vocht in het laatste

half uur aanmerkelijk sneller geschiedde. Het verschil tusschen de snelheid (na 1 uur liggen in water van 15°) bij 43° en die bij 15° is iets grooter, dan de hier opgegeven getallen aanwijzen, daar bij gelijkblijvende temperatuur de snelheid bij 15° in het derde half uur kleiner zou geweest zijn, dan in het tweede.

Dus: hoe hooger temperatuur, hoe sneller de celwanden vocht opnemen.

II. Voor een aantal andere soorten vond ik hetzelfde resultaat. De volgens de eerste methode gewonnen uitkomsten bevat de volgende tabel, die de sommen der windingen voor telkens vijf 100 mm. lange strooken op dezelfde wijze als in I aangeeft. Uit elk gebruikt stengeldeel kwam één strook in het bij 40° onderzochte vijftal, één in dat voor 21°, één in dat voor 1°.

TEMPERATUUR:	Vóór.			Na $\frac{1}{2}$ uur.			Na 1 uur.		
	40°	21°	1°	40°	21°	1°	40°	21°	1°
<i>Taraxacum officinale.</i>	1—0	1—3	2—1	28—1	23—1	20—5	31—5	26—2	21—6
<i>Stachys excelsa.</i>	1—5	1—5	1—6	15—2	13—0	8—7	16—2	14—2	10—1
<i>Veronica Buxbaumii.</i>	0	0	0	18—1	17—2	16—2	18—1	17—7	16—7
<i>Althaea officinalis.</i>	0—5	0—3	0—3	24—7	21—6	19—1			21—3
<i>Cirsium tuberosum.</i>		3—0	1—2		21—2	12—7			14—7
<i>Chenopodium Quinoa.</i>		1—6	1—1		27—0	16—0			21—4

Voor het onderzoek volgens de tweede methode werden de strooken, na een uur in water van 21° gelegen te hebben, in water van 40°, en andere, die een uur in water van 1° gelegen hadden, in water van 21° gebracht. De cijfers der volgende tabel zijn eveneens sommen der windingen van vijf, elk 100 mm. lange strooken. De beteekenis der kolommen is dezelfde als in de tabel op pag. 61.

SOORTEN.	TEMPERATUUR		WINDINGEN NA:			D-C.	E-D.
	van het eerste uur.	van het laatste halve uur.	$\frac{1}{2}$ uur.	1 uur.	1 $\frac{1}{2}$ uur.		
	A.	B.	C.	D.	E.		
<i>Cirsium tuberosum.</i>	21°	40°	21-2	22-2	24-7	1-0	2-5
<i>Althaea officinalis.</i>	21	40	21-6	23-0	25-7	1-2	2-7
<i>Taraxacum officinale.</i>	21	40	23-1	26-2	31-0	3-1	4-6
<i>Stachys excelsa.</i>	21	40	13-0	14-2	16-6	1-2	2-4
<i>Veronica Buxbaumii.</i>	21	40	17-2	17-7	19-2	0-5	1-3
<i>Chenopodium Quinoa.</i>	21	40	27-0	30-3	34-0	3-3	3-5
<i>Cirsium tuberosum.</i>	1	21	12-7	14-7	17-0	2-0	2-1
<i>Althaea officinalis.</i>	1	21	19-1	21-3	24-3	2-2	3-0
<i>Taraxacum officinale.</i>	1	21	20-5	21-6	26-0	1-1	4-2
<i>Stachys excelsa.</i>	1	21	8-7	10-1	12-0	1-2	1-7
<i>Veronica Buxbaumii.</i>	1	21	16-2	16-7	17-7	0-5	1-0
<i>Chenopodium Quinoa.</i>	1	21	16-0	21-4	26-1	5-4	4-5

Beide tabellen toonen zeer duidelijk, dat bij alle onderzochte soorten de snelheid van imbibitie des te grooter is, naarmate de temperatuur hooger is.

III. Vijf 100 mm. lange stukken van jonge internodiën van *Oenanthe fistulosa* werden elk in 4 gelijke strooken gesplitst. Nadat de onder het praepareeren aangenomen windingen geteld waren, werden zij in vier afdeelingen van 5 strooken verdeeld, zóó, dat elke afdeeling uit elk internodium één strook bevatte. Daarna kwam afdeeling *a* in een oplossing van chloornatrium van 0,5% en 18-19° temp., bleef hier een uur en kwam toen in een gelijke oplossing van 40-41°; *b* kwam in NaCl-

oplossing van 0,5% van 40—41° en na één uur in een dergelijke oplossing van 18—19°; *c* bleef eerst een uur in water van 18—19°, daarna een half uur in water van 40—41°; *d* evenzoo, doch eerst bij 40—41°, daarna bij 18—19°. Om het halve uur werden de windingen geteld.

Temperatuur van het begin:	NaCl-opl. v. 0,5 %.				WATER.			
	18—19°		40—41°		18—19°		40—41°	
	Wind.	Diff.	Wind.	Diff.	Wind.	Diff.	Wind.	Diff.
Vóór.	5—0		5—7		6—2		5—6	
Na ¼ uur.	13—5	7—7	20—2	14—3	34—0	27—6	35—1	29—3
Na 1 uur.	14—4	0—7	23—7	3—5	37—7	3—7	43—1	7—8
Na 1½ uur (and. temperatuur).	17—3	2—7	25—5	1—6	43—4	5—7	44—1	1—0

Deze tabel toont aan, 1°. dat zoowel in water, als in de zoutoplossing de snelheid bij hooger temperatuur grooter is, 2°. dat na één uur de snelheid door verhooging van temperatuur in beide gevallen vergroot, door verlaging van temperatuur daarentegen verminderd wordt, 3°. dat bij gelijke temperatuur de snelheid in water grooter is dan in zoutoplossing.

IV. Van jonge internodiën van *Oenanthe fistulosa* werden stukken van 100 mm. elk in 4 even breede strooken gesplitst, en telkens de drie onderling het meest gelijke dezer strooken voor de proef gebruikt. De geheele onderzoeking bestond uit drie reeksen, elk met drie afzonderlijke proeven. Voor elke reeks werden 6 internodiën gebruikt (voor die met $\text{KNO}_3 : 5.$), van elk dezer werd voor elke der drie proeven één strook bestemd. Van elke reeks werd de eerste proef bij 40°, de tweede bij 21°, de derde bij 1° genomen. In de eerste reeks werden

de strooken gebracht in oplossingen van Na_2SO_4 van 0,5 %, in de tweede van Na_2CO_3 van 0,5 %, en in de derde van KNO_3 van 0,5 %. De sommen der windingen van de volgens de eerste methode genomen proef bevat de volgende tabel:

Zoutopl. van 0,5 % :	Vóór.			Na $\frac{1}{2}$ uur.			Na 1 uur.		
	40°	21°	1°	40°	21°	1°	40°	21°	1°
Na_2SO_4 .	3-5	4-4	4-0	17-5	14-3	12-0	20-3	17-6	14-0
Na_2CO_3 .	4-3	4-6	4-7	17-7	13-6	12-0	19-6	16-0	13-4
KNO_3 .	5-1	3-4	3-5	16-6	15-7	15-2			

Voor het onderzoek volgens de tweede methode werden de strooken, na één uur in een zoutoplossing van 21° gelegen te hebben, in zoutoplossing van 40°, en andere, die één uur in een zoutoplossing van 1° gelegen hadden, in zoutoplossing van 21° gebracht en na een half uur onderzocht. Elke strook bleef gedurende de geheele proef in oplossingen van hetzelfde zout.

Zoutopl. van 0,5 % :	TEMPERATUUR		WINDINGEN NA :			D-C.	E-D.
	van het eerste uur.	van het laatste halve uur.	$\frac{1}{2}$ uur.	1 uur.	$1\frac{1}{2}$ uur.		
Na_2CO_3 .	21°	40°	13-6	16-6	18-3	2-2	2-3
Na_2CO_3 .	1	21	12-0	13-4	15-5	1-4	2-1
Na_2SO_4 .	1	21	12-0	14-0	17-7	2-0	3-7
KNO_3 .	1	21	17-2	20-7	25-0	3-5	4-1

Beide tabellen toonen, dat, onafhankelijk van den aard der gebruikte zoutoplossing, de imbibitie-snelheid met de temperatuur toeneemt.

V. Van een internodium van *Silaua tenuifolius* werd een stuk van 100 mm. in vier strooken gesplitst. Van twee van deze, die gedurende 20 uur bij 20° met water verzadigd waren, had *a* 8—6 en *b* 8—0 windingen. Daarna bleef *a* gedurende 5 minuten in een oplossing van 10 % NaCl. van 40°, *b* in een dergelijke oplossing van 22°. Hierdoor ontwonden zij zich tot 4—4, resp. 4—7 windingen. Dus verloren de celwanden bij hooger temperatuur hun imbibitie-water sneller dan bij lager.

VI. Op dezelfde wijze werden twee strooken uit een internodium van *Oenanthe fistulosa* behandeld. Windingen vóór het brengen in zout: *a* 10—0, *b* 9—0. Na 1 minuut in de oplossingen van 40° resp. 22°: *a* 8—0, *b* 7—7. Dus was de ontwinding bij hooger temperatuur weer sneller dan bij lager.

VII. Drie, elk 90 mm. lange stukken van jonge internodiën van *Oenanthe fistulosa* werden elk in vier strooken gesplitst, en daarvan de twee meest gelijke gebruikt. Na het bereiden bleven zij een uur in water van 21,2°. Daarna kwam uit elk stuk één strook in 2 % NaCl-oplossing van 40° (*a*), en uit elk één strook in 2 % NaCl-oplossing van 21,2° (*b*). Hierin ontwonden zij zich. Vóór het brengen in de zoutoplossing waren de sommen der windingen voor *a* 14—6, voor *b* 13—7. Na 3 minuten *a* 7—3, *b* 11—0. Na 10 minuten *a* 7—0, *b* 6—7. Na 1 uur *a* 7—0, *b* 5—7. Dus vond de ontwinding bij 40° in het begin sneller plaats dan bij 21,2°, en bereikte ook spoediger haar maximum.

De resultaten uit al deze proeven zijn dus de volgende:

Celwanden bevatten (zoolang zij leven) in met water verzadigden toestand des te meer water, naarmate zij bij hooger temperatuur verzadigd zijn.

Celwanden nemen water en zoutoplossingen (tot 1 % en wellicht een weinig hooger) des te sneller op naarmate de temperatuur hooger is.

Celwanden geven hun imbibitie-water aan wateronttrekkende

middelen des te sneller af, naarmate de temperatuur hooger is.

Uit de twee laatste resultaten volgt verder onmiddellijk :

Plaatselijke verstoringen van den evenwichtstoestand van het imbibitie-water in een systeem van celwanden worden des te sneller hersteld, naarmate de temperatuur hooger is.

Overeenkomstig hiermede zullen hoogst waarschijnlijk plaatselijke verstoringen van den evenwichtstoestand der in de imbibitie-vloeistof opgeloste zouten bij hooger temperatuur sneller hersteld worden dan bij lager.

In het algemeen neemt dus de snelheid van de imbibitiestroomen in de planten met de temperatuur toe.

§ 10 a.

Bijzondere imbibitie-verschijnselen van den celwand.

De imbibitie-verschijnselen van den celwand, omtrent welker afhankelijkheid van de temperatuur onderzoekingen gedaan zijn, zijn de periodische beweging der bladen en de prikkelbaarheid.

Omtrent de temperatuurgrenzen voor de prikkelbaarheid van de bladen van *Mimosa pudica* zijn uitvoerige onderzoekingen door Sachs ¹⁾ gedaan. Hij bevond, dat beneden 15° en boven 40° de gewoonlijk prikkelbare organen voor prikkels ongevoelig zijn. Voor de blaadjes en bladstelen komen deze grenzen niet volkomen met elkander overeen. De gevoeligheid gaat bij het overschrijden dezer grenzen niet plotseling verloren maar langzamerhand, en wel des te sneller naarmate de inwerkende temperatuur verder buiten de grenzen ligt. Evenzoo keert de ge-

¹⁾ Sachs, Vorübergeh. Starrezustände period. bewegl. und reizb. Pflanzenorgane, < Flora. 1863. p. 449.

voeligheid slechts langzamerhand terug, als de plant weer in een omgeving komt, die een gunstige temperatuur bezit.

De proeven, waaruit Sachs dit resultaat afleidt, zijn de volgende :

I. *Laagste grens.* In een vertrek, waar de temperatuur des nachts tot 10° daalde, waren de meeste planten van *Mimosa* over dag gevoelig, des morgens vroeg bij 10—11° echter zelfs in het zonlicht ongevoelig; soms was een temperatuur van 13,7° voldoende om haar ongevoelig te maken. Bij 15° waren de blaadjes ongevoelig; de geledingen der bladstelen echter gevoelig. Om den toestand van prikkelbaarheid in dien van ongevoeligheid over te doen gaan, is bij 8—12° korte tijd, bij 14° zeer lange tijd noodig. Een temperatuur van 15,5—17° bewerkt gedurende 5—6 dagen geen ongevoeligheid.

II. *Hoogste grens.* Verwarming der planten in lucht tot 30° gedurende drie uur bewerkte geen verandering. Bij een één uur lang in lucht van 40° gehouden exemplaar hield de prikkelbaarheid op, doch kwam bij 22° na 20 minuten terug. Na verwarming tot 45° ($\frac{1}{2}$ uur) verliep voor het terugkomen van den gevoeligen toestand een langere tijd. Voor een bij 49° plotseling ongevoelig geworden exemplaar bedroeg deze tijd, nadat een kortstondige verwarming tot 50° had plaats gevonden 6 uur, onafhankelijk van den invloed van het licht. Bij 52° stierven de planten. Een uur bij 40°, of een half uur bij 45°, brengt dus een korte, 49—50° een plotseling optredende, lang aanhoudende ongevoeligheid tot stand.

III. Geschieden de proeven onder water, dan maakt 16° de bladen binnen $\frac{1}{2}$ uur tijdelijk ongevoelig. Evenzoo 40°. Dus liggen de grenzen hier iets dichter bij elkander dan in lucht.

Een merkwaardig resultaat uit de in de aangehaalde verhandeling van Sachs meer uitvoerig beschreven proeven is, dat de blaadjes zich steeds sloten als de temperatuur 40° bereikte en bij hooger temperatuur gesloten bleven; bij 30° bleven

zij geopend. Ook verkoeling in water van 16° had dit gevolg, ofschoon water van 22° geen invloed uitoefende. Nadat de temperatuur onder 40° gedaald of boven 16° gestegen was, hernamen de blaadjes hun dagstand na eenigen tijd. Hiermede komt wellicht de waarneming van Schnetzler ¹⁾ overeen, die bevond, dat de meeldraden van *Berberis vulgaris* zich langzaam naar den stempel bewogen, als men er een druppel water van 35° op liet vallen, doch snel, als dit water 40° warm was, terwijl bij verkoeling na eenigen tijd de normale stand weer ingenomen werd.

Volgens Kabsch ²⁾ kan het gynostemium van *Stylidium graminifolium* in het licht bij 28° een belasting van 4—5 milligram bij prikkeling oplichten, en bij lager temperaturen slechts een geringer gewicht.

Omtrent den tijd gedurende welke een *Mimosa*, na inwerking van sterk licht, in het donker haar prikkelbaarheid en haar periodische bewegingen behoudt, zijn proeven door Dutrochet ³⁾ genomen, waaruit blijkt, dat deze tijd bij 25—31,2° 3 dagen bedraagt, bij 27—30° (waarbij de gemiddelde temperatuur lager was dan die der vorige proef) 4½ dag, bij 17,5—25° 10 dagen, bij 16,2—21,2° 11 dagen, bij 12,5—18,7° 15 dagen. Dus hoe hooger de temperatuur is, hoe sneller de ongevoeligheid en de stilstand der periodische bewegingen aanvangt.

Minder uitvoerig zijn de proeven omtrent de afhankelijkheid van de periodische bewegingen van de temperatuur.

Bij *Hedysarum gyrans* vond Kabsch ⁴⁾ het bestaan van een laagste grens, en constateerde hij daarenboven, dat boven deze grens de beweging der zijblaadjes des te sneller is,

¹⁾ Schnetzler, < Bibl. univ. d. Genève. XXXV. 1869. p. 21.

²⁾ Kabsch, Bot. Ztg. 1861. p. 350.

³⁾ Dutrochet, Mémoires pour servir à l'hist. d. végét. et anim. I. p. 555, (geciteerd door Sachs, l. c. p. 471.)

⁴⁾ Kabsch, l. c. p. 355.

naarmate de temperatuur hooger is. Hij vond nl. bij 22° en lager volkomen rust, bij 23—24° een bijna onmerkbaar beweging, bij 28—30° één omloop in de 3—4 minuten, bij 35° één in elke 85—90 seconden. Ook op het uur van den dag, waarop het eindblaadje zijn dagstand in nachtstand verandert, heeft de temperatuur invloed; bij 22° vindt dit 's avonds om 8 uur, bij 32—35° reeds om 4 uur plaats.

De invloed der temperatuur op zich periodisch bewegende bladen, zooals die bij *Hedysarum* waargenomen wordt, is geen algemeen verschijnsel. A. P. de Candolle ¹⁾ toch vond bij zijne onderzoekingen, dat de bladen van planten, die voor periodische bewegingen vatbaar zijn, zich op dezelfde uren van den dag openen en sluiten, wanneer zij in warme kassen staan, als wanneer zij zich buiten, in een omgeving van lager temperatuur, bevinden.

Over het zich openen en sluiten der bloemen bij rijzing of daling der temperatuur is door Fritsch ²⁾ een lange reeks van waarnemingen in het licht gegeven. Volgens hem is de stand der bloembladen een functie der temperatuur en wordt door een temperatuursverandering slechts in zoo verre een beweging veroorzaakt, als deze noodig is om de bloembladen den met de nieuwe temperatuur overeenkomenden stand te doen aannemen. Als algemeen resultaat leidt hij uit de tabellen af: 1°. dat de temperatuur een grooter invloed op het verschijnsel bezit, dan het licht ³⁾; 2°. dat een bepaald, voor elke soort verschillend minimum van temperatuur voor het opengaan der bloemen noodig is; 3°. dat boven dit minimum de hoek, dien de bloembladen met elkander maken, des te grooter is, naarmate de temperatuur hooger is, doch dat, 4°. boven een zekeren graad verhooging der tem-

¹⁾ A. P. de Candolle, *Physiologie végétale*. 1832. p. 859.

²⁾ Fritsch, < *Abh. d. k. Böhm. Gesellsch. d. Wiss.* VII. 1852. p. 261—425.

³⁾ Fritsch, l. c. p. 307.

§ 10a. Bijzondere imbibitie-verschijnselen van den celwand. 71

peratuur weer vermindering van den hoek, ja, als zij groot genoeg is, sluiting der bloemen ten gevolge heeft.

Rechtstreeksche proeven, door Hofmeister ¹⁾ genomen, toonen overeenkomstig hiermede, dat een kunstmatige temperatuursverhooging opening, een temperatuursverlaging sluiting der bloemen veroorzaakt. Bij temperatuursveranderingen van ongeveer 4° kan men dit b. v. bij het bloemdek van *Tulipa Gesneriana*, of de blaadjes van het omwindsel en de randbloemen van *Taraxacum officinale* en andere Cichoraceën waarnemen.

§ 10 b.

Bijzondere imbibitie-verschijnselen van het protoplasma. ²⁾

De beweging van het protoplasma vindt slechts tusschen bepaalde temperatuurgrenzen plaats, van welke de bovenste slechts weinig afwijkt van de grenstemperatuur, waarbij het leven nog mogelijk is, en dus voor in water liggende cellen eenige graden lager is dan in lucht, terwijl de onderste voor verschillende planten zeer uiteenloopt. Een kortstondige inwerking van, buiten de grenzen gelegene, niet doodelijke temperaturen doet de beweging tijdelijk stilstaan. Binnen deze grenzen neemt de snelheid met de temperatuur toe. Dicht bij de bovenste grens bewerkt een temperatuursverhooging echter dikwijls een verlangzaming der beweging.

De meest volledige waarneming over dit onderwerp is de volgende van Nägeli ³⁾. Een eindeel van *Nitella flexilis* werd

¹⁾ Hofmeister, < *Flora*. 1862. p. 516; *Die Pflanzenzelle* p. 299.

²⁾ Hofmeister, *Die Lehre v. d. Pflanzenzelle*. 1867. p. 47.

³⁾ Nägeli, *Beiträge zur Physiol. Bot.* II. p. 77.

onder het microscoop tot 0° afgekoeld, waarbij geen beweging plaats vond. Als nu de temperatuur langzaam verhoogd werd, doorliep de protoplasma-stroom de ruimte van 0,1 mm. bij 1° in 60 seconden, bij 2° in 47, bij 5° in 24, bij 8° in 11,5, bij 10° in 8, bij 12° in 6, bij 14° in 5,4, bij 16° in 4,6, bij 18° in 4, bij 20° in 3,6, bij 24° in 2,8, bij 26° in 2,4, bij 28° in 2, bij 31° in 1,5, bij 34° in 1, bij 37° in 0,6 seconden. Bij een iets hogere temperatuur hield de beweging geheel op. Zij begon bij verkoeling eerst langzaam, doch bereikte weldra de met de heerschende temperatuur overeenkomende snelheid. Uit de opgegeven cijfers blijkt, dat de versnelling voor 1° des te geringer is, naarmate de temperatuur hooger is.

Ook Dutrochet ¹⁾ vond bij *Nitella flexilis* de beweging in de centrale cellen des te sneller, naarmate de temperatuur hooger was.

Schultze ²⁾ vond, dat in de parenchymcellen van *Vallisneria spiralis* en in de haren van *Urtica* en *Tradescantia virginica* de beweging met stijgende temperatuur tot 38—40° toeneemt, doch bij overschrijding van die graden weer langzamer wordt, totdat zij bij 44° (*Urtica*) ophoudt.

Sachs ³⁾ zag in de haren van *Cucurbita Pepo* de beweging, bij verwarming gedurende één minuut in water van 47°, zeer langzaam worden; bleef het haar 2 minuten in het water van 47°, dan stond de beweging geheel stil, om na een half uur weer te beginnen. Een minuut in water van 48° verwarmd, vertoonden de haren een tijdelijken stilstand van twee uren. In lucht veroorzaakte een verwarming tot 50—51° (25 minuten) in dezelfde haren stilstand, na 4 uur bij 20° werd er echter weer beweging zichtbaar. In water doodt 50° deze haren bijna oogblikkelijk. In haren van *Tradescantia* en van *Brassica Napus*

¹⁾ Dutrochet, *Observ. sur le Chara flexilis*, < *Compt. rendus*. 1837. V. p. 777.

²⁾ Max Schultze, *Das Protoplasma der Rhizopoden und d. Pflanzenzellen*. 1863. p. 46.

³⁾ Sachs, < *Flora*. 1864. p. 65 sqq.

§ 10b. Bijzondere imbibitie-verschijnselen v. h. protoplasma. 73

bewerkt 49° in lucht gedurende 3 minuten een tijdelijken stilstand.

Schnetzler ¹⁾ vond voor de protoplasma-beweging in de bladen van *Anacharis Alsinastrum* het minimum bij 15°, het maximum bij 40°, terwijl de grootste snelheid bij 35° waargenomen werd.

Het is niet onwaarschijnlijk, dat de langzamere beweging bij nabij de grens gelegen temperaturen, niet een functie van deze, maar van de snelheid der temperatuursveranderingen is ²⁾.

De laagste grens, waarbij de strooming nog plaats vindt, ligt voor haren van *Cucurbita Pepo* bij 17°, van *Tradescantia virginica* bij 13°, van *Urtica pilulifera* bij 15°, in de parenchymcellen van *Vallisneria spiralis* bij 16° ³⁾, voor *Nitella flexilis* bij 0,5 ⁴⁾ en voor wortelharen van *Hydrocharis Morsus Ranae* bij 4° ⁵⁾. Een langzamer verkoeling zou in al deze gevallen de grens iets lager hebben doen vinden. Nadat onder deze grens stilstand ontstaan is, herstelt de beweging bij gunstige temperaturen zich weder.

Zwermsporen van *Chlamidococcus pluvialis* en *Stephanosphaera pluvialis* bewogen zich bij 5° nog, doch daaronder niet meer ⁶⁾.

§ 11.

Osmose.

Het verschijnsel, dat twee vloeistoffen van verschillende kwalitatieve of kwantitatieve samenstelling, door een door haar bevochtigde membraan heen, zich met elkander mengen, noemt

¹⁾ Schnetzler, < Biblioth. univ. de Genève. XXXVI. p. 9.

²⁾ Sachs, Handbuch. p. 71.

³⁾ Hofmeister, Die Pflanzenzelle. p. 47.

⁴⁾ Nägeli, l. c. p. 77.

⁵⁾ Eigen waarneming.

⁶⁾ Hofmeister, l. c. p. 47.

men osmose. Het eindresultaat der osmose is altijd de gelijke samenstelling en concentratie der vloeistoffen aan weerszijden van de membraan. Zoowel het oplossingsmiddel als elk der opgeloste stoffen beweegt zich zoolang door de membraan, als voor haar de gelijkheid van concentratie nog niet bereikt is. De snelheid van deze beweging neemt voor elke stof met de temperatuur toe. Of zij voor alle en onder alle omstandigheden volgens dezelfde wet toeneemt, is nog onbekend. De beweging van alle vochten in de planten geschiedt, met uitzondering van de in § 12 te behandelen sapstijging tengevolge van filtratie en enkele andere betrekkelijk zeldzaam voorkomende verschijnselen, door imbibitie en osmose. De eerste beweegt de vochten uitsluitend in de celwanden, de laatste bewerkt de vereffening van concentratie-verschillen der celinhouden. Daar nu de snelheid, met welke door beide het verbroken evenwicht hersteld wordt, met de temperatuur toeneemt ¹⁾, stijgt met deze algemeen de beweging der stoffen in de planten. De snelheid van alle chemische en verscheidene physische processen in de planten hangt van de snelheid af, waarmede de verbruikte stoffen voortdurend aangevoerd, en de gevormde stoffen, tenzij deze onoplosbaar zijn of het protoplasma niet kunnen doordringen, voortdurend weggevoerd worden. Dus oefent de temperatuur indirect een gunstigen invloed op deze processen uit, onafhankelijk daarvan, of zij ook rechtstreeks van haar afhangen.

Zoo b. v. bij de verdamping. Deze is sneller als de temperatuur van de verdampende oppervlakte, b. v. van die der bladcellen in de intercellulaire ruimten hooger is, doch ook wanneer het watergehalte dezer cellen grooter is. Het watergehalte daalt door de verdamping; dit heeft osmose- en imbibitie-stroomen uit de niet verdampende cellen tengevolge, waardoor het water-

¹⁾ Zie over de imbibitie § 10, pag 66.

verlies der verdampende cellen hersteld wordt. Daar nu deze stroomen bij hooger temperatuur sneller zijn, wordt het waterverlies dan vollediger hersteld. De verdamping is dus om een dubbele reden van de temperatuur afhankelijk.

Het door de verdamping in de bladen ontstane en door imbibitie en osmose naar de takken, den stengel en den wortel voortgeplante waterverlies wordt bij hooger temperatuur der wortels in deze sneller hersteld, daar zij dan sneller water opnemen. De stengel neemt dus uit den waterrijkeren wortel meer water op, en voert dit sneller door de takken naar de bladen, want hoe grooter het verschil in betrekkelijk watergehalte tusschen de bladcellen en de wortelcellen, hoe sneller de stroom, die het verbroken evenwicht tracht te herstellen. Een verhooging van de temperatuur der wortels versnelt dus de verdamping in de bladen, daar zij de imbibitie- en osmose-stroomen sneller maakt. Tegelijk wordt de kracht, waarmede de wortel het water omhoog perst, grooter. Omdat deze kracht waarschijnlijk in grooter mate van de temperatuur afhangt ¹⁾ dan de snelheid van osmose en imbibitie, zullen de proeven en waarnemingen over dit onderwerp in de volgende paragraaf besproken worden

Rechtstreeksche onderzoekingen omtrent de afhankelijkheid der osmotische verschijnselen in de planten van de temperatuur ontbreken vooralsnog.

§ 12.

Filtratie.

Filtratie is de beweging van een vloeistof door de poriën van een membraan heen, tengevolge van drukking. Omtrent

¹⁾ Schumacher, Die Diffusion. 1861. p. 222 sqq.

den invloed der warmte op de filtratie zijn de beide volgende wetten bekend ¹⁾):

Hoe hoger de temperatuur, des te grooter is de filtratiesnelheid.

Met stijgende temperatuur daalt de concentratie van het filtraat van colloïdstoffen.

Het opstijgen van sappen uit de wortels van planten, wier geheele bebladerde stengel afgesneden is, is een gevolg der filtratie ²⁾). De cellen, welke deze filtratie bewerken, moeten aan twee tegen elkander overgestelde zijden een verschillende permeabiliteit van den celwand, en in haar inhoud een opgeloste of opgezwollen stof met zeer groot osmotisch aequivalent bezitten. Deze laatste neemt water uit den bodem op, vergroot daardoor haar volumen, en oefent dus een drukking op den celwand uit. Zoodra deze drukking een bepaalde grootte bereikt, wordt er vocht door het meest permeabele gedeelte van den celwand geperst. Daar dit gedeelte naar de vaten is toegekeerd, komt het vocht in deze, en wordt daarin bij steeds vernieuwden toevoer omhoog gedreven, hetzij dat het zich in het lumen der vaten kan bewegen, hetzij dat het zich, waar de vaten lucht bevatten, in de moleculair-interstitiën van den wand beweegt. De hoogte, waartoe het vocht opgevoerd kan worden, en de snelheid waarmede het door het meest permeabele gedeelte der celwanden stroomt, hangen af van de permeabiliteit van dit gedeelte, en van de drukking van den celinhoud. Beide grootheden, de permeabiliteit van den celwand en de spanning van den inhoud, hangen van de temperatuur af.

De permeabiliteit van den celwand wordt in ons geval gemeten door de snelheid van filtratie bij gelijke drukking, en neemt dus met de temperatuur toe. Evenzoo neemt de

¹⁾ W. Schmidt, < Pogg. Ann. 114. 1861. p. 359, 373.

²⁾ Hofmeister, < Flora. 1858. p. 1; 1862. p. 97.

spanning van den inhoud met de temperatuur toe. Hieruit volgt, dat zoowel de snelheid van het tranen, als de hoogte, waartoe een wortelstomp het vocht opvoeren kan, met de temperatuur toeneemt, en dat de filtratie slechts bij die temperaturen zal plaats hebben, bij welke de spanning van den inhoud den weerstand van den celwand overtreft.

Geheel zuiver kan het verschijnsel der sapstijging tengevolge van filtratie bij de meeste planten alleen dan worden waargenomen, wanneer alle bebladerde takken weggenomen zijn, daar dan de sapstijging, die door verdamping in de bladen veroorzaakt wordt, buiten gesloten is. Volgens deze methode is door Harting en Krecke ¹⁾ onderzocht, hoe het tranen van den Wijnstok afhangt van de temperatuur. Dezen namen hunne proeven met in potten gekweekte Wijnstokken, die eenige decimeters boven den grond doorgesneden en van kwikmanometers voorzien waren. Een thermometer was in de lucht opgehangen, een andere met zijn bol in den grond in de nabijheid der wortels geplaatst. Zij bevonden, dat het tranen eerst dan begint, wanneer de temperatuur der wortels tot 8° gestegen is, dat het echter, eenmaal aangevangen, bij 7° voortduurt, doch reeds bij 6° ophoudt ²⁾, en dat boven deze grens de drukking van het vocht afhankelijk is van de temperatuur van den grond. Gedurende de eerste dagen hunner waarneming steeg de temperatuur, daarna daalde zij, om later weer te stijgen, totdat de knoppen der aan de stammen gebleven zijtakken zich begonnen te openen en het tranen dus, tengevolge der door verdamping veroorzaakte zuiging, geëindigd was. Denselven gang hield het kwik in de manometers. Ook vonden zij een dagelijksch stijgen en dalen, waarbij het maximum bijna gelijk-

¹⁾ Harting en Krecke, < Aanteek. d. Sect. Verg. v. h. Prov. Utr. Genootsch. 25 Juli 1850; Vervolg 1852.

²⁾ Een langzamer verwarming en verkoeling zou waarschijnlijk voor de temperatuur-grens bij het stijgen en die bij het dalen dezelfde waarde hebben doen vinden.

tijdig met de hoogste temperatuur van de aarde in de potten voorviel. Om de afhankelijkheid der drukking van den warmtegraad rechtstreeks te bewijzen, werd de pot van een der Wijnstokken op een stoof met vuur geplaatst, dat des daags onderhouden, en des nachts verwijderd werd. Dit geschiedde gedurende den tijd, dat de drukking in de overige Wijnstokken verminderde; bij dezen steeg het kwik echter gedurende drie dagen van 837 tot 1102 mm., terwijl des nachts, als de pot niet verwarmd werd, telkens weer een daling plaats vond.

Het is dus duidelijk, dat de wateropstuwende kracht der wortels, als zij eenmaal aangevangen is, bij stijgende temperatuur toeneemt ¹⁾).

Hetzelfde nam Hofmeister ²⁾ waar, die gedurende den zomer en met kruidachtige planten experimenteerde; hij bevond, dat, als de gemiddelde dagtemperatuur nog onder 15° ligt, de invloed der warmte zich in de drukking en de hoeveelheid van het uitvloeiende vocht duidelijk doet opmerken, dat echter deze invloed bij hooger gemiddelde temperatuur geheel door dien der vochtigheid overschaduw wordt.

Het tranen van bebladerde planten, vooral duidelijk bij de Aroïdeëen waargenomen, berust op dezelfde oorzaken als het bloeden van wortelstompen, en kan, als de verdamping belet wordt, door verwarming der wortels te voorschijn geroepen worden bij vele inlandsche planten, die dit verschijnsel onder gewone omstandigheden niet vertoonen ³⁾).

Hoe de concentratie van het uitgevloeide vocht afhangt van de temperatuur, is nog niet physiologisch onderzocht.

De sapstijging in bebladerde planten kan door twee oorzaken bewerkt worden, nl. de opstuwung van het vocht door de wor-

¹⁾ Hetzelfde vond ook Dassen, < Nieuw Archief voor binnen- en buitenl. Geneeskunde. I. 2^e stuk. 1845, (geëxc. in Wiegmann's Archiv. XIII. 2. p. 312.)

²⁾ Hofmeister, < Flora. 1858. p. 1; 1862. p. 97.

³⁾ Sachs, Handbuch. p. 237.

tels, en de opzuiging tengevolge der verdamping. Daar nu ook de laatste, als een verschijnsel van osmose en imbibitie (Zie pag. 66 en pag. 74), met de temperatuur in snelheid toeneemt, toonen de proeven over de versnelling der verdamping bij verwarming der wortels de veranderingen der wortelkracht niet geheel zuiver aan. Het is echter bijna zeker, dat van de waargenomen versnelling een belangrijk deel aan de wortelkracht en slechts een gering deel aan de osmose en de imbibitie moet worden toegeschreven. Daarom mogen de proeven over dit onderwerp hier haar plaats vinden.

Dat beneden een zekeren warmtegraad het opstijgende vocht niet voldoende is, om het door verdamping veroorzaakte waterverlies der bladen te herstellen, en dat dus de bladen verwelken, wanneer de wortels geruimen tijd tot lagere temperaturen zijn afgekoeld, nam Sachs ¹⁾ bij Meloen- en Tabakplanten waar. Van deze stonden eenige exemplaren in potten in den winter van 1859—1860 in een vertrek, waar de temperatuur 's nachts tot 4—5° daalde; 's morgens hingen de bladen van beide soorten fletsch en werden door begieten met koud water niet weder frisch. Overdekte Sachs eenige potten des nachts met een glazen klok, zoodat de verdamping verhinderd was, dan bleven de zoo behandelde planten frisch, terwijl de andere verwelkten; het waterverlies der verdamping was dus de oorzaak van het verwelken ²⁾. Toen van eenige zoo verwelkte planten de aarde zonder begieten snel tot 23—25° verwarmd werd, terwijl de bladen in de lucht van 4—5° bleven, en door een houten deksel voor de opstijgende warme lucht beveiligd werden, herstelden zij zich binnen een uur geheel en namen hare gewone frischheid weer aan. Dat de temperatuur der bladen geen invloed op het verschijnsel heeft leert de volgende proef: Een Meloenplant werd tot verzadigens toe be-

¹⁾ Sachs, < Landwirthsch. Versuchsstat. II. 1862. p. 1.

²⁾ Sachs, < Bot. Ztg. 1860. p. 125.

goten en met haar pot in sneeuw geplaatst, terwijl de bladen in warme lucht van 12—19° bleven. Na eenigen tijd verwelkten de bladen, terwijl de temperatuur der aarde tot 3—4° daalde; zij herstelden zich eerst, toen de wortels weder verwarmd werden.

In al deze proeven is het verwelken dus het gevolg daarvan, dat de wortels bij lage temperaturen niet zoo veel water opnemen, als de bladen verdampen. Rechtstreeksche bepalingen van de hoeveelheid water, die de bladen in drooge lucht van 4—5° verdampen, bewezen, dat deze hoeveelheid voldoende is om dit verwelken te veroorzaken. Door verdere proeven bewees Sachs ¹⁾, dat de temperatuur, waarbij de hoeveelheid van het opgenomene water beneden die van het verdampte water daalt, en dus de bladen slap hangen, voor Meloen- en Tabakplanten juist + 5° is. Ook voor Booneplanten vond Sachs de grens bij 5° ²⁾. Bij Winterrapen en Koolrapen bleven de bladen ook dan frisch, wanneer de wortels tot 0° afgekoeld werden en zij zelven ongehinderd water verdampten. Dit is algemeen het geval bij de aan ons klimaat eigene planten, daar men deze 's winters als de temperatuur buiten tot 0° daalt, nooit ziet verwelken.

Blijven Meloen- en Tabakplanten gedurende eenige dagen in een omgeving van 5° en lager, dan kan dit verwelken ten gevolge hebben dat zij sterven. Dit verklaart waarschijnlijk de waarneming van Bierkander ³⁾, die zag, dat Meloenen en andere planten in den herfst stierven als de lucht-temperatuur nog 2° boven het vriespunt was.

De hoeveelheid vocht, die gedurende een bepaalden tijd door de bladen verdampt wordt, neemt toe, als de temperatuur der wortels stijgt.

Van Beek en Bergsma ⁴⁾ leidden dit uit deze proef af: Plan-

¹⁾ Sachs, < Landw. Versuchsst. II. 1862. p. 195.

²⁾ Sachs, < Ber. d. k. Sächs. Ges. d. Wiss. 1860. p. 47.

³⁾ Zie pag. 24 en Göppert, Wärme-Entwicklung. p. 124.

⁴⁾ Van Beek et Bergsma, < Ann. d. sc. nat. 1839. II. p. 90.

ten, die met hare wortels in water (*Hyacinthus orientalis*), of in aarde (*Entelea arborescens*), gekweekt waren, vertoonden tengevolge der verdamping de temperatuur der bladen lager dan die der omgevende lucht. Als nu de wortels verwarmd werden, daalde de temperatuur van de bladen en van de oppervlakte van den stengel, hetgeen een sterkere verdamping aantoonde. De temperatuursveranderingen in de bladen en den stengel werden met een thermo-electrische naald onderzocht.

Het blijkt verder uit de volgende proef: Uit een aantal in potten staande Tabaksplanten zocht Sachs ¹⁾ er twee uit, die in haar niterlijke eigenschappen zooveel mogelijk met elkander overeenkwamen. Het waren krachtige planten, elk met zes bladen. Nadat de aarde in hare potten met water verzadigd was, werden deze in glazen potten geplaatst, op welke een uit twee helften bestaand glazen deksel luchtdicht bevestigd werd. Dit deksel liet slechts den stengel van de plant en een thermometer door; de opening voor deze beide was zoo goed mogelijk gesloten. Er kon dus uit de potten geen water ontwijken dan dat, wat door de bladen verdampt werd, en het gewichtsverlies der potten gedurende zekeren tijd kon aan het gewicht van het verdampte water gelijk gesteld worden. Nu werden beide planten dagelijks gewogen. Bij gelijke temperatuur der aarde stond de verdamping van de eene tot die van de andere als 13,3 tot 11,1. De plant (II), die het minste verdampte, werd nu in een verwarmingstoestel gebracht, van welken de binnenste bak met zand gevuld werd. De bladen werden voor de opstijgende warme lucht beschut; de temperatuur der wortels bleef steeds verscheidene graden boven die van de omgeving. Alle dagen werd de plant er uit genomen, gewogen, en er weer in geplaatst. Te gelijker tijd werd ook de andere plant gewogen. De aldus gevonden gewichtsverliezen zijn in de volgende tabel te zamen gesteld :

¹⁾ Sachs, < Landw. Vers. I. 1859. p. 203.

D A T U M.	I.		II.		Lucht-temperatuur.
	Verdamping.	Temp. der aarde.	Verdamping.	Temp. der aarde.	
Augustus 1858.					
28, 8 uur des morgens.	11,2 gr.	22,5°	11,4 gr.	30°	24,5—23,8°
29, "	10,0	23,8	15,5	31—41	23,8
30, "	6,5	21,9	9,0	30	23,1
30, 6 uur des morgens.	8,6	23,8	11,5	42,5	23,8
September.					
1, 8 uur des morgens.	13,4	18,8	15,7	42,5—26	20
Buiten de toestellen:					
4, 8 uur des morgens.	53,8		46,0		18,8
Daarbinnen:					
5, 8 u. 's m. tot 6 u. 's av.	5,6	16,2	6,8	34,1	17,5
6, 8 uur des morgens.	4,6	16,2	5,6	37,5—25,2	17,5

Deze reeks toont zeer standvastig eene aanzienlijke versnelling van de verdamping door verwarming der wortels, welke versnelling iets hooger is dan de opgegeven getallen aanwijzen, daar de verwarmde plant bij gelijke temperatuur minder verdampde dan de andere. De temperatuur is echter niet standvastig genoeg om er een bepaalde verhouding uit af te kunnen leiden.

B. Chemische verschijnselen.

§ 13.

Stofwisseling.

Chemische verschijnselen kunnen slechts binnen bepaalde, voor elk verschijnsel verschillende temperatuurgrenzen plaats vinden, en nemen binnen deze grenzen in den regel met stijgende temperatuur in snelheid toe. De chemische werkingen in de planten zijn bijna altijd zoodanige, waarin de tijd een belangrijke factor is; haar versnelling door verhooging der temperatuur moet dus duidelijk waarneembaar zijn; een conclusie, die in de onderzochte gevallen door de waarneming steeds bevestigd wordt.

De afzonderlijke chemische verschijnselen in de planten zijn nog zoo weinig bekend, dat er van de studie van hunne afhankelijkheid van de temperatuur langs zuiver scheikundigen weg, nog geen spraak kan zijn. Als leidraad bij de behandeling der bekende physiologisch-chemische verschijnselen, zal ik dus slechts de beide zoo even genoemde algemeene regels kunnen gebruiken.

De wet, dat de laagste temperatuur, waarbij een chemische verandering nog plaats kan vinden, dat is, waarbij een bepaalde stof gevormd kan worden, voor verschillende stoffen verschillend is, vindt haar uitdrukking in het plantenrijk voornamelijk daarin, dat vele planten, die door bijzondere stoffen gekenmerkt zijn, slechts in warme klimaten leven. Zoo zijn er b. v. geen planten uit de gematigde streken bekend, die kaneelzuur of het aldehyd of alcohol hiervan voortbrengen ¹⁾. Vele planten-

¹⁾ Rochleder, Chemie und Physiologie d. Pfl. 1858. p. 145.

bases, als strychnine, brucine, cinchonine, chinine, caffèïne, theobromine enz., zijn in geen plantensoort der koudere streken aangetroffen. Ook in planten van dezelfde soort vindt men een dergelijke afhankelijkheid van de temperatuur. Zoo is het sap der druiven in het zuiden rijker aan suiker en armer aan wijnsteenzuur dan in het noorden ¹⁾. *Richardsonia scabra* bevat in Zuid-Duitschland veel citroenzuur, doch weinig emetine, waaraan zij in Brazilië, haar vaderland, rijk is.

Bij andere stoffen ligt de laagste voor haar vorming noodige temperatuur lager, zoodat zij, ofschoon vele geen algemeene bestanddeelen van het plantenrijk zijn, toch onder alle klimaten in planten gevonden worden.

Het rood worden van vele bladen in den herfst is een gevolg der lagere temperatuur, zooals dit door von Mohl ²⁾ is aangetoond, in zooverre als door deze het vegetatie-proces veranderd wordt.

Dat de chemische processen in de planten met de temperatuur in intensiteit toenemen, blijkt daaruit, dat met haar de eigene warmte grooter wordt. Zoo vond Dutrochet ³⁾, dat de eigene warmte bij bloemknoppen bij 15° begon merkbaar te worden, en bij 20° zeer duidelijk was. De warmte-ontwikkeling in de bloeikolf der Aroideeën is, volgens de waarnemingen door Vrolik en De Vriese ⁴⁾ aan *Colocasia odora* volbracht, afhankelijk van de temperatuur der omgeving. Uit hunne tabellen blijkt namelijk, dat het maximum der eigene warmte, dat is dus van het verschil der temperatuur van de bloeikolf met de temperatuur der omgeving, steeds samenviel met het dagelijksch maximum der temperatuur van de kas, waarin de onderzochte plant zich bevond, en dat in het algemeen de eigene

¹⁾ Rochleder l. c.; Schübeler, *Culturpflanzen Norwegens*. 1862. p. 33.

²⁾ Von Mohl, *Vermischte Schriften*, p. 388.

³⁾ Dutrochet, < *Ann. d. scienc. nat.* 1839. II. p. 79.

⁴⁾ Vrolik et De Vriese, < *Ann. d. scienc. nat.* 1836. V. p. 134.

warmte des te grooter was, naarmate de omgevende lucht warmer was.

Één proces van stofwisseling, het ontstaan van de groene kleurstof in de chlorophyllkorrels, is ten opzichte van zijne afhankelijkheid van de temperatuur nader bestudeerd geworden ¹⁾.

Wanneer in het voorjaar of in den zomer de temperatuur laag blijft, ziet men dikwijls, dat zaadplanten van in warmer streken te huis behoorende soorten (b. v. Maïs, Meloen, Pietheinsboon) zich met gele bladen ontwikkelen, of dat van oudere planten de nieuw gevormde bladen geel blijven. Wordt dan later de temperatuur gunstiger, dan worden deze bladen groen. Uit deze waarneming volgt: 1°. dat voor de vorming van het chlorophyll een laagste temperatuurgrens bestaat, beneden welke zij niet plaats kan vinden; 2°. dat deze laagste grens hooger ligt dan die voor den groei der bladen.

Deze waarnemingen gaven aan Sachs aanleiding tot het instellen van een reeks van proeven over dit onderwerp, die door hem l. c. uitvoerig beschreven zijn en waarvan de uitkomsten in de volgende tabel vervat zijn. Hij gebruikte kiemplanten, die zich in 't donker ontwikkeld hadden en dus geheel geëtioloerd waren. Uit de donkere ruimte genomen, werden zij bij verschillende temperaturen aan licht van zooveel mogelijk gelijke intensiteit blootgesteld en werd de tijd opgeteekend, die verliep vóór dat zich de eerste sporen van groen vertoonden, en die, welke tot bereiking der gewone donkergroene kleur noodig was:

¹⁾ Sachs, Ueber den Einfluss d. Temp. auf das Ergrünen der Blätter, < Flora 1864, p. 497.

S O O R T E N.	Tempe- ratuur.	Eerste sporen van groen:	Geheel groen:
<i>Phaseolus multiflorus.</i>	33—24°	Na 1½ uur.	In 7 uur.
" "	17—20	" 2 uur.	
" "	8—10	" 7 uur nog niet.	
" "	3—6	" 15 dagen nog niet.	
Zea Maïs.	34—25	" 1½ uur.	" 7 uur.
" "	16—17	" 7 uur.	
" "	13—14	" 7 uur nog niet.	
" "	3—6	" 15 dagen nog niet.	
<i>Brassica Napus.</i>	7—14		" 24 uur.
" "	3—5	" 3 dagen.	" 7 dagen.
<i>Sinapis alba.</i>	3—5	" 2 dagen.	
<i>Allium Cepa</i> (bij zouneschijn).	20—30		" 1 dag.
" " "	15	" 1 dag.	
" " "	0—9,4	" 8 uur nog niet.	
<i>A. Cepa</i> (in diffuus licht).	33—36		" 4 uur.
" " "	13—14	" 4 uur nog niet.	
<i>Carthamus tinctorius.</i>	14—15		" 2 dagen.
" "	6—10	" 14 dagen nog niet.	
<i>Cucurbita Pepo.</i>	20—33	" 2½ uur.	" 6½ uur.
" "	14—15		" 2 dagen.
" "	6—10	" 14 dagen nog niet.	

Uit deze proeven volgt, dat de temperatuur-minima voor de vorming van het chlorophyll voor verschillende planten verschillend zijn, en dat bij alle boven het minimum deze vorming des te sneller geschiedt, naarmate de temperatuur hooger is. Voor Gymnospermen vond Sachs evenzeer het bestaan van

een minimum, evenals dit reeds vroeger door Böhm ¹⁾ voor de cotyledonen van *Pinus Pinea* aangegeven was. Sachs liet *Pinus Pinea* en *P. canadensis* in geheel donkere ruimten, eenmaal bij 12—15°, en andermaal bij 8° ontkiemen. Bij 12—15° werden de cotyledonen van beide soorten groen; bij 7—8° bleef *P. Pinea* bleekgroen; in enkele exemplaren geheel geel, terwijl van *P. canadensis* alle exemplaren geel bleven.

Het opnemen van anorganische stoffen uit den bodem geschiedt langs osmotischen weg en is dus een physisch verschijnsel; de hoeveelheid, die van de afzonderlijke stoffen opgenomen wordt, hangt echter alleen van haar verbruik af, dat is van haar ontleding of van haar verbinding met niet opgeloste organische stoffen. Deze hoeveelheid hangt dus rechtstreeks van chemische oorzaken af.

Buiten de algemeene opgaven, dat met hooger temperatuur de planten uit den grond meer voedsel opnemen dan bij lager ²⁾, is mij slechts één onderzoeking over dit onderwerp bekend geworden. Het is die van Peters: Ueber den Einfluss, welchen eine höhere oder niedere Bodemtemperatur auf der Verwitterungs- und Verwesungs-process in der Ackererde ausübt ³⁾. Zij bevat hoofdzakelijk een asch-analyse van eenige cultuurplanten, die, onder overigens volkomen gelijke omstandigheden, in het eene geval bij de gewone luchttemperatuur, in het andere in omstreeks 8—10° warmer aarde gegroeid waren. De rechtstreeksche invloed der temperatuur op de aarde, die een sneller verrotting der organische en dus een vollediger oplossing der anorganische bestanddeelen ten gevolge heeft ⁴⁾, en zoodoende

¹⁾ Böhm, < Sitzber. d. Kais. Acad. d. Wis. 1863. Bd. 47, p. 349, sqq., (geciteerd door Sachs, l. c. p. 499.)

²⁾ O. a. Russell, < Journ. of the Royal agric. Society of Engl. XX. 2. p. 481, (geëxcerpt. in Peters Jahresbericht III. 1860—1861, p. 157.)

³⁾ Landw. Versuchsst. 1862. III. p. 117.

⁴⁾ De Candolle, Physiologie végétale, 1832, p. 1100.

het herstel van het gestoorde evenwicht in de plant versnelt, kan hierbij voorloopig nog niet afgezonderd worden.

In het voorjaar van 1861 mengde Peters eene groote hoeveelheid zandigen kleigrond met wat zuiver zand, en vulde met een deel van dit mengsel twee even groote bakken. Het overgeblevene vermengde hij verder met 10% vochtigen humus, en vulde ook hiermede twee aan de beide vorige gelijke bakken. Deze vier bakken werden op een balcon voor een der vensters van het laboratorium te Tharandt, waar Peters zich destijds bevond, geplaatst, en door een bijzondere inrichting werd de aarde in een der humus-rijke en in een der humus-arme bakken verwarmd en haar temperatuur, zoolang de proef duurde, 8—10° hooger gehouden dan de temperatuur in de beide andere bakken, waar zij alleen van die der lucht afhankelijk was. In ieder der bakken werd een gelijk aantal jonge kiemplanten van Maïs geplaatst, en een bepaalde hoeveelheid graszaden gezaaid. Alle groeiden goed, en werden, zoo dikwijls dit noodig was, met gestedilleerd water begoten. De Maïs ontwikkelde zich in de verwarmde bakken veel beter dan in de andere, vooral in de humus-rijke. De grasplanten in den humus-armen verwarmden bak toonden een eenigzins vergeild uiterlijk, en ontwikkelden zich in dezen dus minder goed dan in de drie overige bakken. Na drie maanden werd de proef gesloten, ofschoon de planten haar leven nog niet voleindigd hadden. Zij werden met de wortels uit de aarde genomen, en haar gewicht en chemische samenstelling, voornamelijk die der asch, bepaald. De Maïs en grasplanten werden hierbij niet van elkander afgezonderd.

Het gewicht der geoogste planten voor wortels, stengels, bladen enz. te zamen bedroeg in grammen ¹⁾:

¹⁾ De gevonden cijfers zijn hier in eenigzins andere tabellen samengesteld dan bij Peters l. c., om het overzicht gemakkelijker te maken.

	I. HUMUS-ARME AARDE.			II. HUMUS-RIJKE AARDE.		
	Niet ver-warmd.	Ver-warmd.	Diff.	Niet ver-warmd.	Ver-warmd.	Diff.
In groenen toestand.	1708	2236	+528	3230	4370	+940
Na droogen bij 110°.	275	318	+43	511	607	+96
Asch (vrij van zand en koolzuur).	35,73	31,22	-4,52	34,01	50,64	+16,63
Stikstof.	2,81	3,82	+1,01	6,14	7,96	+1,82
Koolstof ¹⁾ .	110	130	+20	214	260	+46

In procenten van de groene stof:

Water.	83,90	85,78	+1,88	84,18	86,10	+1,92
Drooge stof.	16,10	14,22	-1,88	15,82	13,90	-1,92
Asch (vrij van zand en koolzuur).	2,092	1,397	-0,695	1,053	1,159	+0,106
Zand en koolzuur.	0,711	0,441	-0,270	0,473	0,426	-0,047

De procentische samenstelling van de asch was:

	I. HUMUS-ARME AARDE.			II. HUMUS-RIJKE AARDE.		
	Niet ver-warmd.	Ver-warmd.	Diff.	Niet ver-warmd.	Ver-warmd.	Diff.
Kiezelsuur.	21,352	15,789	-5,563	13,628	17,355	+3,727
Kalk.	14,342	17,875	+3,533	12,773	9,938	-2,835
Magnesia.	0,899	0,717	-0,182	1,543	1,343	-0,200
Kali.	36,103	39,544	+3,441	37,950	39,929	+1,979
Natron.	4,812	2,336	-2,476	10,975 [?]	4,901	-6,074 [?]
Zwavelzuur.	5,551	6,566	+1,015	5,293	7,607	+2,314
Phosphorzuur.	8,217	9,508	+1,291	9,332	12,123	+2,791
IJzeroxyd en Mangaan-oxydule.	2,470	2,036	-0,434	4,226	2,902	-1,324
Chloor.	5,951	5,304	-0,647	4,262	3,991	-0,271
Som.	99,697	99,675	—	99,982	100,089	—

¹⁾ Berekend in de veronderstelling, dat de organische stof bij alle dezelfde samenstelling had. (l. c. p. 133.)

Hooger absoluut gewicht der drooge stof en hooger percentisch gehalte aan water zijn dus volgens de eerste tabel de gevolgen van de hoogere temperatuur. Het gehalte aan organische stoffen is door de hoogere temperatuur in de humus-arme aarde percentisch afgenomen, terwijl het in de humus-rijke verwarmde aarde ongeveer gelijk is aan dat der niet verwarmde planten. Dit moet waarschijnlijk meer aan de werking der temperatuur op de aarde dan aan die op de planten worden toegeschreven.

Zooals bekend is, kan de asch van planten van dezelfde soort, die onder verschillende omstandigheden gegroeid zijn, zeer verschillen, ofschoon dit verschil op haar habitus en haar organische stof geen invloed uitoefent, zoodat men uit de samenstelling der asch nog geen bepaalde besluiten trekken kan.

Het stikstof- en koolstof-gehalte is in de verwarmde aarde grooter dan in de niet verwarmde.

Met dit laatste resultaat komt, voor de stikstof ten minste, de waarneming van Stöckhardt ¹⁾ overeen, die in het koude en vochtige jaar 1851 bevond, dat de Haver, bij de minste vochtigheid en de grootste warmte van den grond, het rijkst aan stikstof geworden was. Evenzeer als in de proef van Peters de kunstmatige warmte het opnemen van stikstof en het vormen van eiwitachtige stoffen bevorderde, geschiedde dit in dat jaar door het natuurlijke verwarmingsvermogen van den bodem.

In het algemeen heeft de verhooging der temperatuur gunstig op de ontwikkeling der Maïs- en grasplanten gewerkt, en wel iets gunstiger in de humus-rijke dan in de humus-arme bakken.

¹⁾ Stöckhardt, geciteerd door Peters l. c. p. 124.

§ 14.

Assimilatie.

Assimilatie is de vorming van organische stoffen uit water en koolzuur, onder medewerking van andere voedingstoffen ¹⁾. Zij vindt bij planten uitsluitend in chlorophyllhoudende cellen onder de inwerking van het licht plaats. Haar uitwendig kenmerk is de ontwikkeling van zuurstofgas, die vooral dan duidelijk waar te nemen is, als het onderzochte plantendeel zich onder water bevindt.

Omtrent de afhankelijkheid der zuurstofontwikkeling door groene deelen van de temperatuur is een onderzoeking door Cloëz en Gratiolet ²⁾ bekend gemaakt. Glazen flesschen met koolzuurhoudend water, waarin zich bebladerde takken van *Potamogeton perfoliatus*, *P. crispus*, *Ceratophyllum submersum*, *Myriophyllum spicatum* en *Najas maxima* bevonden, werden in grooter glazen vaten gebracht, waarin door toevoeging van ijs of van warm water de temperatuur geregeld werd. Zoo lieten zij de temperatuur langzaam stijgen van 4° af, bij welken graad geen zuurstofontwikkeling werd waargenomen. Deze werd eerst bij 15° bemerkbaar en nam toen in snelheid toe tot 30°. Toen de temperatuur weer daalde verminderde de snelheid der gasontwikkeling, was bij 15° nog levendig, en hield eerst bij 10° geheel op.

Evenals bij de in de vorige § beschreven verschijnselen, heeft men dus ook hier een laagste temperatuurgrens, en daarboven een toeneming in snelheid met stijgende temperatuur. Het verschil tusschen de bij verwarmen en verkoelen gevonden minima is nog onverklaard.

¹⁾ Sachs, Lehrbuch d. Botanik. 1870, p. 591.

²⁾ Cloëz et Gratiolet, Recherches expérimentales sur la végétation de plantes submergées, < Ann. de Chim. et de Phys. 3^e serie. XXXII. 1851. p. 41.

Liebig ¹⁾ nam waar, dat ondergedoken waterplanten in den winter ook onder het ijs in het zonlicht zuurstof ontwikkelden. Aan Cloëz en Gratiolet gelukte het echter nooit dit feit te constateeren. *Vallisneria spiralis* zondert onder 6° geen zuurstof af ²⁾.

Dat ook landplanten bij hooger temperatuur sterker assimileeren dan bij lager, leeren o. a. de waarnemingen van Russel ³⁾.

C. Gemengde verschijnselen.

§ 15.

Ontkieming.

De groei eener cel bestaat uit een samenwerking van imbibitie, osmose en stofwisseling; de groei van een orgaan uit den groei der afzonderlijke cellen en de celvermeerdering; de groei van een geheele plant uit den groei der organen en den aanleg van nieuwe organen. De groei is dus een veel te samengesteld verschijnsel dan dat hij onder een der beide vorige afdeelingen van dit hoofdstuk had kunnen behandeld worden; veelmeer zijn de physische en chemische werkingen hier zóó innig gemengd, dat het tot nog toe niet gelukt is, elk afzonderlijk in hare afhankelijkheid van uiterlijke omstandigheden te bestudeeren. In deze en de volgende § zal ik dus slechts de afhankelijkheid van den groei van de temperatuur behandelen, zooals die empirisch bekend geworden is, zonder eenige physische of chemische wet tot verklaring te kunnen gebruiken.

¹⁾ Liebig, *Traité de Chimie org.*, introd. pag. 81, (geciteerd door C. en G. l. c.)

²⁾ Sachs, *Lehrbuch* 2^e Aufl. 1870. p. 612.

³⁾ Russel, < *Journ. of the Roy. agric. Soc. of Engl.* XX. 2. p. 481, (geëxc. in *Peters Jahresbericht* III. 1860—1861. p. 157.)

De ontkieming is een eenvoudiger verschijnsel dan de latere groei der plant, daar er bij haar geen nieuwe deelen aangelegd worden.

De afhankelijkheid der ontkieming van de temperatuur is volgens drie methoden onderzocht geworden: 1^e werd de tijd bepaald, die voor de radicula noodig is, om den zaadhuid door te breken, 2^e werd de lengte onderzocht, die radicula en plumula gedurende een bepaalden tijd bereiken; 3^e werd de tijd waargenomen, die tot geheele ontplooiing der kiemdeelen noodig is.

A. De Candolle ¹⁾ liet zaden van verscheidene plantensoorten, die op aarde gelegd waren en van tijd tot tijd begoten werden, bij verschillende zeer constante temperaturen ontkiemen, en nam waar, na hoeveel dagen de radicula buiten de zaadhuid voor het eerst zichtbaar werd.

Uit zijne proeven blijkt, dat er een hoogste en een laagste grens bestaan, buiten welke de zaden niet meer ontkiemen, en dat tusschen deze grenzen zich een warmtegraad bevindt, waarbij de ontkieming sneller geschiedt dan bij elken anderen graad. Deze heeft den naam van optimum ontvangen. Van de laagste grens of het minimum tot het optimum neemt de snelheid met stijgende temperatuur toe, van het optimum tot het maximum daarentegen af. Alle drie deze waarden zijn voor verschillende soorten verschillend. De snelheid van ontkieming is tusschen minimum en optimum niet evenredig met de temperatuur, doch neemt dicht bij het minimum met stijgende temperatuur veel sneller toe dan dicht bij het optimum.

De volgende tabel bevat de getallenwaarden, door hem gevonden voor den tijd, dien de radicula voor het zichtbaar worden noodig had. De proef duurde bij 0—9° 35 dagen, bij de hoogere graden korteren tijd.

¹⁾ A. De Candolle, De la germination etc., < Bibl. univ. de Genève, 1865. XXIV. p. 243.

§ 15. Ontkieming.

SOORTEN.	D A G E N.							U R E N.				
	0°	1,4—2,2°	2,6—3,2°	4,2—6,1°	5,7,°	9°	12—13°	17°	21°	24—25°	28°	41°
<i>Sinapis alba</i> ¹⁾ .	17	16	9	×	4	3½	1½	17°	18—22	36 ^p	72	×
<i>Lepidium sativum.</i>	×	30	11—16	8	5	3	1½	1½	28	38	39	×
<i>Linum usitatissimum.</i>	×	34	17	17	6	2—4	1½—2½	3	36	38	60	×
<i>Trifolium repens.</i>	×	—	—	—	10	5—8	3	2½	42	42	72	×
<i>Zea Mais praecox.</i>	×	×	×	×	×	10—12	5—7	3½	42	23—44	36	×
<i>Cucumis Melo Cantaloup.</i>	×	—	—	—	×	×	×	9½	68	44	84	94 ^p
<i>Sesannum orientale.</i>	×	×	×	×	×	×	×	3	30—36	21—22	22	10½ ²⁾
<i>Collomia coccinea.</i>	×	×	×	17	14	6½	6—7	5½	×	×	×	×
<i>Nigella sativa.</i>	×	×	×	×	27	15	9	6	108	×	×	×
<i>Iberis amara.</i>	—	—	—	—	14	6	3½—4	4	66	×	×	×

¹⁾ × betekent: niet gekiemd; — betekent: niet onderzocht.

²⁾ Bij 51° kiemde *Sesannum orientale* in 25½ uur.

Op dezelfde wijze vond Haberlandt ¹⁾ voor een groot aantal cultuurplanten, dat de tijd, die voor het zichtbaar worden der radicula benodigd is, met stijgende temperatuur afneemt. Zijne proeven werden bij 3—15° genomen en sluiten dus bij enkele soorten het minimum, bij geen echter het optimum in.

Volgens de tweede methode onderzocht Sachs ²⁾ de ontkieming. Daar bij deze methode niet de tijd gemeten wordt, maar de lengte door de kiemdeelen gedurende bepaalden tijd bereikt, deed zich eerst de vraag voor of de snelheid van den groei van de plumula en de radicula gedurende den voor de proeven gebruikten tijd met den tijd evenredig is. Voorafgaande proeven leerden, dat dit niet het geval is, doch dat eerst de snelheid toeneemt, om daarna gedurende eenigen tijd af te nemen en dan verder gelijk te blijven ³⁾. Volgens deze methode kan dus wel de gunstigste kiemingstemperatuur gevonden worden, doch een bepaalde betrekking tusschen de temperatuur en de snelheid van den groei kan er niet door ontdekt worden.

Sachs gebruikte voor de proeven den toestel, waarmede zijn proeven over de hoogste temperatuur, die planten in lucht verdragen kunnen, genomen zijn ⁴⁾. De klok bleef er op om de lucht vochtig te houden. De verwarming geschiedde door middel van op olie drijvende nachtpitjes, en de zaden werden droog in de aarde gebracht nadat deze de verlangde temperatuur aangenomen had. De temperatuur kon zoo gedurende eenige dagen tot op 2—3° na constant gehouden worden.

De volgende tabellen geven de gemiddelde lengten aan (in millimeters) door de plumula en de radicula in 48 uren bij verschillende temperaturen bereikt. Als wortellengte is de afstand tusschen den top des wortels en het punt, waar de zaad-

¹⁾ Haberlandt, < Allgem. Land- und Forstwirthsch. Zeitg. 1860. p. 610, (geëxcerpeerd in Peters Jahresbericht, III. 1860—1861. p. 68.)

²⁾ Sachs, Physiol. Unters. üb. d. Abhängigkeit der Keimung von der Temperatur, < Pringsh. Jahrbücher. II. 1860. p. 338.

³⁾ L. c. p. 345—350.

⁴⁾ Zie pag. 9.

lobben ingeplant zijn, beschouwd; evenzoo is ook de plumula van de cotyledonen af gemeten.

I. RADICULA.

	17,1°	17,5°	25,8°	26,3°	28,5°	33,3°	34,0°	38,3°	42,5°
Zea Maïs. ¹⁾	2,5 ²⁾			24,5		39,0	55,0	25,2	5,9
Phaseolus multiflorus.			39	47	34	30	28	22	7
Pisum sativum.		4			41	17		12,2	
Triticum sativum. ¹⁾		3,5			88,3	50		22	
Zomergerst. ¹⁾		2			140	77			3
Cucurbita Pepo.							30	14	11
Dolichos Lablab.						41	38,6		

II. PLUMULA.

	17,1°	17,5°	26,3°	28,5°	33,3°	34,0°	38,3°	42,5°
Zea Maïs.	4,6 ²⁾		5,6		11,0	13,0	9,1	4,6
Phaseolus multiflorus.	7,4 ²⁾		11,0		10,5	15,0	10,2	7,5
Pisum sativum.	3,0 ²⁾		10,0		5,7	5,0	5,5	
Triticum sativum.		2,0		9,0	5,0	10,5	4,5	
Zomergerst.		2,0		12,0	7,0	13,0	3,0 ²⁾	

Volgens dezelfde methode en met denzelfden toestel verkreeg ik de volgende uitkomsten:

	Lengten (in mm.) door de radicula in 48 uren (bij 15° en 21,2° in 2 × 48 uren) bereikt:								
	15,0°	21,2°	26,8°	29,0°	31,5°	34,0°	37,0°	38,6°	42,5°
Phaseolus vulgaris.	8,3	31,1		21,1	32,0	22,0	17,0	13,5	2,0
Helianthus annuus.	15,6	56,6	25,3	30,3	37,9	34,4	18,0	9,9	0
Brassica Napus.	8,0	27,0	8,7	11,8	16,2	5,3	0	0	0
Cannabis sativa.	4,8	24,2	6,0	16,2	25,5	15,0	12,5	7,5	1,5

¹⁾ Som der lengten der afzonderlijke worteltjes.

²⁾ In 2 × 48 uur bereikt.

³⁾ Niet gekiemd.

Tot vergelijking van de door De Candolle voor het optimum gevondene waarden met de langs dezen weg daarvoor gevonden getallen nam ik op dezelfde wijze de volgende proeven:

	Lengten (in mm.) der radicula, in 48 uren bereikt:					
	15,1°	21,6°	27,4°	30,6°	33,9°	37,2°
Cucumis Melo.			18,2	27,1	38,6	70,3
Sinapis alba.	3,8	24,9	52,0	44,1	30,2	10,0
Lepidium sativum.	5,9	38,0	71,9	44,6	26,9	0
Linum usitatissimum.	1,5	20,5	44,8	39,9	28,1	9,2

Al deze tabellen leeren ten duidelijkste, dat er voor iedere soort een optimum bestaat, waarbij de groei sneller plaats vindt dan bij elke andere temperatuur, en dat beneden dit de bereikte lengte met stijgende temperatuur toeneemt, daarboven echter met stijgende temperatuur afneemt.

Een vergelijking van de laatste tabel met de op pag. 94 medegedeelde leert, dat het optimum voor Cucumis Melo volgens de methode van De Candolle bij 25° ligt, en volgens de methode van Sachs omstreeks of nog boven 37,2°. Bij de overige drie planten ligt het volgens De Candolle bij 21°, en volgens mijne proeven bij 27,4°. Bij alle is dus het Sachs'sche optimum hooger gelegen dan het optimum voor het zichtbaar worden der radicula.

Volgens de derde methode, die, wegens den langen duur der proeven, groote bezwaren tegen het constant houden der temperatuur in den weg legt, zijn slechts weinige, en voor ons doel onvolledige onderzoekingen gedaan. Zij toonen aan, dat ook hier de snelheid met de temperatuur toeneemt, doch leeren om-

trent het optimum niets. Zoo vond Sachs ¹⁾, dat de kiemdeelen zich geheel ontwikkelen voor: ²⁾

Mais bij 12,2—15° in 30—35 dagen.	Gerst bij 5—7,5° in 40—45 dagen.
„ 20—22,5° „ 25—30 „	„ 8,8—11,2° „ 20—25 „
„ 33,7—37,5° „ 7—8 „	„ 35—37,5° „ 10—12 „
Tarwe bij 5—7,5° „ 40—45 „	Boonen bij 10—12,2° „ 50—60 „
„ 12—15° „ 20—25 „	„ 12,2—15° „ 30—40 „
„ 35—37,5° „ 10—12 „	„ 22,2—25° „ 15—20 „

Evenzoo neemt natuurlijk voor de afzonderlijke stadiën, waarin men de ontkieming verdeelen kan, de snelheid van ontwikkeling met de temperatuur toe ³⁾.

De hoogste en laagste temperaturen, waarbij zaden nog ontkiemen, worden onafhankelijk van deze methoden bepaald. Ik laat hier eene samenstelling dezer beide waarden met het optimum (volgens de methode van Sachs) voor verschillende soorten volgen, zooals zij door Sachs in zijne beide genoemde verhandelingen gevonden zijn ⁴⁾.

	Minimum.	Optimum.	Maximum.
Cucurbita Pepo.	13,7°	34,0°	46,2°
Zea Mais.	9,5	34,0	46,2
Phaseolus multiflorus.	9,4	26,0	46,2
Pisum sativum.	6,7	28,8	41,2
Triticum vulgare.	5	28,5	42,5
Zomergerst.	5	28,5	37,5

¹⁾ Sachs, < Der Chemische Ackermann, 1859, p. 129, (geëxc. in Hoffmann's Jahresbericht II. 1859—1860. p. 92.)

²⁾ Hetzelfde resultaat gaven onderzoekingen door Regel, < Gartenflora 1864. p. 15, uit het „14^e Jahresbericht der Staats-Ackerbaubehörde Ohio's” overgenomen.

³⁾ Sachs, Keimung d. Schminkbohne, 1859.

⁴⁾ Zie ook het citaat van Regel, l. c.

Het optimum ligt dus in de meeste gevallen eenige graden dichter bij het maximum dan bij het minimum. Het minimum ligt des te lager, naarmate de planten in noordelijker streken te huis behooren, een regel, die door Sachs ¹⁾ nog voor een aantal cultuurplanten bevestigd gevonden werd.

Men zou geneigd kunnen zijn, de groote lengte der kiemdeelen, bij het Sachs'sche optimum bereikt, voor een gedeelte ten minste aan etioleering (zie § 16) toe te schrijven en dus te betwijfelen of het optimum wel de gunstigste kiemingstemperatuur is. Doch de invloed van het optimum maakt zich nog op andere wijze kenbaar. Dicht bij de grenzen bederft telkens een groot aantal der gebruikte zaden, al heeft men hen vóór het zaaien ook nog zoo zorgvuldig uitgezocht. Bij gunstige temperaturen komen steeds alle zaden op, doch de snelheid en kracht van hun groei zijn zeer verschillend bij de verschillende exemplaren. Lage temperaturen verhinderen het vormen van bijwortels, doch de aangelegde wortels worden zeer lang; hooge temperaturen begunstigen deze vorming reeds vóórdat de kiem geheel ontwikkeld is, terwijl dicht bij het optimum zich regelmatig eerst de hoofdwortel, en daarna de bijwortels ontwikkelen.

Temperaturen boven het maximum en onder het minimum zijn voor vochtige zaden, zoo zij eenigen tijd werken, nadeelig, daar de zaden daarbij verrotten en sterven.

De afhankelijkheid der ontkieming van Cryptogamen-sporen van de temperatuur is niet onderzocht; alleen geeft Stelzner ²⁾ aan, dat de ontkieming van Varens bij hooger temperatuur sneller is dan bij lager, en dat voor haar graden, die voor Phanerogamen-zaden doodelijk zijn, nog gunstig werken.

¹⁾ Sachs, < Chem. Ackersm. 1859. p. 129, (aangehaald l. c.)

²⁾ Stelzner, < Bull. du Congr. Intern. de Bot. et d'Hortic. à Amsterdam. 1865. p. 433.

§ 16.

Verdere ontwikkeling.

Laat men planten bij een temperatuur, die weinig boven het ontkiemings-minimum gelegen is, ontkiemen, dan houden zij met haar ontwikkeling op, zoodra alle deelen, die in de kiem reeds gevormd voorhanden waren, hun definitieve grootte bereikt hebben, en er vormt zich geen nieuw orgaan voordat de temperatuur minstens een paar graden stijgt. Zoo hield Sachs ¹⁾ een gekiemde Maisplant bij 9,4° geruimen tijd zonder verdere ontwikkeling; toen de temperatuur tot 14,4° steeg, ontwikkelden zich de eerste loofbladen, en eerst bij 18,8° ving de vorming van de bladen en wortels der vegetatie-periode aan. Evenzoo ontwikkelden bij 15° gekiemde planten van *Phaseolus vulgaris* en *Vicia Faba* haar primordiale bladen, doch daar de temperatuur niet steeg, vormden zij gedurende vier maanden geen enkel nieuw blad. Een temperatuurs-verhooging van 4—5° zou voldoende geweest zijn haar tot ontwikkeling te brengen. Sachs herhaalde deze proeven ook met andere planten, zoodat hij daaruit den algemeenen regel kon afleiden: Het minimum der voor de ontwikkeling van bladen, stengels en wortels benooidige temperatuur ligt hooger dan het ontkiemings-minimum.

Onderzoekingen omtrent minimum, optimum en maximum voor de verschillende perioden van het verdere plantenleven ontbreken nog geheel. Dat er een minimum bestaat, en dat boven dit minimum de ontwikkeling (bij de waargenomen temperaturen) meestal des te sneller gaat, naarmate de temperatuur hooger is, leert de dagelijksche waarneming ²⁾: Planten van dezelfde

¹⁾ Sachs, < Pringsh. Jahrb. II. 1860. p. 366.

²⁾ A. P. De Candolle, *Physiologie végétale*, 1832. p. 468, 473.

soort ontwikkelen zich in warme streken eerder dan in koudere; de soorten van ons klimaat groeien in warmer jaren sneller dan in koude; evenzoo wordt haar groei verhaast door haar in warme kassen te brengen. Rechtstreeksche onderzoekingen zijn over dit onderwerp niet gedaan; doch bij een waarneming van den groei van een bloeistengel van *Agave Jacquiana* bevond Weiss ¹⁾, dat de snelheid van verlenging in de eerste plaats van de temperatuur afhangt, en met deze stijgt en daalt.

Een uitzondering op den regel schijnt aangewezen te worden door de waarneming van Vilmorin ²⁾, dat Tarwe, Haver en Bietwortel zich in een warme kas gedurende een geheel seizoen even snel ontwikkelden als buiten groeiende voorwerpen derzelfde soorten. Aardbeziën daarentegen ontwikkelden zich in de warme kassen sneller dan daarbuiten.

Omtrent de temperatuur, waarbij planten haar geheele leven kunnen doorbrengen, zijn, behalve de gegevens der plantengeographie, de opgaven van in sneeuw levende Wieren (*Proto-coccus nivalis*, *Giges sanguineus*, *Disceraea nivalis* ³⁾) en van in of aan warme bronnen groeiende planten belangrijk. Zoo groeit *Aster Tripolium* ⁴⁾ te Balaruc vlak aan den oever van een beek van 37,5°, *Verbena officinalis* ⁴⁾ te Bagnères aan een beek van 38,5°, beide zóó dat hun wortels door dit water besproeid worden. Volgens Schouw ⁵⁾ groeien op Ischia *Cyperus polystachius* en *Pteris longifolia* te midden der op sommige plaatsen opstijgende warme dampen, en Kützing ⁶⁾ noemt een aantal planten, die aan een warme bron groeien, waarvan het

¹⁾ Weiss, < Bot. Unters aus dem Physiol. Labor. d. Landw. Lehranst. in Berlin, von H. Karsten. Heft II. 1866. p. 137.

²⁾ Vilmorin, < Comptes rendus 48. 1859, p. 587—589.

³⁾ Hochstetter, Neuseeland, p. 342, (vermeld door Sachs, Handbuch, p. 54.)

⁴⁾ A. P. De Caudolle, Physiol. végét. p. 876.

⁵⁾ Schouw, De aarde, de pl. en de mensch. 1857. p. 126.

⁶⁾ Kützing, Auf Reisen und Daheim; Ueb. d. org. Leben in hohen Wärmegr. 1869. p. 6.

water met een temperatuur van 84° te voorschijn treedt. Deze en andere dergelijke opgaven lijden echter alle aan het gebrek, dat de stand van den thermometer *tusschen* de bladen of wortels der planten niet aangegeven is, en er dus omtrent de ware temperatuur der plant geen zekerheid heerscht. De opgaven omtrent in warme bronnen levende Wieren zijn reeds in § 2, pag. 13 besproken.

Op den groei van eenig orgaan heeft slechts die temperatuur invloed, die het zelf bezit; de temperatuur van andere deelen der zelfde plant kan daarop hoogstens middelijk een invloed uitoefenen. Dit blijkt b. v. voor de ontwikkeling der bladen uit de volgende proef van Du Hamel ¹⁾, die later door vele schrijvers, o. a. door A. P. de Candolle ²⁾, met hetzelfde gevolg herhaald is: Du Hamel bracht van eenige in bakken groeiende Wijnstokken de wortels in een verwarmde kas, terwijl de takken in de buitenlucht bleven, en van andere exemplaren de takken in de kas, terwijl de wortels buiten stonden. Hij zag nu, dat de bladen der eerste zich tegelijk ontplooiden met bladen van geheel buitenstaande Wijnstokken, terwijl de laatste zich veel vroeger, en tegelijk met de geheel in de kas geplaatste ontwikkelden. Vervolgens voerde hij van een buiten groeienden Wingerd een tak binnen de kas, doch zóó, dat het uiteinde weer in de vrije lucht kwam. Slechts het verwarmde gedeelte ontplooiden zijn bladen vroeger, al het overige tegelijk met de andere, niet in kassen staande Wijnstokken.

De waarnemingen van Lecoq ³⁾ omtrent planten, die gedurende den winter groeien bleven, daar zij op een door water uit een warme bron besproeiden grond leefden, bewijzen geens-

¹⁾ Du Hamel du Monceau, *Physique des arbres*. 1758. p. 278.

²⁾ A. P. De Candolle, *Physiol. végét.* 1832. p. 427.

³⁾ Lecoq, *Les eaux minérales*, 1864, (vermeld in *La Belgique horticole*, 1864. p. 312.)

zins, zooals de schrijver meent ¹⁾, tegen de zoo even besproken wet. Een zijner vele voorbeelden is dit: Op de ruïnen van den Romeinschen tempel te Evaux (Creuse), was de vegetatie veel krachtiger dan in den omtrek, daar er zich warme bronnen onder bevonden. Zelfs in den winter hield deze vegetatie niet op, als in den omtrek alles door sneeuw bedekt was, en groenten en boomen waren er in het voorjaar veel vroeger in bloem en in vrucht, dan ergens in de omstreken. Het is duidelijk, dat de warmte van den grond zich aan de lucht om de planten mededeelde, en zoo ook bladen en stengels aan de hoogere temperatuur deelnamen. Vooral blijkt dit daaruit, dat de planten niet bevroren, terwijl alles in den omtrek bevroor; het spreekt toch van zelf, dat een hooger temperatuur der wortels de bladen en stengels niet tegen bevroren beschermen kan.

Er blijft mij nog over, de verspreide waarnemingen aan te halen van planten, die bij hooger temperatuur leefden dan die, waarbij hare soort gewoonlijk voorkomt. Behalve de reeds besproken versnelling van den groei, heeft een dergelijke kweeking soms nog andere gevolgen.

Zoo vond Peters ²⁾ dat Lupinen, in een bak geplaatst, waarin de temperatuur der aarde constant 8—10° boven de gewone luchttemperatuur gehouden werd, na eenige weken verkwijnden en stierven; Haver vergeilde in dezelfde bakken, doch Maïs ontwikkelde zich er krachtig in. Wellicht ligt de oorzaak daarin, dat de verhouding tussehen de temperatuur van de aarde en die van de lucht ongunstig was.

Jonge loten en kiemplanten uit ons klimaat nemen in warme kassen dikwijls het uiterlijk van geëtiolerde planten aan, ook dan, wanneer de kassen goed verlicht zijn ³⁾.

¹⁾ «Ce n'est pas la chaleur, qu'une plante reçoit sur ses feuilles, qui active l'évolution de ses organes, c'est la température, qui agit sur ses racines», l. c. p. 312.

²⁾ Peters, < Landw. Versuchsstat. 1862. III. p. 120.

³⁾ A. P. De Candolle, Physiologie végétale, 1832. p. 1114.

Met droogte vereenigd, is een hoogere temperatuur voor den aanleg en de ontwikkeling van bloemen voordeelig; met groote vochtigheid gepaard, bewerkt zij een krachtiger groei der bladen, ten koste van dien der bloemen ¹⁾.



¹⁾ A. L. De Candolle, l. c. p. 1112 et 1113; Edwards en Colin, geciteerd door Alph. De Candolle, Géogr. Bot. 1855. p. 46.

HOOFDSTUK V.

SAMENSTELLING DER RESULTATEN.

§ 17.

Samenstelling der resultaten.

Terwijl ik in de vorige hoofdstukken getracht heb ieder verschijnsel, zooveel mogelijk van andere geïsoleerd, in zijn afhankelijkheid van de temperatuur te beschrijven, moeten de daár in bijzonderheden ontwikkelde wetten hier in haar algemeenen vorm met elkander vergeleken en tot een geheel samengevoegd worden. Meer nog dan tot hier toe geschied is, zal de onvolledigheid der bekend geworden onderzoekingen bij deze wijze van behandelen in het licht moeten treden.

Voor elke plant bestaat een grenstemperatuur, boven welke zij haar leven niet voortzetten kan; overschrijding dezer grens veroorzaakt terstond den dood der plant. Deze grens ligt in lucht in de meeste onderzochte gevallen omstreeks 52° ¹⁾, bij sommige soorten echter iets hooger ²⁾; in water meende men, dat zij steeds omstreeks 45° ligt, doch uitvoerige onderzoekingen hebben mij

¹⁾ Zie eenige eigene proeven, p. 15.

²⁾ Gedurende het drukken der eerste vellen heb ik mijne onderzoekingen over de hoogste temperatuur, die planten in lucht kunnen verdragen, nog tot eenige soorten uitgebreid, van welke ik verwachten kon, dat zij uitzonderingen zouden vormen op den regel, dat de grenstemperatuur bij 52° ligt. De proeven werden juist op dezelfde wijze genomen als die van Sachs over dit onderwerp, welke op pag. 9—12 beschreven zijn:

Vinca minor. Binnen 20 minuten steeg de temperatuur der lucht tot 52° en bleef daarna 15 minuten constant tusschen $52,0^{\circ}$ en $53,3^{\circ}$. Hoogste temperatuur der aarde

aangetoond, dat zij hier tusschen 40° en 52°, en wellicht tusschen wijder grenzen, kan afwisselen, al naar gelang van de onderzochte soorten, of van den ouderdom van het deel of van de snelheid, waarmede het water op kan nemen ¹⁾). In droogen

39°. Na een paar dagen waren de jongste bladen bruin en droog; de oudere bleven, zoolang de waarneming voortgezet werd, onbeschadigd.

Anthericum ramosum. In 45 minuten tot 53° gestegen, daarna 15 minuten tusschen 53,0° en 52,0° constant. Hoogste temp. der aarde 50°. Na eenige dagen verwelkten en verdroogden de toppen van vele bladen; de lagere gedeelten van deze en verscheidene geheele bladen bleven onbeschadigd.

2° *Ex.* In korten tijd tot 53° verwarmd, daarna 15 minuten constant tusschen 53 en 54°. Na eenige dagen waren alle bladen verdroogd.

Funkia japonica. Na verwarming gedurende een half uur, constant 52,0—53,2° (15 minuten). Van vele bladen verdroogden de toppen; enkele verdroogden geheel; de meeste bleven onbeschadigd.

2° *Ex.* Na verwarming gedurende 20 minuten, constant 54,0—55,0° (15 minuten). Gevolgen als bij het vorige exemplaar.

3° *Ex.* Gedurende een uur tot 56° verwarmd en 15 minuten tusschen 56,0° en 57,2° constant gehouden. Terstond na de proef hingen alle bladen slap; na eenige dagen waren zij verdroogd.

Iris florentina. In 20 minuten tot 52° verwarmd en 15 minuten op 52,2—53,2° gehouden. De plant groeide zonder beschadiging voort.

2° *Ex.* Gedurende 40 minuten tot 54° verwarmd en 15 minuten tusschen 54,0° en 55,0° constant gehouden. De toppen der bladen verdroogden over een lengte van 10—15 cm.; alleen die van het jongste blad slechts over 2 cm. Overigens geen schade.

3° *Ex.* In een half uur tot 56° verwarmd en 15 minuten tusschen 56,0 en 57,3° constant gehouden. Terstond na de proef waren de toppen der bladen slap. Na eenige dagen waren de bladen over een derde van hunne lengte, van den top af, verdroogd.

Iris sambucina. In 50 minuten tot 53° verwarmd en 15 minuten op 52,0—53,0° gehouden. Geen schade.

2° *Ex.* In een half uur tot 55,0° verwarmd en 15 minuten op 54,0—55,0° gehouden. Geen andere schade dan dat de uiterste toppen (2—3 cm.) verdroogden.

3° *Ex.* In één uur tot 56° verwarmd en 15 minuten tusschen 56° en 57° constant gehouden. Hoogste temperatuur der aarde 49,4°. Terstond na de proef waren de bladen slap; na eenige dagen werden zij over hun geheele lengte bruin, alleen voor zooverre zij gedurende de proef door de bladscheeden van oudere bladen bedekt geweest waren, bleven zij onbeschadigd.

Waar de temperatuur der aarde niet opgegeven is, bereikte deze nooit 44°.

Dit deze proeven volgt, dat de grenstemperatuur in lucht evenals die in water niet voor alle soorten dezelfde is, en dat zij ook voor dezelfde soort voor jonge en oude bladen, of voor verschillende deelen van hetzelfde blad verschillend kan zijn.

Hiermede is dus de vraag, die op pag. 21 nog onbeantwoord gelaten moest worden, in bevestigenden zin beantwoord.

¹⁾ Zie voor mijn eigene onderzoekingen pag. 16—21.

toestand ligt deze grens veel hooger; evenzoo voor vele in warme bronnen levende Wieren.

Worden planten tot omstreeks -1° of -2° afgekoeld ¹⁾, dan gaat een gedeelte van het water van den celinhoud en den celwand in ijs over, zonder dat dit, ten minste in de meeste gevallen, schadelijk voor het leven der plant is. In weefsels vormt zich het ijs bijna uitsluitend in de intercellulaire ruimten. Hoe lager de temperatuur onder 0° daalt, hoe meer water in ijs overgaat. Vele verschijnselen, die een deel van het leven uitmaken, kunnen in dien toestand niet plaats vinden, andere gaan daarbij ongehinderd voort. Daar de meeste der eerstgenoemde verschijnselen reeds bij boven 0° gelegen temperaturen ophouden, is er geen grond om het vriespunt der plantensappen als laagste grens voor het plantenleven te beschouwen.

De levensverschijnselen kunnen, naar hunne afhankelijkheid van de temperatuur, in twee groepen samengevoegd worden. *Gelijk reeds is opgemerkt, kunnen sommige functiën bij elke temperatuur plaats vinden, die beneden de doodende grens ligt, terwijl andere functiën tusschen eigene temperatuurgrenzen ingesloten zijn, waarvan de hoogste al of niet met de grens voor het leven der plant samenvalt. Tot de eerste groep behooren de uitzetting, de verdamping, de bewegingen van het water en van de opgeloste stoffen tengevolge van osmose en imbibitie. Zij geschieden alle ook bij de laagste temperaturen, waarbij planten onderzocht kunnen worden, al is de snelheid der laatstgenoemde verschijnselen bij deze warmtegraden ook zeer gering. De snelheid van deze verschijnselen der eerste groep, wat het eerste betreft, het volumen der plantendeelen, neemt steeds met de temperatuur toe ²⁾, ja zij nemen boven de levensgrens volgens de-*

¹⁾ Zie voor eenige eigene onderzoekingen, om de bewering te weerleggen, dat planten door lage temperaturen boven 0° rechtstreeks gedood kunnen worden, pag. 24—25.

²⁾ Volgens eigen onderzoekingen, voor zoover de imbibitie betreft; zie pag. 55—67.

zelfde wet als daaronder toe, voor zooverre de bij die grens ontstaande veranderingen dit niet verhinderen. Waarschijnlijk gaan enkele chemische omzettingen ook in den bevroren toestand voort, doch hieromtrent is niets naders bekend.

Verreweg de meeste levensfunctiën kunnen noch beneden een zekeren warmtegraad, noch boven een anderen plaats vinden: zij zijn dus binnen bepaalde grenzen ingesloten. *Zoowel de absolute ligging dezer grenzen, als haar afstand van elkander, kan voor verschillende functiën eener zelfde plant, en voor dezelfde functie bij verschillende planten verschillend zijn.* De tot nu toe volbrachte onderzoekingen hebben steeds een verschil, nooit een eenigzins algemeene overeenkomst aangetoond.

De hoogste grens is voor den groei der kiemdeelen, de prikkelbaarheid der Mimosa-bladen, en de bewegingen van het protoplasma bepaald. Vooral bij de ontkieming vallen de verschillen der grens naar gelang der soorten duidelijk in het oog ¹⁾.

Uitvoeriger is de laagste grens bekend. Vergelijkende onderzoekingen omtrent deze grens voor dezelfde functie bij verschillende planten, zijn in het vorige hoofdstuk meermalen ter sprake gekomen. Zij wijkt in de onderzochte gevallen al naar gelang der soort bij de protoplasma-beweging tusschen 0° en 17° uit-één, bij de ontkieming tusschen 0° en 13°. De chlorophyllkorrels nemen bij *Phaseolus multiflorus* en *Zea Maïs* bij 6°, bij *Carthamus tinctorius* en *Cucurbita Pepo* bij 10° de groene kleur niet aan. De periodische bewegingen van *Mimosa pudica* gaan bij 13,7° voort ²⁾, die van *Hedysarum gyrans* houden reeds bij 22° op.

De vergelijking van de laagste temperatuurgrens van verschillende functiën derzelfde plant eischt een eenigzins uitvoeriger behandeling. Dat die functiën, welke geen laagste grens be-

¹⁾ Zie de tabel van pag. 98.

²⁾ Sachs, < *Flora*. 1863 p. 451.

zitten, ook bij temperaturen, die onder de grenzen van andere functiën gelegen zijn, geschieden, behoeft niet afzonderlijk be-toogd te worden.

De grens voor de ontkieming ligt in de bekende gevallen lager dan die voor den groei van de wortels en de bladen der vege-tatie-periode ¹⁾). De grens voor de ontwikkeling der groene kleurstof in de chlorophyllkorrels ligt hooger, dan die voor den groei van het orgaan, waarin de kleurstof ontstaat; dus zullen bladen en stengels bij tusschen de beide grenzen liggende tem-peraturen groeien en geel blijven ²⁾). Zij ligt eveneens hooger dan de ontkiemingsgrens; bij *Zea Maïs* en *Phaseolus multiflorus* b. v. ligt zij omstreeks 17°, de ontkiemingsgrens bij 9,4°. De grenzen voor de ontwikkeling van nieuwe en voor de prikkel-baarheid van volwassen bladen van *Mimosa pudica* vallen onge-veer te zamen, nl. bij 15—16° ³⁾). De grens der sapstijging tengevolge van filtratie ligt voor den *Wijnstok* bij 7°, terwijl de ontkiemingsgrens, ofschoon niet onderzocht, naar den pag. 99 vermelden regel waarschijnlijk hooger ligt. De grens der protoplasma-beweging ligt bij *Cucurbita Pepo* bij 17°, die der ontkieming bij 13,7°.

De bloemen ontplooiën zich bij sommige planten ⁴⁾ (wellicht bij alle?) reeds bij lager temperatuur dan die, welke voor den groei der bladen noodig is, hetgeen vooral duidelijk waarge-nomen kan worden bij voorjaarsplanten (*Helleborus niger*, *Hepa-tica triloba*, e. a. ⁴⁾) en bij *Soldanella alpina* ⁵⁾, die soms door sneeuw overdekt hare bloemen geheel ontplooit.

Worden de grenzen eener functie overschreden dan begint de stilstand in sommige gevallen plotseling, in andere (protoplas-

¹⁾ Zie de voorbeelden op pag. 100.

²⁾ Zie pag. 85.

³⁾ Sachs, < *Flora*. 1863, p. 452.

⁴⁾ Du Hamel, *Physique des arbres*. II. p. 279

⁵⁾ Lortet, < *Bot. Ztg.* 1852. p. 648

ma-beweging, prikkelbaarheid) slechts langzaam zich te ver-
toonen. Een langdurig verblijf in een omgeving, wier tempe-
ratuur boven de hoogste of beneden de laagste grens voor eenige
functie ligt kan onder sommige omstandigheden voor de plant
dodelijk zijn ¹⁾).

In alle goed onderzochte gevallen neemt de snelheid eener functie met eigene temperatuurgrenzen toe, als de temperatuur boven de laagste grens stijgt; bij het bereiken van een bepaalden warmtegraad treedt een maximum van snelheid en intensiteit der functie op, terwijl zij boven dit maximum met stijgende temperatuur tot aan haar bovenste grens afneemt.

Het toenemen van de functie bij stijgen der temperatuur is in vele gevallen waargenomen, het bereiken van een optimum, en de verlangzaming boven dit, slechts in weinige gevallen. Zoo nemen de prikkelbaarheid der bladen van Mimosa, de snelheid der bewegingen van de zijblaadjes van Hedysarum gyrans, de vorming van groene kleurstof in geëtiolerde planten onder den invloed van het licht, de sapstijging door filtratie en de assimilatie met stijgende temperatuur toe, zonder dat het bekend is, of de temperatuur, waarbij deze functiën het krachtigst zijn met haar hoogste grens samenvalt of niet. Een optimum, dat niet met het maximum samenvalt, is bij de ontkieming en de beweging van het protoplasma waargenomen.

Het optimum, of die temperatuur, waarbij een functie het krachtigst plaats vindt, is voor verschillende functiën der zelfde plant, en voor dezelfde functiën bij verschillende planten verschillend, voor zoover de bekende gevallen hierover laten oordeelen. Voor de ontkieming varieert het optimum tusschen 27° en 34° ²⁾, naar gelang der soort, voor de protoplasma-beweging tusschen 38° en 40° ³⁾, voor de onderzochte soorten.

¹⁾ Zie pag. 80.

²⁾ Zie pag. 98.

³⁾ Zie pag. 72.

Het optimum voor het te voorschijn treden der radicula ligt, zooals uit een vergelijking van mijne proeven met die van De Candolle blijkt ¹⁾, bij dezelfde soorten lager dan dat voor de verdere ontwikkeling van den kiemwortel. Zoo ligt bij *Cucumis Melo* het eerste bij 25°, het laatste boven 37,2°, en bij *Sinapis alba*, *Lepidium sativum* en *Linum usitatissimum* het eerste bij 21°, het laatste omstreeks 27°.

Voor andere functiën is een vergelijkend onderzoek der optima nog niet ten uitvoer gebracht. Het is zeer wenschelijk, dat dit spoedig geschiede, daar uit de praktijk der horticulteurs schijnt te volgen: *dat een bepaalde verhouding tusschen de warmte van den grond en die van de lucht voor het snelle kweeken van planten het voordeeligste is*. In den regel moet de grond buiten omstreeks 2° warmer zijn dan de lucht, terwijl in kassen niet zelden een onderscheid van 3—4° in gelijken zin het voordeeligst bevonden wordt ²⁾. Zoowel een te sterke als een te geringe verwarming van den bodem is voor de planten nadeelig. Lucas verkreeg te Reutlingen door verwarming van den bodem 90% suiker uit druiven, terwijl niet verwarmde velden derzelfde variëteit slechts 80% opleverden. De snellere groei van Meloenen, als de aarde om hunne wortels verwarmd wordt, is een bekend verschijnsel. Stekken van allerlei boomsoorten groeiden eveneens beter, wanneer de grond iets warmer was dan de lucht. Deze verschijnselen in hunne bijzonderheden na te gaan en zoo den waren aard en de oorzaak er van te ontdekken, blijft echter nog aan latere proeven voorbehouden. Een rechtstreekschen invloed van de temperatuur van den grond op in de lucht levende organen aan te nemen is niet geoorloofd, daar op pag. 102 aange-toond is, *dat op den groei van eenig orgaan slechts die temperatuur invloed heeft, die het zelf bezit*.

¹⁾ Volgens eigen proeven, zie pag. 97.

²⁾ Lucas, in < Verhandl. d. dritten Congresses von Gärtner, u. Botanikern zu Hamburg, 1869. p. 31—37.

Een tot nu toe geheel onverklaard verschijnsel is het, dat *temperatuursveranderingen soms een ander gevolg hebben dan dat, hetwelk de nieuw ontstane temperatuur, constant werkende, zou veroorzaken* ¹⁾, zooals dit bij plotselinge verwarming van cellen met zich bewegend protoplasma waargenomen wordt. Overeenkomstig met de hierdoor bewerkte vertraging der beweging, is de beweging kort na snelle verkoeling langzamer, dan met de nieuwe temperatuur overeenkomt. *Deze vertraging der protoplasma-beweging is een functie van de snelheid der temperatuursveranderingen, m. a. w. zij is des te grooter, naarmate de verwarming of de verkoeling sneller is, of wel, naarmate de verandering in denzelfden tijd meer graden bedraagt* ²⁾.

¹⁾ Zie voor eenige eigen onderzoekingen om de bewering te weerleggen, dat snelle temperatuursveranderingen planten ziek maken of dooden kunnen, pag. 33—35.

²⁾ Volgens eigen onderzoekingen, pag. 37.