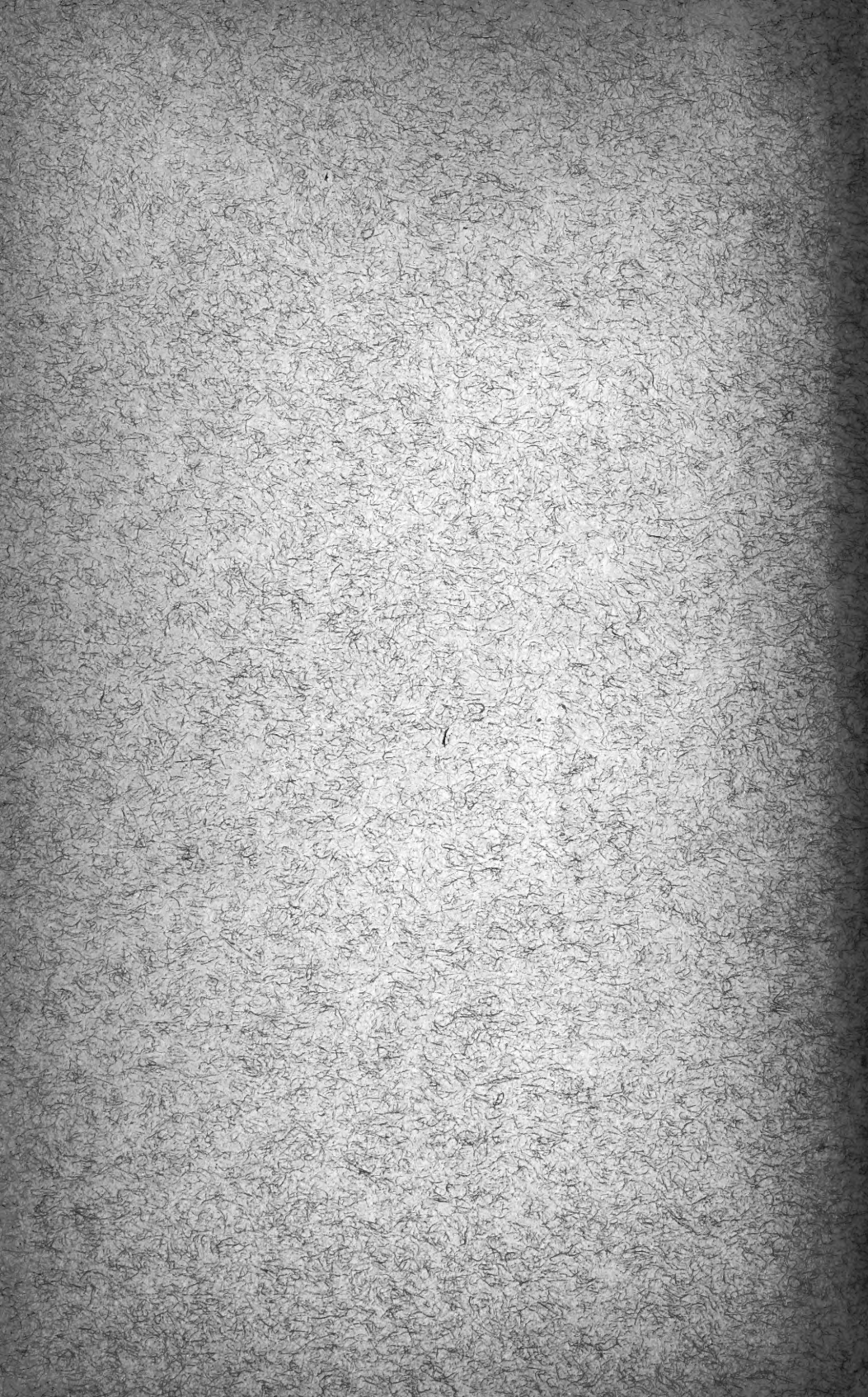
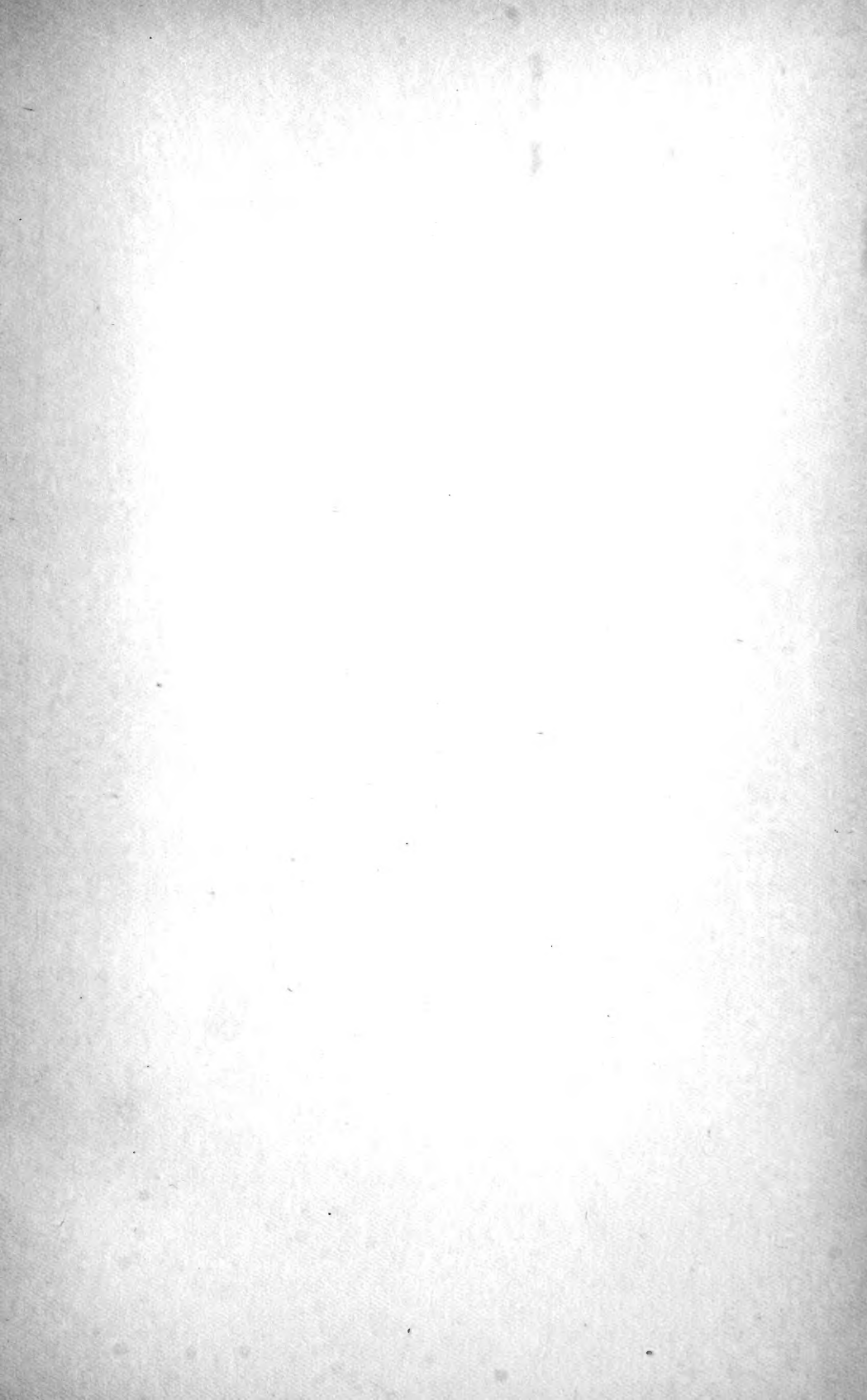


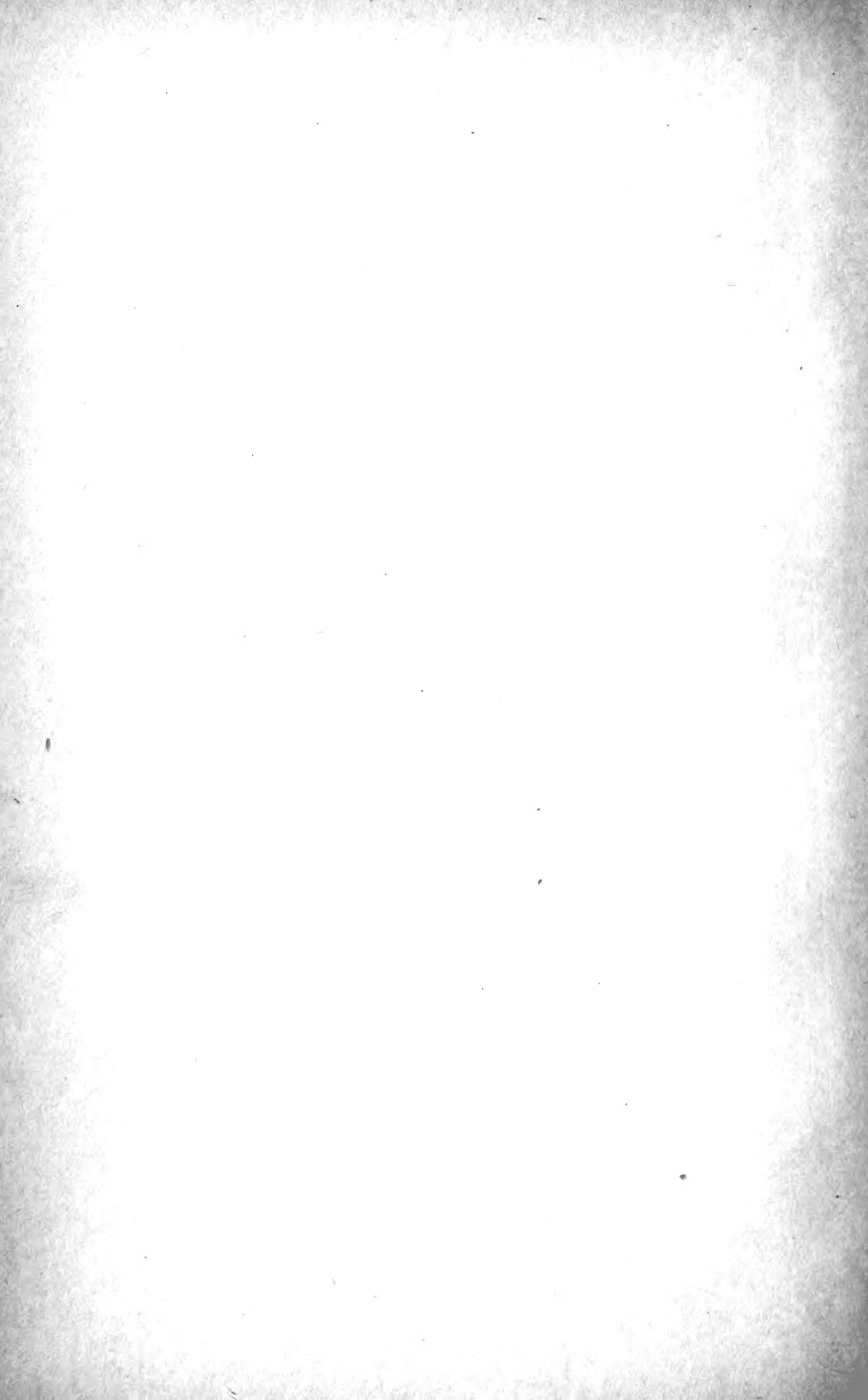


**ENERGIE-OMZETTINGEN
TIJDENS DE KIEMING VAN
‡ TARWEKORRELS ‡**

L. C. DOYER







**ENERGIE-OMZETTINGEN TIJDENS
DE KIEMING VAN TARWEKORRELS**

ENERGIE-OMZETTINGEN TIJDENS DE KIEMING VAN TARWEKORRELS

PROEFSCHRIFT TER VERKRIJGING VAN DEN
GRAAD VAN DOCTOR IN DE PLANT- EN
DIERKUNDE, AAN DE RIJKS-UNIVERSITEIT
TE UTRECHT, OP GEZAG VAN DEN RECTOR-
MAGNIFICUS DR. B. J. KOUWER, HOOG-
LEERAAR IN DE FACULTEIT DER GENEES-
KUNDE, VOLGENS BESLUIT VAN DEN SENAAAT
DER UNIVERSITEIT TEGEN DE BEDENKINGEN
VAN DE FACULTEIT DER WIS- EN NATUUR-
KUNDE TE VERDEDIGEN OP MAANDAG
15 JUNI 1914, DES NAMIDDAGS TE 4 UUR,
DOOR **LUCIE CHRISTINA DOYER**, GEBOREN
TE AMERSFOORT.

P. DEN BOER

SENATUS VETERANORUM TYPOGRAPHUS ET LIBRORUM EDITOR
UTRECHT

MCMXIV

QR755.5

.D6

AAN MIJNE OUDERS

Gaarne neem ik deze gelegenheid waar, om mijn dank uit te spreken tot U allen, Hoogleraren in de Faculteit der Wis- en Natuurkunde, die mij geleid hebt bij mijn studie in de Plant- en Dierkunde.

Aan Uwe voorlichting bij de studie der Mineralogie en Palaeontologie, Hooggeleerde WICHMANN, denk ik met dankbaarheid terug. U, Hooggeleerde NIERSTRASZ ben ik erkentelijk voor de hulp en leiding, die ik steeds in zoo ruime mate op Uw laboratorium heb mogen vinden.

Met bijzonder veel genoegen, Hooggeleerde HUBRECHT, zal ik steeds terugdenken aan den tijd, dat ik onder Uwe directe leiding practisch heb mogen werken, en waarin ik zoo sterk het voorrecht gevoeld heb, door U geleid te worden op dat arbeidsveld, dat Gij voor een gedeelte zelf ontgonnen hebt.

Ook Uwe colleges over systematiek en geographische verspreiding der planten, Hooggeleerde PULLE, heb ik zeer op prijs gesteld, terwijl het inzicht, dat ik door Uw toedoen, Zeergeleerde KRIJYT, in de colloïd-chemie heb gekregen, mij als bioloog van zeer groote waarde is.

Maar de grootste erkentelijkheid voel ik jegens U, Hooggeleerde WENT, wien het zeker niet het minst te danken is, dat de biologische studie voor Uwe leerlingen een zoo aantrekkelijke is. Uwe privatissima en refereercolleges bieden

volop gelegenheid een ruimen blik te slaan in verschillende vraagstukken op plantkundig gebied. Door de wijze, waarop het practisch werk op Uw laboratorium is ingericht, hebt Gij mij geleidelijk steeds nader gebracht tot eigen onderzoek, en het is vooral dit laatste jaar geweest, waarin ik met de waarnemingen voor mijn proefschrift bezig was, dat ik steeds meer Uwe voortdurende belangstelling en leiding op hoogen prijs ben gaan stellen.

Ten slotte wil ik graag ook een woord van hartelijken dank richten tot U beiden, Hooggeleerde JULIUS en COHEN, die mij steeds met zoo groote welwillendheid van voorlichting en hulp gediend hebt, waar ik die voor dit onderzoek bij U kwam vragen en die mij zoo bereidwillig den toegang tot Uwe laboratoria verleend hebt.

INHOUD.

	Blz.
Inleiding	1
Literatuur-overzicht	4
Het energie-verlies bij de kieming, berekend uit de ver- brandingswarmte	23
Warmte-ontwikkeling bij de kieming	44
Vrijgekomen energie, berekend uit de hoeveelheid uit- geademd koolzuur	74
Vergelijking met de overige opgaven in de literatuur .	80
Samenvatting der resultaten	86
Literatuur	88

INLEIDING.

Het meest algemeene kenmerk voor het stoffelijk leven, zoowel in het dierenrijk als in het plantenrijk, van de hoogst georganiseerde tot de meest eenvoudige organismen, is wel hierin gegeven, dat het leven steeds gebonden is aan een voortdurende afwisseling van energie-opname en -afgifte.

Energie-opname — in 't algemeen is dit het assimilatieproces; energie kan in den vorm van vast voedsel van buiten worden opgenomen, het licht kan de noodige energie leveren enz. Daartegenover staat de energie-afgifte, het dissimilatie-proces, waarbij de opgenomen energie weer in vrijheid wordt gesteld, en ten dienste komt van alle mogelijke levensprocessen.

Na deze zeer algemeene beschouwing over energie-omzettingen in de levende natuur, wil ik één bepaald geval nader bespreken, n.l. de energie-omzettingen, die bij de kieming van tarwekorrels in 't donker plaats hebben.

Tijdens de rijping van het koren heeft het zaad een grooten voorraad reservevoedsel verzameld; in deze periode wordt dus een hoeveelheid energie opgehoopt, die het kiemplantje ter beschikking zal vinden, wanneer het hieraan behoefte heeft voor de eerste ontwikkeling. Na dien tijd is het droge zaad zóó, bijna onveranderd, blijven liggen; de ademhaling is in dien tijd zoo uiterst gering, dat hierdoor geen noemens-

waardig energie-verlies plaats vindt. Het kiemingsproces begint met wateropname; bij deze imbibitie komt reeds warmte, dus energie, vrij. Laat men de kieming nu in 't donker plaats hebben, dan is verder een energie-opname van buiten door koolzuur-assimilatie onmogelijk; al de energie, die voor de ontwikkeling noodig is, moet door de reservestoffen geleverd worden. Deze gaan zich dan ook splitsen in minder hoogmoleculaire verbindingen, terwijl de ademhaling van het begin der kieming af gestadig in sterkte toeneemt, dus al vast twee processen, waarbij energie beschikbaar komt. Voor een groot gedeelte wordt deze energie gebruikt, hetzij voor syntheses, waardoor bouwstoffen geleverd worden voor de groeiende plant, hetzij voor het tot stand komen van osmotischen druk, voor het overwinnen van weerstanden, die bijv. de wortels bij hun groei kunnen ondervinden enz. enz. Een gedeelte van de energie wordt echter ook als warmte aan de omgeving afgestaan, misschien als een noodzakelijk, maar schadelijk verlies, misschien ook als onmisbare voorwaarde voor het levensproces. In dit speciale geval bij kiemende tarwekorrels en in het algemeen in het plantenrijk is het waarschijnlijker, dat deze warmte-afgifte een „verlies” beduidt, dan wel „onmisbare levensvoorwaarde” is, daar toch slechts in enkele uitzonderingsgevallen deze vrijkomende warmte in staat is, de plant op een hogere temperatuur dan de omgeving te houden en in deze gevallen dan nog maar voor zeer korten tijd en op een zeer wisselende temperatuur, al naar gelang van de uitwendige omstandigheden (vochtigheidstoestand van de lucht o. a.).

Wil men nu een denkbeeld krijgen van de energie-om-

zettingen tijdens de kieming, dan kan men hiertoe verschillende wegen inslaan.

Deze zijn:

1^e. De verbrandingswarmte van het zaad, vóór de kieming en nadat deze een zekeren tijd is voortgeschreden, te bepalen.

2^e. Het volume uitgeademd koolzuur te meten, en te berekenen hoeveel warmte bij de volledige oxydatie van het ademhalingsmateriaal tot dit volume koolzuur moet zijn vrijgekomen.

3^e. De vrijgekomen warmte direct door de temperatuurstijging te meten.

De waarde en het onderling verband van deze drie methoden voor de bepaling van de energie-omzettingen bij de kieming worden in de hoofdstukken, die in 't bijzonder hieraan gewijd zijn, uitvoeriger uiteengezet. Het is te verwachten, dat men, door op deze verschillende manieren waar te nemen, energie-hoeveelheden zal vinden, die niet geheel aan elkaar beantwoorden, maar die elkaar daardoor juist goed aanvullen, wat betreft het leveren van vergelijkingsmateriaal, en zodoende kunnen brengen tot een beter inzicht in de energie-verhoudingen onderling.

Literatuur-overzicht.

In korte trekken wil ik trachten een overzicht te geven van de experimenteele onderzoekingen, in de literatuur bekend, over deze drie punten: chemisch energie-verlies bij de kieming; energie-verlies, berekend uit de hoeveelheid uitgedamd CO₂, en energie-verlies, door warmte-afgifte aan de omgeving.

Dan blijkt, dat op het laatste punt: de warmte-ontwikkeling van planten, het eerst de aandacht gevestigd is geweest. Naar analogie van de vele gevallen in het dierenrijk, waarbij, meer of minder duidelijk, een eigen temperatuur boven die van de omgeving was waar te nemen, ging men er van zelf toe over, naar een dergelijk verschijnsel in het plantenrijk uit te zien. In 't eerst was eigenlijk dit voornamelijk de vraag, die men beantwoord wenschte te zien: „Zijn de planten in staat, hun temperatuur zóó hoog boven die van de omgeving te houden, dat zij 's winters hierdoor beschermd worden tegen het gevaar van bevriezen?” Deze vraag maakte, dat de onderzoekers zich in den beginne voornamelijk toeleghden op temperatuurmetingen van verschillende plantendeelen in den winter.

Voor dit doeleinde boorde HUNTER (1775—78) ¹⁾ gaten in

1) De volledige titels der aangehaalde publicaties zijn in de literatuur-lijst achteraan te vinden.

boomstammen en bracht hierin thermometers aan. In den regel vond hij, dat de boom een hoogere temperatuur dan de omgeving had, waaruit hij meende te mogen afleiden, dat er in den stam een warmte-ontwikkeling plaats had.

Legde hij een afgesneden dennetakje of een blad bij 28° Fahrenheit op een bevroren vloeistofoppervlak, dan was na eenige minuten de plek onder dit takje of blad ontdooid, wat volgens hem ook weer een bewijs was voor de warmte-ontwikkeling van deze deelen.

Ook SCHÖPF (1788) meende, dat een plant, die eenmaal bevroren was geweest, onmogelijk verder kon leven, maar dat zij door de „levenskracht” in staat werd gesteld, tot op zekere hoogte weerstand aan de kou te bieden.

In zooverre echter klopten de gegevens van SCHÖPF niet met die van HUNTER, als hij tevens aantoonde, dat 's zomers de temperatuur van den boom meestal onder die van de omgeving bleef. Was deze in staat 's winters weerstand aan de kou te bieden, zoo stond hier in ieder geval tegenover het vermogen om zich 's zomers tegen te groote warmte te vrijwaren. Hij zocht hier dus naar een reguleerende inrichting en meende die te vinden in de afwisseling van assimilatie en dissimilatie. Overdag heeft het assimilatie-proces plaats, waarbij warmte uit de plant verdwijnt; maar, zooals INGENHOUSZ reeds had aangetoond, heeft er 's nachts een tegenovergesteld proces plaats en SCHÖPF vroeg zich zelf nu reeds af, of dit misschien een bron van warmte voor de plant kon zijn. Daar hij echter meende dat dit laatste proces uitsluitend door de bladen werd uitgevoerd, zou deze warmtebron 's winters vervallen. Hij vergeleek de boomen in dien tijd van het jaar

met de winterslapers onder de dieren, bij wie ook de eigen temperatuur dan tijdelijk verminderd wordt.

In zijn „Physiologie Végétale” behandelde SENEBIER (1800) in het derde deel de warmte-ontwikkeling van boomen. Hier wees hij er reeds op, dat het verschil in temperatuur van boom en omgeving veel te veel wisselde om dit eenvoudig aan warmte-ontwikkeling in den stam toe te schrijven. De thermometer, die ter vergelijking vrij was opgehangen, gaf de temperatuur van de lucht, op het oogenblik zelf, weer, terwijl men in den stam, een slechten warmtegeleider, de temperatuur mat, die de lucht geruimen tijd geleden had. Het temperatuurverschil, dat hierdoor ontstond, werd dus in ieder geval gevoegd bij datgene, dat eventueel aan warmte-ontwikkeling was toe te schrijven. De zaak werd hiermee zeer gecompliceerd. Daarbij zou zich dan ook nog voegen, dat de aarde, die op eenige diepte een vaste temperatuur heeft, 's winters door geleiding langs de wortels warmte aan de planten zou afstaan.

Deze theoretische bespiegelingen van SENEBIER werden later inderdaad grootendeels bevestigd door waarnemingen van HALDER (1826). Hij toonde overtuigend aan, dat het temperatuurverschil van boomen met hun omgeving werkelijk aan slechte geleiding was toe te schrijven. Hoe langer de temperatuur buiten constant bleef, hoe minder die van den boom daarmee verschilde. Bovendien bleek het HALDER, dat de temperatuur van den stam 's morgens meestal iets hooger, 's middags iets lager dan die van de lucht was, en dat deze verschillen grooter waren, naarmate de diameter van den stam grooter was en de temperatuurwisselingen van de om-

geving sneller optraden. Al deze verschijnselen vonden dus een verklaring in de slechte warmtegeleiding van het hout.

Tevens stelde hij vast, dat den langsten tijd van het jaar de temperatuur van den stam lager was dan die van de omgeving, wat verklaard kon worden door geregelde verdamping, die steeds eenige warmte aan de plant onttrok. Hij nam waar, dat in strenge winters het inwendige van boomen weken lang op een temperatuur onder 0° kon blijven, zonder dat deze hiervan schade ondervonden. Bij al deze verschijnselen was er dus niets, dat wees op een warmte-ontwikkeling in deze deelen.

Deze gegevens vindt men samengevat in „Beobachtungen über die Temperatur der Vegetabiliën” die men in de literatuur algemeen toegeschreven vindt aan SCHÜBLER. Inderdaad is het een proefschrift van HALDER, die in 1826 onder praesidium van SCHÜBLER te Tübingen gepromoveerd is.

Nadat GOEPPERT in 1830 een uitvoerige publicatie had gewijd aan de vraag, of planten, door hun warmte-ontwikkeling een beschutting tegen de kou hadden, en daarin tot het besluit was gekomen, dat zij, in geen tijdperk van hun leven, in staat waren de warmte, die bij de ademhaling vrijkomt, op te hoopen, gaf hij in 1832 aan de onderzoekingen een andere richting, door te werken met een opééngehoopte plantenmassa in een afgesloten ruimte en hierin de temperatuurstijging na te gaan.

Hiertoe liet hij zaden eerst eenige dagen onder water weken, pakte hen dan dicht opéén in een vat met goed isoleerende wanden, waar de kieming verder plaats had. Hij vond hierbij een zeer aanmerkelijke temperatuurstijging. (bij kiemende tarwekorrels bijv. tot 15° R. toe). Hierbij maakte hij een scherp onder-

scheid tusschen warmte, vrijkomend bij chemische processen en bij levensprocessen en meende te kunnen aantoonen, dat deze voornamelijk van de laatste afkomstig was, daar zaden met zeer weinig reservevoedsel als bijv. klaver, ook een aanzienlijke temperatuurverhooging veroorzaakten.

Zijn proeven werden eenige dagen lang voortgezet, totdat eindelijk zure gisting en schimmel optraden. Dat de temperatuur-verhooging hieraan niet van het begin af was toe te schrijven, bewees hij, door de tarwekorrels vóór de proefneming te doodden; in dit geval vond hij gedurende de eerste dagen geen temperatuurverhooging, maar pas later begon deze op te treden, als gevolg van de gisting.

Bracht hij kiemplanten, die reeds eenige dagen oud waren, in het vat, dan steeg de temperatuur ook; dan was waarschijnlijk de omzetting van zetmeel in suikers reeds geheel afgelopen, zoodat, volgens GOEPPERT, de temperatuurstijging dan duidelijk niet meer aan chemische processen, maar aan de „levenskracht” was toe te schrijven. Bij opéénpakking van volwassen planten vond hij ook een temperatuurstijging, maar veel geringer dan bij de kieming.

Ofschoon deze onderzoekingen in dien tijd zeker zeer verdienstelijk waren, valt er toch op aan te merken, dat de kieming wel onder bijzonder ongunstige omstandigheden plaats had, zoodat gisting waarschijnlijk al zeer spoedig begon en het dus niet te verwachten was, dat men, op deze manier voortgaande, een juist beeld van de warmte-ontwikkeling door planten in normale omstandigheden zou krijgen.

Een grooten vooruitgang brachten de proeven van DUTROCHET (1840). Hij vergeleek de temperatuur van levende en gedoode

plantendeelen door middel van thermonaalden; deze wijze van proefneming was hem door BECQUEREL aan de hand gedaan.

Hij koos hiervoor plantendeelen, die zooveel mogelijk dezelfde afmetingen hadden en merkte op, dat, wanneer hij ter vergelijking een plant gebruikte, die eenigen tijd geleden gedood, en dientengevolge veel droger was, deze steeds een hoogere temperatuur had dan het levende exemplaar. Dit schreef hij toe aan de verdamping, die in het laatste geval veel sterker was, en dus veel meer warmte moest onttrekken. Daarom doodde hij een plant in warm water en gebruikte deze onmiddellijk daarna als vergelijkingsmateriaal; nu was werkelijk de temperatuur in de levende plant hoger dan in de gedoode; in beide gevallen had er wel verdamping plaats, maar in de levende plant werd hieraan meer weerstand geboden. In beide was echter de temperatuur lager dan die van de omgeving, zoodat men, meende DUTROCHET, op grond hiervan haast geneigd zou zijn, in plaats van een „chaleur vitale” een „froid vital” aan te nemen.

Maar nu hij bemerkte had, hoe groot de rol van de verdamping bij deze verschijnselen was, heeft hij getracht, deze bij zijn verdere proeven zooveel mogelijk buiten te sluiten. Hij bracht hiertoe de beide plantendeelen in een, met waterdamp verzadigde, ruimte, waarin hij de temperatuurmetingen uitvoerde, en nu steeg werkelijk de temperatuur van het levende plantendeel boven die van de omgeving.

Hiermee had hij dus voor 't eerst een hoogere eigen-temperatuur van de plant aangetoond. Hij wees er echter nadrukkelijk op, dat hij deze uitsluitend gevonden heeft bij kruidachtige deelen, voornamelijk vegetatiepunten en sterk

groeïende jonge planten; bij verhoude deelen heeft hij deze eigen temperatuur echter nooit kunnen aantonen.

Wordt er gesproken over warmte-ontwikkeling in plantendeelen dan is hiervan wel het meest bekende en meest bestudeerde voorbeeld: de familie der Araceae. Het eerst werd dit verschijnsel door LAMARCK in 1777 waargenomen en sinds dien hebben talrijke onderzoekers zich er mede bezig gehouden (DE SAUSSURE, TREVIRANUS, VROLIK en DE VRIESE, RASPAIL, VAN BEEK en BERGSMA, LEICK).

Dat deze warmte-ontwikkeling zeer opvallend is, blijkt wel uit de wijze, waarop een zekere onderzoeker HUBERT, op het eiland Bourbon, op dit feit opmerkzaam werd gemaakt. Hij had n.l. een blinde moeder, die, op een dag in den tuin zittende, getroffen werd door een aangename bloemengeur, en bij het betasten dier bloemen bemerkte, dat deze buitengewoon warm aanvoelden. Haar zoon, aan wien zij deze ontdekking vertelde, vond hierin aanleiding temperatuurmetingen uit te voeren aan deze bloem: *Arum cordifolium*, die waarschijnlijk synoniem is met de, door VROLIK en DE VRIESE met den naam van *Colocasia odora* bestempelde plant, waarbij deze de temperatuurstijging nagingen.

Behalve TREVIRANUS en RASPAIL waren dan ook alle onderzoekers het er over eens, dat men hier inderdaad te doen had met een bepaalde warmte-ontwikkeling door de bloem zelf.

TREVIRANUS (1829) trachtte echter een verklaring te geven, die berustte op een verschil in geleidingsvermogen van de verschillende deelen der bloem, waardoor een gedeelte, dat minder goed de warmte zou wegleiden, den indruk zou maken warmer te zijn dan een ander gedeelte.

RASPAIL (1837) meende dat de temperatuurstijging van de kolf der Araceae zuiver physisch te verklaren zou zijn. De scheede om de kolf zou werken als een holle spiegel, die de zonnestrallen, na terugkaatsing, concentreerde op de kolf. Dat deze veronderstelling niet juist was, bleek we hieruit, dat de temperatuurstijging bleef bestaan, ook als de scheede was weggenomen.

Al de onderzoekingen, die tot nu toe besproken zijn, bepaalden zich eenvoudig tot de *temperatuurstijging* van planten, maar men kan zich nu ook afvragen, *hoeveel* warmte komt bij dit proces vrij, of, met andere woorden, hoeveel energie verliest de plant door afgifte van warmte aan de omgeving.

Het was BONNIER (1880—93), die het eerst heeft getracht deze vraag te beantwoorden.

Om de hoeveelheid warmte te berekenen, die door de plant aan de omgeving werd afgestaan, gebruikte hij den calorimeter van BERTHELOT, een enkele keer ook dien van REGNAULT. Wenschte hij bijv. kiemende zaden te onderzoeken, dan bracht hij deze veelal direct in het water van den calorimeter; hierin kon de kieming plaats hebben, terwijl hij in staat was de temperatuurstijging van het water van minuut tot minuut af te lezen. In andere gevallen bracht hij de planten ook in een bakje, waarvan de wanden zooveel mogelijk de warmte geleidden en dit werd dan in het water van den calorimeter geplaatst.

Uit de temperatuurstijging van het water en de waterwaarde van den calorimeter + onderdeelen kon hij dus het aantal calorïën berekenen, dat deze stijging had veroorzaakt.

Deze hoeveelheid warmte was afgegeven door een afge-

wogen hoeveelheid kiemplanten, zoodat hieruit berekend kon worden, hoeveel calorïën 1 K.G. kiemplanten per minuut afstond.

Door eenige malen dezelfde bepalingen voor een zelfde stadium te herhalen, kreeg hij parallel-uitkomsten, waarvan hij het gemiddelde als de juiste waarde aannam.

BONNIER heeft in de meeste gevallen kiemplantjes voor zijn proeven gebruikt; deze geven betrekkelijk veel warmte af en nemen weinig ruimte in beslag, zoodat hij met een groot aantal tegelijk kon werken. Zooals reeds gezegd is, liet hij de kieming somtijds geheel onder water plaats hebben. Dit lijkt nu, vooral met het oog op de warmte-ontwikkeling, zeker geen gunstige omstandigheid; al heel gauw zal bij gebrek aan vrije zuurstof de normale ademhaling plaats maken voor de intramoleculaire, waarmee het warmte-effect tevens beïnvloed zal zijn. De gevallen, waarbij de kieming gewoon in de lucht in het binnenste bakje plaats had, zijn zeker veel gunstiger, ofschoon hier ook de hoeveelheid zuurstof zeer beperkt is; 't was dus van belang de proeven zoo snel mogelijk te laten afloopen.

Tevens is bij deze proeven een zaak van groot gewicht, dat de zaden, vóór ze in den calorimeter worden gebracht, precies dezelfde temperatuur hebben als het water; is dit niet het geval, dan leest men in de temperatuurstijging natuurlijk uitsluitend de temperatuuruitwisseling van een kouder met een warmer lichaam af, en houdt dit in de verste verte geen verband met kiemingsprocessen. Een klein temperatuurverschil moet de uitkomsten reeds onbruikbaar maken, daar de hoeveelheid ontwikkelde warmte toch altijd slechts zeer gering

is, en dus door een dergelijke fout niet meer waarneembaar wordt.

Behalve bij de kieming heeft BONNIER ook de warmteontwikkeling tijdens de vegetatieve periode en tijdens den bloei nagegaan; in het eerste geval vond hij deze steeds = 0.

Ter vergelijking van de hoeveelheid energie, als warmte aan de omgeving afgestaan, heeft hij bovendien berekend het aantal caloriën, bij de ademhaling in vrijheid gesteld, dit laatste zoowel afgeleid uit de hoeveelheid uitgedemd CO_2 als uit de opgenomen hoeveelheid O_2 , aannemend dat al de zuurstof gebruikt werd om koolhydraten geheel tot CO_2 te verbranden.

De *gemeten* warmte duidde hij aan met Q_m , de in vrijheid gestelde energie uit CO_2 berekend als Q_c en die uit O_2 berekend als Q_o .

Uit zijn waarnemingen is nu gebleken, dat tijdens de kieming $Q_m > Q_o > Q_c$ was; tijdens de vegetatieve periode was $Q_m = 0$ en $Q_o \underline{\underline{>}} Q_c$ en tijdens den bloei $Q_m < Q_c \underline{\underline{\leq}} Q_o$.

Wat hier vooral opvalt is, dat tijdens de kieming de hoeveelheid caloriën, als warmte aan de omgeving afgestaan, *groter* zou zijn, dan die berekend kon worden uit de opgenomen zuurstof of het uitgedemde koolzuur, daar het toch voor de hand ligt te veronderstellen, dat tenminste een gedeelte van de energie, bij de ademhaling vrijkomend, voor andere doeleinden gebruikt zal worden bij den opbouw van de plant, zoodat men zou verwachten, dat het aantal caloriën, als warmte aan de omgeving afgestaan, *kleiner* zou zijn dan de beide berekende waarden.

Op de cijfers, door BONNIER uit zijn waarnemingen berekend,

zal ik nog in een volgend hoofdstuk terugkomen, waar de gegevens, in de literatuur gevonden, vergeleken worden met mijn eigen resultaten.

RODEWALD (1887) meende, dat het ondoenlijk was, calorimetrisch de warmte-ontwikkeling van plantendeelen te bepalen. Voor dergelijke waarnemingen was, volgens hem, een vereischte, dat de warmte-ontwikkeling betrekkelijk groot was en binnen korten tijd te bepalen. Daarom was, zoo meende hij, de eenig bruikbare methode de planten zelf als calorimetrische massa te beschouwen, waarvan de soortelijke warmte eerst bepaald moest worden. Hierbij moest het warmte-verlies in rekening gebracht worden, dat afhankelijk was van den tijd, van het temperatuurverschil met de omgeving en van het oppervlak van het plantendeel.

Voor deze bepalingen gebruikte hij een appel, waarvan hij het temperatuurverschil met de omgeving mat, door middel van een complex van thermonaalden met zeer veel soldeerplaatsen. De even soldeerplaatsen werden in den appel gestoken, de oneven bevonden zich in de lucht. Was de warmte-ontwikkeling nu gelijk geworden aan het warmteverlies door uitstraling, dan zou er een constant temperatuurverschil blijven bestaan.

Door berekening vond hij het aantal kaloriën, dat door den appel per uur ontwikkeld was; vergeleek hij dit met de hoeveelheid energie bij de ademhaling vrijkomend, dan waren deze hoeveelheden ongeveer aan elkaar gelijk. Alle vrijgekomen energie zou dus als warmte aan de omgeving zijn afgestaan.

In een publicatie van twee jaren later sprak RODEWALD echter het vermoeden uit, dat de warmte-afgifte misschien wel 30 % kleiner was geweest dan door berekening werd

gevonden, door verschillende waarschijnlijke fouten, bij waarneming en berekening binnengeslopen. In dit geval zou er nog een batig saldo van vrije energie overblijven. Tot een bepaald resultaat hebben deze proeven dus eigenlijk niet geleid.

De eenige, die na BONNIER en RODEWALD nog een poging in deze richting heeft gewaagd, is PEIRCE geweest. Nadat er in 1908 van PEIRCE een publicatie was verschenen over de temperatuurstijging, veroorzaakt door de kieming van erwten in Dewar'sche flesschen, heeft hij naderhand getracht hieruit de hoeveelheid ontwikkelde warmte te berekenen. Deze resultaten zijn in 1912 gepubliceerd. Het principe van deze proeven is in het kort het volgende: Dewar'sche flesschen werden in een kamer van ongeveer constante temperatuur geplaatst; nadat de waterwaarde van deze flesschen bepaald was, werden er kiemende zaden in gebracht, waarna uit de temperatuurstijging en de waterwaarde de hoeveelheid ontwikkelde warmte werd berekend.

Om de waterwaarde van zulk een Dewar'sche flesch te bepalen werden er 200 c.M³ water van een bekende temperatuur in gegoten; het water moest in de flesch dalen in temperatuur door het afgeven van warmte aan de wanden, thermometer enz.; waren deze alle op gelijke temperatuur gekomen, dan zou de temperatuurverandering van het water ophouden, in zooverre, dat de snellere daling plaats maakte voor een geringe en langzame, tengevolge van uitwisseling met de omgeving. Deze wordt in een Dewar'sche flesch wèl zeer belemmerd, geheel verhinderd wordt zij niet.

Hier volgt een tabel, ontleend aan de publicatie van PEIRCE, waaruit de wijze van berekening blijkt.

Temperatuur Dewar'sche flesch (leeg)	=	27.6° C.
„ H ₂ O (bij het ingieten)	=	45° „
Deze temperatuur daalde tot	=	43.2° „
Temperatuurverlies H ₂ O	=	1.8° „
Aantal verloren caloriën	=	360.
Temperatuurstijging der flesch	=	15.6° „
Aantal caloriën, noodig om flesch 1° in temperatuur te doen stijgen	=	23.07.

De waterwaarde van Dewar'sche flesch + thermometer was volgens deze waarneming dus 23.07.

Daarna werd op dezelfde wijze nog eens de waterwaarde bepaald van de Dewar'sche flesschen, wanneer zich daarin 75 gram erwten (ongekiemde) bevonden. Door van deze laatste waterwaarde, die van flesch en thermometer af te trekken, hield men de waterwaarde van de erwten over.

Bij de daaropvolgende beschrijving van een proef, werd uit de temperatuurstijging \times waterwaarde [van droge erwten + geabsorbeerd water + apparaat] het aantal vrijgekomen caloriën berekend. Tevens werd een correctie aangebracht voor de uitstraling, die, voor zooverre de berekening uit de korte aanduidingen te begrijpen is, echter noodzakelijk te klein moet zijn. Deze correctie zou n.l. grooter moeten worden, naarmate het temperatuurverschil met de omgeving toenam. Dat dit werkelijk het geval is geweest, blijkt noch uit de graphische voorstelling, noch uit de berekeningen.

Wat de waarneming zelf nu verder betreft, zoo werden de temperatuurmetingen 7 dagen lang voortgezet; de som van de hoeveelheden warmte, dagelijks berekend als te zijn vrijgekomen, werd door PEIRCE geïdentificeerd met de hoe-

veelheid warmte tijdens de kieming in vrijheid gesteld. Deze som, door 7 gedeeld, werd beschouwd voor te stellen de warmte per dag bij de kieming ontwikkeld.

Hiertegen is nu nogal veel in te brengen: ten eerste zal de kieming in deze afgesloten ruimte zeker niet 7 dagen lang normaal plaats hebben, wat door PEIRCE zelf erkend werd, daar hij meedeelde, dat de inhoud van één flesch er nog frisch uit zag, de andere erwten waren echter alle aan het gisten, of met zijn eigen woorden: „the peas in flask 1 were fairly rotten, in flask 3 and 6 the peas were about equally bad, but decidedly less rotten than in 1”. Het is dus zeker te betwijfelen, of de warmte-ontwikkeling der laatste dagen aan de kieming mocht worden toegeschreven. Voorts is de warmte-ontwikkeling de eerste dagen stellig niet even groot als later, zoodat een gemiddelde hoeveelheid warmte per dag berekend, nog naar verhouding groote verschillen moest vertoonen met de warmte, die werkelijk gedurende de opeenvolgende dagen bij de kieming was vrijgekomen.

De ongunstigste invloed op de verkregen uitkomsten was echter zeker wel de te kleine correctie aangebracht voor de uitstraling, zoodat dit noodzakelijk ten gevolge moest hebben, dat de berekende waarden te laag uitvielen.

Wanneer PEIRCE dus, bij de berekening van de kiemingswarmte per K.G. in één minuut ontwikkeld, tot de ontdekking komt, dat de waarde, die hij hiervoor vond, aanmerkelijk lager is dan de door BONNIER opgegeven waarde, is het zeer de vraag of PEIRCE op grond van deze waarnemingen mag zeggen, dat de waarden, door BONNIER gevonden, te hoog zijn.

Ten slotte volgt een theoretische beschouwing. Terwijl PEIRCE eerst de meening was toegedaan, dat de ademhaling het voornaamste middel was om het levende organisme van vrije energie in den vorm van warmte te voorzien, is hij nu van meening veranderd. Warmte is, evenals koolzuur, een eindproduct van de ademhaling. Voor zoover de warmte niet wordt gebruikt om in arbeid te worden omgezet, of een vaste, gunstige temperatuur te handhaven, beschouwt hij deze voor even onnoodig als onvermijdelijk. Het zou zelfs een gevaarlijk eindproduct zijn, zooals een organisme in koortstoestand aantoonst. De planten hebben naar verhouding een groot oppervlak, vergeleken bij hun inhoud en kunnen zich dus door uitstraling gemakkelijk ontdoen van de overtollige warmte. Waar bij dieren de verhouding oppervlakte : inhoud veel ongunstiger is, zouden de circulatie-organen dienen om een afgifte van warmte te bevorderen.

Terwijl de voorgaande onderzoekers zich dus bezighielden met de warmte-ontwikkeling in de plant, richtten de volgende schrijvers hunne aandacht op de chemische energie-omzettingen tijdens de kieming.

Een belangrijk en nauwgezet onderzoek hierover is uitgevoerd door RODEWALD (1883).

De bepalingen, die hij hiervoor heeft gedaan, zijn de volgende:

1°. Een bepaling van het verlies in drooggewicht bij de kieming, veroorzaakt door het verdwijnen van CO_2 en H_2O (door oxydatie).

2°. Elementair analysen, vóór en na een zekeren kiemings-

duur, waaruit hij de hoeveelheden opgenomen O_2 en afgegeven CO_2 en H_2O kon berekenen.

3°. Bepaling van het energie-verlies bij het kiemingsproces.

Dit laatste werd berekend, door de verbrandingswarmte te bepalen, volgens de methode van FRANKLAND en STOHMANN. Om volledige oxydatie van de te onderzoeken stoffen te bewerken, werden deze gemengd met $KClO_3$. De warmte, bij de verbranding vrijkomend, werd gemeten door middel van een ijscalorimeter; de gassen, die hierbij ontstonden, werden door een lange gewonden buis, over een groote uitgestrektheid door den calorimeter gevoerd, zoodat zij nog zooveel mogelijk hun warmte konden afgeven.

Als indicator van de hoeveelheid vrijgekomen warmte diende kwik, dat, naarmate er meer ijs smolt, in grooter hoeveelheid naar binnen werd gezogen. Door ijsken werd bepaald, hoe groot het gewicht van het kwik was, dat bij de vrijkoming van de warmte-eenheid naar binnen verdween; zodoende kon men hierna omgekeerd het aantal kaloriën berekenen uit het gewicht van het opgenomen kwik.

Door de wijze, waarop de verbranding plaats had, werd het echter noodzakelijk nog verschillende correcties aan te brengen. Om te beginnen moest natuurlijk de omzetting van het $KClO_3$ in rekening worden gebracht; vervolgens werd o. a. rekening gehouden met de warmte, ontstaan door de wrijving van de verbrandingsgassen langs den wand van de buis, met de afkoeling door uitzetting dier gassen enz.

Al deze correcties aanbrenghend, kon RODEWALD berekenen, hoe groot het energie-verlies tijdens een bepaalden kiemings-

duur was geweest. Het energie-verlies, op deze manier bepaald, moest overeenstemmen met de hoeveelheid energie in vrijheid gekomen door de, uit de elementair analyse berekende, hoeveelheid verademd materiaal. RODEWALD vond nu echter, dat dit laatste bedrag aanmerkelijk grooter was en maakte dus de veronderstelling, dat een deel van de energie van het ademhalingsmateriaal behouden was gebleven door de vaste stof, of dat anders misschien energie van buiten was opgenomen. (de kieming had in het donker plaats). Wat het eerste punt betreft, zoo overwoog RODEWALD, dat van de koolhydraten zetmeel de grootste verbrandingswarmte had, zoodat bij de vorming van cellulose enz. geen energie gebonden kon zijn. Evenmin was dit het geval bij de vorming van verschillende organische zuren, die in planten konden voorkomen, en zóó bleef hem niets anders over, dan te veronderstellen, dat de eiwitten tijdens de kieming energie hadden opgenomen, misschien hierdoor, dat de som van de chemische energie der splitsingsproducten van eiwitten grooter was, dan die der onge-splitste eiwitten. In dit geval zouden de eiwitten het vermogen hebben, vrije warmte in potentieele energie om te zetten.

Ten slotte wees RODEWALD er op, dat, wanneer hij nu tevens de warmte-ontwikkeling had kunnen meten, die bij de kieming plaats heeft, hij had kunnen nagaan welk gedeelte van de energie werd teruggehouden, om arbeid voor de kiemingsprocessen te verrichten. De gegevens van BONNIER kon hij niet ter vergelijking gebruiken, daar deze waarden volgens hem veel te hoog waren. Deze vond dat 1 gram kiemende zaden per minuut van 0 tot 120 caloriën konden afstaan. Gemiddeld zou dit dus 60 caloriën per minuut zijn

geweest. De verbrandingswarmte van 1 gram rogge, boonen of erwten was ± 4800 caloriën; kwamen dus bij de kieming 60 cal. per min. vrij, dan zouden de zaden in $\frac{4800}{60} = 80$ min. geheel geoxydeerd zijn, wat natuurlijk een onmogelijkheid was.

Hierbij dient echter in het oog gehouden te worden, dat RODEWALD zich hier beriep op een korte publicatie van BONNIER in 1880, toen deze inderdaad ook nog maar zeer onzekere resultaten met zijn calorimetrische proeven had verkregen. Had RODEWALD gebruik kunnen maken van de gegevens, door BONNIER in 1893 gepubliceerd, dan had hij hierin waarschijnlijk wel een betere aanvulling van zijn eigen waarnemingen gevonden.

Een jaar na RODEWALD verscheen er een publicatie van WILSING (1884), die de bovengenoemde proeven precies zoo heeft overgedaan, maar hierbij tot het tegenovergestelde resultaat kwam. Berekende hij n.l. de hoeveelheid energie, vrijkomend bij de oxydatie van het verdwenen ademhalingsmateriaal, dan vond hij, dat deze steeds *kleiner* was, dan het energie-verlies, dat hij vond door het verschil in verbrandingswarmte. WILSING'S conclusie was dus: de bij de kieming door stofwisseling vrijkomende energie wordt geheel in actueele energie omgezet. Geen ophooping van potentieele energie in de droge stof van de kiemplanten vindt plaats. Met andere woorden, het energie-verlies in kiemend zaad verloopt precies hetzelfde als wanneer dezelfde processen zich buiten de plant hadden afgespeeld.

Wat ten slotte betreft de hoeveelheid vrijgekomen energie, berekend uit de hoeveelheid, uitgedamd koolzuur, zoo hebben

zoowel BONNIER als RODEWALD en WILSING zich zelf de noodige gegevens hiertoe verschaft. Heeft men echter bij het nemen der proeven niet tevens de hoeveelheid uitgedemd koolzuur bepaald, dan moet men deze waarden uit andere publicaties trachten te vinden. Ik heb hierop nu voornamelijk nageslagen het onderzoek van KUYPER (1909) over „De invloed der temperatuur op de ademhaling der hoogere planten”. Hier vindt men ook een uitgebreid literatuur-overzicht over het onderwerp: ademhalingsintensiteit bij verschillende temperaturen.

Dit dus omtrent de hoeveelheid uitgedemd koolzuur. Wil men hieruit het bij-behoorend aantal vrijgekomen kaloriën berekenen, dan moet men zich in elk bijzonder geval allereerst afvragen, welke stoffen naar alle waarschijnlijkheid het uitgangspunt hebben gevormd voor de ademhalingsprocessen. Naar gelang men te doen heeft met zaden, die voornamelijk zetmeel, eiwit of vet als reservestoffen bevatten, zal dit uitgangspunt en tevens het calorisch effect der ademhaling verschillend zijn.

Men berekent dus het aantal kaloriën, dat vrij komt bij volledige oxydatie der grondstof tot koolzuur en wel voor die gewichtshoeveelheden, die men kan berekenen uit de gevonden hoeveelheid uitgedemd CO_2 .

Hierin is natuurlijk veel willekeurigs, daar men alleen het begin- en eindpunt der reacties kent, terwijl de tusschenliggende reacties voor een groot gedeelte slechts onvolledig bekend zijn.

Het Energie-verlies bij de kieming, berekend uit de verbrandingswarmte.

Voordat ik tot de bespreking van de proeven ter bepaling der verbrandingswarmte overga, wil ik nog even uiteenzetten, hoe deze verbrandingswarmte zich verhoudt tot het energieverlies.

Bij de kieming worden de reservestoffen, die in de zaden zijn opgehoopt, en die, van welken aard zij ook mogen zijn, steeds hoog-moleculaire verbindingen vormen, omgezet in verbindingen uit een minder groot aantal atomen bestaande en gedeeltelijk zelfs geheel afgebroken tot CO_2 en H_2O .

Tegenover deze reeks van exothermische processen, waarbij, wanneer er niets anders gebeurt, warmte vrij zal komen, die door uitstraling aan de omgeving afgegeven zal worden, staan nu tal van endothermische reacties. De splitsingsproducten worden gedeeltelijk vervoerd naar plaatsen, waar ze moeten dienen de nieuwe plant op te bouwen; hier worden ze gebruikt voor de vorming van celwanden, opbouw van protoplasma enz. enz.; uit minder gecompliceerde verbindingen worden dus weer hooger-moleculaire teruggevormd. De energie bij de exothermische processen in vrijheid gekomen, zal dus weer voor een gedeelte voor de tot-stand-koming van deze processen gebruikt worden.

Een ander deel van de vrijgekomen energie dient om in-

en uitwendige weerstanden te overwinnen en om osmotischen druk te doen ontstaan.

Een osmotische druk vertegenwoordigt een zekere hoeveelheid potentieele energie. PFEFFER bespreekt in zijn „Studiën zur Energetik der Pflanze” (1892) hoe de osmotische druk in zekeren zin onafhankelijk is van chemische energie-potentiaalen. Zoo is het bijv. bij het ontstaan van osmotischen druk van geen belang, of deze veroorzaakt wordt door aanwezigheid van glucose, gevormd onder gering energie-verlies uit zetmeel of onder véél warmte-ontwikkeling uit olie bij het ademhalingsproces of ten slotte door de energie der zonnestralen in het chlorophyl-apparaat. Deze onderlinge onafhankelijkheid vergelijkt PFEFFER met de hoeveelheid energie bij de constructie van een machine gebruikt, en die in geenerlei verhouding staat tot de energie, die de machine later in staat zal zijn te leveren.

Deze vergelijking is zóó op te vatten, dat zij alleen geldt, wat betreft het in 't leven roepen van een systeem, dat een osmotischen druk zal kunnen vertoonen, maar pas nadat de omstandigheden hiertoe gunstig zijn geworden, d. i. wanneer het systeem is gebracht in het oplosmiddel. Het ontstaan van dit systeem gaat dus niet direct gepaard met het optreden van een osmotischen druk.

Beschouwt men echter het oplosmiddel als behoorend tot het systeem, dan ontstaat er bij de vorming van glucose binnen den semipermeabelen wand wél dadelijk een osmotische druk. In dit laatste geval is bovenstaande vergelijking niet meer van toepassing, dan vertoont de osmotische druk niet een dergelijke onafhankelijkheid van de energie, noodig

voor de vorming der stoffen, die dezen druk veroorzaken, als dit bij de constructie van een machine het geval is.

Dit blijkt bij een nadere beschouwing dezer kwestie, die het best te bespreken is naar aanleiding van een uiteenzetting door NATHANSOHN in zijn „Stoffwechsel der Pflanzen” (1910) gegeven. Deze beschouwt het omgekeerde, hypothetische geval. Er heerscht binnen een semipermeabelen wand een zekere osmotische druk ten gevolge van de aanwezigheid van opgeloste suikers binnenin. Deze osmotische druk kan evengoed verdwijnen door de vorming van zetmeel uit deze suikers (endothermisch) als door verbranding van deze suikers tot koolzuur. Bij de beschouwing van het eerste geval is op te merken, dat wanneer in een omgeving, waar een bepaalde osmotische druk heerscht, zetmeel uit suikers wordt gevormd, het evenwicht ten gunste van het zetmeel verschoven wordt, dit heeft n.l. verlaging van den osmotischen druk tengevolge. Er is nu voor de vorming van zetmeel in deze omgeving zooveel minder energie noodig, als er verloren gaat door het potentiaal-verschil van den osmotischen druk.

Wordt daarentegen de druk verlaagd door de verbranding van suikers, dan moet men hierbij in het oog houden, dat bij de vorming van deze suikers binnen den semipermeabelen wand meer energie noodig is geweest, dan uitsluitend voor de chemische endothermische reactie, omdat bij het ontstaan de osmotische druk verhoogd werd. Zóóveel meer energie is voor de vorming noodig geweest, als met het potentiaal-verschil van den osmotischen druk bij het begin der synthese en na afloop daarvan, overeenkomt. Bij de verbranding zal dus omgekeerd deze overmaat van energie weer vrijkomen.

De chemische energie-potentiaal van een reactie is dus niet van een bepaalde grootte, maar hangt gedeeltelijk af van de voorwaarden, waaronder de reactie plaats heeft. Wordt daarbij een osmotische potentiaal te voorschijn geroepen, dan is de hoeveelheid van de, bij de omzetting vrijkomende energie zooveel kleiner, of voor een endothermische omzetting is zooveel méér energie noodig, als met de hoogte van het potentiaal-verschil overeenkomt.

In dit geval bestaat er dus wel degelijk een zekere afhankelijkheid tusschen den osmotischen druk en de hoeveelheid energie, noodig voor de vorming der stoffen, die dezen druk veroorzaken.

De totale hoeveelheid energie, die bij de kieming in vrijheid wordt gesteld, is echter grooter dan diegene, die uitsluitend noodig is voor den gang der levensprocessen, want uit de temperatuurstijging van kiemplanten is wel duidelijk gebleken, dat er nog een overschot van vrije energie als warmte wordt afgegeven.

Bepaalt men de verbrandingswarmte van zaden en kiemplanten, dan zal men vinden, dat deze tijdens de kieming afneemt. De energie, die men niet meer door de verbrandingswarmte kan aantoonen, is diegene, die 1^e als warmte aan de omgeving is afgestaan, 2^e voor osmotischen druk is verbruikt, 3^e voor overwinning van weerstanden is aangewend.

De energie echter, die tijdens de kieming weer voor den opbouw van de plant is gebruikt en als chemische energie is vastgelegd, wordt wèl aangetoond door de verbrandingswarmte. Hoe groot deze hoeveelheid energie is geweest, die

een zóó gewichtige rol bij de kieming heeft gespeeld, is uit de verbrandingswarmte nièt af te leiden.

De verbrandingswarmte heb ik bepaald door middel van de bombe van BERTHELOT, tot het uitvoeren van welke waarnemingen Professor COHEN mij, met de grootste welwillendheid, in zijn laboratorium de gelegenheid heeft verschaft.

Uit de proeven van RODEWALD en WILSING is gebleken, hoe ingewikkeld de berekeningen van de verbrandingswarmte waren, wanneer men te werk ging op de manier, waarop zij dat deden. Door de bepalingen met behulp van bovengenoemde bombe te doen, worden de berekeningen echter heel wat eenvoudiger.

Deze bombe ¹⁾ is een nikkelen vat, dat van binnen met een laag platina, of, wat goedkooper en even doelmatig is, met email bedekt is. Hierin heeft de verbranding plaats. De stof, die men wenscht te onderzoeken, wordt op een platina lepeltje, dat aan de deksel bevestigd is, gebracht, de deksel wordt dichtgeschroefd en met behulp van een schroefventiel in deze laatste wordt de bombe gevuld met zuurstof, tot een drukking van 20 atmosferen.

Nu wordt de bombe in het water van een calorimeter geplaatst, waarvan, onder sterk roeren, de temperatuur tot op $\frac{1}{1000}^{\circ}$ nauwkeurig kan worden afgelezen.

Om de verbranding in te leiden, dient de volgende inrichting: vlak boven het platina lepeltje is een haarfijn ijzerdraadje, van bekende lengte, in een aantal windingen aangebracht; dit is bevestigd aan twee platina draden, die, geïsoleerd door

1) Zie: OSTWALD-LUTHER. Physiko-Chemische Messungen. 3^e Auflage, 1910, blz. 327.

de deksel heen, naar buiten treden. Door deze uiteinden met de beide polen van een kleine batterij te verbinden, kan men een zwakke stroom er door heen sturen, die het ijzerdraadje doet gloeien en verbranden. Hierdoor zal de stof, waarvan de verbrandingswarmte bepaald moet worden, en die zich in een atmosfeer van zulk een hooge zuurstofspanning bevindt, direct ontbranden.

Dit kan in de bombe niet gepaard gaan met volumevergrooting; de gassen, die bij de verbranding ontstaan, en de zuurstof, die zich bij de warmte-ontwikkeling zou willen uitzetten, blijven alle besloten in dezelfde ruimte als vóór dien tijd, volumeverandering is hierin onmogelijk. Zoodoende komt dus al de warmte, die bij de verbranding ontstaat, als zoodanig vrij en kan berekend worden door de temperatuurstijging van het water in den calorimeter.

De waterwaarde van de bombe + thermometer enz. zal natuurlijk bepalen, hoe hoog de temperatuurstijging zal zijn bij het vrijkomen van een bepaald aantal calorieën. Men moet dus beginnen met het toestel te ijken; dit gebeurt, door er een stof van een bekende verbrandingswarmte, (in dit geval naphthaline) in te verbranden. Bij deze voorproeven en later moet men er op letten, dat het water, waarvan nauwkeurig het gewicht bepaald moet zijn, steeds tot op dezelfde hoogte ten opzichte van de bombe komt te staan, want eigenlijk brengt men bij de berekening der waterwaarde alleen dat gedeelte der bombe in rekening, dat onder water is gedompeld; het gedeelte, dat er boven uitsteekt, wisselt met de buitenlucht uit van temperatuur, hierop heeft men echter geen controle.

Bij de berekening dient men verder in het oog te houden,

dat er behalve de stof, waarvan men de verbrandingswarmte wil bepalen, nog twee andere warmtebronnen zijn, die in rekening gebracht moeten worden. Ten eerste door de verbranding van het ijzerdraadje; is het gewicht hiervan nauwkeurig bepaald, dan kan men uit de verbrandingswarmte van ijzer, die bekend is, berekenen, hoeveel caloriën in dit geval zijn vrijgekomen.

De tweede bron van warmte-ontwikkeling wordt veroorzaakt door de verbranding van de stikstof, die in de bombe aanwezig is. Om de grootte hiervan te bepalen, brengt men in de bombe altijd een bepaalde hoeveelheid water (hier 10 c.M³) aan, waarin het ontstane N₂O₅ oplost, onder vorming van HNO₃. De concentratie van dit zuur wordt na afloop getitreerd; uit de bekende vormingswarmte van HNO₃ kan men dus berekenen, hoeveel caloriën dientengevolge zijn vrijgekomen.

Om het toestel te ijken werd wat naphtaline tot een pastille geperst; het gewicht hiervan was 0.6084 gr. Nu werd de pastille op het lepeltje gelegd, de bombe dichtgeschroefd en gevuld met zuurstof, tot een druk van 20 atmosferen.

De bombe werd toen in den calorimeter geplaatst, en deze werd met water gevuld tot een bepaalde hoogte; dit water had geruimen tijd in dezelfde kamer gestaan als de calorimeter, zoodat het temperatuurverschil gering was. Onder sterk roeren werd geregeld de temperatuur afgelezen. Nadat de stijging, door uitwisseling met de omgeving, voldoende regelmatig was geworden, werd deze met een tusschentijd van 30 sec. eenige minuten lang nagegaan. Dan werd de

stroom gesloten, waardoor de verbranding plaats had; de temperatuur van het water steeg nu gedurende eenigen tijd snel, om ten slotte weer een langzame verandering, door uitstraling, te vertoonen.

Hier volgen de aanteekeningen voor een dergelijke ijkproef.

	Temperatuur van het water.	Temperatuur- stijging per $\frac{1}{2}$ min.	
0 min.	15.526°		Gemiddelde stijging per $\frac{1}{2}$ min. = 0.001°.
30 sec.	15.527°	0.001	
1 min.	15.528°	0.001	
30 sec.	15.528°	0.000	
2 min.	15.530°	0.002	
30 sec.	15.530°	0.000	
3 min.	15.532°	0.002	
30 sec.	15.534°	0.002	
4 min.	15.534°	0.000	
30 sec.	15.535°	0.001	
5 min.	15.536°	0.001	
30 sec.	15.537°	0.001	
6 min.	!!! (verbranding).		
15 sec.	15.6°		

	Temperatuur van het water.	Temperatuur- stijging per $\frac{1}{2}$ min.
30 sec.	15.8°	
45 sec.	16.3°	
7 min.	16.8°	
15 sec.	17.0°	
30 sec.	17.1°	
45 sec.	17.12°	
8 min.	17.18°	
15 sec.	17.20°	
30 sec.	17.21°	
45 sec.	17.220°	
9 min.	17.224°	
15 sec.	17.230°	
30 sec.	17.234°	
45 sec.	17.236°	
10 min.	17.238°	
15 sec.	17.239°	
30 sec.	17.239°	
45 sec.	17.239°	
11 min.	17.239°	

	Temperatuur van het water.	Temperatuur- daling per $\frac{1}{2}$ min.	
30 sec.	17.239°		Gemiddelde daling per $\frac{1}{2}$ min. = 0.0015°.
12 min.	17.239°		
30 sec.	17.239°		
13 min.	17.239°	0.001	
30 sec.	17.238°	0.001	
14 min.	17.237°	0.001	
30 sec.	17.236°	0.002	
15 min.	17.234°	0.003	
30 sec.	17.231°	0.002	
16 min.	17.229°	0.003	
30 sec.	17.226°	0.002	
17 min.	17.224°	0.002	
30 sec.	17.222°	0.001	
18 min.	17.221°	0.001	
30 sec.	17.220°	0.000	
19 min.	17.220°	0.002	
30 sec.	17.218°	0.001	
20 min.	17.217°	0.001	
30 sec.	17.216°		

De waargenomen temperatuurstijging na de verbranding was $17.239 - 15.538 = 1.701^\circ$. De temperatuuordaling begon pas na 7 minuten; voor dit interval moest dus een correctie voor de uitwisseling in rekening worden gebracht, groot $-(7 \times 0.001^\circ) + (7 \times 0.0015^\circ) = + 0.003^\circ$.

De berekende temperatuurstijging was $1.701 + 0.003 = 1.704^\circ$.

Aantal caloriën bij de verbranding vrijgekomen.

Gewicht naphthaline = 0.6084 gr.

De verbrandingswarmte van naphthaline
= 9668 cal. per gr.

De verbrandingswarmte voor 0.6084 gr.
naphthaline = 5882.0112 cal.

Het gevormde HNO_3 werd geneutraliseerd
door 3.6 c.M³ NaOH $\frac{1}{10}$ n.

Er was gevormd 0.00036 mol. HNO_3 .

De vormingswarmte van 1 mol. HNO_3
= 14900 cal.

De vormingswarmte voor 0.00036 mol.
 HNO_3 = 5.364 cal.

De lengte van het ijzerdraadje was 1 d.M.

1 M. woog 0.1296 gr., dus 1 d.M. 0.01296 gr.

De verbrandingswarmte van ijzer is 1572 cal.
per gr.

De verbrandingswarmte van 0.01296 gr. ijz. = 20.373 cal.

De totale verbrandingswarmte = 5907.748 cal.

Deze 5907.748 cal. hebben een temperatuurstijging van 1.704° veroorzaakt.

Het gewicht van het water in den calorimeter was 2.7645 K.G.

Voor de temperatuurstijging hiervan is gebruikt $2764.5 \times 1.704 = 4710.708$ cal.

Om de rest van den calorimeter 1.704° te doen stijgen is noodig geweest $5907.748 - 4710.708 = 1197.040$ cal.

Voor 1° temperatuurstijging van den calorimeter was noodig $\frac{1197.040}{1.704} = 702.5$ cal.

Bij deze ijkproef is dus gevonden als waterwaarde voor de bombe + thermometer, roerder enz. 702.5 cal.

Bij een tweede bepaling van de waterwaarde, eveneens door het verbranden van naphthaline, werd deze gevonden 707.7 cal.

Het gemiddelde van deze twee uitkomsten, **705.1**, is dus aan te nemen als de werkelijke waterwaarde.

Nu de waterwaarde bekend was, kon men dus omgekeerd steeds berekenen, hoeveel calorïën bij de verbranding vrij waren gekomen, wanneer men de daardoor veroorzaakte temperatuurstijging had gemeten. Er kon nu overgegaan worden tot het bepalen van de verbrandingswarmte van de tarwekorrels, vóór en nà een zekeren kiemingsduur; het verschil gaf dus het energie-verlies tijdens de kieming aan.

Vóórdat ik deze proeven bespreek, wil ik echter nog even eenige opmerkingen vooraf laten gaan, die de omstandigheden betreffen, waaronder de kieming plaats had.

De tarwekorrels, die voor de proef bestemd waren, werden eerst altijd ongekiemd gewogen. (Ze waren dan luchtdroog).

Dit gewicht vóór de kieming wordt bij de proeven als het *aanvangsgewicht* aangeduid.

In een glazen bak, met water gevuld, had de kieming plaats; op het water werd hiervoor een holle glazen ring gelegd, waarover een gaasje strak gespannen was; deze dreef aan de oppervlakte, zóó dat het gaas juist op het water rustte. Hierop werden dan de tarwekorrels gelegd, die van te voren niét in water geweekt waren. De glazen bak werd, geheel in het donker opgesteld, in een kas geplaatst, waar de temperatuur om 20° C. schommelde.

Het is nu zeker te betreuren, dat de temperatuur tijdens de kieming niet meer constant is geweest; een stijging boven- of daling onder 20° had natuurlijk vrij grooten invloed op het energie-verlies, zoodat na een gelijk aantal dagen het kiemingsstadium misschien niet altijd precies hetzelfde is geweest. Veel scheelde dit nu wel niet, daar de schommeling in den regel niet grooter was dan van 18° — 22° .

Ik heb nog getracht de zaden te laten kiemen in een kamer van constante temperatuur, zich in het laboratorium bevindend, maar het bleek, dat de kieming hier veel ongelijkmatiger en minder snel plaats had dan in de kas, wat misschien voor een groot gedeelte aan den schadelijken invloed van het gas was toe te schrijven, waarmee deze kamer op temperatuur werd gehouden, of wellicht aan een te gering vochtigheidsgehalte van de lucht. In ieder geval waren deze onregelmatigheden veel grooter dan die, tengevolge van de temperatuurschommelingen in de kas, zoodat voor het leveren

van vergelijkingsmateriaal de kas zeker verre te verkiezen was boven de kamer van constante temperatuur.

Voordat de tarwekorrels nu verbrand werden, moesten ze gedroogd worden; dit gebeurde door hen eenigen tijd in een droogstoof op 100° te verhitten. De ongekiemde tarwekorrels, of diegene, die nog slechts weinig gekiemd waren, konden zóó in hun geheel op het plátina lepeltje in de bombe gebracht worden. Waren de korrels al in een verder kiemingsstadium, dan werden de worteltjes nà het drogen zóó bros, dat ze niet zonder af te breken in de bombe gebracht konden worden; vielen ze hierbij van het lepeltje af, dan was de kans op onvolledige verbranding zeer groot. Het was dus beter, deze kiemplanten, nadat ze gedroogd waren, in een mortier fijn te poederen, en hen zóó fijn gewreven op het lepeltje te brengen.

Voordat de korrels (voor deze proeven telkens 100 tegelijkertijd) te kiemen werden gezet, werd het gewicht dus nauwkeurig bepaald. Daarna werden de, in de droogstoof gedroogde, kiemplanten weer gewogen. Het lepeltje was te klein om er dezen geheelen voorraad op te brengen; daarom moest het gedeelte, dat voor de proef gebruikt werd, ook gewogen worden; zodoende was dit gedeelte dus een bekende fractie van het eerst bepaalde drooggewicht, zoodat de verbrandingswarmte voor dit gewicht eenvoudig door vermenigvuldiging berekend kon worden.

Nu is het nog een punt van overweging geweest, of misschien dit drogen bij 100° een merkbaren invloed op het energie-verlies kon hebben. Het is mogelijk dat, voordat de kiemplanten zóó hoog in temperatuur waren gestegen, dat

de enzymwerking vernietigd werd, er nog tijdelijk door verhoogde enzymwerking omzettingen plaats zouden hebben, waardoor een grooter energie-verlies zou gevonden worden, dan alleen aan de kieming was toe te schrijven.

Om dit uit te maken, werd een portie gekiemde tarwekorrels aan een andere voorbehandeling onderworpen; deze werden n.l. gedood door afkoeling in een mengsel van vast koolzuur en aether. Dit mengsel bevond zich in een Dewar's glas; de kiemplanten, in een reageerbuis, werden nu in dit mengsel gebracht, en zóó lang aan deze lage temperatuur blootgesteld, tot men kon aannemen, dat ze geheel bevroren waren. Daarna werden ze weer in de droogstoof gedroogd. Al is het nu ook niet buitengesloten, dat de enzymen nog niet vernietigd zijn door deze sterke afkoeling, zoo is hun werking hierdoor toch zeker sterk vertraagd. Bij het snelle doormaken van het interval tusschen deze lage temperatuur tot 100° zal waarschijnlijk de werking der enzymen door de hooge temperatuur al geheel vernietigd zijn, voordat zij door de gunstige temperaturen merkbaar versneld kan zijn. Was de wijze van voorbehandeling dus van belangrijken invloed op het te bepalen energie-verlies, dan zouden de uitkomsten der verbrandingswarmte, na deze verschillende behandelingen, merkbare verschillen moeten vertoonen. Dit bleek nu niet het geval te zijn. Klaarblijkelijk zijn deze beide methoden van voorbehandeling dus van weinig belang voor de resultaten.

Daar de bewerking in de droogstoof alleen veel minder omslachtig was, werd deze methode dus in het vervolg uitsluitend toegepast.

Als voorbeeld van den gang der proeven, zal ik nu weer de volledige beschrijving van één dezer laten volgen, terwijl ik van de overige dan alleen de uitkomsten, in een tabel samengesteld, zal geven.

Aanvangsgewicht van 100 tarwekorrels = 4.6626 gram. Deze kiemden vier dagen en werden toen in de droogstoof gedood en gedroogd. Het gewicht was hierna = 4.2884 gr. Hiervan werd voor de verbranding gebruikt 0.7310 gr.

De gang van de temperatuur werd weer nagegaan; op de 5^e minuut had de verbranding plaats.

	Temperatuur van het water.	Temperatuur- stijging per $\frac{1}{2}$ min.	
0 min.	13.808°		Gemiddelde stijging per $\frac{1}{2}$ min. = 0.001°.
30 sec.	13.809°	0.001	
1 min.	13.810°	0.001	
30 sec.	13.811°	0.001	
2 min.	13.812°	0.001	
30 sec.	13.813°	0.001	
3 min.	13.814°	0.001	
30 sec.	13.815°	0.001	
4 min.	18.816°	0.001	
30 sec.	13.817°	0.001	

	Temperatuur van het water.	Temperatuur- stijging per $\frac{1}{2}$ min.
5 min.	!!! (verbranding).	
15 sec.	13.9°	
30 sec.	14.2°	
45 sec.	14.4°	
6 min.	14.56°	
15 sec.	14.60°	
30 sec.	14.62°	
45 sec.	14.64°	
7 min.	14.65°	
15 sec.	14.66°	
30 sec.	14.664°	
45 sec.	14.668°	
8 min.	14.669°	
15 sec.	14.670°	
30 sec.	14.670°	
45 sec.	14.672°	
9 min.	14.672°	
15 sec.	14.673°	

	Temperatuur van het water.	Temperatuur- daling per $\frac{1}{2}$ min.	
30 sec.	14.673°		} Gemiddelde daling per $\frac{1}{2}$ min. = 0.0005°.
45 sec.	14.673°		
10 min.	14.673°		
30 sec.	14.673°		
11 min.	14.673°		
30 sec.	14.673°	0.001	
12 min.	14.672°	0.001	
30 sec.	14.671°	0.000	
13 min.	14.671°	0.000	
30 sec.	14.671°	0.001	
14 min.	14.670°	0.001	
30 sec.	14.669°	0.001	
15 min.	14.668°	0.000	
30 sec.	14.668°	0.001	
16 min.	14.667°	0.000	
30 sec.	14.667°	0.001	
17 min.	14.666°	0.000	
30 sec.	14.666°		

De waargenomen temperatuurstijging na de verbranding was
 $14.673 - 13.818 = 0.855^\circ$.

Aan te brengen correctie $-(6 \times 0.001) + (6 \times 0.0005)$
 $= -0.003^\circ$.

Berekende temperatuurstijging $0.855 - 0.003 = 0.852^\circ$.

Verbrandingswarmte tarwe. = x cal.

Verbrandingswarmte ijzerdraad . . . = 20.373

Vormingswarmte 0.00036 mol. HNO_3 . = 5.364

De totale verbrandingswarmte. . . = $25.737 + x$ cal.

Temperatuurstijging van den calorimeter = 0.852° .

Het gewicht van het water was 2.7604 K.G.

Om het water 0.852° in temperatuur te

doen stijgen zijn gebruikt $0.852 \times 2760.4 = 2351.860$ cal.

Voor de temperatuurstijging van de bombe

0.852×705.1 = 600.745 „

Totaal . . = 2952.605 cal.

2952.605 cal. = 25.737 cal. + x cal.

x cal. = 2926.868 cal., d. i. de verbrandingswarmte van
 0.7310 gr. gedroogde kiemplanten.

100 kiemplanten wogen gedroogd 4.2884 gr.

Hiervan zou de verbrandingswarmte geweest zijn $\frac{4.2884}{0.7310} \times$
 2926.868 cal.

Deze 100 tarwekorrels wogen vóór de kieming 4.6626 gr.

De verbrandingswarmte van kiemplanten van 4 dagen oud
 berekend op 1 gr. ongekiemde tarwe was, volgens deze proef:

$\frac{1}{4.6626} \times \frac{4.2884}{0.7310} \times 2926.868$ cal. = 3682 cal.

Wat de andere proeven betreft, meen ik dus te kunnen volstaan, met de gevonden verbrandingswarmte eenvoudig mee te deelen. Deze is dus steeds berekend op 1 gram ongekiemde tarwe.

De kieming had plaats bij $\pm 20^{\circ}$ C.	Verbrandingswarmte van tarwe per gr. aanvangsgewicht berekend, in gram-caloriën uitgedrukt.		
		Gemiddelde waarde.	Energie-verlies.
Ongekiemd	3748, 3774, 3778, 3794, 3797 1)	3778	} . . . 1 ^e dag 4 . . . 2 ^e dag 34 . . . 3 ^e dag 54 . . . 4 ^e dag 92 . . . 5 ^e dag 96 . . . 6 ^e dag 180 . . . 7 ^e dag
Na 1 dag kiemen .			
Na 2 dagen kiemen	3756, 3793	3774	
„ 3 „ „	3740	3740	
„ 4 „ „	3653, 3681, 3682, 3707, 3707	3686	
„ 5 „ „	3594	3594	
„ 6 „ „	3498	3498	
„ 7 „ „	3318	3318	

Uit deze cijfers bleek, dat de eerste twee dagen zeer weinig energie verloren ging; waarschijnlijk speelt den eersten dag de imbibitie een groote rol, vooral omdat de zaden vóór de kieming niet eerst geweekt werden. Dan beginnen waarschijnlijk langzamerhand de splitsingen terwijl de ademhaling in sterkte gaat toenemen. Uit de tabel is ook te zien, dat, tenminste gedurende de zeven eerste dagen, het energie-verlies elken dag in grootte toenam.

1) De uitkomsten der parallelbepalingen zijn volgens opklimmende grootte en niet chronologisch gerangschikt.

Vatt'e men deze waarden van het energie-verlies in een graphische voorstelling samen, dan kreeg men dus een lijn, die, nagenoeg horizontaal beginnend, steeds steiler ging stijgen.

Uit het energie-verlies gedurende de verschillende dagen kon men ten slotte het energie-verlies per uur per K.G. aanvangsgewicht ongeveer berekenen.

Na twee dagen was het energie-verlies per gram aanvangsgewicht 4 caloriën.

Gedurende den 1^{en} en 2^{en} dag was het energie-verlies per uur per K.G. aanvangsgewicht ongeveer $\frac{1000}{48} \times 4 = 83$ cal.

Hetzelfde voor den 3^{en} dag . . . $\frac{1000}{24} \times 34 = 1417$ cal.

„ „ „ 4^{en} dag . . . „ $\times 54 = 2250$ cal.

„ „ „ 5^{en} dag . . . „ $\times 92 = 3833$ cal.

„ „ „ 6^{en} dag . . . „ $\times 96 = 4000$ cal.

„ „ „ 7^{en} dag . . . „ $\times 180 = 7500$ cal.

Deze hoeveelheid verloren chemische energie beantwoordt dus naar alle waarschijnlijkheid aan diegene, die aangewend is voor osmotische doeleinden, voor het overwinnen van weerstanden en het afgeven van warmte.

Warmte-ontwikkeling bij de kieming.

In de volgende reeks proeven heb ik getracht, de warmte-ontwikkeling, die bij de kieming van tarwekorrels plaats heeft, dadelijk te meten.

Het principe, dat aan deze bepalingen ten grondslag lag, was in het kort als volgt: met waterdamp verzadigde lucht, die op een bekende, constante temperatuur was gebracht, streek met constante snelheid langs kiemende tarwekorrels; deze gedroegen zich als een voortdurende warmtebron; de lucht, die er dus langs streek, moest stijgen in temperatuur. Mat men nu het temperatuurverschil der in- en uitstroomende lucht, terwijl deze laatste een bekende doorstromingssnelheid had, dan zou men in het ideale geval, wanneer verder absoluut geen warmtegeleiding plaats had, uit de bekende warmtecapaciteit van de lucht, de hoeveelheid vrijgekomen warmte kunnen berekenen. Bovendien moest daarbij de ruimte, waarin zich de kiemplanten bevonden, geheel verzadigd zijn met waterdamp; was dit niet het geval, dan zou er bij de kieming verdamping plaats hebben, waardoor warmte aan de waarneming onttrokken zou worden.

Ofschoon nu dit principe bij den gang der proeven niet uit het oog is verloren, bleek het in de praktijk toch heel wat bezwaren op te leveren en het is mij dan ook niet gelukt deze alle te overwinnen.

Het toestel, waarmee ik eerst heb getracht deze bepalingen te doen, bleek hiervoor geheel ongeschikt, maar volledigheidshalve wil ik het toch eerst beschrijven.

De kiemplanten werden in een ruim Dewar's vat gebracht; dit vat werd door een dikke houten deksel afgesloten. De warmtebron bevond zich dus in een ruimte, die zeer slecht de warmte geleidde. Dit toestel was geplaatst in een groot waterbad, dat, door middel van een zeer nauwkeurig werkenden thermoregulator, met groot toluolvat, op temperatuur kon gehouden worden. Om het vat was in verscheidene windingen een lange looden buis gelegd; deze buis was met een caoutchoucslang verbonden met een andere buis, die, door de deksel van het vat naar binnen tredende, door de geheele lengte van het vat doorliep en pas op den bodem hiervan uitmondde. Hierdoor kon de lucht in het vat binnentreden. In de deksel was een tweede opening, communiceerend met een buis, die voor den afvoer der lucht diende; een aspirator zorgde er voor, dat de lucht met een vaste en nauwkeurig te bepalen snelheid door het toestel werd gezogen.

Twee thermometers volgens BECKMANN, die nauwkeurig geijkt en met elkander vergeleken waren, dienden om de temperatuur van de lucht te meten. De eerste was aangebracht op den weg, dien de lucht nam, vlak vóór dat deze in het vat trad. Deze temperatuur was dus tevens die van het water, waardoor de lucht op constante temperatuur was gebracht. De tweede thermometer stak boven in de deksel, op die plek, waar de lucht weer uit het toestel werd gezogen.

Het principe dezer inrichting is duidelijk. Van de warmte,

door de kiemende tarwekorrels afgestaan, zou in het Dewar'sche vat slechts zeer weinig door geleiding verloren gaan; het allergrootste deel zou gebruikt worden, om de langstrijkende lucht te verwarmen, terwijl de thermometers dienden om nauwkeurig het temperatuurverschil te meten van de lucht, vóór en nàdat deze langs de kiemende tarwekorrels was gestreken, met een doorstrooingsnelheid geregeld op 3 L. in het uur.

Zoo eenvoudig als theoretisch deze gang der proefneming schijnt, zoo onmogelijk bleek het, in de praktijk langs dezen weg eenig resultaat te verkrijgen.

De moeilijkheden kwamen reeds voor den dag bij de meest eenvoudige inrichting der proef. Bracht men n.l. in het geheel geen warmtebron in het vat, dan moest natuurlijk na verloop van tijd de in- en uitstroomende lucht op gelijke temperatuur komen. Dit zou eenigen tijd in beslag nemen, want het vat was, bij het in elkaar zetten van het toestel, nooit precies op dezelfde temperatuur als het water, waarvan de temperatuur constant was.

Bij de proefneming bleek echter, dat het zeer lang, zeker wel 12 uur duurde, voordat deze toestand bereikt was. De oorzaak hiervan was waarschijnlijk in hoofdzaak de volgende: het temperatuurverschil van het vat en het omringende water moest verdwijnen door uitwisseling door middel van de doorstroomende lucht. In de eerste plaats was nu de warmtecapaciteit van de lucht uiterst gering in vergelijking met die van het Dewar'sche vat, en in de tweede plaats bevorderde een doorstrooingsnelheid van slechts 3 L. in het uur deze uitwisseling ook al zeer weinig.

Om dezelfde redenen zou het ook zeer lang duren, vóórdát kleine stijgingen in temperatuur, veroorzaakt door kieming van tarwekorrels in het vat, door den thermometer aangewezen zouden worden.

Bij het op temperatuur brengen zou men desnoods de doorstroomingsnelheid kunnen vergrooten, zoodat de uitwisseling bevorderd werd, maar tijdens de eigenlijke waarneming zou de lucht toch zeker niet sneller dan 3 L. per uur mogen doorstromen, daar anders de temperatuurstijging, door deze kleine warmtebron veroorzaakt, tè gering zou zijn, om waargenomen te worden.

In al den tijd, dat ik getracht heb, dit toestel door allerlei wijzigingen geschikt te maken voor de waarnemingen, die ik er mee wenschte te doen, is het mij niet gelukt tot eenig resultaat te komen, en ik geloof dan ook wèl te kunnen zeggen, dat dit op deze manier onmogelijk is.

Het was dus zaak een andere en meer geschikte inrichting voor dit doel te bedenken. Waar het groote struikelblok was gebleken te zijn, de veel te groote warmte-capaciteit van het Dewar'sche vat, moest hierbij vooral gelet worden op een zoo klein mogelijke warmte-capaciteit.

Professor JULIUS, met wien ik over deze bezwaren sprak, is zoo vriendelijk geweest er over te denken, op welke manier ik deze moeilijkheden zou kunnen ontgaan en een ontwerp van een toestel te maken, dat geschikt zou zijn, een dergelijke geringe warmte-ontwikkeling door temperatuurstijging te meten. Dit ontwerp werd op zeer nauwkeurige wijze uitgevoerd door den instrumentmaker van het laboratorium.

Het bleek, dat dit toestel een groote verbetering was,

waarmee de gewenschte bepalingen werkelijk waren uit te voeren, al vertoonden zich ook hier complicaties, die de waarnemingen kwamen beïnvloeden.

Wat in de eerste plaats verwijderd moest worden, was het Dewar'sche vat; het werd vervangen door een koperen vat, maar hiermee ging tevens de volkomen isolatie verloren.

Bij de nu volgende beschrijving van het toestel, verwijs ik naar de beide teekeningen achteraan. Teekening I is op te vatten, als de halve doorsnee, terwijl alle deelen in het verticale vlak zijn omgeklapt, zoodat cirkels als zoodanig en niet als ellipsen worden voorgesteld. Alleen het waterbad, waarin het toestel staat, is geteekend in verticale projectie.

In het koperen, cilindrische vat (A) bevindt zich een tweede afgesloten cilindrische ruimte, waarvan de zijwand bestaat uit mika (B) en de bodem uit koper (C); beide zijn geperforeerd; in het mika is het aantal openingen echter kleiner dan in den bodem.

De mikawand is bovenaan gevat in een koperen ring, waarop als afsluiting een glazen trechter (D) rust, waarvan de afvoerbuis, op eenige centimeters na, is afgesneden. Deze trechter is bedekt met een laag dik vilt (E).

Binnen de tweede cilindrische ruimte bevindt zich een statief, waarop vijf ebonieten, boven elkaar geplaatste schijven (F) rusten; deze dienen om de kiemplanten op te leggen; in de schijven zijn ook weer op regelmatige afstanden openingen aangebracht, om een goede circulatie van de lucht te bevorderen.

Bij den bouw van het toestel is er dus zeer op gelet, als materiaal stoffen te kiezen, met een geringe warmte-capaciteit.

Gaan we nu even nauwkeurig den weg na, dien de lucht door het toestel moest volgen. — Voordat deze in het waterbad binnentrad, moest zij strijken door twee waschflesschen en een U-buis. In de eerste flesch bevond zich sterke kaliloog en in de U-buis uitgegloeid puimsteen, eveneens gedrenkt in kaliloog; hierdoor werd dus het koolzuur, dat de lucht bevatte, tegengehouden (dit heeft eigenlijk alleen maar beteekenis, wanneer men tevens het volume uitgedemd koolzuur meet). In de tweede waschflesch was geconcentreerd H_2SO_4 gebracht, om mogelijke verontreinigingen, als NH_3 enz. te absorbeeren.

Van deze tweede flesch voerde een caoutchouc-slang in het waterbad; al heel spoedig sloot deze slang aan bij een koperen buis, waarvan het onderste gedeelte doorboord was door talrijke kleine openingen. Dit gedeelte bevond zich in een wijde glazen buis (R), die met water gevuld was, tot even boven deze openingen. De glazen buis was afgesloten door een kurk, met twee doorboringen; door de eene trad de koperen buis naar binnen, door de andere was een buis gestoken, waardoor de lucht deze ruimte weer verlaten kon. De lucht moest dus uit één der kleine openingen in de koperen buis naar buiten treden en een waterkolom doortrekken, voordat zij haar weg verder kon vervolgen. Deze inrichting zorgde er voor, dat de lucht verzadigd werd met waterdamp bij de temperatuur van het waterbad. Nu moest zij gaan door de looden buis (G), die zich in verschillende windingen om het koperen vat heen bevond. Bij deze buis sloot een T-stuk aan, zoodat van hier af de weg, dien de lucht kon nemen, zich in tweeën splitste; door de beide openingen H en I kon zij onder in het vat naar binnen treden. Van daar moest zij

door de openingen in den koperen bodem of den mikawand van de tweede ruimte hier binnen stroomen, waar zij langs de tarwekorrels moest strijken.

In de opening van den trechter is bovenaan een glazen buis ingeslepen, die door een caoutchouc-slang met den aspirator is verbonden.

Als aspirator werd een gashouder gebruikt, die geheel gevuld was met water (22 L.); aan den onderkant kon dit water afvloeien door een buis, waarin zich een kraan bevond. Door deze kraan in een bepaalden stand te zetten, kon de uitstroomingssnelheid van het water, en daarmee tevens die van de meegezogen lucht, geregeld worden. Deze stand was nu zoo gekozen, dat de uitstroomingssnelheid 3 L. in het uur bedroeg.

Elk uur werd de aspirator bijgevuld, zoodat men, in verband met deze geringe daling van het niveau, wel mocht aannemen, dat gedurende dit tijdsverloop de luchtstroom vrijwel constant was.

Op deze manier werd dus een geregelde luchtstroom, door het vat heen, onderhouden.

De lucht, die in het vat met kiemplanten binnenstroomde, moest dus een constante temperatuur hebben, die zij op den langen weg door de gewonden, zich geheel in het water bevindende, looden buis, heeft moeten aannemen. Om dit te bereiken was het zaak, dat de temperatuur van het water zooveel mogelijk constant werd gehouden. Dit gebeurde door middel van een thermoregulator met zeer groot toluolvat; de gas-toevoer naar den mikrobrander kon nooit geheel worden afgesloten, want was dit door den regulator heen het geval,

dan zorgde een zijverbinding, waarin zich een kraan bevond, er voor, dat een zeer zwakke stroom onafgebroken door bleef gaan. Was de toevoer dus eenmaal geregeld, dan kon men, wat dit betreft, het toestel verder rustig aan zichzelf overlaten.

Om te zorgen dat het water overal dezelfde temperatuur had, en er dus geen temperatuurverval in het waterbad ontstond, dienden twee roertoestellen (S); deze strekten zich uit van onder tot boven in het water, en waren over de geheele lengte bezet met twee rijen gebogen scheppen. Zij werden in beweging gebracht door een electromotor. Vooral wanneer de temperatuur van het water aanmerkelijk hooger was dan die van de omgeving, was het noodig, beide roerders tegelijk in beweging te zetten, omdat anders de temperatuur onder- en bovenin een meetbaar verschil ging vertoonen.

Het temperatuurverschil van in- en uitstroomende lucht werd nu gemeten door middel van thermonaalden (koper, constantaan). De eene naald was aangebracht bij L, dus op den weg van de lucht, voordat deze in het toestel trad en waar zij dus de temperatuur van het omringende water had; de tweede (K) was gestoken bovenaan in de opening van den trechter, op den weg, waar de lucht het toestel ging verlaten, na langs de kiemende tarwekorrels te zijn gestreken.

Om deze naald was in de opening van den trechter een dikke laag fijn kopergaas (P) bevestigd; de verwarmde lucht, die hier langs streek, kwam direct met een groot en goedgeleidend oppervlak in aanraking, dat gemakkelijker de temperatuur zou aannemen en overbrengen aan de thermonaald, dan wanneer deze laatste zelf eenvoudig door de langs-strijkende lucht op deze temperatuur had moeten gebracht worden.

De zwakke stroom, die ontstond door het temperatuurverschil der naalden, werd gestuurd door een uiterst gevoeligen spiegelgalvanometer van Siemens en Halske. Door middel van een Nernstlampje werd via den spiegel een lichtbeeldje op een verdeelde schaal geworpen. Hoe sterker dus de stroom was, door den galvanometer gezonden, hoe grooter de uitwijking van den spiegel, en dientengevolge van het lichtbeeldje op de schaal was.

In de eerste plaats was het nu zaak te onderzoeken, hoe groot deze uitwijking was, wanneer de naalden een bekend temperatuurverschil hadden.

Hiertoe werd de thermonaald L in een waterbad gebracht, dat door middel van een thermoregulator op constante temperatuur werd gehouden, terwijl de naald K zich bevond in een Dewar's vat, gevuld met water van een iets hoogere temperatuur dan de omgeving. Een watteprop sloot de opening van het vat af, en zorgde voor een betere isolatie. Het water in het vat koelde nu zeer langzaam af, zoodat het temperatuurverschil met het water, waarin zich L bevond, grooter werd. Voor het meten van dit verschil dienden twee thermometers volgens BECKMANN, die nauwkeurig met elkaar vergeleken waren en in staat stelden, het temperatuurverschil tot op $\frac{1}{1000}^{\circ}$ af te lezen. Iedere thermometer bevond zich in de onmiddellijke nabijheid van een thermonaald. Nu werd waargenomen, hoe groot de uitwijking van het spiegelbeeldje bij een bepaald temperatuurverschil was, en hieruit de uitwijking berekend voor 1° temperatuurverschil.

Door dit een groot aantal malen voor verschillende temperatuurintervallen te herhalen en te controleren, of de

uitwijking, aangevend 1° verschil, steeds even groot werd gevonden, had men hieromtrent voldoende zekerheid.

Ten slotte dient nog opgemerkt te worden, dat overal waar sprake is van een uitwijking van het lichtbeeldje, steeds bedoeld is de *dubbele* uitwijking, daar door middel van een commutator bij de aflezingen, de richting van den stroom omgekeerd werd, en de afstand van de beide uiterste standen van het lichtbeeldje werd afgelezen.

Het bleek, dat een temperatuurverschil van 1° overeenstemde met een (dubbele) uitwijking van 24.8 c.M. op de verdeelde schaal. Voor 0.01° is dit 2.5 m.M., zoodat 0.005° temperatuurverschil op deze manier nog was af te lezen.

Vervolgens werd bepaald, hoe groot deze uitwijking was, wanneer er door den galvanometer een stroom van bekende sterkte werd gestuurd. Zond men een stroom van 10^{-6} ampère er door heen, dan vertoonde het spiegelbeeldje een uitwijking van 35.8 c.M., terwijl de afstand van den galvanometer tot de verdeelde schaal 208 c.M. was.

Een temperatuurverschil van 1° veroorzaakte dus een stroom van $\frac{24.8}{35.8} \times 10^{-6}$ ampère, waaruit duidelijk de gevoeligheid van de opstelling blijkt.

De thermonaalden werden nu op de beschreven manier in het toestel bevestigd en moesten dus dienen om het temperatuurverschil te meten, dat ontstond, wanneer in het vat een warmtebron werd aangebracht.

Nu moet men zich eerst afvragen, wat men theoretisch kan zeggen van het verband tusschen deze warmtebron en de daardoor veroorzaakte temperatuurstijging.

Ten eerste zal de geringe warmte-capaciteit van de onderdeelen van het toestel (eboniet, mika, koper), een spoedige uitwisseling van warmte met de omgeving bevorderen en het toestel weldra een stationairen toestand aannemen. De warmte, die vrij komt, zal gedeeltelijk dienen om de langs strijkende lucht telkens in temperatuur te doen stijgen, maar gedeeltelijk zal zij ook langs het koper door geleiding naar het omringende water worden afgevoerd. Te berekenen hoe groot deze hoeveelheid afgeleide warmte was, en welk deel er dus nog over bleef ter verwarming van de lucht, zou op zijn minst genomen zeer ingewikkeld, zoo niet geheel onmogelijk zijn.

Daarom lag het voor de hand door ijking vast te stellen, hoe groot de uitwijking van het lichtbeeldje was, wanneer men een warmtebron van bekende grootte in het toestel had aangebracht.

Hiertoe werd een lange dunne manganien-draad, waarvan de weerstand bepaald was en die in de tekening door een witte lijn over de zwarte ebonieten schijven is aangegeven, over zoo groot mogelijken afstand binnenin door het toestel gewonden. Door middel van een stukje aangesoldeerd dik koperdraad, werd metallisch contact verkregen met de beide koperen staven M en N, buiten langs den mikawand loopend, terwijl staaf M geheel geïsoleerd was bevestigd. Beide staven gingen door een caoutchouc-stop door de deksel en staken een eind boven het water in den calorimeter uit.

Verbond men de beide uiteinden met de beide polen van een accumulator, dan ging dus door den manganien-draad een stroom. De sterkte hiervan werd gemeten door een milli-

ampèremeter, die zich in den keten bevond. Liet men achtereenvolgens 1, 2 en 3 accumulatoren stroom leveren, dan had men het dus in zijn macht drie verschillende warmtebronnen in het toestel te brengen.

De warmte-ontwikkeling is $0.24 i^2 r$ per sec., dus 3600-maal zooveel per uur.

i wordt aangegeven door den milliampèremeter.

r is de weerstand van den manganien-draad, bepaald op 59.2 Ohm.

Behalve met drie stroomsterkten, corresponderend met 1, 2 en 3 accumulatoren, werd er eens geijkt met een vierde stroomsterkte, verkregen door het inschakelen van een extra weerstand in den keten buiten het toestel.

Hier volgen dus de waarden dier vier stroomsterkten, en de hierdoor veroorzaakte warmte-ontwikkeling in den manganien-draad.

$$r = 59.2 \text{ Ohm.}$$

Stroomsterkte.	Warmte-ontwikkeling in den manganien-draad per uur.
A = 0.032 ampère	$0.24 \times 0.032^2 \times 59.2 \times 3600 = 52.38 \text{ cal.}$
B = 0.064 „	$0.24 \times 0.064^2 \times 59.2 \times 3600 = 209.50 \text{ „}$
C = 0.084 „	$0.24 \times 0.084^2 \times 59.2 \times 3600 = 360.90 \text{ „}$
D = 0.096 „	$0.24 \times 0.096^2 \times 59.2 \times 3600 = 471.38 \text{ „}$

In A, B en D verhoudt de stroomsterkte zich als 1 : 2 : 3, dus de warmte-ontwikkeling hierdoor veroorzaakt als 1 : 4 : 9.

Bij de ijkproeven werd het toestel in elkaar gezet. Vier

strooken nat filtreerpapier moesten er voor zorgen, dat de ruimte binnenin met waterdamp verzadigd was, zoodat de omstandigheden zooveel mogelijk vergelijkbaar zouden zijn met die, waaronder later de proeven plaats zouden hebben. Dan werd het toestel in het waterbad geplaatst, dat door middel van regulator en mikrobrander op een vaste temperatuur werd gehouden.

De lucht werd doorgezogen met een snelheid van 3 L. in het uur en de koperen staven M en N werden verbonden met de beide polen van den accumulator. Oorspronkelijk was het vat op een lagere temperatuur dan het omringende water; door middel van de lucht van constante temperatuur, die binnen stroomde, geholpen door de warmte-ontwikkeling in den manganien-draad, zou dit temperatuurverschil minder worden, tot het eindelijk 0 was, daarna moest de uitstroomende lucht hooger in temperatuur worden dan de binnenstroomende, dank zij de warmtebron in het vat. Dit zou zóó lang duren, totdat dit verschil een maximum had bereikt. Grooter zou bij de gegeven doorstromingssnelheid van de lucht het verschil, door deze bepaalde warmtebron veroorzaakt, niet worden,

Het duurde geruimen tijd (3 à 4 uur) voordat deze maximum uitwijking was bereikt; daarbij moet opgemerkt worden, dat kleine temperatuurverschillen van het omringende water (deze bedroegen in den regel zeker niet meer dan 0.02°) grooter invloed uitoefenden op naald L, die aan alle kanten door het water omspoeld was, dan op K, zich binnenin het toestel bevindend. Dit, gevoegd bij andere onbekende kleine onregelmatigheden, die blijkbaar den gang der waarneming eenigs-

zins konden verstoren, maakte, dat men van de uitwijkingen niet kon verwachten een volkomen paralleliteit te vinden met de grootte van de warmtebron, maar een benadering hiervan toch wel. Uit de volgende getallen meen ik te mogen afleiden, dat er een duidelijk waarneembaar verband tusschen warmte-ontwikkeling in het toestel en uitwijking van het lichtbeeldje bestond.

Temperatuur van het omringende water.	Uitwijking van het lichtbeeldje op de verdeelde schaal			
	bij 52 cal.	— 209 cal.	— 361 cal.	— 471 cal. <small>per uur vrijkomend.</small>
20°	3.65 c.M.	17.21 c.M.		40.38 c.M.
30°	4.40 „ 4.22 „	16.56 „		40.88 „
40°			31.22 c.M.	

Bij 20° en 30° zijn dus de uitwijkingen gezocht, veroorzaakt door de warmte-ontwikkeling in den manganien-draad, terwijl hier de stroom van 1, 2 en 3 accumulatoren doorheen werd gezonden, terwijl bij 40° nog een uitwijking behoorend bij een tusschenliggende stroomsterkte (0.084 amp.) werd bepaald.

Bij 20° en 30° verhieldden de warmtebronnen zich dus als 1 : 4 : 9 en men ziet dat deze verhouding ook bestond tusschen de uitwijkingen van het lichtbeeldje, door deze warmtebron veroorzaakt.

Aannemend dat de onvermijdelijke fouten naar verhouding

het minst de grootste uitwijkingen zouden beïnvloeden, heb ik als uitgangswaarde de uitwijking 40.88 c.M. voor 471 cal. aangenomen. Dit omgerekend voor 52 — 209 — en 361 cal. krijgt men successievelijk uitwijkingen van $\frac{1}{9} \times 40.88 = 4.54$, $\frac{4}{9} \times 40.88 = 18.18$ en $\frac{361}{471} \times 40.88 = 31.33$.

Vergelijkt men deze berekende waarden met diegene, die in de tabel zijn gegeven, dan ziet men wel een zekere overeenkomst, ofschoon de afwijkingen bij de twee kleinste warmtebronnen naar verhouding zeer groot zijn.

Met het oog op resultaten, die later verkregen werden, moet er hier nadrukkelijk op gewezen worden, dat wanneer er zich in het geheel geen warmtebron in het toestel bevond, de uitwijking = 0 was, of hier tenminste niet meer dan 0.2 c.M. van verschilde.

Uit deze ijkproeven kon dus afgeleid worden, 1^e dat de maximum uitwijking van het lichtbeeldje, of met andere woorden het temperatuurverschil van in- en uitstroomende lucht, ongeveer evenredig was, met de warmtebron, die in het toestel werd aangebracht, 2^e dat deze evenredigheid gold voor een temperatuur der omgeving van 20°, 30° en 40°; 3^e dat de absolute grootte der uitwijking onafhankelijk was van deze temperatuur, 4^e dat een uitwijking van het lichtbeeldje van 1 c.M. aangaf $\frac{471}{40.88} = \pm 11.5$ cal. per uur vrijkomend.

Nu het toestel geijkt was, kon men dus omgekeerd, door de uitwijking van het lichtbeeldje af te lezen, de grootte van elke warmtebron in het toestel berekenen.

Als zulk een onbekende warmtebron werden de kiemende tarwekorrels gebruikt.

De bepalingen werden steeds gedaan met 500 kiemplanten, waarvan weer, evenals bij de bepalingen der verbrandingswarmte, het aanvangsgewicht vóór de kieming werd opgenomen.

Twee ongunstige omstandigheden kwamen ook hier weer de uitkomsten beïnvloeden; ten eerste, de reeds besproken schommelingen in temperatuur, waarbij de kieming plaats had, en ten tweede de onregelmatigheid in de kieming. Steeds werden gezonde tarwekorrels van ongeveer gelijke grootte uitgezocht voor de proeven, maar hieronder waren altijd eenige, die door individueele oorzaken wat achterbleven in den groei en ook eenige weinige die in het geheel niet kiemden, ofschoon over het algemeen de kieming der korrels bijzonder regelmatig plaats vond en het aantal achtergeblevene dus naar verhouding zeer gering was. Ik was nu wel genoodzaakt om alle 500 planten te gebruiken, omdat bij de omrekening het aanvangsgewicht bekend moest zijn, en dit natuurlijk niet meer het geval zou zijn, wanneer ik enkele exemplaren door kiemplanten uit een andere cultuur ging vervangen.

Deze beide fouten-bronnen kwamen dus het aantal nog vergrooten, dat deze methode ter bepaling van de warmte-ontwikkeling zelf reeds meebracht.

Om aan te toonen, hoe de gang der proeven was, laat ik hier weer de volledige beschrijving van eenige dezer volgen, om daarna van de andere eenvoudig de uitkomsten te vermelden.

500 tarwekorrels, waarvan het aanvangsgewicht 21.7247 gr. was geweest, werden, na 5 dagen kiemen, in het toestel op de ebonieten schijven gelegd. Vier strooken nat filtreerpapier werden hierlangs aangebracht, om voor voldoende vochtigheid te zorgen.

Het waterbad werd op 25.12° gebracht en door den regulator op deze temperatuur gehouden. Ongeveer om half elf was het toestel geheel opgesteld voor de proef. De temperatuur in het vat was eerst lager dan die van het omringende water, en dus ook dan de binnenstroomende lucht (met een snelheid van 3 L. per uur), de inwendige ruimte moest dus langzamerhand op temperatuur komen.

Om 1 uur 35 min. bleek de uitstroomende lucht hooger in temperatuur te zijn geworden dan de binnenstroomende; dit verschil nam een paar uur lang toe, tot om ongeveer 4 uur een maximum uitwijking werd bereikt, zooals uit de volgende tabel van waarneming blijkt.

Tijd van waarneming,	Grootte der dubbele uitwijking.
1 uur 35 sec.	5.48 c.M.
1.45	7.60 „
1.55	8.96 „
2.05	10.10 „
2.35	12.98 „
2.45	13.72 „
2.55	14.04 „
3.05	14.84 „
3.15	15.25 „

Tijd van waarneming.	Grootte der dubbele uitwijking.
3 uur 25 sec.	15.68 c.M.
3.35	16.07 „
3.45	16.22 „
3.55	16.54 „
4.00	16.65 „
4.10	16.63 „
4.15	16.78 „
4.20	16.68 „

Maximum uitwijking = 16.78 c.M.

Dit geeft aan $16.78 \times 11.5 \text{ cal.} = 192.97 \text{ cal.}$ per uur vrijgekomen.

Het aanvangsgewicht van deze tarwekorrels was 21.7247 gr.

Het aantal caloriën bij 25° op den 6^{en} dag der kieming per uur vrijkomend, berekend per K.G. aanvangsgewicht, zou volgens deze waarneming dus zijn $\frac{1000}{21.7247} \times 192.97 = 8883 \text{ cal.}$

Nu werd dus een serie van dergelijke bepalingen bij verschillende temperaturen en in verschillende kiemingsstadiën uitgevoerd, maar voordat ik de uitkomsten hiervan geef, moet ik een eigenaardige complicatie bespreken, die zich bij deze waarnemingen voordeed.

Het is n.l. in den loop der proeven gebleken, dat de uitwijking van het lichtbeeldje bij tegenwoordigheid van levende kiemplanten in het vat, niet uitsluitend als maat voor de warmte-ontwikkeling bij de kieming mocht worden beschouwd.

Dit trad pas aan het licht, toen, bij wijze van contrôle,

gekiemde tarwekorrels, die echter van te voren bij 100° in de droogstoof, gedood waren, in het toestel werden gebracht. De kieming en de daarmee gepaard gaande warmte-ontwikkeling vonden in dit geval niet plaats; men zou dus verwachten, dat, nu er zich geen bepaalde warmtebron in het toestel bevond, de naalden op gelijke temperatuur zouden blijven en dat dientengevolge het lichtbeeldje op den nulstand zou blijven staan.

Dit was echter niet het geval bij dergelijke waarnemingen; steeds overschreed het lichtbeeldje den nulstand en wel in dien zin, dat deze uitwijking een hoogere temperatuur voor de bovenste thermonaald aangaf. De lucht was dus klaarblijkelijk op zijn weg door het vat heen toch op de een of andere manier in temperatuur gestegen. Waar in dit geval de warmtebron school, was niet duidelijk; de gedoode kiemplanten waren geheel geïmbibeerd en op kamertemperatuur wanneer ze voor de proef werden gebruikt.

Bij eenige herhalingen van deze waarnemingen vertoonde zich steeds deze uitwijking van het lichtbeeldje op de verdeelde schaal, die ± 8 c.M. bedroeg, maar hier omheen nog vrij groote schommelingen kon vertoonen.

Werd deze proef uitgevoerd bij een temperatuur van 25° of van 35° van het omringende water, dus ook van de binnestroomende lucht, dan was deze temperatuur van geen invloed op de grootte van de uitwijking; het temperatuurverschil, dat bij deze beide temperaturen ontstond, was geheel vergelijkbaar, met andere woorden, in beide gevallen was de uitwijking van het lichtbeeldje ± 8 c.M.

Om met zekerheid uit te maken of deze gedoode kiem-

planten niet misschien toch nog eenige warmte afstonden, wat een gevolg zou kunnen zijn van nog doorgaande enzymwerking, werd als contrôle-proef het vat gevuld met geïmbibeerde massa's filtreerpapier. Hierbij kon geen sprake zijn van directe warmte-ontwikkeling door het filtreerpapier. Werd nu lucht doorgevoerd en met de aflezingen gewacht tot het toestel binnenin op temperatuur was gekomen, dan bleek het, dat daarna de nulstand ook steeds onfeilbaar overschreden werd en een maximum uitwijking werd verkregen, overeenstemmend met die, verkregen bij aanwezigheid van gedoode planten in het toestel.

Waar in dit geval een directe warmte-ontwikkeling door de gebruikte stoffen niet mogelijk was, moest men wel aan een andere oorzaak van temperatuurstijging denken. Zoals reeds opgemerkt is, was van deze onregelmatigheid niets te bemerken geweest bij de ijkproeven; zonder warmtebron was hier ook werkelijk de nulstand waargenomen. Het verschil met de omstandigheden van de proeven toen en nu bestond hierin, dat bij de waarnemingen met gedoode kiemplanten of nat filtreerpapier de ruimte binnenin grootendeels was opgevuld met een volkomen geïmbibeerde massa.

Het meest waarschijnlijk was nu, dat bij den gang der proef in dit geval door de een of andere oorzaak condensatie van waterdamp moest plaats hebben en dat de hierbij vrijkomende warmte een temperatuurstijging van de uitstroomende lucht, en dientengevolge van de bovenste thermonaald veroorzaakte.

Bij alle mogelijke pogingen, die ik heb aangewend, door wijzigingen aan te brengen, deze condensatie tegen te gaan,

is mij alleen gebleken, dat het kopergas in den trechter, om de bovenste thermonaald aangebracht, er waarschijnlijk van grooten invloed op was; werd dit weggenomen, dan duurde het veel langer voordat de naald eindelijk de temperatuur had aangenomen en de maximum uitwijking was bereikt, maar dan was deze uitwijking aanmerkelijk geringer (de maximum uitwijking was in dit geval niet grooter dan ± 3). Het kopergas was zeer dicht opeen gepakt, zoodat de poriën er tusschenin bijzonder nauw waren; hierdoor was misschien een zeer gunstige gelegenheid voor afzetting van waterdamp geboden. Ook is er gedacht aan de mogelijkheid, of door oxydatie van het kopergas tijdens dit voortdurend langs strijken van vochtige lucht een zoo groote warmte-ontwikkeling kon plaats hebben, dat deze de temperatuurstijging van de bovenste thermonaald kon verklaren.

Nadat gebleken was, dat, welke wijzigingen ook werden aangebracht in het toestel, steeds deze gedeeltelijk onverklaarbare onregelmatigheid van de uitwijkingen bleef bestaan, werd voor contrôle-proef, in plaats van het ingewikkelde toestel, eenvoudig een glazen buis, met nat filtreerpapier gevuld, in het waterbad geplaatst. Hier doorheen werd weer met waterdamp verzadigde lucht, met een snelheid van 3 L. in het uur, gezogen, terwijl aan weerskanten een thermonaald was aangebracht.

Werd deze buis horizontaal gelegd, dan bleek dat er bij doorvoering van lucht absoluut geen uitwijking van het lichtbeeldje plaats had. Bij deze inrichting der proef, kon de richting, waarin de lucht stroomde, naar willekeur worden omgekeerd, zonder dat eenige invloed hiervan merkbaar was

aan het lichtbeeldje. Had hier warmte-ontwikkeling plaats, dan was er geen reden, waarom de warmere lucht zich bij voorkeur naar één van de beide uiteinden der glazen buis zou begeven bij dezen horizontalen stand. Daarom behoeft de nulstand hier nog niet aan te geven, dat inderdaad geen warmte werd ontwikkeld, wat misschien wel uit het volgende blijkt.

Werd de buis verticaal geplaatst en dan lucht doorgevoerd, dan vertoonde het lichtbeeldje een uitwijking van 0.70 c.M., dus aanmerkelijk minder dan bij gebruik van het toestel, maar toch altijd een kleine uitwijking. Werd de luchtstroom in omgekeerde richting (van boven naar beneden) gestuurd, dan bleef steeds de bovenste thermonaald iets hooger in temperatuur en de uitwijking bleef 0.70 c.M.

Nu ligt het hier voor de hand te meenen, dat dit temperatuurverschil der naalden veroorzaakt werd door een temperatuurverval van het water, waardoor de glazen buis omspoeld was. Daarom werd dezelfde opstelling weer gemaakt, maar nu werd geen lucht doorgevoerd; was een temperatuurverschil van het water oorzaak geweest van de uitwijking bij de vorige proeven, dan moest deze nu evengoed optreden; dit bleek nu echter niet het geval te zijn. Het lichtbeeldje vertoonde nu geen uitwijking.

In hoeverre er dus een physische oorzaak is, die verklaart, dat noodzakelijk onder en boven een temperatuurverschil moet ontstaan, wanneer zich lucht door een, met waterdamp verzadigde, ruimte verplaatst, is de vraag. Uit een zóó kleine afwijking als 0.70 c.M., aangevend een temperatuurverschil van slechts $\frac{0.25}{0.70} \times 0.01^\circ = \pm 0.03^\circ$, mag men deze gevolg-

trekking zeker maar niet zóó zonder meer maken. En dan is het nog zeer de vraag of deze geringe uitwijking, met een dergelijke eenvoudige opstelling der proef, inderdaad verband houdt, met de zooveel grootere uitwijking, gevonden bij gebruik van het toestel, gevuld met nat filtreerpapier. Bestaat er werkelijk een verband tusschen de afwijkingen, bij de verschillende opstelling verkregen, dan moet men veronderstellen, dat reeds door de wijze, waarop de proef genomen werd, een klein temperatuurverschil moest ontstaan, dat dit echter belangrijk versterkt werd door bijzonderheden in den bouw van het gebruikte toestel.

Nadat ik zeer veel moeite had gedaan van deze moeilijkheid, die den gang der proeven zoo ongewenscht kwam beïnvloeden, precies de oorzaak te vinden en haar zodoende misschien uit den weg te kunnen ruimen en mij dit niet gelukt was, heb ik gemeend, deze uitsluitend physische questie te kunnen laten rusten en maar noodgedwongen een correctie aan te brengen, die experimenteel was gebleken noodzakelijk te zijn, terwijl zij theoretisch onverklaard moest blijven.

Waar dus gebleken was, dat door het brengen van zeer vochtige stoffen in het toestel een temperatuurverschil optrad, moest men wel aannemen, dat dit bij de levende korrels ook het geval was. De uitwijking, die men in dat geval vond, was dus gedeeltelijk hieraan toe te schrijven, gedeeltelijk aan de warmte-ontwikkeling, die werkelijk bij de kieming plaats had. Wist men dus, hoe groot de uitwijking van het lichtbeeldje was, bij tegenwoordigheid van gedoode kiemplanten in het toestel, dan diende men deze af te trekken van de

uitwijking, die men vond, wanneer zich levende kiemplanten in het toestel bevonden, terwijl men dan de rest van de uitwijking kon beschouwen als aangevend de hoeveelheid warmte, bij de kieming vrijkomend.

Als aan te brengen correctie is genomen het gemiddelde van een aantal uitwijkingen, gevonden bij verschillende proeven, waarbij zich gedoode, geheel geïmbibeerde kiemplanten in het vat bevonden. Het bleek, dat de grootte van deze uitwijking naar verhouding sterk kon wisselen, wat niet te verhelpen was, omdat de oorzaak onbekend was gebleven. Was deze uitwijking meer constant geweest, dan was dit voor de berekening van de hoeveelheid warmte, bij de kieming vrijkomend, zeker ook veel gunstiger geweest. De betrekkelijk groote schommelingen in deze, hierboven besproken, uitwijkingen, deden sterk hun invloed gelden op de berekende uitwijking, aangevend de warmte-ontwikkeling bij de kieming, zoodat deze getallen hierdoor onvermijdelijk ook betrekkelijk groote onregelmatigheden moesten vertoonen.

Waren dus 500 gedoode kiemplanten (van 4 à 5 dagen oud) in het toestel gebracht, dan werden als maximum uitwijkingen hierbij gevonden: 9.08 — 6.92 — 10.44 — 6.55 — 9.90,

Het gemiddelde van deze vijf waarden is, 8.58, dat was dus de aan te brengen correctie.

Geeft men zich even rekenschap hoe groot deze onbekende warmtebron was, dan was dit $8.58 \times 11.5 = 99$ cal. per uur.

De hierdoor veroorzaakte temperatuurstijging was $\frac{8.58}{24.8} = 0.35^\circ$

(1° temperatuurverschil werd aangegeven door 24.8 c.M. op de verdeelde schaal).

Om precies te toonen, hoe de berekening nu werd, laat ik nog eens de beschrijving van een andere proef volgen.

Het aanvangsgewicht der 500 korrels, voor deze proef bestemd, was 22.7343 gr.

Nadat deze 3 dagen gekiemd waren, werden zij bij een temperatuur van 29.88° van het omringende water, in het vat gebracht.

3 L. lucht werd per uur doorgevoerd.

Om 2 uur 35 min. werd met de aflezing van de uitwijkingen begonnen.

Tijd van waarneming.	Grootte der dubbele uitwijking.
2 uur 35 min.	20.24 c.M.
2.45	20.28 „
2.50	20.40 „
2.55	20.50 „
3.05	20.76 „
3.15	21.00 „
3.20	21.06 „
3.25	21.06 „
3.30	21.03 „

Maximum uitwijking 21.06 c.M.

Hiervan komt op rekening van de warmte-ontwikkeling tijdens de kieming $21.06 - 8.58 = 12.48$ c.M.

Dit geeft aan $12.48 \times 11.5 = 143.52$ cal. per uur vrijgekomen.

Het aanvangsgewicht van deze tarwekorrels was 22.7343 gr.

Het aantal kaloriën bij 30° op den 4^{en} dag der kieming per uur vrijkomend, berekend per K.G. aanvangsgewicht, was volgens deze waarneming: $\frac{1000}{22.7343} \times 143.52 = 6313$ cal.

Voerde men dezelfde berekening uit voor de eerst beschreven proef, dan vond men dat 500 tarwekorrels, op den 6^{en} dag der kieming bij 25° in het toestel gebracht, een maximum uitwijking gaven van 16.78 c.M.

Hiervan was 16.78 — 8.58 = 8.20 c.M. toe te schrijven aan de warmte-ontwikkeling bij de kieming.

Dit gaf aan $8.20 \times 11.5 = 94.30$ cal. per uur vrijkomend. Het aanvangsgewicht van deze tarwekorrels was 21.7247 gr.

Het aantal kaloriën bij 25° op den 6^{en} dag der kieming per uur vrijkomend, berekend per K.G. aanvangsgewicht, was volgens deze waarneming: $\frac{1000}{21.7247} \times 94.30 = 4341$ cal.

Op deze wijze zijn de berekeningen dus alle uitgevoerd, zoodat hier weer volstaan kan worden met de uitkomsten, in een tabel samengesteld, te doen volgen.

Temperatuur der omgeving.	Aantal kaloriën per uur afgestaan, berekend per K.G. aanvangsgewicht op den					
	2 ^{en} dag	3 ^{en} dag	4 ^{en} dag	5 ^{en} dag	6 ^{en} dag	7 ^{en} dag der kieming.
20°		710	2143	2790		2869
25°	363	540	2938	2977 3455	4341	
30°			4999 6313	6790		
35°		752		7326	7575	
40°				5689	6847	

Gaat men nu na, wat uit bovenstaande tabel was af te leiden, dan bleek er ten eerste uit, dat de warmte-ontwikkeling tijdens de eerste kiemingsstadiën (2^{en} en 3^{en} dag) ver achter bleef vergeleken bij die in latere stadiën.

Tusschen den 3^{en} en 4^{en} dag zien we, dat de warmte-ontwikkeling plotseling sterk was toegenomen.

Waarschijnlijk nam zij ook gedurende de volgende dagen nog langzaam toe.

Daar deze toename echter zeker niet groot was, en de verschillen voor de warmte-ontwikkeling van den 4^{en} tot den 7^{en} dag betrekkelijk gering waren, scheen het geoorloofd, voor deze kiemingsperiode een gemiddelde te berekenen.

Temperatuur der omgeving.	Aantal calorïen per uur afgestaan, berekend per K.G. aanvangsgewicht op den				
	4 ^{en} dag	5 ^{en} dag	6 ^{en} dag	7 ^{en} dag der kieming,	gemiddelde
20°	2143	2790		2869	2601
25°	2938	2977 3455	4341		3428
30°	4999 6313	6790			6034
35°		7326	7575		7450
40°		5689	6847		6268

Men ziet hieruit een sterken invloed van de temperatuur op de warmte-ontwikkeling; met 10° temperatuurstijging nam de hoeveelheid ontwikkelde warmte meer dan twee maal in grootte toe.

Bij 40° was de warmte-ontwikkeling verminderd, een bewijs voor den schadelijken invloed van deze temperatuur.

Dit bleek ook uit het feit, dat, wanneer men doorging met de aflezingen, nadat bij 40° een maximum-uitwijking was bereikt, deze na eenige uren langzamerhand een weinig afgenomen was. Ongeveer 4 uur 's middags was de berekende warmte-ontwikkeling op den 5^{en} dag der kieming per K.G. aanvangsgewicht 5689 cal., terwijl om ongeveer 10 uur 's avonds bij dezelfde opstelling der proef, deze waarde gedaald was tot 5043 cal. per uur.

Werd bij 30° een proef even lang voortgezet, dan bleef de maximum-uitwijking uren lang nagenoeg gelijk en was er geen merkbare verandering van de warmte-ontwikkeling waar te nemen.

Bij de kiemingsstadiën na 1 en 2 dagen, is uit de cijfers geen invloed van de temperatuur waar te nemen. Daar deze waarden zoo klein waren, werd de invloed van de verschillende foutenbronnen naar verhouding zooveel grooter, zoodat een eventueele invloed van de temperatuur hier niet meer waarneembaar werd. Daarom heb ik voor deze jongste stadiën ook maar enkele bepalingen uitgevoerd.

Ten slotte kan men het aantal caloriën, dat als warmte per K.G. aanvangsgewicht per uur aan de omgeving was afgestaan, vergelijken met het energieverlies, dat uit de verbrandingswarmte was afgeleid. Deze vergelijking was alleen uit te voeren voor een temperatuur van 20°, omdat hierbij de kieming steeds had plaats gehad, zoodat de verbrandingswarmte alleen op de processen bij deze temperatuur betrekking had.

Kieming bij 20°.	Energie-verlies per uur per K.G. aanvangsgewicht	
	door warmte-afgifte.	berekend uit de verbrandingswarmte.
op den 2 ^{en} dag		83 cal. ¹⁾
„ „ 3 ^{en} „	710 cal.	1417 „
„ „ 4 ^{en} „	2143 „	2250 „
„ „ 5 ^{en} „	2790 „	3833 „
„ „ 6 ^{en} „		4000 „
„ „ 7 ^{en} „	2869 „	7500 „

De totale hoeveelheid chemische energie, die bij de kieming in vrijheid werd gesteld, was dus steeds grooter dan de hoeveelheid energie, als warmte aan de omgeving afgestaan. Een gedeelte van de vrije energie, bij de kiemingsprocessen beschikbaar gekomen, was dus klaarblijkelijk voor andere doeleinden (osmose enz.) gebruikt, dan om uitsluitend als warmte te worden afgestaan.

Alleen voor den tweeden dag was dit twijfelachtig; de warmte-ontwikkeling op dien dag was niet bepaald; het energieverlies, uit de verbrandingswarmte berekend, was in dit stadium echter zò gering, dat het zeer goed mogelijk zou zijn, dat de warmte-ontwikkeling op dit oogenblik grooter was. Mocht het later misschien blijken, dat dit inderdaad het geval is, dan zou dit ook zeer verklaarbaar zijn. In dit begin der kieming toch zal hoofdzakelijk imbibitie plaats hebben, zoodat

1) Zie blz. 43.

de warmte-ontwikkeling hier volstrekt niet onverbreekbaar met chemische omzettingen behoeft verbonden te zijn.

De groote toename van het energieverlies van den 6^{en} op den 7^{en} dag, door berekening uit de verbrandingswarmte afgeleid, trad niet aan het licht bij de warmte-ontwikkeling.

Vrijgekomen energie, berekend uit de hoeveelheid uitgedemd koolzuur.

Om de vormingswarmte van het uitgedemde CO_2 te berekenen, moet men in de eerste plaats nagaan, door oxydatie van welke grondstoffen dit ontstaan kan zijn. In dit geval van kiemende tarwekorrels was het zeer waarschijnlijk, dat oorspronkelijk zetmeel in hoofdzaak het ademhalingsmateriaal zou zijn.

De verbrandingswarmte van 1 gram zetmeel is 4182,5 cal. Bij de verbranding van zetmeel ontstaat op 162 gram zetmeel 264 gr. koolzuur.

De vormingswarmte van 1 gram koolzuur uit zetmeel is $\frac{162}{264} \times 4182.5 = 2565$ cal. en van 1 m.gr. CO_2 2.56 cal.

Nu moest dus gezocht worden naar gegevens over ademhaling van kiemende tarwe bij verschillende temperaturen en kiemingsduur.

Het valt achteraf zeer te betreuren, dat ik bij den gang der proeven niet meteen de hoeveelheid uitgedemd koolzuur heb bepaald; het toestel was zóó ingericht, dat dit gemakkelijk had kunnen gebeuren, wat zeker ook een groot voordeel van deze methode is. Schakelde men eenvoudig tusschen het toestel en den aspirator een paar Pettenkofer'sche buizen in met $\text{Ba}(\text{OH})_2$,

dan kon men elk uur het calorisch effect behoorend bij het gewicht afgestaan koolzuur direct vergelijken met de hoeveelheid warmte door dezelfde tarwekorrels afgestaan. Dit is nu echter niet gebeurd, zoodat ik aangewezen was op de gegevens van anderen. Dit bleek voor de vergelijking zeer bezwaarlijk te zijn, omdat hier de omstandigheden van kieming en waarneming dikwijls sterk verschilden van diegene, bij mijn proeven in acht genomen.

Daarom is het ook met eenige reserve dat ik de volgende vergelijkingen hier ga maken.

Het lag voor de hand, wat betreft de ademhaling van kiemplanten, in de eerste plaats te raadplegen het onderzoek van KUYPER: „de invloed der temperatuur op de ademhaling der hoogere planten”.

Op blz. 96—98 komt hier een tabel voor, weergevende het verloop der ademhaling van kiemende tarwe bij temperaturen tusschen 0° en 50°. Er zijn echter twee redenen, waarom deze gegevens, hoe juist en volledig zij ook overigens zeker mogen zijn, voor dit geval toch niet voldoende vergelijkingsmateriaal leverden.

In de eerste plaats zijn de waarnemingen over de ademhaling steeds gedaan voor hetzelfde kiemingsstadium (de korrels waren 1 dag in water geweekt en daarna 3 dagen op zaagsel gekiemd bij $\pm 20^\circ$); daar het nu uit de vorige proeven over de verbrandingswarmte en warmte-ontwikkeling gebleken was, hoe sterk de energetische processen afhankelijk waren van den kiemingsduur, moest de vergelijking met één bepaald stadium wel onvolledig heeten.

Een tweede bezwaar was, dat de sterkte der ademhaling

hier gegeven is voor een gewicht van 50 gr. *kiemplanten*. Deze werden vóór de proef gewogen, na uitgedropen te zijn op filtreerpapier; het aanvangsgewicht vóór de kieming is niet opgegeven.

Dit was voor de vergelijking met mijn uitkomsten een moeilijkheid, omdat zowel de verbrandingswarmte als de warmte-ontwikkeling op 1 K.G. *aanvangsgewicht* berekend was; daar deze bepalingen betrekking hadden op verschillende kiemingsstadiën, heb ik gemeend dat dit aanvangsgewicht het minst willekeurige punt van vergelijking was.

Om deze bezwaren uit den weg te ruimen, heeft mejuffrouw E. TALMA, eveneens in het botanisch laboratorium te Utrecht, een reeks bepalingen over de ademhaling van kiemende tarwekorrels uitgevoerd, op dezelfde manier als dit door KUYPER wordt beschreven, maar met in-achtneming van bovengenoemde kleine wijzigingen en aanvullingen wat de berekening betreft.

Zij ging het verloop der ademhaling na bij 25° C. gedurende de eerste zeven dagen der kieming; vóór de kieming werden steeds de 250 tarwekorrels gewogen, die voor de waarneming bestemd waren, zoodat de ademhaling later steeds op 1 K.G. aanvangsgewicht kon worden omgerekend.

Het bleek inderdaad, dat, evenals dit bij het energie-verlies uit de verbrandingswarmte berekend en bij de warmte-ontwikkeling het geval was geweest, ook hier een sterke toename van de ademhaling bij de voortschrijding der kieming plaats had en dat deze naar verhouding weer het sterkst was, gedurende de beide eerste dagen der kieming.

Kiemingsduur.	m.gr. CO ₂ per uur uitgedemd bij 25°, berekend op 1 K.G. aanvangsgewicht.	
		Gemiddelde waarden.
op den 2 ^{en} dag	826—843	834
„ „ 3 ^{en} „	1463—1507	1485
„ „ 4 ^{en} „	2421—2483	2452
„ „ 5 ^{en} „	2689—2690	2690
„ „ 6 ^{en} „	3426—3477	3452
„ „ 7 ^{en} „	3891—3975	3933
„ „ 8 ^{en} „	4240	4240

Deze afhankelijkheid der ademhaling van het kiemingsstadium was indertijd ook gebleken uit waarnemingen van MAYER (1875) en van RISCHAWI (1876), over ditzelfde onderwerp gedaan.

Uit bovenstaande tabel kon het bij-behoorend calorisch effect worden afgeleid. Zooals hierboven is uiteengezet, wordt gerekend dat per m.gr. CO₂ 2.56 cal. zijn vrijgekomen. Verder werd bij de berekening de gemiddelde waarde van de uitgedemde hoeveelheid koolzuur uit de tabel genomen.

Naast deze cijfers is ter vergelijking geplaatst, de hoeveelheid warmte bij 25° in de verschillende stadiën der kieming ontwikkeld (zie blz. 69).

Kiemingsduur.	Energie-verlies tijdens de kieming bij 25° berekend uit	
	de hoeveelheid uit- geademd CO ₂	de warmte-ontwikkeling.
op den 2 ^{en} dag	2135 cal.	363 cal.
„ „ 3 ^{en} „	3802 „	540 „
„ „ 4 ^{en} „	6277 „	2938 „
„ „ 5 ^{en} „	6886 „	3216 „
„ „ 6 ^{en} „	8837 „	4341 „
„ „ 7 ^{en} „	10068 „	
„ „ 8 ^{en} „	10854 „	

Volgens deze tabel werd de ademhalingsenergie dus klaarblijkelijk slechts voor een gedeelte als warmte aan de omgeving afgestaan, terwijl een zeer belangrijk gedeelte als zoodanig voor de plant bewaard bleef.

Het is echter wel mogelijk, dat de ademhalingsenergie wat te hoog is berekend, daar de veronderstelling is gemaakt, dat het uitgangspunt voor het oxydatieproces zetmeel was. In latere stadiën der kieming zal het zetmeel echter waarschijnlijk voor het grootste gedeelte omgezet zijn in oplosbare koolhydraten, en bij oxydatie van deze laatste tot CO₂ zou de hoeveelheid vrijkomende energie natuurlijk geringer zijn.

Maar er valt bij de vergelijking der ademhalings-energie met de warmte-ontwikkeling nog iets anders op te merken.

Uit de tabel, door KUYPER gegeven, van de ademhalings-intensiteit bij verschillende temperaturen, blijkt, dat van 30° op 35° eerder een vermindering der ademhalings-intensiteit plaats heeft, dan een stijging, terwijl de warmte-ontwikkeling

volgens mijn waarnemingen bij deze zelfde temperatuur nog aanmerkelijk gestegen was, en pas bij 40° bleek afgenomen te zijn.

De paralleliteit, die tusschen de mate van warmte-ontwikkeling en de sterkte der ademhaling bestaat, is dus zeker niet volkomen; zeer waarschijnlijk ligt het optimum der ademhaling lager dan dat der warmte-ontwikkeling.

Dit klopt, zooals het mij voorkomt, ook juist zeer goed met de resultaten van een onderzoek, uitgevoerd door WOLKOFF en MAYER (1874) over den invloed van de temperatuur op ademhaling en groei. Het bleek hun, dat deze verschijnselen bij verschillende temperaturen niet steeds parallel liepen. Tot op zekere hoogte nemen beide toe met de temperatuur; het optimum van de ademhaling ligt echter hooger dan voor den groei; bij $\pm 35^\circ$ neemt de ademhaling af in sterkte, beneden die temperatuur is de groei reeds verminderd.

Bij 35° zal dus de hoeveelheid energie, door de ademhaling in vrijheid gesteld iets afnemen; de groei, met andere woorden, verschillende synthetische processen zijn reeds eerder sterk vertraagd.

De hoeveelheid energie, die bij een volkomen paralleliteit van ademhaling en groei steeds voor een vast gedeelte voor deze synthetische processen zou zijn gebruikt, is dus naar verhouding veel geringer geworden, terwijl tevens bij den vertraagden groei minder energie zal vereischt worden voor osmotische doeleinden of voor overwinning van weerstanden. 't Is dus zeer aannemelijk, dat de warmte-ontwikkeling in de buurt van 35° sterker zal toenemen dan de ademhaling en dat het optimum van deze eerste hooger zal liggen.

Vergelijking met de overige opgaven in de literatuur.

In de eerste plaats moeten hier de resultaten van het onderzoek van BONNIER besproken worden, en wel dat gedeelte, waarin hij de warmte-ontwikkeling bij de kieming van graan nagaat.

In de tabellen, die hierop betrekking hebben, vindt men opgegeven, het aantal kaloriën als warmte *per minuut* door 1 K.G. kiemplanten afgestaan. Zooals begrijpelijk is, neemt het gewicht tijdens de kieming, door imbibitie, sterk toe, en wordt meer dan 2 maal zoo groot als het aanvangsgewicht. Om de waarden, door BONNIER berekend, vergelijkbaar te maken met mijn eigen resultaten, zouden de eerste dus eigenlijk nog met 2 vermenigvuldigd moeten worden. Deze berekening heb ik echter niet uitgevoerd, alleen werd met 60 vermenigvuldigd om de hoeveelheid kaloriën per K.G. *per uur* weer te geven.

BONNIER heeft nu ook de warmte-ontwikkeling tijdens de kieming van tarwe bij verschillende temperaturen nagegaan, en vond hiervoor de volgende waarden:

Voor het begin der kieming bij	0°	0 cal.—	0 cal.
" " " " " "	5.7°	180 " —	360 "
" " " " " "	10.5°	720 " —	900 "
" " " " " "	15.8°	2100 " —	1920 "

Het komt mij voor dat deze waarden te hoog moeten zijn. De vergelijking met mijn resultaten is niet zoo heel gemakkelijk te maken, ten eerste omdat BONNIER de warmte-ontwikkeling uitsluitend bij deze lagere temperaturen heeft nagegaan, terwijl mijn waarnemingen gelden voor temperaturen van 20° en hooger en ten tweede, omdat het eenigszins twijfelachtig is wat men onder „het begin der kieming” verstaat. BONNIER spreekt van de „débüt de la germination, à l'apparition de la racine”. Waarschijnlijk stemt dit stadium overeen met dat van tarwekorrels, die één dag bij 20° gekiemd hebben, dus op den 2^{en} dag der kieming. In dit stadium vond ik bij 20° minder dan 710 cal. (zie blz. 69). Bij een temperatuur van 15.8° en lager, zou men dus verwachten, dat nog aanmerkelijk minder warmte werd afgestaan, terwijl mijn cijfers dan bovendien nog betrekking hebben op 1 K.G. *aanvangsgewicht*, wat met een gewicht van ± 2 K.G. der *kiemplanten* overeen zal stemmen. Per K.G. *kiemplanten* zou derhalve volgens mijn berekening de warmte-ontwikkeling bij 15.8° nog aanmerkelijk minder dan 355 cal. moeten zijn, terwijl BONNIER hiervoor 1920 en 2100 cal. vindt.

Vervolgens merkt BONNIER op, dat de warmte-ontwikkeling afhankelijk is van den kiemingsduur. De resultaten van

waarnemingen, hierop betrekking hebbend, worden gegeven in de volgende tabel. Tusschen haakjes is bij eenige stadiën vermeld, met welk stadium deze bij mijn proeven ongeveer overeenstemmen.

Bij 10.5°. Tarwe.		
12 uur in water geweekt		120 cal.
Het worteltje treedt te voorschijn		3120 „
„ „ is 1.5 c.M. lang (3 ^e dag der kieming)		1200 „
„ „ is 3.5 „ „ (4 ^e „ „ „)		1680 „
Coleoptyl 8 „ „ (7 ^e „ „ „)		960 „

Hieruit volgt dus niët, dat de warmte-ontwikkeling van het begin der kieming af, gestadig in sterkte toeneemt, zooals ik dat uit mijn waarnemingen meen te mogen afleiden. BONNIER vindt eerst een bijzonder sterke toename, dan weer een sterke daling en ten slotte een schommeling.

Ten slotte volgt nog een tabel, door BONNIER gegeven, ter vergelijking van de hoeveelheid energie, als warmte (Q_m) afgestaan, met diegene, berekend uit de koolzuur-afgifte (Q_c) en uit de zuurstof-opname (Q_o).

In dit geval is gerst gebruikt voor de waarneming.

16°. Gerst.	Q_m	Q_c	Q_o
12 uur in water geweekt	300 cal.	180 cal.	180 cal.
Het worteltje treedt te voorschijn	3720 „	1740 „	2700 „
Hoofdwortel \pm 3 m.M. lang . .	2400 „	1500 „	1860 „
Coleoptyl 8 c.M. lang	900 „	720 „	720 „

Uit deze tabel zou men de gevolgtrekking maken, dat het aantal caloriën, als warmte afgegeven, verre het aantal overtreft, dat men kan berekenen uit de hoeveelheid uitgedemd koolzuur of opgenomen zuurstof.

Waar nu echter de waarde van het als warmte afgestane aantal caloriën waarschijnlijk zeer belangrijk te hoog is, is het zeer goed mogelijk, dat deze overmaat van energie, als warmte verloren, vergeleken met de ademhalings-energie, per slot tot nul gereduceerd wordt of misschien zelfs zou veranderen in een te kort, wat zeker veel aannemelijker zou zijn.

Uit voorgaande opmerkingen blijkt wel, dat er weinig overeenkomst bestaat tusschen de resultaten door BONNIER verkregen en de mijne. Daar echter een vergelijking dikwijls slechts langs omwegen en door benadering te maken was, en ook mijn resultaten in vele opzichten misschien eenigszins onzeker zijn, zoo heb ik de opmerkingen naar aanleiding van deze vergelijking alleen ter overweging willen geven zonder daarop verder in bijzonderheden in te gaan.

Zijn aan den eenen kant de waarden door BONNIER gevonden voor de warmte-ontwikkeling dus wellicht te hoog, zoo zijn aan den anderen kant de waarden door PEIRCE vastgesteld, volgens mijn inzien te laag. Hij experimenteerde wel uitsluitend met kiemende erwten, zoodat een directe vergelijking met mijn eigen resultaten niet mogelijk is, maar uit de cijfers van BONNIER is wel gebleken, dat de warmte-ontwikkeling bij de kieming van erwten en tarwe ongeveer van dezelfde orde is; eerder is de warmte-ontwikkeling bij de kieming van erwten hooger dan die door kiemende tarwe,

dan dat dit andersom zou zijn, zoodat een vergelijking met mijn resultaten wat dat betreft, in ieder geval niet ten nadeele van PEIRCE kunnen zijn.

In het gunstigste geval, op den 4^{en} dag der kieming, vond PEIRCE een warmte-ontwikkeling van 8.55 cal. per K.G. aanvangsgewicht per minuut, dus 513 cal. per uur. Bij het bekijken van de tabellen, door hem hiervan gegeven, komt men tot het besluit, dat de temperatuur op dien dag in het Dewar'sche vat ongeveer tot $\pm 30^{\circ}$ zal zijn gestegen.

Op den 4^{en} dag der kieming van tarwe vond ik bij 30° een warmte-ontwikkeling van ongeveer 5600 cal. per uur berekend per K.G. aanvangsgewicht (zie blz. 69).

Dit verschil van 513 cal. en 5600 cal. is zeker wel heel aanmerkelijk. Het komt mij voor, dat de waarden, door PEIRCE berekend, werkelijk te klein zijn, en dat dit in hoofdzaak is toe te schrijven aan een te geringe correctie, die voor de uitstraling in rekening werd gebracht.

Ten slotte is er in de publicaties van RODEWALD en WILSING vergelijkingsmateriaal te vinden, wat betreft de resultaten, verkregen bij het bepalen der verbrandingswarmte, ofschoon beiden uitsluitend met *Trifolium pratense* hebben gewerkt en een vergelijking dus maar tot op zekere hoogte geoorloofd is.

De volgende tabel geeft aan de verbrandingswarmte van *Trifolium pratense*, berekend op 1 gram drooggewicht vóór de kieming en bepaald voor verschillende kiemingsstadiën.

	Volgens RODEWALD.	Volgens WILSING.		
Vóór de kieming .	4916	5052		
Na 3 dagen kiemen	} verschil 383	4757		
„ 5 „ „		4533	} „ 238	
„ 7 „ „		} „ 1105	4287	} „ 232
„ 9 „ „			3428	4076

RODEWALD vond dus bij het voortschrijden der kieming een snel toenemend energie-verlies, terwijl volgens de waarnemingen van WILSING het energie-verlies gedurende de kieming nagenoeg proportioneel is met den tijd.

Mijn resultaten (zie blz. 42), stemmen dus veel meer met die van RODEWALD overeen, dan met die van WILSING, maar zooals reeds gezegd is, hun cijfers hebben betrekking op *Trifolium*, terwijl de mijne voor tarwe gelden en het is daarom niet gezegd, dat het energie-verlies gedurende de kieming zich in beide gevallen hetzelfde zal voordoen.

Samenvatting der Resultaten.

Bij de kieming van tarwekorrels is het volgende opgemerkt: Gedurende de eerste 7 dagen der kieming neemt het dagelijksch *energie-verlies* steeds toe in grootte.

Deze toename is naar verhouding op den 3^{en} dag het grootst.

De beide eerste dagen is het energie-verlies zeer gering, er heeft dan hoofdzakelijk imbibitie plaats.

Bij de voortschrijding der kieming neemt de *warmte-ontwikkeling* toe in sterkte.

Deze toename is naar verhouding tusschen den 3^{en} en 4^{en} dag het grootst.

De grootte van de warmte-ontwikkeling is afhankelijk van de temperatuur der omgeving.

Tot 35° neemt de warmte-ontwikkeling toe met de temperatuur.

Voor een temperatuurverschil van 10° wordt de warmte-ontwikkeling meer dan 2 maal zoo groot.

Bij 40° is de warmte-ontwikkeling afgenomen.

Het energie-verlies tijdens de kieming bij 20°, gevonden door bepaling van de verbrandingswarmte, overtreft steeds de hoeveelheid energie, bij deze zelfde temperatuur als warmte aan de omgeving afgestaan.

De *ademhaling* neemt gedurende de kieming in sterkte toe (alleen bepaald voor een temperatuur van 25°).

Deze toename is naar verhouding de beide eerste dagen het sterkst.

Bij 25° is gedurende de eerste 6 kiemdagen het aantal *caloriën*, als warmte aan de omgeving afgestaan, steeds minder, dan de energie, door de *ademhaling* in vrijheid gesteld.

De warmte-ontwikkeling bereikt boven 35° haar optimum.

Dit optimum ligt hooger dan dat der *ademhaling*.

Er bestaat dus geen volkomen paralleliteit tusschen warmte-ontwikkeling en *ademhaling*.

Literatuur.

- BARNES. C. R. The Theory of Respiration. Bot. Gazette, Vol XXXIX, 1905.
- BECQUEREL. H. Observations sur les moyens à employer pour évaluer la température des végétaux. Ann. d. Sc. nat. 2^e série, Bot. T. XII, 1839.
- BEEK. A. VAN en BERGSMAN. C. A. Observations thermo-électriques sur l'élévation de température des fleurs de *Colocasia odora*. Encyclopédie Méthodique Bot. T. 3. Paris, 1838.
- BONNIER. G. Sur la quantité de chaleur dégagée par les végétaux pendant la germination. Bulletin de la Société Bot. de France XXVII, 1880.
- BONNIER. G. Recherches sur la chaleur végétale. Ann. d. Sc. nat. 7^e série, Bot. T. XVII, 1893.
- BORODIN. J. Physiologische Untersuchungen über die Athmung der beblätterten Sprosse. Arbeiten der St. Petersburger Gesellsch. der Naturforscher. Bd. VII, 1876. (russisch). Referaat in Just. Bot. Jahresber. Bd. IV, Abt. 2, 1876.
- BORODIN. J. Untersuchungen über die Pflanzenathmung. Mémoires de l'Académie impériale des Sc. d. St. Petersburg. 7^e série, T. XXVIII, n^o 4, 1881.
- DUTROCHET. H. J. Recherches sur la température propre des végétaux. Ann. d. Sc. nat. 2^e série, Bot. T. XII, 1839.
- DUTROCHET. H. J. Sur la chaleur propre des êtres vivans à basse température. Ann. d. Sc. nat. 2^e série, Bot. T. XIII, 1840 en Ann. d. Sc. nat. 2^e série Zoolog. T. XIII, 1840.
- ERIKSSON. J. Über Wärmebildung durch intramolekulare Athmung der Pflanzen. Untersuchungen a. d. Bot. Inst. zu Tübingen. Bd I, Heft 1, 1881.
- FAMINTZIN. A. Stoffwechsel und Umwandlung der Energie in den Pflanzen. Schriften d. St. Petersburg. Akad. d. Wiss. 8^o. St. Petersburg, 1883. (russisch). Referaat in Bot. Centralbl. Bot. XVII, n^o 4, 1884.
- GOEPPERT. H. R. Über die Wärme-Entwicklung in den Gewächsen und die Erscheinungen beim Gefrieren derselben. Breslau, 1830.
- GOEPPERT, H. R. Über Wärme-Entwicklung in der lebenden Pflanze. Vortrag gehalten zu Wien 18 Sept. 1832, in der Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte.

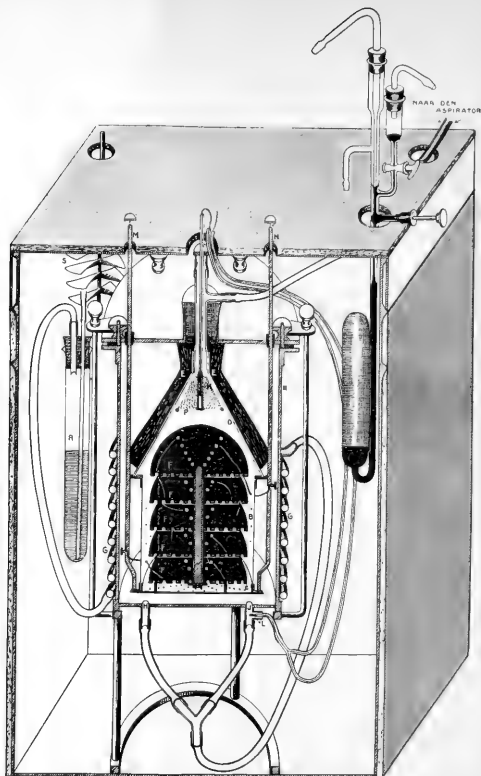
- HALDER. F. A. Beobachtungen über die Temperatur der Vegetabiliën. Proefschrift 1826. (te Tübingen gepromoveerd onder praesidium v. G. Schübler.)
- HÖBER. R. Physikalische Chemie der Zelle und der Gewebe. Leipzig. Verl. v. Wilh. Engelmann 1902.
- HUNTER. J. Experiments on Animals and Vegetables, with respect to the Power of producing Heat. Philos. Transactions, Vol. LXV, 1775.
- HUNTER. J. Of the Heat of Animals and Vegetables. Philos. Transactions. Vol. LXVIII, 1778.
- KUYPER. J. De invloed der temperatuur op de ademhaling der hoogere planten. Proefschrift. J. van Boekhoven. Utrecht, 1909.
- LAMARCK. J. B. DE. Encyclopédie Méthodique. III, p. 9. Paris, 1789.
- LEICK. ERICH. Untersuchungen über die Blütenwärme der Araceen. Greifswald, Verl. von Bruncken & Co., 1910.
- LEICK. ERICH. Über das thermische Verhalten der Vegetations-organe. Mitt. des naturwiss. Vereins für Neuvorpommern und Rügen. Jahrg. 43, 1911.
- LEICK. ERICH. Über den Temperaturzustand verholzter Achsenorgane. Mitt. d. naturw. Vereins f. Neuvorp. und Rügen. Jahrg. 44, 1912.
- MAYER. A. Über den Verlauf der Athmung beim keimenden Weizen. Landwirtschaftl. Versuchs-Stationen. Bd. XVIII, 1875.
- MAYER. A. Die Abhängigkeit der Pflanzenathmung von der Temperatur. Landwirtschaftl. Versuchs-Stationen, Bd. XIX, 1876.
- MAYER. A. Zie WOLKOFF.
- MOLISCH. H. Über hochgradige Selbsterwärmung lebender Laubblätter. Bot. Zeitung. Jahrg. LXVI, Abt 1, 1908.
- MOLISCH. H. Über die Selbsterwärmung von Pflanzen in Dewargefäßen. Zeitschr. f. Bot. Jahrg. VI, Heft 4, 1914.
- NATHANSOHN. A. Der Stoffwechsel der Pflanzen. Verl. von Quelle & Meyer. Leipzig, 1910.
- PFEFFER. W. Das Wesen und die Bedeutung der Athmung in der Pflanze. Landw. Jahrb. Bd. VII, 1878.
- PFEFFER. W. Studien zur Energetik der Pflanze. Abh. der math. phys. Classe der Königl. Sächs. Gesellsch. der Wissensch. Bd. XVIII, n° 3, 1892.
- PEIRCE. G. J. A new respiration Calorimeter. Bot. Gazette, XLVI, 1908.
- PEIRCE. G. J. The Liberation of Heat in Respiration. Bot. Gazette, LIII, 1912.
- PURIEWITSCH. K. Physiologische Untersuchungen über Pflanzenathmung. Jahrb. f. wiss. Bot. XXXV, 1900.
- RASPAIL. F. V. Nouveau Système de Physiologie végétale et de Botanique. Vol. II, p. 218—229, 1837, Paris.
- REINKE. J. Autoxydation in der lebenden Pflanzenzelle. Bot. Zeitung. Jahrg. XLI. 1883.

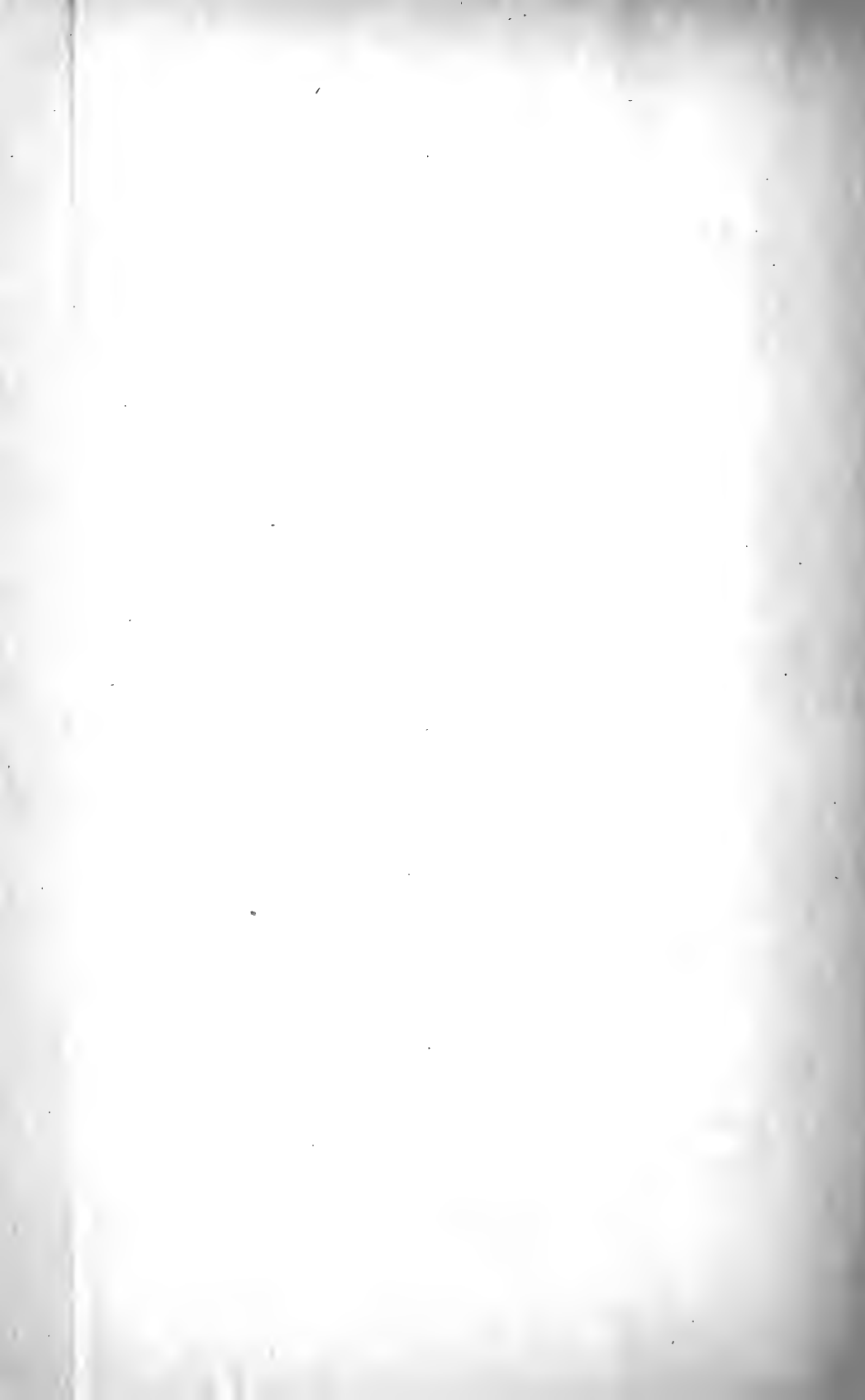
- RISCHAWI. L. Einige Versuche über die Athmung der Pflanzen. Landw. Versuchs-Stationen, Bd XIX, 1876.
- RODEWALD. H. Über die Wechselbeziehungen zwischen Stoffumsatz und Kraftumsatz im keimenden Samen. Journal für Landwirtschaft, 1883.
- RODEWALD. H. Quantitative Untersuchungen über die Wärme und Kohlen-säure-Abgabe athmender Pflanzentheile. Jahrb. f. wiss. Bot. XVIII, 1887.
- RODEWALD. H. Untersuchungen über den Stoff- und Kraft-Umsatz im Athmungsprocess der Pflanze. Jahrb. f. wiss. Bot. XIX, 1888.
- RODEWALD. H. Weitere Untersuchungen über den Stoff- und Kraft-Umsatz im Athmungsprocess der Pflanze. Jahrb. f. wiss. Bot. XX, 1889
- SACHS. J. v. Vorlesungen über Pflanzen-Physiologie. Verl. v. Wilh. Engelmann, 1887.
- SAUSSURE. TH. DE. De l'Action des Fleurs sur l'Air et de leur Chaleur propre. Ann. de Chimie et de Physique. T. 21, 1822.
- SCHÖPF. D. Über die Temperatur der Pflanzen. Der Naturforscher XXIII, 1788.
- SCHÜBLER. G. Zie HALDER.
- SENEBIER. J. Physiologie Végétale. T. III, 1800.
- TREVIRANUS. L. C. Entwickelt sich Licht und Wärme beim Leben der Gewächse? Zeitschr. für Physiologie, III, 1829.
- VROLIK G. en VRIESE. W. H. DE. Tijdschrift voor Nat. Gesch. en Physiologie. II, 1835.
- VROLIK G. en VRIESE. W. H. DE. Nouvelles expériences sur l'élévation de température du spadice d'une Colocasia-odora (Caladium odorum) faites au jardin botanique d'Amsterdam. Ann. d. Sc. Nat. 2^e série. Bot. T. XI, 1839.
- VROLIK G. en VRIESE. W. H. DE. Nouvelles expériences sur les changemens que subit l'atmosphère pendant le développement de la température élevée dans un spadice de Colocasia odora, faites dans le jardin botanique d'Amsterdam. Ann. d. Sc. Nat. 2^e série. Bot. T. XIV, 1840.
- WILSING. Stoffumsatz und Kraftumsatz im keimenden Samen. Journal für Landwirtschaft, 1884.
- WOLKOFF A. VON und MAYER. A. Beiträge zur Lehre über die Athmung der Pflanzen. Landw. Jahrb. III, 1874.
-

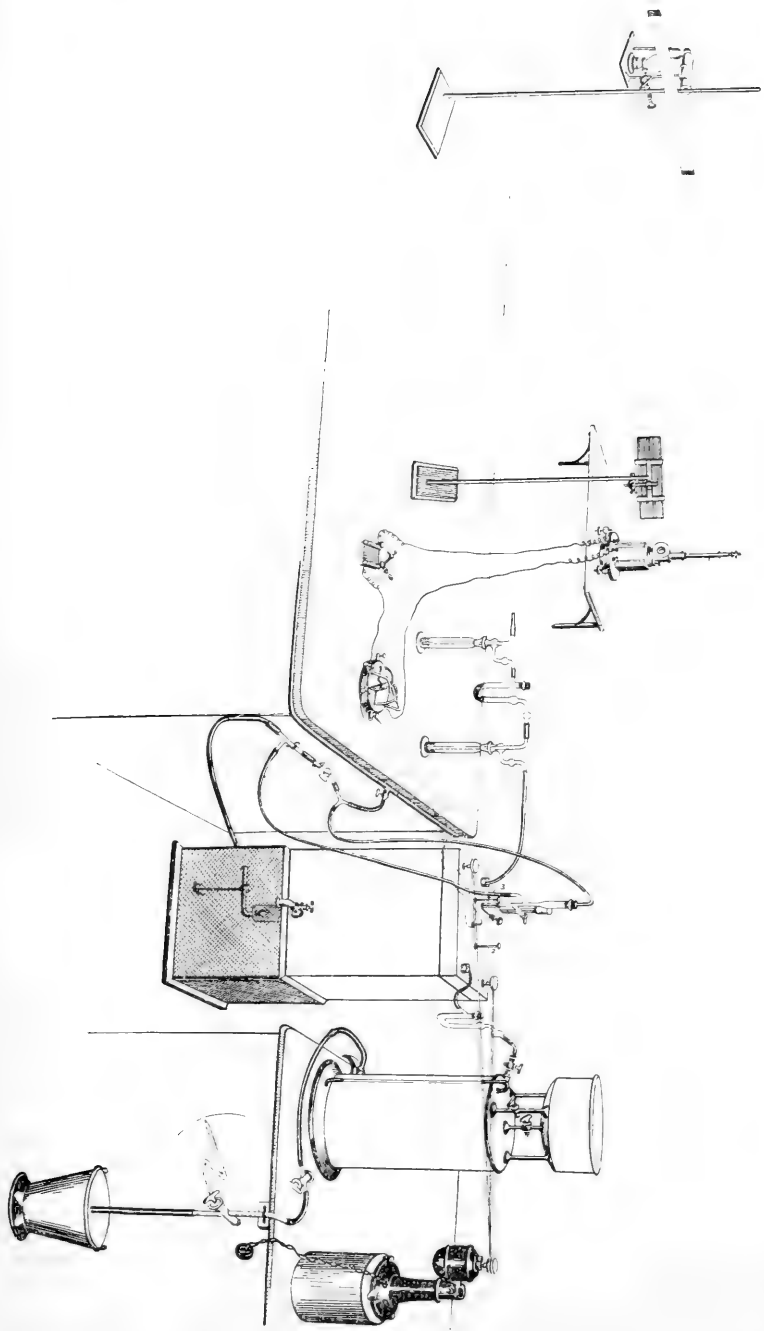
STELLINGEN

$\frac{1}{4}$ ware grootte.

I







STELLINGEN

I

Slechts een gedeelte van de energie, tijdens de kieming door chemische omzettingen in vrijheid gesteld, wordt als warmte aan de omgeving afgestaan.

II

Het optimum voor de warmte-ontwikkeling tijdens de kieming ligt hooger, dan dat voor de ademhaling.

III

Het blijkt niet, op welke wijze PEIRCE rekening heeft gehouden met de uitstraling, bij zijn berekeningen van de hoeveelheid ontwikkelde warmte (Bot. Gazette 1912).

VI

Het gedrag van kristalloïden, wat betreft het binnendringen in het protoplasma, kan niet verklaard worden door een ultra-filterwerking van de buitenste protoplasma-laag, zooals RUHLAND zich voorstelt.

V

Het voorkomen van een schimmel in de aleuron-laag van verschillende graansoorten, is door PEKLO niet overtuigend aangetoond.

VI

Een systematische indeeling, berustend op verwantschap der eiwitten, is tot nu toe niet tot een bevredigende oplossing gebracht.

VII

Een afstamming der vertebraten van de invertebraten, met *Limulus* als tusschenvorm, is te verwerpen.

VIII

Ten onrechte meenen LANG en HESCHELER dat de oorspronkelijke chiastoneurie der Pulmonaten door detorsie verdwenen zou zijn.

IX

Het is waarschijnlijker dat het ontstaan van mimicry te verklaren is door directe aanpassing, dan door selectie.

X

Het gevaar van verzouting der Amsterdamsche waterleiding is met voldoende zekerheid aangetoond.

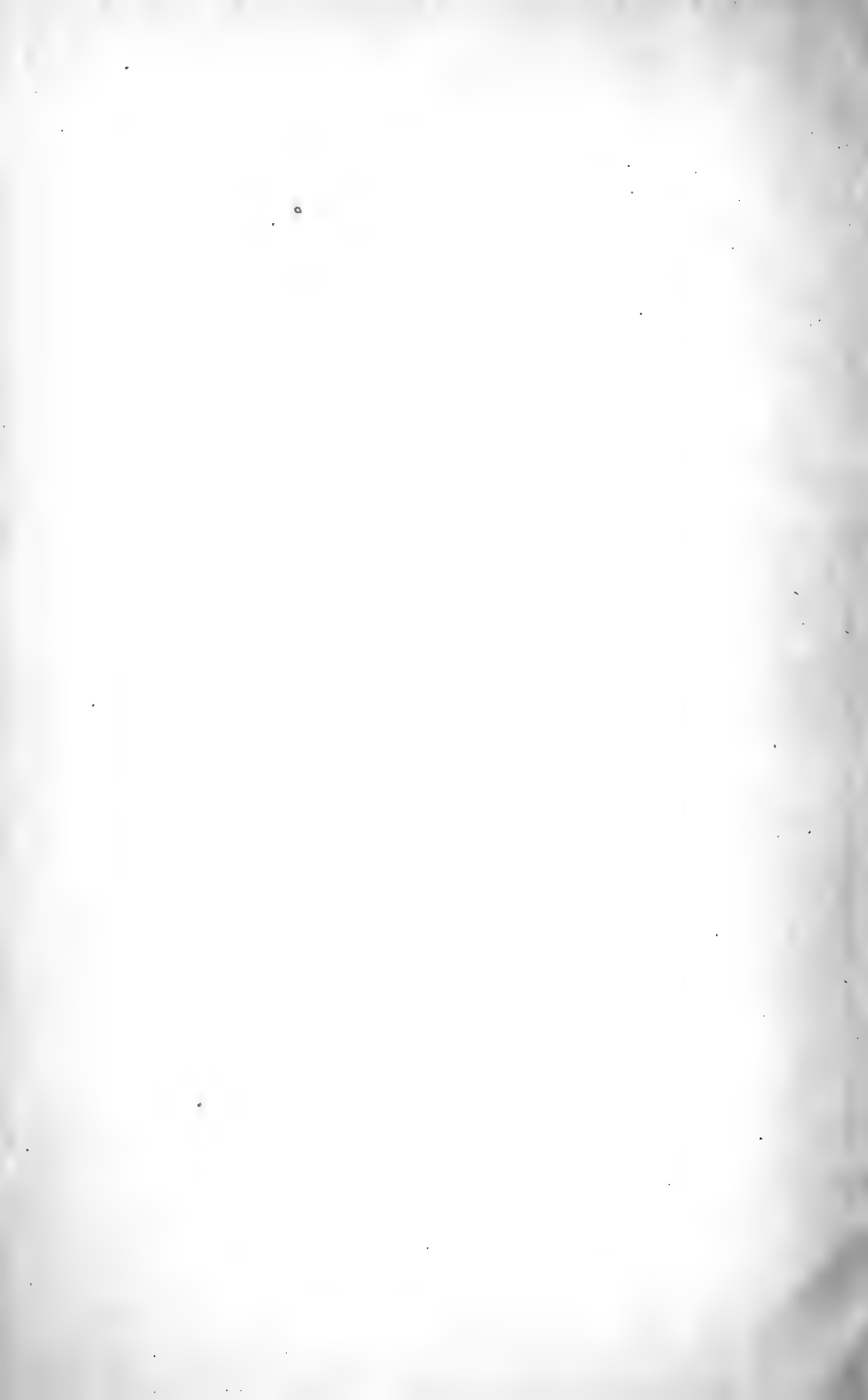
XI

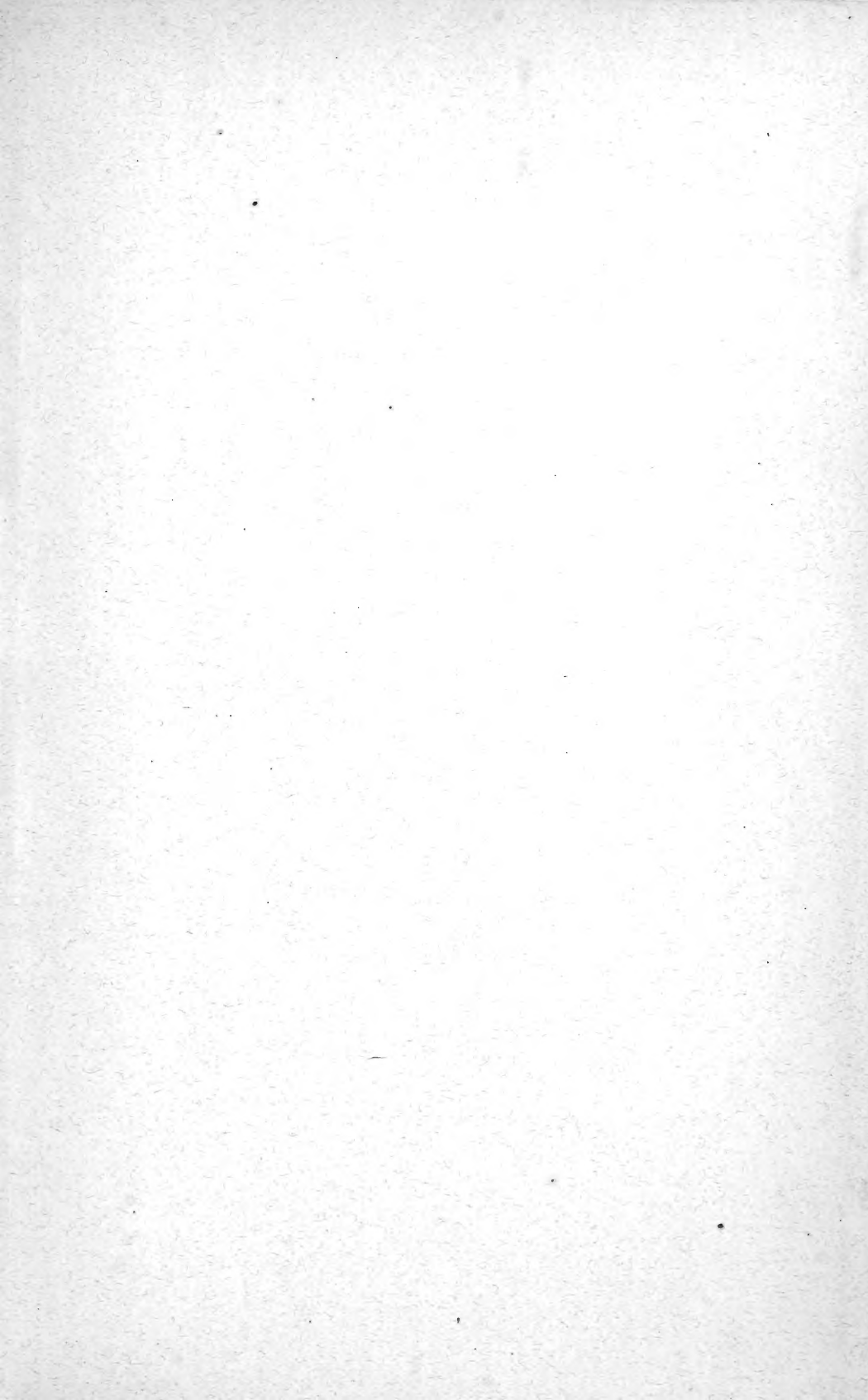
De Belemnieten hebben een vastzittende of weinig bewegelijke levenswijze gehad.

XII

De verschijnselen, bij het opzwellen van kiezelzuur in water waargenomen, zijn geheel te verklaren door capillaire werkingen.

Back cover blank





New York Botanical Garden Library

QK755.5 .D6

Doyer, Lucie Christ/Energie-omzettingen gen



3 5185 00074 7541

