

N. d. A.

DE F. W. GROSHEIDE

1.3.19

De energetische Beschouwing der Levensverschijnselen

Openbare les

*gehouden den 12en December 1914 aan
de Vrije Universiteit te Amsterdam*

door

F. J. J. Buytendijk, Arts

Lector in de Algemeene Biologie.



J. H. Kok - 1915 - Kampen

F. J. J. Buytendijk

De energetische Besehouwing der Levensverschijnselen

Openbare les

*gehouden den 12en December 1914 aan
de Vrije Universiteit te Amsterdam*

door

F. J. J. Buytendijk, Arts

Lector in de Algemeene Biologie.



J. H. Kok - 1915 - Kampen

De energetische beschouwing der levensverschijnselen.

Dames en Heeren !

Drang tot wetenschap is de verwondering.¹⁾ En verwonderd is de mensch, wanneer hij met ontroering het leven beschouwt, dat hem elken dag in plant en dier, in schier oneindige weelde van vormen omringt; verwonderd over het ontkiemen van het zaad, dat hij zaait, over het ontluiken der bloemen, over het rijpen der vrucht, over het dier, dat zijn voedsel zoekt, over den zang van den vogel, over het nietig insect. Verwonderd is de mensch, die zich bewust is ook zelf dat leven te dragen, welks verklaring hij zoekt.

Het kwellende raadsel des levens heeft den denker nooit met rust gelaten, en een blik op de historie²⁾ leert dan ook, dat uit het nadenken over de levensverschijnselen niet alleen alle wijsgeeren hun argumenten hebben geput, maar tevens dat elke wereldbeschouwing steeds ten sterkste bekrachtigd of bestreden werd door de interpretatie der feiten uit de levende natuur.

Zoowel de leer der formae van ARISTOTELES, als die der monaden van LEIBNIZ vonden versterking in de bonte verscheidenheid, de eigen spontane werkdadigheid, welke de organismen ons toonen.

Het oude materialisme dankte haar opleven aan de moderne physiologische onderzoekingen, onder meer aan die der hersenphysiologie. Maar juist deze zelfde verschijnselen op andere wijze verklaard, zijn ook de empirische grondslag voor een ander uiterste, de wereldbeschouwing n.l. van het psychisch-monisme.

Denkers van alle tijden, die een intellectueelen achtergrond der dingen aannamen, wezen met nadruk op de harmonie en de doelmatigheid der levende natuur. Ook zijn SCHOPENHAUER'S „Wille" en VON HARTMANN'S „Unbewuste" en BERGSON'S „Elan vital," de hoeksteen van hun systemen, tevens begrippen, welke

ontstaan zijn uit het denkend beschouwen van de verschijnselen des levens.

De biologische feiten behooren dus tot de grondslagen van alle hypothesen, welke op den mensch naar verstand en hart beslag hebben gelegd, welke zijn gedragslijn hebben bepaald, zijn oordeel en zijn waardeering, zoowel als zijn moreele wetten.

Het kwellende van het levensraadsel ligt in de eerste plaats in de wonderlijke eenheid der tegenstellingen van geest en stof, van lichaam en ziel. De pogingen om deze tegenstelling op te heffen door de verschijnselen van het eene als in wezen tot verschijnselen van het andere terug te brengen, moesten onherroepelijk schipbreuk lijden.

Voor het materialistisch monisme waren de verschijnselen van den geest het definitieve struikelblok, omdat men de materie in zijn wezen als een samenvatting van atomen beschouwde; ³⁾ maar in de nieuwe naturalistische wereldbeschouwing, welke „energetisme” wordt genoemd, wil men deze moeilijkheden overwonnen hebben en meent OSTWALD, ⁴⁾ de verdediger dezer leer, op monistische wijze alle feiten der ervaring, dus ook de ons bekende uitingen van het leven, op eenvoudige wijze van uit één gezichtspunt te kunnen verklaren. Het energetisme heet evenals alle moderne monismen een hypothesenvrije theorie d. w. z. een beschouwing, welke zich uitsluitend baseert op de feiten der ervaring. Toch is ook deze leer op een vooraf bepaalden grondslag gebouwd, en zijn de empirische feiten ook hier slechts de steenen om op de verborgen fundamenten de theorie op te trekken. Het ligt niet in mijn bedoeling de positivistische, evolutionistische, empiristische en relativistische ⁵⁾ vooropzettingen van het energetisch monisme logisch te analyseeren, maar wel dienen we wat langer stil te staan bij het begrip energie zelf, alvorens te kunnen overgaan tot een energetische beschouwing der levensverschijnselen voor welk onderwerp ik zoo vrij ben een oogenblik uwe aandacht te verzoeken.

De energie is, volgens OSTWALD, het eenig reële, het eeuwig bestaande, het wezen van alle materie en ziel, volgens AUERBACH ⁶⁾ de heerscheres der wereld, volgens RUBNER ⁷⁾ de eigenlijke drijfveer van het leven.

Energie of arbeidsvermogen is een algemeen begrip, evenals

het begrip kracht, ontleend aan onze directe eenvoudige levenservaring. Energie noemt men in het dagelijksch leven de mate van arbeid, waartoe iets of iemand in staat is. Deze inhoud behoudt het begrip energie ook in het natuurwetenschappelijk en filosofisch spraakgebruik.

Zoo definiëert de filosoof SIGWART, de energie als de „im bestimmten Zustand gegebenen Mass von Wirkungsfähigkeit“⁸⁾ en de physiker RANKINE⁹⁾ noemt energie datgene, dat bij substanties behoort (affection of substanses), dat vergelijkbaar is met een kracht en in staat is veranderingen teweeg te brengen, waarbij een weerstand overwonnen moet worden. PLANCK,¹⁰⁾ welke deze definitie uit een wetenschappelijk oogpunt onvoldoende acht, geeft de voorkeur aan een bepaling, waardoor men uit de waarneembare werkingen van een systeem de waarde der energie in een bepaald geval kan berekenen. De energie van een stoffelijk systeem is dan het in mechanische arbeidseenheden gemeten bedrag van alle werkingen, welke buiten het systeem worden voortgebracht, wanneer het uit zijn toestand op willekeurige wijze in een naar willekeur bepaalde nultoestand overgaat.

Deze voor de physica zeer vruchtbare definitie voegt echter aan het filosofisch energiebegrip slechts een berekeningsmethode toe, waardoor het mogelijk is, dat men de natuurkunde de leer kan noemen van de energie-wisselingen in de materie (VON HARTMANN)¹¹⁾.

Bij het logisch vasthouden van de voorstelling van het werken van een ding op een ander blijkt het spoedig, dat het onmogelijk is de gedachte eener scheiding tusschen het werkende ding en zijn werkzaamheid te ontgaan. In het populaire denken wordt dan ook stilzwijgend de voorstelling gehuldigd, dat een ding drager is van een kracht, door welk bezit het in staat is in een bepaald geval werkzaamheid te ontwikkelen.

Zulk een kracht, b.v. de zwaartekracht, blijkt bij nadere beschouwing echter niet als een eigenschap der dingen opgevat te kunnen worden, maar als een relatiebegrip. De kracht van iets, dat is dus de wezenlijke verhouding tot andere substanties als grond van verandering, moet zelf als iets onveranderlijks gedacht worden¹²⁾. Niet deze onveranderlijke, noch de onveranderlijke substantie kan de oorzaak zijn voor het gebeuren in de natuur, maar

de grond moet gezocht worden in de wisselende verhoudingen der dingen. Deze relaties zijn de *voorwaarden* voor de ontwikkeling der werkzaamheid der krachten. De oorzaak van iets kan dus niet meer worden gedacht als uitsluitend opgaande in de werkzaamheid der dingen, maar deze werkzaamheid is mede-oorzaak. Dit resultaat is in zooverre van beteekenis, dat het elk realistisch monisme in den grond weerlegt. Immers al zou het gelukken alle zijnde dingen op te vatten als toevallige verschijningen van een oer-substantie, oer-kracht, of oer-energie, voor een verklaring van het worden, d. w. z. van het gebeuren, van verandering, zou een dergelijke hypothese altijd onvoldoende zijn. En daar een wereldbeschouwing zijn en worden harmonisch verklaren moet, is een realistisch monisme dus wijsgeerig onmogelijk en moet men voor de monaden een harmonie praestabilita veronderstellen, voor de atomen een geordende schepping, voor de dynamieën β bewuste of onbewuste leidende ideeën. Zoo is het ook in de energetische wereldbeschouwing.

Al meent men met OSTWALD, dat slechts de energie een realiteit is en wat wij materie noemen slechts een „ruimtelijk geordende groep van verschillende energieën,” dan ligt de grond voor alle oorzakelijk gebeuren niet alleen in de eigenschappen der energie, maar in die der verschillende energieën en in de ordening van deze onderling.

De veronderstelling van het objectief bestaan van verschillende energievormen wordt niet alleen geeischt door de feiten, welke bij een energetische beschouwing zelfs der levenlooze natuur zijn vast te stellen, maar moet te meer worden gehandhaafd als ook de organismen beschouwd zullen worden en men dus van psychische energie spreken wil. De z. g. „qualitative Energetik” kan altijd, zij het dan ook met opoffering van het eigenlijk karakter van een monisme, een natuurverklaring construeeren, in tegenstelling met het mechanistisch energetisme, dat als wereldbeschouwing nooit diep kan gaan.

Maar ook de kwalitatieve energetiek treft, zooals CARUS¹³⁾ opmerkt, de Leibnitz'sche critiek op de mechanistische theorie evenzeer als het oude materialisme, want hoe men energie ook wil opvatten, energie blijft altijd energie (beweging of spanning) en zal nooit iets anders worden. Voelen en denken kunnen noch naar hun wezen, noch naar hun oorsprong verklaard worden uit

het begrip energie, en zoo wordt het energetisme reeds door een oppervlakkige beschouwing der psychische verschijnselen weerlegd. Onze energetische beschouwing der levensverschijnselen moet zich dus beperken tot de stoffelijke verschijnselen en wij willen ons voor alles de vraag voorleggen of deze onderworpen zijn aan de wetten der energie en of zij ook daaruit verklaard kunnen worden.

Wanneer werkelijk de materie in haar wezen energie is, zoo moet men alle stoffelijk gebeuren als veranderingen der energie opvatten en daar het gelijke herkend wordt aan gelijke verrichtingen, gelijke werkzaamheid, gelijke wetten, zoo moeten alle veranderingen in de stof onderworpen zijn aan de wetten der energie. Maar wil men van een energetische *verklaring* spreken, dan moet ook omgekeerd de toepassing dezer wetten in bepaalde gevallen een volledige verklaring der verschijnselen geven, op gelijke wijze als uit de mechanische wetten de bewegingen der planeten verklaard kunnen worden.

Indien men energie in den ruimsten zin opvat als de mate van werkzaamheid van een substantie, dan wordt het wel door de feiten nergens weerlegd, dat alle dingen energie bevatten en alle werkzaamheid met verandering van arbeidsvermogen gepaard gaat, maar uit dit algemeene begrip kan men nooit in bepaalde gevallen een verklaring der natuurverschijnselen afleiden. Dit is eerst dan mogelijk, wanneer men de eigenschappen d. w. z. de wetten der energie vaststelt.

Beschouwen wij de eerste hoofdwet der energie nader.

Gaat men van de zeer rationeele onderstelling uit, dat het onmogelijk is door een combinatie van natuurdingen energie uit *niets* te laten ontstaan, ¹⁴⁾ dan is het duidelijk, dat een ding zijn vermogen tot arbeidsverrichting moet hebben ontleend aan den arbeid van een ander ding, en dat hoe grooter zijn arbeidsvermogen is, hoe meer energie er aan moet toegevoegd zijn geweest. Dit is de algemeenste opvatting der eerste energiewet, welke dus leert, dat bij elk oorzakelijk gebeuren een bepaalde hoeveelheid energie in een aequivalente hoeveelheid andere energie overgaat. Deze wet van het behoud der energie noemt BUSSE ¹⁵⁾ in den vorm, zooals we haar zoo juist uit het begrip der energie afgeleid hebben, het aequivalentie-principe, in tegenstelling met

het eigenlijke constantie-principe, dat echter met elk kwalitatief energetisme onvereinigbaar is.

Het constantie-principe eischt toch, dat alle energiesoorten in wezen één energievorm zijn en wel mechanische energie of in ieder geval zonder rest in dezen eenen energievorm kunnen worden omgezet, (BUSSE). In dit geval kan de wet van het constant blijven der physische energie alleen bestaan in verband met een materialistische beschouwing. Zulk een zuiver mechanische natuurverklaring is echter zelfs door de physici meer en meer in twijfel getrokken (POINCARÉ,¹⁶) v. D. WAALS¹⁷) en als algeheele verklaringsgrond wel zóó voldoende weerlegd, dat wij niet voor den eisch worden gesteld, elke wet, dus ook die van het behoud der energie, van uit een mechanistisch standpunt te moeten beschouwen.

Verruimt men dan ook den blik en ontdoet men zich van den knellenden band der mechanistische opvatting, dan kan men eerst het probleem onder de oogen zien, of de wet van het behoud der energie werkelijk in strijd is met de opvatting, dat in de organismen een principe werkzaam is, dat niet alleen een statisch gerealiseerd idee kan zijn, maar ook wel een onbewust of bewust volgens eigen wetten werkende realiteit en tevens of de meening van het zelfstandig bestaan der psyche en hare wisselwerking met het lichaam door de wet van het behoud der energie weerlegd wordt.

De physioloog RUBNER¹⁸) schreef immers nog in zijn boek „Kraft und Stoff im Haushalt der Natur“: „Das Gesetz der Erhaltung der Kraft hatte, wie schon erwähnt für die Physiologie den besonderen Nutzen, das es ein Fundamentalsatz zur Bekämpfung der vitalistischen Idee wurde.“

En HEIJMANS¹⁹) in zijn „Einführung in die Metaphysik auf Grundlage der Erfahrung“ meent, dat de theorie van een werkelijke en niet een slechts schijnbare wisselwerking tusschen lichaam en ziel door de wet van het behoud der energie voor een eigenaardig dilemma gesteld wordt.

In hoeverre deze opmerkingen juist zijn, is nu geheel daarvan afhankelijk, of de energetische bestudeering der levensverschijnselen het constantie-principe dan wel het aequivalentie-principe als verklaringsgrond aanbeveelt.

Wat nu het probleem der wisselwerking betreft, willen wij vol-

staan met naar het bekende werk van BUSSE¹⁵⁾ te verwijzen, waar de meest verschillende opvattingen van deze wisselwerking worden uiteengezet in overeenstemming met het equivalentie-principe der eerste warmtewet.

Deze uiteenzettingen gelden natuurlijk evenzeer, indien men de werking der psyche in ruimer zin opvat en dus het probleem der wisselwerking niet alleen een psychologisch, maar ook een biologisch probleem wordt. De energetische beschouwing der levensverschijnselen weerlegt dus volstrekt niet de leer van STAHL,²⁰⁾ noch die van JAMES WARD,²¹⁾ welke uit de wisselwerking van het onbewuste zielsleven met het lichaam de levensverschijnselen en met name ontwikkeling en erfelijkheid verklaren wil.

Betreffende de uitspraak van RUBNER kan het volgende dienen :

Bij een chemische reactie wordt energie in den vorm van warmte verbruikt of komt energie, meestal als warmte, vrij. De bron waaruit deze energie ontspringt heet chemische energie. Wat eigenlijk onder chemische energie is te verstaan, is moeilijk te zeggen, wél moet men volgens OSTWALD vele soorten chemische energieën aannemen, eigenlijk zooveel als er chemische reacties bestaan. Men kan dit in het algemeen dus zóó uitdrukken : De bepaalde natuur, of het wezen, der verschillende substanties bepaalt de grootte van zijne mogelijke werkzaamheid en de bepaalde voorwaarden, waarbij deze werkzaamheid zich uit.

Het is dan ook een ijdele hoop dit wezen der materieele processen en daarmede de verschillen in alle chemische veranderingen tot mechanische terug te brengen en men zegt niet te veel, meenende juist in de levenlooze natuur specifieke factoren te moeten aannemen, waardoor het zijn en het worden der dingen in een bepaald geval naar grootte en richting wordt bepaald. Deze factoren zijn geen energetische eenheden, maar bepalen de energie verandering naar richting en grootte, beheerschen haar volgens vaste wetten.

Dergelijke factoren kunnen wij onderscheiden als statische en dynamische. Moet men vooralsnog bij de chemische stoffen dezen factor als een dynamischen opvatten ; bij de machines, zooals de mensch die vervaardigt, zien wij voorbeelden van statische factoren. Beschouwt men eene machine in zijn geheel, dan wordt toch door de menschelijke gedachte, welke in de

machine is gerealiseerd, bepaald de richting en grootte der energie-omzettingen.

Daar de voorstelling onhoudbaar is om de natuurdingen uitsluitend als energievormen op te vatten, zoo zal men noodzakelijkerwijze bij een volledige natuurverklaring iets moeten aannemen, dat het wezen der dingen bepaalt en dus een richting en grootte aan de energieomzettingen geeft. Dit iets kunnen wij in het algemeen de „idee” noemen, zonder daarmede dus een beslissing te nemen over de vraag of dit statisch gerealiseerd, ²²⁾ dan wel dynamisch werkzaam ²³⁾ moet worden gedacht.

Maar men kan ook uit deze beschouwing à priori het besluit trekken, dat de wet van het behoud der energie opgevat als aequivalentie-principe nooit door de feiten der biologie zal kunnen worden gelogenstraff. Wanneer dan ook uit de physiologische onderzoekingen blijkt, dat bij de levensverschijnselen zoowel van organen als organismen, de wet van het behoud der energie experimenteel bevestigd wordt, zoo kan men hieruit slechts de conclusie trekken, dat het *wezen* der levensverschijnselen een niet-energetische factor is. (DRIESCH). ²⁴⁾ En al leidt deze factor, over welker essentie wij hier niet nader behoeven te spreken, het arbeidsvermogen in allerlei banen; de energie, welke een organisme voortbrengt, stamt niet uit haar wezen, maar uit de ontvangen energie der buitenwereld.

De wet van het behoud der energie is evenals het energiebegrip zelf een noodzakelijk gevolg van het causaliteitsbegrip. Dat hierop dus door de verschijnselen der organismen geen uitzondering gemaakt wordt, had men ook reeds logisch kunnen afleiden uit het feit, dat in de levende natuur de wet van oorzaak en gevolg volstrekt niet doorbroken wordt ²⁵⁾.

Toch hebben wij diepe bewondering voor het experimenteel onderzoek van RUBNER en vooral van ATWATER en BENEDICT, ²⁶⁾ welke deze geldigheid der eerste warmtewet voor dier en mensch aantoonde. Op de details dezer onderzoekingen willen wij hier niet ingaan, alleen nog even het feit releveeren, dat omtrent de energiebalans tijdens zoogenaamden psychischen arbeid nog geen eenstemmigheid is verkregen ²⁷⁾.

Is de besproken energiewet een logische voorwaarde voor het natuurgebeuren, dat wij om ons heen waarnemen, men heeft ge-

meend, dat nog een tweede algemeene wet de energieomzettingen beheerscht. Men kan deze tweede energiewet wel het eenvoudigst als volgt omschrijven ²⁸⁾.

Bij elke omzetting van energie neemt men waar, dat een gedeelte der energie in warmte wordt veranderd. Nu is het een eigenschap der warmte-energie, dat deze zich niet geheel in andere energievormen laat omzetten. Steeds blijft een zekere hoeveelheid warmte-energie over, welke niet meer omgezet kan worden. Hieruit volgt, dat bij elk natuurproces de hoeveelheid omvormbare energie afneemt. Dit wordt nog duidelijker, wanneer men bedenkt, dat warmte zich in de ruimte in hooge mate verstroot, zóó zelfs, dat het theoretisch onmogelijk is, deze dissipatie te voorkomen. Deze warmteverspreiding voert tot een temperatuurvereffening, welke opnieuw de werkzaamheid der warmte-energie vermindert. Het is door deze eigenschappen der warmte, dat bij de natuurlijke processen energie verstroot wordt, minderwaardig wordt gemaakt. Daar nu de hoeveelheid omvormbare energie in de wereld steeds afneemt, moet volgens de wet van het behoud der energie de hoeveelheid onomvormbare steeds toenemen. Deze laatste is de maat der entropie. Men kan dus de tweede warmtewet zóó omschrijven : alle aardsche processen voeren tot eene vermeerdering der entropie.

Wanneer men bedenkt, dat van mechanisch statistisch standpunt de warmte opgevat moet worden als bepaald zijnde door de onregelmatige beweging der moleculen, dan is het begrijpelijk, dat als aan deze deeltjes eene andere energievorm wordt toegevoegd, een deel van deze energie omgezet wordt in deze onregelmatige beweging, zoodat men kan zeggen : „die Entropie eines Systems ist das Mass seiner Regellosigkeit oder will man lieber, die negative Entropie eines Systems ist das Mass der Ordnung, welche in einem Systeme herrscht," ²⁹⁾.

Waren wij dus in staat de onregelmatige warmtebeweging der moleculen te ordenen, dan zou de entropiewet in dat geval doorbroken zijn ; de verstrooiing der energie zou niet plaats vinden, (MAXWELL ³⁰⁾.

Uit deze beschouwingen blijkt dus, dat uitzonderingen op de tweede warmte-wet zéér goed denkbaar zijn en bewijst dus de noodzakelijkheid om de mogelijke toepassing der entropiewet voor andere, dan physische processen experimenteel te toetsen. Op

deze noodzakelijkheid werd door ZWAARDEMAKER met klem gewezen, want als „mathematische Deduktion behauptet das Gesetz eine absolute Herrschaft nur in so weit als statistische Betrachtungen über die Bewegungen der kleinsten Teilchen am Platze sind,“ ³¹⁾.

Waar dus het experimenteel onderzoek betreffende de eerste energiewet een welkome bevestiging was van een vooraf vastgestelde meening, zien wij met de meeste belangstelling de resultaten betreffende de tweede wet tegemoet. Wij zijn dus genoodzaakt bij dit experimenteel onderzoek wat langer stil te staan.

Beschouwen wij nu eenige der meest essentieele levensverschijnselen in verband met deze tweede wet eenigszins nader.

Reeds in de oudheid was het bekend, dat de voeding, de assimilatie, de stofwisseling tot de meest kenmerkende levensverschijnselen behoorde en de oude vergelijking van het leven met een vlam moge op vele punten onjuist zijn ³²⁾, wanneer men alleen de stroom van stof en energie beziet, welke de voorwaarde is van beider voortbestaan, zoo is de analogie niet te miskennen. Stoffen worden opgenomen, omgezet en slechts een gering deel der producten dezer chemische werkzaamheid vormen de samenstelling van het schijnbaar onveranderlijk voortbestaande, terwijl de rest als eindproducten weder worden weggevoerd.

Beschouwen wij de verschijnselen nader, van een energetisch standpunt.

Het is ieder bekend, dat alle warmbloedige organismen warmte produceeren, welke afkomstig is uit de chemische energie der voedingsstoffen, maar ook bij koudbloedige dieren heeft men vastgesteld, dat zij steeds eene geringe hoeveelheid warmte afgeven. Deze warmte kan nu in het dierlijk organisme niet weer worden teruggevoerd in den energievorm, waaruit zij is voortgekomen. Er wordt dus bij de stofwisseling energie verstrooid en reeds hieruit kan men afleiden, dat het proces der stofwisseling niet in strijd is met de tweede energiewet. In de tweede plaats zou men kunnen vermoeden, dat de assimilatie en dissimilatie tezamen een omkeerbaar kringproces voorstellen, zoodat de toestand van het organisme om een evenwichtsstand schommelt. In dit geval kan er van geen toename der entropie sprake zijn. Nu heeft echter ZWAARDEMAKER ³³⁾ er op gewezen, dat de stofwisseling een onomkeerbaar proces is en de assimilatie een geheel anderen weg doorloopt dan de dissimilatie.

Toch is het zeer wel mogelijk, dat op meerdere plaatsen in het organisme uitzonderingen op deze algemeene regels voorkomen.

De beschouwingen toch, die wij hielden, gelden blijkens experimenteel onderzoek voor alle onderzochte organismen, maar het is de vraag of zij ook geldig zijn voor alle organen. In de eerste plaats is het de vraag of in alle organen bij rust of functie warmte wordt geproduceerd.

Het is hier niet de plaats om op speciale onderzoekingen in te gaan, maar ik wil toch even wijzen op die betreffende periphere zenuwen. Het is namelijk gelukt de hoeveelheid zuurstof te meten, welke periphere zenuwen van koudbloedige dieren in rust verbruiken. Ook is het mij gelukt in bepaalde gevallen een vermeerderd zuurstofverbruik vast te stellen bij de functie ³⁴). Hoewel deze feiten erop wijzen, dat in de zenuwen oxydatie plaats vindt, welke oxydatie gepaard gaat met warmteproductie is het aan anderen en mij niet gelukt deze warmteproductie te meten. Men heeft hieruit de conclusie getrokken, dat er naast het chemisch proces, dat warmte afgeeft ook een chemisch proces in de zenuw zou bestaan, dat warmte bindt, maar de mogelijkheid van eene andere verklaring is niet uitgesloten. Het zou namelijk kunnen zijn, dat de energie, welke bij de oxydatie vrij komt, omgezet wordt in eene geordende moleculaire beweging, dus niet in de ongeordende beweging, welke zich als warmte voordoet. Dan zou dus m. a. w. „een statische beschouwing over de beweging der kleine deeltjes” niet meer zijn toe te passen. In hoeverre dit mogelijk is, kan men niet met zekerheid beslissen, maar volgens mijne meening is het waarschijnlijkste, dat in de georganiseerde natuur bij de verschillende processen wel een deel van de energie als ongeordende warmtebeweging verloren gaat, maar dat dit deel veel kleiner is, dan bij eenig proces in de doode natuur. De volgende overwegingen voeren mij tot dit besluit.

Ten eerste is de structuur van de levende substantie er ongetwijfeld een, waarbij de moleculen een zéér bepaalde geordende plaats innemen. Hiervoor pleiten niet alleen algemeene overwegingen omtrent de gecompliceerdheid der functies, maar bovendien de verschijnselen der dubbelbreking, der ultra-microscopische onderzoekingen en de bouw van het levende eiwit.

Nu zijn er echter tusschen deze geordende deeltjes ook stellig moleculen verstrooid aanwezig, welke niet in het organisch ver-

band opgenomen een relatief ongeordende verspreiding en beweging bezitten. In de eerste plaats komen hiervoor in aanmerking een deel der zoutmoleculen, die juist door hun ongeordende beweging in contact met een half doorlaatbaren wand den osmotischen druk teweegbrengen, welke in de cellen heerscht. Verder zijn stellig vrij van de organische stof die moleculen, welke ontstaan zijn uit de omzetting der voedingsstoffen. Het is dus wel waarschijnlijk, dat een deel der energie, zij het ook nog zoo gering overgaat op deze moleculen en hunne warmtebeweging vergroot.

De overweging, dat slechts zéér weinig moleculen bij de ruststofwisseling van afzonderlijke cellen of celonderdeelen (spierzuiltjes, zenuwfibrillen) in reactie treden, kan wel invloed hebben op de vraag over de toepassing der waarschijnlijkheidsrekening (wet van GULDBERG & WAAGE) op deze reactie, maar kan niet over de geldigheid der tweede warmtewet voor de levensverschijnselen beslissen. ³⁵⁾

Ten tweede verklaren wij, met onze veronderstelling in voldoende mate, waarom bij processen, zooals die in de zenuwen plaats vinden, de door de oxydatie vrijwordende warmte-hoeveelheid niet als zoodanig meetbaar wordt.

Ten derde is er het feit mede in overeenstemming, dat de mechanische arbeid welke de spieren verrichten slechts met relatief weinig warmteproductie gepaard gaat. Waar n.l. van onze beste stoommachines het arbeidsaequivalent, (dat wil zeggen dat deel der door de verbranding der kolen vrijwordene energie, dat in mechanische arbeid omgezet kan worden), slechts 10 % bedraagt, kan de spier volgens oudere onderzoekingen 35 % van de chemische energie van zijne voedingsstoffen in arbeid omzetten. Het is interessant, dat bij de nieuwere onderzoekingen van HILL, ³⁶⁾ waarbij de spieren in bijzonder normale condities verkeerden, dus een zoo gering mogelijk aantal ongeordende moleculen bevatten, dit nuttig effect nog veel grooter was (50—56 %).

Ook de onderzoekingen over de stof- en energiewisseling bij het electrisch orgaan van de sidderrog rechtvaardigen niet het besluit, dat men hier processen heeft in strijd met de tweede warmtewet.

De onderzoekingen betreffende deze organen zijn ongeveer evenver gevorderd, als die over het proces in de periphere zenuwen.

De proeven van BERNSTEIN en TSCHERMAK ³⁷⁾ toonden aan, dat bij de functie geen of slechts een uiterst geringe verwarming van het electricch orgaan optreedt. Bij mijne eigene onderzoekingen ³⁸⁾ was ik in de gelegenheid aan te toonen, dat de functie van het orgaan in hooge mate van zuurstof en andere chemische stoffen afhankelijk is, hetgeen reeds bewijst, dat bij de functie een chemisch proces plaats vindt. Verder kon ik ook aantonen, dat tijdens de werkzaamheid van het electricch orgaan ook werkelijk een verhoogde stofwisseling optreedt, waarbij zuurstof werd verbruikt en afgebouwde organische producten vrijkwamen.

Behalve de stofwisseling of functioneering van het volwassen organisme treffen wij in den groei en ontwikkeling van het ei, de functie van jeugdige cellen, een niet minder kenmerkend levensproces aan en het is de vraag of dit proces ook onderworpen is aan de entropiewet; of dus bij de ontwikkeling de algemeene gang van de energetische natuurprocessen niet wordt onderbroken en dit onomkeerbaar proces ook gepaard gaat met verstrooiing van energie. ³⁹⁾ De feiten leeren ons hieromtrent, dat bij de embryonale ontwikkeling warmte vrijkomt. Het bekende voorbeeld van ontkiemende zaden is minder gelukkig gekozen, daar juist de warmte hierbij in het begin der ontwikkeling geproduceerd, voor het grootste deel door opzwellling van organische stoffen ontstaat.

Zéér zuiver spreken echter de resultaten van de proeven van BOHR en HASSELBACH over het kippenei, waar de warmteproductie tijdens de ontwikkeling gemeten werd. Maar het is duidelijk dat deze onderzoekingen geen conclusies toelaten over de ontwikkeling van andere organismen.

De mogelijkheid is n.l. niet uitgesloten, dat bij de ontwikkeling geen dispersie van energie optreedt, daar juist bij dit proces een geregelde beweging van de kleinste deeltjes der levende substantie te verwachten is.

Het is echter duidelijk, dat al zou de tweede warmtewet voor alle stoffelijke levensverschijnselen gelden, óók door deze wet niet is uitgesloten, dat niet-energetische factoren het ontwikkelingsproces in eene bepaalde richting leiden. Wij vinden namelijk reeds in de Katalysatoren der levenlooze natuur substanties, welke

chemische reacties versnellen of vertragen, maar bij een thermodynamische beschouwing dezer omzettingen buiten rekening kunnen blijven. Het is nu bekend, welk een enorme beteekenis aan de fermenten in de levensverschijnselen moet worden toegekend en met name is de ontwikkeling, de celdeeling in bepaalde richting, snelheid en grootte, en de differentiatie (verandering in samenstelling) der cellen in hooge mate afhankelijk van formatieve en „auslösende” prikkels, waarvan *het voor een energetische beschouwing totaal onverschillig is*, of deze ontwikkelingsinvloeden voortkomen uit de prikkels der omgeving, de rangschikking der deeltjes in de cellen, dan wel uit een niet stoffelijke factor (dominant of entelechie), welke in overeenstemming met bepaalde causae finales „die nach thermodynamischen Regeln ablaufenden Reaktionen gelegentlich hemmt oder wieder frei lässt”. ⁴⁰⁾ Vergeten wij ook niet, dat ten slotte ruimtelijke uitbreiding alleen een specifieke chemische werking niet verklaart en dus ook de invloeden door omgeving en celstructuur uitgeoefend op het ontwikkelingsproces in hun wezen geheel onbekend moeten worden geacht.

Na het voorafgaande is het ook duidelijk, dat de theorie der wisselwerking tusschen ziel en lichaam ook door de mogelijke geldigheid der tweede warmtewet niet wordt weerlegd. Het onbewuste zielsleven der dieren, hunne instincten, en hun sensitief leven onttrekken zich geheel aan eene energetische beschouwing, maar ook de wisselwerking kan even goed plaats vinden zonder de energetische wetten te doorbreken. De oneindige veelheid geordende beweging in de levende stof kan zéér wel alleen optreden tezamen met een nog veel grootere omzetting van energie, zoodat de entropie van het geheel toeneemt.

Wij komen dus tot het besluit, dat de energetische beschouwing der levensverschijnselen :

1e. geen steun kan zijn voor eene energetische wereldbeschouwing.

2e. hoogstwaarschijnlijk maakt, dat de stoffelijke levensverschijnselen aan de beide thermodynamische hoofdwetten zijn onderworpen.

3e. de theorie der wisselwerking niet weerlegt en daarmede volstrekt niet het aannemen van immaterieële realiteiten uitsluit.

De energetische beschouwing biedt echter het bijzondere voordeel

aan, dat men met deze niet-energetische factoren geen rekening behoeft te houden en is bovendien volkomen toelaatbaar zelfs „wenn eine Kenntnis über das innerste Wesen des äusserlich untersuchten Objektes uns völlig abgeht. Dann ist eine formelle quantitative Bearbeitung das einzige Richtige, weil sie allein ein wirklich tieferes Eindringen ohne die Aufstellung von Hypothesen gestattet,“ ⁴¹⁾).

Deze uitspraak houdt tevens in zich, dat men langs thermodynamischen en energetischen weg nooit zal kunnen komen tot de kennis omtrent het *wezen* der levensverschijnselen, maar voor wie hierin reden zou mogen zien zijn experimenteele werkzaamheid bij voorkeur in een andere richting te ontwikkelen, moge de opmerking van dienst zijn, dat nooit waarneming iets anders leert dan verschijnselen en het wezen der dingen niet uit de empirie te bewijzen is, maar hypothetisch te benaderen door logische bespiegeling. Welnu het materiaal voor deze deducties wordt door eene energetische beschouwing evengoed geleverd als door elke andere. Men name leert ons de energetische bestudeering der levensverschijnselen behalve het verband dezer verschijnselen met de energiewetten de belangrijkste feiten van het leven kennen, namelijk de eigenwettelijkheid, de doelmatigheid en de onderlinge verwantschap van al het levende.

Om dit aan te toonen zullen wij eenige wetten nader bespreken, waaraan *alleen* in het *levende* de energetische verschijnselen onderworpen zijn; waarbij tevens zal blijken, dat deze levenswetten niet alleen voor de theoretische biologie maar ook voor de praktische medische wetenschap en voor de menselijke samenleving vaak van verstrekkende beteekenis zijn.

Alle energie, welke in het dierlijk organisme voor de instandhouding van het labiele evenwicht en voor de functie der organen wordt gebruikt is chemische energie en ontstaat uit de verbranding van organische stoffen, vooral van kool- en waterstof.

Zooals HENDERSON ⁴²⁾ in zijn treffende monographie uiteenzet, leert eene bestudeering der „Umwelt des Lebens,“ dat in de doode natuur van alle chemische processen juist de oxydatie van kool- en waterstof de beste energiebronnen voor het leven zijn. Hieruit blijkt, niet alleen, dat de doode natuur in hooge mate voor het leven geschikt is, en het meest geschikte voor het leven gebruikt wordt; maar tevens wordt met klem hierdoor aangetoond, dat de

doelmatigheid der levensverschijnselen *mede* berust op wetten en eigenschappen der doode stof. Deze doelmatigheid kan niet ontstaan zijn door evolutie, of men deze zich denkt in darwinistischen geest, dan wel in den zin van DRIESCH, BERGSON of SEMON. Deze doelmatigheid wordt het natuurlijkst verklaard op grond van supra-individueele ideeën, welke in de natuur zijn gerealiseerd, ideeën met een logischen samenhang, alleen in het wezen Gods bestaanbaar, als immanente causae in de dingen ingedragen" ⁴³).

Een tweede merkwaardige wet betreft ook de bronnen, waaruit het organisme de energie put. RUBNER ⁴⁴) heeft n.l. aangetoond, dat men de verschillende voedingsstoffen tot op zekere hoogte tegen elkaar kan uitwisselen en dat daarbij voor het organisme alleen van beteekenis is, dat het voedsel bij zijn oxydatie eene bepaalde hoeveelheid warmte afgeeft. Inplaats van een zekere hoeveelheid vet, koolhydraten en eiwit, waarmede dier of mensch zich voedt, kunnen deze stoffen ook in andere verhouding in de behoefte der energiewisseling voorzien, mits de verbranding en omzetting in het organisme slechts een zelfde hoeveelheid warmte vrijmaakt. Niet de materie, maar de energie is het belangrijkste bij de voeding „die lebende Substanz hat keinen Bedarf nach einzelnen der üblichen Nahrungsstoffe, sondern nur einen Bedarf an Kräften," ⁴⁵). Deze experimenteel vastgestelde feiten hebben een buitengewoon practische beteekenis. Voor mensch en dier heeft men de behoefte aan energie vastgesteld, waardoor het mogelijk was te berekenen, hoe men hieraan op de meest economische wijze kon voldoen. Behalve voor volks- en legervoeding hebben deze berekeningen de meeste beteekenis gekregen voor den veeteelt, waarvoor dan ook nog steeds in deze richting de onderzoekingen worden voortgezet.

Sinds het eerste begin eener empirische wetenschap werd men voortdurend door het feit getroffen, dat alle levende dingen, hoe verschillend ook in meer of mindere mate gelijke functies bezitten. Ook de moderne physiologie heeft er naar gestreefd deze eenheid der levende stof scherper te formuleeren, onder meer vanuit een energetisch gezichtspunt.

Alle levende stof zet energie om en deze omzetting is afhankelijk van talrijke factoren. De vraag was dus of onder gelijke voor-

waarden de levende substantie van alle dieren eene gelijke mate van energieomzetting zouden vertoonen. RUBNER ⁴⁶⁾ meent deze uniteit te kunnen aannemen op grond der betrekkelijk geringe verschillen, welke de energiewisseling van verschillende dieren vertoonen bij gelijke temperatuur, mits deze dieren ook van gelijke grootte zijn. In hoeverre deze uniteits-hypothese op voldoende experimenteele feiten is gegrondvest, willen wij hier niet overwegen. Alleen verwijs ik nog naar de interessante en zéér exacte onderzoekingen van TANGL, welke een uniteits-hypothese schijnen te ondersteunen.

TANGL ⁴⁷⁾ onderzocht hoeveel arbeid er verbruikt werd bij de ontwikkeling van verschillende dieren uit het ei. Het bleek nu, dat de vorming van een gram levende substantie van een kip en van een zijdevlinder gelijke hoeveelheid energie vereischt.

De vergelijking der energiewisseling van verschillende dieren leerde, dat bij warmbloedige dieren eener zelfde diergroep de kleinere exemplaren steeds een relatief sterker energie hoeveelheid verbruiken, dan de grootere, maar dat per oppervlakte eenheid berekent het energie-verbruik gelijk is. Men meende, dat deze oppervlaktewet ook geldig was voor de koudbloedige dieren, maar hoewel uit alle onderzoekingen blijkt, dat ook hier de kleinere exemplaren per gewichtseenheid een veel sterker stofwisseling hebben dan de groote, kon ik toch een evenredigheid van energiewisseling en oppervlakte der dieren niet vaststellen. ⁴⁸⁾

Het verschil tusschen groote en kleine dieren heeft dus een anderen grond (blijkens mijn onderzoekingen ten deele nerveuse regulatie, ten deele in verschil in weefselademhaling gelegen) maar dit verschil wordt bij de warmbloedige dieren gebruikt om het verschil in warmteverlies langs de lichaamsoppervlakte te compenseeren, en hieraan is het toe te schrijven, dat de energiewisseling bij warmbloedige dieren evenredig aan hun oppervlakte is. Wij leeren dus uit deze feiten iets kennen van de z. g. regulatie der energiewisseling, welke regulatie bij de warmbloedige dieren tot doel heeft de temperatuur en daarmee de functie van het organisme onafhankelijk te maken van de temperatuur der omgeving.

Maar naar mij gebleken is, handhaven ook de koudbloedige dieren binnen zekere grenzen in een onvolmaakter vorm een

zekere gelijkmatigheid hunner energetische processen. Het resultaat van mijn onderzoek hieromtrent is n.l. dat Europeesche en tropische koudbloedige dieren (schildpadden, visschen) bij verschillende temperatuur een vrijwel gelijke grootte van energiewisseling hebben, mits de temperatuur-verschillen zekere, door hun natuurlijke levensomstandigheden gegeven grenzen niet overschrijden, en de proeven lang genoeg worden voortgezet, tot adaptatie is tot stand gekomen. ⁴⁹⁾

Zoo zou ik kunnen voortgaan met voorbeelden aan te halen van de wetten, waaraan de energiewisseling in het organisme onderworpen zijn, maar uit den rijkdom van reeds verworven kennis, kunnen wij uit den aard der zaak slechts enkele grepen doen. Daar zijn de onderzoekingen over de energiewisseling der insecten, welke ons in staat stellen ook van de kleinste dieren hun geheime „Merkwelt” te leeren kennen, daar zijn de onderzoekingen over den invloed van de meest uiteenloopende stoffen op de energiewisseling van bloedlichaampjes, levercellen enz., waardoor wij een der meest gevoelige methoden schijnen te bezitten om de werking van geneesmiddelen nader te bestudeeren.

De onderzoekingen over de energiewisselingen bij verschillende ziekten, over den invloed van klimaat en levensomstandigheden, van minimale quantiteiten en psychische invloeden zijn voor de praktische medische wetenschap van het hoogste belang.

Al deze feiten, regels en wetten der levende natuur worden echter niet anders genomen dan langs den moeizamen weg van het experiment. Zeer veel dank ben ik dan ook aan het Bestuur der Vrije Universiteit verschuldigd dat men mij in de gelegenheid heeft gesteld een laboratorium voor onderzoekingen op energetisch gebied in te richten. De energiewisseling van den mensch in rust en in arbeid kan ik onder tal van condities bestudeeren, maar ook voor de meting der energiewisseling van niet te groote dieren is het instrumentarium voldoende.

Door de opstelling van een zeer gevoeligen galvanometer is het mij mogelijk langs thermoelectrischen weg ook van de kleinste insecten, evenals van uitgesneden en overlevende weefsels de warmteontwikkeling langs directen weg te bepalen. Langs indirecten weg n.l. door de meting der oxydatie-processen, laten

de toestellen het toe de energiebehoefte tot in uiterst minimale hoeveelheden indirect te meten.

En zoo hopen wij ook eenige feiten te kunnen vaststellen, welke voor de energetische beschouwing der levensverschijnselen van beteekenis kunnen zijn. De eenheid en de rijke verscheidenheid der natuur zullen ook daarbij telkens opnieuw blijken, en naast de doelmatigheid, waarvan het leven ook op energetisch gebied telkens weer blijk geeft, zal toch ook de energetische bestudeering op de dwingende noodzakelijkheid doen letten, waarmede ook de levensverschijnselen plaats vinden.

En zoo hebben we goeden moed ook het tweede deel onzer taak aan te vangen, n.l. uit de feiten op te klimmen tot de theorie; uit de verschijnselen te trachten het wezen der dingen te leeren kennen.

En dat bij deze geestelijke werkzaamheid onze persoonlijke natuur zich niet verloochent, en vooraf bepaalde grondslagen voor een ieder bewust of onbewust vaststaan, behoeft wel geen betoog. Maar even zeker is het, dat, wie van de wetenschap meer verwacht dan een verzamelen van symbolen, die de ons omgevende werkelijkheid ons opdringt, uit moet gaan van het geloof dat deze buitenwereld bestaat en kenbaar is; „dat de dingen werkelijk en onze denkbeelden waar zijn.” Zoo is er ook geen wijsbegeerte der natuur mogelijk, indien men niet stilzwijgend bouwt op den grondslag van het Christelijk geloof, dat de wereld door wijsheid is gegrond, en in haar geheel, en in al hare deelen, wijsheid openbaart. ⁵⁰⁾

En deze orde, eenheid, wijsheid, ook in de levende natuur te leeren zien, daartoe zal ook de energetische beschouwing der levensverschijnselen kunnen bijdragen, indien wij niet nalaten vóór alles het groote gebod „Gij zult God den Heere liefhebben . . . met geheel Uw verstand. (Mattheus 22 : 36).

Aanteekeningen.

1. PLATO. Theaetetus p. 155 D. ARISTOTELES Metaphysica I 2. 982 b. 12.
2. RADL E. Geschichte der biologischen Theorien Leipzig. 2 Bd. 1905—1909.
- DRIESCH H. Der Vitalismus als Geschichte und als Lehre Leipzig 1905.
3. Men zie voor de kritiek van het oude materialisme o.a v. HARTMANN. Die Weltanschauung der modernen Physik Leipzig 1902. LOTZE Medicinische Psychologie Leipzig 1852. LOTZE Microkosmos I.
4. OSTWALD. Vorlesungen über Naturphilosophie Leipzig 1902, OSTWALD The modern theory of energetics. The Monist, vol. XVII, 1907 p. 481—515.
5. EISLER. Wörterbuch der philos. Begriffe.
6. AUERBACH F. Die Weltherrin und ihren Schatten Jena 1902.
7. RUBNER M. Kraft und Stoff im Haushalt der Natur Leipzig 1909.
8. SIGWART CHR. Logik Bd II Tübingen 1904 S. 166.
9. RANKINE M. Phil. Mag. (4) 5, p. 106, 1853. (gecit. bij M. PLANCK).
10. PLANCK M. Das Prinzip der Erhaltung der Energie (Wissenschaft und Hypothese VI). Leipzig u Berlin 1908. S. 104.
11. v. HARTMANN l. c. S. 1.
12. SIGWART. l. c. II S. 136—177. BUIJTENDIJK. Orgaan der Chr. Ver. v. Natuur- en Geneesk. 1912.
13. CARUS A. Professor Ostwald's Philosophy, an appreciation and a criticism. The Monist. vol. XVII, 1907 p. 516—540.
14. HELMHOLTZ H. Über die Erhaltung der Kraft. Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften No. 1. Leipzig 1907 S. 7.
15. BUSSE L. Geist und Körper, Seele und Leib 2e Aufl. 1913. Leipzig S. 403—474.
16. POINCARÉ H. La Science et l'Hypothèse Paris Flammarion.
17. v. D. WAALS J. D. JR. Over de vraag naar de meest fundamenteele wetten der natuur. Groningen 1909.
18. RUBNER l. c. S. 47.
19. HEYMANS G. Einführung in die Metaphysik auf Grundlagen der Erfahrung Leipzig 1905 S. 67.
20. STAHL. Gecit. bij Radl (2).
21. WARD JAMES. Heredity and Memory Cambridge 1913. WARD JAMES Naturalism and Agnosticism Londen 1899. WARD JAMES The Realm of ends. Cambridge U. P. 1911.
22. REINKE J. Einleitung in die theoretischen Biologie Berlin 1901.
23. DRIESCH H. Philosophie des Organischen 2 Bd Leipzig 1909.

24. DRIESCH H. *The Problem of individuality* London 1914.
25. Ook MARÉS meent, dat de wet van het behoud der energie een denk-noodzakelijkheid is en het directe bewijs aan het dierenlichaam overbodig (*Arch. internat. de Physiol.*, 1901 I. p. 440). In zijn voordracht „Ueber die Wechselwirkung der Naturkräfte Königsberg 1845, schetst HELMHOLTZ zeer treffend de algemeene opvattingen over de energiewisseling van dier en mensch vóór de wet van het behoud der energie was geformuleerd. „Einen Zusammenhang zwischen der Nahrungsaufnahme und der Kraftentwicklung wusste man sich nicht zurecht zu machen. Die Nahrung schien nur nöthig, um gleichsam die Räder der thierischen Maschine zu schmieren, das abgenutzte zu ersetzen, das alt gewordene zu erneuern. Krafterzeugung aus sich selbst schien die wesentlichste Eigenthümlichkeit, die rechte Quintessenz des organischen Lebens zu sein.”
26. BENEDICT and CARPENTER. *The influence of muscular and mental work on metabol, and the efficiency of the human body as a machine.* Washington 1909 (U. S. Departm. of Agric. Office of exp. stat. Bul. no. 208).
27. BECKER U. Oisen *Scand. Arch f Phys Bd. 31 S. 81—197* (1914).
28. TANGL T. *Energie Leben und Tod.* S. 14—15. Berlin 1914.
29. ZWAARDEMAKER H. *Ergebn. der Physiol. Jhr, V 1906 S. 119.*
30. MAXWELL, *Theory of heat* (p. 328).
31. ZWAARDEMAKER H. *Zentralb. f. Physiol. Bd. XXI no. 3.*
32. DE GROOT P. J. V. *De Katholiek Dl. C. XLIII blz. 225—253.*
33. ZWAARDEMAKER H. *Over de onomkeerbaarheid der stofwisseling.* *Nederl. Tijdschr. v. Geneesk.* 1907 1e helft No. 18 p. 1257—1267.
34. BUIJTENDIJK F. J. J. *Over het zuurstofverbruik van het zenuwstelsel.* *Kon. Akad. v. Wetensch.* 1910, p. 615—621.
35. Een eenvoudige berekening leert, dat per inotagme (of spierzuiltje) bij één spiercontractie een zeer gering aantal zuurstof moleculen wordt gebruikt en dus nog een geringer aantal suikermoleculen worden omgezet. Het is zeer wel mogelijk, dat deze moleculen in de samenstelling van het spierelement een geordende plaats innemen. Dergelijke overwegingen gelden ook voor andere cellen en celonderdeelen (zenuwfibrillen, trilharen etc.)
36. HILL. *Journal of Physiology Bd. 44, 46.*
37. BERNSTEIN J. und TSCHERMAK A. *Über die Natur der Kette des elektrischen Organes bei Torpedo Pflugers Archiv.* 1906 p. 112.
38. BUIJTENDIJK F. J. J. *Verslag onderzoekingen te Napels, Staatscourant* 1912 no. 56.
39. TANGL. *Pflugers Arch. f Phys Bd. 130. s. 55.*
40. ZWAARDEMAKER H. *Die Energetik der finitiven Prozesse* *Ergeb. der Phys Jhg. XII 1912 S. 627.*
41. ZWAARDEMAKER H. *Erg. d Phys 1906 S 111.*
42. HENDERSON L. J. *Die Umwelt des Lebens* (Übers v. R. BERNSTEIN) *Wiesbaden 1914.*
43. BAVINCK H. *Christelijke Wereldbeschouwing, Kampen 1913 blz. 57.*
44. RUBNER M. *Die Vertretungswerte d. hauptsächlichen Organ. Nahrungsstoffe im Tierkörper.* *Zeitschr. f Biol. XIX 312* (1883). *TIGERSTEDT R. Handb. der Biochemie des Menschen u. d. Tiere Bd. IV 2 H.*

45. RUBNER M. Kraft u Stoff etc. S. 50.
46. RUBNER M. I. c. S. 85—96.
47. TANGL I. c.
48. BUIJTENDIJK F. J. J. Over het zuurstofverbruik der koudbloedige dieren in verband met hunne grootte Kon. Ak. v. Wetensch. 1909 blz. 886. Over de gaswisseling der koudbloedige dieren etc. Kon. Ak. v. Wetensch. 1910 blz. 870. Über den Gaswechsel der Schmetterlingspuppen. Biol. Centralb. 1911 No. 20 S. 643.
49. De resultaten van dit onderzoek zijn nog niet gepubliceerd.
50. BAVINCK H. Christelijke Wereldbeschouwing blz. 32.

