

OVER DE VERHOUDING TUSSEN HET ENTROPIEBEGRIP EN DE LEVENSFUNCTIES

DOOR

J. M. BURGERS

VERHANDELINGEN DER NEDERLANDSCHE AKADEMIE
VAN WETENSCHAPPEN, AFDEELING NATUURKUNDE

EERSTE SECTIE, DEEL XVIII, No. 3

1943

N.V. NOORD-HOLLANDSCHE UITGEVERS MAATSCHAPPIJ
AMSTERDAM

Nederl. Akad. Wet., Verh. (Eerste Sectie), Dl. XVIII, No. 3, p. 1—39, 1943

1943

Printed in Holland

*Copyright Nederlandsche Akademie van Wetenschappen
Amsterdam*

De voordracht over "*Entropie en dissipatie*", gehouden door Prof. Dr. L. G. M. BAAS BECKING voor de Afdeling Natuurkunde van de Nederlandse Akademie van Wetenschappen op 31 October 1942¹⁾, roert tal van problemen aan, die tot nadere overweging uitlokken. In de volgende bladzijden moge een poging worden gewaagd, om een overzicht te geven van enige beschouwingen betreffende de verhouding tussen het entropiebegrip en de levensfuncties, zoals deze zich onder de invloed van de moderne natuurkunde hebben ontwikkeld.²⁾

1. *Inleiding.* — In herinnering zij gebracht dat alle omzettingen van arbeidsvermogen in fysische en chemische stelsels onderworpen zijn aan twee algemene betrekkingen, welke worden aangeduid als de eerste en de tweede hoofdwet der thermodynamica.

De eerste hoofdwet drukt uit het behoud van arbeidsvermogen, waarbij van belang is dat ook de warmte die hetzij van een lichaam op een ander, hetzij van een lichaam op de omgeving (of omgekeerd) overgaat, als een hoeveelheid arbeidsvermogen in rekening moet worden gebracht. Hiermede wordt erkend dat naast het arbeidsvermogen der zichtbare bewegingen van lichamen, van vloeistoffen of van gassen, ook de — in de meeste gevallen voor ons onzichtbare — moleculaire bewegingen in het inwendige der materie arbeidsvermogen opnemen en weer kunnen afgeven.

De tweede hoofdwet heeft betrekking op de algemene tendentie tot nivellering welke in de processen der natuur valt op te merken, en op het bereiken van evenwichtstoestanden waarin geen verdere reacties meer optreden. De formulering welke men aan deze wet heeft gegeven, heeft haar uitgangspunt ontleend aan het feit, dat bij het contact van lichamen van ongelijke temperatuur, warmte steeds van het lichaam van hogere temperatuur overgaat naar een lichaam van lagere, en nooit omgekeerd (gevallen uitgezonderd, wanneer dit met behulp van bijzondere middelen, waarbij van buitenaf arbeid moet worden geleverd, opzettelijk wordt teweeggebracht). Wanneer een systeem van lichamen voldoende lang aan zich zelf wordt overgelaten, wordt tenslotte een eindtoestand bereikt, waarin alle lichamen dezelfde temperatuur hebben aangenomen. — Verwant hiermede is de omstandigheid, dat in een niet homogene oplossing of in een

¹⁾ L. G. M. BAAS BECKING, *Proceedings Academy Amsterdam*, 45, p. 895, 1942.

²⁾ Bij het samenstellen van deze beschouwingen heb ik veel hulp ondervonden van Prof. Dr. L. G. M. BAAS BECKING, Prof. Dr. H. A. KRAMERS en Prof. Dr. A. J. KLUYVER, die ontwerpen voor het manuscript hebben doorgelezen en verschillende punten met mij hebben besproken. Hiervoor ben ik hun grote dank verschuldigd. Daarnaast heeft de discussie welke plaats vond na de voordracht voor de Afdeling Natuurkunde op 19 December 1942, en waaraan werd deelgenomen door Prof. Dr. J. W. LANGELAAN, Prof. Dr. H. J. JORDAN, Prof. Dr. F. A. VENING MEINESZ, Prof. Dr. J. CLAY en Prof. Dr. C. U. ARIËNS KAPPERS, aanleiding gegeven om de formulering van § 15. en § 16. te wijzigen, hetgeen ook veranderingen en toevoegingen in het daarop volgende gedeelte gewenst maakte.

Een onderwerp als de door BAAS BECKING aangerode groep van problemen vraagt eigenlijk ten eerste om gezamenlijke behandeling, teneinde verschillende gezichtspunten tot hun recht te laten komen en opvattingen over en weer aan elkanders inzichten te kunnen toetsen. — Een korte mededeling van de hand van Prof. LANGELAAN over het entropieprincipe in de biologie is inmiddels verschenen in de *Verslagen Afd. Natuurkunde*, 52, p. 12, 1943.

niet homogeen mengsel van gassen diffusie optreedt, waardoor, ook bij afwezigheid van elk opzettelijk dooreenroeren, een nivellering der concentraties van de verschillende bestanddelen over de ter beschikking staande ruimte wordt teweeggebracht. Hierdoor wordt een eindtoestand bereikt, waarin het mengsel overal dezelfde samenstelling vertoont, en waarin alle zichtbare stoftransport heeft opgehouden. — Als derde geval kan naast deze beide nog worden gesteld het feit, dat in een stelsel waarin lichamen of gebieden zich ten opzichte van elkander verplaatsen, wrijvingskrachten werkzaam zijn, welke de snelheidsverschillen tussen de delen van het systeem trachten te verminderen, zodat, wanneer niet door uitwendige krachten de relatieve bewegingen der delen ten opzichte van elkander worden onderhouden, alle zichtbare relatieve bewegingen op de duur zullen ophouden.

De formulering van deze tendenties tot nivellering, van verschillen in temperatuur, in samenstelling, in beweging en meer dergelijke, in de gedaante van een algemeen geldende mathematische betrekking, is mogelijk geworden door de invoering van een bijzondere grootheid, de "entropie", welke met behulp van de vergelijkingen uit de warmteleer voor alle goed te definiëren toestanden van een stelsel van lichamen of stoffen kan worden berekend. Met behulp van deze grootheid neemt de tweede hoofdwet de vorm aan, dat in ieder aan zich zelf overgelaten stelsel de entropie naar een maximum streeft. Heeft de entropie de maximale waarde bereikt welke mogelijk is bij de voor het stelsel beschikbare energie en het voor het stelsel beschikbare volume, dan heerst er evenwicht en houden alle verdere reacties op.

In de ontwikkeling der thermodynamica is de entropie oorspronkelijk opgetreden als een abstracte grootheid, welke niet rechtstreeks door ons kan worden waargenomen. Eerst de statistische interpretatie van het entropiebegrip, welke later is gevonden, heeft het mogelijk gemaakt om de fundamentele rol welke dit begrip speelt bij alle fysische en chemische processen, in zijn volle omvang op veel helderder wijze te doorzien.

2. Het feit dat de tweede hoofdwet voor alle ons toegankelijke fysische en chemische stelsels geldig is, heeft verschillende vragen doen opkomen.

Ofschoon de wet in haar strenge vorm slechts kan worden uitgesproken voor een aan zich zelf overgelaten, en dus als "afgesloten" te beschouwen stelsel, hetwelk een gegeven energie moet bezitten en zich over een eindige ruimte moet uitstrekken, zo is men er toch toe gekomen om zich af te vragen of zij ook kan worden uitgebreid op het heelal. Werkt hierin dezelfde nivelleringstendentie, en betekent dit dat op de duur een toestand van evenwicht zal verschijnen, waarin dan verder niets meer zal gebeuren? Deze vraag impliceert zoveel, dat een volledig doordenken van hetgeen zij inderdaad zou inhouden uiterst moeilijk, zo niet onmogelijk is. Richt men de gedachte uitsluitend op de bewegingen en op de uitstraling en opname van energie der hemellichamen (sterrenstelsels, enz.), voor zover de astronomie ons deze heeft doen kennen, dan moet nochtans worden vastgesteld, dat er noch in de bewegingen der sterren, noch in haar stralingseigenschappen iets valt op te merken, dat op zich zelf aan de geldigheid der tweede hoofdwet afbreuk zou doen. Dit probleem zal hier echter terzijde worden gelaten. —

De vraag daarentegen die ons hier moet bezighouden is, in hoeverre ook de *levensverschijnselen* onderworpen zouden zijn aan de tweede hoofdwet. Hier moet een probleem in beschouwing worden genomen dat rechtstreeks

betrekking heeft op het bestaan van een tendentie tot nivellering in de natuur. Het leven, in het bijzonder in de hoogste vorm daarvan die wij in ons zelf ervaren, onderscheidt. Tegenover de tendentie tot het doen verdwijnen van verschillen, die wij in de anorganische natuur menen te zien, vindt men in de levende natuur een streven naar individualisatie en naar differentiatie. In levende wezens worden gecompliceerde stoffen opgebouwd, in vele gevallen uit eenvoudige anorganische bestanddelen; deze stoffen krijgen een plaats in het levende lichaam en worden mededragers van levensfuncties. Zij kunnen ook zelfstandige dragers worden van leven in het voortplantingsproces. Tenslotte zijn in de voortschrijdende ontwikkeling van levensvormen uit elkander steeds samengestelder structuren ontstaan, waarin ook geestesfuncties meer en meer tot uiting zijn gekomen. Dit alles geeft een beeld dat zozeer verschilt van wat wij kennen uit de anorganische natuur, dat het moeilijk te aanvaarden is dat hier dezelfde tweede hoofdwet zou regeren. In het bijzonder dringt zich de overtuiging aan ons op dat de geesteswerkzaamheid door geheel andere wetten wordt beheerst.

3. *Causaliteit.* — Voor dat kan worden ingegaan op de gestelde vraag, is het nodig aandacht te geven aan een groep van problemen, die samenhangen met het begrip causaliteit.

In mechanische, fysische en chemische stelsels op normale schaal, d.w.z. op een schaal waarbij aan elk proces zeer grote aantallen moleculen of atomen, enz. deelnemen, verlopen alle voor ons toegankelijke reacties op zodanige wijze, dat men iedere volgende fase van een proces met grote benadering kan voorspellen uit de voorafgaande. Iedere toestand van het systeem kan dan worden beschouwd zijn oorzaak te vinden in voorafgaande toestanden.

De studie der verschijnselen die zich voordoen in systemen van atomaire afmetingen, heeft echter doen inzien, dat de oorspronkelijk hierop gebaseerde formulering van de causaliteitswet, welke uitging van de gedachte dat elke momentane toestand van een systeem volkomen scherp kon worden beschreven, en dus ook op een volkomen bepaalde wijze moest zijn af te leiden uit voorafgegane, eveneens op scherpe wijze omschreven toestanden, niet houdbaar is. De wijze waarop de "toestand" van een systeem van atomaire afmetingen moet worden beschreven, is in een geheel ander aspect gekomen door de ontwikkeling van de quantummechanica. Het is gebleken dat men bij een dergelijk systeem niet kan zeggen, dat de gewoonlijk door ons in de beschrijving toegepaste grootheden, met name coördinaten en snelheden (of juistert: impulsen) van de het systeem samenstellende delen op ieder willekeurig moment bepaalde waarden "bezitten" of "vertonen". Datgene wat de toestand van een dergelijk systeem beschrijft, is een functie van abstract mathematisch karakter, de zg. *waarschijnlijkheidsamplitude*, die, wanneer men haar in de gewoonlijk door ons beschouwde grootheden (zoals bv. coördinaten en impulsen) tracht te vertalen, niet meer geeft dan een maat voor de waarschijnlijkheid dat een bepaalde coördinaat deze of gene waarde zal bezitten³⁾.

De waarschijnlijkheidsamplitude ontwikkelt zich, zolang het systeem aan zich zelf is overgelaten, op een geheel bepaalde wijze, welke wordt beheerst door een differentiaalvergelijking, de vergelijking van SCHRÖDINGER,

³⁾ Men vergelijke voor het volgende: J. VON NEUMANN, *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik* (Berlin 1932), vanaf Kap. III (p. 101); en R. C. TOLMAN, *The Principles of Statistical Mechanics* (Oxford 1938), Ch. VII (p. 180).

die voor tal van systemen bekend is, en waarvan de consequenties in alle details zijn onderzocht. Hierin vindt men dus een aspect terug van de causaliteitsopvatting, in die geest dat er een primair verband is in de verschijnselen der natuur, dat volgens vaste — en door ons te beschrijven — wetten verloopt ⁴⁾.

Het andere aspect, nl. dat wij op grond van de uitkomsten van gedane waarnemingen vaste voorspellingen zouden kunnen doen omtrent de uitkomsten welke toekomstige waarnemingen moeten opleveren, ontglipt ons daarentegen. Wij kunnen uit de functie waardoor de toestand van het systeem wordt beschreven, niet meer afleiden dan statistische gegevens omtrent te verwachten uitkomsten. Mag in sommige gevallen nog met zekerheid een voorspelling gemaakt kunnen worden omtrent een enkele grootheid, dan kan dit toch nooit gelijktijdig voorkomen ten aanzien van alle grootheden die voor ons van belang zijn.

Wanneer men hierop nader wil ingaan, dan doet zich de vraag voor: wat kunnen wij weten omtrent de bedoelde functie? Om iets te weten te komen moet op het systeem een waarneming worden verricht. Nu behoort — om het voor het begrip meest overzichtelijke geval te nemen — bij iedere grootheid waaromtrent een waarneming kan worden verricht (men duidt een dergelijke grootheid aan als een "*observabele*" van het systeem, waaronder bv. vallen de energie, de coördinaten, de impulsen, de spin van een electron), een serie van bijzondere vormen die de toestand van het systeem kan aannemen. Deze bijzondere "toestandsvormen" zijn gekenmerkt door de eigenschap dat in elke ervan de betrokken observabele een volkomen bepaalde waarde heeft ⁵⁾. Het resultaat van een waarneming — een "meting" — van die observabele is steeds één van deze bepaalde waarden; tegelijkertijd blijkt als gevolg van de waarneming het systeem te zijn "geprojecteerd" in de bijbehorende toestandsvorm. *Iedere observatie is dus tevens een ingrijpen in het gedrag van het systeem, waardoor het systeem in een nieuwe toestand wordt geworpen.*

Zo er tevoren niets omtrent het systeem bekend was, is niet te voorspellen welke van de reeks van mogelijke waarden door de observatie zal worden geleverd. Is de waarneming echter eenmaal verricht, en daarmee het karakter van de toestand die door de waarneming is geschapen, tot op zekere hoogte vastgelegd, dan kan men op grond van dit resultaat een statistische uitspraak doen omtrent de mogelijkheden die als resultaat van een volgende observatie te voorschijn kunnen komen. In het bijzonder kan worden opgemerkt, dat een onmiddellijke herhaling van dezelfde observatie hetzelfde resultaat geeft als de eerst verrichte observatie; in dit geval bestaat derhalve zekerheid omtrent de uitkomst.

4. *Maximale observaties.* — In het algemeen is de observatie van een enkele grootheid onvoldoende om de toestand van een systeem genoegzaam te kunnen bepalen. De functie waardoor de toestand wordt beschreven, strekt zich uit over een zeker aantal variabelen, zoveel als er vrijheids-

⁴⁾ Dit "primaire aspect" van de causaliteit, hetwelk door de differentiaalvergelijking van SCHRÖDINGER wordt beschreven, kan wat de tijd betreft, even goed naar voren als naar achteren worden gelezen. Het is derhalve als reversibel te beschouwen. Men vergelijk J. VON NEUMANN, *Die mathematischen Grundlagen der Quantenmechanik*, p. 190, laatste alinea; en R. C. TOLMAN, *The Principles of Statistical Mechanics*, p. 395.

⁵⁾ Ter vereenvoudiging der uiteenzetting is het geval waarin de observabele een "continu spectrum" van mogelijke waarden bezit, terzijde gelaten, ofschoon dit zich juist voordoet bij de cartesische coördinaten en impulsen, en daardoor feitelijk als het belangrijkste geval zou kunnen worden beschouwd. In het hierboven genoemde werk van VON NEUMANN wordt aan dit punt grote aandacht gegeven.

graden in het systeem zijn (bij een electron zijn dit vier vrijheidsgraden, drie beantwoordende aan de coördinaten, en één beantwoordende aan de spin). Om voldoende gegevens te verkrijgen moet men meerdere groottheden observeren. Men kan echter niet meer groottheden tegelijkertijd meten, dan er vrijheidsgraden in het systeem zijn; de gelijktijdige meting van andere groottheden is niet mogelijk. In het geval van een electron is het in principe mogelijk de drie coördinaten gelijktijdig met een willekeurige graad van scherpthe te bepalen (de spin zal verder terzijde worden gelaten); in de plaats van de drie coördinaten kan men ook de drie impulscomponenten gelijktijdig meten. Het is echter niet mogelijk tegelijkertijd een coördinaat en de daarmee corresponderende impulscomponente met willekeurige scherpthe te meten: meting van de ene dezer groottheden beïnvloedt die van de andere op niet te controleren wijze.

Er bestaan dientengevolge zg. "*maximale observaties*", die ons het meeste leren wat omtrent een systeem op een bepaald ogenblik valt te zeggen; dit omvat echter niet de kennis van de gelijktijdige waarden van alle coördinaten en impulsen tezamen, welke men toch, volgens de vroeger algemeen aanvaarde opvatting, voor de beschrijving van de toestand van het systeem en voor de voorspelling van zijn toekomstig gedrag, nodig had. Men kan daarom ook niet zeggen dat deze groottheden — coördinaten en impulsen — tegelijkertijd bepaalde waarden "bezitten". Een bepaald type van observatie kan er toe leiden, dat op een gegeven moment aan de coördinaten bepaalde waarden worden toegekend (het systeem wordt dan als het ware op een punt van een coördinatenstelsel geprojecteerd); dan grijpt deze observatie echter op zodanige wijze in het systeem in, dat de impulsen vóór en na de observatie zullen verschillen, met bedragen waarvan de grootte niet is vast te stellen. Een meting van een ander karakter kan het systeem projecteren op een punt van een ruimte waarin de impulscomponenten worden afgebeeld; deze projectie beïnvloedt dan evenwel de coördinaten op niet te controleren wijze. Een projectie waarbij tegelijkertijd de waarden van een coördinaat en van de daarmee corresponderende impulscomponente worden vastgesteld, is niet mogelijk. Coördinaten en bijbehorende impulsen staan zoals men zegt in een "complementair" verband tot elkander. Analoge verhoudingen kunnen worden aangegeven ten aanzien van andere paren van groottheden.

Is van twee groottheden die in complementair verband tot elkander staan, de ene gemeten, zodat het systeem in een toestand is geworpen waarin die ene een bepaalde waarde bezit, dan zal steeds de waarde van de tweede, die uit een daartoe geschikte volgende observatie te voorschijn zou moeten komen, onbepaald zijn. Het resultaat van de beïnvloeding waaraan het systeem bij twee zulke observaties onderworpen is geweest, hangt af van de volgorde der observaties: deze zijn niet commutatief. Bij observaties omtrent groottheden die gelijktijdige meting toelaten, is de volgorde zonder invloed, mits de metingen snel genoeg op elkander volgen.

5. *Statistische causaliteit.* — Uit deze beschouwingen blijkt, dat de veranderingen welke de functie die de toestand van een systeem beschrijft, kan ondergaan, van tweeërlei aard zijn: bij een niet beïnvloed systeem verandert de functie op een volkomen bepaalde wijze, beschreven door een zekere differentiaalvergelijking; bij het onderwerpen van een systeem aan een meting verandert deze functie op een wijze, die slechts statistisch kan worden beschreven, en die niet voor causale analyse toegankelijk is.

Daarbij ligt een wezenlijk moment in het feit dat de waarneming door ons wordt gedaan, en dat het resultaat een voor ons verstaanbare vorm

moet hebben. Men kan weliswaar de invloed van een meetapparaat op een systeem in principe beschouwen als de koppeling van het gegeven systeem met een ander, tot een systeem van grotere omvang. Dit systeem van grotere omvang zou op zijn beurt door een bepaalde functie kunnen worden beschreven. Zodra echter voor ons kenbare numerieke waarden van de te bestuderen grootheden van het oorspronkelijke systeem moeten worden vastgelegd, blijkt ergens een vorm van ingrijpen op te treden, welke de zuiver causale verandering van de functie die de toestand beschrijft, doorbreekt ⁶⁾.

In het voorgaande is thans meermaals de term "statistisch" gebezigd. Deze term krijgt betekenis, wanneer men zich niet meer tot een enkel atomair systeem beperkt, doch een zeer groot aantal gelijksoortige systemen in beschouwing neemt welke in hun gedrag van elkander onafhankelijk zijn. Wanneer bij alle systemen van een dergelijk "ensemble" eenzelfde meting wordt verricht, dan blijkt de verdeling van de uitkomsten over de mogelijke gevallen plaats te vinden volgens vaste statistische wetten. Het gevolg hiervan is, dat men voor zeer grote aantallen gelijksoortige stelsels steeds nauwkeurige voorspellingen kan doen omtrent de gemiddelde reacties.

Dit resultaat laat zich uitbreiden op die gevallen, waarin de verschillende atomaire systemen met elkander zijn gekoppeld, zoals dat het geval is bv. in een vast lichaam, in een vloeistof, en (ofschoon meestal in veel geringere mate) in een gas. Men kan bovendien de toestand van een lichaam, dat uit zeer vele atomen of moleculen is opgebouwd, observeren op zodanige wijze dat in het gedrag van het lichaam als geheel slechts op uiterst geringe wijze wordt ingegrepen. Daardoor is het mogelijk grootheden die bij een atomair systeem in complementair verband met elkander staan (zodat bij een enkel systeem aan deze grootheden niet gelijktijdig bepaalde waarden kunnen worden toegekend), bij een lichaam dat uit zeer vele atomen is opgebouwd, op zodanige wijze te meten, hetzij gelijktijdig of na elkaar, dat de meting van bv. een coördinaat die van de corresponderende impuls niet op oncontroleerbare wijze bederft.

Op deze eigenschappen berust de causaliteit welke wij kennen in de mechanische, de fysische en de chemische processen op normale schaal, en die o.m. de grondslag levert voor alle technisch werk. Deze causaliteit is echter een *statistisch resultaat*, en is derhalve van een ander karakter dan de primaire vorm van causaliteit, welke tot uitdrukking komt in de differentiaalvergelijking van SCHRÖDINGER, waardoor het gedrag wordt beheerst van de functie die de toestand van een atomair systeem beschrijft.

6. Grondgedachte van de statistische mechanica. — De uiteenzettingen van de vorige paragraaf hebben doen zien dat, wanneer men het toekomstig gedrag wil voorspellen van een atomair systeem, op grond van de maximale kennis waarover men omtrent een dergelijk systeem kan beschikken, men zijn toevlucht moet nemen tot statistische beschrijvingen.

Er is echter daarnaast nog een tweede reden waarom men bij de behandeling van tal van fysische problemen gebruik moet maken van statistische

⁶⁾ Hierop dieper in te gaan zou te ver voeren. Men zie het in ³⁾ aangehaalde werk van VON NEUMANN (p. 187 en voorts Kap. VI, p. 222 en vlg.), en andere uiteenzettingen omtrent de grondslagen der quantumtheorie, zoals bv. N. BOHR, *Atomtheorie und Naturbeschreibung* (Berlin 1931); W. HEISENBERG, *Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie* (Leipzig 1930); en P. JORDAN, *Anschauliche Quantentheorie* (Berlin 1936), bv. p. 308, waar nog eens uitdrukkelijk wordt vermeld: „Erst im Beobachtungsakt selber nimmt die gemessene Größe einen definierten Wert an.“

methodes: dit zal nl. steeds dan het geval zijn, wanneer men over minder kennis beschikt omtrent de toestand van een systeem, dan die welke door een zg. "maximale observatie" zou kunnen worden geleverd. Een dergelijke situatie kan zich reeds voordoen bij een enkel systeem van betrekkelijk eenvoudig karakter; zij komt steeds voor wanneer men te doen heeft met stelsels die uit grote aantallen moleculen of atomen zijn opgebouwd. Tengevolge van het reusachtig grote aantal graden van vrijheid van een dergelijk stelsel is het ten enenmale onmogelijk om hier een "maximale observatie" uit te voeren. Het zal onmiddellijk duidelijk zijn dat de kennis van de chemische samenstelling, de temperatuur, de druk en het volume van een gas onnoemelijk ver af staat van een specificatie van de toestanden der afzonderlijke moleculen.

De tak van de fysica die zich bezighoudt met dergelijke problemen is de statistische mechanica. Zij tracht het gestelde doel te bereiken door uit te gaan van de gedachte, dat de gegevens waarover men in zulk een geval omtrent het stelsel beschikt, een groot aantal details onbepaald laten en dus nog tal van configuraties van het stelsel toelaten. De eerste taak is nu na te gaan welke deze mogelijke configuraties zijn. Vervolgens wordt ondersteld dat het te verwachten zg. "normale" gedrag van het stelsel zal kunnen worden berekend als een gemiddelde, afgeleid uit de eigenschappen of het gedrag van al deze mogelijke configuraties. In bepaalde gevallen wordt daarbij met een eenvoudig gemiddelde gerekend, waarbij aan alle configuraties dezelfde betekenis (hetzelfde gewicht) wordt toegekend. Het komt echter ook voor dat in de formules voor het gemiddelde de configuraties met verschillende gewichten worden voorzien. De bepaling van deze gewichten vormt in de statistische mechanica een even belangrijk onderwerp, als het vaststellen van de mogelijke configuraties.

Het is niet mogelijk op de methodes welke hierbij worden gevolgd ook maar enigszins in bijzonderheden in te gaan ⁷⁾). Voor het gestelde doel — het verkrijgen van een inzicht in het entropiebegrif, teneinde te kunnen beoordelen in welke verhouding de levensfuncties hiertegenover staan — is dit ook niet nodig. Daarom moge hier ter illustratie alleen een voorbeeld worden vermeld, dat in de oorspronkelijke ontwikkeling van de statistische mechanica een grote rol heeft gespeeld, en dat betrekking heeft op een gasmassa, bestaande uit zeer vele gelijksoortige moleculen. Hieraan kunnen verschillende begrippen worden toegelicht, ofschoon vermeld dient te worden dat men sindsdien tot de overtuiging is gekomen, dat de opsomming der mogelijke configuraties volgens enigermate andere principes moet geschieden, dan in het voorbeeld zullen worden toegepast (vergelijk het slot van § 9.).

Aangenomen wordt dat omtrent de gasmassa bekend is uit hoeveel moleculen zij bestaat, in welk volume zij is opgesloten, en wat de totale energie is van alle moleculen tezamen. Men kan dan vragen naar de gemiddelde aantallen moleculen, die zich bevinden in verschillende onderdelen van het gehele volume. Waar voorts de energie van de moleculen op een bepaald moment zeer uiteenlopende waarden kan bezitten, kan men ook vragen naar de gemiddelde aantallen moleculen, die zich bevinden op de verschillende trappen van een schaal voor de energiewaarden. Voorlopig zullen wij een dergelijke, nog steeds statistische,

⁷⁾ Men vergelijke voor een uitvoerige uiteenzetting der principes: R. C. TOLMAN, *The Principles of Statistical Mechanics*, in het bijzonder met het oog op het bovenstaande: pp. 43, 59, 325/326, 420, 524, en de slotzin op p. 649. — Voor een gedetailleerde behandeling van de meeste belangrijke voorbeelden zij verwezen naar R. H. FOWLER, *Statistical Mechanics* (2nd Ed., Cambridge 1936).

beschrijving van de toestand van het gas aanduiden als een "*macroscopische beschrijving*". Hierin wordt geen onderscheid gemaakt tussen de individuele moleculen; er wordt slechts gesproken van aantallen zonder meer.

Onderstellen wij thans dat het mogelijk zou zijn ieder molecuul individueel te onderscheiden, bv. door aan ieder molecuul een eigen nummer toe te kennen. Wanneer men dan van elk molecuul afzonderlijk zou aangeven waar het zich bevindt en welke bewegingstoestand (snelheid en richting) het vertoont, dan zou men op die manier een zg. "*microscopische specificatie*" van een bepaalde configuratie van het gas verkrijgen⁸⁾. Het zal duidelijk zijn, dat een macroscopisch of statistisch beschreven toestand gerealiseerd kan zijn bij talloos vele microscopisch gespecificeerde configuraties, welke door onderlinge verschikkingen (permutaties) der individuele moleculen uit elkander kunnen worden verkregen — evenals de statistische beschrijving van de dichtheid der bevolking van een land dezelfde kan blijven bij tal van onderlinge verhuizingen van individuele bewoners.

7. Telling der configuraties. — Men kan het aantal der microscopische configuraties welke onder een bepaalde macroscopisch beschreven toestand vallen, in principe uittellen, mits zekere kenmerken zijn vastgesteld aangaande de kleinste verplaatsingen en de kleinste snelheidsverschillen, enz., welke nog als "onderscheidbaar" mogen gelden. Het vaststellen van deze kenmerken speelt in het gehele probleem een uiterst belangrijke rol. Zij berusten op eigenschappen van de functie waardoor de toestand van een enkel atomair of moleculair systeem in de zin der quantummechanica wordt beschreven, en hangen samen met de waarden die een bepaalde grootheid bij een meting kan aannemen.

Het is voor het volgende niet nodig dat wij op het vaststellen van deze kenmerken nader ingaan. Voldoende is aan te nemen dat elk molecuul van het gas wat positie en beweging betreft, in een reeks van toestanden kan voorkomen, die mogen worden aangeduid met de nummers 1, 2, ... *ad inf.*; en voorts dat de beschouwde macroscopische toestand van het gehele gas wordt gevormd doordat n_1 moleculen voorkomen in toestand 1; n_2 moleculen in toestand 2; enz. Is het totale aantal moleculen van het gas: N , dan is: $N = \sum n_i$. Duidt men de energie van een molecuul in de toestand i aan door ε_i , en is E de totale energie van het gas, dan is tevens: $E = \sum n_i \varepsilon_i$. Het totale aantal der microscopische configuraties die alle onder de gegeven macroscopisch beschreven toestand vallen, kan worden verkregen door permutatie van moleculen die in verschillende toestanden voorkomen, en blijkt dan bepaald te zijn door de uitdrukking:

$$P = \frac{N!}{n_1! n_2! \dots} \dots \dots \dots (1)$$

Onderstel thans dat men alle macroscopisch beschreven toestanden in beschouwing neemt, welke verenigbaar zijn met de drie gestelde voorwaarden omtrent het totale aantal (N) der moleculen, het totale beschikbare volume (V) en de totale energie (E) van het gas. Dan blijkt het

⁸⁾ Het is juist de mogelijkheid om de individuele moleculen blijvend van elkander te kunnen onderscheiden, die in verband met de uitkomsten der quantummechanica thans moet worden ontkend. Dit heeft tengevolge dat bij de berekening der gemiddelden andere gewichten aan de macroscopische toestanden dienen te worden toegekend, dan die welke volgen uit formule (1) in § 7. De gewijzigde formules zijn gegeven in § 9., (7) en (8).

mogelijk te zijn alle voor macroscopische observatie toegankelijke grootheden van de gasmassa te berekenen door het gemiddelde te nemen over de waarden van die grootheden in de beschouwde macroscopische toestanden, mits men daarbij aan elke van deze toestanden een gewicht toekent, gelijk aan de door (1) gegeven grootheid P . Op deze wijze komt men onder meer tot het resultaat dat de dichtheid en de temperatuur van het gas (beide gemiddelde of statistische grootheden, waarbij de gemiddelden zijn genomen over gebieden die nog zeer vele moleculen omvatten), in de voor de gehele massa beschikbare ruimte overal dezelfde waarden zullen bezitten. Tevens wordt gevonden dat de verdeling van de moleculen over de verschillende toestanden beantwoordt aan de formule:

$$n_i = a e^{-\beta \epsilon_i} (2)$$

Hierin zijn a en β van het rangnummer i onafhankelijke grootheden, waarvan de waarde bepaald wordt door N en E .

Feitelijk komt deze wijze van berekening er op neer, dat men aan elke op *microscopische* wijze gespecificeerde toestand van het gas in de berekening van het gemiddelde eenzelfde gewicht toekent.

Men kan dezelfde uitkomsten ook op een andere wijze verkrijgen. In plaats van alle macroscopische toestanden op te sporen, die verenigbaar zijn met de drie voorwaarden omtrent N , V en E , zoekt men die toestand op, waarvoor het getal P de grootste waarde heeft. Het blijkt dat deze macroscopische toestand practisch niet te onderscheiden is van de toestand, die volgens de hierboven aangegeven methode als gemiddelde wordt berekend.

Dat men op deze wijze de juiste uitkomsten verkrijgt, is een gevolg van de omstandigheid dat de macroscopische toestand met de grootste waarde van P , d.w.z. met het grootste aantal bijbehorende micro-configuraties, met daarbij genomen al die macroscopische toestanden welke er nog zeer weinig van verschillen, tezamen een zo overweldigend groot gewicht in de bepaling van het gemiddelde verkrijgen (veel en veel groter dan het gewicht van alle andere macroscopische toestanden bijeengenomen), dat de kenmerken van de eerstgenoemde toestand in de berekening van het gemiddelde geheel en al overwegen.

8. *Statistische interpretatie der entropie.* — Naast de grootheid P , gegeven door vergelijking (1), heeft men ingevoerd:

$$S = k \ln P + \text{constante} (3)$$

waarin k een constante factor voorstelt.

Uit formule (3) volgt onmiddellijk dat S de grootste waarde aanneemt voor die macroscopische toestand, welke het grootste gewicht P bezit. Deze maximale waarde van S is tevens practisch gelijk aan de gemiddelde waarde welke men voor S zou berekenen, indien men bij de bepaling van het gemiddelde de macroscopische toestanden op de hierboven aangegeven wijze van gewichten voorziet.

Omtrent de grootheid S is nu de stelling bewezen dat, wanneer men het gas aan zich zelve overlaat, en men de waarde van S berekent voor de achtereenvolgende macroscopische toestanden die het gas doorloopt, het te verwachten is dat S bijna nooit zal afnemen, doch zo goed als steeds òf zal toenemen òf constant zal blijven.

Hieruit volgt, dat van welke toestand men oock uitgaat, verwacht mag

worden dat het gas op de duur steeds zal streven naar de toestand met de grootst mogelijke waarde van S (bij de gestelde voorwaarden omtrent N , V en E); d.i. naar de toestand die hierboven was gevonden als de gemiddelde toestand. Dit versterkt de overtuiging dat die gemiddelde toestand een aannemelijk beeld moet geven van wat men kan beschouwen als de "normale toestand" van het gas.

Tevens blijkt hiermede de grootheid S juist die eigenschap te bezitten welke men in de thermodynamica toekent aan de entropie; n.l. dat zij bij een aan zich zelve overgelaten gas naar een maximale waarde streeft. Een nadere analyse — waarop hier niet kan worden ingegaan — heeft getoond, dat de door formule (3) gedefinieerde grootheid S inderdaad alle eigenschappen vertoont, die men aan de thermodynamische entropie van een gas toekent, mits men aan de constante k een passende waarde geeft, welke bij gebruik van het c-g-s-stelsel $1,38 \cdot 10^{-16}$ bedraagt.

Men kan derhalve de door (3) gedefinieerde grootheid S beschouwen als de *statistische interpretatie van de entropie van een gas*.

Deze interpretatie legt een verband tussen het entropiebegrip en het aantal microscopische configuraties, hetwelk valt onder een slechts op macroscopische of statistische wijze omschreven toestand. Het entropiebegrip is dus essentieel verbonden met het feit dat men gemiddelde resultaten wil verkrijgen omtrent een systeem, dat slechts op summiere wijze is beschreven, en waarbij men de "normale" eigenschappen tracht af te leiden uit gemiddelden over grote aantallen van microscopisch gespecificeerde configuraties.

Bij het zoeken naar een uitbreiding van deze beschouwingen op andere stelsels is men, in verband met de opvattingen waartoe de ontwikkeling der quantummechanica heeft geleid, er toe gekomen om de begrippen "macroscopische toestand" en "microscopische configuratie" op algemener wijze te definiëren, dan in het hierboven behandelde voorbeeld voor een gas was gedaan. Bij de nieuwe formulering denkt men zich verder het beschouwde stelsel vele malen herhaald, zodat men een verzameling, een "ensemble", verkrijgt van als het ware naast elkaar geplaatste stelsels. Men gaat dan na, enerzijds in welke microscopische configuraties het stelsel, bij de gegeven constante voorwaarden omtrent aantal moleculen, volume en energie, kan voorkomen; anderzijds tot welke bij een "macroscopische" beschrijving nog van elkander te onderscheiden groepen deze micro-configuraties kunnen worden bijeengenomen. Onderstel dat deze macroscopisch te onderscheiden toestanden voorzien zijn van een rangnummer j , en dat onder de toestand met het nummer j nog g_j verschillende micro-configuraties vallen.

Wanneer men omtrent het te beschouwen stelsel ten tijde $t = 0$ slechts beschikt over een aantal algemene gegevens, zoals het totale aantal moleculen, het ingenomen volume, de totale energie, en verder bv. enige gegevens omtrent de verdeling van de dichtheid en van de temperatuur over de beschikbare ruimte, of dergelijke, dan kan men in vele gevallen niet a priori uitmaken of een der te onderscheiden macroscopische toestanden geschikt zal zijn om het gemiddeld te verwachten gedrag van het stelsel zo goed mogelijk te beschrijven. Men zal daarom, wanneer het ensemble M stelsels bevat, daarvan aantallen m_j kunnen toewijzen aan de verschillende groepen. Hierbij worden bepaalde regels gevolgd, enerzijds een — op grond van de beschikbare gegevens — aangenomen waarschijnlijkheidsregel ten aanzien van de getallen m_j , anderzijds een regel (die van gelijke waarschijnlijkheids-amplitudes voor de mogelijke quantumtoestanden en

van gelijkmatig verdeelde fazen dezer toestanden) ten aanzien van de micro-configuraties welke onder iedere macroscopische toestand j vallen.

Wanneer men thans het ensemble aan zich zelve overlaat, zal ieder stelsel ervan, tengevolge van de daarin optredende moleculaire of atomaire processen, een reeks van achtereenvolgende micro-configuraties doorlopen, en daarbij ook in het algemeen van de ene macroscopische toestand naar een andere overgaan. Dit brengt mede dat de getallen m_j voortdurend zullen veranderen. Men stelt nu:

$$S = -k \sum_j \frac{m_j}{M} \ln \frac{m_j}{M g_j} \dots \dots \dots (4)$$

Dan laat zich bewijzen dat ook de door deze formule gedefinieerde grootheid S in het algemeen niet zal afnemen, doch integendeel naar een maximale waarde zal streven. Het maximum wordt bereikt wanneer de getallen m_j evenredig zijn geworden met de getallen g_j , d.w.z. met de gewichten die men aan de van elkander onderscheiden macroscopische toestanden kan toekennen. Is deze verdeling der getallen m_j opgetreden, dan blijft ze verder practisch behouden, afgezien van kleine schommelingen.

Wanneer de getallen m_j goed zijn gekozen, dan geeft de historie van het ensemble, wanneer men over alle stelsels hiervan middelt, een juist beeld van het te verwachten gedrag van het beschouwde stelsel, aangepast aan de mogelijkheden om macroscopische toestanden te onderscheiden, waarvan men bij de beschreven opzet gebruik heeft gemaakt. In ieder geval geeft de stationaire toestand die het ensemble tenslotte aanneemt, een juiste representatie van de eigenschappen van de evenwichtstoestand die wordt aangenomen door het stelsel waarvan men uitging.

Men kan wederom aantonen dat ook de door (4) gedefinieerde grootheid S alle eigenschappen bezit van de thermodynamische entropie. Men past daarom (4) toe als de *algemene statistische interpretatie van de entropie van het beschouwde stelsel*⁹⁾.

Schrijft men G voor de som der getallen g_j , zodat G het totale aantal der micro-configuraties voorstelt, dat met de voor het stelsel gegeven constante waarden van aantal moleculen N , volume V en energie E verenigbaar is, dan wordt in de eindtoestand van het ensemble:

$$m_j/M = g_j/G,$$

met behulp waarvan uit (4) voor de maximale waarde van S wordt gevonden:

$$S_{\max} = k \ln G \dots \dots \dots (5)$$

Daar blijkt het in § 7. opgemerkte het totale aantal der micro-configuraties G in hoofdzaak bepaald wordt door het aantal der micro-configuraties

⁹⁾ Zie R. C. TOLMAN, The Principles of Statistical Mechanics, Chapter XII (p. 453) en XIII (p. 524). In de door TOLMAN gebezigde formule (122.10), p. 539, stelt P_n de waarschijnlijkheid voor om in het ensemble op een bepaald moment de micro-configuratie met het rangnummer n aan te treffen. In de in formule (4) hierboven gebezigde notatie is deze P_n gelijk aan $m_j/(M g_j)$, wanneer de micro-configuratie n tot de groep met het rangnummer j behoort. Daar voor alle leden van deze groep P_n dientengevolge even groot is, introduceert de sommatie naar n over alle leden van de groep de factor g_j vóór de logarithme, zodat de in (4) geschreven sommatie naar j op hetzelfde neerkomt als TOLMAN's sommatie naar n .

dat behoort bij de meest voorkomende toestand, zal het duidelijk zijn dat de uitkomst (5) verband houdt met (3).

Formule (4) biedt het voordeel, dat zij op tal van wijzen kan worden aangepast aan de mogelijkheden die men heeft om macroscopische toestanden van elkander te onderscheiden, en om gebruik te maken van de kennis omtrent het stelsel waarover men ten tijde $t = 0$ beschikt. Zou men bv. op grond van de ten tijde $t = 0$ beschikbare gegevens onmiddellijk één enkele macroscopische toestand, uit de vele welke bij de constante waarden van N , V en E mogelijk zijn, als op dat moment representatief voor het stelsel willen beschouwen, dan moeten in (4) alle getallen m_j gelijk aan nul worden genomen, met uitzondering van het getal, dat correspondeert met de gekozen macroscopische toestand. Voor deze toestand wordt $m_j = \bar{M}$, en de aanvankelijke waarde van S wordt gegeven door

$$S = k \ln g_j,$$

waarin g_j het gewicht van de gekozen macroscopische toestand voorstelt.

Wil men in het geheel geen onderscheid maken tussen macroscopische toestanden, en alle configuraties welke met de gegevens omtrent N , V en E verenigbaar zijn, in één enkele macroscopische toestand bijeen nemen, dan is dezelfde formule toe te passen, waarin echter thans voor g_j moet worden genomen de hierboven genoemde som G van alle getallen g_j , d.i. dus het totale aantal der micro-configuraties die met de constante waarden van N , V en E verenigbaar zijn. Men komt dan onmiddellijk op de door (5) bepaalde maximale waarde van S .

Het is gebruikelijk om in het rechterlid van (4) geen additieve constante toe te voegen, teneinde aldus een zg. "absolute" bepaling van de entropie te verkrijgen¹⁰⁾. Deze keuze heeft het voordeel, dat wanneer men naar het andere uiterste kan overgaan, en omtrent het stelsel een zg. "maximale observatie" zou kunnen verrichten, waardoor het stelsel in een (in de zin der quantummechanica) volkomen bepaalde toestand wordt geworpen, de waarde van S ten tijde $t = 0$ nul wordt. In het geval van een maximale observatie nl. worden de macroscopisch te onderscheiden toestanden identiek met de micro-configuraties, zodat alle getallen g_j gelijk aan 1 worden. Verder moeten in het geval van een volkomen bepaalde configuratie weer alle getallen m_j gelijk aan nul worden, met uitzondering van het getal dat betrekking heeft op de nu geheel bekende toestand van het stelsel; voor deze toestand wordt $m_j = \bar{M}$, daar op het moment waarop het ensemble wordt geconstrueerd (d.i. onmiddellijk na het uitvoeren der observatie) alle stelsels van het ensemble in deze zelfde toestand moeten zijn¹¹⁾.

In principe zou men hier de mogelijkheid kunnen zien om de entropie van een systeem te verminderen. Het is echter reeds opgemerkt, dat het bv. in het geval van een gas voor ons onmogelijk is een "maximale observatie" (die ons dan de toestanden van alle moleculen, inclusief van de daarin aanwezige atomen — met hun kernstructuren — en electronen zou

¹⁰⁾ Bij de telling gevolgd in het in § 7. behandelde voorbeeld, mag de constante in het rechterlid van (3) niet gelijk aan nul worden gesteld. Gebleken is dat bij deze telling voor de constante moet worden genomen: $-k \ln N!$, wat kan worden beschouwd als een compensatie voor het teveel getelde aan permutaties, doordat alle moleculen zijn behandeld als individueel te onderscheiden objecten.

Bij de toepassing van de in § 9. genoemde formule (7) of (8) wordt de constante daarentegen gelijk aan nul.

¹¹⁾ Zie R. C. TOLMAN, *The Principles of Statistical Mechanics*, p. 562 ("the entropy of a system will be zero for a pure state"), en J. VON NEUMANN, *Die mathematischen Grundlagen der Quantentheorie*, p. 213.

moeten leren kennen) uit te voeren. En zelfs is het objectief ("van buiten af") uitvoeren met behulp van fysische middelen van iedere observatie, die ons zoveel omtrent een stelsel zou leren dat aan het stelsel een geringere entropie zou kunnen worden toegekend, noodzakelijkerwijze verbonden met een compenserende (en gewoonlijk meer dan compenserende) toename van entropie ergens anders¹²⁾.

Het zal overigens duidelijk zijn dat, van welke aanvangswaarde voor S men ook kan uitgaan, de eindwaarde steeds wordt gegeven door (5).

9. *Aanvullende opmerkingen betreffende de entropie.* — Wanneer men op de in het voorgaande aangegeven wijze de entropie berekent voor een afgesloten gasmassa, dan blijkt, wanneer men gevallen vergelijkt waarin het gemiddelde aantal moleculen per volume-eenheid en de temperatuur van het gas constant worden gehouden, de waarde van S evenredig te worden met het totale aantal N der moleculen, en dus ook met de massa van het gas. Men kan dientengevolge spreken van de entropie per massa-eenheid bij een bepaalde dichtheid en temperatuur. In de uitdrukking voor de entropie per massa-eenheid treden grootheden op, die een rol spelen bij het vaststellen van de kleinste verschillen in positie of in beweging, die nog als "onderscheidbaar" kunnen worden aangemerkt, en die afhankelijk zijn van de massa, de bouw, de symmetrie-eigenschappen en derg. van de moleculen. De entropie per massa-eenheid van het gas heeft dientengevolge voor ieder gas een eigen waarde.

Terwijl in het behandelde voorbeeld ter vereenvoudiging is ondersteld dat in het gas slechts één soort moleculen voorkomen, kan men dergelijke berekeningen eveneens opstellen voor stelsels, uit meerdere soorten van moleculen opgebouwd, welke berekeningen ook nog dan bruikbaar zijn wanneer tussen deze moleculen chemische reacties kunnen plaatsvinden. Beschikt men reeds over uitdrukkingen voor de entropie per massa-eenheid van elke molecuulsoort die in het mengsel voorkomt, of die tengevolge van chemische reacties daarin kan worden gevormd, dan kan men met behulp van dit gegeven berekenen welke evenwichtstoestand onder invloed der chemische reacties zal ontstaan.

Voorts zijn berekeningen over de entropie mogelijk voor systemen opgebouwd uit moleculen of atomen die aantrekkende krachten op elkander uitoefenen, en voor materie in andere aggregatietoestanden. Er moge evenwel worden gewezen op de omstandigheid, dat hierbij in vele opzichten andere gezichtspunten moeten worden gevolgd bij het tellen van het aantal mogelijke micro-configuraties. Heeft men bv. te doen met materie in vaste, gekristalliseerde toestand, dan dient te worden gelet op de energie van de trillingen, welke in het kristalrooster optreden. Er moet dan worden geteld op hoeveel manieren een gegeven hoeveelheid energie over de verschillende trillingsmogelijkheden van het rooster kan worden verdeeld. Hierbij kunnen zich nog complicaties voordoen, wanneer een aantal trillingsmogelijkheden een zo grote energie opnemen en daardoor een dusdanige amplitude verkrijgen, dat tengevolge hiervan atomen in het rooster van plaats kunnen verwisselen.

In verband hiermede moet op het volgende worden gewezen: bij bovenstaande beschouwingen is steeds gesproken van een systeem dat een *gegeven energie* bezit. Het bedrag hiervan is een factor van overwegend belang; met name komt dit naar voren, wanneer men naar steeds kleinere

¹²⁾ Zie L. SZILARD, Ueber die Entropieverminderung in einem thermodynamischen System bei Eingriffen intelligenter Wesen, Zeitschr. f. Physik 53, p. 840, 1929.

energieën overgaat. Naarmate er minder energie beschikbaar is, speelt het gevolg geven aan attractiekrachten tussen de moleculen (of tussen atomen) een steeds belangrijker rol. Het gevolg geven aan attractiekrachten toch doet potentiële energie vrijkomen, hetgeen, wanneer het systeem over een te geringe totale energie beschikt, noodzakelijk is om nog voldoende kinetische energie te verkrijgen opdat een verdeling over vele energietrappen en daarmee een groot aantal permutaties mogelijk zij. Naarmate ook de gemiddelde kinetische energie per molecuul daalt, vertoont het systeem een lagere temperatuur. Hierop berust het feit, dat bij lage temperaturen materie tengevolge van de werking der attractiekrachten overgaat in de vloeibare of in de vaste aggregatietoestand, en allerlei door deze krachten bepaalde structuren optreden, zoals met name de kristalstructuren.

Ofschoon dit niets afdoet aan de principiële zijde van de statistische interpretatie van de entropie, zo moge tenslotte nog kort worden teruggekomen op het in § 6. vermelde feit, dat in bepaalde gevallen de opsomming van de mogelijke configuraties anders moet geschieden, dan is aangegeven in het voorbeeld behandeld in § 7. Dit is een gevolg van de omstandigheid dat er gevallen zijn, waarin het niet mogelijk is moleculen blijvend individueel van elkander te onderscheiden. Permutaties van de moleculen onder elkander mogen dan niet worden opgevat als te leiden tot verschillende configuraties. (Men vergelijk voor het volgende het meermalen genoemde werk van TOLMAN, p. 368—370).

Zij het totale aantal der in beschouwing te nemen objecten (atomen, moleculen, of objecten van andere aard) weer N , en zij dit aantal verdeeld gedacht in aantallen n_i , zodat n_i voorstelt het aantal objecten dat zich bevindt op de trap ε_i van een schaal voor de energie. Aan een gegeven waarde van de energie kunnen nog verschillende quantumtoestanden van een object beantwoorden; zij dit aantal g_i voor de energietrap ε_i (in het voorbeeld van § 7. waren met de toestanden 1, 2, ... de verschillende quantumtoestanden zelve bedoeld, zodat daar alle $g_i = 1$ zijn). Heeft men te doen met objecten die *wel* permanent van elkander kunnen worden onderscheiden, dan moet formule (1) worden aangevuld tot:

$$P = \frac{N!}{n_1! n_2! \dots} (g_1)^{n_1} (g_2)^{n_2} \dots \quad (6)$$

In het geval van objecten die *niet* permanent van elkander kunnen worden onderscheiden, moet deze formule echter worden vervangen door:

$$P = \Pi \frac{(n_i + g_i - 1)!}{n_i! (g_i - 1)!} \quad (7)$$

waarbij Π aanduidt, dat het product van de neergeschreven factoren is te nemen voor alle in aanmerking komende rangnummers i . — Een bijzonder geval doet zich voor bij die objecten, waarvan er nooit meerdere tegelijkertijd in dezelfde quantumtoestand kunnen verkeren; in de plaats van (7) treedt dan:

$$P = \Pi \frac{g_i!}{n_i! (g_i - n_i)!} \quad (8)$$

Formule (6) kan worden toegepast bij de berekening van de verdeling van de energie over trillingsmogelijkheden van bepaalde systemen, wanneer deze trillingsmogelijkheden door haar geometrische eigenschappen inderdaad individueel van elkander zijn te onderscheiden. — Formule (7) wordt onder meer toegepast bij éénatomige gassen. Men kan op een analoge wijze als was aangeduid in § 7., zoeken naar de verdeling der aantallen n_i welke bij gegeven waarden van N , V en E voert tot de maximale waarde van P . Uit het maximum van P volgt de entropie S met behulp van (3), waarin thans, daar nu op de juiste wijze is geteld, de constante in het rechterlid gelijk nul moet worden gesteld. — Formule (8) wordt o.m. toegepast in de theorie van de geleidingselectronen in metalen.

De algemene formule (4) voor de berekening van de entropie met behulp van een ensemble van systemen, blijft in al deze gevallen van kracht. De vraag of de objecten al of niet van elkander kunnen worden onderscheiden, en of zij al dan niet met meerdere tegelijkertijd in dezelfde toestand kunnen verkeren, beïnvloedt niet de vorm dezer formule, doch alleen de wijze waarop de hierin voorkomende getallen g_j moeten worden berekend.

10. *Stelsels waarin levende wezens een rol spelen.* — Na deze voorbereidende beschouwingen, waarin uitsluitend van anorganische materie sprake is geweest, wenden wij ons thans tot de beschouwing van stelsels waarin levende wezens voorkomen.

Als een bij het voorgaande passend voorbeeld kan een afgesloten reactieketel worden genomen, welke gevuld is met een homogeen vloeibaar mengsel van verschillende soorten van moleculen, van geschikte geaardheid en in voldoende aantal om een voedingsbodem te kunnen vormen voor bepaalde levende wezens, bv. voor bacteriën. Aan dit mengsel wordt toegevoegd 1 mm³ van een suspensie van levende bacteriën, van een soort die in het aanwezige milieu kan gedijen; deze bacteriën zullen zich dan in dit milieu gaan vermeerderen. Aan de ketel wordt verder geen energie toegevoerd, noch onttrokken.

Welke invloed zal de aanwezigheid en de groei van deze levende wezens hebben op de entropie van het systeem?

Het is duidelijk dat de groei van de bacteriën in het systeem een toestand zal doen ontstaan, waarbij niet meer alle molecuulsoorten gelijkmatig zijn dooreengeroerd: er ontstaan locale concentraties van bepaalde soorten van moleculen, er worden nieuwe soorten moleculen gevormd, en bovendien kan de temperatuur in de bacteriën verschillen van de gemiddelde temperatuur in de ketel.

Ten opzichte van de oorspronkelijk gelijkmatige verdeling van de moleculen over de gehele beschikbare ruimte, met een maximale mogelijkheid van permuteren zonder dat de macroscopische toestand van het systeem daardoor ook maar enigszins verandert, is er dan een toestand ontstaan welke op het eerste gezicht minder permutaties schijnt toe te laten — zeker althans voor zover het betreft de ruimtelijke rangschikking van de moleculen.

Mag men nu zeggen dat een toestand is ontstaan, waarin de entropie van het systeem kleiner is geworden dan zij oorspronkelijk was?

Een dergelijke uitspraak blijkt niet geoorloofd te zijn. De groei van de levende bacteriën is slechts mogelijk geweest, doordat deze bacteriën chemische omzettingen van de oorspronkelijk in de ketel aanwezige molecuulsoorten bewerkten, en daardoor de beschikking kregen over chemische energieën die in deze moleculen aanwezig waren. Daarbij zijn nieuwe molecuulsoorten gevormd, die gedeeltelijk in het lichaam der bacteriën zijn opgenomen, gedeeltelijk in de hun omgevende massa zijn terecht gekomen. Om een vergelijking te kunnen maken tussen de entropie van het systeem in de oorspronkelijke toestand en die in de door de groei der bacteriën geschapen toestand, moet men nagaan: a. welke molecuulsoorten in het systeem in de te vergelijken toestanden aanwezig zijn; b. in welke concentraties deze molecuulsoorten daarin voorkomen; c. wat voor elke der betrokken molecuulsoorten de entropie per massa-eenheid is (waarbij in aanmerking dient te worden genomen de invloed hierop van de concentratie, in het bijzonder ook van concentratie-excessen of -tekorten in grenslagen; verder de invloed van verschillende soorten moleculen op elkander, enz.). Werkt men op deze wijze de berekening uit, dan blijkt — voor zover de ter beschikking staande gegevens en de nauwkeurigheid der metingen toelaten dit te beoordelen — dat de omzetting van de totale massa is gepaard gegaan zowel met een omzetting van chemische energie als met een toename van de entropie.

De werkzaamheid van de bacteriën heeft dus voor zoover wij weten geen processen zo doen verlopen, dat het eindresultaat daarvan in strijd is met hetgeen de tweede hoofdwet verlangt.

Ook bij de bestudering van allerlei fysiologische reacties is men tot de overtuiging gekomen, dat deze gehoorzamen aan de tweede hoofdwet¹³⁾.

De hierboven in beschouwing genomen omzettingen in een reactieketel zijn in vele gevallen ook mogelijk — althans in principe — zonder dat bacteriën in het vat worden geënt; toevoeging van niet levende katalysatoren kan dikwijls overeenkomstige reacties inleiden. Zonder de aanwezigheid van bacteriën of katalysatoren verlopen de omzettingen echter in een zo langzaam tempo, dat men voor alle praktische beschouwingen het systeem als in evenwicht zijnde kan opvatten. Dit is dan echter niet het evenwicht behorende bij de toestand van de allergrootste entropie; doch een evenwicht behorende bij een waarde van de entropie, welke slechts een maximum voorstelt ten opzichte van de meest voorkomende kleine veranderingen in het systeem. Dit evenwicht is om zo te zeggen "beschermd door een drempel", welke — indien geen levende wezens of katalysatoren aanwezig zijn — slechts uiterst zelden (zelden dan in moleculaire terminologie) kan worden overschreden.

Men zou nog kunnen beproeven een vergelijking te maken tussen enerzijds de reactieketel met de bacteriën, en anderzijds een ketel waarin overeenkomstige chemische reacties worden ingeleid door niet levende katalysatoren. Het zal echter in het algemeen niet gelukken om in beide gevallen geheel dezelfde reacties te doen plaats vinden, al zal men misschien tot in hoofdzaak dezelfde eindproducten kunnen komen. Het zal derhalve niet mogelijk zijn een ook maar enigszins nauwkeurige vergelijking te maken van de entropie in beide systemen, bv. op overeenkomstige tijdstippen na het begin van het proces, of op momenten waarop eenzelfde hoeveelheid van een der in het milieu aanwezige stoffen is omgezet.

Men zou gaarne willen vermoeden, dat in het systeem waarin de bacteriën werkzaam zijn, de entropie op overeenkomstige momenten kleiner zou zijn, dan in het systeem waarin geen leven aanwezig is. Men zou toch willen onderstellen dat men in de levende cellen te doen zal hebben met locale stelsels van een kleine entropie. Experimenteel bewijzen laat dit zich echter niet.

11. *Duur van het leven in een afgesloten systeem.* — In verband met het in de vorige paragraaf besprokene is van groot belang de vraag, of in een afgesloten systeem leven onbeperkt kan doorgaan? Wanneer dit het geval was, zou men daarin een doorbreken van de tweede hoofdwet mogen zien. Volgens de tweede hoofdwet toch moet de entropie naar een maximum streven, en als dit maximum is bereikt zijn geen zichtbare reacties meer mogelijk: er zijn alleen de warmtebewegingen over, welke de temperatuur van het systeem bepalen, doch waaruit nooit meer mechanisch (of chemisch of electrisch) arbeidsvermogen te voorschijn kan komen. Mocht nu blijken dat in een afgesloten systeem leven onbegrensd kan doorgaan, dan zou men daarbij op een toestand moeten komen, waarin de entropie niet meer toenam, terwijl er in het systeem toch nog voortdurend aantoonbare reacties plaats vonden, en concentratie- of temperatuurverschillen onderhouden werden, die in principe het beschikbaar komen van mechanisch (resp. chemisch of electrisch) arbeidsvermogen mogelijk zouden maken.

¹³⁾ Men vergelijkte voor een overzicht bv. een artikel van R. WURMSER, *Les lois physico-chimiques et les actions des êtres vivants*, in de "Encyclopédie Française", Tome IV, La Vie (Paris 1937), p. 4.22—10.

Alle gegevens waarover men beschikt, wijzen er echter op, dat het leven niet onbeperkt kan doorgaan: de bacteriën sterven wanneer bepaalde stoffen uit het milieu geheel zijn omgezet, of wanneer bepaalde andere stoffen in te grote massa zijn gevormd. Ook in het zogenaamde evenwicht tussen planten en dieren, dat in bepaalde situaties kan voorkomen, waarbij de planten het kooldioxyde benutten dat de dieren uitademen, en de dieren de zuurstof nodig hebben welke de planten afscheiden, speelt nog steeds een rol de energie die de planten uit de lichtstraling opnemen, zodat men dan niet te doen heeft met een afgesloten systeem. Zonder toevoer van deze energie gaat tenslotte alles dood.

Afzonderlijke overweging in dit verband verdienen nog de gevallen, waarin het leven blijkbaar een lange toestand van "*sluimering*" kan doormaken, zoals voorkomt bij sommige organismen, die jaren lang in uitgedroogde toestand kunnen blijven bestaan, en bij bepaalde zaden en sporen, die na eeuwen te zijn weggeborgen nog kiemkrachtig kunnen blijken¹⁴). Het is moeilijk uit te maken of dan alle levensfuncties stil staan, of dat nog een minimum van in een bepaalde richting verlopende omzettingen voor het in leven blijven noodzakelijk is. In het laatste geval moet men verwachten dat wanneer de zaden of sporen in een geheel afgesloten ruimte worden bewaard, tenslotte, zij het misschien na vele eeuwen, toch de dood zal intreden. Mocht echter bij nader onderzoek kunnen blijken dat er sluimertoestanden mogelijk zijn, waarin in het geheel geen omzettingen optreden, en waarin in het zaad of in de sporen niets anders plaats vindt dan de warmtebewegingen der moleculen, met die heen- en weergaande (gemiddeld in evenwicht verkerende) processen, welke ook in anorganische milieu's voorkomen, dan zou de vraag voor ons staan: waaraan is het leven in deze zaden of sporen dan gehecht? Kan het zich geheel er van vrij maken, om op een geschikt moment er weer in terug te keren? Op deze vraag valt geen antwoord te geven. Dat zij in verband met het onderwerp van deze bladzijden van betekenis is, zal duidelijk zijn. Maar het is te vermoeden — voor zover onze kennis thans gaat —, dat het eerste alternatief, nl. dat er ook in sluimerende zaden en sporen toch nog enige in een bepaalde richting verlopende omzettingen plaats vinden, waarschijnlijk het juiste zal zijn, en dat dus het leven in een afgesloten milieu steeds tot een einde zal moeten komen.

12. *Beschouwingen ontleend aan het menselijk leven.* — In het voorgaande is echter — wanneer men het probleem goed beschouwt — de eigenlijke vraag die zich aan ons voordeed, toch nog steeds omzeild. Wanneer er gedacht werd aan de bepaling van de entropie in het systeem waarin zich levende wezens bevonden, is niet echt de entropie van de levende cel beschouwd: er is gedacht aan de entropie van de in het milieu en in de cel aanwezige materie, zoveel mogelijk met inachtnaam van concentraties, oppervlakte-energieën, enz., doch alles met terzijdestelling van werkelijke levensfuncties.

Is er een principieel verschil tussen de entropie van een levende cel en die van de materie in die cel, beschouwd als een fysisch-chemisch stelsel? Kan men op deze vraag wel een antwoord verkrijgen? Is het begrip "entropie" toe te passen op een levend lichaam? Men zou de vraag misschien kunnen toespitsen: wanneer in een cel nieuwe chemische verbindingen worden opgebouwd, en deze haar plaats en functie krijgen in

¹⁴) Zie bv. J. BOEKE, *Problemen der onsterfelijkheid* (Amsterdam 1941), p. 13 en vlg.

bepaalde delen van de cel, speelt dan het "inbouwen" een rol bij de bepaling van wat men als "entropie" zou willen beschouwen?

Wij weten te weinig van hetgeen er in een levende cel plaats vindt, om hierop een duidelijk antwoord te kunnen geven. Het enige hulpmiddel waarover wij beschikken om in deze problemen in te dringen, wordt gevormd door de analogieën, die wij kunnen ontleen aan verschijnselen van het menselijk handelen en denken. Ik meen dat het geoorloofd is vergelijkingen hiermede te maken, omdat de verschijnselen van het leven in ons toch juist die uitingen omvatten, die wij — althans enigermate — "van binnen uit" ervaren. Het terzijde laten van onze eigen ervaringen in dit opzicht zou betekenen dat wij ons afsluiten voor een belangrijk gebied van kennis.

Er zijn verschillende punten die hierbij onze aandacht vragen.

In de eerste plaats moge worden gewezen op een analogie met een aspect van het causaliteitsbegrip, waarover is gesproken in § 5. In gemeenschappen van grote aantallen mensen ontmoet men tal van gevallen, waarin de persoonlijke instellingen der afzonderlijke mensen geen verband met elkander houden, en de individuele reacties dientengevolge elkaanders bijzonderheden uitwissen. Dan kan het gedrag der gemeenschap met betrekkelijk grote zekerheid worden beschreven door middel van statistische wetten. Als voorbeeld noemt men gewoonlijk de economische wetten, en het gebied van de verzekeringswetenschap. Hierin tellen de afzonderlijke mensen als gelijkwaardige eenheden, hoogstens geclassificeerd naar algemene kenmerken, zoals geslacht, leeftijd, beroep en derg., terwijl het persoonlijk bijzondere dat niet onder een klassebegrip valt, geen rol speelt. De kennis van dergelijke wetten veroorlooft — voor zover haar geldigheid zich uitstrekt — een statistisch-causale beschrijving van de geschiedenis der beschouwde gemeenschap.

Het voorbeeld is vooral van belang, omdat men het gedrag van den individuen mens in het algemeen niet uitsluitend van causaal standpunt zal willen beschrijven: de wijze waarop opvattingen, plannen, doeleinden in onze handelingen medespreken, de wijze waarop wij in verband daarmede verantwoordelijk worden gesteld voor onze daden, laat zich van een dergelijk standpunt niet begrijpen. Nochtans worden deze elementen in het totale gedrag van een gemeenschap in vele opzichten zo ver geëlimineerd, dat men met behulp van statistisch-causale wetten een aantal trekken van de toekomst kan voorspellen op grond van gegevens omtrent het verleden.

Hiertegenover moet echter worden opgemerkt dat een gemeenschap ook trekken kan vertonen, welke in de anorganische wereld met haar statistische wetten geen analogie vinden. Het is toch mogelijk dat de leden van een gemeenschap, wanneer zij onder de invloed geraken van een bepaalde idee, die door enkelen met genoegzame kracht naar voren is gebracht, er toe komen om bij hun handelingen een bepaald, tevoren nog niet gesteld doel in het oog te gaan houden. De gemeenschap kan dan een zeker initiatief ontwikkelen, en daardoor in staat zijn de vroeger van kracht zijnde statistische wetten te doorbreken. Economische wetten kunnen dan bv. haar geldigheid verliezen; men kan een voorbeeld ook zien in de bestrijding van epidemische ziekten door de uitoefening van ieders persoonlijke zorg voor de nodige hygiëne. Godsdienstige bewegingen mogen hier zeker eveneens worden vermeld. Er kan zich dan een vorm van "gemeenschapsleven" ontwikkelen — een punt waarop wij later nog moeten terugkomen (zie § 19.). Dat er daarnaast verschijnselen zijn die de persoonlijke, voor ieder op een meer of minder duidelijk bewust doel ge-

richte, instelling van vele mensen weer te niet doen, en hen in bepaalde opzichten maken tot een grauwe massa die als geheel geen initiatief kan ontwikkelen en slechts als object van telling wordt opgevat, is duidelijk.

Er is een tweede punt, gelegen in het individuele geestesleven, dat voor onze beschouwingen van belang is. De werking van onze geest laat zich niet beschrijven als een continu proces, waarin geen grenzen zouden zijn te vinden. Wij kunnen onze geesteswerkzaamheid niet beschouwen als een ononderbroken voortgang zonder rustpunten. Integendeel: wij vormen telkens begrippen, opvattingen; wij grijpen als het ware telkens iets met onze gedachten. Onze gedachten schrijden voort met min of meer duidelijk te onderkennen, op elkander volgende en zich uit elkander ontwikkelende sprongen. Er zijn weliswaar in de opeenvolgende denkwerkzaamheid nergens scherpe discontinuïteiten aan te wijzen, maar toch is het alsof telkens iets nieuws is vastgelegd, een nieuw beeld, een nieuw begrip, dat als zodanig een duidelijk te erkennen individualiteit bezit. Men kan wel achteraf trachten een continu beeld te construeren van het tijdelijk en ruimtelijk verband in de opeenvolging der ervaringen die ons hebben beïnvloed — doch de formatie van de concepties zelve ontgaat ons als zodanig: telkens wanneer wij beproeven er op te letten, staat een conceptie reeds voor ons, is een sprong reeds gemaakt.

Elke waarneming in onze geest is een vorm geven aan gedachten; er bestaat daardoor ook geen geesteswerkzaamheid die wij "van buiten af" zouden kunnen observeren zonder haar te beïnvloeden. De lezer zal hier een analogie voelen met hetgeen in § 3. en § 4. is uiteengezet omtrent hetgeen plaats vindt bij de observatie van een atomair systeem: de observatie "projecteert" het systeem in één der bij die observatie behorende mogelijke toestanden; de observatie schept dus mede haar eigen resultaat. Ditzelfde geschiedt bij het observeren van onze geesteswerkzaamheid. En hoewel dit het sterkste het geval is bij het observeren van de eigen geesteswerkzaamheid, zo is het toch genoegzaam bekend welke invloed er van den observator kan uitgaan bij het observeren van iemand anders. Ook dan kan het stellen van een vraag dwingen tot het geven van vorm aan een gedachte, welke tevoren nog in een waas van onbepaaldheid had verkeerd en nog verschillende mogelijkheden van kristallisatie had toegelaten.

13. *Artistieke werkzaamheid.* — Ten einde een analogie op te sporen, die ons iets kan leren over de verhouding tussen levensfuncties en het entropiebegrif, zij het geval beschouwd van een kunstenaar, die uit een grote verzameling van steentjes een mozaïek samenstelt, uitdrukking gevende aan een beeld dat hem voor de geest zweefde. Ik wil daarbij aannemen, dat de visie van den kunstenaar zo diep ging, dat in het mozaïek ieder steentje een geheel bepaalde plaats en stand moet innemen, zodat iedere permutatie van de steentjes, en zelfs iedere verdraaiing van een steentje het kunstwerk zou verstoren. — Tegenover dit kunstwerk kan nu een losse hoop stenen worden gezet. Is er een verschil in entropie aan te wijzen tussen beide objecten?

Hier moet nu in het oog worden gehouden dat wij de term "een hoop stenen" bezigen in de zin waarin wij in statistische beschouwingen hebben gesproken van "macroscopische kenmerken". Wanneer wij denken aan "een hoop stenen", interesseert ons niet de ligging van de stenen in die hoop; elke permutatie van de stenen, elke standsverandering van een steen laat de hoop stenen een hoop stenen, en is derhalve voor de toepassing van dit begrip onverschillig. Onder de term "een hoop stenen" vallen dus talloos vele "microscopische configuraties", die alle als gelijk-

waardig gelden. Wij zouden het aantal dezer configuraties in principe kunnen tellen, en op grond daarvan aan de hoop stenen een entropie kunnen toekennen.

In tegenstelling met de "hoop stenen" is het gedachte kunstwerk als zodanig uniek. Dit laat geen permutaties toe: hier kan niet onder een macroscopisch beschreven toestand een verscheidenheid van microscopische configuraties worden samengevat. Het aantal der permutaties, zo men daarvan nog zou willen spreken, is niet meer dan 1, en men zou derhalve de entropie gelijk aan nul moeten stellen¹⁵⁾. In deze zin zou derhalve het scheppen van het kunstwerk de entropie hebben verminderd.

Nu kan de vraag worden gedaan, of men inderdaad al de configuraties die onder het begrip "een hoop stenen" vallen, als gelijkwaardig mag beschouwen? Kunnen er onder die configuraties niet een of meerdere voorkomen, die toch merkwaardig zouden zijn, ons bv. zouden kunnen treffen door een kleurverdeling? Zeker kan dat, doch zodra men een dergelijke bijzondere rangschikking zou gaan opmerken (en ook niet eerder!) wordt deze gelicht uit de verzameling van gelijkwaardige configuraties. Dan vindt een bepaalde microscopische configuratie, of eventueel een verzameling van dergelijke configuraties, erkenning om haars zelfs wil. Men zou zelfs aan een bepaald type van rangschikking een zodanige betekenis kunnen toekennen, dat het een eigen karakter zou verkrijgen. Dan mag men ook aan dit type van rangschikking een eigen entropie toekennen, bepaald door het aantal configuraties dat het nog omvat; een aantal dat eventueel tot 1 zou kunnen teruggaan, wanneer de rangschikking werkelijk door en door als uniek zou worden beschouwd.

Het bijzondere zit dus niet in de vraag, of de beschouwde rangschikking der steentjes door een kunstenaarshand is tot stand gebracht, of dat zij is ontstaan door ons niet nader bekende oorzaken, waarin wij geen reden kunnen zien voor het verschijnen juist van die bijzondere rangschikking in verband met haar artistieke waarde. Het bijzondere zit in onze houding ten opzichte ervan. De entropie wordt bepaald door onze visie op de rangschikking: wij kunnen deze beschouwen als een vorm van unieke betekenis, dan wel als een karakterloze representant van een grote massa van gelijksoortige configuraties, die alle onder het verzamelbegrip "hoop stenen" vallen.

Men mene vooral niet dat hierin ook maar enige depreciatie zou zijn gelegen van het werk van den kunstenaar, zelfs niet van uit het standpunt van den fysicus die entropieën beproeft te berekenen. De kunstenaar toch is de eerste beschouwer van zijn werk, en is de eerste die ons kan verzekeren dat zijn werk unieke betekenis heeft. Wie in een, op voor hem onbekende wijze tot stand gekomen, steenhoop een werkelijk uniek karakter kan vinden, moet artistieke begaafdheid bezitten en is zelf enigermate een kunstenaar, des te meer naarmate hij het bijzondere karakter van die (en geen andere) rangschikking der steentjes dieper in detail zou doorvoelen. — Het is overigens slechts ter vereenvoudiging van de uiteenzetting, dat hier niet wordt ingegaan op hetgeen een scheppend kunstenaar moet doen om een bepaalde, door hem verlangde, rangschikking uit een willekeurige verzameling van materiaal tot stand te brengen. Op zijn minst heeft men hierbij te doen met gehele series van visies.

¹⁵⁾ De omstandigheid dat elk steentje nog een eigen entropie bezit, als fysisch-chemisch systeem, is hierbij op het ogenblik van geen belang, daar deze entropie geacht kan worden niet te veranderen bij het rangschikken der steentjes tot het mozaïek.

14. *Betekenis van een buiten de fysica vallende waardering.* — De beschouwingen van de vorige paragraaf brengen ons tot de conclusie: In het fysische entropiebegrif wordt zonder onderscheid geteld hoeveel micro-configuraties als gelijkwaardig worden beschouwd in een systeem, dat slechts door macroscopische, statistische, eigenschappen is gedefinieerd. De werking van de menselijke geest is er daarentegen op gericht om bepaalde microscopische configuraties wel van alle andere te onderscheiden, en deze om haars zelfs wil te waarderen, d.w.z. te waarderen op grond van overwegingen die niet tot de fysische beschrijvingswijze behoren. Hoe moeilijk de term "waarderen" ook past in een wetenschappelijke beschouwing, dit woord is hier niet te vermijden en moet dienen om een punt van fundamenteel belang uit te drukken. In de fysische, noch in de mathematische relaties, is iets gelegen dat een verschil in betekenis zou kunnen verschaffen aan de ene situatie boven een andere, daar fysica en mathematica zich principieel van alle waarde-oordelen onthouden. In fysisch opzicht is bv. concentratie niet meer waard dan dissipatie. Ieder oordeel, waarin wij een voorkeur uiten voor deze situatie ten opzichte van gene, is een uitspraak van een levend iets in ons, dat wel gebruik maakt van fysische kenmerken, doch dat in de keuze van het naar voren gebrachte kenmerk een eigen weg volgt. Waar in ons leven — en, naar wij kunnen vermoeden, in meendere of mindere mate ook in ander leven — dit erkennen van een eigen karakter in bepaalde configuraties, van iets dat niet voor permutatie vatbaar is ¹⁶⁾, een even belangrijke rol speelt als het beïnvloed worden door ervaring, meen ik dat het van nut is voor onze beschouwingen om hieraan nadere aandacht te geven, en om te beproeven tot een bepaling te komen van de verhouding waarin dit punt staat tot de entropiekwesties die ons bezighouden.

Waarop in de eerste plaats de aandacht dient te worden gevestigd, is dat het hier ingevoerde kenmerk van een bijzondere waarde een subjectief kenmerk is. De toepassing ervan hangt af van den beschouwer, van wat in diens geest werkzaam is.

Dit subjectieve element mag ons niet afschrikken om in onze overwegingen dergelijke kenmerken op te nemen. Subjectieve trekken worden ook in andere takken van de moderne natuurkunde erkend, en met name kan men zeggen dat de beïnvloeding van een atomair systeem door het uitvoeren van een observatie toont, dat het bij dergelijke systemen niet mogelijk is "object" en "subject" rigoureuus van elkander te scheiden. Evenmin valt te ontkennen, dat door het gehele entropiebegrif een subjectieve trek is geweven. Entropie is als een objectieve grootheid slechts te beschouwen in fysisch-chemisch onderzoek voor zover hierbij een algemeen gebruikelijke schaal van observatie-fijnheid wordt in acht genomen, en de onderzochte grootheden gemiddelden zijn, hetzij over vele deeltjes, hetzij over series van processen die zich vele malen in de tijd herhalen. Indien het mogelijk was zich een veel dieper gaande detailkennis omtrent de posities en bewegingen der afzonderlijke moleculen in een systeem te

¹⁶⁾ Ter vereenvoudiging der uiteenzetting is in het voorgaande uitsluitend gesproken over configuraties waarin alleen de onderlinge ligging van betekenis is, en waarin tijdsrelaties geen rol spelen. Men kan echter ook met stelsels te doen hebben, waarin de microscopische configuraties zich van elkander onderscheiden door de volgorde in de tijd van bepaalde gebeurtenissen, of waarin een rol wordt gespeeld door het in de tijd samentreffen van bepaalde gebeurtenissen met verschijnselen die door oorzaken buiten het stelsel zijn bepaald. In dergelijke gevallen kan de door de menselijke geest gevormde waardering ook de erkenning zijn van het niet voor herhaling vatbare in een samenloop van gebeurtenissen.

verschaffen, zou men aan een dergelijk systeem een geringere entropie kunnen toekennen. Men vergelijkte in dit verband de opmerkingen gemaakt in § 8. in verband met formule (4), waar is uiteengezet dat deze formule kan worden aangepast aan de te bereiken observatie-fijnheid, en waar met name is vermeld, dat zo men over de mogelijkheid zou beschikken om een "maximale observatie" te kunnen uitvoeren, de entropie van een stelsel tot nul zou kunnen worden gereduceerd.

Deze overwegingen brengen ons er toe om de stelling te aanvaarden dat vermindering van entropie mogelijk zal moeten zijn door geestelijke werkzaamheid, wanneer deze er toe leidt een gedetailleerde, in de fysica niet te bereiken beschouwingwijze toe te passen, welke een waardering van individuele bijzonderheden medebrengt.

Wanneer men wil beproeven deze opvatting te hulp te roepen ten einde een beeld te vormen van de rol der levensfuncties, dan moet in herinnering worden gebracht, dat levende wezens waarschijnlijk kunnen reageren op afzonderlijke moleculen, en zeker op afzonderlijke quanta¹⁷⁾. Zij zijn derhalve gevoelig voor microscopische bijzonderheden van hun omgeving, en reageren niet uitsluitend op de macroscopisch vast te stellen gemiddelden — ook al zou men onder "macroscopisch" hier verstaan: gemiddelden over gebieden van de orde van grootte van een deel van een levende cel. — Voorts geschiedt de opbouw van stoffen in de levende cel, volgens de onderstellingen van L. W. JANSSEN omtrent de biosynthese, vermoedelijk door het hanteren van afzonderlijke moleculen, welke op geheel bepaalde wijze door synthetiserende systemen (bepaalde samenstellingen van eiwitmoleculen, met tal van daaraan verbonden bijzondere chemische groepen) worden geleid¹⁸⁾. De chemische omzettingen en de bouw van nieuwe verbindingen in de cel vinden derhalve op principiële wijze plaats, dan de vorming van reactieproducten in een niet levend milieu, waar de reacties van toevallige botsingen afhankelijk zijn.

Levende cellen blijken dus een vermogen te bezitten om op microscopische wijze in te grijpen. Nu kan men de hypothese uitspreken, dat het een kenmerk moet zijn van een levend organisme, dat in die reacties ervan welke als levend zijn te beschouwen, een element werkzaam is waardoor een waardering van bijzondere configuraties tot uiting wordt gebracht. Het is niet mogelijk hierover anders te spreken dan in vage termen, daar wij hier staan voor de grenzen van onze kennis. Men zou echter kunnen zeggen, dat in die handelingen waarin een organisme als iets levends verschijnt, er een beschouwend "iets" werkzaam is, hetwelk aan de microscopische situaties een kenmerk toekent, dat buiten de in fysische termen beschrijfbare kenmerken valt. Wat dit "iets" is, laat zich in de materie van het organisme niet aanwijzen. Wij kunnen echter de wijze van functioneren ervan iets nader beschrijven, door de verdere stelling uit te spreken dat deze functie tot uiting komt in het doen van een "keuze" (de term is, door de associatie met menselijke voorstellingen, wellicht te pretentius, doch het is moeilijk een meer adequate terminologie te formuleren) tussen de volgens de quantummechanica mogelijke uitkomsten van een atomair of mole-

¹⁷⁾ Men zie bv. P. JORDAN, *Die Physik und das Geheimnis des organischen Lebens* (Braunschweig 1941), p. 34 en vlg.

¹⁸⁾ Zie L. W. JANSSEN, *Inleiding tot het virusprobleem met mond- en klauwzeer als voorbeeld*, *Chemisch Weekblad* 36, p. 684, 1939; *Biosynthesis and the outlines of protein structures*, *Protoplasm* 33, p. 410, 1939; *Virus-eiwitten en hun productie door de cel*, *Nederl. Tijdschr. voor Geneeskunde* 84, p. 3220, 1940; *Biosynthese als centraal biologisch probleem*, *Handel. 28ste Ned. Natuur- en Geneesk. Congres, Utrecht 1941*, p. 165; en andere publicaties.

culair proces in een cel; en — als een noodzakelijke completering daarvan — in het vasthouden van zo iets als een "bedoeling" in een serie van dergelijke keuzen.

15. *Invloed van het leven op de verdeling van de uitkomsten van een proces. Beperkte opvatting.* — De vraag dringt zich op wat de aan het slot van de vorige § gemaakte onderstelling kan inhouden? Ons een voorstelling maken omtrent "iets" dat een keuze uitoefent, en "hoe" dat zou geschieden, kunnen wij niet. Wij kunnen echter beproeven de mogelijke gevolgen te preciseren. Daartoe kan wellicht het onderstaande, uiterst schematische, voorbeeld dienen.

Men denke zich een rooster met de periode a , waardoor een electronenbundel wordt gezonden (het voorbeeld is slecht van toepassing op een levende cel, doch het is in de formulering het eenvoudigste). Ondersteld wordt dat de snelheid van de electronen binnen nauwe grenzen is ingesloten, zodat aan de bundel een bepaalde golflengte λ kan worden toegerekend. De hoek ϑ_1 , welke de richting van de bundel maakt met de normaal op het rooster (in een vlak gericht volgens de periode a), zij variabel, en zij daarbij begrepen tussen de grenzen — Θ en + Θ . Is ϑ_2 de hoek welke de uittredende bundel maakt met de normaal, dan bestaat de betrekking:

$$\sin \vartheta_2 = \sin \vartheta_1 + n\lambda/a \quad (9)$$

waar n een positief of negatief geheel getal is, onderworpen aan de voorwaarde dat de absolute waarde van het rechterlid niet boven de eenheid mag komen. In een normaal fysisch geval zal n alle positieve en negatieve waarden aannemen, welke hieraan voldoen; de doorgelaten bundels zullen dientengevolge over een groter gebied van hoeken zijn verspreid, dan met de invallende bundel het geval was.

Men zou nu kunnen onderstellen dat, in afhankelijkheid van de waarde van ϑ_1 , de waarde van n door een levend organisme telkens zo werd uitgekozen, dat steeds wordt voldaan aan:

$$|\sin \vartheta_2| \leq \lambda/2a \quad (10)$$

Deze keuze is er op gericht aan de uittredende bundel een beperkter graad van spreiding te geven dan de invallende bezat, hetgeen mogelijk is bij passend gekozen waarden van Θ en van λ/a . Er zal dan in de doorgelaten electronen een zekere ordening zijn verkregen, en voor zover men uitsluitend aandacht geeft aan de verdeling van de richtingen, zou men kunnen zeggen dat de entropie van de electronenbundel was *verminderd*.

De vraag rijst nu echter of een dergelijke ordenende werking ten opzichte van een bepaald kenmerk gepaard zal gaan met een compenserende toename van entropie ergens anders? In het beschouwde geval zal er een impulsuitwisseling moeten plaats vinden tussen de electronen en het rooster. Dit kan een kleine spreiding in de uittrederichtingen veroorzaken, welke niet door de hierboven genoemde formules wordt omvat; belangrijker echter is dat tengevolge hiervan ook in de toestand van het rooster een wijziging optreedt: dit ontvangt ongeordende impulsen, zodat er te rekenen valt met een toename van de entropie van het rooster. De totale entropieverandering wordt dus niet alleen bepaald door de spreiding of de concentratie van de electronenbundel, doch ook door hetgeen heeft plaatsgevonden in het systeem dat op deze bundel invloed uitoefende.

Een nauwkeurige berekening van deze begeleidende entropietoename is

niet eenvoudig. Men kan echter, afgaande op hetgeen in § 10. is uiteengezet, aannemen dat het uitoefenen van een coördinerende werking ten opzichte van een zeker kenmerk steeds zal gepaard gaan met het veroorzaken van niet te controleren storingen elders, en wel in zodanige mate, dat de totale entropie van de bij het proces betrokken objecten *toeneemt*.

Men kan het voorbeeld generaliseren en daarbij aansluiten aan formule (4) van § 8. Men veronderstelt dat een bepaalde reactie door een levende cel herhaalde malen wordt uitgeoefend, en dat men de toestanden (micro-configuraties) waarin het reagerende stelsel vóór de reactie verkeert, kan onderscheiden naar zekere kenmerken, waaraan de indices $j, l \dots$ mogen beantwoorden. Na de reactie kan het stelsel voorkomen in micro-configuraties aangeduid met indices $r, s \dots$. Schrijft men P_{jl} voor de kans om het stelsel vóór de reactie aan te treffen in de micro-configuratie j, l ; en P_{rs} voor de kans om het na de reactie te vinden in de micro-configuratie r, s , dan kan men als de entropie van het stelsel vóór de reactie beschouwen:

$$S_1 = -k \sum P_{jl} \ln P_{jl} \dots \dots \dots (11)$$

(in verband met de omstandigheid dat thans meerdere indices worden toegepast, is P_{jl} in de plaats getreden van het quotiënt m_j/M ; voorts is $g_{jl} = 1$, daar nu micro-configuraties worden onderscheiden); en als de entropie van het stelsel na de reactie:

$$S_2 = -k \sum P_{rs} \ln P_{rs} \dots \dots \dots (12)$$

Wanneer de overgang van de toestanden j, l naar de toestanden r, s beheerst wordt door de vergelijkingen der quantummechanica, met de daarbij behorende statistische betrekkingen, dan moet voldaan zijn aan ¹⁹⁾:

$$S_2 \geq S_1 \dots \dots \dots (13)$$

Nu kan men zeer goed aannemen, dat wanneer een biologisch ingrijpen zo zou geschieden, dat ten aanzien van het door r aangeduide kenmerk een bepaalde ordening wordt verkregen, zodat bv. alleen zou voorkomen: $r = 1$, er ten aanzien van het kenmerk s (en eventueel ten aanzien van andere, hier niet genoemde kenmerken) een zodanige verdeling optreedt, dat toch voldaan blijft aan (13).

Volgens deze opvatting zouden de levensfuncties niet in absolute zin entropieverminderend kunnen werken, doch alleen een partiële coördinatie teweegbrengen, ten koste van het verschijnen van een compenserende (of meer dan compenserende) mate van "wanorde" elders. Wel zou bereikt worden, dat de processen niet rechtstreeks voortschrijden in de richting van de sterkst mogelijke toename van de entropie: zij verlopen op zodanige wijze, dat telkens een mogelijkheid wordt benut om iets te richten of te ordenen.

Nu kan men echter de vraag stellen, of met een dergelijk schema een bevredigend beeld wordt verkregen omtrent de rol van de levensfuncties? Men kan immers opmerken dat een partiële richtende werking als hier werd beoogd, toch ook door een mechanisme moet kunnen worden verzekerd. In het voorbeeld van het rooster kan men dit vervangen denken door een meer gecompliceerde structuur, welke de electronenbundels uitsluitend doorlaat in een bepaalde richting, met slechts een zeer geringe

¹⁹⁾ Vergelijk R. C. TOLMAN, *The Principles of Statistical Mechanics*, p. 468: (c) "The Klein relation". Hierbij beantwoordt (wegens het gebruiken van meerdere indices) de in bovenstaande tekst voorkomende grootte P_{jl} aan q_{kk} bij TOLMAN, en P_{rs} aan q_{nn} .

spreiding. Het is dan zeker dat aan de ter sprake gebrachte entropierelaties is voldaan. Wat is er dan eigenlijk bereikt als beeld van iets levends?

16. *Invloed van het leven op processen in de cel. Verder gaande opvatting.* — Het wil mij voorkomen, dat men nooit een adequaat beeld verkrijgt van wat "leven" betekent, wanneer men zich bindt aan de onderstelling dat processen in een levende cel alleen daardoor gericht (feitelijk dan: partieel gericht) kunnen verlopen, doordat reeds een zekere materiële "geleiding" in de cel daartoe aanwezig is (onder een materiële geleiding hierbij verstaan een veld van elektrische of andere krachten, gekoppeld aan in de cel aanwezige materie). De werkingen welke in een cel plaatsgrijpen, zouden dan te vergelijken zijn met hetgeen geschiedt in een laboratoriumproef of in een technisch bedrijf, waar een proces wordt bestuurd met behulp van een daartoe ingerichte apparatuur. Vraagt men echter waar de apparatuur in de cel vandaan moet zijn gekomen, dan geeft een dergelijke opvatting geen ander antwoord dan een verwijzing naar een andere, reeds tevoren ergens aanwezige apparatuur, welke als matrix moet hebben gediend voor de bouw van de zoeven beschouwde; en zo zou men steeds verder moeten teruggaan. In een dergelijke beschouwing zou alle levende structuur een uitvloeisel zijn van reeds tevoren gevormde structuur. Terwijl dit zeker juist kan zijn voor een belangrijk gedeelte van de in een cel voorkomende structuren²⁰⁾, zo zou de opvatting dat daarmee alles is gezegd, waardoor men feitelijk het gehele leven zou terugbrengen tot een serie van processen welke uitsluitend door een vorm van statistische causaliteit worden beheerst, en waarbij alles tenslotte zou moeten zijn voorzien geweest in een of ander uitgangspunt, iets zeer onbevredigends hebben.

In de plaats van deze opvatting zal men daarom een andere moeten stellen, volgens welke er van tijd tot tijd iets doelmatigs moet kunnen geschieden, of iets nieuws worden opgebouwd, *dat niet reeds met zekerheid lag besloten in wat tevoren al aanwezig was*. Eerst een dergelijke opvatting kent aan de levensfuncties een mogelijkheid tot beïnvloeden toe, welke aansluit bij de beschouwingen van § 14. De levensfuncties zouden daarbij haar potenties moeten ontlenen aan een visie of een conceptie gericht op een waardering, op de erkenning van een mogelijkheid; m.a.w. in haar werking zou datgene tot uiting moeten komen, wat wij trachten weer te geven met de woorden "door een bedoeling gerichte keuze". Het typerende van het leven is niet het eens voor al geregelde: er moet de mogelijkheid zijn om een op de toekomst gerichte sprong te kunnen doen.

Men zou hierbij nog kunnen onderscheiden: *a.* van tijd tot tijd een determinerende invloed uitoefenen, daar waar de aanwezige structuur niet voldoende is om hinderlijke spreiding in het resultaat van een reactie te voorkomen; en *b.* opbouwen van een nieuwe structuur, waardoor dan eventueel verder een automatisch verloop in de gewenste richting van een reactie zou kunnen worden verkregen, met behulp van bronnen van beschikbare energie van "lage" entropiewaarde. Daarbij zou het "beoogde doel" kunnen zijn hetzij een geheel nieuwe sprong in de toekomst (iets in de geest van een mutatie, wanneer het op de structuur van de cel betrekking heeft; of wellicht iets dat bij den mens zich kan uiten als een nieuwe gedachte); hetzij het ingrijpen, naar gelang van omstandigheden, in series van processen, waarvan het verloop door de aanwezige structuur slechts

²⁰⁾ Men vergelijk de in noot ¹⁸⁾ aangehaalde publicaties van L. W. JANSSEN, bv. Chemisch Weekblad 36, p. 687, 1939, over "machines" en "machiefabrieken" in een cel.

op summiere wijze is vastgelegd (iets in de geest van wat men misschien bij de embryonale ontwikkeling zou kunnen opmerken).

Met een aldus geformuleerde onderstelling verwijderen wij ons in hoge mate van hetgeen in fysische termen te beschrijven is. Doch men ontkomt niet aan de invoering van niet-fysische elementen, wanneer men een plaats zoekt voor datgene wat het leven typeert en voor de driften welke zich daarin uiten. Daarbij moge in het oog worden gehouden, dat de opvatting dat het resultaat van een observatie, met fysische middelen op een systeem uitgevoerd, slechts statistisch is bepaald, ons evenzeer de mogelijkheid ontnemt om een voorstelling te vormen omtrent "wat er gebeurt" ²¹).

Alle fysische observatie is gericht op het vaststellen van de uitkomsten van *voltooide* processen of series van processen. De fysische observatie, welke een systeem in een bepaalde toestand projecteert en ons alleen het resultaat hiervan kan doen kennen, kan *de groei van iets, het tot stand komen van het resultaat als een innerlijk proces*, niet doen zien (misschien is het nog juister hier te zeggen: "niet doen meebeleven"). Dit heeft tengevolge dat fysisch onderzoek alleen *bepaaldheid van uit het verleden* kan naspeuren. Voor dit naspeuren beschikt het slechts over de mogelijkheid om te tellen; het kan niet verder gaan dan series van uitkomsten achteraf aan statistische analyses te onderwerpen. Het kent geen waarde-oordelen, en het bezit dientengevolge geen mogelijkheid om begrippen te verschaffen aangaande een zich richten op een toekomst.

Het essentiële van het leven is echter niet een stationaire toestand, is niet het afwerken van een patroon; het is het ontwerpen van een patroon, het is ontwikkeling, groei. Op het eerste begin van een serie komt het aan, wanneer men iets van het leven wil trachten te grijpen; ons gewone onderzoek kan echter slechts het verloop van tot een constant patroon geworden series natellen. Het eerste beseffen van een mogelijkheid welke voor een levend systeem openstaat, is misschien enigermate te vergelijken met een observatie. Doch het is dan niet een observatie van buitenaf, waarbij het resultaat als het ware wordt geforceerd, en waarbij men moet afwachten wat er te voorschijn zal komen (vergelijk hierboven § 3.); het is een observatie van binnen uit, waarbij het resultaat in een gewenste richting wordt beïnvloed in verband met een conceptie betreffende een mogelijke toekomst.

Wanneer men na deze beschouwingen opnieuw de vraag ter hand neemt naar de verandering van de entropie in stelsels waarin leven een rol speelt, dan moet derhalve in het oog worden gehouden, dat alle fysisch en chemisch onderzoek slechts afgelopen processen kan registreren. Aan het levende ziet dit onderzoek steeds voorbij. Wij kunnen slechts achteraf, uit het karakter van een geregistreerde serie, trachten op te maken hoe deze tot stand kan zijn gekomen. Wij moeten dan beproeven een onderscheid te maken tussen "zuiver statistische series" en "door een bedoeling ge-

²¹) Men vergelijke bv. in H. A. KRAMERS, Die Grundlagen der Quantentheorie (Hand- und Jahrbuch der chemischen Physik, Band 1/I, Leipzig 1933) de opmerkingen over "een objectief niet te beschrijven, en dus — zo men wil — irrationele reciproke werking tussen waarnemingsapparaat en het waargenomene" (p. 5 en elders).

De waarschijnlijkheidsamplitude, waardoor de toestand van een fysisch systeem wordt beschreven, is een geheel en al abstracte grootheid, die alleen betekenis heeft in bepaalde rekenprocédés; en dit verandert niet, wanneer men een waarschijnlijkheidsamplitude invoert die systeem en waarnemingsapparaat beide omvat, en dus ook hun interactie beschrijft. Steeds moet men, om betreffende het resultaat van de interactie te komen tot een uitspraak die voor ons zin heeft, een vertaling maken in voor ons toegankelijke grootheden. Daarbij komt in de fysica steeds weer een vraag te pas, waarop het antwoord luidt: "een statistische verdeling van de mogelijke uitkomsten".

richte series", terwijl wij buiten het innerlijke gebeuren zijn gebleven. Wij kunnen daarbij niet anders doen dan "zuiver statistisch" en "door een bedoeling gericht" als twee tegenover elkander staande schema's te bezigen. Het is dan duidelijk dat (1) leven alleen tot uiting kan komen in een voldoende lange serie van processen; en dat (2) een afwijking van een zuiver statistische serie slechts zal kunnen worden geconstateerd, wanneer men kan zeggen dat de opgetreden serie van uitkomsten op een doel is gericht — anders toch is er geen kenmerk om de ene serie van uitkomsten principieel te onderscheiden van een andere ²²⁾).

Het is waarschijnlijk dat een groot deel van de processen in een levende cel volgens zuiver statistische schema's verlopen. Ordening ten aanzien van bepaalde kenmerken in de resultaten wordt hierbij verkregen door middel van te dien einde aanwezige "geleidende" velden of structuren. Deze processen vertonen de normale statistische causaliteit; zij zullen dientengevolge verlopen onder entropietoename in wat men als "hulp-apparaten" kan beschouwen ²³⁾. Dit is hetgeen geconstateerd wordt door het fysische of fysiologische onderzoek, dat zich bezighoudt met de studie van het normale functioneren van een cel — gelijk reeds in § 10. was vermeld.

Het meest wezenlijke van het leven zal echter daarnaast verschijnen in een (vermoedelijk veel geringer) aantal processen, in welke een op de toekomst gerichte keuze tot uiting komt waarvan het resultaat niet was voorbeschikt, en waardoor de statistische verdeling der uitkomsten wordt doorbroken. In deze processen moet een rol worden gespeeld door een conceptueel element, dat "vormen van bepaaldheid" erkent welke niet in fysische termen beschrijfbaar zijn (vergelijk § 18.), en dat op grond van die erkenning invloed bezit, zich uitende in een streven naar coordinatie. Stelt men de vraag of conceptuele elementen wel voldoende "kracht" kunnen bezitten om invloeden uit te oefenen, dan denke men aan de biologische driften, aan de ontwikkelingsgang van het leven op de aarde, aan de instincten, aan het gedachteleven van den mens, met zijn erkenning van ethische waarden enerzijds, en zijn onderworpen zijn aan talloze driften anderzijds. Het is ons niet mogelijk deze verschijnselen uitsluitend te verklaren als een gevolg van statistische series; wij kunnen ze slechts adequaat beschrijven door daarin de invloed te erkennen van een "op een doel gericht zijn", met welke term men dit ook wil omkleden.

²²⁾ In dit verband moge nog worden opgemerkt, dat het begrip "zuiver statistisch" wel een ondubbelzinnige rekenregel kan inhouden, doch zich desniettemin aan onze voorstelling onttrekt. In alles wat wij ons voorstellen, spelen steeds bedoelingen een rol. Wij kunnen onze geesteswerkzaamheid niet zover uitschakelen, dat wij een "zuiver statistische serie" kunnen construeren: men kan dergelijke series hoogstens benaderen. Uit de practijk van de statistische wetenschappen is dit genoegzaam bekend; vandaar dat men zo dikwijls teruggrijpt óf op volkomen geordende series, óf op series verkregen door middel van een loterijspel of iets dergelijks, wanneer men bepaalde theorieën wil toetsen.

²³⁾ Door Prof. KRAMERS is de opmerking gemaakt dat ter verklaring van bepaalde verschijnselen in levende cellen wellicht een beeld kan worden ontleend aan verschijnselen die in fysische systemen optreden, wanneer alle in het systeem voorkomende quantumgetallen bepaald zouden zijn — een toestand die bij fysische systemen kan worden benaderd bij extreem lage temperaturen, en waarvan misschien de suprageleiding en de eigenschappen van vloeibaar Helium II als voorbeelden zijn te beschouwen. Men denke hierbij aan het feit, dat in de organisatie van levende wezens schakelingen voorkomen, welke maken dat de inwerking van een enkel quantum wordt versterkt en kan worden doorgeleid naar bepaalde organen, bv. naar zenuwcentra (zie het in noot ¹⁷⁾ genoemde boek van P. JORDAN, *Die Physik und das Geheimnis des organischen Lebens*).

Bij processen als de hier gedachte zal de toename van de entropie in de apparatuur tot een minimum zijn beperkt, zodat zo min mogelijk "wanorde" wordt veroorzaakt.

Om nu echter terug te keren naar de entropie: — de vraag in hoeverre ook deze processen nog begeleid worden door een compenserende toename van entropie, is wellicht niet voor afdoende behandeling vatbaar. Voor een enkele cel zullen dergelijke processen ieder voor zich een uniek karakter bezitten, zodat de basis voor een telling van gelijkwaardige micro-configuraties ontbreekt, daar micro-configuraties hier juist moeten worden onderscheiden. Slechts dan wanneer men grote aantallen gelijksoortige cellen beschouwt, en deze onder overeenkomstige omstandigheden brengt (zoals het geval kan zijn met bacteriënculturen), krijgt men weer met verhoudingen te doen waarop statistische beschouwingen kunnen worden toegepast. Het is mogelijk dat dan een entropiebegrif een rol kan spelen, en het is te verwachten dat men dan weer een gehoorzamen aan de tweede hoofdwet vindt.

Kan men echter de aandacht bepalen tot een enkele cel (of een groep van samenwerkende cellen), waarin een uniek proces optreedt, dan zal op een dergelijke situatie het entropiebegrif niet kunnen worden toegepast. Men kan niet spreken van de entropie der in een uniek proces tot stand gekomen apparatuur. Hoogstens zou men te werk kunnen gaan als geschetst is in § 13. bij de beschouwing van de artistieke betekenis van een mozaïek, waar een vergelijking kon worden getroffen met een ongeordende hoop stenen. Is het mogelijk de tot stand gekomen apparatuur te vergelijken met verwante, doch ten opzichte van het beoogde doel als ongeordend te beschouwen molecuulcomplexen, dan zou daaruit tot een in belangrijke mate gereduceerde entropie kunnen worden besloten. De vraag wat er met de entropie geschiedt in een dergelijk geval, is echter mogelijk niet van wezenlijk belang: men kan er mede volstaan, wanneer door een dergelijk proces een nieuwe situatie is geschapen, deze dan als een uitgangspunt te nemen, indien verdere series van statistisch verlopende processen daarop volgen. — Teneinde het specifiek levende van "groei"-processen te beoordelen heeft men vermoedelijk weinig aan het entropiebegrif. Men zou hiertoe feitelijk een andere wijze van telling moeten zoeken, waarbij een waarde wordt toegekend aan iedere trek van nieuwhed ²⁴).

17. *Synthese van ervaring en waardering.* — Dat het gewaagd wordt de onderstelling omtrent het doen van een "keuze" in quantumprocessen naar voren te brengen, moge gerechtvaardigd worden door het karakter van de levensverschijnselen, die zich van uit fysisch standpunt alleen niet laten begrijpen. Leven toch is in de eerste plaats de naam voor het zich doen gelden van op een doel gericht initiatief, van de mogelijkheid om in tal van situaties, die niet volgens een bepaald schema op elkander volgen, een passende reactie uit te voeren, welke in het algemeen gunstig is voor het voortbestaan van het organisme en voor het voortduren van het "levend zijn" ²⁵). Juist met het oog hierop is de onderstelling uitgesproken, dat in

²⁴) De onderstelling van een entropievermindering in absolute zin bij dergelijke processen zou niet in conflict behoeven te komen met hetgeen vermeld was in § 10.; de frequentie van deze processen zal naar verhouding gering zijn, zodat zij op de thermodynamische grootheden slechts een ondergeschikte, door ons niet te meten invloed uitoefenen.

Het is mogelijk, en zelfs zeer waarschijnlijk, dat dergelijke "groei"-processen slechts zullen verschijnen tengevolge van een of andere "schok", welke aanleiding geeft tot het opkomen van een nieuwe conceptie — evenals een ervaring in ons een gedachte kan doen opkomen.

²⁵) Het zal duidelijk zijn dat het "op een doel gerichte" karakter niet steeds doelmatig behoeft te wezen voor het voortbestaan van het leven: er zijn letale mutaties; er bestaat kanker; en in ons geestesleven komen ziekelijke gedachten en bijgeloof voor. Ook waanvoorstellingen kunnen echter tot omvangrijke coördinaties (ten kwade dan) leiden.

levensfuncties een op een doel gerichte keuze tot uiting komt, waarvan het resultaat niet reeds door in de cel aanwezige materiële structuren was voorbeschikt.

In dit verband is het van betekenis thans het volgende op te merken omtrent onze geestesfuncties. Onze geest maakt telkens een samenvatting — een "observatie" omtrent hetgeen in ons werkzaam was. Deze samenvatting moge, naar de graad van gedetailleerdheid beoordeeld, zeer verschillend kunnen uitvallen; steeds echter zijn in de observatie verwerkt de resultaten van ervaringen die wij van buiten hebben opgedaan tezamen met innerlijke impulsen in ons, in zodanige vorm dat wij in elke observatie een element van waardering of beoordeling tot uitdrukking brengen. De waardering of beoordeling kan in allerlei gradaties voorkomen, vanaf de eenvoudigste affecten van behagen of tegenzin tot zeer gedetailleerde oordelen toe; des te meer gedetailleerd en tot een meer omvattend geheel van tot een zeker evenwicht gebrachte contrasten ontwikkeld, naarmate de geesteswerkzaamheid die er aan voorafging, rijker was.

Door dit samenvatten van ervaringen en het daarmee verbinden van een waardering, van een beoordeling — wat dus het observeren, het "bezinnen", als een wezenlijk element in zich houdt — krijgt ons leven zijn zin en zijn persoonlijk karakter. Het element van waardering betekent daarbij het eigene, dat wij in onze opvattingen leggen. Dit element is hetgeen wij als onze vrijheid beseffen. De aanwezigheid ervan heeft tengevolge dat in al onze handelingen en uitingen een element van schepping aanwezig is. Er is een scheppingsproces in het geven van vorm aan onze gedachten — daardoor is de wereld waarin wij leven steeds nieuw, en is zij niet een afwerken van slechts door statistische wetten geregeerde processen.

Leven is "anders" teruggeven wat wij ontvingen — het is teruggeven wat wij ervaren hebben, vermeerderd met de waarden die onze beoordeling erin heeft gelegd ²⁶⁾. Sterk komt dit uit in artistieke scheppingen, en in het opbouwen van wetenschappelijke interpretaties van wat wij ervaren. Doch evenzeer vindt men dit in het opbouwen van levensvormen. Bij al deze scheppingen is er een visie die den schepper voortdrijft, en die onder haar ontwikkelingsproces door telkens nieuwe elementen opmerkt en tot coördinatie brengt. Door dit voortdurend opnemen van nieuwe elementen ontwikkelt zich ook de zin van het leven tegelijk met het leven zelf. — Dat ook het geven van liefde hieronder kan vallen, zal zonder meer duidelijk zijn.

Het is het conceptuele element in onze gedachteprocessen, dat bij het verrichten van een "observatie" omtrent hetgeen in ons werkzaam is, de "projectie" determineert waarin de ervaring wordt neergelegd (vergelijk § 12.).

Uitgaande van deze beschouwingen — die toch niet anders zijn dan een beschrijving van ervaringsfeiten — kan men nu terugredeneren. Men komt dan tot de opvatting, dat niet slechts in ons geestesleven, doch dat in alle levensprocessen trekken aan te geven moeten zijn, die iets bezitten van het hierboven geschetste: het verbinden van een element van conceptie met hetgeen ervaren wordt, en het uitdrukken van een synthese van ervaring en conceptie in het resultaat van een proces. Dit is de opvatting, waarvan in de voorgaande bladzijden is getracht de verhouding tot de fysica te bepalen.

Men kan nog een stap verder teruggaan, een stap welke is gedaan door

²⁶⁾ "Wie niet meer geeft dan hij ontving, is nul....." (MULTATULI, Vorstenschool).

A. N. WHITEHEAD²⁷⁾, en als grondslag voor de beschouwing van de gehele natuur — de anorganische zowel als de organische — de stelling aanvaardden, dat alles wat geschiedt, is op te vatten als een complex van acties, die ieder voor zich opkomen uit een ervaring van bestaande feiten, en ieder voor zich de verwezenlijking vormen van een in die ervaring als "waardevol" erkend verband. Door elke dergelijke verwezenlijking wordt een nieuw feit gevormd, dat zich voegt bij alle reeds bestaande en daardoor mede grondslag wordt voor het opkomen van nieuwe processen. De gehele natuur is in deze gedachte een menigvuldig en oneindig complex van zich uit elkander ontwikkelende processen. Daarbij wordt in ieder proces een rol gespeeld, enerzijds door ervaring omtrent hetgeen is voorafgegaan, anderzijds door een element van conceptie gericht op het erkennen van zekere relaties. In ieder proces wordt tengevolge van dit conceptuele element een synthese gevormd, in ieder proces wordt een zekere "keuze" gedaan. Ervaring als zodanig, en "keuze" van het perspectief waardoor het karakter van de ervaring wordt bepaald, zijn niet van elkander te scheiden, en zijn beide even fundamenteel.

Alle processen der natuur zijn dientengevolge gericht op een conceptie betreffende de toekomst, even goed als zij afhankelijk zijn van ervaring omtrent hetgeen voorafging.

Van wezenlijke betekenis in deze opvatting is dat er telkens een stap wordt gedaan: er is telkens een scandering. Men voelt hier een zekere verwantschap met de in de quantumtheorie verwerkte gedachte, dat telkens een observatie wordt verricht, welke een nieuw aspect geeft aan het geobserveerde stelsel. Eerst door een dergelijk scanderen is er ruimte geschapen voor het tot betekenis komen van begrippen als "waardering", "bedoeling", "gericht zijn"²⁸⁾. In het door WHITEHEAD ontworpen beeld moet dientengevolge ook het aspect waaronder de tijd wordt beschouwd,

²⁷⁾ Zie verschillende passages in A. N. WHITEHEAD, "Science and the Modern World" (cheap edition, Cambridge 1933); en vooral "Process and Reality" (ibidem 1929). — Voorts moeten worden genoemd van denzelfden schrijver "Adventures of Ideas" (1933), voornl. Part III, "Philosophical", waarin een belangrijke gedeelte uit "Process and Reality" is samengevat; en "Modes of Thought" (1938), in het bijzonder Lectures IV, "Perspective"; V, "Forms of Process"; en VIII, "Nature Alive".

De term "proces" in de tekst is gebezigd voor wat in "Process and Reality" is aangeduid met "actual entity"; in "Adventures of Ideas" en in "Modes of Thought" wordt hiervoor ook de term "occasion of experience" gebezigd.

In "Process and Reality" wordt datgene wat in de tekst het conceptuele element van een proces is genoemd, meermalen aangeduid als de "mental pole" ervan, welke staat tegenover de "physical pole". Zie bv. "Process and Reality", p. 151: "Each actuality is essentially bipolar, physical and mental, and the physical inheritance is essentially accompanied by a conceptual reaction partly conformed to, and partly introductory of, a relevant novel contrast, but always introducing emphasis, valuation, and purpose."

²⁸⁾ In het zich afspelen van een volmaakt continu proces, waarvan de opeenvolgende situaties op volkomen bepaalde wijze, in de geest der klassieke mechanica of der klassieke fysica, uit elkander voortvloeien, zijn geen "rustpunten" aanwezig welke zich door een intrinsieke eigenschap van andere momenten onderscheiden. De continuïteit en de volkomen gedetermineerdheid laten geen plaats toe voor enig fenomeen dat zou kunnen beantwoorden aan het begrip "individu" — laat staan voor iets dat zou kunnen beantwoorden aan een "bezinning". Men moet daarbij bedenken, dat ook verschijnselen die oppervlakkig gezien de indruk van "botsingen" maken en zich daardoor als bijzondere momenten zouden kunnen voordoen, in het beeld van de klassieke fysica worden teruggebracht tot continu verlopende processen (evenals alle andere vormen van beweging), processen dus, waarvan begin en einde zich naar verleden en toekomst in het onbepaalde verliezen.

Het aanvaarden van een scandering als een essentiële trek in de natuur is de enige mogelijkheid die zich ons biedt om ergens een verband te kunnen vermoeden tussen fysieke en conceptuele elementen.

een rol van grote betekenis vervullen; men kan in een dergelijk beeld niet blijven staan bij de fysische opvatting van de tijd als een parameter voor de rangschikking van afgelopen (tot een feit geworden) processen.

18. *Creativiteit. Verhouding tussen "materie" en "leven"*. — Doordat WHITEHEAD zich heeft vrij gemaakt van materie als een primair begrip, en als uiterste categorie een principe stelt van creativiteit, is de mogelijkheid verkregen om als fundamentele typen van entiteiten te aanvaarden: *werkelijkheden* ("actual entities", in het voorgaande aangeduid als processen), welke opkomen en ervaren worden; en *verhoudingen of vormen van bepaaldheid* ("forms of definiteness", "pure potentials for the specific determination of fact", ook "eternal objects" genoemd), waarin het conceptuele in ieder proces de ervaring kleedt. Het principe der creativiteit laat zich nader toelichten door het te splitsen in drie termen: — activiteit (de steeds terugkerende drang naar uitgroei); creativiteit als drang naar synthese (d.i. naar de verwezenlijking van een in een ervaring besefte waarde-relatie); en individualiteit (het verwezenlijken van de besefte waarde-relatie in een feit), tengevolge waarvan de ervaring telkens wordt gescandeerd en meteen de grondslag wordt gelegd voor het opkomen van een volgende ervaring. Definitie is de ziel van alle actualiteit: het nastreven van een bijzondere vorm van bepaaldheid is de finale oorzaak welke elk afzonderlijk proces voortdrijft; met het bereiken van die vorm komt het proces ten einde en gaat het over in een objectief feit, dat als zodanig onvergankelijk is en het universum rijker heeft gemaakt²⁹). De uitwerking van deze gedachten gaat in twee richtingen: de ene heeft betrekking op de innerlijke groei van een proces, terwijl de andere betrekking heeft op de rangschikking van tot een feit geworden processen, zoals ze in een nieuw proces kunnen worden ervaren.

In de rol welke in de groei van elk proces wordt gespeeld door de erkenning van vormen van bepaaldheid, zijn de buiten de fysica gelegen elementen te zoeken, waarop de conceptie moet zijn gericht die op versterkte wijze in de levensfuncties tot uiting komt. In de conceptie worden sommige van deze vormen aanvaard, terwijl andere worden geëlimineerd: geen eindige conceptie kan alle vormen van bepaaldheid tezamen omvatten. Iedere conceptie brengt derhalve slechts een partiële ordening van verhoudingen teweeg, en laat tal van andere verhoudingen daarbuiten. Iedere ervaring wordt gezien onder een bepaald perspectief, gelijk ook hierboven reeds is opgemerkt. Uit dit partiële of subjectieve karakter van de in ieder proces gerealiseerde orde, in de verhouding tussen deze orde en de in het vage gelaten "achtergrond" daarvan, vloeit tegelijkertijd de kracht en de beperktheid van deze orde voort.

De verhouding tussen de door het conceptuele element in een proces gerealiseerde orde en de achtergrond van deze orde, moet in de analyse van de groei van een proces een functie vervullen, welke in zekere zin als complementair kan worden opgevat tot de verhouding tussen de schema's "statistische verdeling van uitkomsten" en "op een doel gerichte keuze" in

²⁹) Vergelijk "Process and Reality", pp. 28, 29 en 314: "The universe is thus a creative advance into novelty." En verder: "But definition is the soul of actuality: the attainment of a peculiar definiteness is the final cause which animates a particular process; and its attainment halts its process, so that by transcendence it passes into its objective immortality as a new objective condition added to the riches of definiteness attainable, the 'real potentiality' of the universe." — Zie ook "Modes of Thought", p. 96, over "Actuality" en "Potentiality".

de beschouwing van series van tot een feit geworden processen. Waar in de beschrijving van een enkel proces het entropiebegrif niet kan worden toegepast, moet nu acht worden gegeven op de omvang en de diepte van de bereikte orde tegenover haar achtergrond.

Het is hier niet de plaats om nader in te gaan op het door WHITEHEAD ontworpen beeld³⁰). Groots en omvattend is dit beeld als een poging om de innerlijke eenheid van het universum te expliceren³¹). Het is echter van belang er hier nog op te wijzen, dat in deze beschouwingen de begrippen "materie" en "leven" beide afgeleide begrippen zijn. Als "materie" kan zich een serie van processen doen gelden, waarin een bepaald patroon steeds weer wordt herhaald, zodat daardoor een zekere persistentie tot uiting komt, en een voor herhaalde waarneming vatbaar object verschijnt. "Materie" doet zich derhalve voor als de historische route van bepaalde typen van processen. — "Leven" is daarentegen de naam voor het zich doen gelden van een op een doel gericht initiatief, dat in een serie van processen tot werking kan komen.

In anorganische materie wordt het conceptuele element dat in ieder proces een rol speelt, gereduceerd tot het bijkans eindeloos herhalen van eenzelfde patroon; de mogelijkheid van initiatief wordt onderdrukt, geëlimineerd, doordat er geen coördinatie bestaat tussen de vormen waarin dit in de verschillende processen zou kunnen verschijnen. Hier heersen diensengevolge statistische regels. — In levende organismen daarentegen is een — op door ons niet, of althans nog niet, nader te beschrijven wijze ontstane — coördinatie of "schakeling" tussen de conceptuele elementen van achtereenvolgende processen aanwezig, waardoor de mogelijkheid van initiatief wordt versterkt, en dit zich op steeds ruimere schaal kan uiten³²).

Het is dus niet zo, dat conceptuele elementen iets bijkomstigs voorstellen, dat alleen in levende wezens bestaat en in hen krachten uitoefent op materie. Men moet niet uitgaan van de materie als iets gegevens, en dan vragen: hoe kan in materie leven zijn gekomen? Conceptuele elementen zijn aanwezig in alle processen der natuur; zij vervullen ook een rol in datgene wat zich aan ons voordoet als niet levende materie — slechts is deze rol een andere dan die welke in levende organismen aan de dag treedt.

19. Analogieën met het leven van een gemeenschap. — Wanneer men in "Process and Reality" tussen de regels tracht te lezen, ontkomt men

³⁰) Men vergelijkte een serie artikelen van schrijver dezes in de tweede druk van het "Encyclopaedisch Handboek van het Moderne Denken" (Arnhem 1942) over: Synthetische wijsbegeerte, Holisme, Contrast, leer der Gemeenschappen (waarin gepoogd is een samenvatting te geven van WHITEHEAD's beschouwingen over de rangschikkingen van processen) en voorts korte toevoegingen tot de artikelen over God, Leven, Tijd.

Op de beschouwingen die door WHITEHEAD worden verbonden aan de idee van God kan hier niet worden ingegaan. De lezer zij daarvoor verwezen naar tal van passages in "Process and Reality", in het bijzonder naar Part V daarvan; en naar "Modes of Thought", p. 140.

³¹) De gedachte van de eenheid van het universum wordt wel het scherpste uitgedrukt in de volgende zinnen ("Process and Reality", p. 327): "The universe is always one, since there is no surveying it except from an actual entity which unifies it. Also the universe is always new, since the immediate actual entity is the superject of feelings which are essential novelties".

Voorts moge worden aangehaald uit "Modes of Thought" (p. 205): "The doctrine that I am maintaining is that neither physical nature nor life can be understood unless we fuse them together as essential factors in the composition of 'really real' things whose inter-connections and individual characters constitute the universe".

³²) Vergelijk bv. "Process and Reality", p. 140, § VII; en "Adventures of Ideas", p. 266.

niet aan de indruk dat WHITEHEAD bij de opbouw van zijn beeld zich in vele opzichten heeft laten leiden door hetgeen valt waar te nemen in menselijk leven en denken, zowel individueel als gemeenschappelijk. Er is reeds op gewezen dat de studie hiervan, juist omdat wij dit van binnen uit mede beleven, ons waardevol materiaal verschafft om te dringen in een zijde der natuur waar het gewone fysische onderzoek langs heen gaat. En er moge worden opgemerkt dat het naast biologen en psychologen ook dichters en romanschrijvers zijn, die belangrijke trekken van dit leven aan ons duidelijk kunnen maken.

Ook een mensengemeenschap kan, gelijk reeds eerder is opgemerkt, wanneer de persoonlijke instellingen der individuen geen verband met elkander houden, in hoge mate door statistische regels worden beheerst, en zich derhalve voordoen als een statisch, niet in zijn geheel als levend te beschouwen object. Daarnaast kan uit het leven der individuen, door een passende coordinatie, een gemeenschapsleven opgroeien, waarin de gemeenschap als zodanig initiatief en scheppingskracht tot ontwikkeling doet komen, ver uitgaande boven hetgeen een enkeling in eenzaamheid zou kunnen doen.

Dit gemeenschapsleven kan zich aanvankelijk vertonen als een spontane reactie, opgekomen doordat de visie van een of meer leden der gemeenschap zich heeft medegedeeld aan de andere leden, en bij hen een te voren niet werkzame vorm van waardering heeft doen opkomen. Is een dergelijke vorm van waarden eenmaal verschenen, dan kan of deze zelfde wijze van waarden van dat moment aan steeds worden herhaald, of wel, zij kan worden gevolgd door nieuwe spontane reacties. In het eerste geval heeft de gemeenschap een nieuw kenmerk gekregen, dat daarna is verward ("erfelijk" is geworden); pas in het tweede geval, waarin de gemeenschap herhaaldelijk spontane reacties vertoont, kan men spreken van een levende gemeenschap.

Zijn de spontane reacties van zodanige aard, dat zij het voortbestaan der gemeenschap bevorderen en tevens gunstig zijn voor het telkens opnieuw opkomen van dergelijke reacties, dan kan de beschouwde gemeenschap als een *levend organisme* worden opgevat.

Men heeft dan hier te doen met een vorm van leven, welke haar vestiging heeft "tussen" een aantal mensen, en welke niet het gewone leven is van een enkelen mens. Dit leven van de gemeenschap vindt een gedeelte van zijn steun veelal ook in materiële hulpmiddelen; en voorts in symbolen en leuzen, die tot het gebied der conceptuele elementen behoren. Voor zover het mede wordt gedragen door materiële hulpmiddelen — men denke bv. aan de middelen voor geestelijk verkeer —, kan men zeggen dat het zich heeft uitgebreid over een gebied dat meer omvat dan de mensen alleen.

Het leven van de gemeenschap, in deze zin opgevat, behoeft niet voortdurend tot uiting te komen; het kan zeer goed een tijdlang sluimeren, en dan weer opflikkeren.

Bestendigheid, in de zin van het vrijwel zonder onderscheid en onbeperkt herhalen van eenzelfde patroon, is geen kenmerk van leven. Leven is niet primair gericht op het behoud van een bepaalde structuur om haars zelfs wil: ieder kwartskristal bezit een mate van permanentie, die door geen levend wezen wordt gehaald. Leven is behoud van spontaniteit, behoud van de mogelijkheid om zich telkens opnieuw met een eigen initiatief in te stellen op een nieuwe situatie; het behoud van het materiële apparaat is daartoe slechts middel. Bovenal is leven strijd tegen het statistische, tegen het ongeordende, het tellen zonder onderscheid, dat tot de tweede hoofdwet voert.

Dat echter het behoud van het materiële apparaat een zeer belangrijke factor vormt zowel in het voortbestaan als in de ontwikkelingsmogelijkheid van een levend wezen, is zonder meer duidelijk. Naast het opkomen van een nieuwe levensvorm uit een passend initiatief, is derhalve nodig het vermogen om het eenmaal bereikte te doen persisteren in een lange reeks van herhalingen. In elke beschouwing van gemeenschappen speelt dientengevolge het overdragen van bepaalde kenmerken van het ene lid op het andere een rol van essentiële betekenis ³³⁾.

Al deze overwegingen zijn evident, wanneer men ze beschouwt van uit menselijk standpunt; zij bieden echter tegelijk de mogelijkheid om verschillende analogieën op te bouwen, die steun kunnen geven wanneer men beproeft zich voor te stellen wat de elementaire eigenschappen van leven mogen zijn. Met name lijkt het mij van belang de mogelijkheid van een slechts af en toe opflikkeren van leven in het oog te houden; en voorts te letten op de vaagheid die het begrip van de localisatie van het leven verkrijgt, wanneer men acht geeft op de verschillende vormen van gemeenschapsleven die zich voordoen.

Men kan nog de vraag stellen of dergelijke beschouwingen ook een aanwijzing kunnen geven ter verklaring van de mogelijkheid waarover levende organismen beschikken om zich voort te planten, d.w.z. om meerdere van elkander onafhankelijke individuen te doen ontstaan. Dat mensengemeenschappen zich kunnen delen, en dat van een voortplanting van gemeenschappen kan worden gesproken, is evident — doch hieronder schuilt steeds het leven van den enkelen mens, hetzij door zijn biologische voortplanting, hetzij door zijn vermogen tot mededelen. Ter verduidelijking van hetgeen geschiedt wanneer bv. een eencellig wezen niet levende materie opneemt, en deze materie op zodanige wijze assimileert dat de cel zich naderhand in tweeën kan delen, geeft dit nog geen hulp. Men kan misschien aannemen dat in iedere hoeveelheid materie een soort van potentiële draagster van leven is te zien, doch voorshands is een dergelijke constructie — die bij WHITEHEAD in deze vorm ook niet voorkomt ³⁴⁾ — te vaag, dan dat zij ons zou kunnen bevredigen.

20. *Slotbeschouwingen.* — De lezer zal bemerkt hebben, dat de beschouwingen der voorgaande bladzijden, behalve door de uiteenzettingen van WHITEHEAD, in hoge mate zijn geïnspireerd door gedachten die in velerlei modern fysisch werk zijn neergelegd. Met name moge hier worden gewezen op de gedachte van de complementariteit tussen de fysische beschrijvingswijze enerzijds, en de wetmatigheden die zich voordoen in levensverschijnselen anderzijds, uitgesproken door N. BOHR in "Atomtheorie und Naturbeschreibung" (Berlin 1931) ³⁵⁾. — Wat aanknopingspunten betreft met biologische gedachtestelsels, moet erkend worden dat aan vele opvattingen te kort is gedaan; het is echter ook beter aan biologen

³³⁾ Men zie in dit verband het in noot ³⁰⁾ genoemde artikel over de "Leer der Gemeenschappen" in het "Encyclopaedisch Handboek van het Moderne Denken", terwijl voorts moet worden verwezen naar de beschouwingen hieromtrent ontwikkeld door WHITEHEAD in "Process and Reality", pp. 140—153.

³⁴⁾ Een opmerking over het tot zich nemen van voedsel door levende wezens wordt door WHITEHEAD gemaakt in "Process and Reality", p. 146; deze helpt ons echter niet in verband met het hier aangeroerde probleem.

³⁵⁾ Naast de beschouwingen van BOHR vergelijkte men vooral: P. JORDAN, *Anschauliche Quantentheorie* (Berlin 1936), Kap. V: *Atome und Organismen* (pp. 271—319). — Zie ook: N. BOHR, *Light and Life*, Nature 131, pp. 421, 457, 1933.

over te laten hun meningen hieromtrent te formuleren. Dat een verband moet kunnen worden gevonden met het begrip "totaliteit", hetwelk in verschillende biologische opvattingen een belangrijke rol speelt, ligt wel voor de hand ³⁶⁾. Wat betreft de door H. J. JORDAN naar voren gebrachte opvatting omtrent het onderlinge verband tussen gezamenlijk optredende oorzaken ³⁷⁾, het is mogelijk dat ook hiermede een verwantschap is te vinden. Het is denkbaar dat H. J. JORDAN's opvatting in een soort van complementaire verhouding staat tot de opvatting van een "op een doel gerichte keuze". Het is evenwel niet mogelijk hier nader op deze problemen in te gaan.

Erkend moet verder worden dat de ontwikkelde beschouwingen op het ogenblik geen directe wetenschappelijke waarde opleveren in die zin, dat zij nieuwe wegen zouden aanwijzen voor experimenteel onderzoek of voor experimentele toetsing. Gehoopt wordt echter dat zij desniettemin een achtergrond leveren, die hulp kan bieden in het overzien van de problemen, gelegen op het grensgebied van leven en niet leven. Zij doen ons erkennen dat naast ervaring omtrent hetgeen is geschied, een conceptie nodig is, welke aan deze ervaring vorm, perspectief, geeft. De theorieën der fysica beschrijven een belangrijk deel van de rol welke de ervaring speelt in het gebeuren der natuur. De uitwerking van de quantummechanica heeft doen blijken, dat daarmede iedere volgende fase niet volkomen is bepaald, en dat in de processen waarin wij geen leven erkennen, deze onbepaaldheid in die zin wordt opgelost, dat de frequenties der mogelijke uitkomsten door statistische regels worden bepaald. In de levensverschijnselen nemen wij een andere trek waar. Iets dat in de verschijnselen der fysische wereld is uitgewist, komt hier te voorschijn, en wel op versterkte wijze. Naarmate men in de ontwikkelingsgang van het leven op de aarde hoger klimt, worden daarin meerdere trekken zichtbaar. Er is dus een voortdurend verder werkend initiatief in het reageren op uiterlijke omstandigheden. Telkens evenwel, wanneer een nieuwe trap is bereikt, zien wij dat deze wordt vastgelegd in eindeloos lange reeksen van herhalingen. Zodra wij hierop, en op de daarmede samenhangende massa-verschijnselen, gaan letten, treden ons weer statistische regels tegemoet — totdat deze op hun beurt door een nieuw initiatief worden doorbroken. — Dat achter de hier aangeerde problemen de vraag staat naar de betekenis van de ethische waarden welke door ons worden erkend, als verschijnsel in de natuur en als kracht die de verdere ontwikkeling van het leven beïnvloedt, zal duidelijk zijn; echter ook, dat dit hier een open vraag moet blijven.

Ten aanzien van ons uitgangspunt, het entropievraagstuk, is het waarschijnlijk resultaat van onze overwegingen het volgende: Bij de processen, die in levende cellen geregeld plaats vinden en waarvoor bepaalde structuren aanwezig zijn, moet men aannemen dat steeds wordt voldaan aan de tweede hoofdwet. Van tijd tot tijd evenwel zal de levensfunctie zich op een bijzondere wijze moeten uiten, die wij niet anders kunnen beschrijven dan door te zeggen, dat een op een doel gerichte keuze wordt gedaan tussen uitkomsten van een proces, welke op grond van de in de cel

³⁶⁾ Iets hierover is uiteengezet in het artikel over "Holisme" genoemd in noot ³⁰⁾.

³⁷⁾ Men vergelijkte H. J. JORDAN, De causale verklaring van het Leven (Amsterdam 1940); en verder vele artikelen van zijn hand over biologische en wijsgerige onderwerpen in het "Encyclopaedisch Handboek van het Moderne Denken" (Arnhem 1942).

Voor een uiteenzetting omtrent de grensgebieden, waar de voor ons herkenbare levensvormen zich in nevels schijnen te verliezen, zij verwezen naar A. J. KLUYVER, "'s Levens Nevels", Handel. 26ste Nederl. Natuur- en Geneeskundig Congres, Utrecht 1937, p. 82. Ook moge nogmaals worden gewezen op het in noot ¹⁴⁾ genoemde boek.

aanwezige structuren even goed mogelijk zouden zijn. Door het tot stand komen van deze keuze, waarin een conceptueel element een rol speelt, wordt de statistische verdeling der uitkomsten en de daarop berustende statistische causaliteit doorbroken. Wanneer men dergelijke processen ieder voor zich kan beschouwen, en recht kan laten wedervaren aan hun uniek karakter, verliest het entropiebegrip zijn toepassing. Men kan niet spreken van de entropie van de in een dergelijk proces tot stand gekomen apparatuur, of wel men zou aan deze apparatuur, evenals aan een uniek kunstwerk, een in belangrijke mate gereduceerde entropie moeten toekennen. Men kan echter daarna van een nieuwe situatie spreken, die dan als uitgangspunt kan dienen voor een volgende serie van statistisch verloopende processen. De bijzondere processen, waarin een initiatief tot uiting komt, zijn tegenover de normale statistische processen in de minderheid, zodat men bij het gewone fysisch-chemische onderzoek (gericht op de studie van hetgeen als "normaal" is te beschouwen) geen afwijkingen van de tweede hoofdwet constateert. — Men kan overigens ook bij deze processen nog tot een statistische beschouwing geraken, wanneer men ze bij vele gelijksoortige organismen onder overeenkomstige omstandigheden ziet verschijnen, waardoor het individuele unieke karakter van de afzonderlijke processen op de achtergrond wordt geschoven. Het is te verwachten dat dan weer een normaal gehoorzamen aan de tweede hoofdwet zal verschijnen.

In massa bezien, met de ogen van een fysicus — dus zonder te letten op het innerlijke van groeiprocessen — verschijnt ons derhalve het leven als onderworpen aan de tweede hoofdwet: steeds krijgt men dan de indruk dat er gebruik moet worden gemaakt van de een of andere vorm van degradatie van energie, om het voortgang te doen vinden.

Wij constateren echter tevens een opbouwen; trachten wij hierop nader in te gaan, door te denken aan de unieke betekenis van een afzonderlijk groei-proces, dan treden wij uit de sfeer der statistische beschouwingen en verliest de tweede hoofdwet haar macht. De vraag of alle levensverschijnselen aan de tweede hoofdwet zijn onderworpen, kan derhalve niet zonder meer met ja of neen worden beantwoord: het antwoord is afhankelijk van het gekozen standpunt.

Men mag echter niet zeggen dat de rol van de levensfunctie in unieke processen zich voordoet als een rechtstreekse omkering van het streven naar entropievermeerdering, hetwelk aan alle statistisch verloopende processen eigen is. De rol van de levensfunctie is niet op te vatten als een streven naar rechtstreeks "ontwarren" van de door statistische verdelingen geschapen "wanorde", alsof men te doen zou hebben met een omgekeerde film. Dit is ook onmogelijk, daar wij niet getrokken worden naar een gereformeerde toekomst. Het leven kan alleen orde scheppen *door de conceptie van nieuwe ordenende gezichtspunten*, die waarde geven aan een samenhang, aan contrasten, welke tevoren niet anders waren dan slechts een tussen vele mogelijkheden. *Door de conceptie van een dergelijke ordening richt het leven zich op de toekomst*, oefent het op de toekomst een determinerende werking uit. Elke dergelijke ordening draagt een subjectief karakter, en staat tegenover een achtergrond die in het vage wordt gelaten; aan de verhouding tot deze achtergrond ontleent zij haar betekenis, die oppervlakkig of diep, eng begrensd of veel omvattend kan zijn. De zin van het leven is gelegen in het erkennen van steeds meer omvattende en tegelijk dieper gaande vormen van orde, ten einde de sprongen in de toekomst steeds verder te doen reiken. Hierin ligt ook de grond voor onze verantwoordelijkheid.

Tenslotte moge hier worden gewezen op een probleem dat zich in het bijzonder voor den mens voordoet, en dat samenhangt met hetgeen door BAAS BECKING is te berde gebracht in het laatste gedeelte van zijn voordracht. Wij hebben in het voorgaande de tegenstelling gezien tussen het gebied van de fysisch-chemische activiteit, waar de statistische regels onbepaald gelden, en het rijk van het leven, dat streeft naar coordinatie en waarin telkens nieuwe vormen worden opgebouwd. Voor elk levend wezen stelde echter daarbij de omgeving een onbegrensd reservoir voor, waaruit kon worden geput en waarin kon worden teruggeworpen. Die orde, welke het leven in het organisme opbouwde, stond tegenover de buitenwereld, welke daarvoor de achtergrond vormde. En tevens: tegenover de orde in het organisme stonden in de buitenwereld in vele opzichten niet te controleren reacties, welke hier "wanorde", dissipatie, doen verschijnen.

In vele opzichten is een analoge trek verbonden aan de menselijke activiteit. In het overgrote deel van alle menselijke handelingen worden vormen van orde opgebouwd ten koste van afbraak van wat in ander opzicht als orde kon gelden. Een studie van dit punt is van groot praktisch belang in verband met de omstandigheid, dat — afgezien van de zonne-energie die de aarde ontvangt — de aarde voor ons een afgesloten milieu voorstelt. Het zonder omzien afbreken en bovenal het achteloos neerwerpen van de afbraak- en afvalproducten zonder zich om de gevolgen daarvan te bekommeren, doet een verarming en een vergiftiging dreigen, waarvan wij de gevaren nauwelijks beseffen. Men denke hierbij met name aan de manier waarop de natuurlijke gesteldheid en de schoonheid van vegetatie, dierenwereld en bodem door den mens wordt vernield, en houde in het oog dat dit, behalve materiële gevolgen, in het bijzonder ook zeer grote gevaren medebrengt voor onze geestelijke gezondheid.

Zolang het aantal mensen nog gering was, was deze vraag niet van groot belang: voor bedorven terrein kon nieuw terrein in gebruik worden genomen, en ondertussen werkten in de omgevende natuur regenererende krachten. Thans echter omvat hetgeen wij in onze werkzaamheid betrekken vrijwel de gehele aarde, en is dit in scherper vorm dan ooit te voren tot ons bewustzijn doorgedrongen. Men kan zeggen dat de bitterheid van de crisis waarin de mensheid op het ogenblik is gewikkeld, samenhangt met het feit dat er geen nieuwe terreinen meer beschikbaar zijn.

Dientengevolge staat nu het probleem voor ons om bij elke poging om enige orde tot stand te brengen, de gehele aarde met alles wat daarop en daarin zit in beschouwing te nemen, opdat niet scheppende werkzaamheid op één terrein gepaard zal gaan met een te grote vernieling en dissipatie elders. Of dit kan, hoe dit zou kunnen, valt buiten het bestek van deze beschouwingen. Het geeft echter een eigen aspect aan het entropieprobleem.

Afgezien van de zonne-energie die tot ons komt, is het rijk van den mens een afgesloten systeem, waarin wij wellicht nog miljoenen jaren voor ons hebben: de eindige aarde, die geheel in ons leven moet worden betrokken, waarvan iedere trek, ieder aspect, iedere steen of stroom, zo goed als de dieren- en plantenwereld, ook tot ons leven behoort. In dit eindige gebied moeten wij trachten het statistische te overwinnen door ons inzicht te vermeerderen en met groter liefde alles wat er is, tegemoet te treden — opdat niet ons leven zijn vrijheid zal verliezen en ten onder zal gaan in troosteloze verdorring.

Delft, December 1942—Januari 1943.

