

# ERNST MACH

DOOR

Dr. J. E. ENKLAAR.

---

Mach is een schrijver, dien ik aan de meeste mijner lezers niet meer behoef voor te stellen. Hij is bekend genoeg, meer evenwel als wijsgeer dan als natuurkundige. En toch is hij van professie het laatste en ligt zijn beste werk op dit gebied. Als wijsgeer is Mach consequent positivist. Als zoodanig is hij de vertegenwoordiger van een monisme, dat principieel geen verschil ziet tusschen het physische en het psychische en beiden langs denzelfden weg en met dezelfde beginselen wil verklaren. Hoewel een man als Mach ook bij dit gedeelte van zijn werk merkwaardige gezichtspunten moest geven, heeft hij echter de mislukte pogingen om in een enkel stelsel zoowel het physische als het psychische, het object en het subject, als gelijksoortige dingen beiden tot hun recht te laten komen, slechts met één vermeerderd. Wie Mach van deze zijde wil leeren kennen in het licht der kritiek, hij neme het onlangs verschenen boek van prof. w. KOSTER ter hand<sup>1</sup>. Hij zal het zeker na de lectuur niet onbevredigd ter zijde leggen. Ons doel is, om ditmaal hoofdzakelijk de aandacht te vestigen op de in 1900 verschenen 2de uitgave van Mach's „*Principiën der Wärmelehre*”<sup>2</sup>.

Mach's positivistische neigingen in verband met zijn logische natuur hebben het aanzijn gegeven aan boeken over mechanica en physica, die

---

<sup>1</sup> De ontkenning van het bestaan der Materie en de moderne physiologische psychologie door Dr. W. KOSTER Oud-hoogleraar. Haarlem. H. D. TJEENK WILLINK en Zn. 1904.

<sup>2</sup> *Die Principiën der Wärmelehre* historisch-kritisch entwickelt von Dr. E. MACH, Professor an der Universität Wien. Zweite Auflage. Mit 105 Figuren und 6 Porträts. Leipzig. 1900.

zich van alle anderen over dezelfde onderwerpen onderscheiden<sup>1</sup>. Het is zijn streven, om in de eerste plaats uit dit uit zijn aard positieve gebied alle logische tegenstrijdigheden en alle nuttelooze aanhangsels en toevoegsels te verdrijven. Met het laatste heeft hij op het oog de overblijfselen der Middeleeuwsche Scholastiek, die het werkelijk gegevene overschrijden zonder bevordering der aanschouwelijkheid, zonder het verschaffen van ophelderende en tot onderzoek prikkelende analogiën. MACH is niet als Ostwald positivist à outrance. De „Durchleuchtung grosser physikalische Kapittel (Licht) durch mechanische Analogiën” en de „Ermittelung exacter quantitative Beziehungen zwischen mechanische und andere physische Prozesse (thermodynamica) acht hij een blijvende verdienste der mechanische physica. Als men het maar niet „zu ernst” en „zu buchstäblich” neemt. Helaas, voegt hij er bij, de moderne physica heeft het „so furchtbar ernst” genomen.

En hij denkt daarbij aan WUNDT, den hoofdman der physiologische psychologie, die alle verandering op stoffelijk gebied acht te bestaan in plaatsveranderingen, in laatste instantie die van stoffelijke zelf volkomen onveranderlijke en bestendige deeltjes. Het zal MACH verheugd hebben, dat de baken althans reeds schijnen verzet te moeten worden; dat het „starre Atom” van WUNDT, waarin niets gebeurde, het tooneel schijnt te worden van samengestelde verschijnselen, waarbij zich een arbeidsvermogen openbaart, waarbij het tot nu toe bekende als quantité négligeable verschijnt. Het radium heeft dit alles bewerkt. Maar er is reeds in het electron een nieuwe verder verwijderde burcht opgericht, waarbinnen men voorloopig volstrekte rust kan laten heerschen.

Een standpunt als dat van MACH brengt mede, dat men de begrippen en wetten der natuurwetenschap aan een streng logisch en historisch onderzoek onderwerpt met het oog op hun feitlijken en werkelijken inhoud; het eenige, hetwelk blijvende waarde bezit.

Er is nauwelijks een wetenschappelijk begrip te vinden, waarmede wij ook in het dagelijksch leven meer vertrouwd zijn dan dat van *warmtegraad* of *temperatuur*. Hoe weinigen echter kennen de juiste beteekenis er van. De meesten meenen, dat de thermometer aangeeft,

<sup>1</sup> Van MACH's hand verschenen: *Die Geschichte und die Wurzel des Satzes der Erhaltung der Arbeit*. Prag 1872; *Optisch-akustische Versuche*, 1873; *die Mechanik in ihrer Entwicklung*, historisch-kritisch dargestellt. 4te Aufl. 1901, *Populär-wissenschaftliche Vorlesungen*, 3te Aufl. 1903 en de meer op wijsgeerig gebied thuis behoorende *Beiträge zur Analyse der Empfindungen*. 3te Aufl. 1902.

of een lichaam meer of minder warmte bevat. MACH toont aan, dat zelfs natuurkundigen van naam spreken van een temperatuur en van temperatuurschalen, die wij met onze temperatuurgetallen zoo nauwkeurig mogelijk trachten uit te drukken. En hij legt hier den vinger op de echt scholastieke denkwijze, die de begrippen hypostateert (er een werkelijk bestaan onderschuift).

In de werkelijkheid bestaan geen temperaturen, wel warmtetoestanden; toestanden, waarin de verschillende warmteverschijnselen en de gewaarwordingen bij onze aanraking met de lichamen, met meer of minder intensiteit (sterkte) optreden. Temperatuur is een begrip, door ons gevormd, om dienst te doen bij de beschrijving der warmteverschijnselen.

MACH brengt door zijn kritische behandeling er van dit begrip tot volkomen helderheid. Hij vraagt eerst hoe wij er aan komen. Hij laat ons de thermoskopen van DREBBEL, van GALILEI, van GUERIKE, van AMONTON zien; wij bemerken, dat *verschillende* veranderingen bij verwarming der lichamen als kenteekenen voor den veranderden warmtetoestand aangenomen zijn; de één koos daarvoor de volumeverandering (van een vaste stof of van lucht), een ander de verandering van de spankracht van een gas (b.v. van lucht). Onder overigens gelijke omstandigheden is bij een bepaalde thermometrische stof in het apparaat het optreden van een bepaald volume of van een bepaalde spankracht het teeken voor een bepaalden warmtetoestand van het lichaam. De natuur vertoont verschillende constante warmtetoestanden — smeltpunt van ijs, van zwavel, kookpunt van water, bloedwarmte enz. — die met zulke toestellen gemakkelijk te herkennen en in te stellen zijn. Al die vaste punten herleidde men ten slotte tot twee — smeltpunt van ijs en kookpunt van water — een verschil in warmtetoestand aangevend, dat correspondeert met een bepaalde verlenging van een kwikdraad in een capillairbuis. Die verlenging wordt in 100 gelijke stukken verdeeld en elk daarvan, van één cijfer voorzien, heet nu een *warmtegraad*.

Raakt men nu een lichaam met zulk een kwikthermometer aan, dan wordt beider warmtetoestand dezelfde en de temperatuur — het rangnummer er van — kan op de schaal van het instrument afgelezen worden. De temperaturen zijn geen grootheden; het zijn rangnummers, die de plaatsen aanwijzen, welke de warmte-toestanden innemen tusschen die van smeltend ijs en van kokend water of daarboven of daaronder. De vraag of de schijnbare uitzetting van kwik evenredig

is met de temperatuur, heeft geen zin. Wel kan men vragen of de uitzetting van kwik evenredig is met de temperaturen, bepaald met een luchtthermometer en of bij een gegeven warmtetoestand dezelfde temperatuur gevonden wordt bij het gebruik van thermometers, waarbij verschillende warmteverschijnselen als teekens voor de temperaturen aangenomen zijn. En dat is geenszins het geval. Strikt genomen behooren er evenveel temperaturen bij één bepaalden warmtetoestand, als er, bij gelijkstelling der beide vaste punten, thermometrische stoffen en teekens gebruikt zijn, om ze te bepalen; maar zij verschillen onderling niet veel. De teekens, voor de temperaturen bij wetenschappelijk onderzoek in gebruik, zijn ontleend aan de volume-verandering van gassen bij constante drukking; of, wat vrij wel op hetzelfde neerkomt, op de drukverandering van gassen bij constant volume.

Oppervlakkig zou men kunnen meenen, dat zulk een scherpe bepaling der natuurkundige begrippen meer waarde heeft uit een oogpunt van formeele logica dan van physica. Dit is echter niet het geval. Om met physische begrippen te kunnen werken, moet men de beteekenis er van helder inzien. Dit geldt zoowel voor den onderzoeker, die wetenschap moet maken, als voor hem, die inzicht wil verkrijgen in de bestaande wetenschap. Aanstonds blijkt dit reeds uit hetgeen MACH over absolute temperatuur zegt. Zooals bekend is, komt men tot dit beginpunt van telling door de spankracht van een gas als temperatuurteeken te nemen en te bedenken, dat die spankracht voor elken graad bij constant volume met  $\frac{1}{273}$  van haar bedrag vermeerderd of verminderd wordt. Naar boven verkrijgt men, zooals het heet, een onbegrensde reeks van warmtetoestanden, maar naar beneden eindigt men bij  $-273^{\circ}$ . Bij dit punt zou dan, zoo heet het in sommige physische leerboeken, alle warmte ophouden en daarmee alle beweging der moleculen. MACH roept ons toe: bedenkt, dat het stelsel van teekens, dat gij voor de warmtetoestanden aangenomen hebt, niets beslist aangaande die warmtetoestanden zelf. Het onderhavige geval bewijst alleen, dat uw stelsel van teekens niet voor alle gevallen bruikbaar is. Of de warmtetoestanden zich naar boven en naar beneden al dan niet tot in het oneindige voortzetten, kan alleen de ervaring beslissen. Als gij een lichaam vindt in een toestand, waarin het aan geen enkel ander lichaam warmte kon mededeelen, dan kondt gij de temperatuur er van met recht het volstrekke nulpunt noemen. Nu zijn er tal van absolute nulpunten. Als gij van de uitzetting van kwik uitgaat, komt gij tot het absolute nulpunt — 5000. Is zulk een begripsanalyse

niet begripsverheldering? Wij weten dan ook, dat het zoogenaamde volstrekte nulpunt —  $273^{\circ}$  beteekenis heeft als beginpunt van temperatuurtelling, omdat dan volumina en temperaturen met elkander evenredig zijn en de wet van GAY-LUSSAC veel eenvoudiger geformuleerd kan worden. MACH versmaadt het gebruik van beelden en analogiën niet. Hij vergelijkt de temperatuur, om goed te laten uitkomen, dat het een niveau-begrip is, met watermassa's op verschillende hoogten geplaatst en met potentiaal verschillen. Zulke verschillen loopen, als geen isolators het beletten, op vereffening uit, evenals die van temperatuur.

Een ander hoofdbegrip der warmteleer is dat van warmtehoeveelheid.

Hoeveelheden, verzamelingen van eenheden, kan men optellen, wat met intensiteiten, dus met temperaturen, niet het geval is. Mag men, vraagt MACH, warmte als hoeveelheid behandelen? Wij slaan de physische leerboeken op en vinden voor de calorie opgegeven, dat het de warmtehoeveelheid is, noodig om 1 gr. water van  $0^{\circ}$  op  $1^{\circ}$  te verwarmen.

Daar is, zegt MACH, iets in, hetwelk uit een logisch oogpunt onaangenaam aandoet. Het gedefiniëerde begrip wordt als bekend aangenomen. En wij gevoelen terstond hoe juist de kritiek van het positivisme hier is. Dan voert MACH ons weder rond in het verleden van de physica. Hij roept BLACK voor ons op, die door zijn baanbrekende onderzoekingen over soortelijke warmte en smeltingswarmte de eerste wetenschappelijke grondslagen legde van de warmteleer. BLACK merkte op, dat het product van de massa van een bepaald lichaam en het aantal graden, dat het bij een bepaalden aanvoer van warmte in temperatuur toenam, constant was. Daar hij dichter dan wij bij de scholastiek stond, hypostaseerde hij dit product en gaf er den naam aan van warmtehoeveelheid, het geheel als een stof beschouwende. Dat warmte evenals een stof van het ééne lichaam op het andere overvloeit, gaf voor 't laatste gereede aanleiding. Laat men warmte van één lichaam overgaan op een ander van een andere soort, dan blijft het genoemde product niet constant, het wordt grooter of kleiner. Terwijl 1 gr. water van  $0^{\circ}$  vermengd met 1 gr. water van  $100^{\circ}$  2 gr. water van  $50^{\circ}$  gaf, verkreeg men bij het samenvoegen van 1 gr. water van  $0^{\circ}$  en 1 gr. kwik van  $100^{\circ}$  en van 1 gr. water van  $100^{\circ}$  en 1 gr. kwik van  $0^{\circ}$  resp. een massa van een temperatuur van  $3^{\circ},2$  en van  $97^{\circ}$ . Hier scheen dus warmte verloren te gaan of gewonnen te worden. BLACK — hiermede den gewonen gang van zaken volgend — liet echter zijn begrip van warmte-

hoeveelheid niet los, maar modificeerde het. Hij voegde aan het genoemde product voor elke bepaalde stof een factor toe, zoo groot, dat het product weder constant werd. Die factor, voor water = 1 gesteld, noemde hij de *soortelijke warmte* der stof. Zij veranderde toevallig niet veel met de temperatuur, en alleen bij uitzettende gassen veel met den druk. BLACK bezat hieromtrent nog geen nauwkeurige gegevens. BLACK voerde ook het begrip *latente smeltingswarmte* in. Dit was de hypostaseering van het product van de massa van een vaste stof en het aantal warmte-eenheden, noodig, om ze zonder verandering van temperatuur, vloeibaar te maken. Dit was een voor elk lichaam karakteristieke grootheid, die dan op de eenheid van massa betrokken werd. De stofvoorstelling eischte, dat die warmte slechts schijnbaar verdwenen was. BLACK achtte ze dan ook nog *latent* in de lichamen aanwezig en hij wees er op hoe zij bij het stollen onveranderd terug kwam. Dat was weder een scholastieke gedachte. De warmte kon beurtelings van een actueel in een potentieel bestaan overgaan.

MACH wees er elders op, dat wij nog precies hetzelfde doen, als wij zuurstof nog in water aanwezig achten en vindt dit dan ook een meening, die een positivist niet mag deelen. BLACK goot nieuwen wijn in oude vaten; de wijn was er in dit bijzonder geval niet minder om. De gedachte, dat het smelten van een hoeveelheid vaste stof aequivalent kon zijn met een verdwenen warmtehoeveelheid en te meten met warmtemaat, was uiterst vruchtbaar.

Zij was de eerste stap op den weg, die leiden zou tot het meten van de meest verschillende toestanden der lichamen van beweging, van warmte, van electriciteit enz. met de gemeenschappelijke arbeidsmaat. Hetzelfde geldt *mutatis mutandis* voor de latente verdampingswarmte. Hiermede hebben wij verkort en met andere woorden MACH's gedachten-gang weergegeven in zake het begrip »warmtehoeveelheid”. CARNOT, wiens studies over het perpetuum mobile en het dalen in temperatuur van een deel der warmte, die in machines arbeid verricht, den grondslag gelegd hebben voor de mechanische theorie van de warmte, had nog de substantie-voorstelling van warmte als stof. Eigenaardig laat MACH hier uitkomen hoe een hypothese — de genoemde stofvoorstelling, die buiten het bekende feitengebied gaat — een tijd lang de draagster kan wezen van nieuwe denkbeelden. De stofvoorstelling was BLACK's leidsvrouw bij de ontdekkingen. Men moet ook niet zeggen, dat zij vernietigd werd, toen men bemerkte, dat warmte en arbeid aequivalent waren en in elkander konden overgaan. Dit is

alleen het geval voor hen, die het een uitgemaakte zaak achten, dat warmte een bewegingstoestand van stof en ether is. Voor MACH, die dit niet aanneemt en die een aanschouwelijk beeld van het mechanisme der verschijnselen in het algemeen en op zich zelf geenszins begerlijk acht, is de stofvoorstelling bij de warmte alleen verlaten, omdat zij minder goed paste bij later ontdekte feiten; omdat daarbij de analogie met een stof verloren ging. Toen JOULE had aangetoond, dat warmte ontstaan kan uit iets, dat geen warmte is, n.l. uit mechanisch arbeidsvermogen, en dat bij het verrichten van arbeid een deel der warmte als zoodanig verdwijnt, toen was de stofvoorstelling niet meer bruikbaar en zou belemmerend gaan werken op den vooruitgang der wetenschap. De bewering, dat het bewijs geleverd is van de onstoffelijkheid der warmte, is een onjuistheid; zij verraadt gebrek aan inzicht in de beteekenis en het gebruik der physische begrippen.

Hoogst belangrijk en ongemeen zijn de kritische beschouwingen van MACH over het beginsel der energie; waar hij aantoonst, dat dit beginsel behalve den experimenteelen ook een logischen wortel heeft en in het licht stelt, dat het uitsluiten van een perpetuum mobile op physisch gebied wel verwant doch niet identiek is met het energie-beginsel. Hij gaat niet zoover als OSTWALD, die de energie geheel substantieel opvat en zoo, terwijl hij het stofbegrip bestrijdt, een nieuw substantie-begrip invoert. Het gold hier, zegt MACH, niet de ontdekking van nieuwe feiten, maar een nieuwe opvatting van reeds bekende. En hij herinnert aan COPERNICUS, die ons geen nieuwe beweging aan den hemel leerde kennen, maar de bekende anders leerde opvatten. In zeer helderen en aantrekkelijken vorm geeft MACH een historische behandeling van de leer van de warmte als arbeidsvermogen, waarbij fraaie portretten van JOULE, MAYER en andere baanbrekers op dit gebied niet ontbreken.

Wij willen nog de aandacht vestigen op enkele belangwekkende gedeelten van het hoofdstuk, dat tot opschrift draagt: »Erweiterung des Carnot-Clausius'schen Satzes. Die Conformität und die Unterschiede der Energiën. Die Grenzen des Energieprincipes." Daarmede hopen wij genoeg gezegd te hebben, om MACH's »Principiën der Wärmelehre" in veler handen te brengen.

Waarom bestaat er wel een mechanisch aequivalent van de warmtehoeveelheid, doch niet van de hoeveelheid electriciteit? Zulk een vraag is belangwekkend, en zal zeker niet door velen worden ge-

daan. Men zou geneigd zijn hier een verschil in het wezen van warmte en electriciteit te zoeken. MACH laat ons zien, dat niet anders dan het toeval hier in het spel is. Het is een historische quaestie. COULOMB's torsie-balans heeft vroeger (1785) haar intrede in de wetenschap gedaan dan de electriche luchtthermometer van RIESS (1838), die een maat geeft voor de warmte, ontstaan door ontlading van een Leidsche flesch. Dit is alles. In de torsie-balans van COULOMB worden de krachten gemeten, die twee electriche geladen balletjes A en B op elkander uitoefenen. Laten A en B gelijknamig geladen zijn en een afstooting K op elkander uitoefenen. Raakt men nu B met een balletje C aan en bepaalt men nu de afstooting van B op A K en van C op A K', dan blijkt  $K = K + K'$ , als men den afstand der balletjes van elkander slechts steeds gelijk houdt. Meet men nu de electriciteit op de balletjes met het bedrag dier afstootingen als maat, dan verkrijgt zij het karakter van een hoeveelheid, die bij verdeeling over meerdere lichamen steeds een constante som oplevert en dan ligt het beeld van een stof voor de hand. De hoeveelheid electriciteit heeft dan echter een zeer verschillende arbeidswaarde naar den potentiaal, dien zij bezit; evenals een massa water meer of minder arbeidsvermogen vertegenwoordigt, naarmate zij zich op grooter hoogte boven de aardoppervlakte bevindt. De maat voor de massa wordt, zooals bekend is, aan de zwaartekracht ontleend. In den electriche luchtthermometer van RIESS wordt electriciteit omgezet in warmte. Had men de electriciteit met dit toestel gemeten, maar het aantal calorieën, dat een bepaalde lading bij de omzetting in warmte opleverde, dan was de hoeveelheid electriciteit een arbeidsgrootheid geworden en had evenals die der warmte een mechanisch equivalent. Zoo zou, merkt MACH eigenaardig op, ook de massa van water een bepaalde hoeveelheid energie vertegenwoordigen, als zij niet met de weegschaal maar met den watermolen gemeten werd. Welk een helder licht valt er met zulke beschouwingen op de beteekenis der natuurkundige begrippen; hoe duidelijk wordt het, dat zij evenals woorden door het gebruik, dat er van gemaakt wordt, den kenmerkenden stempel ontvangen en voor het gebruik bestemd zijn, dat zij geen vertegenwoordigers zijn van realiteiten. En MACH aarzelt niet om zelfs aan begrippen als kracht en stof geen andere beteekenis toe te kennen, dan die van namen voor een bepaalde wiskundige uitdrukking, zeer bruikbaar voor de beschrijving der verschijnselen en voor een groep van constant met elkander op dezelfde plaats



optredende gewaarwordingen. Kracht is de naam voor het product van de verandering van een intensiteit (snelheid), d.i. van versnelling en de massa ( $m \times a$  in 't algemeen, voor de zwaartekracht  $m \times g$ ) en is dus analoog aan het bovengenoemde product van de verandering van de intensiteit der warmte (temperatuur) en de massa. Zulke uitdrukkingen en namen kunnen wij vormen in onbepaald aantal. Het is echter de vraag of zij een physische beteekenis hebben; d.i. of zij bruikbaar zijn voor het quantitatief beschrijven der natuurverschijnselen. MACH wijst er ook op, dat zulke begrippen slechts gelden voor een bepaalde groep van feiten. Hij trekt daarbij weer op zijn origineele consequente wijze alle lijnen door. Het begrip energie heet van toepassing te zijn op alle stoffelijke verschijnselen. Neen, zegt MACH. Arbeidsvermogen, dat niet meer omgezet, niet meer voor het verichten van arbeid gebruikt kan worden, mag zijn naam niet meer dragen. Men is dan op een terrein gekomen, waar het begrip geen geldigheid meer heeft.

Zoo ontwikkelt MACH een modern substantie-begrip. Het oude, dat wortelt in de Grieksche Oudheid, was de uitdrukking voor een zelfstandig deel der werkelijkheid. De Buddhisten van het oude Indië, volstreckte idealisten, wilden van geen substanties weten. Heraclitus met zijn „alles vloeit” evenmin.

MACH blijft in het veranderlijke en onbestendige, dat het kosmische proces ons vertoont, zoeken naar het blijvende en bestendige. Het laatste heeft echter nooit in volstrekten zin aanspraak op dien naam. Wij kunnen ons uit de verschijnselen begrippen vormen, die iets vertegenwoordigen, dat op een beperkt gebied van feiten een zekere mate van onveranderlijkheid en standvastigheid bezit. Dit is o.a. het geval met wat wij massa, hoeveelheid warmte, arbeidsvermogen noemen en met meer van dien aard. Het spreekt van zelf, dat het al of niet constant blijven door de ervaring beoordeeld moet worden en dat het daarbij op de quantiteit, dus op wegen en meten aankomt. De eenvoudigste uitkomst is het onveranderd blijven van een som; het kan ook een betrekking tusschen gemeten grootheden zijn, die dezelfde blijft onder verschillende omstandigheden. Schijnbaar ongelijksoortige dingen kunnen de deelen van zulk een constante som zijn, als zij slechts meetbaar zijn met dezelfde maat en juist dit optellen van het ongelijksoortige maakt dingen over een ruim veld vergelijkbaar en geeft groote beteekenis aan het aldus opgevatte substantie-begrip. De bijvoeging, dat elk dier begrippen slechts een

beperkt gebied heeft, sluit reeds elke gedachte aan een substantie in den scholastieken zin uit. De vorming er van heeft slechts beteekenis als middel, om gemakkelijker de werkelijkheid te kunnen ordenen en overzien; het is dus een quaestie van oeconomie van het denken. Het constant blijven van de som der krachten van een gegeven electricische lading suggereerde het substantie-begrip van »hoeveelheid electriciteit". BLACK addeerde de warmte, die de temperatuur van een lichaam verhoogde, bij die, welke het deed smelten of verdampen, alles uitgedrukt in warmtemaat en verkreeg zoo op dit gebied een onveranderlijke hoeveelheid warmte. De wetten van GAY-LUSSAC en BOYLE, betreffende de verandering van drukking en volume bij temperatuursverhoging, kunnen in plaats van in den bekenden vorm  $P \times V = C \times T$ , ook aldus geschreven worden:  $\log (P) + \log (V) + \log (T) = \text{constante}$ , waarin  $P$  de drukking,  $V$  het volume van het gas en  $T$  de absolute temperatuur er van voorstellen. En nu hebben wij weder een constante som. Op het geheele gebied der natuurwetenschap — volgens MACH met het oog hierop evenwel beperkt — geldt de onveranderlijkheid wat de quantiteit betreft van de energie bij voortdurend wisselende vormen. Hier worden meer dan ergens elders ongelijksoortige dingen bijeen gebracht en als gelijksoortige opgeteld, omdat zij als hoeveelheden allen uitgedrukt kunnen worden in de gemeenschappelijke arbeidsmaat. Het constant blijven dier som voor elk stelsel van stoffelijke massa's, hoe groot ook genomen, mits vrij van invloeden van buiten, is de bekende eerste wet van het arbeidsvermogen. Getrouw aan zijn beginsel, dat een grondig en volkomen begripen der physische grondbegrippen zonder kennis van hun historische ontwikkeling onbereikbaar is, voert MACH ons achtereenvolgens CARNOT, MAYER, HELMHOLTZ en JOULE voor oogen, den arbeid van deze mannen kritisch beschouwend in verband met het energiebegrip. Wij zien dan, dat CARNOT de warmte wel beschouwde als een middel tot het verrichten van arbeid, evenals water op hoog niveau, dat hij evenals het arbeid verrichtende water een deel der arbeidende warmte tot lager peil, d. i. hier tot lagere temperatuur, liet dalen, maar water en warmte daarbij in hoeveelheid even onveranderlijk achtte. MACH laat ons zien, dat eerst bij MAYER het begrip arbeidsvermogen en warmte als een vorm er van in al zijn scherpte naar voren komt, hoe HELMHOLTZ het langs wiskundigen weg vindt en formuleert, hoe JOULE het experiment het beslissende woord laat spreken, hoe het begrip energie en de eerste wet in hun ver reikende beteekenis zich

allengs ontwikkelden en zoo een onafzienbare reeks verschijnselen verbonden werden tot een constante som, een substantie-begrip opleverend weinig minder algemeen dan dat der materie.

Ook de zoo belangrijke tweede wet van het arbeidsvermogen en het entropie-beginsel worden door MACH op dezelfde breede kritische wijze behandeld. In het entropie-beginsel is het constant blijven van de som der gereduceerde warmte-hoeveelheden uitgesproken.<sup>1</sup> Het geldt echter alleen voor omkeerbare werkingen. Bij de niet omkeerbare, in één bepaalde richting verlopende processen, die de Natuur ons vertoont, tracht de entropie het grootst mogelijke bedrag te verkrijgen. Hoewel hier een maximum-functie geen substantie zijnde, bewijst zij door het streven naar een maximum met het oog op het voorspellen van den loop der processen groote diensten.

Glashelder heeft MACH in zijn werken, vooral in zijn *Principiën der Wärmelehre*, zijn opvatting van den aard, het doel en de grenzen van de wetenschappelijke natuurverklaring uitgesproken. En al wenschen vele natuuronderzoekers minder steil positivistisch te wezen, in de practijk en wat de groote leidende beginselen betreft, staan allen aan zijn zijde.

Indirekte beschrijvingen — atomenleer, ethertheorieën — worden gewaardeerd als hulpmiddelen bij het onderzoek, om ten slotte plaats te maken voor direkte beschrijving der verschijnselen met zoo algemeen mogelijke begrippen, uit die verschijnselen zelf gevormd. Hoewel prof. LORENTZ geenszins, zooals MACH, kennis van een dieper liggend mechanisme der verschijnselen voor den mensch onbereikbaar acht en aan het bezit er van zelfs veel waarde zou hechten, heeft hij toegegeven, dat men met behulp van het beginsel der kleinste

<sup>1</sup> Onder gereduceerde warmtehoeveelheden verstaat men de hoeveelheden aangevoerde warmte gedeeld door de absolute temperaturen. Voor elk omkeerbaar kringproces is de algebraïsche som dier quotienten gelijk nul. Veranderen de temperaturen onafgebroken, dan is die som wat men een integraal noemt.

De historische behandeling der stof heeft bij groote voordeelen ook nadeelen. Men vergelijke daarom met het oog op de 2de wet, ook de voortreffelijke „Thermodynamik” van Planck, die de seherpste formuleering der wet terstond op den voorgrond stelt, haar karakter als ervaringswet doet uitkomen en minder juiste en minder algemeene formuleeringen kritiseert; o. a. die, welke haar het beginsel noemt van de dissipatie der energie en die volgens welke wel arbeid volledig in warmte, doch geen warmte volledig in arbeid omgezet kan worden; dat bij de laatste omzetting altijd een andere hoeveelheid warmte als compensatie een verandering ondergaat, b. v. van hogere tot lagere temperatuur overgaat.

werking alle bewegingsverschijnselen door energetische beschouwingen behandelen kan. Hij wil echter zooveel mogelijk vrijheid laten in de keuze van het werktuig, in de overtuiging, dat het er per slot van rekening slechts op aankomt, dat er werkers zijn.

En MACH is een werker, die op zijn wijze diep doordringt, niet tot het mechanisme der verschijnselen, maar tot den intiemsten gedachtengang der groote arbeiders op dit gebied, der klassieken van de natuurwetenschap en daarmee tot den essentielen blijvenden inhoud dier wetenschap zelf. Op het verrijken van den laatsten komt het zeker in de eerste plaats aan — ook te dezen opzichte liet MACH zich niet onbetuigd — doch evenzeer is het verdienstelijk werk den bestaanden inhoud zelf tot voorwerp van studie te maken, uit te werpen wat er niet bij behoort, het logische geheel der gedachten zuiver en scherp belijnd op den voorgrond te brengen. Is het eerste het maken van nieuwe teksten, het laatste is kritiek op belangrijke oude, wat een wetenschap is op zich zelf. In de laatste plukt niemand lauweren, die in de eerste niet meer was dan toeschouwer.

Een student in de natuurwetenschap, die niet tevreden is met oppervlakkige examenkennis, voor wien dieper doordringen een behoefte is, mag de werken van MACH niet ongelezen laten; vooral zij, die logisch en kritisch zijn aangelegd, zullen in MACH een voortreffelijken leidsman en wegwijzer vinden.

Utrecht, Juli 1905.

---