

Citation:

H.J. Vink, Levensbericht E.J.W. Verwey, in:
Jaarboek, 1981-1982, Amsterdam, pp. 166-177



EVERT JOHANNES WILLEM VERWEY

Levensbericht van

Evert Johannes Willem Verwey

(30 april 1905 – 13 februari 1981)

door **H.J. Vink**

Op vrijdag 13 februari 1981 overleed na een kortstondige ziekte op een leeftijd van bijna 76 jaar, Dr. Evert Johannes Willem Verwey. In hem heeft de Nederlandse gemeenschap een man verloren, die gedreven door een niet aflatende betrokkenheid vanaf zijn vroegste studententijd tot aan zijn dood de wetenschap en de Nederlandse samenleving op uitzonderlijke wijze heeft gediend.

Evert Verwey werd op 30 april 1905 te Amsterdam geboren. Zijn moeder, een van de eerste huishoudleressen, en zijn vader, onderwijzer aan een lagere school, waren beiden de socialistische beginselen toegedaan en beleefden vanuit deze overtuiging hun taak in de maatschappij. Evert Verwey toonde al op de lagere school dat hij een goed verstand had. Niettemin, zijn ouders, zorgvuldig te werk gaande, lieten hun zoon langs de weg der geleidelijkheid de verschillende stadia van verdergaand onderwijs doorlopen. Na aldus de driejarige HBS (1917–1920) en de vijfjarige HBS (1920–1922) met goed gevolg bezocht te hebben, liet hij zich inschrijven aan de MTS van Amsterdam. Al spoedig echter vond hij deze opleiding te schools en zo werd hij in mei 1923 ingeschreven aan de Gemeentelijke Universiteit te Amsterdam als student in de wis- en natuurkunde. In januari 1925 werd aldaar het kandidaats-examen afgelegd. Hij volgde de college's van Smits, Van der Waals, Wibaut, Aten en Bijvoet. Het waren vooral de college's van Aten, die bij hem reeds vroegtijdig de belangstelling opwekten voor de elektrolytische dubbellaag.

Het is tevens vermeldenswaard dat Verwey, naar aanleiding van zijn voordracht op het colloquium van Smits over problemen van de chemische binding, reeds in 1928, op eigen initiatief, in uitgebreid schriftelijk contact kwam met Van Arkel en De Boer van het Philips' Natuurkundig Laboratorium te Eindhoven. Vooral met De Boer zou Verwey later, en dan werkzaam op dat laboratorium, nog herhaaldelijk intensief samenwerken op verschillende gebieden van onderzoek.

Na gedurende enige tijd tevens leraar geweest te zijn aan zijn vroegere MTS, legde hij in juli 1929 het doctoraal examen af.

Van 1927 tot 1931 was hij aan de G.U. assistent bij Buchner. In diens laboratorium en op diens colloquium kwam Verwey in aanraking met de kolloïd-chemie en werd de grondslag gelegd voor zijn besluit om op dat gebied een promotie-onderwerp te kiezen. Eind 1931 werd hij assistent bij Jaeger in Groningen, waar hij de practica in de anorganische en fysische chemie te verzorgen kreeg. Deze functie oefende hij uit tot 1934, slechts onderbroken door een verblijf gedurende

enkele maanden in het laboratorium van Kolthoff in Minneapolis, U.S.A. in de zomer van 1933. Deze Amerikaanse periode is van grote invloed geweest op zijn kijk op de beoefening van wetenschap. Hij maakte daar kennis met de nieuwste methoden van de analytische chemie en vooral ook met het gebruik van de R₀-analyse, ervaringen die hem later bij de onderzoeken voor zijn proefschrift en bij die van de kristalstructuur van oxyden zeer van pas zouden komen.

Jaeger liet Verwey geheel vrij in de keuze van onderzoek en stelde hem onbekrompen de hulpmiddelen ter beschikking, om in de lijn van zijn kolloïdchemische belangstelling te blijven werken. Reeds in zijn Amsterdamse tijd had Verwey regelmatig aan het colloquium van Kruyt te Utrecht deelgenomen en zo kwam het dat hij in Groningen in overleg met Kruyt is begonnen met zijn promotie-onderzoek over de elektrolytische dubbellaag en de stabiliteit van het zilver-jodide sol. Eind 1933 voltooide hij dit in Groningen en in maart 1934 promoveerde hij hierop cum laude te Utrecht met een proefschrift getiteld: „Dubbellaag en Stabiliteit van Lyophobe Kolloïden”.

In dit proefschrift en ook reeds in eerdere artikelen (met Kruyt) in de loop van het promotie-onderzoek gepubliceerd en in enkele daarop volgende publikaties zette Verwey op heldere wijze uiteen hoe de vraagstukken van peptisatie, stabilisatie en uitvloeking van lyophobe kolloïden in principe kunnen worden begrepen. Dit moet als een uitzonderlijke prestatie beschouwd worden, als men zich rekenschap geeft van de grote mate van onoverzichtelijkheid, verwarring en tegenspraak – zowel experimenteel als theoretisch – waardoor dit uiterst gecompliceerde gebied tot dan toe was gekenmerkt.

De door Verwey bereikte helderheid van overzicht en inzicht werd in de eerste plaats verkregen door een zorgvuldige keuze van het sol waarmee de experimentele onderzoeken zouden worden uitgevoerd. Dat hiervoor het AgJ-sol werd verkozen had zijn grond in het feit, dat hiermede een goed gezuiverd en geconcentreerd sol kan worden bereid, waarbij ook het anders zo verwarrende verschijnsel van „veroudering” nauwelijks optreedt. Met dit sol kon daarom zinvol analytisch werk over de grenslaag tussen soldeeltje en dispersiemedium worden verricht, wat Verwey in staat stelde aan te tonen, dat alléén de zogenaamde potentiaalbepalende ionen – dat wil zeggen die ionen, die in de beide fasen (soldeeltjes en dispersiemiddel) gemeenschappelijk voorkomen en wier elektrochemische potentialen in de twee fasen zich daarom op een gelijke waarde kunnen instellen – voor de totstandkoming van de wandpotentialen en de daarmee samenhangende diffuse dubbellaag van belang zijn.

Bij een stabiel sol moet er een bepaald wisselspel bestaan tussen aantrekkende en afstotende krachten tussen de deeltjes. Verwey veronderstelde nu in zijn proefschrift, dat de aantrekkende krachten een zekere analogie vertonen met Van der Waals-krachten en dat de afstotende krachten van elektrische aard zijn en veroorzaakt worden door de wederzijdse doordringing van de diffuse dubbellaagen van elkaar naderende deeltjes; dat wil zeggen, dat alleen potentiaalbepalende ionen een stof kunnen peptiseren. Uitgaande van deze ideeën en tevens veronderstellende dat de werking van deze afstotende krachten kan worden beschreven door het bestaan van een „kritische” ζ -potentiaal beneden welke uitvloeking zou optreden, kon Verwey de onevenredig sterke invloed van toenemende lading van indifferente

(d.w.z. niet potentiaalbepalende) ionen op de uitvlokking (regel van Schulze en Hardy) zeer goed verklaren, alsook de gang van verandering in uitvlokkingswerking in de reeks J^- , Br^- , Cl^- en F^- en die van CS^+ , Rb^+ , K^+ en Na^+ .

Inmiddels was, in 1934, Verwey als wetenschappelijk medewerker in dienst getreden van het Natuurkundig Laboratorium van de N.V. Philips te Eindhoven. Ook hier bleef zijn belangstelling voor de kolloïdchemie bestaan, nog gestimuleerd door het industrieel belangrijke proces van de elektroforetische bedekking, dat bijvoorbeeld bij de vervaardiging van oxyde-kathoden zo'n belangrijke rol speelt. De Boer en Hamaker werkten in dit laboratorium de theorie uit van de aantrekkingsenergie of -krachten tussen twee deeltjes tengevolge van de Van der Waals-London-krachten. Vanwege het quantum-mechanische karakter van deze krachten (London) mogen deze krachten, die tussen twee atomen zeer klein zijn en snel met de afstand tussen deze atomen afnemen, voor de atomen in twee deeltjes in eerste benadering opgeteld worden, met als gevolg dat de Van der Waals-London-aantrekkingspotentiaal een reikwijdte heeft van ongeveer de diameter van een deeltje.

Verwey, eerst alleen en later in samenwerking met Overbeek, werkte kwantitatief de theorie uit van de afstotingskracht tussen twee deeltjes van een lyofoob kolloïd, wanneer de diffuse dubbellen van de deeltjes elkaar gaan doordringen. Hij deed dit door de vrije energie van het systeem van twee deeltjes in oenschouw te nemen en de verandering daarvan wanneer deze deeltjes elkaar naderen. Het ontstaan van afstotingskrachten kan dan op de volgende wijze kwalitatief worden ingezien. Aangenomen dat de elektrolytische dubbellaag veroorzaakt wordt door een ionenverdelingsevenwicht van potentiaalbepalende ionen, dan passen de ladingen op het oppervlak van het deeltje en die in het diffuse deel van de dubbellaag zich altijd zo aan, dat de potentiaal van het oppervlak van het deeltje constant blijft. Hierdoor zal bij nadering van twee deeltjes de lading in de diffuse dubbellaag daartussen geleidelijk verdwijnen. Deze ladingsvermindering tengevolge van de doordringing van de dubbellen van de twee deeltjes vereist vrije energie, d.w.z. leidt tot afstotingskrachten.

Immers, de vorming van de dubbellaag om een deeltje gaat „vanzelf”, dat wil zeggen onder afname van de vrije energie omdat daarbij de chemische vrije energie verlaagd wordt. Bij verdwijnen van de dubbellaag moet dus, omgekeerd, vrije energie geleverd worden.

De zo berekende afstotingskrachten nemen ongeveer exponentieel af met de afstand tussen de deeltjes, terwijl volgens Hamaker de aantrekkingskrachten kwadratisch met de afstand afnemen. Uit deze twee onderscheiden afhankelijkheden van de afstand kan men berekenen, dat bij elektrolytconcentraties beneden een bepaalde waarde het kolloïd stabiel is en dat uitvlokking optreedt bij hogere concentraties. Ook kon op deze wijze de regel van Schulze en Hardy op kwantitatieve wijze worden verklaard, al dwingen nieuwere experimentele resultaten er toe deze beschouwingen nog wat verder uit te diepen.

De grote verdienste van Verwey's werk is in de eerste plaats geweest het gebruik van de thermodynamica, vooral de invoering van de vrije energie, en in de tweede plaats het op grond daarvan komen tot een kwantitatieve benadering in een gebied waarin tot dan toe de onderzoekers zich tevreden stelden met elkaar dikwijls weer-

sprekende kwalitatieve bespiegelingen. Het standaardwerk, „Theory of the stability of Lyophobic Colloids”, in 1948 samen met Overbeek gepubliceerd, vatte het dan bereikte op omvattende en uitmuntende wijze samen en was daarom een internationaal erkende grondslag van en wegwijzer vóór veel en velerlei onderzoek in de daaropvolgende 20–25 jaar. Ook nu nog wordt het werk vele malen per jaar geciteerd.

Een van de oorzaken van de stimulerende kracht, die van Verwey's kolloïd-chemisch werk uitging is gelegen in zijn vermogen om eenvoudige modelvoor-stellingen te vinden, die tot de verbeelding spreken en daardoor uiterst vruchtbaar blijken te zijn voor het openen van nieuwe velden van experimenteel en theoretisch onderzoek. Ook zijn werk in andere gebieden, die hij nog zou betreden, wordt telkens opnieuw gekenmerkt door de invoering van fysische beelden en daarop berustende gedachtengangen, die in hun helderheid uitermate overtuigend en stimulerend blijken te werken.

Zo was bijvoorbeeld zijn beschouwing van de verandering van de vrije energie bij verandering van de afstand tussen de deeltjes ook vruchtbaar in meer recente beschouwingen over de stabiliteit van kolloïden bestaande uit deeltjes zonder noemenswaardige dubbellaag, maar die bedekt zijn met een laag, ver in het dispersiemiddel uitstekende, moleculen. Ook in dat geval neemt de vrije energie toe als de afstand tussen de deeltjes afneemt.

Ook zijn beschouwingen (met Niessen) over het ingewikkelde systeem van dubbellen aan het scheidingsvlak tussen twee vloeistoffen, ontwikkeld als een vervolg op zijn theorie van de enkele diffuse dubbellaag in het systeem van niet-geleidend vast deeltje/electrolyt, bleken, eveneens, veel later weer vruchtbaar te zijn voor het begrijpen van de verschijnselen optredende bij het scheidingsvlak half-geleider/electrolyt. De inmiddels ontwikkelde theorie van de p-n overgang kon n.l. gemakkelijk ingepast worden in het dubbellenbeeld van Verwey-Niessen.

Verder moet nog vermeld worden dat, toen de uitvlokkingsverschijnselen van kolloïden met grote deeltjes (suspensies) niet volledig met de theorie verklaard konden worden, Casimir en Polder, op voorstel van Overbeek het zogenaamde retardatie-effect van elektromagnetische golven voor het geval van Van der Waals–London-krachten nader onderzochten. De hieruit resulterende snellere afname van de Van der Waals–London-potentiaal voor grotere afstanden bleek de verschijnselen veel beter te kunnen verklaren. Hiermede had dus een kolloïd-chemische theorie bevruchtend gewerkt op de theoretische fysica.

Min of meer samenhangend met de ontwikkeling van de stabiliteitstheorie van kolloïden publiceerde (1938–1946) Verwey (alleen, of samen met De Boer of Hamaker) onderzoek over de rheologie van geconcentreerde suspensies (dilatantie), elektroforetische bedekking en elektro-osmose. Ook zijn werk over de structuur van water en over de oppervlaktepotentiaalsprong van water en van vaste alkalihalogeniden moet hier vermeld worden, al bleek later dat dit werk aanvulling behoefde.

Naast zijn werk op het gebied van de kolloïden pakte Verwey op het Natuurkundig Laboratorium de studie aan van oxyden, die wegens hun bijzondere fysische eigenschappen van belang zijn voor de elektronische industrie.

Zo onderzocht hij de kristalstructuur van γ - Al_2O_3 en γ' - Al_2O_3 , in verband met

het begrijpen van het formeren en de werking van elektrolyt-condensatoren. Hij ontwikkelde daarbij (1935) een theorie omtrent de groei van oxydelagen op metalen, die reeds alle grondslagen bevatte van de latere meer uitgewerkte theorieën (Mott).

Zijn werk aan de oxyden van ijzer en andere elementen van de overgangsmetalen, legde een nog veel breder terrein van onderzoek open. Deze oxyden vertonen interessante elektrische en magnetische eigenschappen. Het onderzoek leverde al snel een brede stroom van publikaties op, van hemzelf als auteur of mede-auteur, maar ook van vele anderen in aangrenzende gebieden van onderzoek.

Bestudeert men zijn publikaties in dit nieuwe gebied van onderzoek, dan valt ook hier telkens weer op de heldere wijze van probleemstelling, de overtuigende modelvorming en daarop gegronde keuze van experimenten en de lucide berichtgeving over de experimentele en theoretische resultaten. Deze eigenschappen maakten Verwey tot een man, van wie in een omgeving zoals het Natuurkundig Laboratorium een uiterst stimulerende en motiverende invloed uitging.

Het onderzoek in dit nieuwe gebied was al snel gegroepeerd rondom de problematiek van de „spinellen” (XY_2O_4). De spinelstructuur is kubisch en kan worden beschreven als een kubische bijna dichtste stapeling van O^{2-} -ionen, waarin de metaalionen zich bevinden op „tetraedrische” plaatsen (d.w.z. omringd door vier O^{2-} -ionen) en op „octaedrische” (omringd door zes O^{2-} -ionen). Men kan nu onderscheiden „normale” spinellen, met de X-ionen op de tetraedrische plaatsen en de Y-ionen op de octaedrische: $X(Y_2)O_4$; „inverse” spinellen $Y(XY)O_4$; en „gemengde” spinellen $X_\delta Y_{1-\delta}(X_{1-\delta}Y_{1+\delta})O_4$ (Verwey, Heilmann, Romeyn, Jonker, Braun, Gorter, Blasse). De elektrische en magnetische eigenschappen en hun combinatie hangen sterk af van de verdeling van de kationen over de twee soorten van kation-plaatsen. Om deze verdeling vast te stellen werd uiteraard gebruik gemaakt van Röntgen-diffractie. Beschouwt men de povere kwaliteit van de Röntgenopnamen, die met de toendertijd beschikbare apparatuur kon worden bereikt, dan staat men dikwijls versteld over de resultaten die desondanks door Verwey en zijn medewerkers konden worden bereikt. Ter aanvulling of bevestiging van deze resultaten werden daarom ook veelal, omgekeerd, de elektrische en/of magnetische eigenschappen van het betreffende spinel te hulp geroepen (Verwey, Haayman, Romeyn, Braun, Gorter, Van Santen).

In dit verband is het onderzoek aan Fe_3O_4 (met De Boer) van groot belang. Uiteraard is het verschil in Röntgenstrooiing door Fe^{2+} - en Fe^{3+} -ionen zeer gering. Niettemin kon uit kristallografische en stabiliteitsoverwegingen (Goldschmidt) reeds worden vermoed dat Fe_3O_4 een invers spinel zou zijn, $Fe^{3+}(Fe^{2+}Fe^{3+})O_4$. Deze conclusie nu kon aanzienlijk worden ondersteund door het hoge elektronische geleidingsvermogen van Fe_3O_4 in aanmerking te nemen. Verwey en De Boer gingen hierbij uit van de veronderstelling van Wagner, dat het ten opzichte van zuiver Cu_2O sterk verhoogde elektronisch geleidingsvermogen van Cu_2O met een kleine overmaat aan zuurstof, verklaard kon worden door de aanwezigheid van Cu^{2+} -ionen tussen de Cu^+ -ionen. In aansluiting hierop voerden Verwey en De Boer aan, dat juist het inverse karakter van Fe_3O_4 het geleidingsvermogen kan verklaren. Immers in dat geval ($Fe^{3+}(Fe^{2+}Fe^{3+})O_4$) bevinden zich – net als bij het niet-stoichiometrische Cu_2O – ionen van hetzelfde metaal met verschillende „waardigheid” op kristallografisch equivalente plaatsen (de „octeader”-plaatsen). Vooral

als deze „octaedrische” Fe^{2+} - en Fe^{3+} -ionen stochastisch over deze plaatsen zijn verdeeld, zal het voor het kristal geen verschil uitmaken of het elektron zich op het ene Fe-ion of op het andere zal bevinden, en is voor de overgang van het elektron van een Fe^{2+} -ion naar een Fe^{3+} -ion geen of zeer weinig activeringsenergie nodig. Zeer interessant is, dat gaande naar lage temperaturen bij ongeveer 115 °K een sprong (tot het 100-voudige) in de weerstand optreedt, die wijst op een ordening van deze octaederionen. Wordt het Fe_3O_4 iets geoxydeerd, dan neemt, boven het sprongpunt, de weerstand en zijn afhankelijkheid van de temperatuur toe (in tegenstelling dus bij wat er bij de oxydatie van Cu_2O plaatsvindt), wordt bij het sprongpunt de sprong kleiner of zelfs nul, en daalt de temperatuurcoëfficiënt (en de weerstand) bij lagere temperatuur (Haayman). Verschijnselen, die alle kwalitatief verklaard kunnen worden door de veronderstelling, dat bij toenemende concentratie van Fe-vacatures en van Fe^{3+} -ionen, zowel de stochastische verdeling boven het sprongpunt, als de ordening daar beneden zullen worden bemoeilijkt. Verwey veronderstelde verder dat de ordening bij het sprongpunt aanleiding moet geven tot het optreden van een minder symmetrische (mogelijk orthorhombische) kristalstructuur.

Deze overgang, later *Verwey-overgang* genoemd, heeft in de loop der jaren, en in toenemende mate, sterk de aandacht getrokken en is uitvoerig bestudeerd omdat we hier te maken hebben met een typisch elektronische overgang, waarvan de opheldering kan bijdragen tot een beter inzicht in problemen van de elektronentheorie van vaste stoffen. Een zeer grote verscheidenheid van fysische verschijnselen is te hulp geroepen om het karakter van deze overgang beter te leren kennen. Een internationaal congres in september 1979 trachtte de gewonnen inzichten samen te vatten. Het bleek dat de opvattingen van Verwey in grote mate konden worden bevestigd. Boven het sprongpunt kan de geleiding als metallisch beschouwd worden. Beneden het sprongpunt vindt de geleiding plaats door ladingstransport in twee energieniveaus, die ongeveer 0,1 eV uit elkaar liggen. Ladingsdragers ontstaan door thermische excitatie van de elektronen over deze energie-afstand. Zowel beneden het sprongpunt als waarschijnlijk ook daarboven is de bewegelijkheid van de ladingsdragers thermisch geactiveerd („hopping”). Het vraagstuk van de kristal-symmetrie is nog niet geheel opgelost. De veronderstelling van Verwey van een mogelijke orthorhombische structuur beneden het sprongpunt moet evenwel verlaten worden. De gedachten gaan nu uit naar een monokline structuur met trikline elementen.

Betreffende het vraagstuk waarom sommige spinellen „normaal” en andere „invers” of „gemengd” zijn is veel theoretisch onderzoek verricht. Eerst door Verwey (samen met Heilmann, F. de Boer en Van Santen), later door anderen (Van Santen, Romeyn, Van Wieringen, Blasse en ook door onderzoekers buiten Nederland). Dit bleek een uiterst gecompliceerde problematiek te zijn. Achtereenvolgens werden de volgende energieën (en theorieën) mede in de beschouwing genomen: elektrostatische Coulomb-krachten, „Bornsche”-afstoting, ordening, „individuele” voorkeur van ionen voor bepaalde anionomringingen (sp^3 -hybridisatie), kristalveldefecten, ligand-veldefecten en anionpolarisatie. Dit heeft tot een diepgaand inzicht geleid in dit complexe gebied, al heeft men de vele experimentele gegevens misschien niet alle volledig kunnen verklaren.

De ideeën van Wagner en hun eigen verklaring van het geleidingsvermogen van Fe_3O_4 brachten Verwey en De Boer er toe uit te spreken dat elektronisch geleidingsvermogen kan worden verwacht voor elke verbinding waarin op aequivalente kristallografische plaatsen ionen van hetzelfde element voorkomen in verschillende ladingstoestand.

Hiervan uitgaande ontwikkelden Verwey, Haayman, Romeyn en Van Oosterhout het idee van de „geleide valentie”. Dit houdt in dat, door in het kristalrooster vreemde ionen op te nemen met een waardigheid (= lading) afwijkend van die van de „eigen” ionen in hetzelfde deelrooster, ionen van het moederrooster ter wille van het handhaven van de elektrische neutraliteit hun lading zullen veranderen. Uiteraard alleen, wanneer de „eigen” ionen een grotere neiging hebben om van lading te veranderen dan het toegevoegde „vreemde” ion en er bovendien geen compensatie optreedt door de vorming van vacatures of van interstitiële ionen. Daardoor ontstaat een toestand waarin ionen van hetzelfde element op gelijkwaardige kristallografische plaatsen van lading verschillen en dus aanleiding geven tot elektronisch geleidingsvermogen. Het is duidelijk dat het aantal „eigen” ionen dat van lading verandert gelijk zal zijn aan dat van de toegevoegde ionen of een (klein) geheel veelvoud daarvan. Tengevolge hiervan kan de mate van het hierdoor ontstane geleidingsvermogen door de concentratie van de vreemde ionen reproduceerbaar ingesteld worden. Deze gang van zaken kan natuurlijk optreden zowel in het kationendeelrooster als in het anionendeelrooster, terwijl bovendien de vreemde ionen zich niet altijd in hetzelfde deelrooster behoeven te bevinden als dat van de eigen ionen die, door een grotere neiging daartoe, voor een overeenkomstig deel hun ladingen veranderen.

Voorbeelden zijn NiO met Li^+ op de Ni^{2+} -plaatsen (Ni^{3+} -vorming), Fe_2O_3 met Ti^{4+} op de Fe^{3+} -plaatsen (Fe^{2+} -vorming) en BaTiO_3 met La^{3+} op de Ba^{2+} -plaatsen (Ti^{3+} -vorming). Het is mogelijk op deze wijze zowel n-type als p-type geleiding te krijgen. Zo heeft CdTe , met Ag^+ op Cd^{2+} -plaatsen, p-type geleiding (Cd^{3+} -vorming) en met Ga^{3+} op Cd^{2+} -plaatsen n-type geleiding (Cd^+ -vorming), terwijl CdS met Cl^- op S^{2-} -plaatsen n-type geleiding geeft (door Cd^+ -vorming op Cd^{2+} -plaatsen).

De oxyden en sulfiden, die door middel van geleide valentie elektronisch geleidend gemaakt zijn, vertonen in het algemeen een temperatuursafhankelijkheid van de geleiding, die met een activeringsenergie beschreven kan worden. Deze activeringsenergie bevat de energie nodig om de ladingsdrager uit het „centrum” (bijv. $\text{Ni}^{3+}\text{Li}^+$) los te maken en dikwijls ook een activeringsenergie die de temperatuursafhankelijkheid van de bewegelijkheid van de losgemaakte ladingsdragers beschrijft; een moeilijk problemencomplex waarin Verwey en De Boer zich reeds in 1937 hebben verdiept. Een groot aantal onderzoekers zowel binnen het Natuurkundig Laboratorium als ook elders heeft zich met deze zaken, experimenteel en theoretisch, tot op heden bezig gehouden. Niet zonder resultaat overigens: zo kan het feit, dat de bewegelijkheid bij inverse ferrieten ($\text{Fe}(\text{NiFe})\text{O}_4$) een hoge activeringsenergie vertoont, terwijl deze bij stoffen als NiO , Li en CdS , Ga of bij normale ferrieten ($\text{Zn}(\text{Fe}_2)\text{O}_4$) nul (resp. zeer laag) is, nu redelijk begrepen worden.

Zoals reeds even aangeduid heeft het werk van Verwey en medewerkers en de daarmee verkregen inzichten ook buiten het Natuurkundig Laboratorium een grote en vruchtbare invloed uitgeoefend. Als belangrijkste voorbeeld daarvan moet wel genoemd worden Néels' theorie van het ferrimagnetisme als ongecompenseerd anti-ferromagnetisme. De theorie kon slechts ontworpen worden op grond van het, door het onderzoek van Verwey en medewerkers aan de spinellen, beschikbaar gekomen materiaal.

Meer in het algemeen kan worden vastgesteld, dat de schat van gegevens en inzichten, verkregen door het werk van Verwey en medewerkers, het de chemicus en de fysicus mogelijk heeft gemaakt om „molecular engineering” te bedrijven, als gevolg waarvan een groot aantal materialen kon worden ontwikkeld met zeer verschillende magnetische en/of elektrische eigenschappen. Ook in gebieden als die van fluorescerende en fotogeleidende materialen en keramische dielektrica bleken de verworven inzichten uiterst vruchtbaar te zijn.

Naast de gebieden van de kolloïdchemie en van de fysica en de chemie van de vaste stof, bij het onderzoek waarvan hij baanbrekend betrokken was, raakte Verwey in de loop der jaren ten zeerste geboeid door de zich snel ontwikkelende (moleculaire) biochemie. Reden waarom hij omstreeks 1960 in het Natuurkundig Laboratorium een betrekkelijk grote biochemische groep formeerde, die het gehele gebied vanaf de DNA/RNA-problematiek, over de enzymen, de enzymsystemen en membranen, tot de fotomorfogenese van planten zou bestrijken.

Tweeërlei gedachtengang vormde bij Verwey de achtergrond van dit in zekere zin verrassende besluit. Ten eerste, dat hier een geheel nieuw gebied van chemie en mogelijkheden van chemische reacties zich begon te ontwikkelen, met een perfectie van „molecular engineering”, die in de gebruikelijke technologie van transistoren (en – later – in die van de geïntegreerde schakelingen) onbereikbaar schijnt. Ten tweede de overweging, dat mogelijkerwijze een bestudering van de processen van biologische informatieverwerking in het zenuwstelsel en in de zenuwcellen en hun membranen, inzichten zou kunnen verschaffen, die toegepast zouden kunnen worden bij de behandeling van informatie in elektronische systemen, of zouden kunnen leiden tot een geheel nieuwe klasse van informatieverwerkende onderdelen en systemen. Een verwachting die zich evenwel tot nu toe niet vervuld heeft. Overigens kan daar nog aan toegevoegd worden, dat de intra- en intermoleculaire krachten, die zo belangrijk zijn voor het begrijpen van de grote specificiteit van de moleculaire biochemische reacties, uiteraard, in de lijn van zijn werk in de kolloïdchemie en in de vaste stof, Verwey's levendige interesse opwekten.

De rol van Verwey bij de programmering van het onderzoek, in het Natuurkundig Laboratorium, op het gebied van de vaste stof en dat van de chemie in het algemeen, werd vanzelfsprekend snel onderkend en bevestigd door zijn benoeming (in 1946) – naast Casimir en Rinia – tot directeur van dat laboratorium; een functie die hij tot eind 1966 bekleedde. Zijn vermogen om op evenwichtige wijze fundamenteel onderzoek met toegepast onderzoek te verbinden, zijn organisatorische gaven, alsook zijn uitnemende mensenkennis kwamen in deze functie volledig tot hun recht. Zoals bekend beleefde de elektronische industrie in de naoorlogse jaren een reeks van essentiële technische omwentelingen en grote gebieds-

uitbreidingen. Het behoeft geen betoog, dat deze snelle en veelzijdige ontwikkelingen een voortdurende ingrijpende aanpassing van het researchprogramma en daarvoor noodzakelijke hergroeperingen van onderzoekers vereisten. Het aantal medewerkers van het Natuurkundig Laboratorium nam in die periode met een factor 3 tot 2000 toe, waarvan ongeveer een kwart een „universitaire” opleiding had genoten. Uiteraard veranderde ook het „spectrum van kundigheden” voortdurend van vorm. Steeds in contact blijvende met de onderzoekers zelf bedreef Verwey op verbeeldingsrijke wijze een waarlijk onderzoeks- en wetenschapsbeleid, daarbij aan de onderzoekers een grote mate van zelfstandigheid en vrijheid latende. Een beleid, dat uitermate stimulerend werkte en een grote wetenschappelijke en technische produktiviteit tengevolge had.

Deze grote gaven en de inmiddels opgedane rijke ervaring in de programmering en het organiseren van wetenschappelijk onderzoek, kwamen uiteraard uitstekend van pas in zijn langdurige en veelzijdige bemoeienissen met ZWO, die vanaf 1952 bijna zonder onderbreking tot 1976 hebben geduurd. Zo was Verwey lid van de vaste adviescommissie voor de exacte wetenschappen (1952–1955); van de Raad voor het Zuiver-Wetenschappelijk Onderzoek (1957–1970); van het bestuur van ZWO (1957–1960) en voorzitter van de commissie voor energiegeliëerd onderzoek (1974–1976). In het jaarboek van ZWO over 1970 wordt bij zijn vertrek uit de raad gezegd: „Zijn deskundigheid en inzicht en zijn grote belangstelling ook voor andere wetenschapsgebieden dan die waarop zijn eigen werk lag, met name voor de sociale wetenschappen, hebben mede het gezicht van ZWO bepaald”. Verwey was tevens lid van het bestuur van de Stichting FOM (1948–1968) en van 1966 tot 1971 voorzitter van de Stichting SON, bij de oprichting waarvan hij actief betrokken is geweest (1956).

In de werkwijze en in het bestuur van SON vonden, in de periode van zijn voorzitterschap, een tweetal belangrijke ontwikkelingen plaats, die beide typerend zijn voor de opvattingen van Verwey.

Zo heeft hij bewerkstelligd, dat de verantwoordelijkheid voor de prioriteitsvaststelling van onderzoekplannen en daaruit voortvloeiende subsidie-aanvragen duidelijk naar de werkgemeenschappen, dat is naar de verzamelde landelijke expertise op een bepaald gebied, werd verlegd. Het Stichtingsbestuur oefent dan in feite slechts een repressieve controle uit. Aldus worden verschillende soorten van verantwoordelijkheid onderscheiden en gelegd daar waar zij behoren te worden gedragen.

Een ander belangrijk aspect van Verwey's werkzaamheid in SON-verband was voorts het feit dat het bestuur werd uitgebreid met vertegenwoordigers van de industriële research. Hiermede bracht Verwey tot uitdrukking hoe belangrijk hij de wederzijdse contacten tussen het universitaire en het industriële onderzoek vond. Overigens, vanuit dezelfde overwegingen heeft Verwey een belangrijke rol gespeeld bij de omzetting van de Delft-Leidse commissie voor de Metalen in een werkgemeenschap FOM-TNO.

Zoals zo dikwijls toonde hij zich ook hier een voortrekker. Immers pas tegen het einde van de jaren zeventig zou het belang van een relatie tussen universitair en industriël onderzoek in het „Wetenschapsbeleid” van de overheid expliciet naar voren komen, bijvoorbeeld in de idee en de oprichting van sectorraden en „transferpunten”.

In aanmerking nemende de belangstellings sfeer in zijn ouderlijk huis, baart het geen verwondering dat Verwey sterk geïnteresseerd was in onderwijsvraagstukken; speciaal in die betrekking hebbend op het hoger onderwijs.

Zo was hij reeds in zijn studententijd als lid van de S(ociaal) D(emocratische) S(tudenten) C(lub) actief (samen met o.a. zijn toekomstige echtgenote) in het ontwerpen van een plan voor een reorganisatie van het Hoger Onderwijs. Het is verrassend in dit plan reeds enkele aspecten van de huidige Wet Twee-fasenstructuur Wetenschappelijk Onderwijs aan te treffen.

Het was daarom te verwachten dat Verwey, toen hij daartoe geroepen werd, zijn veelzijdige ervaring gaarne ten dienste heeft willen stellen van het bestuur van de Universiteit van Utrecht; eerst als lid van het College van Curatoren en daarna van het College van Bestuur (1962–1972). De eerste vijf jaar deed hij dit naast zijn werk als directeur van het Natuurkundig Laboratorium; na zijn pensionering uit deze functie, vrijwel als een volledige dagtaak. Vanuit zijn industriële researchervaring is de bijdrage van Verwey aan het bestuur van de Utrechtse Universiteit uniek geweest. Gegrond op uitgebreide openhartige contacten met de verschillende onderzoekers en een daarmee verkregen programmatisch inzicht en overzicht, kon een begin worden gemaakt met een universitair onderzoeksbeleid. Het is deze behoefte tot beleidsmatige ordening die hem, verdergaande, als voorzitter van het Beleidsorgaan „herstructurering aardwetenschappen” (1971–1974), gebracht heeft tot niet aflatende inspanningen, die hebben geleid tot een landelijke universitaire hergroepering van deze wetenschappen.

Na het voorafgaande baart het geen verwondering dat Verwey in 1967 benoemd werd tot voorzitter van de Commissie Algemene Vraagstukken Wetenschappelijk Onderzoek (CAVWO) van de Academische Raad; een functie die hij bekleedde tot eind 1975. In 1968 wordt door deze commissie een nota „Intra-universitair Onderzoek” gepubliceerd waarin enkele belangrijke suggesties zijn gedaan – onder andere met betrekking tot de instelling van (sub)facultaire commissies voor de Wetenschapsbeoefening – die in de Wet Universitaire Bestuurshervorming zijn overgenomen. De achtergrond van deze nota was de vrees, dat het gebrek aan overleg en coördinatie en het vaak ontbreken van beleid een bedreiging vorm(d)en voor de kwaliteit van het universitaire onderzoek. Tegen het einde van Verwey’s CAVWO-periode kwam – onder leiding van Overbeek – de WUO (Werkgroep Universitair Onderzoek)-nota gereed, getiteld „Naar een nieuwe organisatiestructuur voor de universitaire wetenschapsbeoefening”. Voor de landelijke coördinatie van het universitaire onderzoek worden in deze nota voorstellen aangedragen, die in belangrijke mate hebben bijgedragen tot de formulering van de Beleidsnota Universitair Onderzoek (BUOZ) en het onderzoeksgedeelte van het Ontwerp van Wet op het Wetenschappelijk Onderwijs 1981. Verwey was als voorzitter van de CAVWO, lid van deze werkgroep en heeft wezenlijk tot de gedachtenvorming bijgedragen. Zijn lidmaatschap van de „Commissie Universitaire Bestuurshervorming” (1975–1979), ingesteld om het functioneren van de WUB te onderzoeken, mag in dit verband niet onvermeld blijven.

Verwey’s overtuiging van de noodzakelijkheid van een landelijk (universitair) wetenschapsbeleid kan verder nog geïllustreerd worden door zijn lidmaatschap van de, door de Minister voor Wetenschapsbeleid ingestelde, „Verkenningcommissie

Sociaal Onderzoek'' die in 1975 haar rapport „Sociaal onderzoek en beleid'' het licht deed zien.

Verwey heeft eveneens zitting gehad in de Commissie „Relatie Overheid-TNO'', die in haar nota's van 1976 en 1977 belangrijke gedachten formuleerde over het functioneren van TNO.

Ook zijn in 1980 verschenen studie „Energiebeleid op lange termijn'' getuigt van de door hem reeds vanaf zijn studententijd zo sterk beleefde noodzakelijkheid om wetenschapsbeoefening en wetenschapsbeleid altijd mede te zien in de maatschappelijke context. In deze studie wijst Verwey op de gevaren van de kernenergie en die van een mogelijk „broeikas-effect'' tengevolge van ongeremd gebruik van kolen en pleit voor energiebesparing door het zoveel mogelijk toepassen van biotechnologie en voor energie-opwekking uit zonne-energie door toepassing van de fotocel en de fotosynthese.

Verwey is het socialisme van zijn ouderlijk huis trouw gebleven; een opstelling ten aanzien van de medemens die nog versterkt en verdiept werd door de ervaringen in de crisistijd van de dertiger jaren en tijdens de tweede wereldoorlog, de ontwikkeling van de nucleaire wapens en het alles beheersende energievraagstuk. Hieruit kwam ook voort zijn politieke geëngageerdheid: als lid van de S.D.S.C., als redactielid van „Kentering'', als lid van de redactie van het weekblad „Het Bevrijde Parool'' (1944–1945) en als „levenslang'' lid van de SDAP en later van de PvdA. Hij was voorts lid van verschillende commissies van de Wiardi-Beckmannstichting, zoals die van de sectie „Industriepolitiek en Wetenschapsbeleid''. Vanaf het begin was hij lid van het Nederlands Comité van de Pugwash-Beweging.

In het meer persoonlijke vlak was Verwey een liefdevol huisvader, een trouw en zorgzaam vriend en collega, een openhartig chef. Vele mensen heeft hij – vooral tijdens de oorlog – in stilte geholpen. Om een aantal door de bezetter geïnterneerde Nederlanders voor deportatie te behoeden, of althans hun internering dragelijker te maken, heeft Verwey mede de stoot gegeven tot het oprichten van de „Philips Rekenkamer'' in het Kamp te Vught (N. Br.), waar veel rekenwerk werd verricht, dat voor de oorlogvoering niet van belang was, en dat door het daarvoor noodzakelijke mondelinge contact de geïnterneerden in aanraking bracht met de bevriende buitenwereld.

Verwey hield van de natuur, hij wandelde of fietste graag en kon enthousiast botaniseren en naar vogels kijken. In 1955 overkwam hem daarbij een verkeersongeval. Tengevolge daarvan werd Verwey in de loop der jaren toenemend in zijn bewegelijkheid belemmerd. Hij leed hieronder. Een daartoe verworven tweede woning in de vorm van een oude poldermolen en een boot stelden hem echter nog gedurende vele jaren in staat zijn vrije tijd toch in nauwe aanraking met de natuur door te brengen.

Uiteraard zijn aan Verwey eervolle onderscheidingen ten deel gevallen. In 1949 werd hij benoemd tot lid van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen. Hij was sedert 1963 erelid van de Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging, sedert 1967 eredoctor aan de Technische Hogeschool te Delft en voorts officier in de Orde van Oranje-Nassau.