Tsch.Gesch.Gnk.Natuurw.Wisk.Techn., 5(1982) 4

Joop Schopman

WETENSCHAP IN BEDRIJF:
ontwikkeling en organisatie van het halfgeleideronderzoek binnen de N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken (1930-1955)*

Vanaf het begin heeft de N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken in Eindhoven veel aandacht besteed aan wetenschappelijk onderzoek. Kort geleden is er studie[1,2] gemaakt van de bijdragen die het Philips Natuurkundig Laboratorium (Nat. Lab.) geleverd heeft aan de kennis en produktie van halfgeleiders van 1930 tot 1955. Onderhavig onderzoek[2] is verricht als een Nederlandse bijdrage aan een internationale opzet om tot een beschrijving van de geschiedenis van de vaste-stof fysika te komen vanaf het begin (voor Nederland is dat ca. 1930) tot het midden van de vijftiger jaren. In dit artikel wordt aandacht besteed aan de organisatie van de N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken en de rol die het Nat. Lab. daarbinnen vervult (I). Daar het niet waarschijnlijk is dat Philips in zijn eentje werkzaam was, zal gekeken worden naar de relaties van Philips naar buiten toe (II.1), vooral naar die van het Nat. Lab. (II.2). Daaruit kunnen enige konklusies getrokken worden ten aanzien van de rol die wetenschappelijk onderzoek speelde in de halfgeleider-aktiviteiten van Philips (III). Tevens zullen enige kanttekeningen gemaakt worden over de dynamiek ervan (IV).

I. *De organisatie van het Philips-halfgeleideronderzoek*

I.1. *de organisatiestruktuur van Philips*

De N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, opgericht door Frederik Philips (1830-1900) en Gerard Philips (1858-1942) te Eindhoven in 1891, begon in 1893 met de produktie van gloeilampen. Vanaf het begin is er hard gewerkt

*Alle (vroegere) medewerkers van Philips die door hun gesprekken, dokumentatiemateriaal en kommentaar aan de totstandkoming van dit artikel hebben meegewerkt, willen wij van harte dank zeggen: met name willen we noemen de heren Berghman, Druyvesteyn, Haayman en Tummers. Ook niet onvermeld mag blijven de heer Prudon voor het onder handen nemen van de tekst en het sekretariaat van ons instituut (Centrale Interfaculteit, RU Utrecht) met name mevrouw Mulder, op wie wij nooit tevergeefs een beroep deden.

1. G. Verbong, *De ontwikkeling van de transistor bij Philips* (Eindhoven: TH, interne publikatie, 1981).
2. J.H.F.M. Schopman, "The Dutch contribution to barrier-layer semiconductors in the pre-germanium era", *Janus* 69(1982) 1-28; id., "The Philips' contribution to theory and application of semiconducting oxides (1935-1950)", *Janus* 70(1983), in druk; id., "The Philips' response to the new semiconductor area: germanium and silicon (1947-1955)", *Technikgeschichte* 50(1983), in druk.

om de kwaliteit van deze lampen te verbeteren. Met name aan de vervaardiging van met gas gevulde lampen (1913) "was het te danken dat een natuurkundig laboratorium werd ingericht, ten einde de vele quaesties, die zich bij deze lampen voordoen, te kunnen bestuderen".[3] Immers

> "de verschijnselen (...) behoorden niet tot de gebieden, die door de technici beheerscht werden, en toch was de kennis daarvan voor de ontwikkeling van de (...) industrie van het grootste belang. Het onderzoek hierover is dan ook grootendeels door physici verricht. (...) Wanneer men verder bedenkt, dat jaarlijks ongeveer 500 miljoen gloeilampen gebruikt worden, kan men zich voorstellen dat hier het kleinste verbeteringetje loonend is, zoodat een onderzoek gerechtvaardigd schijnt. Een gunstige voorwaarde voor de ontwikkeling van een laboratorium is, dat het bedrijf zich bezig houdt met massafabricage, vooral dan wanneer deze massaproducten door octrooien beschermd kunnen worden zoodat het mogelijk is de kosten die in het onderzoek gestoken zijn, terug te verdienen. (...) Heeft het onderzoek wetenschappelijke waarde, dan zou deze zonder octrooibescherming voor de rest van de wereld verborgen blijven".[4]

Op 2 januari 1914 had deze speciale rol van wetenschappelijk onderzoek erkenning gekregen in het aantrekken van Gilles Holst (1886-1968) door Gerard Philips; enige maanden later gevolgd door de benoeming van E. Oosterhuis (1886-1966). Van 1914 tot 1946 was Holst direkteur van een in 1914 speciaal voor onderzoek opgerichte afdeling: het Natuurkundig Laboratorium. Vanaf het begin had het Nat. Lab. een speciale status binnen het Philipsconcern.

Niet alleen de kwaliteit van Philipsgloeilampen verbeterde, maar er kwam ook een steeds grotere verscheidenheid aan produkten. In de eerste wereldoorlog werd Philips gevraagd om röntgenbuizen te repareren en te produceren.[5] Daarnaast kwam van militaire kant het verzoek om ontvangsttrioden.[6] Daardoor verplaatste de aandacht zich van de gloeilampen naar verwante gebieden: elektronenbuizen, röntgenapparatuur, radio e.d. Naar aanleiding van de ekonomische situatie begon Philips ook in andere landen fabrieken op te richten. De organisatie van het snel groeiende concern werd steeds ingewikkelder. Om de toekomst van het bedrijf voor eventualiteiten veilig te stellen werd op 3 november 1936 P.F.S. Otten tot direkteur benoemd, terwijl Anton Philips (1874-1951) president-direkteur werd.[7] In die funktie volgde Otten hem op 19 juni 1939 op, terwijl H.J. van Walsum,[7a] O.M.E. Loupart

3. M. de Haas, *Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde (NTvNk)* 1(1934) 91-99, i.h.b. 93.

4. G. Holst, "Industrielaboratoria" (inaugurele rede), *Physica* 10(1930) 3-46, i.h.b. 34.

5. N.A.J. Voorhoeve, "Het Natuurkundig Laboratorium der N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken", *Physica* 4(1924) 345-366, i.h.b. 348: M. de Haas, *NTvNk* 1(1934) 94.

6. B. van der Pol, "Physische toepassingen der triode", *Physica* 1(1921) 97.

7. Deze gegevens zijn grotendeels ontleend aan de Jaarverslagen van de N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken.

7a. Geen jaartallen worden gegeven als die niet te achterhalen waren of als de betreffende persoon nog in leven is.

en F.J. Philips tot direkteuren benoemd werden. Na de tweede wereldoorlog werd het gehele concern gereorganiseerd. Op 27 april 1946 werden de produktieafdelingen gehergroepeerd in Hoofdindustriegroepen (HIG), waarvan ieder zijn eigen ontwikkelingslaboratorium kreeg. Een HIG ontwikkelt, produceert en verkoopt haar eigen fabrikaten. Voor ons doel is de HIG Elektronenbuizen van belang, die in deze periode onder leiding stond van H.A.G. Hazeu (1903-1968) en G.J.L.M. Jennekens. In januari 1952 werd binnen deze HIG een afzonderlijke groep halfgeleiders gevormd onder leiding van J.J. van der Spek (ontwikkeling en fabrikage) en J.C. van Vessem (ontwikkeling),[8] terwijl het seleenwerk al in de jaren 1950/1 bij de buizen ondergebracht was. Aan de top van het concern kwam in 1946 een kollege: de Raad van bestuur, bestaande uit zeven mensen, waarvan Otten, F. Philips, Van Walsem en Loupart het presidium vormden en Otten de voorzitter werd. Voor ons onderwerp is het van belang te vermelden dat bij de uitbreiding op 1 januari 1957 o.a. H.B.G. Casimir lid van de Raad van bestuur werd alsook Hazeu en Jenneskens.

I.2 *de plaats van het Natuurkundig Laboratorium binnen Philips*

Een onderdeel van de afspraken tussen Gerard Philips en Gilles Holst was, dat het Nat. Lab. een afdeling zou zijn die geheel onafhankelijk stond van de produktieafdelingen.[9] Het kan voor zijn beleid niet rechtstreeks door de produktieafdelingen aangesproken worden, maar is alleen verantwoording verschuldigd aan de concernleiding. Dit werd mede mogelijk door het onderzoeksbudget te korreleren aan de totale concernomzet. Aanvankelijk was de direkteur van het Nat. Lab. tevens adviseur van de leiding, na zijn pensionering werd Holst vanaf 3 april 1946 lid van de raad van Kommissarissen en tevens adviseur voor wetenschappelijk onderzoek. Na zijn vertrek in 1957 nam Casimir die taak in zekere zin over. Als lid van de Raad van bestuur was hij echter rechtstreeks bij het beleid betrokken.
De taak van het Nat. Lab. is in de eerste plaats het verrichten van fundamenteel onderzoek. Dat betreft niet alleen het toepassen van bestaande kennis, maar indien nodig ook het doen van aanvullend wetenschappelijk (grensverleggend) onderzoek.

> "Welbewust wordt hier dus werk verricht, dat geen onmiddellijke vruchten afwerpt voor het eigen bedrijf, maar waarvan men niettemin — naast de bevordering van het wetenschappelijk inzicht in allerlei verschijnselen — zeker ook indirecte voordeelen voor het eigen bedrijf verwacht, bijv. doordat in den loop van het onderzoek, soms geheel onverwacht, dingen naar voren komen die aanleiding geven tot verbeteringen in de fabricage, tot het perfectioneeren van bedrijfsartikelen of die misschien zelfs geheel nieuwe fabricage-mogelijkheden openen".[10]

8. Philips Centraal Archief (PCA) D 22.24 Halfgeleiders 1952-57, geciteerd in Schopman, "The Philips' response".
9. Interview met F.H. Stieltjes door de auteur, 23 februari 1981.
10. Voorhoeve, "Het Natuurkundig", 349.

Dit fundamenteel onderzoek gaat niet om zo te zeggen zijn eigen weg, zoals dat aan de universiteiten verondersteld wordt te gebeuren, maar op de achtergrond staan steeds konkrete problemen en vragen. In het geval van de halfgeleider is dat duidelijk te zien bij het onderzoek op het gebied van de sper(keer)laaggelijkrichters. Het doel daarvan was een beter inzicht te krijgen in de daaraan ten grondslag liggende processen. Daarom bestudeerde W.Ch. van Geel (1895-1967) verschillende typen halfgeleiders. Niet zozeer omdat Philips die in produktie wenste te nemen, want dat was bijv. in het geval van koper(I)oxide onmogelijk door de oktrooipositie van de Engelse firma Westinghouse. Het ging erom een inzicht te krijgen in het verschijnsel 'gelijkrichten'. Deze lange en dure weg werd en wordt gevolgd, omdat de concernleiding ervan overtuigd was en is, dat een wetenschappelijke benadering van industriële problemen zichzelf terugbetaalt. Het geeft tenslotte betere resultaten dan (technische) korte termijn oplossingen.
Bovendien is het de taak van het Nat. Lab. de feitelijke produktie voor te bereiden door het ontwikkelen van proefmodellen en/of produktieprocessen. Ook dit is duidelijk in het geval van de halfgeleiders. Niet alleen voor seleen, maar ook voor germanium bijv. maakte het Nat. Lab. de eerste experimentele exemplaren. Met name in het geval van de germaniumtransistoren was dit belangrijk, omdat het de mensen die op het gebied van de toepassingen werkzaam waren, de mogelijkheid gaf al met hun werk te beginnen voordat er één transistor de fabriek verlaten had.
Ten slotte hoort ook het oplossen van problemen tot de taak van het Nat. Lab., d.w.z. assistentie verlenen wanneer de industriële sektor er niet meer uit komt. Ook dat is van toepassing op het gebied van de halfgeleiders. Telkens opnieuw ontstonden er problemen als een produkt door het Nat. Lab. aan de industriegroep overgedragen was. De produktie van seleencellen werd door onbekende oorzaken vertraagd tot Philips stopte met de produktie. Maar ook bij de produktie van germaniumtransistors ging er vaak iets mis. J.J.A. Ploos van Amstel bijv. moest soms zijn laboratoriumwerk in de steek laten om het ontwikkelingswerk weer op gang te krijgen.[11] Bij dit alles rijst de vraag hoe het Nat. Lab. georganiseerd was ten einde al deze taken te vervullen.

I.3 *de organisatie van het Natuurkundig Laboratorium*

In het Nat. Lab. groeide niet alleen het aantal mensen, maar met de toenemende variëteit van de eindprodukten ook het gebied dat door het onderzoek bestreken moest worden. Desondanks bestond er geen officiële struktuur in de tijd van Holst. Pas na een groot aantal jaren werd Oosterhuis onderdirekteur en Verff sekretaris.

11. Interview J.J.A. Ploos van Amstel, 29 juli 1981.

Maar in feite fungeerden de oudere onderzoekers vaak als een soort onderdirekteuren;[12] zij hadden een onderzoeksgebied voor zichzelf en daarvoor hadden zij ieder 0 tot 3 assistenten. Zo deed in het begin van de dertiger jaren B. van der Pol (1889-1959) het onderzoek op radiogebied, A. Bouwers (1893-1972) het röntgenonderzoek; A.E. van Arkel (1893-1976) en J.H. de Boer (1899-1971) stonden voor de chemie; Oosterhuis had de zorg voor de radio- en plaatspanningsapparaten, bovendien was er een grote groep direkt onder Holst: P. Clausing, W. de Groot, C. Zwikker, A. van Wijk, F.M. Penning (1894-1953).[13] Daarnaast waren er afdelingen gespecialiseerd in bepaalde technieken, bijv. röntgenanalyse. Hoewel het aantal medewerkers snel toenam (fig. 1), was Holst in staat met ieder van hen persoonlijk kontakt te hebben. Zijn kamer kende geen drempel. Hij zelf was een man vol ideeën, succesvolle zowel als onvruchtbare. Zijn mensen kregen niet opgedragen wat ze moesten doen, maar hij bracht hen in kontakt met problemen waarvan hij dacht dat ze belangrijk waren. Tevens had hij de gewoonte onderzoekers kennis te laten maken met de problemen van hun kollegae. Hij had een goede 'neus' voor wat belangrijk onderzoek was of zou worden. Zo zette hij De Boer en Van Geel aan tot het onderzoek van gelijkrichters. In 1933 startte hij het vaste-stof onderzoek.[15,16] Daar werden toen verschillende groepen voor gevormd: fluorescentie (F.A. Kröger, C.C.J. Addink), metalen (Van Arkel, W.G. Burgers, M.J. Druyvesteyn, J.D. Fast, J.L. Meyering), halfgeleiders (E.J.W. Verwey (1905-1981), P.W. Haayman), glas (J.M. Stevels), diëlectrica (G.H. Jonker, J.H. van Santen) en ferromagnetica (J.L. Snoek (1902-1950)). Voor alle groepen was er een (nog bestaand) regelmatig kolloquium voor de gehele staf. Bij die gelegenheid gaven onderzoekers een overzicht van het gebied waar zij mee bezig waren; daarna volgde een diskussie. Binnen het concern was de positie van het Nat. Lab. een enigszins geïsoleerde: 'het Klooster' werd het genoemd. Binnen het lab. was er in de vooroorlogse jaren een grote afstand tussen de

12. Interview P.W. Haayman, 17 augustus 1981.

13. Interview M.J. Druyvesteyn, 24 maart 1981.

14. "Ook mag hier wel even worden opgemerkt, dat de gemeenschappelijke koffiemaaltijd, die door Dr. Holst (...) is ingevoerd, een goed middel geweest is voor het bevorderen van een vriendschappelijken geest en een ongezochte gelegenheid biedt voor gedachten-wisseling voor allerlei problemen, die met het onderzoek verband houden". N.A.J. Voorhoeve, "Over de organisatie van wetenschappelijk onderzoek" PCA bibl. 192, p. 9 (1928). Vgl. "In memoriam Prof. Dr. G. Holst", *NTvNk* 35(1969) 41-51.

15. H. Bienfait, "Management policy of the Philips Research laboratory", *Research management* 3(1960) 201-215, i.h.b. 210.

16. E.J.W. Verwey, toespraak bij gelegenheid van de ingebruikneming van het nieuwe laboratorium, in: *Veertig jaar research* (Nat. Lab., 1955), p. 17. "Wij danken het aan het vroegtijdig initiatief van Prof. Holst, dat wij deze wetenschappelijke strijd in goede scholing zijn ingetreden en technisch een belangrijk aandeel in deze nieuwe ontwikkelingen hebben mogen hebben".

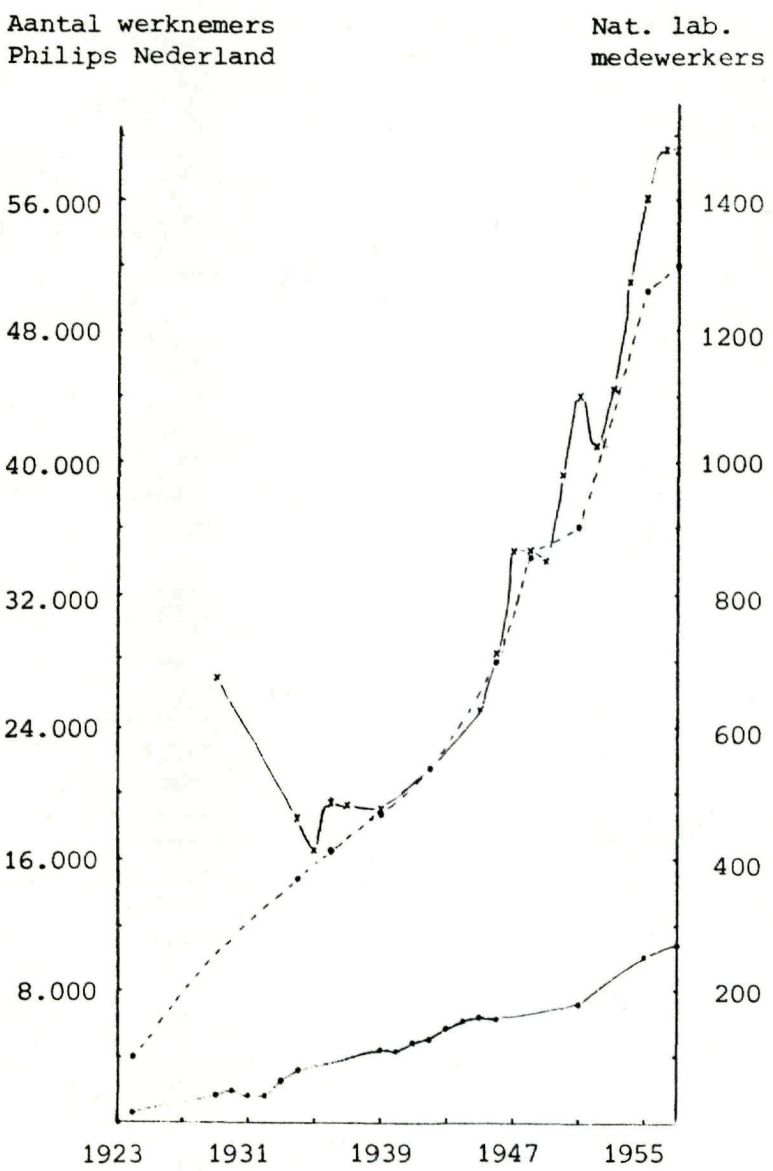


Fig. 1

x — x — x aantal werknemers Philips Nederland
o...o...o totaal personeel Nat. Lab.
o — o — o akademisch gevormd personeel Nat. Lab.

akademische stafleden en de technische assistenten. Na de oorlog is die vrijwel verdwenen.[17]

Doordat het aantal mensen steeds bleef groeien, werd het op den duur voor Holst erg moeilijk regelmatig kontakt te hebben met ieder van zijn medewerkers. Daarom werd na zijn vertrek zijn taak verdeeld over drie medewerkers: Verwey kreeg de chemie onder zich, Casimir de fysica, terwijl H. Rinia over de technische systemen ging. Maar zelfs voor deze drie werd het ten gevolge van het snel groeiend aantal medewerkers erg moeilijk om het beleid van Holst in deze voort te zetten. Al in 1947 werd H. Bienfait adjunkt-direkteur, terwijl later M. Lopez Cardozo tot tweede adjunkt-direkteur werd benoemd, met als speciale opdracht de koördinatie van het wetenschappelijk onderzoek zoals dat inmiddels ook op een aantal buitenlandse laboratoria plaats vond. In 1958 waren er al negen adjunkt-direkteuren, waaronder Haayman en F.H. Stieltjes. Ieder van de drie direkteuren had een aantal adjunkt-direkteuren onder zich, terwijl iedere groep een eigen leider kreeg. (Wat niet wegneemt dat er altijd een aantal individualisten bleef). Op deze manier ontstond er een hele hiërarchie. De onderzoekers en hun groepsleider bediskussieerden hun onderzoeksprogram met hun adjunkt-direkteur; de groepsleider moest op zijn beurt het program verdedigen in een bijeenkomst van de direkteur en alle adjunkt-direkteuren van zijn sektie. Maar zelfs in deze ingewikkelde organisatie was het kontakt erg informeel. Ook was er tussen de groepen veel onderlinge diskussie. Het uiteindelijke beleid werd zeker niet van bovenaf opgelegd, maar er was evenzeer een stroom van ideeën van het laboratorium naar de top toe.[19] Veel onderzoek vond zijn oorsprong in de vraag van een kollega; zo was bijv. de produktie van spanningsafhankelijke weerstanden het gevolg van een vraag van Siks aan Haayman. Volgens Casimir kan het beleid van zo'n laboratorium geen ijzeren diktaat van bovenaf zijn. Het is veeleer een resultaat van veel kleine beslissingen, deels toevallig genomen, deels gebaseerd op feiten. De leiding kan alleen de grote lijnen aangeven, zelfs het middenniveau mist de kompetentie om gedetailleerde opdrachten te geven. Die kompetentie moet men eerder zoeken op het niveau van de groepsleider.[20] Van hem mag verwacht worden het gehele veld waarop de groep werkt, te kennen.

Trouwens: uitvindingen laten zich niet afdwingen. Holst geeft in zijn oratie drie voorbeelden van vindingen

> "die op geheel verschillende wijze tot stand kwamen: 1) door taai volhouden en probeeren met een vast doel voor ogen; 2) door een gelukkigen samenloop van

17. Interviews met L.A.L. Esseling en J.W.A. Scholte, 6 april, 26 juni en 28 oktober 1981.
18. Zie noot 9.
19. Interview H.B.G. Casimir, 7 april 1981.
20. Interview F.C. Romeyn, 5 maart 1981.

omstandigheden, doch met een — zij het ook niet nauwkeurig omschreven — doel voor ogen; 3) door een samenloop van omstandigheden, zonder dat men zich eenig doel gesteld heeft".

Hij merkt tevens op dat

"te ver doorgevoerde organisatie dan ook eerder tot beperking [leidt] dan tot verruiming van onzen gezichtskring. Een groot bezwaar ervan is, dat men geen rekening kan houden met de individueele eigenschappen der verschillende onderzoekers, waarvan juist de meest origineele zich vaak slechts noode aan een organisatie kunnen aanpassen".[21]

Het spreek heden ten dage vanzelf dat geen onderzoek gedaan kan worden zonder een zekere 'arbeidssplitsing'. Maar het is niet zonder konsekwenties voor het verloop en de uitkomsten van het onderzoek voor welke arbeidsdeling er gekozen wordt. Een voorbeeld hiervan zien we bij het halfgeleideronderzoek. Ofschoon Van Geel een fysikus was, afgestudeerd bij L.S. Ornstein (1880-1941) in Utrecht, was zijn feitelijke werk chemisch georiënteerd. Hij werkte nauw samen met De Boer. In de halfgeleidergroep die Holst startte, zaten o.a. Haayman en Verwey, beiden chemici. Van de drie opvolgers van Holst kreeg Verwey de halfgeleiderontwikkeling onder zich, terwijl de fysikus Casimir de verantwoordelijkheid voor de elektronenbuizen kreeg.

Nu zijn chemici niet bang om met ingewikkelde stoffen te werken. In dit geval echter bleek de benadering van het probleem van de halfgeleiders in de vorm van oxide-verbindingen[22] en seleen te ingewikkeld om theoretisch en praktisch te beheersen. Het theoretisch model van hun elektronenstruktuur week te veel af van de Bloch-Wilson-theorie.[23] Daarom ontwikkelden Verwey en de Boer hun 'hip'model[24] voor de elektronen van halfgeleiders. Hoewel dit model een inzicht verschafte in de werking van enkele gelijkrichters en fotocellen, was het toch niet in staat een bijdrage te leveren aan het industriële produkt. Wel was het een steun voor de ontwikkeling van weerstanden met negatieve en positieve temperatuurkoëfficiënt, berustend op de eigenschappen van halfgeleidende materialen.

Het is niet onwaarschijnlijk dat als fysici van Philips zich aan het halfgeleiderwerk gezet hadden, dat zij het onderzoek dan in de richting van minder komplexe en monokristallijne stoffen gestuurd zouden hebben. Philips had zelfs al ervaring op het gebied van (metaal)éénkristallen, maar in 1940 verloor het deze kunde met het vertrek van Burgers naar de Technische

21. Holst, "Industrielaboratoria", 40 en 44 vlg.

22. Daarmee worden bedoeld halfgeleiders zoals koper(I)oxide (Cu_2O).

23. Deze theorie is opgesteld door Bloch en Wilson om het gedrag van elektronen in metalen te beschrijven.

24. Deze elektronen kunnen geen kontinue bewegingen maken zoals die van de metalen maar moeten van een bepaalde kristalplaats naar een soortgelijke springen, met andere woorden: ze 'hippen'.

Hogeschool te Delft.[25] De feitelijke arbeidsverdeling tussen fysici en chemici was toch niet verrassend. De fysici spraken over 'vieze halfgeleiders'. Dat spreekt op zichzelf al boekdelen.[26] Voor hen waren er andere en attraktievere gebieden in deze jaren na de invoering van de kwantummechanika. Voor het doen van fundamenteel fysisch onderzoek is vaste-stof fysika trouwens ook nu nog niet zo interessant. Het zou niet zoveel belangstelling krijgen als er niet belangrijke technologische konsekwenties aan vast zaten.[27] Blijkbaar waren de interne kontakten binnen het Nat. Lab. in dit geval niet voldoende om de 'chemische' handikap te overwinnen. De interne kommunikatie droeg wel vruchten bij de spinellen en de geleide valentie.[28] Die kunnen gezien worden als een gevolg van 'kruisbestuiving'. De halfgeleiding van koper(I)oxide was door Verwey en De Boer[29] inzichtelijk gemaakt als een afwijking van hun stoichiometrische samenstelling. Daarover werd in de vakliteratuur gesproken in termen van 'verontreinigingsniveau's'. Ook de vakliteratuur op het gebied van de fluorescentie gebruikte dit begrip, maar daarmee werden verschijnselen bedoeld die veroorzaakt waren door de aanwezigheid van 'vreemde' ionen. Deze gelijkheid van terminologie bracht Verwey, Haayman en Romeyn ertoe de twee verschijnselen te kombineren en te proberen afwijkingen van de stoichiometrie te kreëren met behulp van het introduceren van vreemde ionen. Dit bleek een vruchtbaar idee.[30,31] Niet genoeg benadrukt kan worden hoe belangrijk de technische uitrus-

25. Waarmee hij een oude traditie afsloot: A.E. van Arkel, "Nieuwere inzichten in de scheikunde", *NTvNk* 1(1934) 273-287.

26. Zie noot 9.

27. Zie noot 19.

28. Kristallen met spinel-struktuur, d.w.z. "de elementaircel is een kubus, die 8 moleculen XY_2O_4, d.w.z. in totaal 56 atomen bevat" (E.J.W. Verwey, P.W. Haayman, en E.L. Heilmann, "Over de kristalstruktuur van ferrieten en analoge metaaloxiden", *Philips Technisch Tijdschrift* 9(1947) 186-192, i.h.b. 186). Geleide valentie is de Philipsmethode om door het inbrengen van vreemde ionen de geleiding van stoffen te veranderen; hierop wordt in dit artikel ingegaan (III.1).

29. E.J.W. Verwey and H.J. de Boer, "Semi-conductors with partially and with completely filled 3d-lattice bands", *Proceedings of the Physical Society* 48(1937) extra part, 59-71.

30. Schopman, "The Philips' Contribution".

31. Een ander voorbeeld (uit een recentere periode, van rond 1960) van de nadelige invloed van een organisatorische arbeidsdeling is de vertraging van de invoering van de 'integrated circuits' (IC's). Binnen Philips' onderzoek waren er twee groepen: een was belast met fysika en chemie, terwijl de andere gevormd werd door mensen die systemen ontwierpen. Overigens vormt deze organisatorische opzet niet de enige verklaring voor de vertraging. De IC-produktie betekende immers een abrupte technologische verandering: de wijze van produceren (die met duizenden solderingen) moest verdwijnen. (Interview J.C. van Vessem, 26 augustus 1981). Volgens Tummers was de vertraging "eerder een gevolg van het ontbreken van een geavanceerde markt in Europa en de grote regeringsteun in de U.S.A." (L.J. Tummers, privé-mededeling 18 februari 1982).

ting,[32] een goede organisatie van de technische diensten[33] alsook technische 'kruisbestuiving' zijn voor het sukses van wetenschappelijk onderzoek. Het halfgeleideronderzoek kon snel voortgang boeken als gevolg van de aanwezigheid van "een uitstekend uitgerust laboratorium met een op hoog peil staande fijnmechanische werkplaats en instrumentmakerij".[34] De benodigde zeer zuivere gassen, zoals waterstof, helium, argon en stikstof, konden van de eigen gasfabriek betrokken worden. Hoogfrekwent verhitten werd reeds lang in praktijk gebracht bij de produktie van buizen. Daardoor was het noodzakelijke instrumentarium aanwezig. Bovendien konden ontwikkelingen op één gebied volop profiteren van de technologieën op andere terreinen die binnen het Nat. Lab. beschikbaar waren. Zo kon de germaniumdiodeproduktie haar voordeel doen met de aanwezige ervaring op het gebied van glas. Philips was daardoor de eerste die diodes in een volledig glazen omhulling op de markt bracht. "De hele techniek van werken met zuivere stoffen en het voorkomen van contaminatie uit de omgeving was reeds ontwikkeld bij de bestudering en bereiding van fluorescerende stoffen, zodat we ook hierin een vliegende start hadden".[34]

Een probleem op zichzelf vormt het onderbrengen van een nieuwe ontwikkeling zoals de germanium/silicium-technologie binnen de bestaande organisatorische struktuur. Philips bracht het halfgeleiderwerk onder in haar HIG Elektronenbuizen, omdat beide te maken hebben met versterkingsfunkties. Het is niet zo moeilijk zich voor te stellen dat het in huis halen van je eigen konkurrent een ingewikkelde situatie teweegbrengt. Reeds lang werd de behoefte gevoeld aan een oplossing voor het hoge energieverbruik, de kwetsbaarheid (glas)[35] en de korte levensduur (kathode) van de elektronenbuis en hoewel de halfgeleidertechnologie deze moeilijkheden bleek te overwinnen, was het toch niet gemakkelijk voor een bloeiende tak, die de buizenindustrie toen was, haar opvolger te aksepteren. Zoals reeds elders uiteengezet is,[36] waren de verwachtingen van de nieuwe technologie aanvankelijk onrealistisch hoog gespannen. Maar het was desalniettemin terecht, dat de leiding van het Nat. Lab. zich direkt bij het verschijnen van de publikatie over de transistor de immense konsekwenties realiseerde voor Philips' buizenaktiviteiten. In feite was dat één van de redenen om zich in de race te storten. Men moest mee doen vanwege de konsekwenties die van deze ontwikkeling verwacht werden voor het geheel van Philips' industriële aktiviteiten. Men koesterde daarbij de hoop dat door de halfgeleider het gehele veld van de elektronika zo aan betekenis zou winnen, dat er zelfs

32. Voorhoeve, "Over de organisatie", 4.
33. Voorhoeve, "Over de organisatie", 6.
34. P.W. Haayman, privé-mededeling 13 november 1981.
35. Zie noot 20.
36. Schopman, "The Philips' response".

uitbreiding voor de buizen in zou zitten. Inderdaad beleefden de buizen in de zeventiger jaren zelfs hun hoogste omzet. Maar men was er zich wel van bewust dat de uiteindelijke uitkomst voor de buizenindustrie negatief zou zijn. Het oordeel over Philips' besluit om de halfgeleiders bij de buizen onder te brengen hangt in sterke mate af van het gekozen gezichtspunt. Haayman (Nat. Lab.) bijv. is het er mee eens: beide technieken hebben dezelfde funkties, alhoewel ze een andere vorm presenteren om die te realiseren. Deze oplossing heeft volgens hem een strijd tussen personen voorkomen. Van Vessem (ontwikkelingslaboratorium) is daarentegen een geheel andere mening toegedaan. In feite stemt zijn oordeel overeen met dat van Braun,[37] namelijk dat een halfgeleiderindustrie niet werkelijk tot zijn recht kan komen binnen een zo geheel andere industrie als die van de buizen. De afstand tussen beide gebieden kan voor Van Vessem niet groot genoeg zijn. "Het was werkelijk een opluchting toen het halfgeleiderwerk naar een geheel andere stad werd overgebracht [Nijmegen]".[38] Hij geeft ook argumenten die het begrijpelijk maken dat de leiding van Philips zich pas laat engageerde in het halfgeleidergebied. Het betekende immers investeren in een technologie die de doodsteek zou betekenen voor (een gedeelte van) haar traditionele buizenindustrie die goed renderend was en waarin veel geïnvesteerd was (jonge firma's kennen dat probleem niet). Maar deze vrees bleek achteraf niet gerechtvaardigd. In feite kon de produktie van buizen nog zeer lang voortgezet worden, zelfs zolang dat alle fabrieken e.d. keurig afgeschreven konden worden.[39] Maar de angst ervoor leidde ertoe dat er steeds te weinig in de nieuwe technologie geïnvesteerd werd. Volgens Tummers was niet zozeer angst daar debet aan, als wel "de snelle wisseling in technologie en de onderschatting van de nieuwe mogelijkheden die er door de transistor ontstonden".[40]

De problemen waarin het Nat. Lab. zich verdiepte, hadden betrekking op produkten waarin Philips geïnteresseerd was.[41] De taak van het Nat. Lab. is "te werken voor de Philipsindustrie, met als uiteindelijk doel het verkrijgen van betere produkten, van nieuwe produkten, van betere methoden en een beter begrijpen en doorzien van de Philipsprodukten en hun toepassingsmogelijkheden".[42] Bij de ontwikkeling van de halfgeleiders kan men verschillende malen konstateren, dat de ontwikkeling van een produkt gestaakt werd, omdat het bestemd was voor de industriële markt, terwijl Philips van

37. E. Braun en S. MacDonald, *Revolution in miniature* (Cambridge: Cambridge U.P., 1978), 68.
38. Zie noot 30.
39. Zie noot 20.
40. Zie noot 31.
41. Voorhoeve, "Over de organisatie", 10.
42. H.B.G. Casimir, *Philips Koerier*, 30 april 1960, p. 7.

het begin af aan op de telefonie- en entertainmentmarkt georiënteerd was. Zo leverde bijv. de ontwikkeling van seleengelijkrichters industriële produkten op (12x12 cm^2 gelijkrichtplaten, modulatoren). Toen duidelijk werd dat Philips de race tegen de industriële mededingers (m.n. Siemens) aan het verliezen was, zei de leiding wel herhaaldelijk dat meer aandacht en energie in seleen gestopt moest worden, maar in feite gebeurde er weinig. Voor Philips werd de situatie echter pas werkelijk ernstig toen bleek dat seleen een vitaal onderdeel werd voor het entertainment (T.V.).[43] Op dat moment moest de Philipsleiding beslissen of ze met seleen zou doorgaan (met of zonder hulp van Siemens) waarvoor ze een gedeelte van haar kapaciteit terug zou moeten trekken uit de germanium/silicium-technologie, of dat ze het seleen verder zou vergeten en al haar kaarten op die nieuwe technologie zou zetten (alhoewel ze daarin minder snel vorderingen maakte dan gehoopt was). De Philipsleiding besloot tot het laatste; ze wilde zich koncentreren op germanium en silicium. Gedurende dit proces van afweging, dat meerdere jaren in beslag nam, werd telkens weer het argument naar voren gebracht, dat toch aandacht aan seleen gegeven zou moeten worden, niet omdat seleen zelf zo belangwekkend was, maar omdat het deel uitmaakte van het gebied van de halfgeleiders en dat was een belangrijk terrein voor Philips. Het onderzoek zou het gehele terrein van de halfgeleiding moeten bestrijken, omdat Philips zich het belang ervan voor al zijn aktiviteiten realiseerde. De oplossing van problemen in het seleen zou een grote invloed op de germanium/silicium-technologie kunnen hebben, zeiden de mensen van de kommerciële afdeling tegen de onderzoekers van het Nat. Lab. en het ontwikkelingslaboratorium, die hun mening niet deelden.[44] Maar dit maakt wel duidelijk hoe belangrijk het is voor Philips om met haar onderzoek het gehele gebied te bestrijken dat van invloed zou kunnen zijn op haar industriële aktiviteiten, ook al zullen er ontwikkelingen bij zijn die op zichzelf niet lonen.

Een ander voorbeeld waarbij Philips zich later weer terugtrok uit een ontwikkeling voor de zware industriële markt, is de diode met grote vermogens. L.A.L. Esseling had siliciumdiodes ontwikkeld die grote stromen aan konden, maar desondanks ging Philips hier niet mee verder. Op het terrein van de sterkstroom hadden gespecialiseerde firma's als Westinghouse en Siemens immers een veel grotere markt en derhalve konden ze goedkoper produceren.[45] Dat Philips traag was op het gebied van silicium komt mede door het feit dat met name de militairen geïnteresseerd waren in siliciumtoepassingen en die vormden niet de klientèle van Philips. Aan de

43. Zie noot 30.
44. Zie noot 20.
45. Interview Van Vessem, 26 augustus 1981.

eisen van de eigen produkten kon Philips nog met de germaniumtechnologie tegemoet komen.[46]
Ofschoon het oplossen van problemen genoemd werd als één van de taken van het Nat. Lab., varieerde de verhouding tussen de groep belast met het onderzoekswerk en de korresponderende industriële groep van geval tot geval. Door zijn onafhankelijke positie kende het onderzoek binnen het Nat. Lab. niet de grenzen zoals die tussen de HIG's bestonden. Dit bracht echter het risiko met zich dat onderzoek en produktie ver uit elkaar groeiden. Dat was niet het geval bij de halfgeleiders. De seleengroep werkte nauw samen met de produktieafdeling. Esseling bijv. verhuisde van het Nat. Lab.naar de industriële ontwikkelingsafdeling (Premo) en ging met deze groep mee naar met de produktieafdeling. Esseling bijv. verhuisde van het Nat. Lab. naar de om te helpen het ontwikkelingswerk weer op gang te krijgen.[47] Ook bij germanium- en silicium-ontwikkelingen was er veel kontakt tussen het Nat. Lab. en de fabriek. Haayman bijv. had regelmatig (om de veertien dagen) besprekingen in Nijmegen. Bovendien gingen er steeds mensen van het Nat. Lab. naar de fabriek en liepen mensen uit Nijmegen stage aan het Nat. Lab.[48]

I.4 *industriële laboratoria*

Zoals gezegd heeft iedere hoofdindustriegroep zijn eigen laboratorium. Het vormt als het ware de schakel tussen het Nat. Lab. en de feitelijke produktie. Het Nat. Lab. levert namelijk een produkt dat in principe werkt. Er zijn al prototypes gemaakt. Het ontwikkelingswerk bestaat in het klaar maken van het produkt voor de eigenlijke produktie in de fabriek. Er wordt ook gewerkt aan verbetering van het produkt en de produktieprocessen. In 1947 werkten negen mensen aan de ontwikkeling van seleen en veertien in de produktiesektor. Om een indruk te geven van Philipsaktiviteiten op het gebied van de (silicium)halfgeleiders binnen de HIG enkele getallen.[49] Op 28 februari 1962 waren op dat terrein 12239 mensen werkzaam, waarvan 6429 direkt in de fabrikage. Aan het ontwikkelingswerk (lab.) waren toen 1654 mensen bezig. Van de resterende 4146 werkten er 1294 indirekt aan de fabrikage en 2852 op de hulpafdelingen. (De ontwikkelingskapaciteit was in 1961 samengesteld uit: Nijmegen 720, Engeland 450, Duitsland 100, Frankrijk 200 en Zwitserland 30 mensen. Van die 720 in Nijmegen werkten er dan 200 aan fysisch/chemische ontwikkelingen, 50 aan technologie van de grote aantallen, 90 aan elektrische ontwikkeling, 170 bij de technologische groep, 110 aan kwaliteitsverbetering en keuring en 100 aan de ontwikkeling van

46. Interview L.J. Tummers, 11 maart 1982.
47. Zie noot 11.
48. Zie noot 12.
49. PCA 811: 65 Halfgeleiders (1953-1966).

meetapparatuur). Het zal duidelijk zijn dat zulke grote aantallen zwaar wegen op de prijs van het produkt. Het belang van dit werk kan echter afgezien worden aan het aantal patenten dat verkregen is door deze onderzoekers: o.a. door Esseling, Van Vessem, J.A. Manintveld, W. Baas, N.B. Speyer.[50] De band tussen het Nat. Lab. en de ontwikkelingslaboratoria wordt als het ware van zelf in stand gehouden door de jaarlijkse doorstroming (gemiddeld 4%) vanuit het Nat. Lab. naar laboratoria (fig. 2).

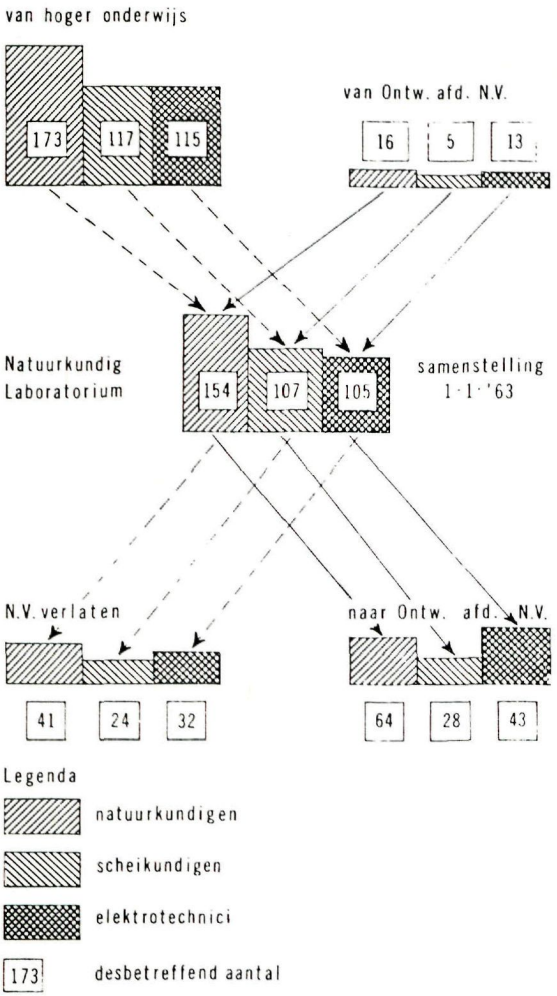
II. *Externe relaties*

II.1 *de externe relaties van Philips*

Een Nederlandse industrie zoals Philips moet werken onder speciale sociaal-ekonomische omstandigheden. Zo is de thuismarkt erg beperkt. Binnen Europa liggen niet alleen vele grenzen, maar er gelden voor verschillende landen ook restrikties, die Philips o.a. dwingen elders fabrieken te beginnen. Anders is het namelijk onmogelijk in die markten te penetreren. De ekonomische krisis van de dertiger jaren vergrootte die neiging tot protektionisme van Europese regeringen en men kan niet zeggen dat de Nederlandse regering een erg aktieve politiek voerde om haar industrie te beschermen.[51] Bovendien gaven (en geven) vele nationale staten belangrijke orders voor militaire doeleinden aan hun eigen industrieën. Daardoor waren die vaak in staat om een groot deel van hun onderzoeks- en ontwikkelingskosten door de overheid te laten betalen. Deze faktoren beïnvloedden in hoge mate de konkurrentiepositie van Philips op de Europese markt. Bovendien verschenen de Amerikaanse firma's in het midden van de vijftiger jaren op deze markt via hun Europese vestigingen. Desondanks slaagde Philips erin tijdens deze periode de eerste plaats op de halfgeleidermarkt te behouden. "Door tijdig (d.w.z. zolang de verkoopprijs nog hoog was) te beginnen met leveren hebben wij in Nederland alle ontwikkelingskosten kunnen dekken".[52] Niet onvermeld dient te blijven, dat het Europese ekonomische klimaat lang niet zo innovatief is als dat van de USA. De Europese markt loopt met die van Amerika vergeleken enige jaren achter. Dat is ook het geval op het gebied van kommunikatiesystemen, een vitale sektor voor een halfgeleiderindustrie.

Philips heeft vrijwel altijd goede kontakten gehad met zijn konkurrenten: General Electric, Philco, Radio Corporation of America (RCA), Siemens, Westinghouse, Matsushita en vooral met Bell. Er waren over en weer veel persoonlijke kontakten. Regelmatig werden bezoeken afgelegd. Voor licen-

50. NL oktrooi 79448 (25 oktober 1950); 87748 (12 december 1953); 106697 (26 mei 1956); 106110 (24 augustus 1956); 108502 (8 april 1957); 110945 (1 augustus 1958) e.a.
51. Rede Anton Philips, 16 maart 1927, samengevat in: *Sterkstroom* 5(1927) 82 vlg.
52. PCA 75:811.65 Halfgeleiders (1953-1956).



De gemiddelde leeftijd bij intrede vanuit het hoger onderwijs in het Natuurkundig Laboratorium is 28 jaar en die bij de overgang naar de ontwikkelingsafdeling 35. In de aantallen die de N.V. hebben verlaten (links onder) zijn begrepen zij die gepensioneerd zijn en zij die een gewoon hoogleraarschap hebben aanvaard.

Fig. 2. Mutaties van en naar het Natuurkundig Laboratorium in de periode 1946-1963. Ontleend aan: H. Bienfait, "Externe en interne communicatie bij het onderzoek", *Mededelingen Directie Tuinbouw* 26(1963) 542-551.

tie-overeenkomsten met andere firma's was de eigen oktrooipositie van Philips erg belangrijk. Philips bereikte bijv. op 21 augustus 1947 met Bell een 'Main Agreement' op basis van zijn eigen magnetische materialen. Een overeenkomst die erg gunstig voor Philips bleek te zijn, omdat daar ook de zgn. 'resistors' onder vielen... en dus ook de transistor die een paar maanden later in de Bell-laboratoria uitgevonden werd. Bij zijn pogingen om overeenkomsten met andere concerns te sluiten gaf Philips steeds de voorkeur aan een goede verstandhouding boven een maximaal profijt.[53]

II.2 *de externe relaties van het Natuurkundig Laboratorium*

Het Philips-halfgeleideronderzoek maakt deel uit van een grotere internationale inspanning op wetenschappelijk en industrieel gebied. Het meest in het oog springend is dat voor de ontwikkelingen op het gebied van de keerlaaggelijkrichters in het vóór-germanium tijdperk en van de germanium/silicium-technologie. In de theoretische diskussies op het eerste gebied speelde Philips een ondergeschikte rol. Van Geel droeg bij tot een verder begrip van het keerlaagmechanisme in het algemeen door zijn theorie over de 'koude emissie': deze wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van een hoog elektrisch veld dat zijn oorsprong dankt aan het feit dat de over de halfgeleider aangelegde spanning in feite over een heel klein gebied staat: 10^{-5} cm (de keerlaag). Daardoor is het voor de elektrische ladingsdragers mogelijk om te tunnelen door de 'keer'-potentiaal. Deze verklaring voldeed toentertijd niet; ze werd aktueel met het verschijnen van de Esaki-diode.[54] Een geheel andere bijdrage tot het bijdragen van halfgeleiders met volledig of gedeeltelijk gevulde 3d-elektronenschillen kwam van Verwey en De Boer. Ook hun bijdrage kan alleen op zijn waarde geschat worden binnen de kontekst van de gehele diskussie op dit terrein. Deze diskussie werd gedomineerd door Duitsers (o.a. W. Schottky en C. Wagner) en Engelsen (o.a. A.H. Wilson en R.W. Gurney). Het werk van Verwey, Haayman en F.C. Romeyn over spinellen en geleide valentie is geheel en al een Philips-produkt. Het meeste ervan kwam tot stand gedurende de tweede wereldoorlog toen er vrijwel geen mogelijkheden voor externe kommunikatie waren. Hun bijdrage was zowel theoretisch als praktisch: ze kombineerden het theoretisch inzicht zoals dat geformuleerd was door Verwey en De Boer met de ervaring op het gebied van halfgeleiders en de verworven kennis op het gebied van de fluorescentie; tevens leidde het tot een konkreet produkt. Het werk op het gebied van germanium/silicium is vrijwel geheel bepaald door Amerikanen, niet alleen theoretisch (o.a. W. Shockley, J. Bardeen) maar ook praktisch (o.a. W.H. Brattain, Atalla). Hier waren Philips' prestaties vooral technisch van aard. Philips slaagde er in de nieuwe

53. Verbong, *De ontwikkeling*, 114 vlg.
54. Zie noot 9.

technologie zo snel meester te worden dat deze niet onderdeed voor al zijn konkurrenten, wat een prestatie genoemd mag worden. Toch werd door de onderzoekers na de inwerktijd de behoefte gevoeld niet alleen maar achter anderen aan te hollen, maar ook zelf kreatief werk te verrichten.[55] Dat laatste lukte met name met de uitvinding van de Push Out Base-transistor door de Nat. Lab.-onderzoekers Ploos van Amstel en P.J.W. Jochems. Deze POB-transistor hield het Nat. Lab. toen zo in zijn ban, dat het voor een ogenblik het kontakt met de ontwikkelingen elders (met name van de IC) verloor. De industrieel-wetenschappelijke relaties met andere firma's waren over het geheel erg goed op die gebieden waarin Philips geïnteresseerd was. Men was op de hoogte van wat elders aan de gang was. Niet alleen door het bestuderen van de literatuur en het bezoeken van andere laboratoria, maar ook door deel te nemen aan en bij te dragen tot internationale konferenties.

II.3 *de positie van Philipsonderzoekers binnen de wetenschappelijke wereld*

Natuurlijk betrok Philips haar academici van de universiteiten en hogescholen. Regelmatig kwam Philips daar poolshoogte nemen, op zoek naar geschikte studenten. Het chemie-werk van Philips had echter zijn eigen fysisch/chemische kleur.[56] In het wetenschappelijk onderwijs werd tot het begin van de vijftiger jaren aan halfgeleiders nog geen aandacht besteed. Romeyn bijv. die scheikunde studeerde bij de oud-Philipsman Van Arkel, had vóór hij in 1943 in Eindhoven begon, nog nooit van halfgeleiders gehoord. Dat betekent dat Philips op dit gebied haar mensen zelf moest opleiden. Niet dat het universitaire onderzoek als geheel te theoretisch was en principieel geen aandacht wilde besteden aan praktische problemen. Het werk van Ornstein aan de Utrechtse universiteit bijv. over de diëlectrische verliezen van olies[57] en zijn pogingen om een instituut van de grond te krijgen voor technisch en fysisch onderzoek (o.a. voor kwaliteitskontrole van materialen)[58] getuigen van het tegendeel. Het is echter denkbaar dat de universitaire indeling van disciplines weinig mogelijkheden bood voor onderzoek van het type dat de Nat.Lab.-chemici verichtten.

Dat dit wel degelijk mogelijk was, blijkt uit verschillende buitenlandse voorbeelden van universitair onderzoek op het gebied van halfgeleiders (bijv. R. Hilsch, R.W. Pohl en Wilson). Maar zoals gezegd: op de Nederlandse universiteiten werd op dit gebied niets gedaan. Vandaar dat

55. Verbong, *De ontwikkeling*, 58.

56. Interview A.J. Dekker, 16 juni 1981.

57. L.S. Ornstein, "Daadwerkelijke samenwerking tusschen de Universiteiten, de Technische Hoogeschool en de Industrie", *Sterkstroom* 5(1927) 79.

58. L.S. Ornstein, "Wetenschap en Maatschappij", voordracht 9 oktober 1929, *Polytechnisch Weekblad* 47(1929) 835-838.

er geen enkele mogelijkheid was voor een vorm van wetenschappelijke interaktie.

Dat betekent niet dat er totaal geen kommunikatie was tussen de Nat. Lab.-onderzoekers en de universitaire wereld. Er waren vele intensieve informele kontakten, wat ook makkelijk kon omdat in de vooroorlogse jaren het aantal natuurwetenschappers nog erg klein was. Bovendien waren er de kontakten die liepen via de wetenschappelijke verenigingen. Zo presenteerde Van Geel op 2 juni 1934 in Eindhoven zijn werk[59] aan tachtig leden van de Nederlandse Natuurkundige Vereniging bij hun bezoek aan het Nat. Lab. Op 26 november 1954 hield Haayman in Den Haag een lezing[60] o.a. over zijn werk aan spinellen en geleide valentie getiteld: 'zwarte keramiek', voor de leden van de Koninklijke Maatschappij voor Natuurkunde. Aan de andere kant werden universitaire wetenschappers uitgenodigd in het Nat. Lab. een voordracht te komen houden. Zo werd Casimir gevraagd uit Leiden te komen om een serie voordrachten te geven voor Philipsmensen over nieuwe ontwikkelingen in de natuurkunde.[61] De Nederlandse wetenschappelijke gemeenschap werd ook op de hoogte gehouden van het Philipsonderzoek door publikaties in nationale en internationale tijdschriften. Philips begon zelfs eigen tijdschriften; in 1934 startte op instigatie van Frits Philips[62] het Philips Technisch Tijdschrift; na de oorlog (oktober 1945) kwam daar Philips Research Reports nog bij. Ook organiseerde het Nat. Lab. eigen konferenties.

Zeker moet ook genoemd worden de uitwisseling van onderzoekers tussen universiteit en Nat. Lab. Zo kwam Casimir vanuit Leiden in 1942 bij Philips. Maar aanvankelijk ging het verkeer voornamelijk in de andere richting. Al in 1925 werd Zwikker hoogleraar aan de TH Delft; in 1934 verliet Van Arkel[63] het Nat. Lab. om hoogleraar in Leiden te worden. Burgers ging op zijn beurt in 1940 naar de TH Delft en nam zijn onderzoek mee. Druyvesteyn volgde hem eind 1945, maar begon in Delft een geheel nieuw onderzoek. A.J. Dekker kwam via Vancouver aan de Rijksuniversiteit in Groningen te werken. Stieltjes werd buitengewoon hoogleraar aan de TH Delft, terwijl al veel vroeger (1931) Holst benoemd was tot biezonder hoogleraar in de natuurkunde te Leiden.[64] Tot 1955 waren 18 Philipsmensen

59. W.Ch. van Geel, "Koude emissie van electrolyten", *NTvNk* 1(1934) 193.

60. P.W. Haayman, "Zwarte keramiek", voordracht Koninklijke Maatschappij voor Natuurkunde onder de zinspreuk "Diligentia", 6 november 1954, *Natuurkundige Voordrachten* 12(1934) 59-67.

61. Verbong, *De ontwikkeling*, 28.

62. F. Philips, *45 jaar met Philips* (Rotterdam: Donker, 1976), 80 vlg.

63. A.E. van Arkel hield op 26 oktober 1934 zijn intreerede: *NTvNk* 1(1934) 273-287.

64. G. Holst hield bij die gelegenheid (5 februari 1930) zijn oratie: "Industrielaboratoria", zie noot 3.

elders hoogleraar geworden en 5 bezetten een buitengewone of biezondere leerstoel.[65] Andere voorbeelden van interaktie tussen Philips en het Hoger Onderwijs zijn Verwey, die na zijn pensioen curator werd aan de Utrechtse Universiteit en L.J. Tummers, die als student van Druyvesteyn bij Stieltjes op het Nat. Lab. kwam voor zijn afstudeerwerk. Maar zoals reeds gezegd: ondanks al deze kontakten en die via onofficiële kanalen duurde het nog geruime tijd voordat de universiteiten zich op het gebied van halfgeleiders begaven. Als eerste begon G.W. Rathenau in 1952 hiermee door aan de Gemeentelijke Universiteit van Amsterdam te gaan doceren in de vaste-stof fysika. Bovendien vonden er uitwisselingen plaats van medewerkers niet alleen met de eigen buitenlandse laboratoria, maar ook met die van andere firma's. Het kontakt met het buitenland verliep via publikaties, bezoeken en konferenties. Een voorbeeld hiervan is de rol die Philipsmensen gespeeld hebben en nog steeds spelen binnen de European Physical Society in het algemeen en in de vele speciale kommissies ervan.

III. *De funktie van het wetenschappelijk onderzoek voor Philips*

III.1 *halfgeleiders als voorbeeld*

Het Philipswerk aan halfgeleiders in de periode 1930-1955 kan in drieën verdeeld worden: het keerlaag-halfgeleideronderzoek[66] in de periode vóór het germanium; het werk aan spinellen en geleide valentie; en de germanium/silicium-technologie.

Wat het eerste betreft heeft het Nat. Lab. aandacht besteed aan oxide-verbindingen en seleen-halfgeleiders. Van Geel deed veel onderzoek naar koper(I)oxide en koper(I)jodide in een poging om enig inzicht te krijgen in de werking ervan. Verwey en De Boer waren in staat een kwantummechanisch model te geven van de in het spel zijnde elektronenstruktuur. Dit theoretisch inzicht was echter niet in staat het experimentele 'oxide'-werk een stap verder te brengen en de feitelijke oktrooipositie van Westinghouse had grote inspanningen in deze richting al onaantrekkelijk gemaakt. Daarom werd de meeste energie gestoken in de andere bekende halfgeleider: seleen. Van Geel en Esseling en vanaf 1942 Ploos van Amstel werkten hard om goed werkende gelijkrichters en fotocellen te maken. Elders is hiervan uitvoerig verslag gedaan.[67] Van 1932 tot 1952 zijn allerlei experimenten uitgevoerd om een beter begrip van de werking te krijgen, om de van belang zijnde eigenschappen ervan te verbeteren en om geschikte toepassingen te vinden. De voornaamste problemen hadden te maken met het geleidend vermogen van het seleen en de stabiliteit van de cel. Om het geleidend

65. Verwey, "Toespraak", 20.

66. Aanvankelijk wordt de werking van een halfgeleider toegeschreven aan zijn keer- of sperlaag.

67. Schopman, "The Dutch".

vermogen te verbeteren is geen chemische stof van Haaymans chemische voorraad ongebruikt gelaten. Bovendien werd het seleen verhit, gekristalliseerd, verdampt, samengeperst enz. Stabiliteit vormde het andere hoofdprobleem. Het cadmium van de legering die gebruikt werd als kathode, bleek het seleen geleidelijk aan te tasten. Alle mogelijke soorten lakken bracht men aan tussen het seleen en de legering om zo te proberen het doordringen van het cadmium te verhinderen. Het bleek niet effektief; daarom werd op de laklaag een afzonderlijke metaallaag aangebracht om het seleen te beschermen. Aan de andere kant moesten de cellen in verband met verschillende toepassingen aan uiteenlopende eisen voldoen. Dat was geen eenvoudige opgave. Hoewel Philips er na eindeloos proberen in slaagde een aantal betrouwbare produkten op de markt te brengen (fotocellen, 12x12 cm^2 gelijkrichtplaten, modulatoren), bleven de basisproblemen onopgelost. Zelfs aanvullend fundamenteel onderzoek, zoals dat van Nijland, was niet in staat de industriële produktie in belangrijke mate te verbeteren. Dit seleenwerk is een prachtig voorbeeld van onderzoek dat niet geleid wordt door een theoretisch inzicht. Het was als een tasten in het donker. 'Alchemie' wordt het door verschillende voormalige onderzoekers genoemd. Van Geel, die een uitstekend experimentator was, leed meer en meer onder dit niet kunnen begrijpen. Als een goede theorie ontbreekt, is het niet onmogelijk om tot bruikbare produkten te komen, maar er is weinig 'flexibiliteit'. Het zal dan erg moeilijk zijn werkelijk nieuwe wegen te vinden. Bij het werk aan spinellen en geleide valentie was de situatie anders. Daar was de theorie ter beschikking die in 1937 door Verwey en De Boer geformuleerd was. Daarin lieten ze zien dat een verschijnsel als het geleidend zijn van koper(I)oxide en koper(I)jodide een gevolg was van een afwijking in de stoichiometrische samenstelling van deze stoffen. Een verklaring die voortbouwde op hun uitleg in 1936 van het feit dat Fe_3O_4 in tegenstelling tot Mn_3O_4, geleidend was. Zoals al eerder beschreven, werd deze afwijking van de stoichiometrie in de halfgeleiderliteratuur toegeschreven aan 'verontreinigsniveaus', terwijl hetzelfde begrip gebruikt werd bij de fluorescentie om de aanwezigheid van 'vreemde' atomen aan te geven. Dit bracht Verwey, Haayman en Romeyn ertoe zich af te vragen of het niet mogelijk zou zijn zo'n afwijking van de stoichiometrie te bereiken door het introduceren van 'vreemde' ionen en op deze manier van stoichiometrische stoffen niet-stoichiometrische halfgeleiders te maken. Daarvoor was nodig dat de introduktie van een vreemd ion dezelfde situatie kreëerde als een afwijking van de stoichiometrie bewerkte, namelijk een verandering in de valentie van een bepaald aantal van de oorspronkelijke kristalionen. Met andere woorden: die oorspronkelijke ionen moesten van valentie kunnen veranderen en de valentie van het vreemde ion moest zodanig zijn dat het inbrengen ervan een valentieverandering bij de eerstgenoemde teweegbracht. Daarbij mocht natuurlijk de omvang van het geïntroduceerde ion niet teveel afwijken van

dat van het originele omdat het anders niet diens plaats in het rooster kon overnemen. Door de toepassing van dit idee slaagden Verwey, Haayman en Romeyn erin om stabiele halfgeleider-weerstanden te maken, de zgn. thermistors, die gemakkelijk en goedkoop te maken waren. Dit idee diende tevens als leidraad bij het verdere onderzoek, wat niet wil zeggen dat voor de praktische uitwerking geen uitgebreid laboratoriumwerk nodig was. Dat moge blijken uit de komplexiteit van de bereidingsvoorschriften waarvan er elders[68] enige zijn weergegeven. Maar desondanks was er nu een theoretisch houvast, en daarmee een aanduiding van de richting voor het doen van verder onderzoek. Aanvankelijk voldeed de beschreven eenvoudige vuistregel. Maar bij toepassing ervan op bariumwolframaat werd duidelijk dat deze stelregel te eenvoudig was en een subtielere benadering nodig was. Maar in tegenstelling tot de werksituatie met seleen was hier iets om vanuit te gaan. De stelregel initieerde zelfs een hele onderzoeksrichting.

Het derde belangrijke halfgeleidergebied waarop Philips in deze periode een bijdrage van gewicht leverde, was de germanium/siliciumtechnologie. Hier was de situatie weer geheel anders. Voor de tweede wereldoorlog had Philips geen aktiviteit van enig belang ontplooid op het gebied van germanium en silicium en gedurende de oorlog was dat vanwege het mogelijke belang voor de oorlogvoering onacceptabel, zowel aan Duitse als aan Nederlandse zijde. Na de oorlog moest Philips konstateren dat er veel gebeurd was op het gebied van germanium met name in de USA. Philips stortte zich daarom meteen in de race en slaagde erin een kommercieel gezien zeer suksesvolle germaniumdiode te produceren.

Eind 1947 vonden drie fysici van Bell de transistor uit. De leiding van het Nat. Lab. realiseerde zich bij de eerste publikatie erover in 1948 meteen welke verreikende konsekwenties deze vinding voor Philips zou hebben. Ze richtte daarom zo snel mogelijk een speciale transistorgroep op onder leiding van Stieltjes, maar ondanks verwoede pogingen slaagde Philips er niet in zich deze technologie eigen te maken. Pas na het symposium van Bell in 1952 en het bezoek van Van Vessem aan RCA kreeg Philips het onderzoek, de ontwikkeling en de produktie van de transistor werkelijk van de grond. Aanvankelijk bestond het Philipswerk slechts uit het kopiëren van de produkten van de (Amerikaanse) konkurrenten. Rond 1954 was er de uitvinding van de z.g. hoogrendement-emittors en de introduktie van de hermetisch gesloten omhulling, maar het duurde tot 1957 voordat het Nat. Lab. erin slaagde een belangrijke ontdekking te doen: de Push Out Base-transistor. Deze uitvinding bleek kommercieel gezien een groot sukses. Maar het markeerde tegelijk het einde van het germaniumtijdperk. Van toen af koncentreerde het onderzoek zich op silicium, waarvan de basistechnologieën gedemonstreerd waren op het tweede licentiesymposium van Bell in

68. Schopman, "The Philips' contribution".

1956. De funktie van het Nat. Lab. bij deze technologische ontwikkeling was niet zozeer theoretisch van aard. Zijn taak was veeleer zo snel mogelijk te leren van ervaringen elders opgedaan en deze om te zetten in nieuwe en konkurrerende ontwerpen en toepassingen. Ofschoon hier een theorie beschikbaar (Shockley 1950)[69] en de basistechnologie bekend was (Bell-symposia 1952, 1956), bleek het een enorme opgave ontwerpen te maken volgens de gewenste specifikaties. Er viel nog heel wat te proberen, maar er was vooruitgang, hoewel niet zo snel als Philips gehoopt had. Hier blijkt nog eens hoe belangrijk de aanwezigheid van theoretisch inzicht is, maar ook dat de weg van een fundamenteel begrijpen naar een industrieel produkt nog een lange en zeker geen rechtlijnige is. In elk stadium dienen zich meerdere technische alternatieven aan, zowel van beperkte (bijv. koeling) als van ingrijpende aard (bijv. niet meegaan met het suksesvolle Philco-procédé, maar mikken op de nog in ontwikkeling zijnde epitaxiale transistor).[70] Essentieel voor een adekwate reaktie was de ervaring die Philips zich op dit gebied al verworven had. Daardoor kon Philips zich heel gemakkelijk mengen in de germanium/siliciumrace. De onderzoekers konden zich de nieuwe kennis snel eigen maken en deze ook toepassen, "omdat wij door ons eigen onderzoek op de hoogte waren van de kennis tot op dat moment. We hadden geen moeilijkheid met de gebruikte begrippen: we kenden de taal!".[71]

III.2 *de funktie van wetenschappelijk onderzoek*

Uit de korte weergave van deze drie verschillende ontwikkelingen moge duidelijk geworden zijn wat hierbij de rol was van het Nat. Lab. Bij de spinellen en de geleide valentie heeft Philips' Nat. Lab. optimaal gefunktioneerd. Het fundamentele inzicht, het leidende idee en de praktische toepassingen kwamen alle drie uit zijn koker. Hierbij bleken de reeds opgedane halfgeleiderervaring (o.a. met seleen) en de ervaring op andere onderzoeksgebieden van het Nat. Lab. (fluorescentie) essentieel te zijn. Maar hetzelfde kan gezegd worden van de technische kennis en hulp die in het laboratorium aanwezig waren.

Bij de keerlaag-halfgeleiders vóór het germanium was de situatie anders. Ofschoon de Nat. Lab.-chemici op grond van buitenlands theoretisch werk in staat waren inzicht in de werking van enkele van deze halfgeleiders te geven, bleek daar een wetenschappelijk ondersteunde produktie niet mogelijk. Wat niet wegneemt dat er veel experimenteel onderzoek verricht werd, met name aan seleen. Zo slaagde het Nat. Lab. erin toch enige nuttige produkten te leveren aan de industriële tak van Philips. Het wist daarbij

69. W. Shockley, *Electrons and holes in semiconductors* (Toronto: van Nostrand, 1950).
70. Zie noot 46.
71. P.W. Haayman, privé-mededeling 6 november 1981.

hetzelfde niveau te bereiken als dat van de Süddeutsche Apparate Fabriken (SAF) en later dat van andere konkurrenten. Toen ging Philips echter geleidelijk terrein verliezen, doordat het vanaf 1952 al zijn kaarten zette op germanium en silicium en daarom eigenlijk niet bereid was zich echt in te spannen voor seleen (zoals Siemens dat deed).

Bij dat germanium en silicium was de situatie weer anders. Dit keer kwam niet alleen de theoretische kennis van elders, maar ook de technologische. Maar dankzij de wetenschappelijke kennis die binnen het Nat. Lab. aanwezig was, de ervaring opgedaan in het halfgeleiderwerk en de uitstekende technische uitrusting van het laboratorium, waren de Philipsonderzoekers in staat niet alleen het werk dat elders gedaan werd (bijv. de transistor) naar waarde te schatten, maar ook een nieuwe technologie in korte tijd meester te worden. Daardoor kon Philips zijn produkten zo vroeg op de markt brengen, dat het de ontwikkelingskosten terug kon verdienen (terwijl vele andere concerns dat gesubsidieerd kregen in de vorm van militaire of overheidsopdrachten). Hieruit komt de funktie van het Nat. Lab. voor een industrie als Philips duidelijk naar voren. Omdat het beschikt over de wetenschappelijke kennis op de van belang zijnde gebieden, kan het Nat. Lab. bijdragen aan uitbreiding van die kennis (Van Geel, Verwey en De Boer), kan het voor die kennis toepassingen vinden in het maken van produkten die passen binnen Philips' interessegebied (bijv. thermistors), maar kan het zich ook een technologie die elders ontwikkeld is, eigen maken. Als men weet hoe vitaal de faktor tijd is voor industriële aktiviteiten,[72] dan is duidelijk dat het cruciaal is voor een industrie belangrijke ontwikkelingen elders in een zo vroeg mogelijk stadium te onderkennen en te begrijpen. In het geval van germanium en silicium realiseerde de leiding van het Nat. Lab. zich onmiddellijk het belang van de uitvinding van de transistor en reageerde dienovereenkomstig. Het is waar dat aan het begin de mogelijkheden van de germaniumtechnologie overschat werden, maar de eerste reaktie van Verwey op het transistorartikel — dat deze uitvinding de gehele buizenindustrie op zijn grondvesten zou doen schudden — is maar al te juist gebleken.

Volgens Braun[73] wordt in de mikro-elektronika industrie steeds minder ruimte gegeven aan wetenschappelijk onderzoek. Vandaar dat de vraag rijst: kan een industrie als Philips voortbestaan zonder wetenschappelijk onderzoek? Het is tenslotte een kostbare zaak en maakt de eindprodukten van Philips duurder. Toch is het een traditie binnen Philips, een traditie die gesterkt is door ervaring[74] (een rij van uitvindingen met oktrooi), een traditie die zelfs de krisis van de dertiger jaren overleefd heeft. Na de oorlog breidde

72. Braun, *Revolution*, 167.
73. Braun, *Revolution*, 138 vlg.
74. Voorhoeve, "Over de organisatie", 348.

Philips zijn onderzoeksaktiviteiten zelfs uit naar Engeland, Duitsland (Hamburg en Aken), Frankrijk en de USA. Het is ongetwijfeld niet gemakkelijk het juiste samenspel tussen industriële en wetenschappelijke aktiviteiten te vinden (zoals binnen zuiver wetenschappelijke instituten het op elkaar afstemmen van theoretisch en experimenteel onderzoek maar moeizaam gebeurt). Maar als het goed gedaan wordt, verzekeren ze elkaars bestaan. Een elektronische industrie zou uit zichzelf de aanval van de kant van de halfgeleiderontwikkeling niet overleefd hebben. Nu maakte het kommerciële sukses van de buizen het onderzoek en de ontwikkeling van halfgeleiders mogelijk, wat zich tot een nieuwe industrietak ontwikkelde binnen de oude HIG, die veel van de oude buizenfunkties kon overnemen. Op zijn beurt maakte het sukses van deze nieuwe industrietak een voortzetting van het werk van het Nat. Lab. mogelijk ten behoeve van de volgende technologie. Het is natuurlijk moeilijk te voorspellen hoe lang onderzoek vruchtbaar zal zijn voor een industrie als Philips. Dit zal echter zeker het geval blijven zolang onderzoek en ontwikkeling nieuwe produkten kreëren door toepassing van (nieuwe) wetenschappelijke kennis en zolang de oktrooien gebruikt kunnen worden in de onderhandelingen met andere firma's.[75]

IV. *Theoretische kanttekeningen*

IV.1 *market pull leidt tot market push*

Uit de elders gegeven beschrijving van Philips' aktiviteiten op het gebied van de halfgeleiders komt duidelijk naar voren, dat het initiatief aan de kant van de markt lag. Alle drie de halfgeleiderontwikkelingen in deze periode werden geïnitieerd door een vraag van de marktzijde. Er waren wel produkten op de markt die in de behoefte voorzagen, maar die lieten veel te wensen over. De buizen waren groot, gebruikten veel energie, waren kwetsbaar, duur en hun levensduur was kort; de niet-stoichiometrische weerstanden konden in grote aantallen maar moeilijk reproduceerbaar gemaakt worden. De produkten die ontwikkeld werden om aan deze behoeften te voldoen, schiepen tegelijk volkomen nieuwe mogelijkheden. Zo werd het seleen niet alleen als gelijkrichter en fotocel toegepast, maar ook als (de)-modulator. De thermistors waren niet slechts weerstanden die goed reproduceerbaar en goedkoper gemaakt konden worden, maar hun grote negatieve temperatuurkoëfficiënt maakte ze ook geschikt om temperatuuronafhankelijke weerstanden te maken en om temperatuurwisselingen aan te geven. Het zal niet nodig zijn in te gaan op de germanium/siliciumtechnologie. De snelle ontwikkeling daarvan gaat nog steeds door en schept voortdurend nieuwe mogelijkheden.

75. Holst, "Industrielaboratoria", 42.

IV.2 *wetenschapsdynamische kanttekeningen*

In de hedendaagse wetenschapsfilosofie worden zovele beweringen gedaan over de manier waarop wetenschap zich zou ontwikkelen, dat de behoefte gevoeld werd een gedeelte ervan meer in detail te bestuderen. Niet dat hieruit dan een algemene theorie over wetenschapsdynamika afgeleid zou kunnen worden. Naar aanleiding van het gedane onderzoek kunnen slechts kanttekeningen gemaakt worden. Het Nederlandse halfgeleiderondersoek is immers maar een fragment van het internationale werk op dit gebied. Bovendien valt de Nederlandse bijdrage eigenlijk in drie delen uiteen, die korresponderen met de beschreven ontwikkelingen. Geen daarvan kende de opbouw van een eigen theorie.

Voor het vóór-germanium keerlaagwerk lag het beginpunt bij enkele experimenteel waargenomen gelijkrichtverschijnselen. Deze waren al in 1874 gekonstateerd, maar kwamen pas in de twintiger jaren in de belangstelling door een groeiende vraag op de markt. Philips was niet de eerste industrie die een studie ging maken van koper(I)oxide[76] en koper(I)jodide, noch was ze de eerste met seleen.[77] Het Nat. Lab. besteedde wel aandacht aan alle bekende gelijkrichtverschijnselen om een beter begrip te krijgen van hun werking. Nat. Lab.-onderzoekers namen deel aan de diskussie hoe deze fenomenen verklaard moesten worden. Van Geel vergeleek in zijn verklaring gelijkrichten met het effekt van elektrische velden; later beschouwde hij de werking van deze 'koude emissie' als een tunneleffekt. In 1937 gebruikten Verwey en De Boer het kwantummechanische beeld van geheel en gedeeltelijk gevulde 3d-niveaus van koper(I)oxide en koper(I)jodide om een kwalitatieve verklaring te geven van hun gelijkrichtende en fotoelektrische eigenschappen. Hoewel het theoretische model van 'hippende elektronen' een inzicht gaf in de werking van koper(I)oxide en koper(I)jodide, was deze kennis niet technologisch effektief, d.w.z. het droeg niet bij tot een verbetering van de apparaten. Aan seleen is pas veel later (gepubliceerd)[78] fundamenteel onderzoek gedaan maar ook dat was niet industrieel toepasbaar. Ondanks het feit dat elk theoretisch inzicht ontbrak, heeft Philips toch geprobeerd juist van seleen bruikbare apparaten te maken en niet van koper(I)oxide en koper(I)jodide. Dat kwam door de oktrooipositie. De seleengelijkrichters bleken zulke bruikbare eigenschappen te bezitten dat

76. NL oktrooien Westinghouse 19973 (18 maart 1926); 21635 (30 januari 1926); 23974 (29 april 1927).

77. NL oktrooi Süddeutsche Apparate Fabriken 32855 (4 december 1928).

78. F. de Boer, "Some characteristics of trigonal selenium crystals obtained from the vapour phase", *Philips Research Reports* 2(1947) 349-351; id., "On the electrical conductivity of selenium crystals", ibid., 352-356, L.M. Nijland, *Some investigations on the electrical properties of hexagonal selenium* (proefschrift, Amsterdam, 1954); vgl. *Philips Research Reports* 9(1954) 259-294.

ook verschillende andere firma's zich op dit terrein begaven. Maar de produktie bleef een resultaat van technisch proberen. Het is de vraag of de seleenproduktie een voorbeeld is van pre-paradigmatische wetenschap,[79] al vertoont deze ontwikkeling er alle tekenen van. Bekeken zou moeten worden of deze fase door een paradigmatische gevolgd werd. Anders verdient het de voorkeur — en dat geldt zeker voor seleen — dit met Ravetz[80] een onrijp en ineffektief wetenschapsgebied te noemen. Want zoals Druyvesteyn het formuleerde: "ze zijn nooit uit het experimentele stadium gekomen".[81]

De modellen ontwikkeld door De Boer en Verwey bleken wel van nut voor de tweede halfgeleideraktiviteit van Philips. De geleidende eigenschappen van Fe_3O_4 en de isolerende van Mn_3O_4 konden verklaard worden door hun model van 1936. Dit model vormde de leidraad voor het Philipsonderzoek, dat resulteerde in de produktie van spinellen van gewenste specifieke weerstand. Het leidde bovendien tot het bovengenoemde model van 1937, dat gekombineerd met de ervaring op het gebied van de fluorescentie de ontwikkeling van de geleide valentie methode mogelijk maakte, waardoor reproduceerbare thermistors goedkoop gemaakt konden worden. Is deze ontwikkeling een voorbeeld van gefinaliseerde[79] wetenschap? De basistheorie is de kwantummechanika zoals die kort te voren ontwikkeld was. Daarop hadden Schottky, Wilson e.a. hun elektronentheorie voor metalen gebouwd, die op haar beurt weer door De Boer en Verwey uitgebouwd was voor halfgeleiders en isolatoren. Maar deze uitbreiding was niet zozeer gemaakt omdat zij bepaalde toepassingen op het oog hadden; hun doel was om met behulp van hun model bepaalde experimenteel gevonden verschijnselen te verklaren. Het kan dus zeker een uitbreiding van de oorspronkelijke basistheorie genoemd worden, maar de 'finis' was begrijpen en niet toepassen. Men kan hier tegenin brengen dat hun doel — de setting van hun onderzoek — toch was om tot betere gelijkrichters en fotocellen te komen. Maar in dat opzicht hebben de theorieën geen vruchten afgeworpen; ze bleken op een onverwachte manier bruikbaar.

> "Dit nu is iets wat men vaak zal vinden: het directe onderzoek wordt geen succes, maar toch worden tijdens het onderzoek nieuwe verschijnselen opgemerkt, die aanleiding worden tot een vinding op een geheel ander gebied (...) Hoe uitgebreider dan ook het veld is der werkzaamheden van de fabriek, die het laboratorium onderhoudt, des te grooter is de kans op een redelijk nuttig effect van het onderzoek".[82]

79. G. Böhme, W. van den Daele en W. Krohn, "Die Finalisierung der Wissenschaft", *Zeitschrift für Soziologie* 2(1973) 128-144.

80. J. Ravetz, *Scientific knowledge and its social problems* (Harmondsworth: Penguin, 1973), 364 vlg.

81. Zie noot 13.

82. Holst, "Industrielaboratoria", 43.

Hier kan het feit dat slechts een beperkte periode bekeken is, misleidend zijn. Het werk aan spinellen en geleide valentie is namelijk geen eindfase, het initieerde nieuw fundamenteel onderzoek. Kröger, Vink, J. Bloem, G.H. Jonker en K.H. Härdtl[83] zetten dit werk bij Philips voort. Dat maakt het onderscheid tussen een basistheorie en een gefinaliseerde theorie willekeurig. Een gefinaliseerde theorie kan namelijk op haar beurt weer een basistheorie worden. Moet de oorspronkelijke basistheorie dan de baselere theorie genoemd worden? Op zichzelf is dit niet katastrofaal voor de 'finalisatie-these', want naast 'basistheorie' komen ook belangrijke noties als 'kompleet' en 'rijp'[84] voor en die zijn historisch bepaald.

De germanium/silicium-technologie is weer een apart geval. Daar is de basistheorie geformuleerd in de publikatie van Shockley. Hoe moet hier het onderzoek dat eruit voortkwam, genoemd worden? Is het toepassing of finalisatie? Uit onderzoek en produktie blijkt duidelijk, dat er nog heel veel werk gedaan moest worden om het basisidee operationeel te maken (daarbij komt ook hier veel zwarte kunst kijken: etsen en smeren). Maar het werk dat in de hier bestudeerde periode verricht is, kan beschouwd worden als toepassing van de theorie. Het hoofdaksent lag namelijk op technische problemen: bijv. hoe éénkristallen te maken; wat is de beste legeermethode om de gedoopte gebieden van emittor en kollektor zo parallel mogelijk te krijgen.

Hiermee is een fase beschreven van de ontwikkeling van buis naar IC, een ontwikkeling die voortdurend van karakter veranderde. Bij de buizen lag de klemtoon op mechanische ontwikkeling, terwijl bij de transistoren de fysisch-chemische eigenschappen dominant waren. Daarna werd de kostenfaktor dominerend en waren het de fysici en schakeltechnici die de ontwikkelingen bepaalden door hun eisen ten aanzien van gewenste eigenschappen. Bij de IC's tenslotte leverden de circuit-ontwerpers de grootste bijdragen.

Deze ontwikkelingen zijn er de oorzaak van dat niet alleen de overgang van buizen naar halfgeleiders voor de meeste mensen moeilijk te voltrekken was, maar dat ook bij de halfgeleiders de ontwikkelingen weer zo snel gingen dat vele mensen ze niet konden volgen. Deze konstatering van Braun[85] wordt door de ervaringen bij Philips bevestigd.

Konkluderend kan men zeggen dat wetenschapsdynamische begrippen kunnen helpen fasen in de ontwikkeling van wetenschappen en technologieën

83. J. Vink, "Bijdragen van het Philips' Natuurkundig Laboratorium tot de chemie van de vaste stof", *Philips Technisch Tijdschrift* 25(1963) 183-205; zie ook noot 71.

84. G. Böhme, W. van den Daele and R. Hohlfeld, "Finalisierung revisited", in: G. Böhme e.a., *Die gesellschaftliche Orientierung des wissenschaftlichen Fortschrittes* (Frankfurt: Suhrkamp, 1978), 202.

85. Braun, *Revolution*, 57; vlg. J. Schopman, "The history of semiconductor electronics — a Kuhnian story?", *Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie* 12(1981) 297-302.

te beschrijven, maar dat deze studie te beperkt is om verdergaande uitspraken te doen, die de aanzet zouden kunnen vormen van een wetenschapsdynamische theorie.

SUMMARY

Science in an industrial context: development and organisation of the semiconductor research of the N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken (1930-1955)

A study has been made of semiconductor research in the Netherlands during the period 1930-1955. Research was only performed by the N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken at Eindhoven, especially within its Natuurkundig Laboratorium (Physical Laboratory). From 1914 Philips spent much attention to scientific research. This is due to its type of products. In the case of semiconductors the laboratory first studied barrier layer semiconductors, in particular selenium. During the second world war new types of resistors were developed as a result of the work on spinels and controlled valency. After the war the germanium technology appeared to have been developed so far that germanium formed the ideal semiconductor material; later it was superseded by silicon. On all these three fields Philips' Natuurkundig Laboratorium played an important role, although a different one in each of the three mentioned developments. In addition it can be said that the function of scientific research was by no means a constant one. In particular, during the last years of the period studied here the position of the Natuurkundig Laboratorium changed considerably.