

# Toepassingsgericht onderzoek in de industrie : de ontwikkeling van kwikdamplampen bij Philips, 1900-1940

**Citation for published version (APA):**

Hutter, J. J. (1988). *Toepassingsgericht onderzoek in de industrie : de ontwikkeling van kwikdamplampen bij Philips, 1900-1940*. [Dissertatie 1 (Onderzoek TU/e / Promotie TU/e), Applied Physics and Science Education]. Technische Universiteit Eindhoven. <https://doi.org/10.6100/IR294593>

**DOI:**

[10.6100/IR294593](https://doi.org/10.6100/IR294593)

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1988

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

**Toepassingsgericht**  
**Onderzoek**  
**in de Industrie**

DE  
ONTWIKKELING  
VAN  
KWIKDAMPLAMPEN  
BIJ  
PHILIPS,  
1900-1940.

**J. J. Hutter**



**J. J. Hutter**

**Toepassingsgericht  
Onderzoek  
in  
de  
Industrie**

*DE ONTWIKKELING*

*VAN*

*KWIKDAMPLAMPEN*

*Bij*

*PHILIPS,*

*1900-1940.*

**CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG**

**Hutter, Jacobus Johannes**

**Toepassingsgericht onderzoek in de industrie: de ontwikkeling van kwikdamplampen bij Philips, 1900-1940 / Jacobus Johannes Hutter. – [S.l.: s.n.]. I11.**

**Proefschrift Eindhoven. – Met lit. opg.**

**ISBN 90-9002515-4**

**SISO 647.6 UDC [001.891.5:621.32](492)"1900/1940"(043.3)**

**Trefw.: kwikdamplampen; Nederland; geschiedenis; 1900-1940.**

**Omslag ontwerp: Erik van Rosmalen**

# **TOEPASSINGSGERICHT ONDERZOEK IN DE INDUSTRIE**

**DE ONTWIKKELING VAN KWIKDAMPLAMPEN BIJ PHILIPS  
1900 - 1940**

**PROEFSCHRIFT**

**TER VERKRIJGING VAN DE GRAAD VAN DOCTOR AAN  
DE TECHNISCHE UNIVERSITEIT EINDHOVEN, OP GEZAG  
VAN DE RECTOR MAGNIFICUS PROF.IR. M. TELS, VOOR  
EEN COMMISSIE AANGEWEZEN DOOR HET COLLEGE  
VAN DEKANEN, IN HET OPENBAAR TE VERDEDIGEN OP  
VRIJDAG 9 DECEMBER 1988 TE 14.00 UUR**

**DOOR**

**JACOBUS JOHANNES HUTTER**

**GEBOREN TE AMSTERDAM**

**Dit proefschrift is goedgekeurd door de promotoren:**

**Prof.dr.ir. G. Vossers.**

**en**

**Prof.dr. A. Rip.**

**copromotor:**

**Dr.ir. P.A. Kroes.**

INHOUDSOPGAVE.

<i>Voorwoord</i>	5
I. <i>Inleiding.</i>	7
1. <i>Probleemstelling.</i>	7
2. <i>'Toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek'</i>	12
3. <i>Structuur van deze studie.</i>	13
II. <i>Institutionalisering van toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek in Nederland, 1900 - 1940.</i>	17
1. <i>Inleiding.</i>	17
2. <i>Industrie en toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek.</i>	17
3. <i>De overheid en toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek.</i>	27
4. <i>Universiteiten en toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek.</i>	34
5. <i>Samenvatting.</i>	39
III. <i>Analysekader.</i>	41
1. <i>Inleiding.</i>	41
2. <i>Innovatiemodellen: grepen uit de literatuur.</i>	42
3. <i>Analysekader.</i>	49
IV. <i>Ontwikkelingen in de gasontladingsfysika tot 1940.</i>	53
1. <i>Inleiding.</i>	53
2. <i>Onderzoek naar elektrische ontladingsverschijnselen (tot 1900).</i>	54
3. <i>Opkomst van de atoomfysika (vanaf ongeveer 1900).</i>	60
4. <i>Opkomst van de gasontladingsfysika (na ongeveer 1900).</i>	67
5. <i>Samenvatting.</i>	89
V. <i>Gasontladingsonderzoek van overheid, hoger onderwijs en bedrijfsleven.</i>	91
1. <i>Inleiding.</i>	91
2. <i>Mondiaal overzicht.</i>	92

3. Plaats van Nederland in het mondiale gasontladingsonderzoek, 1920 - 1940.	98
4. Gasontladingsonderzoek aan de Rijksuniversiteit Utrecht, 1920 - 1940.	99
5. Gasontladingsonderzoek bij Philips, 1915 - 1940.	105
6. Gasontladingsonderzoek aan de Technische Hoogeschool Delft, 1929 - 1940.	118
7. Samenvatting en konklusies.	122
VI. <i>Hoofdstukken uit de ontwikkeling van lagedrukkwiklampen tot 1940.</i>	125
1. Inleiding.	125
2. Kwiklampen in de vorige eeuw.	126
3. De kwiklamp van Hewitt (1901).	132
4. Konkurrentie van General Electric.	140
5. Kwikbuizen bedreven op hoogspanning, 'neonbuizen' van Claude.	144
6. 'Blauwe lichtbuizen' van Philips.	150
7. Konklusies.	155
VII. <i>Lagedrukkwiklampen met fluorescentiepoeders tot 1940.</i>	159
1. Inleiding.	159
2. Fluorescentieonderzoek tot 1920.	161
3. Fluorescentielampen op hoogspanning.	162
4. Fluorescentielampen op laagspanning van General Electric en Westinghouse.	164
5. Marktinvoer van Hygrade Sylvania Corporation.	174
6. Philips en de ontwikkeling van laagspanningsfluorescentielampen.	177
7. Konklusies.	215
VIII. <i>Hogedrukkwiklampen, 1900 - 1940.</i>	219
1. Inleiding.	219
2. De eerste hogedrukkwiklamp van Küch en Retschinsky (1906).	220
3. Enkele andere vroege hogedrukkwiklampen.	228
4. Spanner, Germer en Döring.	231
5. Begin van hogedrukkwikontladingsonderzoek bij Philips.	238
6. Philips' HO-lampen.	244



7. Konklusies.	253
IX. <i>Kwiklampen met super hoge druk.</i>	257
1. Inleiding.	257
2. Ontstaan van superhogedrukkwiklampen: het werk van Bol.	258
3. Ontstaan van superhogedrukkwiklampen: het werk van Elenbaas.	263
4. Konflikt tussen Philips en Osram.	273
5. Blokkade voor overeenkomst met Britse firma's.	275
6. Superhogedrukkwiklampjes voor bioskoopprojectie.	279
7. Algemene verlichting.	293
8. Konklusies.	310
X. <i>Diskussie.</i>	313
1. Inleiding.	313
2. Karakter van toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek en de ontwikkeling van artefakten.	314
3. Elementen van de dynamiek van innovatieprocessen.	322
4. Relevantie van analysekader voor de 'verwetenschappelijking van techniek'.	330
<i>Samenvatting/Summary</i>	335
<i>Bijlagen</i>	341
Bijlage I. Toelichting op enkele oude grootheden.	341
Bijlage II. Aantallen gasontladingspublicaties in de periode 1920 - 1940	342
Bijlage III. De arbeidsfaktor.	345
Bijlage IV. Afschrift brief A. F. Philips aan G. Swope.	346
<i>Voetnoten</i>	347
<i>Referenties</i>	373

**INHOUDSOPGAVE.**

---

VOORWOORD.

Deze studie kon tot stand komen dankzij een vierjarige aanstelling bij de Technische Universiteit Eindhoven. Niet minder belangrijk echter was de medewerking van het Concern Archief van de Philips' Gloeilampenfabrieken. Zonder de grote welwillendheid en openheid van Mr. C. F. M. Jansen en H. Berghman van dit archief was het gewenste diepgaande onderzoek naar de ontwikkeling van kwikdamplampen en het daartoe verrichte toepassingsgerichte onderzoek in het Natuurkundig Laboratorium van Philips ondenkbaar geweest. Hen dank ik daarom zeer speciaal.

Mijn dank gaat ook uit naar Prof. Dr. A. A. Kruithof, Prof. Dr. M. J. Druyvesteyn, Dr. W. Elenbaas en E. G. Dorgelo. Zij werkten allen in de jaren dertig in het Natuurkundig Laboratorium van Philips en waren zo vriendelijk mij hun herinneringen uit die tijd te vertellen. De laatstgenoemde overleed helaas in de loop van dit onderzoek. De eerste drie genoemden hebben op conceptversies van verscheidene hoofdstukken commentaar geleverd. Vooral de onvermoeibare en gedetailleerde wijze waarop Prof. Kruithof de concept-teksten van commentaar heeft voorzien, heeft mij bijzonder veel deugd gedaan. Aangevuld met commentaar van Prof. Dr. F. J. de Hoog werden daardoor voor mij vele onduidelijkheden op het gebied van de gasontladingsfysika en gasontladingslampen opgelost.

Voorts dank ik Dr. Ir. P. A. Kroes, die mij niet alleen met de juiste dosis kritiek en vrijheid al die jaren heeft begeleid, maar mij ook met het nodige gevoel voor humor door minder makkelijke momenten heeft geloodst. Waardevolle kritieken en suggesties kwamen uit een begeleidingskommissie, waarin naast Dr. Ir. Kroes Prof. Dr. B. van Houten, Prof. Dr. Ir. G. Vossers en Drs. I. Blanken zitting hadden. Behalve de laatstgenoemde, die werkzaam is bij de Afdeling Bedrijfshistorie van Philips, werken zij allen op de Technische Universiteit Eindhoven. Tezamen met Prof. Dr. A. Rip (Universiteit

Twente), die mij gedurende enkele jaren op afstand uitgebreid en leerzaam kommentaar gaf, vormden zij een commissie van brede inspiratiebron, die mij voor misstappen op een groot terrein hebben behoed. Ook de historisch getinte diskussies die ik met Dr. C. Hakfoort (Universiteit Twente) had, dienden ditzelfde doel. Drs. E. Homburg (Universiteit Nijmegen), respectievelijk Prof. Dr. Ir. C. J. D. M. Verhagen (voorheen Technische Universiteit Delft) was zo vriendelijk hoofdstuk II, respectievelijk V van kanttekeningen te voorzien. Dr. S. Faltas tenslotte, gaf prima steun bij het samenstellen van een Engelstalige samenvatting.

Enkele kollega's met wie ik vaak stimulerend heb kunnen discussiëren waren verder Drs. M. Bakker, Drs. G. van Hooff en Dr. Ir. G. Verbong. Phil Bruls, Paul de Bot, Wim van Helden en Niek Lambregts hebben als student-assistent bergen werk verzet om 'alle' gasontladingsliteratuur tussen 1920 en 1940 voor mij te verzamelen. De tabellen in hoofdstuk V en in bijlage II waren zonder hun inspanningen niet tot stand gekomen.

Mijn persoonlijke wel en wee op mijn werk werd de laatste drie jaar in de gaten gehouden door Ir. K. B. Overdijk, met wie ik een kamer op de universiteit deelde. Het was een gezellige en leuke tijd met haar. Tenslotte noem ik hier Angélique de Jong, die niet alleen grote delen van dit werk op spelling en stijl heeft gecontroleerd, maar er bovendien in slaagde een vrolijke partner te blijven gedurende alle vrolijke en spannende momenten die onvermijdelijk aan deze studie waren verbonden.

I. INLEIDING.§1. Probleemstelling.

In deze studie staat de relatie tussen toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek en de ontwikkeling van nieuwe industriële produkten centraal. Algemeen wordt erkend dat de invloed van dit onderzoek op de totstandkoming van nieuwe produkten in de afgelopen eeuw steeds groter is geworden en dat veel belangrijke innovaties heden ten dage slechts dankzij dit onderzoek kunnen plaatsvinden. De vraag naar het karakter van deze relatie en de historische vraag, hoe deze relatie tot stand is gekomen, is nog lang niet beantwoord. Deze studie wil een bijdrage vormen aan het beantwoorden van deze beide vragen, via de beschrijving van een case-studie (de ontwikkeling van kwiklampen) in de periode waarin op verschillende manieren werd geprobeerd instituties voor deze koppeling tot stand te brengen. Deze periode kan globaal worden gemarkeerd als liggend tussen 1900 en 1940, de tijd waarin steeds meer bedrijven ertoe overgingen wetenschappelijk geschoolde werknemers aan te stellen en voor hen aparte, goed geoutilleerde onderzoekslaboratoria op te richten.

De opkomst van industriële onderzoekslaboratoria vond plaats in een tijd, waarin zowel de industrie als de natuurwetenschap ingrijpende veranderingen onderging. In veel landen had de 'Eerste Industriële Revolutie' haar beslag gekregen, waarin grote delen van het productieproces waren gemechaniseerd. Veel bedrijven vertoonden een sterke groei en sommige groeiden in korte tijd uit tot ware 'mammoet-koncerns'. De Duitse firma's BASF, Hoechst, Siemens en AEG, alsmede de Amerikaanse firma's General Electric Company en American Telegraph & Telephone vormen slechts enkele sprekende voorbeelden daarvan. Ook de eerste kartelvorming dateert uit de tijd rond de eeuwwisseling. Zo richtten de grootste Europese gloeilampenproducen-

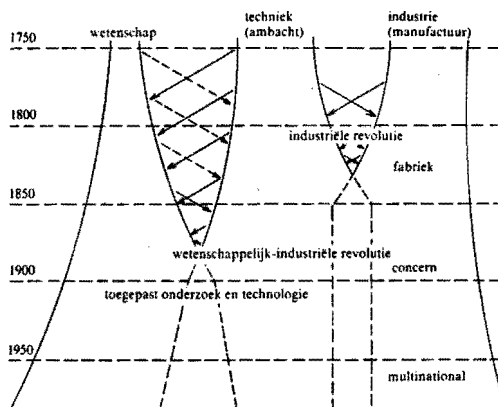
ten, waaronder AEG, Siemens en Philips, in 1903 een gloeilampenkartel op, waarin afspraken over verdeling van de markt nauwkeurig werden vastgelegd.

In de natuurwetenschappen volgden nieuwe kennis en theorieën elkaar snel op. De ontdekking van het elektron door J. J. Thomson in 1897 is zonder twijfel een van de meest belangrijke verworvenheden van de fysika rond de eeuwwisseling. Deze ontdekking ontketende met die van radioactiviteit een 'revolutie' in de kennis over de bouw van 'atomen' en gaf aanleiding tot de opkomst van het nieuwe vakgebied van de atoomfysika. Vlak na de eeuwwisseling ontstonden belangrijke nieuwe concepten in de fysische theorievorming. M. Planck postuleerde de these, dat de interactie tussen materie en straling gekwantiseerd plaatsvindt, terwijl A. Einstein zijn relativiteitstheorie het licht deed zien. N. Bohr en A. Sommerfeld tenslotte droegen wezenlijk bij aan nieuwe kennis over de atoombouw door uit te gaan van gekwantiseerde energieniveaus van elektronen in een atoom, waarmee de kwantumtheorie werd geboren.

Was er zo sprake van een stroomversnelling in de ontwikkeling van het bedrijfsleven en de natuurwetenschappen, ook in het hoger onderwijs was de tendens naar groei zeer sterk. In 1850 studeerden bijvoorbeeld aan de Nederlandse universiteiten niet meer dan 1000 studenten. In 1900 was dit aantal toegenomen tot ongeveer 2800 en in 1930 tot bijna 9500.[1] Ook per inwoneraantal was de toeneming indrukwekkend: in 1909 waren er bijvoorbeeld per miljoen inwoners 799 studenten aan de Nederlandse universiteiten en hogescholen, in 1920 waren dat er 1246 en in 1930 ruim 1500.[2] Het aantal studenten aan de wiskunde- en natuurwetenschappenfakulteiten groeide relatief nog sneller: van 31 studenten in 1850 nam dit aantal via 439 in 1900 toe tot 1784 in 1930.[3]

Steeds meer wetenschappelijk opgeleiden vonden hun emplooi in het bedrijfsleven, hetzij als bedrijfsleider, hetzij als laboratoriummedewerker. De Duitse chemische industrie gaf daarbij de toon aan. Hoehst had bijvoorbeeld in 1900 al 120 chemici en 36 ingenieurs in dienst - aantallen die in 1912 waren toegenomen tot 307, respectievelijk 74.[4] In de Verenigde Staten vonden rond de eeuwwisseling steeds meer natuurwetenschappers een betrekking in de

elektrotechnische industrie. General Electric Company en American Telegraph & Telephone bijvoorbeeld richtten voor hen grote research-laboratoria in, waarin zij aanzienlijke bedragen investeerden. Zo besteedde American Telegraph & Telephone in 1916 \$ 2,2 miljoen aan de 'Bell Labs' - een bedrag dat in tien jaar tijd tot het tienvoudige groeide.[5] Mede vanwege de directe oorlogsnoden volgde het Nederlandse bedrijfsleven deze Duitse en Amerikaanse voorbeelden vanaf ongeveer 1915.



Figuur 1.1 Algemene opvattingen over de historisch gegroeide relaties tussen wetenschap, techniek en industrie  
[Rip (1980), fig. 5.1].

Technische ontwikkelingen werden, aanvankelijk vooral in de chemische en elektrotechnische industrie, meer en meer gebaseerd op het gebruik van wetenschappelijke kennis en methoden. In de periode van enkele decennia vóór tot enkele decennia na de eeuwwisseling ondergingen veel technische ontwikkelingen een kwalitatieve verandering: techniek raakte 'verwetenschappelijkt'. Sommigen spreken in dit verband over een 'huwelijk' of een 'vervlechting' van wetenschap en techniek (figuur 1.1).[6] Aan figuur 1.1 ligt de gedachte ten grondslag, dat wetenschap en techniek vroeger een eigen identiteit hadden en goed van elkaar waren te onderscheiden. In de vorige eeuw kwam een proces op gang, waarin deze twee naar elkaar toe groeiden, zodat

zij nu onlosmakelijk met elkaar zijn verbonden. Door dit proces ging de totstandkoming van industriële produkten, na de mechanisering van de produktie tijdens de 'Eerste Industriële Revolutie', een nieuwe fase in, die wel wordt aangeduid als: 'Tweede Industriële Revolutie'. Evenmin als het begrip 'verwetenschappelijking van de techniek' heeft dit begrip een gedetailleerde invulling gekregen. Desondanks wordt het vaak gebruikt als verklaring voor grote maatschappelijke omwentelingen in de huidige en de vorige eeuw.[7]

Ook de begrippen 'wetenschap' en 'techniek' bezitten geen welomschreven, algemeen aanvaarde omschrijving. Omdat het gebruik van deze begrippen veel discussies verwart, hebben sommige historici de radikale konklusie getrokken hen niet meer in een analytische zin te gebruiken, hooguit nog als objekt van onderzoek (bijvoorbeeld vanuit de vraag welke funktie deze begrippen in een bepaalde periode hebben gespeeld).[8] Deze konklusie heb ik hier niet overgenomen, ondanks dat ik me er van bewust ben, dat het demarkatieprobleem tussen 'wetenschap' en 'techniek' een serieus probleem is. Met 'wetenschap' bedoel ik in deze studie de kennis die is gericht op het begrijpen van fysische of chemische processen, terwijl 'techniek' hier verwijst naar produkten, produktieprocessen, software en werkwijzen. Om misverstanden over het begrip 'techniek' te vermijden zal zoveel mogelijk het begrip 'artefakt' worden gebruikt. Het begrip 'technisch' betekent hier: betrekking hebbend op artefakten. Daarnaast is het begrip 'wetenschapper' gebruikt. Met een 'wetenschapper' bedoel ik in deze studie iedereen die een opleiding aan een universiteit of hogeschool met sukses heeft afgerond. Voor de deelgroep van de universitaire wetenschappers gebruik ik het begrip 'akademici'. Door het begrip 'wetenschapper' aldus te gebruiken wil ik niet suggereren, dat rond 1900 de vervlechting tussen wetenschappelijke en technische ontwikkelingen al zeer ver was voortgeschreden (daarmee zou ik op de resultaten van deze studie vooruitlopen). Wel wil ik hiermee tot uiting brengen, dat zowel ingenieurs als academici zich met wetenschappelijke kennis bezighielden, zij het de een nadrukkelijker dan de ander.

Het onderzoeken van historische processen die aan 'verwetenschappelijking van de techniek' ten grondslag liggen, komt steeds



meer in de belangstelling te staan. Verscheidene historische studies rondom dit thema zijn reeds verricht, bij voorkeur gericht op de 'research-laboratoria' van grote Amerikaanse en Duitse ondernemingen. Zo onderzochten K. Birr, M. D. Fagen, L. Hoddeson, L. S. Reich en G. Wise de geschiedenis van de laboratoria van de (Amerikaanse) General Electric Company en het Bell-koncern.[9] De situatie in de Duitse kleurstoffenindustrie werd, in navolging van onder meer J. J. Beer en G. Meyer-Thurow, tot onderwerp van een diepgaand historisch onderzoek gemaakt door een werkgroep van de Universiteit van Nijmegen.[10] Case-studies rond technisch wetenschappelijke deelgebieden verschenen bijvoorbeeld van de hand van E. T. Layton, W. C. Vincenti en A. Russo.[11] D. Noble en D. C. Mowery schreven meer algemene studies over de opkomst van 'science-based industries' in de Verenigde Staten.[12]

Gemeenschappelijk aan deze studies is de stelling, dat het ontwikkelen van nieuwe produkten, de daaraan gekoppelde produktieprocessen en management-structuren een kwalitatieve verandering ondergingen door de inbreng van aan universiteiten en technische hogescholen opgeleide werknemers of door het gebruik van uit deze milieus stammende methoden. De methoden zelf deden voor het eerst in de loop van de negentiende eeuw hun intrede in de industrie, terwijl de systematische inzet van wetenschappelijk geschoolde mensen tussen 1875 en 1914 begon. Een tekortkoming van veel van deze studies is, dat zij weliswaar aan de toenemende rol van wetenschappelijke kennis en onderzoekingen grote waarde toekennen, maar veelal niet of nauwelijks ingaan op de vraag, waardoor de relatie tussen deze kennis en onderzoekingen enerzijds en nieuwe produkten en produktietechnieken anderzijds wordt gekenmerkt. Te vaak blijven de inhoudelijke ontwikkelingen van het verrichte technisch wetenschappelijke onderzoek een 'black box', alsof de inhoud daarvan óf onproblematisch óf niet belangrijk genoeg zou zijn. Verwacht mag echter worden, dat het nut van toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek de kern vormt van de legitimatie voor het scheppen van institutionele kaders daarvoor. Bestudering van de inhoudelijke relatie tussen de ontwikkeling van nieuwe produkten en produktieprocessen enerzijds en technisch wetenschappelijk onderzoek anderzijds, is daarom van groot be-

lang om meer inzicht te krijgen in de algemene historische vraag naar de totstandkoming van 'verwetenschappelijking van de techniek'. Daarom wordt in deze studie deze inhoudelijke relatie centraal gesteld en gepoogd aldus de 'black box' verder te openen. Minder aandacht zal worden besteed aan aspecten betreffende oktrooiwetten, management-structuren en financieel-ekonomische vraagstukken.

§2. 'Toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek'.

Een zeer belangrijk begrip in deze studie is: 'toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek', dat is ontstaan uit het begrip 'toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek'. In 1923 stelde de Koninklijke Nederlandsche Academie van Wetenschappen voor dit laatste begrip te gebruiken in plaats van het in de opvatting van de Academie-leden beperktere begrip 'technisch-wetenschappelijk onderzoek'. De toenmalige Minister van Onderwijs, Kunsten en Wetenschappen, J. Th. de Visser, nam dit voorstel over in de tekst van een opdracht aan een nationale onderzoekskommissie, die hij verzocht te onderzoeken "door welke maatregelen en in welke vorm het toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek hier te lande in hogere mate dienstbaar kan worden gemaakt aan het algemeen belang".[13] Mede door het werk van deze commissie kwam later, in 1930, de wet op het 'Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek' tot stand en werd in 1932 de Centrale Organisatie T.N.O. opgericht. Onder "toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek" werden door de commissie destijds drie zaken verstaan:

- a. ijkings- en keuringswerkzaamheden;
- b. het toepassen van natuurwetenschappelijke kennis uit de "zuivere wetenschap" voor het "algemeen belang";
- c. het onderzoeken van problemen die de praktijk stelt, desnoods tot op de "grondslagen".[14]

Zo'n ruime inhoud kreeg het begrip in het dagelijkse spraakgebruik echter meestal niet. Bijna altijd werd aan het begrip alleen de onder b. genoemde betekenis toegekend, zoals kan worden geïllustreerd met een uitspraak uit 1938 van H. B. Dorgelo, hoogleraar te Delft: "Is het de taak der zuivere physica onze kennis dienaangaande [dat

wil zeggen betreffende fysische vraagstukken] te verruimen en te verdiepen, de toegepaste physica wil die kennis dienstbaar maken voor het welzijn der medemensen door het vervaardigen van voor de maatschappij nuttige objekten, of voor het uitvoeren van voor de maatschappij nuttige handelingen".[15]

'Toegepaste wetenschap' werd gezien als het intermediair tussen de praktijk en algemeen geformuleerde wetenschappelijke theorieën of wetten. Aangezien daarmee een, inmiddels vaak genoeg bekritiseerde, lineaire relatie in de tijd wordt gesuggereerd tussen natuurwetenschappelijke kennis, toegepaste wetenschap en technisch produkt, is het begrip 'toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek' hier vermeden. Ik geef de voorkeur aan het genoemde begrip 'toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek', waaraan minder de suggestie van een lineaire relatie kleeft. Al het natuurwetenschappelijke onderzoek dat wordt verricht in de kontekst van de ontwikkeling van produkten of produktieprocessen, ook als de realisering daarvan niet op korte termijn is te verwachten, valt hieronder. Equivalent hiermee is, althans in deze studie, het begrip 'technisch wetenschappelijk onderzoek'. Dit soort onderzoek onderscheidt zich van onderzoek dat wordt verricht in de kontekst van het ontdekken van algemene wetmatigheden en het ontwikkelen van theorieën met een breed geldigheidsdomein, waarbij nog geen konkrete toepassingen voor ogen staan en dat ik in deze studie als 'fundamenteel' zal kwalificeren. Het verschil tussen toepassingsgericht en fundamenteel onderzoek betreft volgens deze omschrijvingen dus alleen de gerichtheid en niet de methoden die tijdens het onderzoek worden gebruikt. Met deze onderscheiding claim ik niet twee begrippen te gebruiken die een strakke scheidingslijn hebben; ze zijn bedoeld om zwaartepunten van onderzoek te kunnen benoemen.

### §3. Structuur van deze studie.

Toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek wordt in verschillende konteksten verricht. Zowel in overheids-, universiteits- als bedrijfslaboratoria behoort het tot de dagelijkse gang van zaken. Toch zal in deze studie een case-studie uit de industrie

centraal staan, omdat deze kontekst bij uitstek geschikt lijkt om de inhoudelijke relatie tussen dit soort onderzoek en de ontwikkeling van artefakten te bestuderen, omdat juist in deze kontekst dit soort onderzoek een zekere technische relevantie zal dienen te bezitten. Alvorens de case-studie, die de ontwikkeling van kwiklampen en de relatie met toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek in de periode 1900 - 1940 betreft, te beschrijven, wordt eerst ingegaan op de vraag welke pogingen in Nederland vóór de Tweede Wereldoorlog werden ondernomen om instituties voor toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek in het leven te roepen (hoofdstuk II). Daarbij komen opvattingen en activiteiten uit het bedrijfsleven en uit de universiteiten, alsmede van de overheid aan de orde. Hoofdstuk II geeft daarmee een algemeen, inleidend beeld van de opkomst van dit soort onderzoek in Nederland tussen 1900 en 1940.

Alle daarop volgende hoofdstukken hebben een meer direkte relatie met de case-studie. De nadruk bij deze case-studie zal komen te liggen op de ontwikkeling van kwiklampen en het daartoe verrichte toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek in het Natuurkundig Laboratorium van Philips. De argumenten voor deze keuze zijn als volgt:

1. kwiklampen behoren tot een categorie van industriële produkten waarvan vaak wordt gesteld, dat zij belangrijke impulsen kregen door de snelle verandering van kennis op het gebied van de atoom- en gasontladingsfysika; [16]
2. bij Philips werd tussen 1920 en 1940 in het Natuurkundig Laboratorium door fysici uitgebreid gasontladingsonderzoek verricht, waaronder onderzoek naar verschijnselen in kwikontladingen;
3. van dit onderzoek in het Natuurkundig Laboratorium van Philips zijn uitgebreide archieven bewaard gebleven, die toegankelijk zijn voor onderzoek.

Een belangrijke vraag in dit verband is of deze case-studie voldoende representatief is. Zoals nog zal blijken in hoofdstuk II §2 was Philips niet zomaar een van de vele Nederlandse bedrijven die reeds vóór 1940 toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek verrichtte. Het bedrijf was in Nederland door de grote hoeveelheid aangetrokken wetenschappers eerder uniek dan representatief. De kon-

sekwentie hiervan is enerzijds, dat de uitkomsten van deze studie met betrekking tot het verrichten van toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek door de industrie niet representatief is voor de algemene situatie in Nederland vóór 1940. Anderzijds echter maakt het gegeven dat er in het Natuurkundig Laboratorium van Philips op ruime schaal gasontladingsonderzoek werd verricht, de kans groter dat deze studie wel representatief is voor het centrale thema, namelijk de inhoudelijke relatie tussen toepassingsgericht onderzoek en de ontwikkeling van artefakten.

Het toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek zal worden bestudeerd vanuit de opkomst van nieuwe artefakten, dat wil zeggen vanuit de koppeling die het had met de ontwikkeling van nieuwe kwiklampen. De dynamiek in de ontwikkeling van nieuwe artefakten (dat wil zeggen de opeenvolgende stappen die daarin werden gezet, alsmede de factoren die daarop invloed uitoefenden) vormt daarbij de invalshoek. Het belangrijkste argument voor deze keuze is, dat een omgekeerde benadering, waarin het technisch wetenschappelijk onderzoek de invalshoek vormt, teveel een lineaire relatie tussen dit soort onderzoek en de ontwikkeling van artefakten zou suggereren. De geschiedenis van kwiklampen die hier aan de orde komt, wordt dan ook beschreven op het niveau van opeenvolgende ontwikkelingen in verschillende kwiklampen. De impulsen die daarbij van invloed zijn geweest, zullen de revue passeren met speciale aandacht voor de impulsen uit het toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek. In de innovatieliteratuur zijn inmiddels verscheidene modellen ontwikkeld, die bij een analyse van de van belangzijnde impulsen en processen behulpzaam kunnen zijn. In hoofdstuk III worden enkele belangrijke innovatiemodellen besproken en wordt een in deze studie gebruikt analysekader gepresenteerd.

Hoofdstuk IV beschrijft die gedeelten van de geschiedenis van de fysika die van belang zijn geweest voor de opkomst van het vakgebied 'gasontladingsfysika'. Doel hiervan is om de evoluerende kennis in wetenschappelijke kring te beschrijven, die mogelijkerwijs belangrijke impulsen heeft gegeven aan de ontwikkeling van gasontladingslampen. Dit hoofdstuk schetst de achtergrond waartegen het technisch wetenschappelijke onderzoek met betrekking tot kwikdamplampen moet

worden gezien.

Hoofdstuk V gaat in op de algemene inhoudelijke verschillen tussen het onderzoek van gasontladingsfysici in universiteiten, hogescholen en bedrijven. Onderzocht wordt of de keuze van onderzoeksthema's kontekstafhankelijk is. Het doel daarvan is om in algemene zin het werk van de gasontladingsfysici in bedrijfslaboratoria in het veld van de gasontladingsfysika te kunnen plaatsen. Dit hoofdstuk kan worden beschouwd als een zijspoor met betrekking tot het centrale thema van deze studie en kan bij eerste lezing dus eventueel worden overgeslagen.

De hoofdstukken VI tot en met IX behandelen vier case-studies, die tezamen bijna het gehele gebied van het onderzoek aan en de ontwikkeling van kwiklampen in de beschouwde periode bestrijken: lage-drukkwiklampen, fluorescentielampen, hogedrukkwiklampen en superhogedrukkwiklampen. Het in hoofdstuk III beschreven analysekader geeft steeds de structuur aan deze hoofdstukken. Voor de mondiale ontwikkelingen is gebruik gemaakt van tijdschriften en boeken die primair bronnenmateriaal bevatten. Voor de specifieke inbreng van Philips, en dan vooral van de fysici van het Natuurkundig Laboratorium is ook het archief van Philips geraadpleegd, waarmee een uniek en diepgaand onderzoek naar de overwegingen en werkwijzen van deze fysici kon worden uitgevoerd. Elk van deze vier case-studies zal worden geëvalueerd op kennisinhoudelijke aspecten, dat wil zeggen op de relaties tussen de totstandkoming van deze artefakten en (nieuwe) natuurwetenschappelijke kennis, alsmede op aspecten van de dynamiek van technische ontwikkelingen.

Het slothoofdstuk (X) analyseert de verschillen én overeenkomsten tussen de vier case-studies met betrekking tot deze kennisinhoudelijke aspecten en tot elementen, die van belang zijn geweest voor de dynamiek tijdens het onderzoek aan en de ontwikkeling van kwiklampen.

II. INSTITUTIONALISERING VAN TOEPASSINGSGERICHT  
NATUURWETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK IN  
NEDERLAND, 1900 - 1940.

§1. Inleiding.

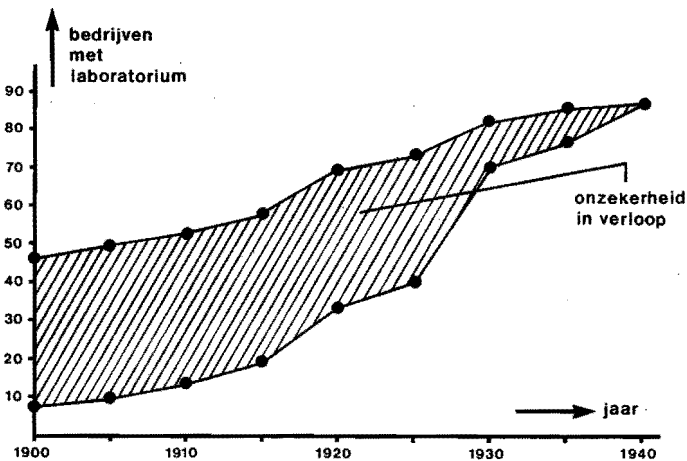
Het thema van de 'verwetenschappelijking van de techniek' is breed. Veel aspecten vallen daaronder, zoals het in dienst nemen van wetenschappelijk geschoolde werknemers, de functie van octrooiwetten en de in hoofdstuk I genoemde relatie tussen toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek en het ontstaan van nieuwe artefakten. Een belangrijk facet is echter ook de institutionalisering van toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek. Dit hoofdstuk gaat hierop in via een beschrijving van pogingen die daartoe in Nederland tussen 1900 en 1940 werden ondernomen. Dit hoofdstuk geeft daarmee een algemeen beeld van veranderingen die zich hier op dit punt voltrokken. Op inhoudelijke verschillen in de organisatievormen die ontstonden wordt hier niet nader ingegaan, omdat dat te ver zou afvoeren van het centrale thema van deze studie - de kennisinhoudelijke relatie tussen toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek en de ontwikkeling van artefakten. Zoals gesteld in hoofdstuk I zal dit thema aan de hand van een case-studie met betrekking tot de ontwikkeling van kwiklampen door Philips in de periode 1900 - 1940 in de hoofdstukken VI tot en met IX uitgebreid aan de orde komen.

§2. De industrie en toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek.

Wat deed de industrie met betrekking tot toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek vóór de Tweede Wereldoorlog? Wat het bedrijfsleven binnen de eigen muren uitvoerde, is niet zo eenvoudig

in kaart te brengen, omdat dat een tijdrovende bestudering van vele bedrijfsarchieven zou vereisen. Met behulp van twee algemene indicatoren kan echter toch worden aangetoond, dat zich binnen de industrie tussen 1900 en 1940 veel heeft gewijzigd. De eerste indicator betreft het aantal bedrijven waarin in de jaren 1900 - 1940 één of meer laboratoria werden opgericht. Deze indicator is een maat voor het aantal bedrijven, dat toepassingsgericht onderzoek zelf ging verrichten, omdat daarvoor een laboratorium nodig is. Het inrichten van een laboratorium is echter geen voldoende voorwaarde voor het verrichten van dit soort onderzoek: het werk in de laboratoria kan immers ook gericht zijn geweest op de controle van produkten of de keuring van materialen of grondstoffen. Daarom geeft deze indicator slechts een ruwe indruk van eventuele veranderingen in het bedrijfsleven.

De tweede indicator is het aantal wetenschappers (dat wil zeggen de aan universiteiten en hogescholen afgestudeerde werknemers) in de Nederlandse industrie tussen 1900 en 1940. Niet al deze werknemers verrichtten toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek: sommigen kregen immers een taak in het management, terwijl bovendien



Figuur 2.1 Aantal bedrijven dat één of meer laboratoria had, 1900-1940.



niet van iedereen die wel in een laboratorium terecht kwam, kan worden nagegaan of hij of zij in het onderzoek terecht kwam. Ook de tweede indikator moet dus met de nodige voorzichtigheid worden gehanteerd.

Figuur 2.1, die is samengesteld op basis van uitgebreid onderzoek in tijdschriften en gedenkboeken van bedrijven, geeft het aantal bedrijven dat in de periode 1900 - 1940 één of meer laboratoria bezat. Omdat de opkomst van toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek in het bedrijfsleven in het algemeen alleen in de chemische en de elektrotechnische industrie wordt gesitueerd, heeft het onderzoek zich vooral gericht op bronnen die met deze beide takken van de nijverheid samenhangen. Met deze bronnen kon niet van alle laboratoria met zekerheid de datum van oprichting worden achterhaald. Dié laboratoria waarvan de oprichtingsdatum wel kon worden vastgesteld zijn verwerkt in het witte gedeelte van de figuur. Het zwarte gedeelte is gebaseerd op de bedrijfslaboratoria met onbekende oprichtingsdatum en geeft derhalve de onzekerheid van het werkelijke verloop weer. Een beperking is voorts, dat alleen dié bedrijven in de figuur zijn verwerkt waarvan zeker is dat zij in 1940 een laboratorium bezaten (daarom is het zwarte gedeelte in 1940 tot nul gereduceerd).[1]

Volgens figuur 2.1 waren er in 1940 tenminste 90 bedrijven waarin één of meer laboratoria voorkwamen. Daarvan bevonden zich 64 in de chemische industrie, 9 in de elektrotechnische industrie en 4 in de machinenijverheid.[2] Hoe betrouwbaar zijn deze aantallen? De situatie in de machinenijverheid is, zoals gezegd, niet systematisch onderzocht. Aanwijzingen dat daarin vlak na de Eerste Wereldoorlog steeds meer bedrijven tot oprichting van een laboratorium overgingen, zijn er echter wel.[3] Maar ook de aantallen in beide andere takken van de nijverheid zijn waarschijnlijk aan de lage kant. G. de Clercq, een chemikus die onder andere enige tijd op het Natuurkundig Laboratorium van Philips heeft gewerkt en later voorzitter van de AVRO werd, schreef in 1918, dat "een chemische fabriek van eenigen omvang (.....) toch tegenwoordig wel een grooter of kleiner laboratorium" bezat, dat diende voor keurings- en controlewerkzaamheden.[4] Tussen 1913 en 1930 kende Nederland 1100 à 1200 chemische

bedrijven - een aantal dat in de jaren dertig door de economische crisis tot ongeveer de helft daalde. Als de meeste daarvan een redelijke omvang hadden, hebben dus mogelijk rond 1000 chemische bedrijven een laboratorium gehad. Laboratoria die zich op toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek konden richten, waren echter rond 1918 nog schaars: "alleen zeer groote fabrieken [kunnen] zich een dergelijke luxe (....) veroorlooven", aldus De Clercq.[5] Het is waarschijnlijk dat de in figuur 2.1 verwerkte laboratoria van chemische bedrijven tot de meest aanzienlijke uit die tijd behoorden, omdat over hen met trots in vakbladen en gedenkboeken werd gepubliceerd. Ongeveer de helft van hen verrichtte rond 1940 toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek.[6]

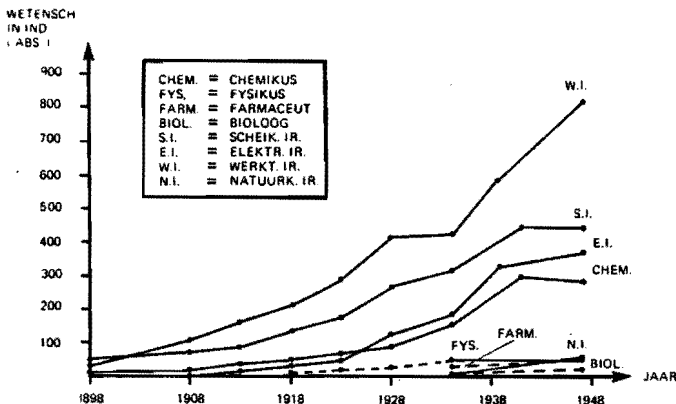
Eenzelfde konklusie kan met betrekking tot de elektrotechnische industrie worden getrokken. Naast de 9 in figuur 2.1 verwerkte elektrotechnische bedrijven met een laboratorium bestonden er in 1940 nog 25 andere elektrotechnische bedrijven. Van hen is onbekend of zij een laboratorium bezaten: in de sekundaire literatuur werd daarover geen informatie gevonden. Net als in de chemische industrie kan echter het overgrote deel daarvan een controle- of keuringslaboratorium hebben gehad. Onwaarschijnlijk is echter dat zij toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek verrichtten. Van de 9 in figuur 2.2 opgenomen elektrotechnische bedrijven hadden 7 een laboratorium dat dit soort onderzoek verrichtte.[7]

B. M. Sweers, een medewerker van de vereniging Nederlandsch Fabriekaats, schatte in 1941 het totaal aantal laboratoria in de gehele nijverheid die "speuren naar nieuwe werkwijzen, grondstoffen of toepassingsmogelijkheden" op ongeveer 100.[8] Aannemende dat hij hiermee doelde op laboratoria waarin toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek plaatsvond, vormt dit gegeven een ondersteuning van de hier genoemde aantallen in de chemische en elektrotechnische industrie.

Gezien de onzekerheid in de aantallen laboratoria én in de oprichtingsdata van de in figuur 2.1 opgenomen laboratoria, is interpretatie van deze figuur problematisch. Slechts indien wordt aangenomen, dat het witte gedeelte in deze figuur een maat vormt voor de oprichting van laboratoria voor toepassingsgericht natuurwetenschap-

pelijk onderzoek, kan worden gekonkludeerd dat deze laboratoria tussen 1900 en 1940 relatief sterk in aantal toenamen. Deze konklusie komt overeen met de oprichtingdata van laboratoria voor dergelijk onderzoek in enkele grote Nederlandse ondernemingen. Voorbeelden daarvan zijn: Philips' Gloeilampenfabrieken (1914), Bataafsche Petroleum Maatschappij (1920), Algemeene Kunstzijde Unie (1925), NV Koninklijke Stearine Kaarsenfabrieken "Gouda-Apollo" (1925) en Noury & Van der Lande (1926).[9]

Wordt deze konklusie bevestigd door het aantal wetenschappers dat in de Nederlandse industrie een arbeidsplaats vond? Wetenschappers waarvan te verwachten is dat zij in de beschouwde periode mogelijk een taak hadden in toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek in de industrie, zijn: chemici, fysici, farmaceuten, biologen, alsmede scheikundig, elektrotechnisch, werktuigbouwkundig en natuurkundig ingenieurs.[10] Figuur 2.2 geeft een overzicht van het totaal aantal wetenschappers uit deze vakgebieden in de Nederlandse industrie in de periode 1898 - 1947.[11] Daaruit blijkt dat het totaal aantal wetenschappers in de industrie in 1900 ongeveer 100 bedroeg. Dit aantal was in 1915 gestegen tot om en nabij 350, terwijl het aan het begin van de Tweede Wereldoorlog was toegenomen tot on-



Figuur 2.2 Wetenschappers in de Nederlandse industrie, 1898 - 1947 (absolute aantallen).

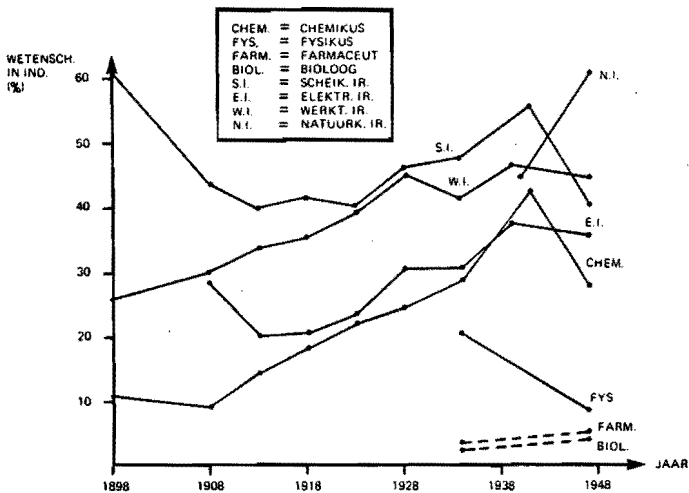
geveer 1800.

Bekijken we de academici - de universitaire wetenschappers - als aparte groep, dan valt op dat rond 1900 alleen ongeveer 15 chemici in de industrie werkten. Vijftien jaar later was het totaal aantal academici in de industrie gegroeid tot ongeveer 35, waarvan ook toen het merendeel uit chemici bestond. Aan het begin van de Tweede Wereldoorlog was het totaal aantal academici toegenomen tot ongeveer 400, waarbij de sterkste groei duidelijk in de jaren dertig plaatsvond. Opmerkelijk is dat de chemici voortdurend de toon aangaven: tegenover ongeveer 300 chemici bedroeg het aantal fysici in 1940 ongeveer 50, terwijl het aantal biologen en farmaceuten in de industrie in die tijd nog enkele tientallen minder was.[12]

Wat zeggen de in figuur 2.2 weergegeven cijfers? Om de zeggingskracht te vergroten zullen ze worden gerelateerd aan twee andere cijfers: de groei van de beroepsbevolking in de industrie en de groei van het aantal wetenschappers in Nederland in de beschouwde periode. Zouden deze beide aantallen net zo snel zijn gestegen als de absolute aantallen wetenschappers in de industrie, dan zou van een grotere gerichtheid op toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek waarschijnlijk niet zo sterk sprake zijn. De industriële beroepsbevolking bestond in 1899 uit ongeveer 450.000, in 1930 uit ongeveer 820.000 en in 1947 uit ongeveer 1.040.000 personen.[13] Tussen 1900 en 1940 verdubbelde de industriële beroepsbevolking zich dus in Nederland. Uitgaande van 100 wetenschappers in de Nederlandse industrie in 1900 en 1800 in 1940, steeg het aandeel van de wetenschappers in de groei van de industriële beroepsbevolking dus met een faktor 9. De trend was dus: zowel een absolute als een relatieve toeneming van het aantal wetenschappers in de industriële beroepsbevolking. Dit duidt op een sterk stijgend belang van het gebruik van natuurwetenschappelijke kennis in de Nederlandse nijverheid tussen 1900 en 1940.

Ondersteuning vindt deze konklusie in de cijfers weergegeven in figuur 2.3. Deze toont voor alle in figuur 2.2 genoemde wetenschappelijke beroepsgroepen het in de industrie werkzame gedeelte (in procenten van het totaal aantal werkzame personen per beroepsgroep).[14] Uit het verloop van de cijfers tussen 1900 en 1940 kan

worden afgeleid, dat van de werktuigbouwkundig ingenieurs, de elektrotechnisch ingenieurs en de chemici een steeds groter gedeelte werd opgeleid voor een betrekking in de industrie. Vooral bij chemici was de stijging fors: in 1940 hadden van alle werkzame chemici vier keer zoveel een betrekking in de industrie als in 1900. De industrie was dus voor hen een steeds belangrijker werkgever geworden in de tussenliggende periode. Dat gold in veel mindere mate voor de andere groepen academici. Hoewel de cijfers voor 1940 ontbreken, is op grond van cijfers uit 1936 en 1947 niet te verwachten, dat de industrie voor fysici, farmaceuten en biologen in 1940 net zo'n potentieel belangrijke werkgever vormde als voor chemici. [15] Desondanks wijst figuur 2.3 in dezelfde richting als de figuren 2.1 en 2.2: tussen 1900 en 1940 voltrok zich in de Nederlandse nijverheid een wezenlijke verandering. Steeds meer bedrijven richtten laboratoria in, terwijl het bedrijfsleven in het algemeen een steeds groter beroep deed op wetenschappelijk personeel.



Figuur 2.3 Het gedeelte van de werkzame wetenschappers per beroepsgroep met een betrekking in de industrie, 1898-1947.

De toenemende aandacht voor de systematische inzet van wetenschappers was echter niet gelijkmatig over het bedrijfsleven verdeeld. Tabel 2.1 laat zien dat er tussen bedrijven grote verschillen

INSTITUTIONALISERING VAN TOEPASSINGSGERICHT ONDERZOEK.

bestonden. Van de huidige 'grote vijf' (Philips, Shell, DSM, AKZO en Unilever) behoorden alleen Philips, Shell (vroeger: Bataafsche Petroleum Maatschappij) en AKZO, waarin onder andere de Algemeene Kunstzijde Unie (AKU) en Organon zijn opgegaan, rond 1940 tot de grootste industriële werkgevers van wetenschappers. Philips en Shell staken met kop en schouders boven de rest uit. Unilever daarentegen nam met 5 à 10 wetenschappelijk medewerkers in 1940 een bescheiden plaats in temidden van vele andere bedrijven. Tenslotte valt op dat de grootste industriële werkgevers voor wetenschappers niet tot één sektor beperkt bleven: tabel 2.1 geeft zowel bedrijven in de elektrotechniek, als in de chemie en de machinebouw. [16]

Bedrijf	Aantal wetenschappers in	
	1925	1940
Philips	60	300
BPM	40	180
Werkspoor	20	40
Siemens Nederland		35
Stork	20	30
AKU	25	30
Hembrug		25
Heemaf	20	25
Fokker		20
Ned. Seintoestellen Fabriek		15
Smit Transformatoren	5	15
Hoogovens	5	15
Gist & Spiritus Fabrieken		10
Organon		10
Smit Slikkerveer	10	
Calvé	10	
Jurgens/Unilever	5 à 10	5 à 10

Tabel 2.1 Aantal wetenschappers in enkele Nederlandse bedrijven in 1925 en 1940 (geschat).

Wat dreef deze Nederlandse bedrijven om wetenschappers aan te stellen en hen (ten dele) toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek te laten verrichten? Bestudering van de literatuur levert een interessante konstatering op: over de beweegredenen om in een bedrijf dit soort onderzoek te starten hebben ondernemers zich in

het openbaar hoegenaamd niet uitgelaten. De argumenten die mogelijk een rol hebben gespeeld, zijn bijna uitsluitend naar voren gebracht door kommentatoren en niet door managers. Konsekwentie hiervan is dat dus niet op basis van openbare literatuur de verschillende beweegredenen van ondernemers zelf kunnen worden geïnventariseerd. Wellicht dat raadpleging van bedrijfsarchieven hierin enige verandering zou kunnen brengen. Hier zal echter moeten worden volstaan met het weergeven van het verloop van opvattingen over het nut van het aanstellen van wetenschappers in de industrie op basis van de mening van derden. Alleen op de binnen Philips levende opvattingen zal iets nader worden ingegaan, omdat daarnaar reeds uitgebreid onderzoek heeft plaatsgevonden.

In de discussie over het nut van het aanstellen van wetenschappers in bedrijven speelden in algemene zin een drietal argumenten een rol: het zou noodzakelijk zijn voor het vinden van nieuwe producten en produktieprocessen, het zou de groei van bedrijven stimuleren en economische groei bewerkstelligen. Het eerste argument - de noodzaak in verband met vernieuwingsprocessen - werd in Nederland voor het eerst aan het eind van de Eerste Wereldoorlog naar voren gebracht. De grondstoffenschaarste en de daarmee samenhangende noodzaak tot zelfstandige produktie van alternatieve middelen heeft daaraan in belangrijke mate bijgedragen. De schaarste in de Eerste Wereldoorlog was volgens De Clercq in 1918 voor veel bedrijven aanleiding geweest om zelf "energiek wetenschappelijk onderzoek" ter hand te nemen.[17] Uit de daarmee opgedane ervaring was gebleken, aldus dezelfde De Clercq indertijd, dat "een onderzoekingslaboratorium den fabrikant in staat stelt om zijn bedrijf aan te passen aan de eischen des tijds, dat het de invoering van nieuwe fabricatiewijzen vereenvoudigt, terwijl het tevens de mogelijkheid opent voor het vinden van nieuwe procedé's".[18] Dit argument werd nadien door velen, zij het met andere woorden, vaak herhaald.[19]

Het tweede argument - onderzoek van wetenschappers in bedrijfslaboratoria stimuleert de groei en daarmee de kracht van het bedrijf zelf - werd door De Clercq op hetzelfde moment naar voren gebracht. Ter ondersteuning van zijn argument voerde hij voorbeelden aan uit de Duitse en Amerikaanse industrie.[20] Ook dit argument kwam daarna

in vele lezingen en discussies terug, eveneens vaak ondersteund met de opvatting dat Nederland een voorbeeld kon nemen aan verscheidene bedrijven in Duitsland en de Verenigde Staten.[21]

De mening dat het verrichten van toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek in bedrijfslaboratoria niet alleen gunstig zou zijn voor een krachtige concurrentiepositie van een bedrijf zelf, maar ook voor de nationale economie - het derde argument - kwam later, namelijk in de jaren dertig, op. Wellicht dat deze relatie juist op dat moment naar voren werd gebracht, omdat Nederland toen werd geconfronteerd met de gevolgen van de economische crisis die in 1929 was begonnen: ideeën over remedies op het niveau van de nationale economie konden immers toen op een warm onthaal rekenen. Een van de sterkste bepleiters van dit argument was H. C. J. H. Gelissen, die onder meer van 1935 tot 1937 Minister van Economische Zaken was. Wilden Nederlandse produkten weer internationale afzetmarkten kunnen vinden, dan konden zij zich volgens Gelissen geen betere bondgenoot wensen dan de "toegepaste natuurwetenschap": "De natuurwetenschap van ons land kan en moet mede strijden in de gelederen van ons handelspolitieke front, zij is de artillerie, die wonderen doet, mits goed gebruikt door economen en politici, en als zoodanig de beste bondgenoot van het Nederlandsch fabrikaat".[22]

Hoewel van de ondernemers van Philips, de gebroeders Gerard en Anton Philips, geen archiefmateriaal bewaard is gebleven omtrent hún argumenten om tot aanstelling van wetenschappers over te gaan, zijn er toch voldoende aanwijzingen, dat daarbij vooral de eerste twee genoemde argumenten een belangrijke rol hebben gespeeld. Het bedrijf bevond zich in een zeer dynamische markt, waarin nieuwe lampentypen elkaar snel opvolgden. Wilde het bedrijf niet ten ondergaan, dan moest het de vernieuwingen tenminste volgen. Een van de belangrijkste vernieuwingen die in de periode 1910 - 1915 tot stand kwam, was afkomstig van de Amerikaanse General Electric Company en bestond uit een met een edelgas gevulde metaaldraadgloeilamp, die een grote verbetering van het lichtrendement met zich meebracht. Deze uitvinding werd door tijdgenoten gezien als voortbrengsel van het werk van enkele onderzoekers, waaronder I. Langmuir en W. D. Coolidge, in het in 1900 opgerichte 'researchlaboratorium' van deze firma. Voor Phi-



lips was niet zozeer het bestaan van dit laboratorium reden zelf eveneens een onderzoekslaboratorium op te richten. Het waren veeleer de met de produktie van deze nieuwe lamp - de "half-watt lamp" - samenhangende problemen, die Philips er toe brachten uit te kijken naar een experimenteel fysikus. De eerste fysikus die in 1914 in dienst trad en een 'Natuurkundig Laboratorium' moest inrichten, was G. Holst. Hij werd spoedig bijgestaan door een tweede fysikus: E. Oosterhuis.[23]

Tientallen jaren later publiceerde Holst enkele artikelen met zijn opvattingen over het nut van toepassingsgericht (en fundamenteel) natuurwetenschappelijk onderzoek voor Philips. Daaruit blijkt dat hij toen het verwerven van een goede octrooipositie als belangrijkste argument daarvoor zag. Hij vergeleek het geld dat wordt gestoken in onderzoek met een verzekering: dankzij dit onderzoek kan een bedrijf octrooien verwerven en gunstige licentie-overeenkomsten met concurrerende bedrijven afsluiten. Onderzoek "vergroot de kans om niet uit de markt te worden verdrongen", schreef Holst in 1938.[24] Via het octrooistelsel kan onderzoek dus, in de visie van Holst, een zeer belangrijke bedrijfsstrategische functie vervullen.

Samenvattend kunnen we zeggen, dat in de loop van de periode 1900 - 1940 steeds sterker de mening postvatte, dat het verrichten van toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek in bedrijfs-laboratoria gunstig was voor zowel de bedrijven als voor de nationale economie. Parallel hiermee, en waarschijnlijk geleid door deze opvatting, besloten steeds meer ondernemers personeel met een wetenschappelijke scholing in hun bedrijf aan te stellen.

### §3. De overheid en toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek.

Een van de eerste terreinen waarop de Nederlandse overheid steun verleende aan pogingen om relaties te leggen tussen toepassingen en wetenschappelijke kennis en methoden was de landbouw. Aanleiding hiertoe vormde een ernstige crisis in de landbouw, die in 1878 aanving. Een door de overheid ingestelde "Staatscommissie voor de Land-

bouw" oordeelde, dat een tekort aan kennis bij de Nederlandse boeren een van de voornaamste redenen was van de slechte stand van zaken. Op advies van de kommissie werd het eerste, reeds eerder (1877) te Wageningen opgerichte Rijkslandbouwproefstation spoedig door andere landbouwproefstations gevolgd. Tot de taak van deze proefstations behoorde onder andere het geven van voorlichting en van "wetenschappelijk advies".[25]

Ook op andere terreinen dan de landbouw ontstonden met hulp van de overheid instituten, waarin kennis en methoden uit wetenschappelijke kring werden toegepast ter leniging van akute problemen. Voorbeelden daarvan zijn het Nederlandsch Meteorologisch Instituut (1854), het Rijksinstituut voor Visscherij-Onderzoek (1882), het Scheikundig Laboratorium der Artillerie-Inrichtingen (1896), de Rijksstudiedienst voor de Luchtvaart (1918), het Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater (1920), het Waterbouwkundig Laboratorium (bestaande uit het in 1927 opgericht Waterloopkundig Laboratorium en het uit 1934 stammende Laboratorium voor Grondmechanica) en het Nederlandsch Scheepsbouwkundig Proefstation (1929). Op de taken van deze instellingen kan hier niet nader worden ingegaan, evenmin als op die van de verschillende keuringsdiensten, die na 1890 werden opgericht, en waarvan de werkzaamheden in de jaren twintig eveneens onder "toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek" werden gerekend.[26]

In 1902 benoemde de overheid een kommissie die moest adviseren omtrent de oprichting van een 'Rijksstation voor fysisch-technologisch onderzoek', een instelling die zich, in navolging van de Duitse Physikalisch-Technische Reichsanstalt, vooral zou moeten richten op de keuring van en onderzoek aan dié meet- en weegwerktuigen die niet onder de toenmalige IJkwet vielen. Het rapport van de kommissie was in 1904 gereed, maar kwam pas in 1908 in de openbaarheid, terwijl aan de aanbevelingen geen verdere aandacht meer werd geschonken.[27] Naar de reden daarvan kunnen we slechts gissen: geen historische bronnen bleven daarvan bewaard. De algemene houding van de overheid in die tijd - gekenmerkt door een sterk liberale traditie en terughoudendheid ten aanzien van inmenging in het economisch bestel - kan hierbij van invloed zijn geweest.[28]

Net als de landbouwkrisis van rond 1880 dwong de Eerste Wereldoorlog de overheid tot korrigerende maatregelen. De oorlog, waaraan Nederland overigens niet deelnam, bracht directe problemen met zich mee, vooral op het gebied van de grondstoffen. In de wetenschappelijke gemeenschap ontstonden initiatieven om ook wetenschappelijke kennis aan de oplossing van de maatschappelijke noden te laten bijdragen. E. Cohen, hoogleraar in de chemie te Utrecht, riep in 1917 nogmaals op tot de oprichting van een instituut overeenkomstig de Physikalisch-Technische Reichsanstalt te Berlijn. Ook het National Physical Laboratory te London en de Carnegie-Institution te Washington stelde hij de Nederlandse situatie ten voorbeeld. Directe aanleiding van zijn oproep vormde de oorlog, maar meer in het algemeen was hij een van de eerste Nederlanders die 'dé wetenschap' expliciet als een van de belangrijkste stimulansen van maatschappelijke vooruitgang portretteerde: "Wie oogen heeft om te zien en ooren om te hooren, weet en ondervindt dagelijks, dat een iegelijk, van de meest ontwikkelde af tot den "man in the street" toe, de sinds meer dan een halve eeuw zoo geweldig verbeterde levensomstandigheden van het individu, op intellektueel zoowel als op materieel gebied, aan de wetenschap heeft te danken." [29]

In hetzelfde jaar nam de Koninklijke Nederlandsche Academie van Wetenschappen (KNAW) de oproep van Cohen over en legde de regering de volgende vraag voor: "Is het niet dringend nodig alle kracht van wetenschap en ervaring, waarover Nederland beschikt, te doen zoeken naar middelen en wegen om uit de weinige beschikbare grondstoffen en produktiemiddelen een zo groot mogelijk nut te trekken?" [30] De regering gaf hieraan onder druk van de directe oorlogsnoden gevolg door een 'Commissie van Advies en Onderzoek in het Belang van Volkswelvaart en Weerbaarheid' op te richten. Kortweg heette deze de "Commissie-Lorentz", naar haar voorzitter H. A. Lorentz, op dat moment tevens voorzitter van de afdeling Natuurkunde van de KNAW. P. Zeeman, met wie Lorentz in 1902 de Nobelprijs voor de natuurkunde had ontvangen, werd sekretaris van het bestuur. In het bestuur zaten nog drie leden, waaronder F. A. F. C. Went, hoogleraar in de plantkunde te Utrecht, die op dit punt tot in de jaren dertig een belangrijke rol zou blijven spelen. Naast het vijfhoofdige bestuur telde

de kommissie zevenentwintig gewone leden, waaronder veertien hoogleraren en vijf vertegenwoordigers van de Nederlandse industrie.[31]

Het blad *Economisch-Statistische Berichten* ontving de instelling van de kommissie met instemming en drong er op aan, dat de kommissie zou pleiten voor het oprichten van een Staatslaboratorium, zoals dat in 1902 was beoogd. Het blad verwees daarbij in het algemeen naar het grote nut van een "coöperatie van wetenschap en techniek" en haalde de Duitse situatie aan, die - aldus het blad - bewezen had, dat deze samenwerking voor een "bloeiende industrie onmisbaar" was.[32]

De kommissie ving haar werkzaamheden aan op 26 januari 1918 en stelde liefst twaalf subkommissies in, die zich zouden bezig houden met vraagstukken betreffende voeding, kleding, de chemische industrie en de nationale verdediging.[33] Toen in de loop van dat jaar de oorlog teneinde kwam, verdween de direkte bestaansgrond van de kommissie. Binnen de KNAW ontstond onder aanvoering van de genoemde Cohen een stroming, die uit vrees voor een teloorgang van de adviseerende status van de KNAW aan de regering zelf, actie voerde om de Commissie-Lorentz op te heffen.[34] De regering zelf had al eerder indirect haar twijfels over het nut van de kommissie laten merken door 'crisisbureaux' met een overlappende taakstelling op te richten, hetgeen tot enige irritatie bij de kommissie had geleid.[35] Desondanks nam de regering het advies van Cohen en de zijnen niet over. De kommissie bleef voorlopig bestaan en vergaderde tot 29 januari 1921 in totaliteit veertien keer, daarbij financieel gesteund door de overheid: voor zowel het begrotingsjaar 1918 als 1919 kreeg de kommissie het aanzienlijke bedrag van f 100.000,- toegewezen.[36]

In 1920 gaf C. J. van Nieuwenburg, later hoogleraar te Delft, een voordracht getiteld: "De nationale organisatie van wetenschappelijk-technisch werk".[37] Deze bracht de discussie weer op gang en was voor de Minister van Onderwijs, Kunsten en Wetenschappen, De Visser, aanleiding om buiten de Commissie-Lorentz om advies te vragen aan I. P. de Vooy, hoogleraar te Delft.[38] Die adviseerde hem een nieuwe kommissie te installeren, die raad zou moeten geven over de samenwerking tussen alle instellingen voor technisch-wetenschap-

pelijk onderzoek in dienst van het algemeen belang.[39] Nog steeds hief de regering de Commissie-Lorentz echter niet op, hoewel zij in 1921 wel feitelijk ophield te bestaan.[40]

Het duurde tot 1923, voordat de regering een nieuwe commissie instelde, die de opdracht kreeg te onderzoeken "door welke maatregelen en in welke vorm het toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek hier te lande in hogere mate dienstbaar kan worden gemaakt aan het algemeen belang".[41] Na de officiële installatie, die een ruim half jaar op zich liet wachten, ging deze commissie voortvarend aan de slag. Onder leiding van de reeds genoemde Went, naar wie deze commissie werd vernoemd, bracht zij reeds na een jaar een uitvoerig rapport uit. Centraal daarin stond het advies een overkoepelend orgaan in het leven te roepen, waaronder al het "toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek" van de overheid zou worden georganiseerd. De Commissie-Went wenste dus geen Staatslaboratorium, maar een overkoepelend orgaan voor alle instellingen die op dat moment door de overheid werden bekostigd.

Het rapport kreeg ruime aandacht van enkele toonaangevende tijdschriften, zij het in enkele gevallen pas na enige jaren.[42] Veel geciteerd werd de slotkonklusie van het rapport, waarin de bovenvermelde opvattingen van Cohen en *Economisch-Statistische Berichten* nog eens met andere woorden werd samengevat: "Slechts een volk, dat het vraagstuk, waarover Uwe Excellenties onze Commissie bijeenriepen, tot een goede oplossing brengt, zal den strijd met concurrerende naburen om een behoorlijk bestaan met succes kunnen volhouden. Bij den wedloop der volkeren zullen in de komende jaren, meer nog dan in het voorgaande, kennis van de natuur en hare verschijnselen en bekwaamheid in het ten nutte maken daarvan den uitslag bepalen".[43] De Nederlandsche Chemische Vereeniging steunde de Commissie-Went openlijk door een schrijven te richten aan de betreffende bewindslieden.[44] Desondanks bleef het rapport twee en een half jaar in een ambtelijke la liggen. Pas in 1927 ondernam de regering weer nieuwe initiatieven: op 30 juli van dat jaar werd A. de Mooij door het Ministerie van Onderwijs, Kunsten en Wetenschappen aangesteld om een wetsontwerp met betrekking tot "toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek" voor te bereiden.[45] In twee jaar tijd legde hij de ba-

sis voor een wetsontwerp, dat voorzag in de instelling van een publiekrechtelijk lichaam voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO) in Nederland. In 1930 gingen beide Kamers daarmee akkoord, maar het duurde weer twee jaar alvorens de wet officieel in werking trad, zodat het bij elkaar genomen vijftien jaar heeft geduurd, eer de nog prille ideeën van de KNAW uit 1917 in de vorm van een concrete organisatie waren gerealiseerd.

Gemakkelijk ging de opbouw van de organisatie echter zeker niet vanaf dat moment. Went, de eerste voorzitter van het TNO-bestuur slaagde er niet in van het jonge TNO een bloeiend instituut te maken. Hij overleed in 1935 en werd opgevolgd door G. van Iterson, hoogleraar te Delft en voorheen reeds lid geweest van zowel de Commissie-Lorentz als de Commissie-Went. Onder zijn leiding wilde het echter evenmin vlotten met de organisatie. Van TNO uit bezien was het belangrijkste probleem de overdracht van de bestaande overheidsinstituten aan de TNO-organisatie. Deze overdracht stuitte op grote tegenstand van de departementen, die volgens de letter van de wet zelf konden beslissen welke instituten zij onder de bevoegdheden van TNO zouden brengen en wanneer zij dat zouden doen. Het zou tot 1941 duren, voordat de eerste overheidsinstituten daadwerkelijk onder TNO-beheer kwamen.[46]

Bij TNO was men zeer verbolgen over deze gang van zaken. Voor Van Iterson was het aanleiding niet lang de voorzittersshamer te willen hanteren: in 1939 trok hij zich verbitterd terug onder het uitspreken van ferme beschuldigingen aan het adres van de overheid.[47] Het dagblad *Het Vaderland* bracht de tegenstellingen onder de aandacht van het publiek en sprak van sabotage van de kant van de ambtenaren.[48] Naar de mening van Van Iterson was de oorzaak van de problemen gelegen in de onwil van de ambtenaren om overheidsmacht over de bestaande instituten aan de nieuwe organisatie over te dragen.[49]

Uit inmiddels openbaargemaakte stukken van het Ministerie van Economische Zaken blijkt, waarom de ambtenaren niet bereidwillig waren om aan de overdracht mee te werken. Zij waren niet zozeer tegen steun van de staat aan "toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek", als wel tegen de wijze waarop deze steun in de TNO-wet was geregeld.

Gesproken werd van een "onmogelijke" wet. Van belang was dat zich rond 1930 een belangrijke kentering had voorgedaan in de opvatting van de overheid over haar taak in de samenleving - in ambtelijke kring sprak men een "grote verandering" in de opvatting van de staatstaak. Gedwongen door de ernstige economische crisis die in 1929 was begonnen, had de overheid haar liberale opvattingen enigszins laten varen en was zij meer dan voorheen sturend gaan optreden. De TNO-wet gaf de gedelegeerde ambtenaren echter geen mogelijkheden tot bijsturing, maar slechts het recht van veto in de TNO-organisatie, hetgeen zij geen adequaat middel vonden, omdat zij daarmee slechts "negatief" konden ingrijpen. Intern werd dan ook betreurd, dat "in een onbewaakt oogenblik een 8-tal Ministers" in 1930 hun handtekening onder de wet hadden geplaatst.[50]

De tegenstellingen verscherpten zich in de loop van de jaren dertig en leidden tot sterke persoonlijke beschuldigingen over-en-weer. Vooral De Mooij en C. J. P. Zaalberg, voorzitter van de in 1934 opgerichte Nijverheidsorganisatie TNO, moesten het in de ogen van de ambtenaren ontgelden. De Mooij werd bijvoorbeeld "onbetrouwbaarheid" verweten.[51] De persoonlijke tegenstellingen namen pas een keer in 1939, toen J. Alingh Prins Van Iterson als voorzitter opvolgde. Die slaagde er in korte tijd in een goede persoonlijke verstandhouding met de Minister van Economische Zaken, M. P. L. Steenberghe, en diens ambtenaren op te bouwen, hetgeen resulteerde in een "soepeler" houding hunnerzijds.[52] Onder de leiding van Alingh Prins werden de stellingen - hijzelf sprak bij zijn aantreden van een "stellingenoorlog" [53] - geleidelijk verlaten. Aan buitenstaanders ging dit niet onopgemerkt voorbij. In december 1940 schreef *De Ingenieur* een kort verslag over het jaarverslag van TNO over het jaar 1939. Daarin valt onder meer het volgende te lezen: "De geest, waarin het verhaal der gebeurtenissen wordt geschreven, doet, bij vroeger vergeleken [.....] weldadig aan. Op het terrein van TNO, welks grenzen voortdurend worden uitgebreid, schijnt rust en vrede te heerschen [.....]".[54] In de Tweede Wereldoorlog werden vervolgens de fundamenteen gelegd voor een sterke groei van TNO en de daarmee samenhangende institutionele ondersteuning van de overheid voor toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek.

§4. Universiteiten en toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek.

Over de opvattingen van universitaire medewerkers aan het begin van deze eeuw over het verrichten van toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek zijn slechts weinig bronnen voorhanden. Enkele bronnen van rond de Eerste Wereldoorlog tonen een beeld van een grote afstand tussen de universitaire wereld en technische problemen van de industrie. Zo schreef A. Vosmaer in 1913: "Het treft mij als technicus telkens opnieuw, hoe weinig verband er is tusschen het wetenschappelijk en technisch werken; de kloof tusschen zoogenaamde theorie en praktijk is altijd nog maar hier en daar overbrugd en dat is m. i. noch voor de een noch voor de ander ten voordeele". [55] Zijn kritiek gold vooral de houding van de universitaire medewerkers ten aanzien van de "praktijk": "De waardeering van de wetenschap voor het technisch werken is echter helaas minder groot". [56] Dezelfde kritiek valt te lezen in een stelling van een proefschrift uit 1916: "Bij het universitaire onderwijs in de chemie wordt te weinig rekening gehouden met de eischen van de maatschappij". [57] Deze stelling was voor een tijdgenoot mede aanleiding te konstateren, dat "ook hier te lande de zucht naar een betere samenwerking merkbaar wordt (.....)". [58] In een toespraak tot de Nederlandsche Chemische Vereeniging in april 1918 beaamde voorzitter H. R. Kruyt, tevens hoogleraar in de chemie te Utrecht, dat aan de universiteiten sprake was van een zekere kentering in de opvattingen: "In mijn studententijd [net na 1900] was er onder ons onmiskenbaar een tegenzin, een kleineerend waardeeren van de industrie; de weg naar de techniek was voor de zwakke broeder bestemd, wie zich zelf respecteerde, zocht een baantje, dat hem vrijen tijd gaf voor zuiver wetenschappelijk werk. (.....) Gelukkig is dat in den laatsten tijd heel anders". [59]

Hoe sterk deze verandering in opvattingen aan de universiteiten leefde en of deze konsekwenties had voor het onderwijsprogramma, valt buiten het kader van deze studie. Feit is wel dat Kruyts woorden bevestiging vinden in een sterke relatieve en absolute toeneming



rond 1910 van het aantal universitaire chemici, dat een betrekking vond in de industrie (zie figuren 2.2 en 2.3). Over de opvattingen van andere universitaire beroepsgroepen uit die tijd is weinig bekend. De indruk lijkt gerechtvaardigd, dat tot ongeveer 1920 ook onder fysici het animo om in de industrie een betrekking te zoeken gering was: zo kostte het Philips moeite om tussen 1911 en 1914 een geschikte fysikus te vinden, die een betrekking in de industrie wenste te aanvaarden.[60] Dat nam overigens niet weg, dat fysici van naam zich in de Eerste Wereldoorlog inspanden om hun (wetenschappelijke) kennis bij de oplossing van praktische maatschappelijke problemen in te zetten. Zoals gezegd waren Lorentz en Zeeman bijvoorbeeld nauw betrokken bij de 'Commissie van Advies en Onderzoek in het Belang van Volkswelvaart en Weerbaarheid'.

De eerste fysikus die toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek systematisch binnen de muren van de universiteit haalde was L. S. Ornstein, hoogleraar-direkteur van het Fysisch-Laboratorium van de Rijksuniversiteit Utrecht. Ook hij hing de gedachte aan, dat de "wetenschap" een van de belangrijkste pijlers van de vooruitgang van de "techniek" is. Zo schreef hij in 1926: "De ontplooiing der techniek is mogelijk geworden door de groote vlucht, die de natuurwetenschappen in de laatste eeuwen genomen hebben. (.....) Geen onderdeel der techniek, of de grondslagen zijn in het theoretische en experimenteele onderzoek der zuivere wetenschap gelegd".[61] Hij verbond daaraan de konklusie, dat het voor de universiteiten noodzakelijk was "de techniek in haar kring op te nemen" en "de samenwerking van techniek en wetenschap te bevorderen juist op die plaats, waar van nature de wetenschap beoefend wordt".[62] Hij was dan ook een sterke tegenstander van het idee om de nieuwe opleiding tot natuurkundig ingenieur, die via een wet van datzelfde jaar tot stand kwam, onder te brengen bij de Technische Hoogeschool Delft. Hij was van mening dat een dergelijke opleiding aan de universiteit thuishoorde.[63]

In die tijd ging Ornstein er toe over om buitenstaanders met aan de praktijk ontleende problemen toegang tot het Fysisch Laboratorium te verlenen. Zo kreeg de 'Commissie voor Warmte-isolatie' van het Technisch Economisch Genootschap de gelegenheid om in Ornsteins

laboratorium onderzoek te verrichten.[64] Uit deze werkzaamheden kwam later de Warmtestichting voort. Ook J. G. Bellaar Spruyt, voorzitter van het Verbond van Electrotechnische Handel en Industrie, vond met een probleem met betrekking tot transformatorolie bij Ornstein een gewillig oor.[65]

Uit zijn contacten met Bellaar Spruyt ontstond in 1927 het 'Fonds der Electrotechnische Industrie ter Bevordering van het Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek'. Met de oprichting van dit fonds werd ook ingespeeld op heersende onvrede over het uitblijven van maatregelen van de kant van de overheid na het gereedkomen van het rapport van de Commissie-Went in 1925. Door een tijdgenoot werd het fonds gezien als een realisering van de in dat rapport neergelegde ideeën: "maar de levende, voldragen idee [van het rapport-Went] wenscht niet te verbleeken met het vergeelende papier, waaraan ze is toevertrouwd en zoekt zich een anderen weg ter verwezenlijking".[66] Van aanvang af waren de bestuurders van het fonds van mening, dat het te zijner tijd zou moeten opgaan in de organisatie die de Commissie-Went voor ogen stond, zodra deze eenmaal zou zijn opgericht.[67] In de samenstelling van het bestuur, dat bestond uit een aantal "Regenten", werd deze opvatting weerspiegeld: zowel Went als F. G. Waller, president-direkteur van de Nederlandsche Gist en Spiritus Fabrieken en lid van de Commissie-Went, behoorden tot de eerste Regenten van het fonds.

Het fonds vroeg geen financiële ondersteuning van de overheid onder het motto: "Geldelijke steun van de Regeering kan een sterke industrie, zooals de electrotechnische dat is, niet vragen".[68] Morele steun vroeg en kreeg het fonds van de overheid echter wel. Tijdens het doopmaal van het fonds maakte J. R. Slotemaker de Bruïne, Minister van Arbeid, Handel en Nijverheid, in een toespraak duidelijk, dat de regering zeer verguld was, dat de ideeën van de Commissie-Went op deze wijze in een organisatie werden vastgelegd. Dat het fonds daarvoor in tegenstelling tot de Commissie-Went geen financiële steun van de overheid zocht, noemde hij expliciet als reden van zijn instemming.[69] De morele steun van de overheid werd later, in 1932, bekrachtigd toen H. A. van Karnebeek, die tot 1927 meermalen Minister van Buitenlandsche Zaken was geweest en nadien

tot Minister van Staat was benoemd, voorzitter van het fonds werd. Nog sterker werd de band met de overheid toen Gelissen, die sinds ongeveer 1932 Regent was van het fonds, in 1935 Minister van Handel, Nijverheid en Scheepvaart werd en zijn functie binnen het fonds daarvoor niet opgaf.[70] Het fonds weerspiegelde daarmee niet alleen de opvattingen van Ornstein, maar ook die van de overheid, die zich zelf, zoals gezegd, met een "onmogelijke" TNO-wet in verlegenheid had gebracht en desondanks de achterliggende gedachte van deze wet van harte ondersteunde (zie §3).

Naast de overheid steunde de industrie het fonds, enerzijds door voor de financiële middelen te zorgen, anderzijds door in het College van Regenten vertegenwoordigers te benoemen. Zo waren F. H. F. van Vlissingen, grondlegger van de kunstzijdeindustrie in Nederland, en P. F. S. Otten van de Philips' Gloeilampenfabrieken (Philips) gedurende lange tijd lid van dit College. Subsidies werden onder andere verstrekt door de Nederlandsche Spoorwegen, de Hollandsche Draad- en Kabelfabriek (Draka), de Hengelosche Electriche en Mechanische Apparatenfabriek (Heemaf), Machinefabriek Gebr. Stork & Co (Stork), de Bataafsche Petroleum Maatschappij (BPM) en Philips.[71]

Bij de oprichting stelde het fonds zich ten doel het "toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek" te bevorderen door het bekostigen van onderzoekingen voor bij voorkeur de Nederlandse industrie.[72] Hoewel in de oorspronkelijke naamgeving van het fonds alleen de elektrotechnische industrie tot uiting kwam, bleek die beperking niet uit de statuten. In de regentenvergadering van 12 juni 1930 werd de beperking in de naam weggenomen door deze te wijzigen in: 'Fonds voor Natuurwetenschappelijk Onderzoek ter Bevordering van de Nederlandsche Industrie'.[73] Het blad *Electrotechniek* konkludeerde, dat dit geen formaliteit kon zijn, maar blijk gaf van een veranderde, ruimere doelstelling.[74] Hoewel deze doelstelling dus al in de aanvankelijke statuten lag opgesloten en deze konklusie wellicht te ver gaat, volgt uit deze naamwijziging wel, dat het fonds zich hiermee nog nadrukkelijker dan voorheen presenteerde als de meest werkbare vorm van de ideeën van de Commissie-Went.

In de loop van de jaren financierde het fonds verscheidene onderzoekingen, die werden uitgevoerd aan een van de universiteiten of

hogescholen. Zij gingen allen uit van een probleemstelling, die aan een concreet artefakt was ontleend, zoals de bouw van een nauwkeurige, kortsluitzekere stroomtransformator of onderzoek aan transformator-olie. Zij waren voornamelijk gericht op het verkrijgen van meer gegevens via gebruik van nauwkeurige meetinstrumenten en niet zozeer op theoretische verklaringen.[75] Het fonds sloeg daarom vooral een brug tussen technische problemen en wetenschappelijke methoden. Daarbij bleef het echter niet: het financierde bijvoorbeeld eveneens een bijzondere leerstoel in de elektrotechniek te Utrecht, die werd vervuld door J. C. van Staveren, directeur van de KEMA.[76] In de eerste tien jaren van het bestaan werd aan deze doeleinden het niet onaanzienlijke bedrag van f 65.171,- besteed.[77]

Gedurende de gehele bestaansperiode bleef de officiële lijn van het fonds, dat het zou moeten opgaan in de organisatie die de Commissie-Went voor ogen had gehad, zodra deze eenmaal zou zijn opgericht. Hoewel deze organisatie in 1932 in de vorm van TNO tot stand kwam, gebeurde dit niet: het fonds bleef onafhankelijk van TNO en drong niet aan op opname in deze organisatie, gezien het noodlijdende karakter van TNO.[78] In 1937 besloot TNO net als het fonds een beroep te gaan doen op financiële ondersteuning door de industrie, omdat de overheid onvoldoende aan de TNO-middelen zou bijdragen. TNO en het fonds werden daardoor een directe concurrent van elkaar, hetgeen aanleiding was om in december van dat jaar een voorstel tot likwidatie van het fonds op de agenda van de Regentenvergadering te plaatsen.[79] Verscheidene Regenten verzetten zich echter tegen dit plan, ondanks dat de voorzitter, Van Karnebeek, te kennen gaf te willen opstappen, omdat hij de financiële basis en de omvang van het fonds te klein vond.[80] Het duurde uiteindelijk tot 12 december 1939, alvorens het College van Regenten officieel werd ontbonden en het fonds ophield te bestaan.[81] Hoewel dit, voor zover valt na te gaan, nergens met zoveel woorden is gezegd, zou dit kunnen samenhangen met het gegeven, dat op dat moment Alingh Prins voorzitter van TNO was geworden en TNO voor het eerst in zijn bestaan de wind in de rug had gekregen (zie §3).

§5. Samenvatting.

De drie voorgaande paragrafen wijzen ontegenzeggelijk in dezelfde richting: rond en gedeeltelijk ook vanwege de Eerste Wereldoorlog veranderden in Nederland de opvattingen over het nut van wetenschappelijk onderzoek voor de ontwikkeling van artefakten. Dit geldt zowel voor de overheid, de universitaire wereld, als het bedrijfsleven. Het interbellum was de tijd waarin het streven naar een grotere inbreng van wetenschappelijk onderzoek bij de ontwikkeling van artefakten in verschillende instituties werd vormgegeven. Met de oprichting van het Natuurkundig Laboratorium in 1914 liep Philips voorop in Nederland met betrekking tot de institutionalisering van toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek. In het algemeen stamden de eerste activiteiten van de Nederlandse industrie dienaangaande uit de jaren twintig, toen het oprichten van speciale onderzoekslaboratoria en het aanstellen van wetenschappers in een stroomversnelling raakte. Tegen ongeveer 100 wetenschappers in de Nederlandse industrie in 1900, werkten daar in 1940 ongeveer 1800 wetenschappers. Het aantal speciaal voor toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek ingerichte bedrijfslaboratoria was toen gestegen tot 50 à 100.

Na lang aarzelen richtte de overheid in 1930 TNO op, een overkoepelende organisatie waarin al het toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek van de overheid zou moeten opgaan. TNO kende een zeer moeizame start, al werd dat niet zozeer bepaald doordat de overheid het gewenste streven niet zou ondersteunen. Pas in de Tweede Wereldoorlog begon TNO een enigszins goed funktionerende organisatie te worden. Binnen de universitaire wereld was het de Utrechtse hoogleraar Ornstein die in 1927 een fonds - het Fonds der Electrotechnische Industrie ter Bevordering van het Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek - in het leven riep, dat de 'TNO-gedachte' op kleine schaal poogde te verwezenlijken, zolang de overheid daarvoor zelf nog geen organisatie had opgericht. Door de moeizame start van TNO bleef dit fonds tot 1939 in stand.



III. ANALYSEKADER.§1. Inleiding.

In de slotparagraaf van hoofdstuk I is uiteengezet, dat deze studie zich zal richten op de analyse van de ontwikkeling van kwiklampen en het daartoe verrichte natuurwetenschappelijk onderzoek in de periode voorafgaand aan 1940. Als invalshoek voor de beschrijving van deze geschiedenis wordt de dynamiek in de ontwikkeling van deze lampen gekozen, dat wil zeggen de opeenvolgende stappen in de ontwikkeling en de factoren die daarop van invloed zijn geweest. Toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek is een van die factoren. Om de relatie tussen toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek en de ontwikkeling van artefacten te analyseren wordt de nadruk gelegd op het werk in de industriële laboratoria. Aangekondigd werd dat daarbij gebruik zal worden gemaakt van een analysekader dat is geïnspireerd door bestaande innovatiemodellen. Dit hoofdstuk beschrijft dit analysekader en laat zien op welke bestaande modellen het is gebaseerd.

De eerstvolgende paragraaf (§2) gaat kort in op die innovatiemodellen die van belang zijn geweest voor het opgestelde analysekader. Bij de beschrijving van bestaande innovatiemodellen is geen volledigheid nagestreefd. Getracht is de hoofdgedachten weer te geven van die modellen die recent zijn ontwikkeld en die ook in techniekhistorische kring de aandacht op zich hebben weten te vestigen. Zij zijn ruwweg onder te verdelen in drie categorieën: variatie-en-selektie schema's, de 'theorie' van de sociale konstruktie van artefacten (SCOT) en modellen die grote nadruk leggen op het belang van ontwerp- en selektiekriteria. Van cruciaal belang bij het opstellen van het hier gebruikte kader is de vraag of het in principe geschikt lijkt om een beschrijving van het werk van onderzoekers in laboratoria te integreren in een beschrijving van de dynamiek in de ont-

wikkeling van produkten.

§2. Innovatiemodellen; grepen uit de literatuur.

Binnen de ekonomie bestaat reeds decennialang een stroming die studies naar industriële innovaties verricht.[1] Een van de eerste ekonomen die dat deed was J. Schumpeter. In zijn voetspoor volgden onder andere Ch. Freeman, N. Rosenberg, R. R. Nelson, S. G. Winter en G. Dosi. Doel van hun onderzoekingen was meer duidelijkheid te verschaffen over de relatie tussen economisch sukses en technische ontwikkelingen. De processen die zich in de verschillende laboratoria afspelen blijven bij hen in het algemeen een 'black box' - een zaak waarover overigens ook enkelen van hen zelf ontevreden zijn.[2] In verscheidene studies werd gepoogd te 'meten' of innovaties voornamelijk door de markt of door nieuwe technisch-wetenschappelijke kennis tot stand komen. In het eerste geval spreekt men van 'market pull', in het tweede geval van 'technology push'. De uitkomst werd geacht direkt beleidsrelevant te zijn, omdat duidelijk zou moeten blijken, waarin beleidsmakers het best konden investeren om innovatieprocessen te bevorderen. De resultaten van dit soort studies liepen echter nogal uiteen en deden velen konkluderen, dat de (overigens nog steeds veel gebruikte) begrippen 'technology push' en 'market pull' weinig vruchtbaar zijn voor een gedegen analyse van innovatieprocessen.[3]

Aan het eind van de jaren zeventig introduceerden Nelson en Winter een Darwinistisch 'variatie-en-selektie' model.[4] Elke onderneming stelt in dit model zijn artefakten bloot aan een onzekere selektieomgeving, waarover de informatie principieel beperkt is. Door middel van variaties in de artefakten pogen de ondernemingen zo adequaat mogelijk op de (veranderende) wensen van de markt in te spelen en aldus een zo scherp mogelijk beeld daarvan te krijgen. Dosi werkte de ideeën van Nelson en Winter uit en leende het begrip 'paradigma' uit de wetenschapsfilosofie voor een eigen variatie-en-selektie schema.[5] Onder een 'technologisch paradigma' ("technological paradigm") verstaat hij globaal gesproken: "an 'outlook', a set of procedures, a definition of the 'relevant' problems and of the specific



knowledge related to their solution".[6] Het begrip is voor hem synoniem met het begrip "research programme". Voorts gebruikt hij het begrip 'technologisch traject' ("technological trajectory"), dat hij definieert als "the pattern of 'normal' problem solving activity (i. e. of 'progress') on the ground of a technological paradigm".[7] Dosi karakteriseert een technologisch paradigma met behulp van de volgende vier punten: algemene doelstelling, de gekozen materialen, de gebruikte fysische en chemische verschijnselen en de gewenste technische en economische dimensies. Het technologische traject is als het ware het 'pad' dat in de tijd wordt afgelegd langs de technische en economische dimensies. Die artefakten die het hoogste niveau bezitten ten aanzien van deze dimensies vormen een 'technologisch front' ("technological frontier"). 'Vooruitgang' kan volgens Dosi worden gezien als verbeteringen in de keuzemogelijkheden tussen de verschillende technische dimensies van een artefakt. Van belang is tenslotte, dat bij Dosi de selectieomgeving het variatieproces beïnvloedt, maar onduidelijk blijft of het variatieproces, omgekeerd, ook invloed uitoefent op de selectieomgeving. Volgens Dosi bepaalt de selectieomgeving het variatieproces allereerst door de keuze van het technologische paradigma en vervolgens door een Darwinistisch selectieproces met betrekking tot geproduceerde artefakten.[8]

De verdienste van Nelson, Winter en Dosi is, dat zij aanzetten hebben gegeven om de techniek zelf transparanter te maken en een duidelijkere plaats te geven in het innovatieproces. Een voor mijn doel belangrijke omissie is, dat zij nauwelijks ingaan op de vraag, hoe de (inhoudelijke) relatie is tussen technisch wetenschappelijk onderzoek en de ontwikkeling van artefakten. Dosi benadert dit probleem bijvoorbeeld slechts vanuit een beleidsvisie en bepleit, in navolging van Freeman, het instellen van 'overbruggende instituties' tussen 'zuivere wetenschap' en toepassingsgericht onderzoek.[9] A. Rip en H. van den Belt hebben ook op andere tekortkomingen van het model van Dosi, Nelson en Winter gewezen: ten eerste geeft Dosi niet exakt genoeg aan hoe technologische paradigma's ontstaan en ten tweede werken zij alle drie onvoldoende uit hoe variatieprocessen en selectieomgeving elkaar beïnvloeden.[10] Rip en Van den Belt in-

troduceren in verband met hun eerste punt van kritiek het begrip "exemplary achievement" (een prototype), dat na verloop van tijd een technologisch paradigma doet ontstaan en dat richtlijnen verschaft voor verdere succesvolle ontwikkelingen.[11] Een 'exemplary achievement' geeft aldus ook richting aan een technologisch traject. Hun kritiek op de wederzijdse beïnvloeding van variatieprocessen en selectieomgeving preciseren zij met de stelling, dat de selectieomgeving niet slechts selekteert uit artefakten en technologische paradigma's (Dosi), maar ook uit de in de onderzoekslaboratoria gevolgde heuristieken; bovendien veranderen volgens Rip en Van den Belt de op de markt gebrachte artefakten de selectieomgeving, zodat variatie en selectie geen onafhankelijke variabelen zijn.[12]

P. Weeder en D. Kester hebben de ontwikkeling van een artefakt in een onderzoekslaboratorium aan de hand van een historisch voorbeeld uit het laboratorium van de Algemene Kunstzijde Unie (AKU) geanalyseerd.[13] Hun schema is een expliciet variatie-en-selectie model. Zij onderscheiden drie fasen in een dergelijk laboratorium: de exploratieve fase, de projectfase en de ontwikkelingsfase. In de eerste fase vindt algemeen, niet direkt toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek plaats. Binnen de projectfase is het onderzoek veel meer toepassingsgericht, terwijl de werkzaamheden binnen de ontwikkelingsfase zijn gericht op het produktierijp maken van artefakten. Weeder en Kester beperken zich in hun historische studie tot de projectfase, waarin sprake is van een concreet idee, waarvan het management overtuigd is, dat het een bepaalde marktwaarde heeft. Zij noemen zo'n idee een "lead", waarbij vier kenmerken horen:

- men heeft bepaalde materialen of een klasse van materialen op het oog;
- deze materialen bezitten bepaalde eigenschappen;
- men denkt in termen van min of meer duidelijk toepassingen;
- aan die toepassingen worden welomschreven eisen gesteld.

Kenmerkend voor de projectfase is, dat de onderzoekers net zo lang 'variëren', dat wil zeggen net zo lang de materiaaleigenschappen manipuleren, totdat het materiaal met de juiste eigenschappen kan worden geselecteerd, dat wil zeggen tot het voldoet aan de gestelde eisen. Anders gezegd: de eigenschappen worden afgebeeld op de

gestelde eisen. Het model is dynamisch, omdat het rekening houdt met tussentijdse wijzigingen van de eisen bijvoorbeeld ten gevolge van onderhandelingen tussen verschillende van belang zijnde groepen. Ook erkennen Weeder en Kester, dat de selectieomgeving zelf ten dele wordt beïnvloed door de uitkomst van variatieprocessen: eisen kunnen ten gevolge van onderzoeksresultaten worden aangepast. Een belangrijke toevoeging is, dat zij, net als Rip en Van den Belt, verwijzen naar het belang van onderzoeksheuristieken en aldus de 'black box' van wetenschap en techniek pogen te openen.

Variatie- en selectieprocessen kunnen op verschillende niveaus plaatsvinden. Zo wordt niet slechts gevarieerd en geselecteerd met betrekking tot verschillende artefakten, maar ook met betrekking tot de verschillende problemen die onderzoekers in het laboratorium ontmoeten. Het definiëren en afbakenen van de selectieomgeving en de variatieprocessen is daarom mijns inziens geen eenduidige zaak. De selectieomgeving kan immers, afhankelijk van de invalshoek, zowel binnen als buiten een bedrijf liggen.[14] In het nog te presenteren analysekader zullen wel elementen uit variatie-en-selectie schema's zijn te herkennen, maar de terminologie als zodanig wordt vermeden.

Een recente ontwikkeling in de innovatiemodellenbouw betreft de 'theorie' van de sociale konstruktie van artefakten, vaak afgekort tot SCOT, naar het Engelse synoniem: 'Social Construction of Technology'. [15] Dit programma is verwant met het programma van de Sociology of Knowledge en tracht 'theoretische' verklaringen te vinden voor technische ontwikkelingen. Centraal uitgangspunt in SCOT is de stelling, dat de verklaringen a priori moeten worden gezocht in de sociale interacties tussen van belang zijnde groepen die bij een bepaald artefakt zijn betrokken. W. Bijker, een representant van SCOT, vatte dit bijvoorbeeld samen in de slogan: "alles is sociaal". [16]

De representanten van SCOT zijn verklaarde voorstanders van de gedachte, dat voor een beter begrip van innovatieprocessen de 'techniek' zelf transparanter moet worden gemaakt: ook zij streven opening van de 'black box' na. Daarin ligt echter niet de essentie van de verklaring van innovatieprocessen bij SCOT. Die ligt, aldus SCOT,

in de 'sociale konstruktie' door 'sociale groepen'. Een sociale groep wordt door SCOT gedefinieerd als elke groep van actoren voor wie een bepaald artefakt één en dezelfde betekenis heeft, dat wil zeggen dat die actoren dezelfde mening hebben over de functie van het artefakt. In de SCOT-theorie is het onbelangrijk te weten, wat een artefakt feitelijk is. Van belang zijn slechts de percepties die de verschillende sociale groepen ten aanzien van de mogelijk door het artefakt te vervullen functies bezitten.

Een ander belangrijk begrip in de SCOT-theorie is: 'probleem', dat kan worden omschreven als een bezwaar dat één of meer sociale groepen heeft met betrekking tot een artefakt. Zo'n probleem kan technisch van aard zijn (dat wil zeggen: betrekking hebben op de konstruktie van het artefakt), maar ook sociaal, economisch of esthetisch. Juist omdat de problemen technisch kunnen zijn, is het openen van de 'black box' relevant: zou dit achterwege blijven dan zouden mogelijkerwijs belangrijke impulsen aan de sociale interacties uit de technische hoek verborgen blijven. Het belang van technische problemen is echter niet a priori groter dan dat van sociale of andere problemen.

Een derde belangrijk begrip in de SCOT-theorie is: 'stabilisatie'. Stabilisatie treedt in als de percepties van de (oorspronkelijk verschillende) sociale groepen niet langer uiteenlopen. Omdat volledige stabilisatie vrijwel nooit optreedt, wordt gesproken in termen van een bepaalde graad van stabilisatie.

Een van de grootste voordelen van de SCOT-theorie is, dat deze begrippen biedt om de invloed van de selectieomgeving nader te analyseren. Het indelen van belanghebbende groepen, instellingen en individuen in sociale groepen verschaft meer helderheid, zij het dat het niet altijd onproblematisch is vast te stellen of iemand wél of níét tot een bepaalde sociale groep behoort. Een beperking daarentegen is, dat de SCOT-theorie de 'black box' van wetenschap en techniek principieel slechts ten dele wil openen, namelijk tot het niveau van technische problemen die een rol spelen in de sociale interacties. De inhoud van het technisch wetenschappelijk onderzoek is slechts interessant, in zoverre zij al dan niet oplossingen voor deze problemen weet aan te dragen. In extreme zin gesteld, is voor SCOT

alleen de uitkomst van onderzoek relevant en niet het inhoudelijk verloop daarvan.

Ph. Vergragt heeft er eerder op gewezen, dat het werk in een onderzoekslaboratorium ook van belang is en hij heeft getracht dit in de SCOT-theorie te integreren. Hij hanteert daarbij de begrippen 'aktor' en 'probleemdefinitie'. Het begrip 'aktor' omzeilt een aantal theoretische problemen met betrekking tot 'sociale groep'. Elke aktor heeft zijn eigen verzameling bronnen, belangen, ideeën en doeleinden en handelt op basis daarvan in onderhandelingsprocessen. Met betrekking tot een gegeven project heeft iedere aktor een bepaalde 'probleem-definitie' van de problemen die moeten worden opgelost. Via onderhandelingen tussen de verschillende aktoren moet een gemeenschappelijke probleemdefinitie met betrekking tot de benodigde bronnen en de na te streven doelen ontstaan. Volgens Vergragt wordt de dynamiek van het onderzoeksproces bepaald door min of meer gelijke of uiteenlopende probleem-definities van de verschillende aktoren (van wetenschappers tot direktie).[17]

Naast variatie-en-selektie schema's en de SCOT-theorie zijn er modellen waarin (ontwerp)kriteria een belangrijke rol spelen. Hier zullen twee voorbeelden de revue passeren, namelijk van H. Skolimowski en K. B. Clark. Skolimowski neemt expliciet afstand van de opvatting, dat er een lineaire relatie bestaat tussen wetenschap en techniek. In zijn visie is techniek niet eenvoudig 'toegepaste wetenschap', maar levert techniek problemen op die wetenschappelijk interessant zijn en die door de wetenschap kunnen worden opgelost: in zijn ogen is de wetenschap "slechts een dienaar voor de techniek, een werkster in dienst van technische vooruitgang".[18] Het onderscheid tussen wetenschap en techniek is, aldus Skolimowski, een kwestie van doelstelling: de eerste is gericht op kennisvermeerdering, de tweede op technische vooruitgang met betrekking tot bepaalde criteria. Algemeen zijn deze criteria te vangen onder het algemene begrip 'hogere efficiency'. Voorbeelden van criteria zijn: duurzaamheid, betrouwbaarheid en precisie, maar ook meer economische criteria als kostprijs en produktietijd.[19]

Clark presenteerde recent een model voor "technological evolu-

tion". Doel van zijn model is een analysekader te verschaffen voor de opeenvolgende stappen die in innovatieprocessen worden gezet. Zijn ideeën baseert hij mede op historische case-studies in de automobiel- en halfgeleiderindustrie.[20] Zijn belangrijkste stelling is, dat de verklaring van innovatieprocessen moet worden gezocht in drie processen: het proces dat zich aan de zijde van de producent afspeelt, het proces dat bij de konsument plaatsvindt en het proces van interactie tussen beide eerstgenoemde processen.

Ten aanzien van de processen aan producentzijde gaat Clark vooral in op het werk van ontwerpers. Bij het ontwerpen van een nieuw produkt zal bij hen de onzekerheid groot zijn: zij kunnen slechts inspelen op verwachtingen ten aanzien van eisen en behoeften van de konsumenten. De kans dat aanvankelijk verscheidene alternatieven van een produkt op de markt komen is dan ook groot. Gaandeweg zullen de criteria duidelijk worden waarop konsumenten het nieuwe artefakt beoordelen, zodat bij de ontwerpers de onzekerheid zal afnemen. Na verloop van tijd neemt als gevolg daarvan ook het aantal alternatieven op de markt af. De ontwerpers kunnen zich dan gaan richten op verbetering of aanpassing van details, die aanvankelijk van minder belang waren. Aldus is sprake van een hiërarchie in het ontwerpproces: naarmate de tijd voortschrijdt, zijn de hoofdkenmerken van een artefakt minder aan discussie onderhevig en verplaatst de aandacht zich naar kenmerken van een lagere prioriteit. De kenmerken van een artefakt vat Clark samen onder het begrip: "form". Voorbeelden van deze kenmerken, of funktionele parameters, van automobielen zijn: de snelheid, het vermogen van de motor en het laadvermogen. De inhoud van het werk van de ontwerpers is volgens Clark zeer belangrijk: "problem solving is the source of innovation".[21] Een nadere uitwerking van het oplossen van problemen door ontwerpers blijft bij Clark echter achterwege.

Het proces dat zich aan konsumentzijde afspeelt, is vooral een leerproces dat, aldus Clark, wordt gekenmerkt door twee punten. Ten eerste zoekt een konsument naar overeenkomsten tussen een nieuw artefakt en reeds bestaande artefakten, die (bijna) dezelfde functie vervullen. Ten tweede tracht een konsument echter de verschillen tussen het nieuwe artefakt en bestaande artefakten zo duidelijk mo-

gelijk te onderkennen. Beide processen zijn onmisbaar om een zo goed mogelijk beeld te krijgen van de betekenis van een nieuw artefakt. De functionele parameters van het artefakt (tezamen de "form") hebben daarbij de functie van criteria waarop het produkt wordt beoordeeld.

De interactie tussen de processen aan konsument- en producentzijde - het derde van belang zijnde proces - verloopt in de visie van Clark via de "form": de producent poogt de functionele parameters te laten voldoen aan de eisen en wensen van de konsument. De kern van de interactie ligt dus net als bij Weeder en Kester in een wederzijds afbeeldingsproces.

### §3. Analyse kader.

De in de vorige paragraaf besproken innovatiemodellen zijn pogingen om bijdragen te leveren aan 'theorieën' over de dynamiek van innovatieprocessen. Zij trachten, met andere woorden, verklaringen te vinden voor de opeenvolgende stappen die in innovatieprocessen worden gezet. Uit deze modellen komt in elk geval naar voren, dat belangen, eisen en wensen van verschillende maatschappelijke groeperingen belangrijke elementen zijn bij het zoeken naar zulke verklaringen. Wensen en eisen kunnen worden gekoppeld aan criteria of functionele parameters van artefakten waarmee opeenvolgende ontwikkelingen in een artefakt op gedetailleerde wijze kunnen worden beschreven.

In deze studie wordt ervan uitgegaan, dat in de dynamiek van innovatieprocessen ook (toepassingsgericht) natuurwetenschappelijk onderzoek een belangrijke rol kan spelen. Omdat dit aspect tot nu toe onvoldoende in de dynamiek van innovatieprocessen is betrokken, is dit tot hoofdonderwerp van deze studie gemaakt, waarbij vooral de inhoudelijke bijdrage van dit soort onderzoek aan de ontwikkeling van artefakten zal worden bestudeerd. Om aan deze studie zoveel mogelijk structuur te geven, is gebruik gemaakt van een analysekader, waaraan als eis wordt gesteld, dat het tenminste de bovengenoemde elementen bevat. Ook wordt echter aan een analysekader de eis gesteld, dat verwacht kan worden dat de rol van (toepassingsgericht)

natuurwetenschappelijk onderzoek daarmee adequaat kan worden beschreven. Samengevat dient een analysekader voor deze studie aan de volgende drie eisen te voldoen:

1. het moet in staat zijn de invloeden van de verschillende relevante maatschappelijke groeperingen, instituten en individuen te beschrijven;
2. het moet de opeenvolgende ontwikkelingen in nieuwe artefakten kunnen weergeven;
3. het moet de inhoudelijke ontwikkeling van relevant natuurwetenschappelijk onderzoek kunnen relateren aan het totstandkomen van nieuwe artefakten.

Om aan deze drie criteria te voldoen, stel ik voor de volgende drie begrippen te gebruiken: belanghebbenden, beoordelingscriteria en normen. Onder belanghebbenden versta ik al die groepen, instanties, instellingen en individuen die belang hebben bij het juist wel of juist niet ontwikkelen van een bepaald artefakt. Dat zijn bijvoorbeeld de verschillende producenten van een artefakt en de consumenten, maar ook regelgevende instanties met betrekking tot veiligheid en milieuverontreiniging. Het begrip 'belanghebbenden' stelt mij in staat aan het eerstgenoemde criterium te voldoen. Het is verwant aan het begrip 'sociale groep' uit de SCOT-theorie.

Beoordelingscriteria definieer ik als alle technische, economische, esthetische en sociale kenmerken waarop een artefakt door de belanghebbenden wordt beoordeeld. In het geval van lampen bestaan onder andere de volgende beoordelingscriteria: glassoort, fittingsoort, niveau ultraviolette straling, levensduur, prijs, kleurweergave, rendement en lichtstroom. Voor iedere belanghebbende hebben de beoordelingscriteria een eigen betekenis. Voor ontwerpers zijn zij ontwerpcriteria, die aan bepaalde ontwerpisen moeten voldoen. Voor consumenten daarentegen vormen zij de criteria waaraan de geschiktheid van het artefakt voor een specifieke functie wordt getoetst. Ook de vergelijking met reeds voor die functie bestaande artefakten verloopt via de beoordelingscriteria. Voor regelgevende instanties tenslotte hebben beoordelingscriteria bijvoorbeeld de betekenis van veiligheids- en milieukriteria. Het begrip 'beoordelingscriterium' is bedoeld als omvattende categorie voor al deze verschillende soor-



ten criteria.

Normen, het derde genoemde begrip, omschrijf ik als de 'waarde' die elk beoordelingskriterium aanneemt, dan wel kan of moet aan nemen. Het begrip is niet zuiver normatief bedoeld, maar verwijst zowel naar gerealiseerde als naar gewenste 'waarden'. Een gewenste of gerealiseerde norm voor de levensduur van een lamp is bijvoorbeeld 50 uur of 1000 uur. Voor de kleurweergave zijn rood, geel, wit of groen mogelijke normen. Normen kunnen dus kwantitatief of kwalitatief zijn. Het begrip 'norm' is vooral daarom naast het begrip 'beoordelingskriterium' geïntroduceerd, omdat zich in de loop van de tijd zowel op het niveau van de beoordelingscriteria, als dat van de normen verschuivingen kunnen voordoen. Zo kan ten aanzien van een artefact plotseling een nieuw veiligheidskriterium zijn intrede doen. Vaak blijven de beoordelingscriteria gelijk en veranderen alleen de gewenste normen.

Met de begrippen 'beoordelingskriterium' en 'normen' kunnen opeenvolgende ontwikkelingen in artefakten worden beschreven, bijvoorbeeld via overzichten waarin de gerealiseerde normen zijn weergegeven. Aldus kan met deze begrippen ook aan de tweede gestelde eis met betrekking tot een analysekader worden voldaan. Dankzij de studies van bijvoorbeeld Clark, Weeder en Kester kan worden gesteld, dat beoordelingscriteria als ontwerpkriteria in de onderzoeksfase een belangrijke rol vervullen. In het ontwerpproces zijn volgens Weeder en Kester, Rip en Van den Belt heuristische van groot belang. De inhoudelijke ontwikkeling van het onderzoek speelt dus een rol in het realiseren van bepaalde gewenste normen. Dat wijst erop dat met de drie genoemde begrippen eveneens een kader is geschapen waarin het inhoudelijke verloop van het onderzoek een plaats heeft, zodat wellicht ook aan de derde eis ten aanzien van een analysekader kan worden voldaan. Zekerheid hierover bestaat er echter nog niet. De derde eis wordt daarom vertaald in de volgende onderzoeksvraag voor deze studie: "hoe kan het inhoudelijke verloop van toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek worden gerelateerd aan beoordelingscriteria en normen en hoe beïnvloeden zij elkaar?" Het is deze vraag die centraal staat in de vier case-studies die worden beschreven in de hoofdstukken VI tot en met IX. De processen die zich

buiten het laboratorium hebben afgespeeld zullen niet in zijn algemeenheid aan de orde komen, maar alleen voorzover uit archiefmateriaal van het Natuurkundig Laboratorium van Philips blijkt, dat zij van invloed zijn geweest op de inhoudelijke ontwikkelingen van het onderzoek.

HOOFDSTUK IV. ONTWIKKELINGEN IN DE GASONTLADINGSFYSIKA TOT 1940.§1. Inleiding.

Om de historisch gegroeide relaties tussen gasontladingsfysika en gasontladingslampen goed te kunnen onderzoeken is idealiter een overzicht van de geschiedenis van de gasontladingsfysika noodzakelijk. Een probleem is echter, dat de gasontladingsfysika als vakgebied binnen de fysika nog geen gedegen aandacht heeft gekregen van wetenschapshistorici: in de meeste geschiedenisboeken worden ontladingsverschijnselen slechts behandeld tot de ontdekking van het elektron door J. J. Thomson in 1897.[1] Een aparte studie die in deze leemte kan voorzien zou te omvangrijk zijn om de primaire, bovengenoemde doelstelling van dit onderzoek te kunnen vervullen. Desalniettemin dienen enkele hoofdlijnen uit de geschiedenis van de gasontladingsfysika aan de orde te worden gesteld. Daarom gaat dit hoofdstuk in op belangrijke gebeurtenissen uit deze geschiedenis, die door onderzoekers uit het vakgebied zelf als 'hoogtepunten' worden en werden gepercipieerd. Op deze wijze komt het gedachtegoed van deze onderzoekers duidelijk naar voren, zij het dat daardoor enige historische vertekening wellicht niet geheel is vermeden. Dit hoofdstuk dient te worden gelezen als een weergave van de historische visie van betrokkenen en als overzicht van de voor deze studie van belang zijnde thema's. Het heeft daardoor vooral het karakter van een inleidend essay, dat overigens tevens als uitgangspunt zou kunnen dienen voor een gedegen geschiedschrijving van de gasontladingsfysika.

Dit hoofdstuk bevat na de inleiding nog drie paragrafen: onderzoekingen aan elektrische ontladingsverschijnselen tot ongeveer 1900 (§2), hoofdlijnen in de ontwikkeling van de atoomfysika na 1900 (§3) en van de gasontladingsfysika na 1900 (§4). Aan deze indeling ligt de gedachte ten grondslag, dat de basis voor de met gasontladings-

lampen samenhangende wetenschappelijke kennis moet worden gezocht in zowel de atoomfysika, als in de gasontladingsfysika - twee vakgebieden die vóór 1900 niet van elkaar waren te onderscheiden, maar waarvan de thema's destijds deel uitmaakten van het onderzoek naar elektrische ontladingsverschijnselen. De scheiding tussen beide vakgebieden begon, enigszins gechargeerd gesproken, met de ontdekking van het elektron door Thomson en werd gesymboliseerd in het werk van twee van zijn leerlingen: E. Rutherford, die tot de grondleggers van de atoomfysika kan worden gerekend en J. S. Townsend, die zijn leermeester in Cambridge verliet om in Oxford een eigen 'gasontladingsschool' op te richten. Veel van de in beide vakgebieden ontdekte en gebruikte kennis overlapt elkaar. Het verschil komt het best tot uiting in de onderscheiden doelstellingen: de atoomfysika richt zich op het verwerven van kennis omtrent de atoombouw, terwijl de gasontladingsfysika zich ten doel stelt de botsingsprocessen tussen geladen en ongeladen deeltjes in gassen en dampen te bestuderen.

§2. Onderzoek naar elektrische ontladingsverschijnselen (tot 1900).

O. von Guericke staat te boek als diegene, die de eerste vonken waarnam bij een elektriseermachine: een grote zwavelbol die langs een doek werd gewreven (1672).[2] Enige jaren later ontdekte J. Picard bij het schudden van een kwikbarometer lichtverschijnselen boven de kwikkolom (1675).[3] In navolging van hem bestudeerde F. Hauksbee rond 1700 lichtverschijnselen in verdunde lucht in een door wrijving geëlektriseerde bol.[4] Na die tijd trokken vonken uit geëlektriseerde objecten, waaronder ook uit mensen, de aandacht van verschillende onderzoekers.[5] Een belangrijke stap naar systematisch experimenteren vond plaats door de uitvinding van de 'kondensator' in 1745 door E. G. von Kleist. Waarschijnlijk onafhankelijk van hem vonden Cuneus en de hoogleraar P. van Musschenbroek te Leiden een jaar later een 'kondensator' uit in de vorm van een fles, die aan de binnen- en buitenzijde met bladtin was bedekt. Deze fles kon met een elektriseermachine worden geladen en maakte geschiedenis als 'Leidse fles'. Door de fles te ontladen kon men gedurende korte tijd elektrische stroom onderzoeken. Het onderzoek van het op- en

ontladen (via vonken) van de fles leidde tot de naam 'elektrische ontlading'. [6] In de 18<sup>e</sup> eeuw toonde Ch. Coulomb aan, dat een geladen elektroskoop wordt ontladen door de aktiviteit van de omringende lucht en niet als gevolg van een gebrekkige isolatie. Door zijn experimenten verschoof de betekenis van het begrip 'elektrische ontlading' van de verschijnselen aan het geladen voorwerp naar de verschijnselen in het omringende gas. [7] Voorts verrichtte B. Franklin in de 18<sup>e</sup> eeuw zijn beroemde - en tevens levensgevaarlijke - vliegerexperiment. Hij toonde daarmee aan, dat bliksem een grootschalige elektrische ontlading in de lucht is (1752). Soortgelijke experimenten vonden in verschillende landen plaats, waarbij voor velen de afloop overigens minder gelukkig was dan voor Franklin.

Na de ontdekking van de zuil van Volta (1800) werd het mogelijk elektrische verschijnselen langduriger en met grotere energieën te bestuderen. H. Davy ontdekte in 1808, dat zich tussen twee horizontaal geplaatste koolstaven een fel lichtgevende ontlading kan voordoen, die de vorm heeft van een rechtopstaande boog. [8] Beroemd werd zijn aan de leden van de Royal Institution getoonde experiment, waarin hij een boogvormige ontlading van ongeveer 10 centimeter lengte tussen twee koolstaven liet zien. Hij maakte daarbij gebruik van 2000 zuilen van Volta. [9] Vanwege de boogvorm van de ontlading gaf Davy daaraan in 1821 de naam 'boog'. [10] In het algemeen wordt de eerste waarneming van een boogontlading toegeschreven aan Davy, maar in Russische literatuur wordt deze geclaimd voor W. W. Petrow - hoogleraar natuurkunde te Petersburg - die hem al in 1802 zou hebben waargenomen. Zijn russischtalige publikatie zou in het buitenland onopgemerkt zijn gebleven. [11] Een ontlading tussen twee koolstaven werd vanaf 1862 in Engeland en vanaf ongeveer 1870 in de Verenigde Staten toegepast in de zogenaamde 'booglampen'. [12]

Niet al deze ontdekkingen stonden los van theorievorming. Waren de vermelde experimenten in de 17<sup>e</sup> eeuw nog vooral afzonderlijke verschijnselen, in de 18<sup>e</sup> eeuw werd gaandeweg steeds meer verband gelegd tussen lichtverschijnselen en elektriciteit. Er ontstonden verschillende konfliktierende theorieën, waaraan vooral mensen als Hauksbee, Franklin, J. Priestly en de gebroeders W. en G. Morgan bijdroegen. [13] Rond 1800 waren vele onderzoekers ervan overtuigd,

dat lichtverschijnselen in een elektrische ontlading, de geleiding van elektriciteit door gassen en de aanwezigheid van materie in de ontladingsbaan op een of andere wijze met elkaar samenhangen; onduidelijk was echter hoe.[14] Twee stromingen stonden naast elkaar: de ene stelde dat licht een eigenschap was van 'atomen', de kleinste deeltjes van de materie, de andere dat aparte lichtgevende deeltjes de oorzaak van het licht waren. Davy stond in de traditie van de lichtgevende deeltjes en noemde licht de 'vierde toestand' van de materie (naast de vaste, de vloeibare en de gasvormige).[15]

Na de experimenten van Davy werd steeds meer aandacht besteed aan elektrische ontladingen. Deze vonden ofwel plaats in vacuüm (dat wil zeggen bij de laagst mogelijke gasdruk) ofwel in een bepaald gas. De onderzoekingen in beide soorten ontladingen kenden hun eigen doelstellingen en zullen daarom apart worden behandeld.

#### Ontladingen in vacuüm.

De doelstelling van het onderzoek naar ontladingen in vacuüm was meer inzicht te verwerven in de relatie tussen elektriciteit en materie. De vorderingen daarbij werden vooral bepaald door de technische mogelijkheden van de toenmalige vakuümpompen.[16] M. Faraday - de meest beroemde leerling van Davy - verrichtte vanaf 1831 uitgebreide proeven met ontladingen in vacuüm, waarvan de lichtgevende door hem 'glimontladingen' werden genoemd. Zijn meest belangrijke resultaten op dit gebied zijn zijn uitgebreid gedokumenteerde meetgegevens. In de glimontlading nam hij bijvoorbeeld een donkere ruimte waar, die naar hem is vernoemd: de 'donkere ruimte van Faraday'. Faraday introduceerde voorts de volgende begrippen, die in de gasontladingsfysika veelvuldig worden gebruikt: anode, kathode, ion en donkere ontlading.[17] Hij gebruikte zijn meetresultaten voor het opstellen van theorieën over elektriciteit. Zijn theorieën gaven hem weliswaar geen kwantitatieve verklaringen voor de door hem waargenomen verschijnselen, maar waren wel op die verschijnselen gebaseerd. In zijn theorie waren atomen geen 'biljartballen', zoals in de toenmaals heersende opvattingen, maar punten waaruit krachtlijnen ontspringen die de ruimte vullen.[18] In die zin hadden atomen voor hem

geen grenzen. De ruimte was volgens hem geheel gevuld met krachtlijnen van zwaartekracht, elektriciteit en magnetisme. Voor hem waren deze lijnen de enige realiteit en werd licht veroorzaakt door zijdelingse trillingen daarvan (hij geloofde dus niet, zoals Davy, in het bestaan van aparte lichtgevendende deeltjes).[19] J. C. Maxwell transformeerde enige jaren daarna (1855-1861) dit model van Faraday in een theorie, waarin de vele gedaanten van elektriciteit werden voorgesteld door trillingen in de ether.[20] Deze opvatting leidde hem tot zijn beroemde vergelijkingen over elektriciteit en magnetisme (1874).

In 1858 ontdekte de Duitse natuurkundige J. Plücker, dat zich in een vakuümontlading een bijzondere soort straling bevindt. Hij meende dat deze afkomstig was van de anode. Faraday toonde aan dat deze straling van de kathode afkomstig is. Waarschijnlijk onafhankelijk van hem ontdekte Plücker dit enige tijd later ook.[21] E. Goldstein noemde deze straling later (1876) 'Kathodestralen'. [22] Over de aard van de kathodestralen ontstonden al gauw twee theorieën die jarenlang naast elkaar bleven bestaan. De ene beschreef hen als golven, de andere als deeltjes, waarmee de discussie over verschijnselen in vakuümontladingen in het inmiddels klassiek geworden konflikt tussen deeltjes- en golftheorieën werd gezogen. De Duitsers J. W. Hittorf en Goldstein verrichtten verschillende onderzoeken die volgens hen bewezen, dat kathodestralen golven waren, terwijl W. Crookes in Engeland, eveneens op basis van experimenten, de deeltjes-theorie verdedigde.[23] Crookes zag kathodestralen als negatieve, snelle molekulen, die hij, waarschijnlijk gebruikmakend van de term van Davy, de 'vierde toestand' van de materie noemde.[24]

H. R. Hertz, die als eerste de door Maxwell beschreven elektromagnetische golven in lucht waarnam (1886-1888), voerde als bewijs voor de golftheorie aan, dat kathodestralen niet door een elektrisch veld worden afgebogen. Het was de Engelsman Thomson die in 1897 aantoonde, dat deze konklusie niet juist is. In tegenstelling tot Hertz slaagde hij er in kathodestralen af te buigen met behulp van een elektrisch veld. De voorwaarde die daarvoor moest worden vervuld was, dat de buis een beter vakuüm had dan in de proeven van Hertz. Via een proef waarin hij kathodestralen zowel met een magnetisch als

met een elektrisch veld afboog, kon Thomson de waarde van de verhouding tussen de lading ( $e$ ) en de massa ( $m$ ) van de deeltjes in de straling bepalen. Tot ieders verbazing bleek deze verhouding ongeveer duizend maal zo groot te zijn als van een waterstofion. Toen hij eenmaal had aangetoond, dat de lading van de deeltjes in de kathodestralen gelijk is aan die van een waterstofion, moest zijn konklusie wel zijn dat hij een deeltje had ontdekt, dat duizend maal zo licht is als een waterstofion.[25]

Thomson noemde de deeltjes, in navolging van 17<sup>e</sup> eeuwse onderzoekers 'corpuscles', waarmee hij wilde aangeven dat zij de 'echte' atomen moesten zijn, dat wil zeggen de fundamentele, ondeelbare deeltjes waaruit alle materie is opgebouwd. Problematisch in deze visie was wel, dat de 'atomen' dus kennelijk een (negatieve) lading zouden bezitten.[26] Pas na 1906 werden deze deeltjes 'elektronen' genoemd. Lorentz stelde deze naam voor, die al eerder (1891) door G. J. Stoney in een andere kontekst was geïntroduceerd.[27] Stoney had de kleinst mogelijke lading in elektrolieten onderzocht en had de eenheid van lading 'elektron' genoemd. Thomson en, onafhankelijk van hem, H. L. F. Helmholtz ontdekten weliswaar, dat Stoney's eenheid van lading paste bij de 'corpuscles' van Thomson, maar het voorstel om deze deeltjes zelf 'elektronen' te noemen kwam van Lorentz.[28]

Door de experimenten met elektrische ontladingen in vakuüm waren rond 1900 twee debatten - zij het voorlopig - afgerond: kathodestralen werden niet meer als golven, maar als deeltjes gezien en de relatie tussen elektriciteit en materie was in zoverre duidelijk, dat er kennelijk deeltjes met een negatieve lading (elektronen) en deeltjes met een evengrote, doch positieve lading bestaan (waterstofionen).

### Ontladingen in gassen.

Naast het onderzoek naar elektrische ontladingen in vakuüm bezit ook het bestuderen van elektrische ontladingen in gassen een lange traditie. Het doel van het onderzoek in ontladingen in gassen was enerzijds het gedrag van elektriciteitsgeleiding door gassen, ander-



zijds de spektra van het uitgestraalde licht te bestuderen. Met behulp van prisma's werden in het begin van de 19<sup>e</sup> eeuw verschillende onderzoeken aan spektra uitgevoerd. Onderwerp van studie waren absorptieverschijnselen van licht bij doorgang door verschillende media, uitgestraalde spektra van vonken en vlammen, alsmede de donkere lijnen in het overigens continue zonnспекtrum.[29] Het zwaartepunt van de wetenschappelijke discussie lag op dat moment bij het golfkarakter van licht en de vraag of de waargenomen verschijnselen daarmee in strijd waren of niet. C. Wheatstone ontdekte in 1835, dat de spektra van verschillende metalen duidelijk van elkaar te onderscheiden zijn en dat metalen dus via hun spektra eenduidig te identificeren zijn. De mogelijkheid van chemische analyse via spektraalmetingen werd nadien door velen erkend, maar werd ondergesneeuwd in het debat over de golftheorie. Ook Wheatstone zelf volgde de weg van chemische analyse niet. Hij was vooral geïnteresseerd in het karakter van vonkontladingen en niet in de vraag naar het ontstaan van spektra, waarmee de onderzoekers van vlammenpektra en absorptieverschijnselen zich intensief bezig hielden.[30]

Faraday verrichtte niet alleen experimenten met ontladingen in vacuüm, maar ook in gassen. Hij volgde daarbij Wheatstone, maar trachtte zijn resultaten nadrukkelijk te koppelen aan zijn theorie over elektrische krachtlijnen. Net als Wheatstone was hij niet geïnteresseerd in de samenhang tussen de kleur van het spektrum en het soort gas, hoewel ook hem het eenduidige verband was opgevallen.[31] L. Foucault, die het zonnспекtrum observeerde, suggereerde in 1849, dat een studie van de spektra van de sterren zou kunnen leiden tot kennis over de chemische samenstelling daarvan.[32] Hij werd daarin gesteund door A. H. Fizeau, maar geen van beiden vervolgden zelf deze weg. Zij waren meer geïnteresseerd in de voortplantingssnelheid van licht.[33]

In de vijftiger en zestiger jaren van de vorige eeuw kwam een brede belangstelling op voor de studie van de chemische en fysische samenstelling van materie via spektraalmetingen aan vonkontladingen. De Amerikaanse natuurkundige D. Alter, de Nederlandse natuurkundige V. S. M. van der Willigen en de eerder genoemde Plücker verrichtten onder andere onderzoek in dit kader. Plücker is, behalve als ontdek-

ker van de kathodestralen, bekend geworden als de eerste die opmerkte, dat vonkontladings kunnen worden gebruikt voor chemische analyse (1858). Hij opende hiermee een nieuw perspectief voor al diegenen die vonken bestudeerden en rond die tijd vastliepen in de onmogelijkheid om via spektra de fysische aard van vonken te ontdekken. Zijn praktische doelstelling bleek sukses te sorteren en niet te worden gehinderd door de discussies over het golf- of deeltjeskarakter van licht. Hij ontdekte onder meer, dat het spektrum van een chemische verbinding bestaat uit de samenvoeging van de spektra van de afzonderlijke elementen - een stelling die later zou worden genuanceerd.[34] Chemische spektroskopie werd een standaardmethode van de chemische analyse en leidde al spoedig tot de ontdekking van nieuwe elementen, zoals caesium, rubidium en thallium.[35]

De complexiteit van het spektrum van elementen bleef een raadsel. In de toenmalige gedachtenwereld waren de atomen van de elementen een soort 'biljartballen', maar via eigentrillingen daarvan konden de complexiteit van het spektrum niet bevredigend verklaren. De meest doeltreffende weg om kennis te vermeerderen bestond voorlopig uit het verzamelen van zoveel mogelijk gegevens over de spektra, een zaak die technisch gezien al moeite genoeg kostte. J. J. Balmer, een Zwitserse onderwijzer, ontdekte in 1884 dat de golflengten van de spektraallijnen van het waterstofatoom een eenvoudige mathematische relatie vertonen. De lijnen van dit atoom zijn naar hem vernoemd, maar zijn ontdekking bracht nog geen nieuwe inzichten met zich mee.[36] Wel stimuleerde zijn onderzoek anderen eveneens regelmatigheden in de spektra van andere elementen te zoeken. In 1890 generaliseerde J. Rydberg Balmers bevindingen.[37] Het zou echter nog bijna vijftig jaar duren, voordat de door hen waargenomen regelmatigheden konden worden verklaard met behulp van een atoomtheorie.

### §3. Opkomst van de atoomfysika (vanaf ongeveer 1900).

Rond 1900 stonden aldus twee zwaartepunten van onderzoek naar elektrische ontladingen in gassen naast elkaar: spektraalanalyse van de opgewekte straling als middel om de in een gas aanwezige elementen vast te stellen en de bestudering van de verschijnselen in de

ontlading zelf. De spektraalanalyse kreeg een extra dimensie in de periode 1910 - 1920, toen bleek dat spektraallijnen informatie verstrekken over de bouw van atomen. Het werd een onmisbaar hulpmiddel bij de toetsing van theorieën over de atoombouw en werd daarom een belangrijk onderdeel van het vakgebied 'atoomfysika'. Ook zij die ontladingsverschijnselen in gassen bestudeerden, maakten echter veelvuldig gebruik van spektraalanalyse. Desalniettemin ontwikkelden de atoomfysika en de gasontladingsfysika zich afzonderlijk. Omdat de onderzoekers van gasontladings hun theorieën voor een belangrijk deel baseerden op de in de atoomfysika ontwikkelde kennis, volgt eerst een kort overzicht van de geschiedenis van dat vakgebied in de periode 1900 - 1940.

Na de ontdekking van het elektron in 1897 veranderden de opvattingen over atomen snel.[38] Thomson zelf stelde in 1904 een 'plum-pudding'-model voor, waarin een atoom bestaat uit een uniform verdeelde massa met een positieve lading en gelijkmatig als 'krenten' verdeelde elektronen. Hiermee kon hij echter de complexiteit van spektra niet verklaren. In 1907 gaf A. W. Conway, hoogleraar in de wiskundige fysika te Dublin, een gedeeltelijke verklaring voor deze complexiteit via de suggestie, dat niet elk atoom het gehele spectrum in één keer uitzendt, maar slechts één lijn daarvan.[39] Een jaar nadien publiceerde W. Ritz zijn ontdekking, dat de frequenties van de spektraallijnen van een element gelijk zijn aan de verschillen van bepaalde getallen, die een wiskundige regelmaat vertonen en 'termen' werden genoemd. Op basis van experimenten met het beschieten van atomen met helium-kernen, kwam Rutherford in 1911 tot de conclusie, dat een atoom moet zijn opgebouwd uit een centrale kern met positieve lading en een 'wolk' daaromheen cirkelende, negatief geladen elektronen.

J. W. Nicholson uit Cambridge probeerde nog in datzelfde jaar Rutherford's model toe te passen in een theorie over het ontstaan van spektra. Hij suggereerde als eerste, dat daarbij het kwantum-principe van M. Planck zou moeten worden gebruikt. Planck had gepostuleerd, dat elk periodiek trillend systeem slechts een hoeveelheid actie ( $A$ ) kan bezitten, die een geheel aantal malen  $h$  is ( $h$  is de konstante van Planck):

$$A = n \cdot h \quad (4.1)$$

met:  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$   
 $h = 6,55 \cdot 10^{-34} \text{ W.s}^2$   
 $A = \int m \cdot v \cdot ds$  (geïntegreerd over de weg die in één periode wordt afgelegd)  
 $m$  = massa van het trillend systeem  
 $v$  = snelheid van het trillend systeem.

Nicholson vertaalde het postulaat van Planck naar het atoommodel van Rutherford als volgt: het impulsmoment (een maat voor de aktie) van een elektron in een atoom kan slechts toe- of afnemen in diskrete stappen. Nicholson slaagde er echter niet in een juiste verklaring te vinden voor spektra, omdat hij Conways idee, dat één atoom voor slechts één spektraallijn zorgt, niet overnam. Hij trachtte de verklaring te vinden in een klassieke berekening van trillingsfrequenties van verschillende elektronen in één atoom tezamen. [40]

Bij N. Bohr, een Deense leerling van Rutherford, kwamen deze verschillende onderzoeken in 1913 - 1914 bij elkaar. Hij ging uit van het atoommodel van Rutherford, aksepteerde Conways suggestie dat één atoom slechts één spektraallijn uitzendt, volgde Nicholson in zijn kwantisatie van de impulsmomenten van elektronen in een atoom en poneerde op basis van de term-schema's van Ritz, dat bij de produktie van een spektraallijn twee aparte stabiele toestanden in het atoom een rol spelen. Gebruikmakend van de de relatie tussen de energie (E) en de frekwentie (f) van de straling:

$$E = h \cdot f \quad (4.2)$$

was zijn konklusie, dat bij de overgang van een elektron van een toestand met energie  $E_1$  naar een lagere energietoestand  $E_2$  straling wordt uitgezonden met frekwentie f, bepaald door:

$$f = \frac{E_1 - E_2}{h} \quad (4.3)$$

Andersom kon volgens hem straling door een atoom worden geabsor-

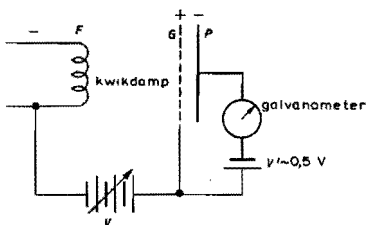
beerd, waarbij de opgenomen energie h.f wordt omgezet in een hogere energie van een van de elektronen.

Volgens de klassieke theorie van Maxwell moest het atoom, zoals voorgesteld door Rutherford, instabiel zijn. Omdat de elektronen in dat model een voortdurende versnelling in een richting loodrecht op hun baan ondervinden moeten ze volgens die theorie elektromagnetische energie uitzenden en dus na verloop van tijd tot stilstand komen. Bohr postuleerde ter rechtvaardiging van Rutherfords model, dat elektronen in een stabiele baan om een atoomkern kunnen bewegen zonder elektromagnetische energie uit te stralen. Dit betekende een radikale breuk met de klassieke elektromagnetische veldtheorie. Ondanks het feit dat verschillende fysici van naam daarmee grote moeite hadden, werd Bohrs theorie in het algemeen goed ontvangen. De uitkomsten waren te overtuigend om genegeerd te kunnen worden. [41]

Bohr kreeg steun uit de hoek van de experimentele gasontladingsfysika. In analogie met proeven van Ph. Lenard verrichtten J. Franck en G. Hertz - een neef van H. R. Hertz - in de jaren 1913 en 1914 botsingsproeven met versnelde elektronen en kwikatomen. Hun doelstelling was niet experimentele bewijzen voor de theorie van Bohr te geven, zoals achteraf door veel fysici werd gemeend en nog steeds in verschillende leerboeken is terug te vinden. Ten tijde van hun eerste proeven had Bohr zijn ideeën nog niet gepubliceerd en waren zij geïnteresseerd in een experimentele toetsing van de gedachte, dat de energieoverdracht van de elektronen naar de kwikatomen gekwantiseerd plaatsvindt in energiepakketjes van h.f. [42]

Figuur 4.1 toont de experimentele opstelling van de meest belangrijke proef van Franck en Hertz. In de afbeelding van figuur 4.1 stelt F een gloeidraad voor die door een batterij wordt verhit en daardoor elektronen emitteert. G is een ten opzichte van F positief geladen rooster en P een metaalplaat met een enigszins lagere spanning dan G. De spanning van G kan worden opgevoerd ten opzichte van F, zodat de snelheid van de bij F vrijkomende elektronen binnen bepaalde grenzen kan worden gevarieerd. Het idee was dat bij toenemende spanning V tussen F en G de ampere-meter A een stroom zou registreren, veroorzaakt door de (elastisch botsende) elektronen die bij G aangekomen nog genoeg energie zouden bezitten om de potentiaalbar-

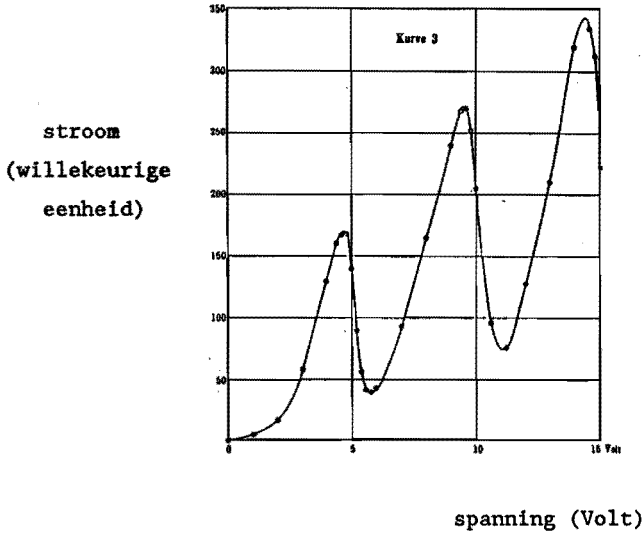
rière tussen G en P te overwinnen. Zodra de spanning  $V$  een kritische spanning, naar Franck en Hertz meenden de ionisatiespanning, zou overschrijden, zouden de bij G aankomende elektronen echter al hun energie verliezen door ioniserende botsingen bij G. De stroom zou dan plotseling grotendeels moeten wegvallen, omdat de elektronen dan het potentiaalverschil tussen G en P niet meer konden overbruggen. Bij elk geheel aantal malen de kritische spanning zou de stroom steeds weer plotseling moeten verminderen, omdat de meeste elektronen dan onderweg tussen F en G precies even vaak hun energie via ioniserende botsingen kwijt zouden raken, waaronder bij G.



Figuur 4.1 Opstelling van de proef van Franck en Hertz uit 1913 [Alonso en Finn (1973), fig. 1.17].

Zij maten in kwikdamp de curve zoals geschetst in figuur 4.2 en zagen daarmee hun hypothese bevestigd. In hun ogen was de eerste kritische spanning gelijk aan de ionisatiespanning van kwik en bedroeg deze dus 4,9 V. Zij maten ook de daarbij vrijkomende ultraviolette straling, waarvan de frekwentie, zoals zij hadden gehoopt, precies overeenkwam met de stralingsformule:  $E = h \cdot f$  waarin  $E = 4,9$  eV. Zij konkludeerden dat elektronen met een energie van 4,9 eV zowel ionisatie konden veroorzaken als ultraviolette straling konden opwekken. Zij noemden dit laatste effect de aanslag van de betreffende lijn in het frekwentiespektrum ten gevolge van elektronenbotsingen. [43]

De konklusie van Franck en Hertz, dat de ionisatiespanning van kwik bij 4,9 V ligt, bleek later onjuist te zijn. Deze ligt in werkelijkheid bij 10,4 V. Wat zij maten was de eerste aanslagspanning



Figuur 4.2 I-V-karakteristiek in kwik, zoals gemeten door Franck en Hertz [Franck en Hertz 16 (1914), 462, fig. 3].

van het valentie-elektron van kwik, zoals met de atoomtheorie van Bohr nadien eenvoudig kon worden verklaard. Zij registreerden de werkelijke ionisatiespanning van kwik niet, omdat de dampdruk nog zo hoog was, dat er, ongeacht de spanning  $V$  tussen  $F$  en  $G$ , bijna geen elektronen voldoende energie voor ionisatie ( $> 10,4$  V) konden krijgen vanwege de te frekwente inelastische botsingen en de daarmee gepaard gaande energieverliezen van steeds  $4,9$  eV.[44]

Pas nadat Franck en Hertz hun bevindingen hadden gepubliceerd werd duidelijk, dat hun proeven eveneens ter ondersteuning van de theorie van Bohr konden worden gezien, namelijk als bewijs voor het bestaan van stationaire toestanden in een atoom. Hun experiment kreeg daardoor achteraf in het bijzonder de betekenis van een cruciale toetsing van de kwantumtheorie en was vooral daarom aanleiding hen in 1925 de Nobelprijs voor de natuurkunde toe te kennen. In zijn aanbiedingspeech van de Nobelprijs aan Franck en Hertz bracht C. W. Oseen dit als volgt onder woorden: "The methods of verifying these hypotheses [of Bohr] are the work of James Franck and Gustav Hertz, for which they have been awarded the Physics Nobel Prize for

1925". [45]

Het door Bohr voorgestelde atoommodel had een eenvoudige structuur: elk elektron beschrijft een cirkelvormige baan om de kern en heeft daarom maar één vrijheidsgraad. In 1915/16 paste A. Sommerfeld dit model aan: hij nam aan dat de elektronen ellips-vormige banen beschrijven, waarbij ook het vlak waarin de ellips ligt kan draaien om de kern. Bij de ellips-vormige baan hoort een tweede vrijheidsgraad en tweede kwantumgetal (het azimuthaal kwantumgetal). Met de invoering van een relativistische correctie vanwege de hoge snelheid van de elektronen in een atoom, kon Sommerfeld met dit tweede kwantumgetal een verklaring geven voor de reeds eerder waargenomen fijne onderverdeling van spektraallijnen, zoals die volgden uit de theorie van Bohr. Deze lijnen worden de s, p, d, f,..... niveau's genoemd, naar de begrippen 'sharp', 'principal', 'diffuse' en 'fundamental'. Tezamen vormen zij de 'fijn-structuur' van het spectrum. De gekwantiseerde draaiing van het ellips-vormige vlak om de atoomkern geeft aanleiding tot een derde kwantumgetal (het magnetische kwantumgetal). Sommerfeld toonde aan dat dit derde kwantumgetal alleen dan aanleiding geeft tot extra energieniveau's, indien het atoom in een extern magneetveld wordt geplaatst. In dat geval treedt het 'Zeeman-effekt' op, dat wil zeggen opsplitsing van spektraallijnen onder invloed van een extern magnetisch veld.

Tot 1918 kon Bohr alleen een verklaring geven voor de frekwentie van de uitgezonden straling bij overgang van een elektron van de ene naar de andere baan. In tegenstelling tot de theorie van Maxwell was hij in eerste instantie niet in staat de intensiteit en de polarisatierichting van de straling te verklaren. Nadat hij had aangetoond, dat de frekwentie bij een overgang van het ene naar het andere energieniveau voor grote kwantumgetallen bij benadering gelijk is aan de frekwentie zoals berekend met een klassieke benadering, formuleerde hij een algemeen korrespondentie-principe tussen de klassieke theorie en de kwantumtheorie, dat ook de intensiteit en de polarisatierichting omvatte. Dit betekende overigens niet, dat nadien de intensiteiten van spektraallijnen van alle elementen eenvoudig konden worden berekend. De berekeningen zijn alleen voor eenvoudige atoomstructuren uitvoerbaar. Men moe(s)t de omgekeerde weg bewandelen om



meer over de atoombouw te weten te komen: het meten van de intensiteit van spektraallijnen leverde meestal de gewenste informatie over de overgangswaarschijnlijkheid en niet andersom.

Vanwege het feit dat metingen aantoonde, dat er nog steeds onverklaarbare spektraallijnen konden optreden - vooral de zogenaamde 'doubletten' bij de alkalimetalen - voerde Sommerfeld in 1920 een vierde kwantumgetal in. Hij meende aanvankelijk dat dit kwantumgetal gekoppeld was aan een impulsmoment van de kern, wellicht inclusief enkele binnengelegen elektronenbanen. W. Pauli, die zowel bij Bohr als Sommerfeld had gestudeerd, toonde later (1925) aan, dat dit kwantumgetal geassocieerd was met een beweging van de elektronen zelf. G. E. Uhlenbeck en S. A. Goudsmit uit Leiden suggereerden daarom het uit 1921 daterende voorstel van A. H. Compton over te nemen, dat elk elektron een impulsmoment (of spin) en dus een magnetisch moment bezit.[46] Pauli ontdekte dat Sommerfeld wel gelijk had met zijn hypothese, dat de atoomkern zelf een impulsmoment bezit, maar dat deze periodieke beweging geen aanleiding geeft tot het optreden van doubletten (of multipletten), maar tot de zogenaamde 'hyperfijn-structuur'.[47] Het meest bekend werd Pauli vanwege zijn in 1924 geformuleerde 'uitsluitingsprincipe', dat stelt dat binnen één atoom geen twee elektronen kunnen bestaan met dezelfde verzameling kwantumgetallen.

#### §4. Opkomst van de gasontladingsfysika (na ongeveer 1900).

De ontdekking van het elektron bracht niet alleen grote omwentelingen met zich mee voor fysici die de atoombouw bestudeerden, maar ook voor hen die de elektriciteitsgeleiding van gassen tot onderwerp van studie hadden. Thomson, de ontdekker van het elektron, suggereerde, zoals gezegd, weliswaar ook zelf een atoommodel (het 'plum-pudding' model), maar richtte zijn aandacht primair op de elektrische geleiding van gassen, waarvoor hij in 1906 de Nobelprijs voor de natuurkunde kreeg. Hij vormde in het Cavendish-laboratorium het eerste onderzoekscentrum rond elektrische geleiding door gassen.[48]

Het vakgebied van de elektriciteitsgeleiding door gassen kon rond 1900 nauwelijks een eigen discipline worden genoemd. In 1893

schreef Thomson als eerste in een Engels boek over elektriciteit en magnetisme een hoofdstuk over het transport van elektriciteit door gassen.[49] Daarmee hangt samen de wisselende naamgeving van het vakgebied in de loop van de tijd. Rond 1900 werd in het algemeen de naam 'transport van elektriciteit door gassen' of 'elektrische ontladingen in gassen' gebruikt. In de angelsaksische literatuur bleef tot 1940 de naam 'electrical discharges in gases' het meest gebruikt.[50] In de duitstalige literatuur ontstond rond 1930 de verkorte vorm 'Gasentladungen', terwijl vanaf diezelfde tijd in Nederland de term 'gasontladungen' in zwang kwam.[51] Met de sterke opkomst van de elektronika ontstond na de Tweede Wereldoorlog de naam 'gaseous electronics' in de angelsaksische literatuur.[52] Momenteel wordt de term 'plasmafysika' het meest gebruikt, afgeleid van het begrip 'plasma' dat I. Langmuir in 1928 introduceerde voor die gassen, waarin het aantal negatieve en positieve ladingsdragers aan elkaar gelijk zijn. Aangezien meestal slechts een gedeelte van de ontladingsbaan in strikte zin een plasma is, is het gebruik van het begrip 'plasmafysika' in plaats van 'gasontladingsfysika' feitelijk niet terecht. Volgens S. C. Brown, zelf een gasontladingsonderzoeker, is de betekenis van 'plasmafysika' opgerekt tot die van de gehele gasontladingsfysika, sinds plasma's zo in de belangstelling zijn komen te staan vanwege mogelijke toepassing bij kernfusie.[53]

Een beschrijving van de geschiedenis van de gasontladingsfysika in de periode 1900 - 1940 kan hier niet volledig worden gegeven. Hier volgen enkele hoofdpunten, die zijn geselecteerd op basis van het belang voor de volgende hoofdstukken over gasontladingslampen. De onderwerpen zijn onderverdeeld in vijf subthema's: de gasontladingspartners, de mogelijke elementaire wisselwerkingen tussen deze partners, de wisselwerkingen tussen grote aantallen partners (statistisch niveau), makroskopische gasontladingsverschijnselen en verschijnselen bij de elektroden. Deze indeling heeft geen direct historische basis: bij gebrek aan een van vóór 1940 stammende indeling is deze meer actuele en voor ons doel geschikte indeling gekozen.[54]

Gasontladingspartners.

Mogelijke gasontladingspartners zijn: de wand van een ontlaadingsbuis, de elektroden die voor de toe- en afvoer van de stroom zorgen, gasatomen, gasmolekulen, gasionen, vrije elektronen en fotonen. Kennis over de ontladingspartners is van wezenlijk belang voor de gasontladingsfysikus, die werkt in de kontekst van de ontwikkeling van gasontladingslampen. Hem interesseren bijvoorbeeld de kleur, de intensiteit en het rendement van het uitgestraalde licht. Al deze grootheden hangen direkt samen met de bouw van de gasatomen en met de overgangswaarschijnlijkheden van elektronen tussen de verschillende niveau's. De energieniveau's en overgangswaarschijnlijkheden van verschillende gassen behoren daarom vanouds tot de gemeenschappelijke kennis van atoomfysici en gasontladingsfysici. Omdat de laatsten echter niet tot in de finesses in de atoombouw zijn geïnteresseerd, onderzoeken zij deze grootheden niet zelf diepgaand. Geen van de gasontladingsfysici van Philips publiceerde bijvoorbeeld over hyperfijn-structuren van spektra [55], noch maakt dit thema deel uit van leerboeken over gasontladingslampen of -fysika. [56]

Kennis over energieniveau's kan bijvoorbeeld worden verkregen via botsingsproeven tussen elektronenwolken en gassen. Voordat Bohr zijn atoomtheorie had gepubliceerd, werden dit soort experimenten reeds verricht. Toen hadden de betreffende onderzoekers echter tot doel aan te tonen, dat de daarbij plaatsvindende energieoverdracht van elektronen naar atomen gekwantiseerd plaatsvindt. E. J. Gehrke en Seeliger toonden in 1912 aan, dat de versnelde elektronen inderdaad eerst een bepaalde drempel moesten overschrijden alvorens het gas licht uitzendt. Proeven van Rau in 1914 bevestigden dit. Ook de proeven van Franck en Hertz uit 1913 en 1914 stonden, zoals gezegd, in dit kader. Omdat Franck en Hertz storende invloeden zoveel mogelijk wisten te vermijden, waren zij de eersten die overeenstemming vonden tussen de stralingsenergie volgens de formule  $E = h \cdot f$  en de overgedragen kinetische energie van de elektronen. [57]

Met betrekking tot de overgangswaarschijnlijkheden van elektronen in een atoom zijn twee zaken van belang: de kans dat een elektron in een atoom in een hogere toestand komt (aanslag) en de kans

dat hij terugvalt in een bepaalde lagere toestand. Aanslag zal hieronder worden behandeld, omdat dit alleen optreedt na interactie met een andere partner. Terugval naar een lagere toestand is echter vaak een spontaan proces binnen het atoom zelf.[58] Zoals gezegd was Bohr in 1918 een der eersten die dit proces bestudeerde, omdat hij een verklaring zocht voor de intensiteit van spektraallijnen, die direkt samenhangt met de overgangswaarschijnlijkheid tussen twee korresponderende toestanden. Een bijzonder verschijnsel is, dat in sommige atomen toestanden bestaan van waaruit de overgangswaarschijnlijkheid naar de oorspronkelijke toestand (de grondtoestand) bijna gelijk is aan nul. Elektronen kunnen op gebruikelijke wijze vanuit de grondtoestand in deze toestand komen, maar vallen daarnaar slechts relatief zeer langzaam terug. Franck en P. Knipping doopten deze toestanden - waarschijnlijk om en nabij 1920 - met de naam 'metastabiele toestanden'. [59] K. W. Meissner toonde in 1925 als eerste experimenteel het bestaan van metastabiele toestanden aan. [60]

#### Elementaire wisselwerkingen tussen de ontladingspartners.

Onder de bestudering van de elementaire wisselwerkingen tussen de ontladingspartners valt allereerst het vrijmaken van elektronen uit de kathode. Daarbij moet een elektron in de kathode zoveel energie krijgen, dat het in staat is de kathode te verlaten. De arbeid die het elektron bij het vrijkomen verricht, wordt uittreearbeid genoemd, of - uitgedrukt in eV - uittreepotentiaal. Onderzoekingen aan uittreepotentiaal zijn onlosmakelijk verbonden met de naam van O. W. Richardson, die daaraan in het begin van deze eeuw veel studies verrichtte. De uittreepotentiaal werd dan ook vroeger vaak 'Richardson-potentiaal' genoemd. Een zelfstandige ontlading treedt gemakkelijker op, naarmate de uittreepotentiaal van de kathode lager is. In 1904 ontdekte A. R. B. Wehnelt, dat metalen kathoden bedekt met een dunne laag aardalkali-oxyde zeer lage uittreepotentiaal bezitten. Zij worden 'Wehnelt-kathode' of 'oxydkathode' genoemd en brachten veel onderzoekingen met zich mee. [61]

Naast het gebruik van elektroden met een lage uittreepotentiaal is het (in)direkt verhitten van de kathode een belangrijk hulpmiddel

om de ontsteekspanning van een ontladingsbuis te verlagen. Door thermische emissie - ontdekt door Th. A. Edison in 1881 - worden dan extra elektronen in de ontladingsbaan gebracht. Verhitting van de kathode kan bijvoorbeeld geschieden door middel van een gloeispiraaltje. Ook treedt vaak via ionenbombardement op de kathode door de ontlading zelf geïnduceerde thermische emissie op.

Aan de wijze van elektronenemissie door de kathode ontladen gasontladingsen een vaak gehanteerde indeling in twee categorieën: zelfstandige en onzelfstandige ontladingsen. Men spreekt alleen dan van een zelfstandige ontlading, als de door een elektrisch veld opgewekte processen voldoende zijn om de ontlading in stand te houden. Indien een externe oorzaak voor elektronenemissie noodzakelijk is, spreekt men van een onzelfstandige ontlading.

De uit de kathode vrijkomende elektronen zullen in botsing komen met de in de ontladingsbuis aanwezige gasatomen. De indeling van de botsingsprocessen geschiedt op basis van de volgende vergelijking, afgeleid uit de wet van behoud van energie:

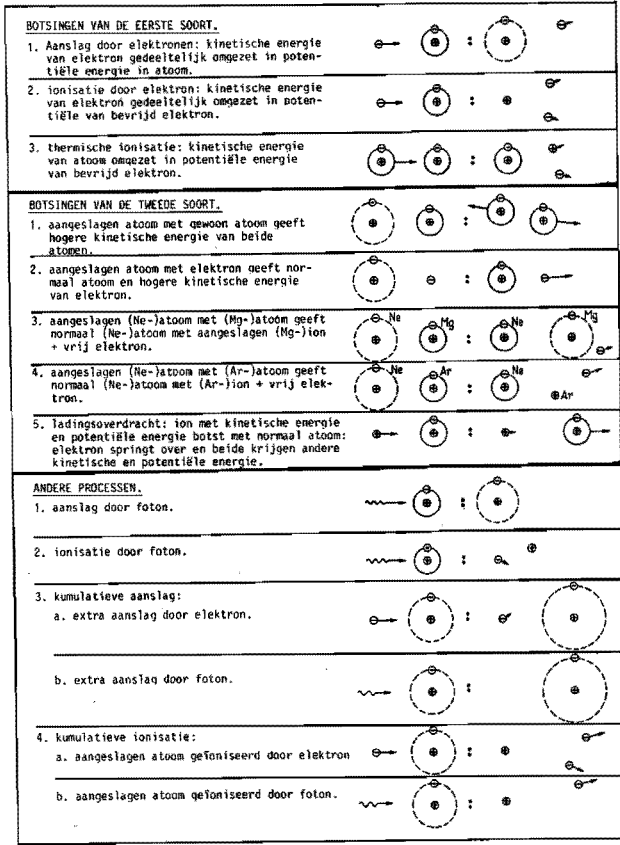
$$E_{kin,1} + E_{kin,2} = E'_{kin,1} + E'_{kin,2} + E \quad (4.4)$$

met:  $E_{kin,i}$  = kinetische energie van deeltje  $i$  voor de botsing ( $i = 1, 2$ );  
 $E'_{kin,i}$  = kinetische energie van deeltje  $i$  na de botsing ( $i = 1, 2$ );  
 $E$  = inwendige energie, die bij de botsing wordt opgenomen.

Er worden drie gevallen onderscheiden: elastische botsingen ( $E = 0$ ), botsingen van de eerste soort ( $E > 0$ ) en botsingen van de tweede soort ( $E < 0$ ). De overdracht van energie tussen twee elastisch botsende deeltjes kan worden berekend met behulp van wetten uit de klassieke mechanika. Onderzoek naar elastische botsingen werd gestart door Franck en Hertz in 1913.[62]

Bij een botsing van de eerste soort ( $E > 0$ ) vindt aanslag of ionisatie van een atoom plaats ten gevolge van een botsing met een ander deeltje. Een overzicht van de belangrijkste botsingen van de eerste soort zijn te vinden in figuur 4.3. Het is niet eenvoudig om het begin van botsingsproeven van de eerste soort te traceren. In

feite vallen de meeste experimenten met kathodestralen uit de vorige eeuw in deze categorie. Toen kon men echter nog geen kwantitatieve wetten opstellen die de waargenomen verschijnselen konden verklaren.



Figuur 4.3 Belangrijkste niet-elastische, elementaire wisselwerkingen in een gasontlading (naar [Uyterhoeven (1938), 72]).

Dat kon pas na de de ontdekking van het elektron en de introductie van het atoommodel van Bohr. De eerder genoemde experimenten van Gehrke en Seeliger (1912), Franck en Hertz (1913/14) en Rau (1914) waren de eerste, waarbij het voor de onderzoekers zelf duidelijk was, dat het ging om inelastische botsingen, waarbij kinetische energie van vrije elektronen kan worden omgezet in stralingsenergie

(via aanslag) of in ionisatieënergie.[63]

Een botsing van de tweede soort ( $E < 0$ ) wordt gekenmerkt door het omzetten van inwendige energie van een van beide of van beide ontladingspartners in kinetische energie (N.B. hierbij komt geen foton vrij). O. Klein en Svein Rosseland voorspelden het bestaan van deze soort botsingen in 1921 op basis van theoretische overwegingen.[64] In gassen waarin metastabiele toestanden kunnen voorkomen, spelen botsingen van de tweede soort een belangrijkere rol dan in andere gassen, omdat daarin langlevende aangeslagen atomen bestaan, zodat de kans op het optreden van botsingen van aangeslagen atomen met andere atomen veel groter is dan normaal. Zoals we nog zullen zien, leverden verschillende onderzoekers van het Natuurkundig Laboratorium van Philips rond 1925 belangrijke bijdragen aan theorievorming rond botsingen met metastabiele atomen (zie hoofdstuk V §5).

Naast botsingen van de eerste en de tweede soort zijn nog een aantal andere processen van belang: absorptie van een foton leidend tot aanslag of ionisatie en de zogenaamde kumulatieve processen (figuur 4.3). Absorptie kan een hinderlijk verschijnsel zijn bij gasontladingslampen, als bijvoorbeeld opgewekte zichtbare straling in de lamp zelf opnieuw voor aanslag van atomen zorgt en via terugval van de aangeslagen elektronen (onzichtbare) warmtestraling wordt opgewekt. Het rendement van de lamp daalt daardoor. Ionisatie ten gevolge van absorptie van een 'foton' (fotoionisatie) werd voor het eerst geobserveerd door H. R. Hertz in 1887.[65] Hij ontdekte dat het licht van een vonkontlading een nabijgelegen vonk gemakkelijker doet ontstaan, hetgeen gedeeltelijk door fotoionisatie kan worden verklaard. Dat fotoionisatie ook kan optreden door de straling die in een gas zelf wordt opgewekt, werd pas ruim veertig jaar later (1929) ontdekt.[66]

Het is reeds lang bekend dat als licht door gassen wordt geleid, bepaalde lijnen uit het spektrum kunnen worden geabsorbeerd, zonder dat dit leidt tot ionisatie. Intensief onderzoek vond al plaats aan het begin van de vorige eeuw en werd mogelijk door de ontwikkeling van steeds betere prisma's.[67] Zoals gezegd werd toen vooral bekeken of de waargenomen verschijnselen niet in strijd waren met de golftheorie van licht. Pas na de introductie van het atoommodel van

Bohr werd het verband gelegd met aanslag van atomen.

Voor de volledigheid zijn in figuur 4.3 ook kumulatieve processen opgenomen, dat wil zeggen die processen waarin een reeds aangeslagen atoom extra wordt aangeslagen of geïoniseerd door de wisselwerking met een vrij elektron of een foton. Bij lage dichtheden spelen kumulatieve processen een ondergeschikte rol. Zij worden significant, als de stralingsdichtheid en de dichtheid van het gas en de elektronen groter worden. Ook de aanwezigheid van metastabiele atomen bevordert het optreden van kumulatieve processen. In de jaren twintig en dertig vonden verschillende onderzoeken naar deze processen plaats.[68]

De laatste wisselwerking die hier moet worden genoemd is de rekombinatie van een positief ion met een elektron tot een (ongeladen) atoom, waarbij meestal ultraviolette straling vrijkomt. Het bestaan van rekombinatie is bekend sinds de ontdekking van het elektron. Lange tijd werd gedacht, dat al het vrijkomende licht in een ontlading daaraan te danken is. Evenals zoveel andere gedachten veranderde ook deze na de akseptatie van het atoommodel van Bohr. Vanaf ongeveer 1920 werd onderzocht hoe rekombinatie precies plaatsvindt (direkte of trapsgewijze terugval naar het valentieniveau?) en waar (aan de wand, bij de elektroden, in de donkere of lichte ruimte van de ontlading?).[69]

#### Wisselwerkingen tussen grote aantallen ontladingspartners.

Wil men gasontladingsverschijnselen mathematisch kunnen beschrijven, dan moet bekend zijn hoe groot de kans is op het optreden van de verschillende beschreven elementaire processen. Statistische beschouwingen over de wisselwerkingen tussen grote aantallen ontladingspartners vormen de schakel tussen mikro- en makroskopische beschrijvingen van gasontladingsverschijnselen. De studie naar statistische processen in gasontladingen kan worden onderverdeeld in twee gebieden: zonder en met aanwezigheid van een elektromagnetisch veld. Hier zal alleen worden ingegaan op veldvrije processen en processen in een elektrisch veld. De invloed van magnetische velden zal buiten beschouwing blijven, omdat deze niet werden toegepast in



gasontladingslampen.

In het eerste geval - veldvrije processen - is er geen sprake van stroomdoorgang door het gas. Desondanks treden in dat geval botsingsprocessen op tussen de verschillende ontladingspartners, waarbij straling kan worden opgewekt. Deze processen winnen aan invloed bij toenemende temperatuur en druk. In een niet-veldvrije ontlading en bij zeer hoge druk en temperatuur zijn zij van even groot belang als de door het elektrische veld opgewekte processen. Experimenteel bleek al snel, dat de wetten die de veldvrije processen beschrijven ook van toepassing zijn op de bewegingen van elektronen op bijna elke plaats in een ontlading met aanwezigheid van een elektrisch veld. Langmuir en K. T. Compton - beide werkzaam bij General Electric Company in de Verenigde Staten - toonden in 1930 aan, dat dit in de meeste gevallen eveneens geldt voor de bewegingen van ionen in gasontladingslampen. [70]

De belangrijkste wetten die van toepassing zijn in veldvrije processen zijn de verdelingswet van Boltzmann, de snelheidsverdelingswet van Maxwell en de ionisatieformule van Saha. Volgens de verdelingswet van Boltzmann is de concentratie van het aantal aangeslagen atomen ( $n_k$ ) naar een niveau met energie  $E_k$  boven het grondniveau:

$$n_k = n_0 \cdot (g_k/g_0) \cdot \exp(-E_k/kT) \quad (4.5)$$

waarin  $n_0$  het aantal elektronen in de grondtoestand is,  $g_0$  en  $g_k$  statistische gewichten van de grondtoestand, respectievelijk de aangeslagen toestand en  $k$  de konstante van Boltzmann.

De snelheidsverdelingswet van Maxwell beschrijft de verdeling van de snelheid over de deeltjes bij een gegeven temperatuur en kan in de volgende vorm worden geschreven:

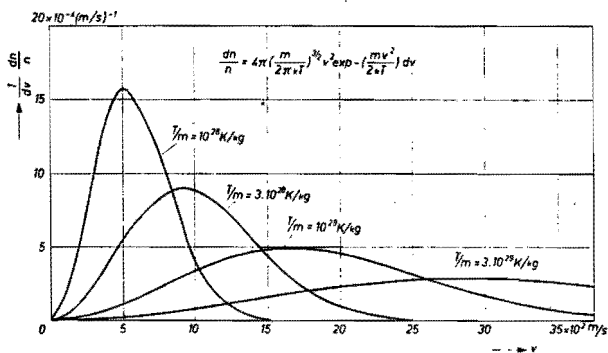
$$dn = 4\pi \cdot n \cdot \frac{m^{3/2}}{(2\pi \cdot kT)^{3/2}} \cdot \exp\left(\frac{-m \cdot v^2}{2kT}\right) \cdot v^2 \cdot dv \quad (4.6)$$

waarin  $dn$  het aantal deeltjes tussen snelheid  $v$  en  $v+dv$  is onafhankelijk van de richting van de snelheid,  $n$  het totaal aantal deel-

tjes,  $m$  de massa van de deeltjes,  $k$  de konstante van Boltzmann en  $T$  de absolute temperatuur. Deze wet kan ook als volgt worden geschreven:

$$dn/n = f(v) \cdot dv \quad (4.7)$$

waarin  $f(v)$  een verdelingsfunctie is. In figuur 4.4 is  $f(v)$  grafisch weergegeven.



Figuur 4.4 Snelheidsverdeling van Maxwell  
[Elenbaas (1972), fig. B.1].

De 'Saha-formule' - in 1920 afgeleid door de Indische astrofysicus M. N. Saha - geeft tenslotte de ionisatiegraad van een gas als gevolg van thermische ionisatie. Voor ionisatie waarbij alleen het valentie-elektron vrijkomt heeft de Saha-formule de volgende gedaante:

$$\frac{\alpha^2 \cdot p}{1 - \alpha^2} = \frac{(2\pi m)^{3/2}}{h^3} \cdot (kT)^{5/2} \cdot \exp\left(\frac{-E_i}{kT}\right) \quad (4.8)$$

waarin  $\alpha$  de verhouding is van het aantal geïoniseerde deeltjes tot het oorspronkelijke aantal (ionisatiegraad),  $p$  de som van de partiële drukken van de neutrale deeltjes, de ionen en de elektronen,  $E_i$  de ionisatie-energie,  $m$  de massa van de atomen,  $h$  de konstante van Planck en  $k$  de konstante van Boltzmann.

In gasontladingsslampen is een elektrische veld aanwezig dat de

elektronen en ionen een snelheidskomponent parallel aan de richting van het veld geeft. Rutherford - in het Cavendish laboratorium - verrichtte in 1897 als eerste systematische onderzoeken aan de beweeglijkheid van ionen in een gas.[71] Nadien onderzochten onder meer J. Zeleney (1898), Townsend (1900), P. Langevin (1903) en G. Hertz (1917) het transport van lading door gassen met behulp van een concept, dat de 'beweeglijkheid van elektronen en ionen in gassen' zou kunnen worden genoemd en waarin werd gerekend met 'gemiddelde' deeltjes.[72] Langevin ontwikkelde in 1905 de eerste theorie op basis van de gemiddelde beweeglijkheid van geladen deeltjes in een gas onder invloed van een elektrisch veld. Bekend werd de Langevin-vergelijking voor de beweeglijkheid:

$$K = a \cdot \frac{e \cdot \lambda}{m \cdot v} \quad (4.9)$$

waarin K de beweeglijkheid is van de geladen deeltjes tengevolge van het veld, a een konstante tussen 0,5 en 1,0, e de eenheid van lading, m de massa,  $\lambda$  de gemiddelde vrije weglengte en v de gemiddelde snelheid van de deeltjes. De Langevin-vergelijking werd na 1905 door verschillende onderzoekers voor specifieke omstandigheden gemodificeerd.[73] Ervan uitgaande dat de beweeglijkheid van de elektronen veel groter is dan die van de ionen, volgt de stroomdichtheid i uit:

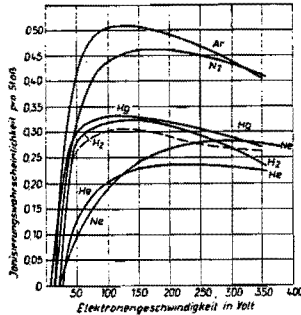
$$i = \alpha \cdot \rho \cdot K \cdot q \cdot E \quad (4.10)$$

waarin  $\alpha$  de ionisatiegraad is,  $\rho$  de massadichtheid van de kwikdamp, K de elektronenbeweeglijkheid, q de lading van Hg-ionen per kg en E de elektrische veldsterkte. Het concept van de 'beweeglijkheid van ionen en elektronen in gassen' bracht rond 1930 geen nieuwe inzichten meer. Mede door het werk van M. J. Druyvesteyn van het Natuurkundig Laboratorium van Philips kwam na 1930 een vruchtbaardere benadering op statistisch niveau op. Deze stapte af van 'gemiddelde' deeltjes en maakte gebruik van de snelheids- of energieverdeling van de elektronen onder invloed van een elektrisch veld. Vooral W. P. Allis en zijn leerlingen maakten vanaf 1935 school met deze benade-

ring.[74]

Tot die tijd echter rekende men aan 'gemiddelde' deeltjes. Om botsingsprocessen onder invloed van een elektrisch veld goed te kunnen beschrijven werd in de loop van de jaren twintig het begrip 'werkzame doorsnede' ingevoerd. Dit begrip had betrekking op de verschillende 'gemiddelde' deeltjes en verdiskonteerde twee effecten: het feit dat de elastische interactie van elektronen met atomen vanwege het golfkarakter van elektronen afhankelijk is van de snelheid - het 'Ramsauer-effekt', ontdekt in 1921 door C. Ramsauer - en het feit dat de afstand waarop een atoom en een ander deeltje een bepaalde wisselwerking vertonen, afhankelijk is van de toestand van het atoom (neutraal, aangeslagen of geïoniseerd). De werkzame doorsnede is een statistische grootte voor de wisselwerking tussen twee groepen verschillende deeltjes. Zij kan worden bepaald voor de wisselwerking tussen neutrale atomen en elektronen, maar bijvoorbeeld ook voor de wisselwerking tussen neutrale atomen en ionen. Voor wisselwerkingen tussen elektronen en een gas waarin zich neutrale, aangeslagen en geïoniseerde atomen bevinden werd de term 'effektieve doorsnede' geïntroduceerd. Deze wordt gedefinieerd als de som van de afzonderlijke werkzame doorsneden, elk vermenigvuldigd met een gewichtsfactor, die aangeeft welk gedeelte van het gas in de ontlading bestaat uit de betreffende komponent. (De doorsneden worden uitgedrukt in  $\text{cm}^{-1}$  per mm gasdruk bij  $0^\circ\text{C}$ ; deze maat is afgeleid van oppervlakte per volume-eenheid:  $\text{cm}^2/\text{cm}^3$ ).[75]

Via de werkzame doorsneden kan worden berekend welke processen in een gegeven gasontlading het meest van belang zijn. Het begrip omvat onder meer de kans van optreden van een bepaalde gebeurtenis: bijvoorbeeld ionisatie of aanslag. Voordat dit begrip was ingevoerd wisten fysici, dat de kans op ionisatie of aanslag, ook indien de elektronen voldoende kinetische energie bezitten, niet gelijk is aan één. Een van hun doelstellingen was deze kansen te meten. Zo telde Townsend reeds rond 1900 het aantal atomen dat door één elektron kan worden geïoniseerd.[76] Later werd voor elk element een ionisatie-functie ingevoerd, die het verband aangeeft tussen ionisatiekans en elektronen-snelheid (figuur 4.5).



Figuur 4.5 Ionisatiefunctie voor enkele elementen

[Kapzow (1955), fig. 95].

De eerste proeven om aanslagkansen te meten dateren uit de jaren twintig, maar tot ongeveer 1930 bleven de meetmethoden indirect en onbetrouwbaar.[77] Betrouwbare metingen van de aanslagfuncties, die het verband aangeven tussen de aanslagkans en de elektronen-snelheid, konden pas daarna worden verricht.[78] Een groot deel van de meetproblemen werd veroorzaakt door kwikverontreiniging van de ontladingsbuizen vanwege het noodzakelijke gebruik van kwikpompen om vacuüm te verkrijgen en van kwikmanometers om de druk te meten. Vooral dankzij nieuwe pomptechnieken en manometers, mede ontwikkeld door F. M. Penning bij Philips, werd het in het eind van de jaren dertig mogelijk met gasen van zeer hoge zuiverheid te werken.[79]

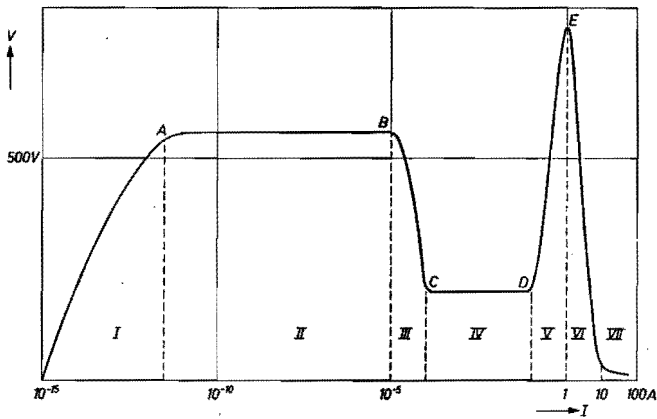
#### Makroskopische gasontladingsverschijnselen.

De doelstelling van theorievorming op het niveau van makroskopische ontladingsverschijnselen is om mathematische verbanden te geven tussen de verschillende van belang zijnde makroskopische grootheden, zoals druk, stroom, spanning, temperatuur, lichtstroom en kleur van het uitgestraalde licht. Ideaaltypisch streeft de gasontladingsfysicus een theorie na die makroskopische verschijnselen kan verklaren met behulp van de elementaire atomaire processen of met de woorden van Seeliger uit 1930: "(.....) Endziel [ist die] Auflösung des makroskopischen Geschehens in elementare Prozesse (.....)".[80] Een

'totaaltheorie', die alle verschillende gasontladingsvormen omvat, bestaat niet. Wel bestaan enkele reeds vóór 1940 ontwikkelde theorieën die onder bepaalde voorwaarden geldig zijn. Ruwweg kan men zeggen dat de opstellers van deze theorieën erin zijn geslaagd de kennis van elementaire processen via statistische beschouwingen te vertalen naar makroskopische grootheden onder specifieke omstandigheden. Voor die specifieke omstandigheden bestaan verschillende klassifikatieschema's. Het wetenschappelijk meest vruchtbare schema is gebaseerd op verschillende combinaties van elementaire wisselwerkingen tussen de ontladingspartners. Het schema is weergegeven in tabel 4.1 en zal in het navolgende worden toegelicht. Bij de toelichting volgen we de verschillende typen gasontladingen, zoals genoemd in de tweede kolom van tabel 4.1: de Townsend-ontlading, de glimontlading en de boogontlading. De vonkontlading en bliksem zijn in de tabel voor de volledigheid opgenomen, maar blijven verder buiten beschouwing, omdat zij in gasontladingslampen geen rol spelen. De drie genoemde vormen zijn afgeleid uit de stroom-spannings- (of I-V-)karakteristiek van een gasontlading. Figuur 4.6 geeft deze karakteristiek schematisch weer. In figuur 4.6 behoort alleen gebied I niet tot de zelfstandige ontladingen: een ontlading in dat gebied kan alleen in stand worden gehouden door de elektronen-emissie uit de kathode met externe middelen te verzorgen (bijvoorbeeld via verhitting van de kathode). Vanaf punt A kunnen de meeste punten op de grafiek door zelfstandige ontladingen worden bereikt. Het traject tussen A en B betreft de Townsend-ontlading en tussen C en D de glimontlading. Gebied VII omvat de boogontlading. Van groot belang is dat deze klassifikatie berust op een 'black-box'-benadering, dat wil zeggen niet op de verschijnselen in de buis, maar op de in- en uitgangssignalen (stroom en spanning). Zij houdt geen rekening met het feit, dat bij elk van deze ontladingsvormen in een buis tussen de kathode en de anode verschillende deelgebieden bestaan met eigen elementaire processen. Zo bevindt zich in een glimontlading vlakbij de kathode een lawine-ontlading, maar meer in de richting van de anode een niet-isotherm plasma (vergelijk tabel 4.1). Voor elk van deze deelgebieden in de Townsend-, glim- of boogontlading gelden aparte theorieën. In de periode 1900 - 1940 kwamen voor elk van de

elementaire wisselwerkingen in de ontlading	ontladingstype, onderzoekers en voorbeelden
1 direkte en kumulatieve aanslag en ionisatie door botsing met elektronen leidend tot elektronenlawines, die elkaar ononderbroken opvolgen en de ontladingsruimte min of meer gelijkmatig met ruimtelading opvullen. Botsingen van de tweede soort.	<u>Lawine-ontladingen</u> <u>(Townsend-Rogowski).</u> 1. onzelfstandige Townsend ontlading. 2. kathodegedeelte van de glimontlading. 3. overgang van Townsend- naar glimontlading. 4. kathodegedeelte bij overgang van glim- naar boogontlading.
2 snelle opeenvolging en afwijzing van direkte en indirecte ionisatie- en aanslagprocessen door botsing met elektronen en door fotoionisatie die leiden tot tijdelijke, ruimtelijk beperkte lintvormige ontladingen ('streamer'), die het oorspronkelijk gelijkmatige veld volledig verstoren.	<u>'Streamer'</u> <u>(Meek-Loeb).</u> 1. Aanvangsstadium van vonkontlading 2. Aanvangsstadium van bliksem.
3 thermische beweging van elektronen en ionen domineren over veldbeweging. Ionisatie door botsingen met snelste elektronen. Ruimtelading bijna nihil. Gemiddelde elektronenenergie $\gg$ gemiddelde energie van neutrale gasdeeltjes. Energiewinst van elektronen t.g.v. E-veld gelijk aan energieverlies t.g.v. elastische en inelastische botsingen.	<u>Niet-isotherme plasma</u> <u>(Langmuir-Tonks).</u> 1. onzelfstandige ontlading; laagspanningsboog. 2. positieve zuil van glimontlading. 3. positieve zuil van boogontlading bij lage druk. 4. positieve zuil in hoogfrequent ontladingen.
4 thermische beweging van elektronen en ionen domineren over veldbeweging. Ionisatie en aanslag volledig bepaald door thermische effecten. Ruimtelading bijna nihil. Gemiddelde elektronenenergie gelijk aan de gemiddelde energie van de neutrale gasdeeltjes.	<u>Isotherme plasma</u> <u>(Elenbaas).</u> 1. ingesnoerde boogontlading. 2. vonkontlading in later stadium van ontwikkeling. 3. lichtgevende deel van bliksem.

Tabel 4.1 Belangrijkste gasontladingen ingedeeld naar elementaire wisselwerkingen (naar [Kapzow (1955), 316-319]).

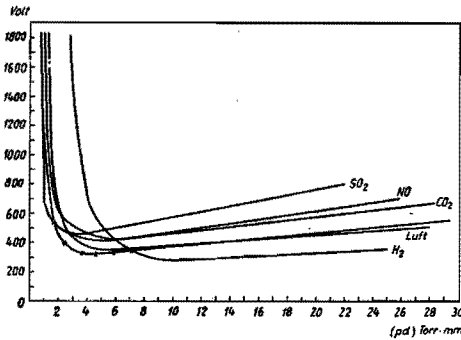


**Figuur 4.6 I-V-karakteristiek voor een (zelfstandige) gasontlading**  
 [Elenbaas (1972), fig. 4.10].

vier in tabel 4.1 genoemde ontladingstypen theorieën beschikbaar: de Townsend-Rogowski-theorie voor lawine-ontladingen (1900, 1930), de streamer-theorie van J. M. Meek en L. B. Loeb (1939 - 1940), de theorie van Langmuir en L. Tonks voor niet-isotherme plasma's (1928) en de theorie van W. Elenbaas voor isotherme plasma's (1934). [81] De theorie van Meek en Loeb blijft hier verder buiten beschouwing, omdat deze alleen betrekking heeft op voor ons doel niet-interessante gasontladingen. De andere drie zullen kort worden toegelicht.

Verschillende studies naar gasontladingsverschijnselen in de vorige eeuw vonden plaats in wat wij nu Townsend-ontladingen noemen. In 1880 publiceerden W. de la Rue en H. W. Müller grafieken voor de ontsteekspanning (de spanning in punt A van figuur 4.6) van verschillende gassen. Deze grafieken werden later bekend als 'Paschenkurven', naar F. Paschen, die in 1889 op experimentele wijze ontdekte, dat de ontsteekspanning van een gas in een ontladingsbuis met twee zeer grote, vlakke elektroden slechts afhangt van het product van de gasdruk ( $p$ ) en de afstand tussen de elektroden ( $d$ ). Dit wordt het 'Paschen-effekt' genoemd. Voorbeelden van Paschen-kurven zijn gegeven in figuur 4.7.





Figuur 4.7 Paschen-kurven voor enkele gassen

[Kapzow (1955), fig. 184].

Het Paschen-effekt werd door Townsend gegeneraliseerd in de vorm van gelijkvormigheidswetten. Gelijkvormigheid is een belangrijk hulpmiddel bij het ontwerpen van dié produkten waarbij verschijnselen niet direkt kunnen worden berekend met behulp van fysische wetten of theorieën. Gelijkvormige produkten voldoen allemaal aan dezelfde gelijkvormigheidsvoorwaarden en hebben een of meer gemeenschappelijke eigenschappen die dus voor één groep gelijkvormige produkten slechts één maal hoeven te worden bepaald; van elk artefakt hoeft slechts te worden vastgesteld of het voldoet aan de gelijkvormigheidsvoorwaarden om een aantal belangrijke eigenschappen te kennen. Townsend definieerde dié gasontladingen als gelijkvormig, die als gemeenschappelijke eigenschap hebben, dat de ontsteekspanning even groot is. De voorwaarden waaronder twee gasontladingen deze gelijkvormigheid vertonen zijn als volgt: is in een ontladingsbuis de druk gelijk aan  $p$ , de elektrodenafstand aan  $d$  en de veldsterkte aan  $E$ , dan is een ontleding in elke andere ontladingsbuis waarin de druk gelijk is aan  $p/k$ , de elektrodenafstand aan  $k \cdot d$  en de veldsterkte aan  $E/k$  ( $k$  een willekeurige konstante) daarmee gelijkvormig. [82]

Townsend startte zijn theorievorming in 1900. Deze had betrekking op elektronenlawinen en was oorspronkelijk alleen van toepassing op het eerste gedeelte (I) van de I-V-karakteristiek uit figuur 4.6. Zijn theorie kon wel de overgang van de onzelfstandige naar de zelfstandige ontleding in punt A verklaren, maar niet het bestaan

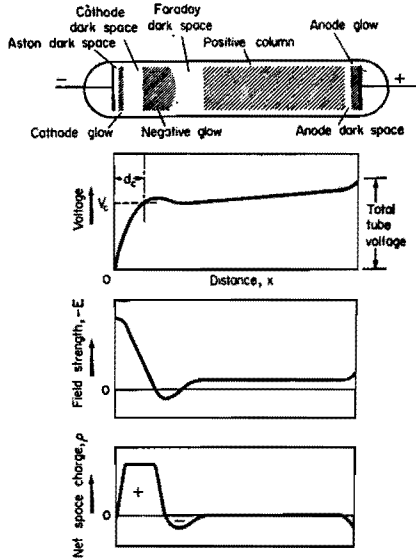
van een zelfstandige ontlading tussen A en B. De theorie werd in 1930 door W. Rogowski uitgebreid. Hij ging, in tegenstelling tot Townsend, niet uit van een lineair verloop van de elektrische veldsterkte tussen de kathode en anode, maar van een plaatsafhankelijke veldsterkte ten gevolge van opeengehoopte ruimtelading. Hij maakte daarbij gebruik van de Poisson-vergelijking, die de veldsterkte ( $E$ ) en de ruimtelading ( $\rho$ ) als volgt met elkaar verbindt:

$$\operatorname{div} E = 4\pi \cdot \rho \quad (4.11)$$

De Townsend-Rogowski-theorie die daaruit ontstond, bleek van toepassing op de onzelfstandige Townsend-ontlading (gebied I), de overgang tussen onzelfstandige en zelfstandige Townsend-ontlading (van gebied I naar II) en de overgang tussen de Townsend- en glimontlading (gebied III). Bovendien kan deze de verschijnselen bij de kathode in een glimontlading en bij de kathode in de overgangssituatie tussen glim- en boogontlading verklaren.[83]

In tegenstelling tot de Townsend-ontlading, waarin vaak op regelmatige afstanden de lichte en donkere laagjes van Holst en Oosterhuis worden waargenomen (zie hoofdstuk V, §5), zijn in de glimontlading een aantal lichtgevende en donkere gebieden van verschillende lengte te onderscheiden (figuur 4.8). Veel namen van de afwisselend lichte en donkere lagen in een glimontlading zijn afkomstig uit de vorige eeuw, zoals de 'donkere ruimte van Faraday'. De donkere kathode-ruimte heet ook wel 'donkere ruimte van Crookes' of 'donkere ruimte van Hittorf', naar de onderzoekers Crookes en Hittorf uit de vorige eeuw. De glimontlading werd vanaf 1910 veelvuldig toegepast in gasontladingslampen, de zogenaamde glimlampen. Deze bestaan in twee versies: met of zonder positieve zuil. Een glimontlading zonder positieve zuil komt tot stand, indien de elektroden dicht bij elkaar staan. Dan is alleen het negatieve glimlicht aanwezig. Lampen die slechts gebruik maken van het negatieve glimlicht, werden in de jaren twintig bijvoorbeeld voor gebruik als indikatielampjes geïntroduceerd.[84] Indien de elektroden ver weg staan van elkaar, ontstaat een lange positieve zuil, die veel licht kan geven.

De positieve zuil van glimontladingen wordt bijvoorbeeld toegepast in neon-reklamebuizen, die in 1910 voor het eerst door G. Claude werden gemaakt.[85]

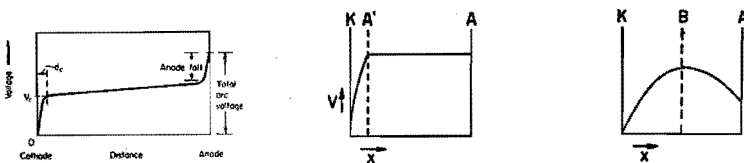


Figuur 4.8 Lichte en donkere lagen in een glimontlading met nomenklatuur [Howatson (1965), fig. 14].

Aangezien de positieve zuil kan worden gebruikt voor verlichtingsdoeleinden, genoot deze sterke belangstelling van industriële wetenschappers. Langmuir en Tonks, beide werkzaam bij General Electric in de Verenigde Staten, ontwikkelden rond 1928 een theorie, die speciaal op de positieve zuil betrekking heeft. Langmuir doopte deze zuil met de naam: 'plasma', een Grieks woord dat 'kneden' of 'vormen' betekent. Hij koos dit woord, omdat de positieve zuil elke willekeurige vorm van de ontladingsbuis overneemt, een effect waarvan in reclameletters dankbaar gebruik wordt gemaakt.[86] Kenmerkend voor een plasma is, dat de aantallen negatieve en positieve ladingsdragers (bijna) aan elkaar gelijk zijn, ofwel dat de ruimtelading (bijna) nul is. Daardoor is er (bijna) geen elektrisch veld aanwezig (zie onderste grafiek in figuur 4.8). Bij lage druk is de aanwezigheid van een gering elektrisch veld, zoals in het geval van de posi-

tieve zuil in een glimontlading, voldoende om vooral de elektronen hogere snelheden te geven, die echter door elastische botsingen een vrijwel willekeurige richting aannemen (de snelheid heeft dus gemiddeld nauwelijks een komponent in de veldrichting). Daardoor is de gemiddelde kinetische energie van de elektronen veel groter dan die van de gasatomen, zodat de temperatuur van de elektronen veel groter is dan de temperatuur van het neutrale gas. Het plasma bij lage druk is daarom niet-isotherm. Ionisatie en aanslag zijn in dit geval het gevolg van wisselwerkingen tussen atomen en de snelste plasma-elektronen. [87]

Net als in een glimontlading is de potentiaalverdeling in een boogontlading plaatsafhankelijk. Bovendien is het verloop van de potentiaal verschillend voor zelfstandige en niet-zelfstandige boogontladingen. Figuur 4.9<sup>a</sup> toont een voorbeeld van het potentiaalverloop in een zelfstandige boogontlading, terwijl figuren 4.9<sup>b</sup> en 4.9<sup>c</sup> twee voorbeelden van niet-zelfstandige boogontladingen laten zien. Het verschil tussen de niet-zelfstandige boogontladingen in de situaties 4.9<sup>b</sup> en 4.9<sup>c</sup> is, dat in het laatste geval de ontleding kan bestaan, terwijl het spanningsverschil tussen kathode en anode lager is dan de ionisatiespanning van het gas. Deze ontleding heet 'laagspanningsboog' en kan alleen in stand blijven door voldoende verhitting van de kathode. Rond 1920 dacht men dat de verklaring moest



- a. zelfstandige boogontlading [Howatson (1965), fig. 16]
- b. gewone onzelfstandige boogontlading [Penning (1957), fig. 10]
- c. laagspanningsboog in niet-zelfstandige boogontlading [Penning (1957), fig. 10]

Figuur 4.9 Potentiaalverloop in verschillende boogontladingen.

worden gezocht in zodanige oscillaties van de spanning, dat deze af en toe groot genoeg wordt voor ionisatie. G. Holst en E. Oosterhuis van het Natuurkundig Laboratorium van Philips toonden in 1924 de onjuistheid van deze gedachte aan.[88] Een jaar later suggereerden K. T. Compton en C. Eckart, dat het potentiaalverloop tussen kathode en anode wellicht een piek vertoont, die zoveel hoger is dan de anodespanning, dat over een bepaald gedeelte van de buis voldoende spanning voor ionisatie bestaat.[89] Druyvesteyn (Philips) toonde in 1930 experimenteel de juistheid van deze stelling aan.[90]

Zoals uit figuren 4.9<sup>a</sup> en 4.9<sup>b</sup> blijkt, kan ook een boogontlading een groot deel bevatten waarin het potentiaalverloop gering is en de veldsterkte dus bijna gelijk is aan nul. In dit gedeelte, dat eveneens 'positieve zuil' heet, is de ruimtelading bijgevolg bijna nihil, zodat ook dit een plasma is. Bij lage druk bleek hierop de plasma-theorie van Langmuir-Tonks van toepassing. Bij toenemende druk bleek dit echter steeds minder het geval. Elenbaas, werkzaam in het Natuurkundig Laboratorium van Philips, ontwikkelde in 1934 een theorie voor boogontladingen bij hoge druk en hoge temperatuur. Gezien het belang van zijn theorie voor hogedrukkwiklampen, zal deze nog uitgebreid aan de orde komen in hoofdstuk IX. Hier volgt slechts een kort overzicht van de belangrijkste punten daaruit.

Elenbaas onderzocht hogedrukkwikontladingen. Daarin stijgt bij toenemende toevoer van elektrisch vermogen de temperatuur en daarmee de druk van de kwikdamp, vooral zolang nog vloeibaar kwik aanwezig is. Elenbaas veronderstelde dat vanaf een bepaalde temperatuur en druk, de gemiddelde kinetische energie van de elektronen (de elektronentemperatuur) en die van de neutrale atomen (de gastemperatuur) vanwege de zeer frekwent optredende botsingen bijna aan elkaar gelijk zijn. Het plasma is dan lokaal isotherm, dat wil zeggen in thermisch evenwicht, en voldoet aan de ionisatievergelijking van Saha en de verdelingswetten van Maxwell en Boltzmann. Aanslag en ionisatie worden in dit geval voornamelijk bepaald door onderlinge botsingen van de atomen, ionen en elektronen ten gevolge van hun hoge thermische energie en nauwelijks door veldinvloeden. Op basis van Elenbaas' onderzoek leidde G. Heller (Philips) een differentiaalvergelijking - de 'Elenbaas-Heller-vergelijking' - af, waaruit in

principe de stroomdichtheid, het toegevoerd vermogen, de verloren konvektiewarmte en de stralingsenergie kunnen worden berekend.[91]

Bovendien leidde Elenbaas voor boogontladingen bij hoge druk en hoge temperatuur gelijkvormigheidswetten af. Hij noemde twee hogedrukkwikontladingen in verschillende cilindervormige buizen gelijkvormig, als de respektievelijke temperaturen ( $T_1$  en  $T_2$ ) als funktie van de afstand tot het midden van de buis voldoen aan:

$$T_1(r_1) = T_2(r_2) \quad (4.12)$$

met:  $r_1 = (R_1/R_2) \cdot r_2$

waarin  $R_1$  en  $R_2$  de stralen van de respektievelijke ontladingsbuizen zijn.[92] Eigenschappen van twee gelijkvormige isotherme ontladingen zijn ondermeer, dat ze theoretisch hetzelfde spektrum uitstralen, een even groot vermogen per cm buislengte toegevoerd moeten krijgen en evenveel stralingsenergie per cm buislengte opwekken.[93] Zoals nog uitvoerig zal worden toegelicht, was Elenbaas' onderzoek zeer relevant voor het ontwerpen van hogedrukkwiklampen.

#### Verschijselen bij de elektroden.

Het laatste hier te bespreken onderdeel waar gasontladingsfysici zich reeds geruime tijd mee bezig houden, betreft de verschijnselen bij de elektroden. In een glimontlading bestaat het kathodegedeelte uit vijf deelgebieden en het anodegedeelte uit twee (figuur 4.8). Tot het kathodegedeelte behoren: de donkere ruimte van Aston, het kathode-glimlicht, de donkere kathode-ruimte, het negatieve glimlicht en de donkere ruimte van Faraday. De door Townsend in 1900 ontwikkelde en door Rogowski in 1930 uitgebreide theorie is op het gehele kathodegedeelte in de glimontlading van toepassing (vergelijk tabel 4.1). Het anodegedeelte in een glimontlading is samengesteld uit de donkere anode-ruimte en het anode-glimlicht. Het spanningsverschil  $V_c$  tussen de kathode en het negatieve glimlicht wordt 'kathodeval' genoemd, terwijl de spanning tussen de positieve zuil en de anode (het gehele anodegedeelte) 'anodeval' heet. In tegenstel-

ling tot het kathodegedeelte is het anodegedeelte niet van doorslaggevend belang voor het instandhouden van de ontlading; het kan achterwege blijven.[94] De eerste metingen aan het anodegedeelte stammen van Skinner uit 1904.[95] De kathodeval werd al in de vorige eeuw bestudeerd, bijvoorbeeld door Hittorf (1883) en Goldstein (1885).[96]

Zelfstandige boogontladingen kennen net als glimontladingen een kathode- en anodegedeelte (vergelijk figuur 4.9<sup>a</sup>). Bij de niet-zelfstandige boogontlading kunnen deze afwezig zijn. De anodeval in een boogontlading is hetzelfde gedefinieerd als in een glimontlading. De kathodeval is echter, bij afwezigheid van een negatief glimlicht, gelijk aan de spanning tussen de positieve zuil en de kathode.

#### §5. Samenvatting.

De geschiedenis van de gasontladingsfysika is in te delen in twee perioden, waarbij de overgang van de ene naar de andere rond 1900 plaatsvond. De overgang tussen beide perioden wordt globaal gesproken gevormd door de ontdekking van het elektron in 1897 door J. J. Thomson. In de eerste periode verrichtten fysici onderzoek naar ontladingsverschijnselen in vacuüm en in gassen. Het doel van ontladingsproeven in vacuüm was meer inzicht te verwerven in de relatie tussen elektriciteit en materie. De ontdekking van het elektron vond plaats in het kader van proeven met ontladingen in vacuüm. Ontladingen in gassen werden onderzocht om meer kennis te verwerven over de elektriciteitsgeleiding door gassen en over de spektra van de door de gassen uitgezonden straling. Een van de resultaten was de ontdekking, dat ieder element een unieke combinatie van spektraalijnen heeft, waarvan de bijbehorende frekwenties een vaste regelmaat vertonen.

Na de ontdekking van het elektron werden verschillende atoommodellen ontwikkeld en ontstond het aparte vakgebied van de 'atoomfysika'. Het atoommodel van Bohr en de daarmee samenhangende kwantumtheorie kregen uiteindelijk de meeste steun, toen bleek dat daarmee een directe relatie kon worden gelegd tussen atoombouw en spektra, waardoor atoomtheorieën experimenteel konden worden getoetst.

De 'gasontladingsfysika' werd na 1900 eveneens een apart vakgebied, dat inhoudelijk gezien sterk op de atoomfysika leunde. Beide vakgebieden zijn geïnteresseerd in de atoombouw en in spektraalanalyse, al is de een gericht op meer kennis over de atomen zelf en de ander op een beter inzicht in de botsingsprocessen die zich in de gasontlading afspelen. Vóór 1940 slaagden gasontladingsfysici erin theorieën op te stellen voor vier soorten elementaire toestanden in gasontladingen, namelijk de lawineontlading, het niet-isotherme plasma, het isotherme plasma en de 'streamer'.



HOOFDSTUK V. GASONTLADINGSONDERZOEK VAN OVERHEID,  
HOGER ONDERWIJS EN BEDRIJFSLEVEN.

§1. Inleiding.

Het doel van het vorige hoofdstuk was een schets te geven van de ontwikkelingen in de gasontladingsfysika tot ongeveer 1940. Daarbij is geen onderscheid gemaakt in de verschillende achtergronden van de genoemde onderzoekers wat betreft de institutionele kontekst waarin zij werkten. De aanwezigheid van een zeer uitgebreid archief van de inmiddels met emeritaat zijnde hoogleraar A. A. Kruithof, die dat sinds zijn aanstelling bij het Natuurkundig Laboratorium van Philips in 1934 nauwgezet heeft opgebouwd, gaf de mogelijkheid een onderzoek te verrichten naar de kenmerkende verschillen tussen bijdragen van onderzoekers uit universiteiten, technische hogescholen, overheidslaboratoria en bedrijfslaboratoria. Het genoemde archief is voor de jaren 1920, 1925, 1930, 1935 en 1940 zodanig aangevuld met andere gasontladingsliteratuur, dat een zo compleet mogelijk archief voor deze jaren is ontstaan.[1] Dit aangevulde archief is uitgangspunt geweest om te onderzoeken over welke onderwerpen door de onderzoekers uit de verschillende konteksten werd gepubliceerd, waarmee een indruk kan worden verkregen omtrent de doelstellingen van de onderzoekingen in de verschillende soorten laboratoria.

Dit hoofdstuk is ruwweg verdeeld in twee gedeelten. Het eerste gedeelte geeft een kwantitatieve beschouwing over de verschillende onderwerpen waaraan internationaal in de genoemde konteksten in de periode 1920 - 1940 werd gewerkt (§2). Doel van dit gedeelte is om een globaal inzicht te krijgen in de vraag of gasontladingsonderzoekers in bedrijfs-, universiteits-, overheids-, en hogeschoollaboratoria zich in deze periode duidelijk op onderscheiden thema's richtten. Een inhoudelijke analyse van de samenhang in de werkzaamheden in deze soorten laboratoria verschaft deze kwantitatieve analyse nog

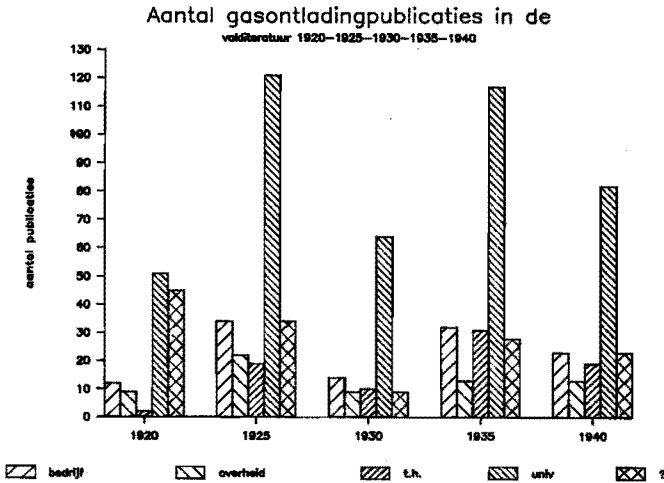
niet. Daarom is een tweede gedeelte toegevoegd. Daarin is de ontwikkeling van de gasontladingsfysika in Nederland tussen 1920 en 1940 geanalyseerd, en wel in laboratoria uit drie van de vier genoemde konteksten: het Fysisch Laboratorium van de Rijksuniversiteit Utrecht (§4), Het Natuurkundig Laboratorium van Philips (§5) en het Laboratorium voor Technische Physica van de Technische Hoogeschool Delft (§6). Wat betreft de keuze van de laatste twee laboratoria is de verantwoording eenvoudig: noch in het bedrijfsleven, noch in de Technische Hoogeschool Delft was er een ander laboratorium dat zich met gasontladingen bezighield. Het Fysisch Laboratorium te Utrecht was daarentegen niet het enige universitaire laboratorium waaruit gasontladingspublicaties naar buiten kwamen. Het was echter wel het meest belangrijke universiteitslaboratorium op dit terrein, getuige bijvoorbeeld het feit dat in een historisch overzicht van de fysika in Nederland eveneens alleen dit universiteitslaboratorium met betrekking tot gasontladingsfysika wordt genoemd.[2] Een overgangspaaragraaf tussen beide gedeeltes van dit hoofdstuk gaat in op de positie van Nederland in het mondiale gasontladingsonderzoek met betrekking tot het aantal gasontladingspublicaties (§3).

## §2. Mondiaal overzicht.

Figuur 5.1 geeft een overzicht van alle gasontladingspublicaties in wetenschappelijke tijdschriften in de jaren 1920, 1925, 1930, 1935 en 1940.[3] 1920 is als eerste jaartal gekozen, omdat Philips rond die tijd met zijn eerste gasontladingslampen op de markt kwam (neonglimlamp in 1917 en wolframbooglamp in 1920 [4]) en zich in het Natuurkundig Laboratorium in die tijd het eerste onderzoeksprogramma rond gasontladingsfysika begon af te tekenen. Uit figuur 5.1 blijkt dat veruit de meeste gasontladingspublicaties door universitaire onderzoekers werden geschreven, gevolgd door de industriële onderzoekers. De onderzoekers van technische hogescholen en overheidslaboratoria volgden op enige afstand. Industriële onderzoekers leverden dus op zijn minst kwantitatief gezien substantiële bijdragen aan de ontwikkeling van het vakgebied van de gasontladingsfysika.

Aan welke onderwerpen werkten de onderzoekers in de laboratoria

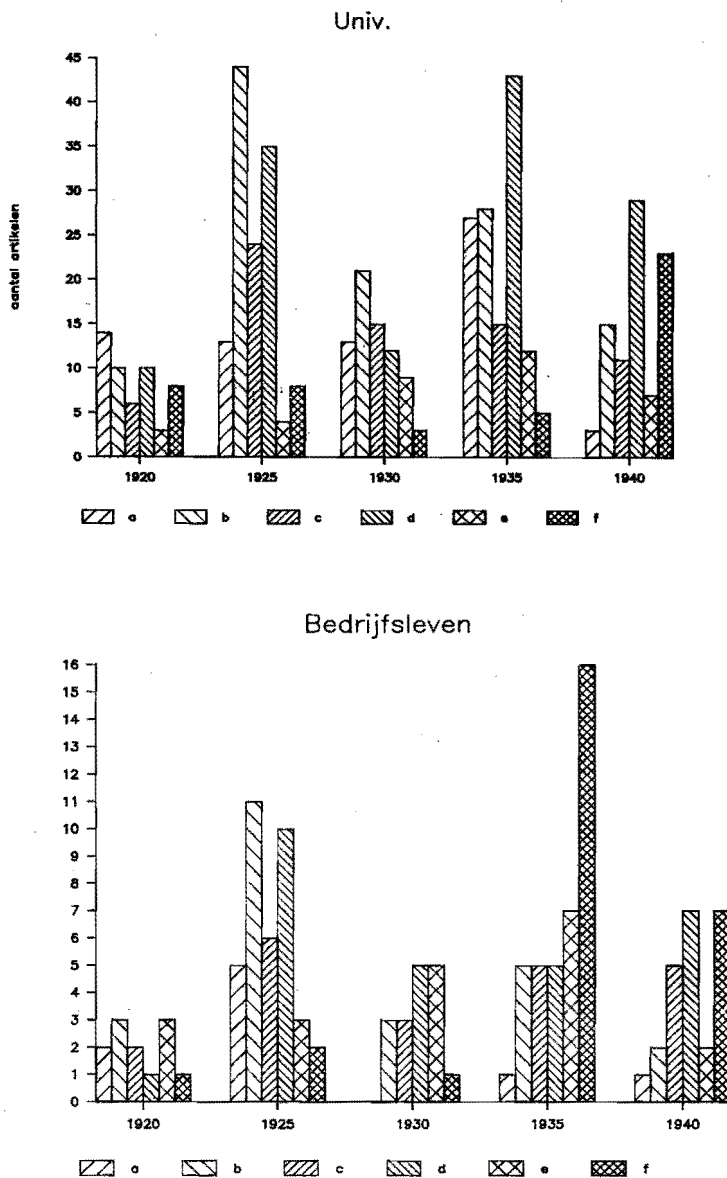
in de genoemde konteksten? Onbekend is hoe de relatie precies was tussen gepubliceerde onderzoeksresultaten en thema's waaraan werd gewerkt. Bij gebrek aan inzicht in deze relatie gaan we er voorlopig van uit, dat een overzicht van aantallen gepubliceerde artikelen in verschillende categorieën een ruwe indruk hiervan kan geven. Met dit



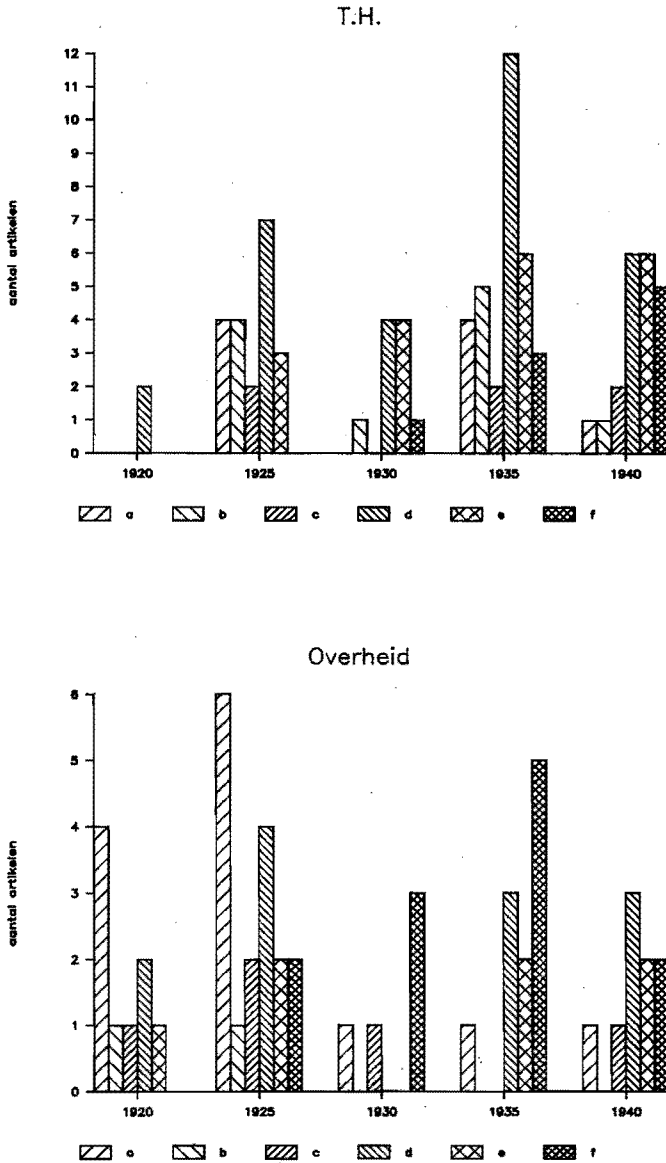
Figuur 5.1 Aantal gasontladingpublicaties in de wetenschappelijke literatuur naar kontekst 1920, 1925, 1930, 1935 en 1940.

rang-orde	univer-siteit	indu-strie	technische hogeschool	over-heid	totaal
1	d (570)	d (125)	d (140)	b (95)	d (885)
2	b (540)	f (120)	e (85)	a (55)	b (800)
3	c (320)	b (110)	b (55)	f (55)	a (455)
4	a (315)	c (90)	a (45)	d (50)	c (455)
5	f (175)	e (90)	f (35)	e (30)	f (385)
6	e (155)	a (40)	c (25)	c (20)	e (360)

Tabel 5.1 Rangorde van de rubrieken naar kontekst, 1920-1940 (geschatte aantal malen dat een rubriek aan de orde werd gesteld). [7]



Figuur 5.2 Aantal malen dat een rubriek aan de orde kwam naar kontekst en per jaar (zie ook volgende pagina).



**Figuur 5.2 Aantal malen dat een rubriek aan de orde kwam naar kontekst en per jaar (vervolg).**

doel zijn zes verschillende rubrieken onderscheiden, die aansluiten bij de indeling uit het vorige hoofdstuk: gasontladingspartners (a), elementaire wisselwerkingen tussen deze partners (b), wisselwerkingen tussen grote aantallen van deze partners (c), makrofysische gasontladingsverschijnselen (d), verschijnselen bij de elektroden (e) en gasontladingstoepassingen (f). Figuur 5.2 geeft grafisch weer hoe vaak elk van deze rubrieken aan de orde werd gesteld in de vier verschillende soorten instituten in de vijf steekproefjaren. [5] Tabel 5.1 geeft een geschat totaaloverzicht op basis van de vijf steekproefjaren. [6]

De belangrijkste konklusies die uit figuur 5.2 en tabel 5.1 kunnen worden getrokken, luiden als volgt:

- a. bij alle vier de soorten instituten is sprake van een toeneming van het aantal gasontladingspublicaties tussen 1920 en 1925, gevolgd door een daling in 1930 en een toeneming tussen 1930 en 1935, terwijl het aantal in 1940 weer significant minder was dan in 1935;
- b. universitaire onderzoekers publiceerden het meest over 'elementaire' wisselwerkingen tussen de ontladingspartners (b) en over makroskopische gasontladingsverschijnselen (d); 'statistische' wisselwerkingen en de ontladingspartners zelf (c) kregen minder vaak aandacht; relatief de minste aandacht ging uit naar toepassingen (f) en verschijnselen bij de elektroden (e);
- c. industriële onderzoekers besteedden in hun publicaties in wetenschappelijke bladen een opvallend gelijke aandacht aan vijf van de zes genoemde thema's; alleen over de ontladingspartners zelf (a) werd door hen significant minder gepubliceerd;
- d. bij de onderzoekers van technische hogescholen werden de thema's 'makrofysische gasontladingsverschijnselen' (d) en 'verschijnselen bij de elektroden' (e) het meest aangeroerd; minder vaak publiceerden zij over de ontladingspartners (a) en hun 'elementaire' wisselwerkingen (b), alsmede over toepassingen (f); relatief zeer weinig aandacht kregen de 'statistische' beschouwingen over de verschillende soorten wisselwerkingen (c);
- e. alleen bij onderzoekers van overheidsinstituten scoorde het aantal publicaties over 'elementaire' wisselwerkingen (b) het

hoogst; bij alle andere instituutsoorten waren dat de artikelen over makroskopische gasontladingsverschijnselen (d), die bij de onderzoekers uit overheidsinstituten ongeveer even vaak naar voren werden gebracht als de gasontladingspartners (a) en de toepassingen (f); 'statistische' wisselwerkingen (c) en verschijnselen bij de elektroden (e) stonden het minst in hun belangstelling.

Kunnen we op basis hiervan een konklusie trekken over het verschil in oriëntatie tussen onderzoekers in industriële en andere laboratoria? Mijns inziens kan dat op twee punten. Ten eerste blijken industriële onderzoekers in de beschouwde periode het aantal wetenschappelijke publikaties veel meer dan hun kollega's uit andere konteksten gelijkmatig te hebben verdeeld over de verschillende thema's. De interpretatie van dit gegeven is niet eenvoudig: omdat onderzoekers in het bedrijfsleven als enigen rekening moeten houden met commerciële belangen, kunnen zij wellicht niet zo vrijelijk publiceren als hun kollega's uit andere laboratoria. Bij bedrijfslaboratoria zou dus een andere relatie kunnen bestaan tussen de onderzochte thema's en de in publikaties besproken thema's. Vooral van thema's die direkt aan toepassingen zijn gerelateerd kan worden verwacht, dat daarover minder makkelijk kan worden gepubliceerd. Het bestaan van een octrooistelsel kan deze drempel beperkt hebben gehouden. Via octrooien kunnen toepassingen immers worden beschermd, zodat een verbod op publikaties minder stringent zal hoeven te zijn. Holst heeft bijvoorbeeld meermalen gesteld, dat het octrooistelsel publikaties over het gehele onderzoek mogelijk maakten.[8] Bij gebrek aan een nauwkeurig inzicht in de relatie tussen onderzochte en in publikaties aan de orde gestelde thema's gaan we er voorlopig van uit, dat deze relatie in de verschillende soorten laboratoria niet wezenlijk van elkaar verschilde. Dan volgt uit de genoemde cijfers dat de onderzoekers uit industriële laboratoria minder met zwaartepunten werkten en meer nastreefden over het gehele gebied gelijklijk nieuwe kennis op te doen.

Ten tweede behoorden publikaties over toepassingen alleen bij industriële onderzoekers tot de hoogste scores. Relatief ontleenden zij dus het meest van alle onderzoekers wetenschappelijk interes-

sante thema's aan vraagstukken die direkt met een toepassing hadden te maken. Dit wijst er op, dat juist in een industrieel laboratorium wordt gepoogd wetenschappelijke kennis en de ontwikkeling van artefakten aan elkaar te koppelen.

Over de vraag hoe verschillend het onderzoek in de onderscheiden konteksten zich inhoudelijk ontwikkelde geven figuur 5.2 en tabel 5.1 geen uitsluitel. Om daarop meer zicht te krijgen, volgt in het navolgende een korte schets van de historie van het gasontladingsonderzoek in drie Nederlandse laboratoria tot 1940: het Fysisch Laboratorium van de Rijksuniversiteit Utrecht, het Natuurkundig Laboratorium van Philips en het Laboratorium voor Technische Physica van de Technische Hoogeschool Delft. Daarbij wordt ervoor gewaarschuwd, dat deze schets niet representatief hoeft te zijn voor de mondiale situatie.

### §3. Plaats van Nederland in het mondiale gasontladingsonderzoek, 1920 - 1940.

Alvorens wordt ingegaan op het onderzoek binnen de aan het eind van de vorige paragraaf genoemde laboratoria, volgt eerst een indruk van de positie van het Nederlandse gasontladingsonderzoek in het mondiale gasontladingsonderzoek in de periode 1920 - 1940. Dit geschiedt op kwantitatieve wijze met behulp van het bronnenmateriaal dat ook in de vorige paragraaf is gebruikt. Tabel 5.2 geeft een overzicht van het aantal gasontladingspublicaties verdeeld naar land in de eerder genoemde vijf jaren. Tabel 5.2 laat zien, dat Nederland in de jaren tot de Tweede Wereldoorlog een belangrijke rol speelde in de internationale ontwikkelingen in de gasontladingsfysika. Gemeeten naar aantal publicaties tussen 1920 en 1940 nam Nederland een vierde plaats in achter de Verenigde Staten, Duitsland en Groot Brittannië. Italië volgde op ruime afstand als vijfde.

Op basis van de voor tabel 5.2 gebruikte gegevens was de verdeling over de verschillende institutionele konteksten in Nederland naar schatting als volgt: 130 artikelen van Philips, 50 van de universiteiten en 15 van de Technische Hoogeschool Delft.[9] De bijdragen uit het bedrijfsleven kwamen alleen van Philips, zodat in Neder-



land	1920	1925	1930	1935	1940	totaal <sup>1)</sup> 1920-1940
Ver. St.	30(1)	77(1)	33(1)	61(1)	53(1)	1105(1)
Duitsland	18(2)	47(2)	27(2)	48(2)	51(2)	820(2)
Gr. Br.	15(3)	25(3)	14(3)	21(4)	13(4)	385(3)
Nederland	1(6)	7(7)	5(4)	23(3)	4(5)	190(4)
Italië	0	8(6)	3(6)	8(5)	1(8)	100(5)
Frankrijk	1(6)	12(4)	1(10)	3(8)	0	85(6)
Zwitserland	2(5)	11(5)	3(6)	1(10)	2(7)	85(7)
Sovjet Unie	0	1(9)	3(6)	3(8)	15(3)	80(8)
Oostenrijk	10(4)	2(8)	2(9)	4(7)	0	70(9)
Japan	0	1(9)	4(5)	5(6)	4(5)	60(10)
overige	2	10	2	16	6	165
onbekend	40	29	9	27	11	480
totaal	119	230	106	221	160	3625

1) geschat via interpolatie van aantallen uit de vorige kolommen.

Tabel 5.2 Aantal gasontladingspublicaties in de wetenschappelijke literatuur per land, 1920 - 1940 (tussen haakjes rangorde van het land in de betreffende kolom).

land één enkel bedrijf de wetenschappelijke ontwikkelingen op het gebied van de gasontladingsfysika domineerde. Dit was een unieke situatie, want dit gold nergens anders ter wereld voor het bedrijfsleven. [10]

In het navolgende gaan we achtereenvolgens nader in op het gasontladingsonderzoek van de Rijksuniversiteit Utrecht, het Natuurkundig Laboratorium van Philips en de Technische Hoogeschool Delft tot 1940. Centraal daarbij staat de vraag of dit onderzoek in een op toepassingen gerichte kontekst (Natuurkundig Laboratorium) andere doelstellingen had dan in de beide instituten voor hoger onderwijs.

#### §4. Gasontladingsonderzoek aan de Rijksuniversiteit Utrecht, 1920 - 1940.

Het gasontladingsonderzoek aan de Rijksuniversiteit Utrecht was gelokaliseerd in het Fysisch Laboratorium, dat onder leiding stond van L. S. Ornstein, die in hoge mate de richting van het onderzoek

bepaalde. Geboren in Nijmegen in 1880 werd hij van 1898 tot 1908 geschoold in de theoretische natuurkunde door Lorentz, bij wie hij later ook promoveerde. Na een kort assistentschap bij Lorentz werd hij in 1909 lector in de mathematische fysika te Groningen. Zijn interesse bleef daar vooralsnog vooral theoretisch van aard. In 1914 volgde hij P. J. W. Debye op als hoogleraar in de theoretische natuurkunde in Utrecht. Hij kwam daar in contact met W. H. Julius, directeur van het natuurkundig instituut te Utrecht, en met W. J. H. Moll. Zowel Julius als Moll waren kundige experimentatoren, die Ornsteins interesse voor de experimentele natuurkunde stimuleerden.[11] In 1926 terugblikkend op de periode rond 1918 vertelde Ornstein, dat het reeds aanwezige instrumentarium van Julius hem de doorslag had gegeven bij de keuze van het vakgebied, waarin hij aan zijn groeiende experimentele belangstelling tegemoet kon komen: "Toen ik een 8-tal jaren geleden voor het vraagstuk stond, in welke richting ik experimenteel werk zou gaan verrichten, had ik in het instrumentarium als gegeven de mogelijkheid quantitative meting van lichtintensiteit te ontwikkelen. Het kwam mij toen belangrijk voor om deze mogelijkheden tot hun volle ontplooiing te brengen, omdat er tal van problemen waren, die door zulke meting verder gebracht of opgelost konden worden. In de eerste plaats achtte ik absorptiemeting van belang, in de tweede plaats kwam het mij voor, dat belangrijke gegevens omtrent den aard van het atoom verkregen zouden kunnen worden door de relatieve intensiteit der geëmitteerde spectraallijnen te onderzoeken".[12] De primaire interesse van Ornstein lag dus in de atoomfysika.

Julius leidde een uitgebreid programma in de heliofysika en zijn instrumenten waren derhalve toegesneden op het verrichten van spectraalmetingen. Rond 1920 - de tijd waarin de klassieke mechanica op haar grondvesten trilde door de kwantumtheorie van Bohr, Sommerfeld en anderen - greep Ornstein de daardoor geboden mogelijkheden aan om experimenteel de nieuwe atoommodellen te toetsen. Zijn theoretische en experimentele onderzoek kwam daarmee vooral in dienst van de atoomfysika. De uitdaging lag voor hem niet zozeer in het onderzoeken van de regelmatigheden in de golflengten van opeenvolgende spectraallijnen van een atoom - het destijds meest bestudeerde thema - ,

maar van de intensiteiten van uitgezonden spektraallijnen.[13] Dit laatste thema was veel complexer dan het eerste en werd ook pas rond die tijd door Bohr zelf nader bestudeerd (zie hoofdstuk IV, §3).

Was het Julius gelukt spektraallijnen in meer kwalitatieve zin te bestuderen, Ornstein daarentegen wenste nadrukkelijk kwantitatieve metingen te verrichten om aldus zo nauwkeurig mogelijk overgangswaarschijnlijkheden te kunnen bepalen. Mol ontwierp voor hem een mikrofotometer, waarmee hij de gewenste metingen kon verrichten.[14] F. Zernike, met wie Ornstein in zijn Groningse tijd veelvuldig had samengewerkt, gaf later weer hoe Ornstein met zijn metingen al vrij snel internationale faam verwierf: "Reeds in hun eerste nog minder volkomen vorm leverden de fotografische methoden van intensiteitsmeting zoo belangrijke resultaten, dat na enkele jaren het Utrechtsche laboratorium daardoor over de hele wereld bekend werd".[15] Zernike herinnerde zich ook, dat Sommerfeld op de Physikertag van 1923 te Bonn Ornstein en zijn leerlingen aanmoedigde op de ingeslagen weg voort te gaan vanwege het grote belang voor de atoomfysika.[16] Ornstein had daar oor naar en ontwikkelde verschillende methoden om intensiteiten te meten, waarvan de fotografische tot 1940 de meest gangbare bleef.[17]

Na Julius' overlijden in 1925 werd Ornstein hoogleraar-direkteur van het Fysisch Laboratorium in Utrecht, nadat hij deze taak reeds vijf jaren vanwege ziekte van Julius 'tijdelijk' had waargenomen. Hij volgde hem eveneens op in zijn functie als hoogleraar in de experimentele natuurkunde, waarmee de verschuiving in zijn aandacht van theorie naar experiment formeel werd onderstreept.

Korte tijd nadien vond bij Ornstein het eerste onderzoek naar verschijnselen in gasontladingsbuizen plaats door J. Taylor en W. Clarkson. Laatstgenoemde werkte enkele jaren als International Education Board Fellow bij Ornstein en publiceerde in 1927 en 1928 enkele artikelen over dit thema. Taylor werkte in Utrecht enkele jaren net als Clarkson als International Education Board Fellow, maar bovendien als Earl Grey Memorial Fellow. Hij promoveerde in 1927 bij Ornstein op een proefschrift getiteld: "On the sparking potentials of electric discharge tubes".[18] Het is opvallend dat het werk van deze twee buitenlandse onderzoekers, dat het meest di-

rekt aan gasontladingsbuizen zelf was gekoppeld, extern werd gefinancierd. Hun Nederlandse kollega's in Utrecht gebruikten tot ongeveer 1930 nog geen gasontladingsbuizen, maar maakten tot die tijd vrijwel alleen gebruik van vlammen als middel om gassen of dampen licht te laten uitzenden en metingen aan de spektra te verrichten. Na 1930 werden ook boogontladingen voor dat doel door Ornstein en zijn medewerkers gebruikt.[19]

Boogontladingen vormen naast vlammen en ovens één van de methoden om gassen zodanig te verhitten, dat de aanslag en dus de straling voornamelijk wordt bepaald door temperatuureffekten. Ornstein en zijn medewerkers toonden in de jaren 1930 en 1931 via verschillende onderzoeken aan, dat in boogontladingen de formule van Boltzmann mag worden gebruikt om de bezetting van de verschillende niveaus door elektronen in de atomen als functie van de temperatuur te berekenen.[20] De verdelingsfunctie van Boltzmann heeft in zijn meest eenvoudige vorm de volgende gedaante (vergelijk formule 4.5):

$$\frac{N_x}{N_y} = \exp\left(\frac{E_y - E_x}{kT}\right) \quad (5.1)$$

met:  $N_x, N_y$  - de bezetting van twee enkelvoudige niveaus  $x$  en  $y$  in dezelfde soort atomen;  
 $E_x, E_y$  - bij niveau  $x$  en  $y$  horende energieën;  
 $k$  - konstante van Boltzmann =  $1,38 \cdot 10^{-23}$  J/K;  
 $T$  - absolute temperatuur van het gas.

Voorwaarde voor de geldigheid van deze formule is, dat lokaal, dat wil zeggen in elk klein volume-elementje, thermisch evenwicht heerst tussen de elektronen- en atoomtemperatuur.

In een boogontlading die met konstante gelijkstroom wordt gevoed, geldt voor de fotonenstroom  $F_{x0}$ , korresponderend met kwantsprongen tussen niveau  $x$  en de grondtoestand:

$$F_{x0} = A_{x0} \cdot N_x \quad (5.2)$$

met:  $A_{x0}$  = overgangswaarschijnlijkheid voor de betreffende kwantsprong.

Voor de verhouding tussen de intensiteiten van twee spektraallijnen, die ontstaan door kwantumsprongen van respectievelijk niveau x en y naar de grondtoestand geldt dus:

$$\frac{F_{x0}}{F_{y0}} = \frac{A_{x0}}{A_{y0}} \cdot \exp\left(\frac{E_y - E_x}{kT}\right) \quad (5.3)$$

Rond 1930 waren de waarden van  $k$ ,  $E_x$  en  $E_y$  nauwkeurig genoeg bekend, zodat men, mits de temperatuur  $T$  bekend was, met deze formule de verhouding tussen de overgangswaarschijnlijkheden  $A_{x0}/A_{y0}$  kon bepalen door de verhouding tussen de intensiteiten van de spektraallijnen  $F_{x0}/F_{y0}$  te meten. Andersom kon men, indien  $A_{x0}/A_{y0}$  bekend was, de temperatuur in de damp bepalen door  $F_{x0}/F_{y0}$  te meten. Ornstein en zijn leerlingen maten op deze wijze veel hogere temperaturen dan zij verwachtten op grond van een vroegere theorie van K. T. Compton aangaande elektrische boogontladingen.[21] Zo volgde uit onderzoeken in de jaren 1931 en 1932 voor de temperatuur in een koperboog 7000 K en voor die in een hogedrukkwiklamp 3800 K.[22] In de boog van een zoeklicht vonden zij zelfs een temperatuur van 12.000 K.[23]

De Utrechtse onderzoekers toonden verder aan, dat indien de verdelingsfunctie van Boltzmann geldig is, tevens - vanwege de daarbij horende eis van lokaal thermisch evenwicht - de formule van Saha ter bepaling van de ionisatiegraad mag worden toegepast. De eerste publikaties daarover verschenen in 1931 en 1932 van de hand van Ornstein, H. Brinkman en A. Beunes.[24]

Tekenend voor het reeds in hoofdstuk IV vastgestelde gegeven, dat atoomfysika en gasontladingsfysika vaak naadloos in elkaar kunnen overgaan is het feit, dat verschillende onderzoeken in Utrecht zich expliciet richtten op de structuur en het gedrag van de boogontladingen zelf. Zo werden in de periode 1930 - 1940 de veldsterkte, het materiaaltransport in de ontlading, de invloed van de stroomsterkte, van de druk en van de gassamenstelling aan nader onderzoek onderworpen.[25] Het boogontladingsonderzoek diende aldus een tweeledig doel: de bepaling van overgangswaarschijnlijkheden in atomen (de primaire doelstelling) en het verrichten van metingen aan

verschijnselen in de boogontlading zelf.

Naast boogontladingen werden sinds 1930 in het laboratorium van Ornstein ook ontladingen in gassen van zeer lage druk als meetmethode gebruikt. Indien de elektronenbundel mono-energetisch is en het gas zo ijl, dat een elektron in de bundel gemiddeld slechts hooguit één maal met een gasatoom botst, kunnen via deze weg excitatie- en ionisatiefuncties worden bepaald. Elenbaas, destijds assistent bij Ornstein, verrichtte deze metingen in 1929 in Utrecht als eerste. zijn proeven lagen in het verlengde van de eerder beschreven proeven van Franck en Hertz uit omstreeks 1913 (hoofdstuk IV, §3). Elenbaas promoveerde in 1930 op dit onderzoek met een proefschrift: "Intensiteitsmetingen in het heliumspektrum".[26] Interessant is dat juist Elenbaas later bij Philips de isotherme plasmatheorie ontwikkelde in een onderzoek, dat nauw verwant was met het boogontladingsonderzoek van zijn Utrechtse kollega's en niet met zijn eigen promotieonderzoek bij Ornstein. Ook hier lagen, net als bij het boogontladingsonderzoek, atoomfysika en gasontladingsfysika weer dicht bij elkaar. Onder leiding van Ornstein vonden in de jaren dertig enkele onderzoeken in de laatst genoemde richting plaats. Expliciete vermelding verdient hier een onderzoek van J. A. Smit aangaande de snelheidsverdeling van elektronen in een lagedrukgasontlading in het algemeen (dus geen mono-energetische bundel en geen zeer ijl gas).[27] Smit borduurde hiermee voort op eerder onderzoek van Druyvesteyn bij Philips en gaf daarmee steun aan de ontwikkeling van het nieuwe concept van 'elektronensnelheidsverdeling', waarmee, zoals gezegd, vooral Allis en zijn leerlingen school maakten.

Aan het begin van de Tweede Wereldoorlog vond het Utrechtse onderzoek in boogontladingen en lagedrukgasontladingen een afronding. Hoewel het niet geheel werd stilgelegd verschoof de aandacht van de fysici naar het nieuwe, opkomende vakgebied van de kernfysika.[28] De voortgang van het onderzoek werd vanaf 1940 ernstig gehinderd door de Duitse bezetter: Ornstein werd vanwege zijn Joodse afkomst als hoogleraar ontslagen en de toegang tot het Fysisch Laboratorium ontzegd. Kort nadien, op 20 mei 1941, stierf hij op zestigjarige leeftijd in Utrecht.

Samenvattend kunnen we zeggen, dat het Utrechtse gasontladings-

onderzoek tot 1940 min of meer één geheel vormde, dat vooral tot doel had meer experimentele gegevens te verschaffen over overgangswaarschijnlijkheden, alsmede over excitatie- en ionisatiefuncties. Het in Utrecht verrichte gasontladingsonderzoek vormde dus vooral een onderzoeksmethode om meer over de atoombouw te weten te komen. Incidenteel vond er onderzoek plaats naar verschijnselen in gasontladingen zelf, maar daar lag niet de hoogste prioriteit.

#### §5. Gasontladingsonderzoek bij Philips, 1915 - 1940.

Gedurende de gehele hier beschouwde periode berustte de leiding van het Natuurkundig Laboratorium van Philips in handen van Gilles Holst. Hij werd geboren op 20 maart 1886 in Haarlem, alwaar hij ook de HBS-opleiding volgde. Daarna studeerde hij wiskunde en natuurkunde aan de Technische Hogeschool Zürich én aan de Leidse universiteit bij H. Kamerlingh Onnes. Tussen 1909 en 1914 was hij achtereenvolgens een jaar assistent in Zürich en vier jaar assistent bij Kamerlingh Onnes, bij wiens onderzoek naar extreem lage temperaturen hij sterk was betrokken. In 1914 promoveerde hij tot doktor in de natuurwetenschappen te Zürich. Zijn opleiding had hem dus zowel een theoretische als experimentele basis gegeven (was immers Kamerlingh Onnes' lijfspreuk niet: "Door meten tot weten"?[29]). Holst paste uitstekend in het profiel van de experimentele fysicus die de firma Philips in 1913 zocht.[30] Van Philips kreeg hij de opdracht een natuurkundig laboratorium in te richten, dat tot het begin van de jaren twintig van bescheiden omvang bleef. Zo werkten er in 1920 zes academici in het Natuurkundig Laboratorium.[31]

Na de verhuizing van het Natuurkundig Laboratorium in 1923 groeide de wetenschappelijke staf snel: van 9 wetenschappers in 1922 via 23 in 1925 en 48 in 1930 naar 83 in 1935.[32] Onder hen bevonden zich verschillende fysici die in het gasontladingsonderzoek werden geplaatst. Achtereenvolgens waren dat: W. de Groot (1923), H. B. Dorgelo, F. M. Penning, G. Zecher (allen in 1924), W. Uyterhoeven (1926), A. van Wijk (1927), M. J. Druyvesteyn (1927), W. Elenbaas (1930) en A. A. Kruithof (1934). Vijf van hen (Dorgelo, Van Wijk, Druyvesteyn, Elenbaas en Kruithof) waren leerlingen van Ornstein. De

Groot was gepromoveerd bij Zeeman te Amsterdam, terwijl Penning net als Holst en Oosterhuis uit de experimentele school van Kamerlingh Onnes kwam. Uyterhoeven kwam uit België en Zecher uit Duitsland.

Bij de beschrijving van het onderzoek in het Fysisch laboratorium te Utrecht kwam duidelijk naar voren, dat daar sprake was van een programma waarin de nadruk lag op thema's uit de atoomfysika. Bestudering van het gasontladingsonderzoek in het Natuurkundig Laboratorium van Philips in de periode vóór 1940 laat zien, dat de inhoudelijke samenhang in Eindhoven veel losser was dan in Utrecht. Op het eerste gezicht werden de meest uiteenlopende thema's aan de orde gesteld. We kunnen aannemen dat Holst, als leider van het Natuurkundig Laboratorium, voor zover nodig de samenhang verzorgde, daarbij geleid door bedrijfsbelangen. Over de factoren die daarbij van invloed waren, is niet veel bekend. Holst zelf vertelde later, dat het Natuurkundig Laboratorium veel vrijheid kreeg van de bedrijfsleiding om zelf gekozen onderwerpen in een academische sfeer te onderzoeken.[33] Ongetwijfeld had deze mededeling een propagandistische ondertoon - vrije wetenschap in dienst van technische 'voortgang' lag goed in de markt. Nog in leven zijnde onderzoekers uit die tijd benadrukken echter eveneens, dat zij destijds een groot gevoel van vrijheid hadden.[34]

Volgens Holst werd het gasontladingsonderzoek vanaf het begin breed opgezet. De enige regel die daarbij gold was: "Probeer een inzicht te krijgen over de wetten op dat gebied. Vraag U voortdurend af of de verkregen resultaten bruikbaar zijn en tot octrooieerbare producten of werkwijzen kunnen leiden." [35] Het vervaardigen van een lamp met een hoger rendement was weliswaar een verklaarde doelstelling van het gasontladingsonderzoek (we komen daarop nog terug), maar dat leidde niet tot een strak geleid onderzoeksprogramma.[36] Holst zorgde hooguit voor het algemene thema waaraan een onderzoeker moest werken, maar de inhoudelijke uitwerking liet hij aan de onderzoeker over. De structuur van de navolgende beschrijving van het gasontladingsonderzoek van het Natuurkundig Laboratorium van Philips wordt daarom gegeven door de onderzoeken van de verschillende individuele onderzoekers.

Het verrichten van gasontladingsonderzoek was niet de eerste



taak, die Holst bij Philips kreeg.[37] Hij was evenmin diegene die het als eerste bij Philips verrichtte. L. Hamburger, scheikundig ingenieur en vanaf 1912 werkzaam in het chemisch laboratorium van Philips, startte het onderzoek naar gasontladingsverschijnselen rond 1915. De direkte aanleiding daartoe was de wens om meer inzicht te krijgen in het 'klossen', een hoogfrequent elektrische ontlading onder hoge spanning, die bij de fabricage van gloeilampen als controlemiddel werd gebruikt. Bij vakuümlampen kan langs deze weg de aanwezigheid van restgassen worden vastgesteld: wekt de ontlading een lichtverschijnsel op dan is het vakuüm onvoldoende. Bij gasgevulde gloeilampen - toen enkele jaren op de markt als 'half-Watt' lampen - kunnen hiermee via visuele analyse van het uitgezonden spektrum verontreinigingen in het gas worden waargenomen. Via deze hoogfrequent ontladingen was Hamburger in staat verontreinigingen in gasgevulde gloeilampen aan te tonen in verhoudingen van 1:30.000. Interessant is dat hij zijn onderzoek plaatste in het kader van het streven naar een ideale lichtbron, die - als een glimworm - alle energie uitzendt in het gebied van de zichtbare straling. Uitgedrukt in beoordelingscriteria en normen, wenste hij een lamp met een rendement van 100 % en een kleur gelijk aan die van zonlicht ('wit'). Bekend was dat het rendement van gasontladingslampen dat van gloeilampen ver moest kunnen overtreffen, maar over de kleur van het door samengestelde gassen uitgezonden licht was aanzienlijk minder bekend. Met zijn onderzoek poogde Hamburger meer systematiek te brengen in de kennis over dit laatstgenoemde thema. Op zijn onderzoek, waarbij Holst hem assisteerde, promoveerde Hamburger in 1917 aan de Technische Hoogeschool Delft.[38]

Het punt van rendementsverhoging vormde voor Holst en zijn collega Oosterhuis, een fysikus die eveneens in 1914 van Kamerlingh Onnes naar Philips was gekomen, de basis om in 1917 ook in het Natuurkundig Laboratorium met gasontladingsonderzoek te starten. In een aantekeningenboekje over laboratoriumbesprekingen tussen 15 januari en 24 juli 1917 valt te lezen, wat zij zich voor de toekomst ten doel stelden.[39] Ten eerste wilden zij nieuwe metingen verrichten aan de vakuümgloeilampen en de gasgevulde gloeilampen. Ten tweede wilden zij aan nieuwe lampen gaan werken, geïnspireerd door de

volgende gedachte: "bereikbaar is 66 kaarsen per Watt voor groen licht, of 12 kaarsen per Watt voor wit licht".[40] (ter vergelijking: de om zijn hoge rendement geprezen 'half-Watt' lamp verbruikte 'slechts' 0,5 Watt per kaars, ofwel leverde 2 kaars per Watt op). Zij legden in januari 1917 vier opties op tafel voor rendementshoging:

1. via hogere temperatuur in een booglamp onder hoge druk (20 atm, 7000 K, 0,15 W/kaars.[41]);
2. vlambogen of boogontladingen in dampen, die een lijnenspektrum uitzenden, bijvoorbeeld te verwezenlijken met een kwiklamp die weliswaar vrij veel energie verloor via ultraviolette straling, maar toch 0,16 W/kaars kon bereiken [42];
3. via het elektrisch laten gloeien van de Auermassa - deze werd veelvuldig in gasgloeikousjes voor gasverlichting gebruikt en gaf bij benadering wit licht bij een betrekkelijk lage temperatuur - of van andere selectieve stralers;
4. door 'fosforescentie' met behulp van kathodestrallen, bijvoorbeeld in het materiaal 'Willemit'.

Zonder dat de redenen expliciet werden genoemd, werd gekozen voor de tweede optie. R. K. Kloppers, een assistent, kreeg opdracht de proef van Franck en Hertz met betrekking tot de eerste aanslagspanning van kwik te herhalen.[43] Holst zelf startte in die tijd een studie naar gasontladingen door literatuur van Gehrke en Seeliger te lezen. Interessant is dat hij zijn notities daarover de titel "begin van het onderzoek betr[effende] lichtemissie van gassen" meegaf, daarmee illustrerend dat hij dacht in termen van nieuwe lampen. [44]

Naast de wens tot ontwikkeling van nieuwe lichtbronnen droeg ook het eerstgenoemde onderzoeksdoel - het verkrijgen van inzicht in verschijnselen die bij de fabricage van gloeilampen optreden - bij aan het totstandkomen van gasontladingsonderzoek in het Natuurkundig Laboratorium. Net als Hamburger waren Holst en zijn kollega's geïnteresseerd in het 'klossen'. Bovendien wensten zij meer inzicht te krijgen in de doorslag van gassen, omdat dit verschijnsel soms optrad in gasgevulde gloeilampen, zowel bij lampen die intact waren als bij lampen waarvan de gloeidraad was gebroken.[45] Samengevat: het gasontladingsonderzoek in het Natuurkundig Laboratorium van

Philips werd dus gestart, omdat werd verwacht dat met gasontladingslampen de met ander lampen haalbare norm van het beoordelingskriterium 'rendement' kon worden overtroffen, omdat de gasgevulde gloeilampen niet in elk opzicht voldeden én omdat het 'klossen' bij de produktie van gloeilampen bij Philips in het algemeen om nader onderzoek vroeg. De doelstellingen van het onderzoeksprogramma 'gasontladingen' werden dus in eerste instantie ontleend aan de technische kontekst waarin het Natuurkundig Laboratorium zich bevond, namelijk de produktie van lichtbronnen.

Holst poogde in 1920 degelijke versterking te krijgen. Het verhaal gaat dat hij Franck probeerde aan te trekken, maar dat deze voor de eer bedankte. Zijn kollega Hertz bleek echter een goed alternatief. Philips haalde hem, volgens Hertz zelf, in 1920 naar het Natuurkundig Laboratorium voor het destijds exorbitant hoge bedrag van *f* 15.000,- per jaar (gemiddeld verdiende een jonge akademikus toen ongeveer *f* 2000,- per jaar, terwijl Hertz voorheen in Duitsland als assistent *f* 600,- per jaar had ontvangen).[46] Hertz werd aangesteld vanwege zijn gedegen specialistische kennis op een vakgebied, waarvan Philips hoopte de vruchten nog rijkelijk te kunnen plukken.

Ter verdere ondersteuning van de fysische kennis van de medewerkers van het Natuurkundig Laboratorium werd in datzelfde jaar P. Ehrenfest, hoogleraar te Leiden in de theoretische fysika en een begaafd docent, bereid gevonden betaald adviseur te worden.[47] Ehrenfest hield als eerste, op 12 november 1920, een colloquium in het Natuurkundig Laboratorium. In twee en een half jaar tijd volgden er nog 28 colloquia van hem. Nadien verzorgden vooraanstaande fysici als Franck (1923), Einstein (1923), Sommerfeld (1924), Debije (1924), Born (1924) en Pauli (1926) soortgelijke colloquia, die alle door Hertz werden georganiseerd.[48] Holst was er dus veel aan gelegen in nauw contact te blijven met de laatste ontwikkelingen in de theoretische natuurkunde. Hoewel geen expliciet vermelde doelstelling, kunnen deze colloquia ook ten doel hebben gehad bij te dragen aan het vestigen van een 'wetenschappelijke' status van het Natuurkundig Laboratorium. Contact met kollega-fysici achtte Holst een belangrijke zaak, getuige bijvoorbeeld het feit, dat hij de eerste voorzitter was van de in 1921 op initiatief van Ornstein opgerichte

Nederlandsch Natuurkundige Vereeniging. Bovendien behoorden Oosterhuis en B. van der Pol, die eveneens in het Natuurkundig Laboratorium van Philips werkte, tot de eerste redakteuren van het door deze vereniging uitgegeven tijdschrift Physica. Deze inspanningen bleven niet zonder resultaat. Antwoordend op de vraag waarom fysici in de jaren twintig naar het Natuurkundig Laboratorium van Philips gingen, gaf Druyvesteyn, die in 1927 bij Philips in dienst trad, de reputatie daarvan als volgt weer: "Nou het was in onze opvatting de enige plaats waar je wetenschappelijk kon werken buiten de universiteiten". Van het laboratorium van BPM te Amsterdam zei hij ter vergelijking: dat "ontstond net en was in onze ogen ook nauwelijks fysisch-wetenschappelijk, veel meer technologisch en methodisch ingesteld".[49]

Hertz zette bij Philips zijn botsingsproeven in gassen onder lage druk voort. Zijn belangrijkste metingen waren gericht op het vinden van meer bewijzen voor de juistheid van het atoommodel van Bohr. Tussen 1920 en 1925 verschenen vele artikelen van zijn hand over de aanslag- en ionisatiespanningen van verschillende gassen. Met behulp van een experiment waarin hij atomen beschoot met elektronen van verschillende, scherp bepaalde kinetische energieën toonde hij onomstotelijk aan, dat alleen dié spektraallijnen worden geëmitteerd, waarvan de niveau-overgang korrespondeert met een van de aanwezige elektronenenergieën.[50] Daarmee gaf hij het definitieve bewijs voor het verband tussen de stationaire elektronenbanen van Bohr en het ontstaan van spektra. Kort na zijn vertrek bij Philips werd hem tezamen met Franck de Nobelprijs voor de natuurkunde toegekend (1925).

Tot 1923, toen een nieuw gebouw voor het Natuurkundig Laboratorium gereed kwam, werkten Holst en Oosterhuis samen in het gasontladingsonderzoek. Hun werkterrein betrof vooral de doorslag in gassen onder lage druk tussen twee vlakke, parallelle onverhitte metalen platen, alsmede de overgang van de onzelfstandige naar de zelfstandige ontlading. Een van hun belangrijkste ontdekkingen was, dat de produktie van elektronen in een glimontlading vooral te danken is aan het ionenbombardement op de kathode en niet, zoals Townsend meende, aan de ionisatie van gasatomen door botsingen met ionen.[51]

Aan hun namen is een speciale ontladingsvorm verbonden: de 'Holst-Oosterhuis-ontlading'. Dat is in feite een Townsend-ontlading bij zeer kleine stroomsterkte ( $10^{-7}$  A). [52] In deze ontlading zijn fraaie equidistante lichte en donkere laagjes - de 'Holst-Oosterhuis-laagjes' - te zien. De afstand tussen twee opeenvolgende lichtgevende laagjes is precies gelijk aan de afstand die de elektronen nodig hebben om één maal de eerste aanslagenergie van het betreffende gas te verkrijgen. In elk van de lichtgevende laagjes verliest de elektronenzwerm steeds opnieuw zijn kinetische energie ten gevolge van aanslag en zendt het gas de resonantielijn uit, dat wil zeggen de spektraallijn behorend bij de eerste aanslagspanning vanuit de grondtoestand.

De Groot, die drie jaar na Hertz bij Philips in dienst trad, startte zijn onderzoek bij Philips met fotometrisch onderzoek aan wolframbooglampjes, maar zijn belangstelling verschoof al snel naar de relatieve intensiteit van spektraallijnen en alle informatie die daaruit kan worden afgeleid. Later deed hij uitgebreid onderzoek naar de mogelijkheid om via absorptie de concentraties van geïoniseerde en geëxciteerde atomen in een gas te bepalen. In het algemeen was hij nauwelijks betrokken bij toepassingen van gasontladingen.

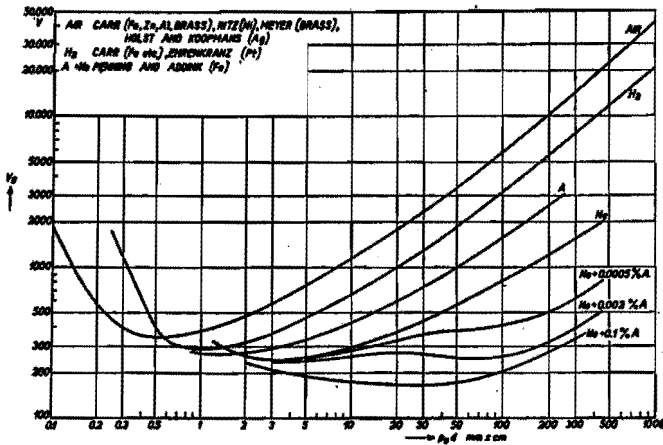
Dorgelo zette in het Natuurkundig Laboratorium zijn eerdere onderzoek uit Utrecht bij Ornstein voort en werkte onder andere met De Groot samen tijdens zijn metingen aan intensiteiten van spektraallijnen. In 1925 begon Dorgelo een studie naar metastabiele atomen. Hij slaagde erin om de levensduur van metastabiele neonatomen te meten. Deze bleek relatief zeer lang (grootteorde  $10^{-3}$  s) ten opzichte van de levensduur van normale aangeslagen atomen ( $10^{-8}$  à  $10^{-7}$  s). Zijn verblijf bij Philips duurde slechts kort: in 1927 vertrok hij naar de Technische Hoogeschool Delft om daar als hoogleraar in de natuurkunde mee te helpen aan de oprichting van de nieuwe opleiding voor Technische Natuurkunde en de inrichting van een fysisch laboratorium.

Penning was een van de belangrijkste gasontladingsonderzoekers van het Natuurkundig Laboratorium. In een nekrologie in 1954 schetste De Groot hem als een "metend" fysikus, die met grote taaigheid tot eenzelfde thema kon terugkeren, als metingen hem niet bevielen

of uitbreidingen mogelijk leken.[53] Enkele onderzoeken van hem zijn de moeite van het vermelden waard. Ten eerste toonde hij aan, dat elektronen in een lagedrukkwikontlading onder gelijkspanning abnormaal hoge snelheden kunnen bereiken ten gevolge van zeer hoogfrequente oscillaties ( $> 300$  MHz) in het gas (1926).[54] I. Langmuir, toen reeds gezien als autoriteit, had kort tevoren als eerste deze hoge snelheden in het laboratorium van General Electric waargenomen, zonder daarvoor een verklaring te kunnen geven. Volgens De Groot kwam Langmuir toevallig juist in die tijd op bezoek in het Natuurkundig Laboratorium, waar hij aanvankelijk weigerde de verklaring van Penning te aksepteren. Pas nadat hij met Pennings meetopstelling diens proeven had herhaald, raakte hij van diens gelijk overtuigd.[55]

Een tweede belangrijk onderzoek van Penning had betrekking op metingen van Paschen-kurven in gassen met geringe concentraties verontreinigingen. Penning ontdekte dat de Paschen-kurve in neon alleen dan consistent kan worden gemeten, als het gas uitzonderlijk zuiver is. Indien spoortjes verontreiniging van bijvoorbeeld argon worden toegevoegd, daalt het minimum van de kurve aanzienlijk. Bovendien kan in zo'n geval een tweede minimum optreden. Figuur 5.3 geeft beide effecten duidelijk weer bij verontreiniging met zeer geringe concentraties argon. Penning zocht de verklaring hiervoor in de aanwezigheid van metastabiele neonatomen. Gebruikmakend van de resultaten van het onderzoek van Dorgelo veronderstelde hij, dat als de elektronenenergieën lager zijn dan nodig is voor ionisatie van neonatomen een aanzienlijk aantal metastabiele neonatomen kan bestaan. Deze hebben een lange levensduur, zodat de kans op botsingen hiervan met argonatomen - botsingen van de tweede soort - relatief groot is. De inwendige energie van een metastabiel neonatoom is groter dan de ionisatie-energie van een argonatoom, zodat bij zo'n botsing ionisatie van argonatomen kan optreden. Daardoor ontstaat een toeneming van de elektrische stroom bij een lagere spanning dan de doorslagspanning van neon. Penning toetste zijn argumentatie door het gas te bestralen met licht van zodanige golflengte, dat de metastabiele neonatomen de fotonenenergie gemakkelijk konden absorberen en dus grotendeels verdwenen. Als zijn theorie korrekt was, moest de doorslag-

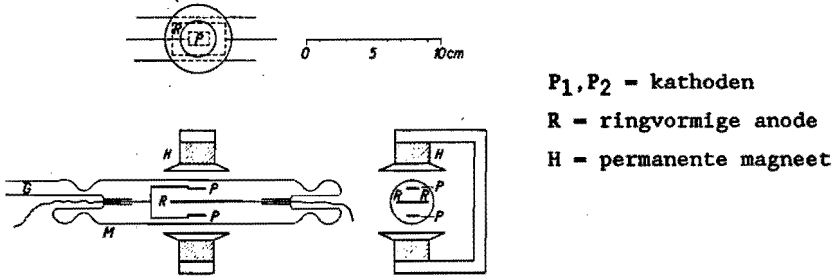
spanning in dat geval weer toenemen. Penning nam dit laatste inderdaad waar, waarmee hij zijn theorie zag bevestigd. Gassen die dit effect - het 'Penning-effekt' - vertonen, worden in de literatuur vaak 'Penning-gas' genoemd.[56] Sterker dan voorheen aangenomen was, maakten Pennings metingen de fysische gemeenschap duidelijk, hoe afhankelijk de reproduceerbaarheid van metingen kan zijn van de zuiverheid van het gas.[57]



Figuur 5.3 Paschen-kurven in enkele gassen, waaronder 'Penning-gassen' [Druyvesteyn en Penning (1940), fig. 23].

Een derde en laatste onderzoek van Penning, dat uitvoeriger aandacht krijgt vanwege de directe technische relevantie, betrof de invloed van een magnetisch veld op gasontladingen. Magnetische velden oefenen een kracht uit op een ontleding als geheel, omdat deze is op te vatten als een 'stroomdraad'. Door deze velden wordt een Lorentzkracht op de individuele elektronen uitgeoefend, die vooral merkbaar is bij lage druk, omdat de vrije weglengte van de elektronen dan relatief groot is. Penning ontdekte dat dit effect bij geschikt gekozen dimensies van de elektroden met voordeel kon worden gebruikt bij de konstruktie van een manometer. Hij ontwierp een manometer met twee vlakke kathoden en een ringvormige anode, die in een homogeen magnetisch veld zijn geplaatst (figuur 5.4). Bij afwezigheid van het

magnetische veld zouden de bij de kathoden vrijkomende elektronen zich via gekromde banen naar de anode begeven. Door het magnetische veld leggen ze echter spiraalvormige banen om de magnetische veld-



Figuur 5.4 'Penning-manometer' [Penning (1937), fig. 12].

lijnen af en kunnen ze het vlak dat de anode omsluit passeren zonder direkt te worden weggevangen. De tegenoverliggende kathode stoot hen echter af, zodat hun baan zich toch weer omkeert naar de anode. Als het gas ijl genoeg is en de vrije weglengte van de elektronen dus lang genoeg is, kan dit proces zich enkele malen herhalen. Daardoor kan een zelfstandige ontlading tot veel lagere drukken blijven bestaan dan zonder de aanwezigheid van een magnetisch veld het geval zou zijn. Normaal dooft een ontlading bij drukken onder ongeveer  $1 \cdot 10^{-3}$  mm kwikdruk - de grenswaarde van vakuüm die men met 'klossen' kan aantonen -, maar op deze wijze blijft een zelfstandige ontlading bestaan tot  $\pm 1 \cdot 10^{-5}$  mm kwikdruk. Bovendien blijkt een betrouwbaar verband te bestaan tussen de gasdruk en de ontladingsstroom, zodat via een ampère-meter de druk eenvoudig kan worden 'afgelezen'. Het apparaat werd bekend als 'Penning-manometer' en was vooral geschikt voor het meten van drukken tussen  $10^{-5}$  en  $10^{-3}$  mm kwikdruk. Het scoorde vooral hoog met betrekking tot het beoordelingskriterium 'gebruikersvriendelijkheid': in vergelijking met de meest gangbare manometer, de McLeod-kwikmanometer, had de Penning-manometer het grote voordeel van kontinu, direkt afleesbare aanwijzing van de druk, van de mogelijkheid tot meting van de druk in kondenseerbare dampen én van de storingsvrijheid voor het meetobject zelf (vooral



bij lage drukken was de kwikverontreiniging van de Mcleod-manometer een hinderlijk probleem). Ten opzichte van andere manometers dan de Mcleod-manometer was het grote voordeel, dat het apparaat niet trillingsvrij hoefde te worden opgesteld. Het kon dus ook in produktie-ruimten worden gebruikt. Het enige nadeel van de Penning-meter was, dat de waargenomen stroom (en dus de gemeten druk) afhing van de gebruikte gassoort.[58] Penning ontdekte dat het instrument nog andere kenmerken had, waardoor het ook andere functies kon vervullen. Het kon enerzijds nog als ionenbron, anderzijds nog als pomp worden gebruikt. Als ionenbron werd het bekend onder de naam 'Philips ionization gauge', gewoonlijk afgekort tot 'PIG'. [59]

Zecher en Uyterhoeven werden in het midden van de jaren twintig aangenomen, naar verluid vooral om konkrete toepassingen van gasontladingen te gaan maken.[60] Deze praktische oriëntatie kwam duidelijk tot uiting via hun publikatielijst: Zecher publiceerde gedurende zijn gehele verblijf bij Philips slechts enkele malen als mede-auteur in het Philips Technisch Tijdschrift en Uyterhoeven publiceerde zijn eerste externe artikel pas zeven jaar na aanvang van zijn betrekking bij Philips. Wel verscheen van zijn hand in 1938 een gedegen boek over gasontladinglampen, waarin hij zowel aandacht besteedde aan lampen als aan de onderliggende atomaire processen.[61] Zecher was de eerste die in het Natuurkundig Laboratorium poogde een commerciële natriumlamp te ontwikkelen. Zijn pogingen resulteerden rond 1927 weliswaar in een in principe bruikbare lamp, maar het duurde tot 1932 voor men de geel licht uitzendende natriumlamp voor wegverlichting ging toepassen.[62] Belangrijke bijdragen daarvoor kwamen toen van C. Bol en E. G. Dorgelo (N. B. geen familie van H. B. Dorgelo), die later ook intensief bij de ontwikkeling van hogedrukkwiklampen waren betrokken. Kort na Zecher en Uyterhoeven kwam Van Wijk, als opvolger van H. B. Dorgelo.[63] Hij werkte net als beide eerstgenoemden vooral aan toepassingen, zij het dat hij zich richtte op het ontwerpen van ultraviolet-stralers ten behoeve van vitamine-onderzoek.

In hetzelfde jaar als Van Wijk (1927) kwam Druyvesteyn bij het Natuurkundig Laboratorium. Hij had bij Ornstein gestudeerd en was nadien gepromoveerd bij D. Coster in Groningen. Zijn interesse lag

nadrukkelijk bij fysisch onderzoek en niet zozeer bij toepassingen. Zijn eerste gasontladingsonderzoek betrof het verschijnsel, dat een laagspanningsboog in een edelgas kan bestaan bij een lagere spanning dan de eerste excitatiespanning. Zoals eerder gezegd, bewees hij experimenteel dat Compton en Eckart gelijk hadden gehad met hun hypothese, dat in een laagspanningsboog een potentiaalmaximum kan bestaan dat hoger is dan de spanning van de anode (vergelijk figuur 4.9<sup>c</sup>).

Druyvesteyns meest geciteerde onderzoek had betrekking op de snelheidsverdeling van elektronen die naast een random-snelheid een niet-verwaarloosbare drift-snelheid bezitten ten gevolge van een elektrisch veld. Kurieus genoeg was hij zelf verrast door de belangstelling die hem ten deel viel. Hij publiceerde zijn bevindingen eerst in het Nederlands, omdat hij dit onderzoek als "onbelangrijk" had ingeschat.[64] Pas enkele jaren na de Nederlandse publikatie verscheen de eerste buitenlandse.[65] Dankzij dit onderzoek werd ook zijn naam aan een fysisch verschijnsel gekoppeld: de 'Druyvesteyn-verdeling'. [66] Het was een belangrijke impuls voor de opkomst van een nieuw concept in de gasontladingsfysika, namelijk dat van de elektronensnelheidsverdeling (vergelijk hoofdstuk IV, §3). Druyvesteyn verrichtte daarna tot 1939 verschillende soorten gasontladingsonderzoekingen en sloot deze in 1940 af met een gezamenlijke publikatie met Penning in Reviews of Modern Physics. [67] In dit uitgebreide overzicht gaven zij een samenvatting van de belangrijkste theoretische ontwikkelingen op het gebied van lagedrukgasontladings tusschen 1930 en 1940.

Drie jaar na Druyvesteyn werd Elenbaas aangetrokken. Hij werd niet direkt in de gasontladingsgroep geplaatst, maar kreeg eerst magnetisme tot studieonderwerp. Na twee jaar kreeg hij van Holst opdracht om hogedrukkwikontladings te gaan bestuderen, het thema waarmee hij vervolgens furore maakte. Aangezien zijn werk uitgebreid in hoofdstuk IX aan de orde zal komen, wordt hier volstaan met een overzicht van de belangrijkste onderwerpen waaraan hij tot 1940 werkte [68]:

1. het bewijs dat bij hoge temperaturen en drukken de elektronentemperatuur gelijk is aan de gastemperatuur; er is dan sprake

van lokaal thermisch evenwicht en de vergelijkingen van Boltzmann en Saha mogen worden toegepast; dit onderzoek was zeer verwant met het recente onderzoek van Ornstein en zijn leerlingen aan de koolboog;

2. de energiebalans in een hogedrukkwikontlading - leidend tot de Elenbaas-Heller-vergelijking -, die onder meer samenhangt met de druk en de diameter van de ontlading;
3. het effect van toevoeging van atomen met gelijke of kleinere excitatie- en ionisatiespanning dan kwik;
4. konvektiestromen en het gebruik van dimensieloze getallen (Reynolds, Grashof) als onderdeel van zijn gelijkvormigheidswetten; ook dit gedeelte was nauw verwant met Utrechts onderzoek;
5. de invloed van de toevoeging van edelgassen aan kwikdamp ten behoeve van de ontsteking en het nadeel daarvan in verband met de extra warmtegeleiding bij hoge druk.

Zijn onderzoek was zeer belangrijk voor de ontwikkelingen van hogedrukkwiklampen, doordat hij erin slaagde verbanden aan te geven tussen technisch relevante grootheden, zodat optimalisatiemogelijkheden werden vereenvoudigd. In Elenbaas waren aldus twee zwaartepunten van het Natuurkundig Laboratorium, theoretische bijdragen aan de gasontladingsfysika en praktische uitwerking daarvan naar artefakten, op bijzondere wijze verenigd.

Tussen 1930 en 1934 dwong de economische crisis Philips tot grote aantallen ontslagen. Het Natuurkundig Laboratorium werd enigszins gespaard, maar kon geen nieuwe wetenschappers aanstellen. Kruithof behoorde tot de eerste nieuwe fysici van het Natuurkundig Laboratorium in 1934. Hij kwam onder leiding van Penning te staan, met wie hij veel samenwerkte. Zijn werk betrof bijna uitsluitend theoretische vraagstukken van de gasontladingsfysika, zoals de Townsend-koefficienten van edelgassen. [69]

Na Kruithof kwamen er geen nieuwe fysici meer bij die in de gasontladingsgroep werden geplaatst. Rond 1940 werd het onderzoek, net als het atoomfysisch onderzoek in Utrecht, enigszins afgerond. Zecher was een jaar daarvoor overgeplaatst naar de Philips' vestiging in Hamburg, volgens Kruithof wegens zijn nazistische sympathieën en het daarmee samenhangende gevaar voor bedrijfsspionage. [70]

Elenbaas vertrok in 1942 naar de lichtafdeling, waar hij na verloop van tijd de leiding kreeg over alle laboratoria. Druyvesteyn stapte in 1940 over naar de metaalfysika en aanvaardde direkt na de Tweede Wereldoorlog een leeropdracht in dit vakgebied aan de Technische Hoogeschool Delft. Ook Penning veranderde (volgens Druyvesteyn met enige tegenzin) van onderwerp en kreeg opdracht kortegolfonderzoek te gaan doen.[71] Kruithof bleef wel met gasontladingsfysika bezig, al verschoof zijn aandacht enigszins naar de kleurperceptie van het menselijk oog. De reden voor deze afronding was inhoudelijk van aard. Druyvesteyn verwoordde het later aldus: "We hadden allemaal het gevoel, dat het gasontladingsonderzoek goed liep en dat daaraan niet meer hard getrokken hoefde te worden [.....] inhoudelijk was het onderzoek na 1940 wel min of meer afgesloten. Na 1939 werd op deelthema's verder onderzoek verricht".[72]

Afsluitend kunnen we over het gasontladingsonderzoek van Philips zeggen, dat het een breed terrein besloeg. Holst zorgde voor de grote lijn, terwijl de inhoudelijke samenhang van de verschillende thema's, voorzover aanwezig, werd verzorgd door de onderzoekers zelf. Hun belangstelling was zeer uiteenlopend en liep van praktische tot theoretische problemen. Ook fysici met belangstelling voor beide uitersten vonden er hun werkplek. Elenbaas vormt daarvan een goed voorbeeld, zodat nadere bestudering van zijn werk veel zinvolle informatie kan opleveren over de relatie tussen toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek en de ontwikkeling van artefakten (zie verder hoofdstukken VIII en IX).

#### §6. Gasontladingsonderzoek aan de Technische Hoogeschool Delft,

1929 - 1940.

Aan de totstandkoming van de opleiding tot natuurkundig ingenieur aan de Technische Hoogeschool Delft gaf de firma Philips belangrijke impulsen. Op 14 november 1924 zond Anton Philips een brief aan het College van Curatoren, waarin hij de daar binnenkort aan de orde komende plannen dienaangaande krachtig ondersteunde. Zijn argument was dat hij de afgelopen jaren vaak buitenlanders had moeten aantrekken, omdat "goede Nederlandsche krachten niet beschikbaar wa-

ren".[73] Weliswaar werd de opleiding bij wet van 2 juli 1928 geregeld, maar kennelijk verliep de daadwerkelijke inrichting niet naar de wensen van zowel Philips, als de Bataafsche Petroleum Maatschappij. Gezamenlijk stuurden zij in april 1929 de Minister van Onderwijs, Kunsten en Wetenschappen een brief, waarin zij op spoed aandrongen.[74] Een jaar nadien startte de opleiding daadwerkelijk en werd ook het Laboratorium voor Technische Physica geopend.

Nadat H. B. Dorgelo het ambt van hoogleraar in de theoretische en toegepaste natuurkunde had aanvaard, begon hij onder meer een onderzoeksprogramma in de gasontladingsfysika. T. Barends was zijn eerste leerling die over dit thema een artikel publiceerde. De invloed van Dorgelo's vroegere onderzoekingen was hierin duidelijk aanwezig, want het betrof intensiteitsmetingen in het argonspektrum, waarvan de resultaten werden vergeleken met metingen van Dorgelo zelf uit zijn Eindhovense periode.[75] Barends' onderzoek bleef het enige dat onder de categorie 'ontladingspartners' (zie §2) kan worden gerangschikt. De daarna volgende onderzoekingen bevonden zich vooral in de categorie 'makrofysische gasontladingsverschijnselen', waarbij vaak thema's werden ontleend aan toepassingen, zoals lampen en Geiger-Müller-tellers. Daarbij werd gepoogd de verschijnselen te begrijpen op grond van de fundamentele atomaire processen.

Drie Delftse onderzoekers (W. J. Oosterkamp, B. van Manen en A. H. van Gorcum) onderzochten de kenmerken van lopende striae in neon, dat wil zeggen van de lichte en donkere laagjes in een glimontlading, die zich onder bepaalde kondities van de kathode naar de anode bewegen. Hun onderzoek was onder andere een vervolg op een onderzoek van Druyvesteyn, die had gesuggereerd dat de striae wellicht allemaal laagspanningsboogjes waren, waarbij de lichtgevende gedeelten samenvallen met de potentiaalmaxima van de boogjes. Via potentiaalmetingen in de positieve zuil toonde Oosterkamp het gelijk van Druyvesteyn aan.[76] Van Manen zette de metingen van Oosterkamp voort en bepaalde tevens experimenteel de elektronentemperatuur in de opeenvolgende potentiaalmaxima en -minima. Ook verrichtte zij metingen aan de verplaatsingssnelheid van de striae en bepaalde zij het aantal striae als functie van de stroom en spanning.[77] Van Gorcum verrichtte metingen in lopende striae bij wisselspanning,

vooral met het oog op het gedrag vlak na de ontsteking.[78]

Van 1935 tot 1937 vonden bij Dorgelo enkele op zichzelfstaande gasontladingsonderzoekingen plaats. Zo zocht Dorgelo met H. Alting en C. J. Boers naar een verklaring voor het verband tussen de elektronentemperatuur en de druk in de positieve zuil van een ontlading in een neon-argon-mengsel en in kwikdamp.[79] Hun werk refereerde aan eerder werk van Druyvesteyn, net als het tweede onderzoek van Van Gorcum. Die publiceerde in 1936 over de elektronensnelheidsverdeling in een lagedrukgasontlading, vlak voor de publikatie van Smit uit Utrecht over ditzelfde onderwerp.[80] Van Gorcum gaf geen nieuwe theoretische overwegingen, maar volgde de berekeningen van Druyvesteyn. Hij liet experimenteel zien, dat de elektronen in een lagedrukontlading tussen de kathode en de positieve zuil een Druyvesteyn-verdeling vertonen, die naarmate de afstand tot de positieve zuil afneemt steeds meer overgaat in een Maxwell-verdeling.

Omstreeks 1938 ontstond een langdurig samenhangend programma, dat gericht was op het begrijpen van de (in)stabiliteit van een elektrisch netwerk waarin een gasontladingsbuis is opgenomen, die door zijn mogelijk negatieve I-V-karakteristiek onder meer tot oscillaties aanleiding kan geven. Dit onderzoek ontstond dankzij een initiatief van C. van Geel, een ingenieur die tot op dat moment bij een elektriciteitsmaatschappij had gewerkt.[81] Bij Dorgelo kreeg hij de kans theoretisch en experimenteel aan dit thema te gaan werken. Naast Dorgelo zelf waren J. Kerkum en C. J. D. M. Verhagen bij dit onderzoek betrokken. Ook het onderzoek naar ontladingsmechanismen in Geiger-Müller-tellers, een thema waarop A. Nawijn in 1943 promoveerde, kan tot dit meer omvattende thema worden gerekend.[82] Het programma beoogde in algemene zin meer kennis te verzamelen over de stabiliteit van de ontlading in gasontladingsbuizen.

Het onderzoek naar de stabiliteit van gasontladingen was in 1900 begonnen met onderzoek van W. Kaufman, terwijl ook Penning van Philips er recent enige aandacht aan had besteed. Een rijke traditie had het echter niet, toen de Delftse onderzoekers eraan begonnen. Hun onderzoek kende drie expliciete doelstellingen.[83]:

- a. het verkrijgen van meer inzicht in de stabiliteit van gelijkstroomontladingen;

- b. het onderzoeken van de samenhang tussen de belangrijkste elementaire processen in een ontlading en de karakteristieke grootheden waarmee het gedrag van een ontladingsbuis in een netwerk in niet-stationaire toestand (dat wil zeggen trillend om een evenwichtstoestand) kan worden beschreven;
- c. het afleiden van algemene stabiliteitscriteria op basis van de beide eerste doelstellingen.

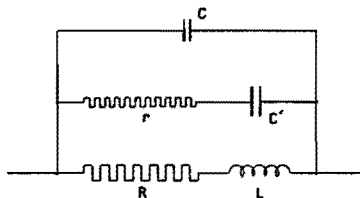
Hoewel Verhagen veel eerder (1942) op dit onderwerp promoveerde dan Van Geel (1955), was de laatstgenoemde de theoretische grondlegger.[84] Aansluitend op berekeningen van Penning en Rogowski leidde Van Geel de volgende vergelijking af, die geldig is voor niet te snelle veranderingen van een (kleine) wisselspanning  $v(t)$ , die is gesuperponeerd op een relatief veel grotere gelijkspanning:[85]

$$R.i + L.di/dt = v + (r+R.C).dv/dt + L.C.d^2v/dt^2 \quad (5.4)$$

met:  $R = dV/dI$  = differentiaalweerstand van een stationaire ontlading;

$L$ ,  $C$  en  $r$  zijn variabelen waarvan de dimensies overeenkomen met respectievelijk een zelfinductie, een capaciteit en de tijd; de waarden hangen af van de ontlading en hoeven niet altijd positief te zijn!

Indien wordt gesteld:  $C' = r/R$  en  $r = L/r$  correspondeert de vergelijking met het elektrische netwerk dat is weergegeven in figuur 5.5. Dat kan worden gezien als het 'kleinsignaalmodel' van de ontladingsbuis, omdat het alleen betrekking heeft op de wisselspanningscomponenten (met geringe amplitude). Op basis van deze vergelijking



Figuur 5.5 Kleinsignaalmodel van een ontladingsbuis volgens Van Geel [Van Geel (1939), fig. 4].

kon Van Geel het dynamisch gedrag van de ontlading beschrijven en stabiliteitskriteria opstellen.[86] Experimenten van Verhagen toonden de validiteit van het door Van Geel opgestelde model aan.[87]

Afsluitend kunnen we zeggen, dat het gasontladingsonderzoek in Delft in de periode 1930 - 1940 in het begin nog enigszins, maar later steeds minder was gericht op nieuwe kennis ten aanzien van de fundamentele atomaire processen. Aan het eind van de jaren dertig ontstond een samenhangend onderzoeksprogramma dat was gericht op het verkrijgen van meer inzicht in de stabiliteit van gasontladingen.

#### §7. Samenvatting en konklusies.

Uit de gepresenteerde gegevens met betrekking tot gasontladingspublicaties in de jaren 1920 - 1940 kunnen enkele konklusies worden getrokken. Ten eerste valt een golfbeweging te constateren in de aantallen gepubliceerde artikelen, waarbij in de steekproefjaren 1925 en 1935 significant meer publicaties werden geteld dan in de steefproefjaren 1920, 1930 en 1940. Ten tweede kwamen de meeste gasontladingspublicaties van universitaire onderzoekers. Industriële onderzoekers volgden als tweede en publiceerden significant vaker over dit thema dan hun kollega's uit hogeschool- en overheidslaboratoria. Ten derde waren de aantallen publicaties van industriële onderzoekers het meest gelijk over de zes verschillende categorieën verdeeld, die tezamen het gehele terrein van de gasontladingsfysika, van de partners in de ontlading tot en met de toepassingen van gasontladingen, beslaan. Dit wijst er op dat voor hen alle thema's van de gasontladingsfysika min of meer van even groot belang waren. Ten vierde behoorden publicaties over toepassingen alleen bij industriële onderzoekers tot de categorieën waarover het meest werd gepubliceerd. Dit vormt een indicatie daarvoor, dat juist in industriële laboratoria wordt gepoogd wetenschappelijke kennis en de ontwikkeling van artefakten aan elkaar te koppelen.

Het gasontladingsonderzoek aan de Rijksuniversiteit Utrecht, het Natuurkundig Laboratorium en de Technische Hoogeschool Delft reflekterde deze mondiale lijnen in grote trekken. In Utrecht ging de interesse echter primair uit naar bijdragen aan de atoomfysika. Gas-



ontladingen werden in het algemeen gebruikt als hulpmiddel om metingen aan spektra te verrichten en meer informatie over overgangswaarschijnslijkheden te verkrijgen. Af en toe ontleende men aan de gasontlading zelf wetenschappelijk interessante onderwerpen, maar de nadruk van het onderzoeksprogramma kwam daarop nooit te liggen.

In het Natuurkundig Laboratorium was dat precies omgekeerd. Daar waren verschillende, direkt aan artefakten (gloeilampen en gasontladingslampen) ontleende onderwerpen aanleiding voor het starten van een onderzoeksprogramma in de gasontladingsfysika: de wens om nieuwe lichtbronnen te kunnen maken, alsmede de wens om het 'klossen' en de doorslag in gasgevulde gloeilampen nader te bestuderen. Desondanks ontstonden al snel onderzoekingen die waren gericht op de fundamentele atomaire processen in gasontladingen. Kennis van atoomfysika speelde daarin een belangrijke rol, maar dat was geen doel op zich. Het Natuurkundig Laboratorium had een unieke positie in nationale zin: de onderzoekers van dit laboratorium publiceerden meer over gasontladingsfysika dan hun kollega's van de Technische Hoogeschool Delft en de universiteiten tezamen - een situatie die nergens anders ter wereld gold voor het bedrijfsleven. Het weerspiegelt dat de wetenschappers van het Natuurkundig Laboratorium in principe veel gelegenheid kregen tot het 'spelen' van een wetenschappelijke rol. Behalve Zecher en gedurende enige jaren ook Uyterhoeven, publiceerden zij allen regelmatig in erkende fysieke tijdschriften. Verscheidene van hen waren op een of andere manier betrokken bij toepassingen.

Het onderzoek in het Laboratorium voor Technische Physica van de Technische Hoogeschool Delft was vooral gericht op de stabiliteit van de ontlading in gasontladingsprodukten, zoals gasontladingslampen en Geiger-Müller-tellers. Rondom dit thema vonden verscheidene onderzoekingen plaats. Daarnaast werden verschillende thema's incidenteel onderzocht, zoals de intensiteit van argon-spektraallijnen en de elektronensnelheidsverdeling in lagedrukkwikontladingen.

Vergelijken we het drietal centra van gasontladingsonderzoek onderling, dan komt het beeld naar voren, dat het onderzoeksterrein in Eindhoven het breedste was. In Delft en Utrecht was het onderzoek voornamelijk gericht op één doelstelling, terwijl de onderzoekers van het Natuurkundig Laboratorium meer poogden tezamen het gehele

terrein 'af te grazen'.

Algemeen kan worden gekonkludeerd, dat bereikbare of gewenste normen van beoordelingskriteria van gasontladingsartefakten op de ontwikkeling van nieuwe kennis ten aanzien van gasontladingen in Utrecht geen en in Delft nauwelijks invloed uitoefenden, terwijl dat in het Natuurkundig Laboratorium van Philips soms wel expliciet het geval was. In beide volgende hoofdstukken zullen we het werk van verschillende fysici bij Philips de revue laten passeren en dieper ingaan op het specifieke karakter van toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek. Dat zal geschieden door het werk van dié medewerkers te volgen, die waren betrokken bij de ontwikkeling van lage- en hogedrukkwiklampen en het kwikontladingsonderzoek.

HOOFDSTUK VI. HOOFDLIJNEN UIT DE ONTWIKKELING VAN  
LAGEDRUKKWIKLAMPEN TOT 1940.

§1. Inleiding.

Gasontladingslampen behoren tot de belangrijkste hedendaagse artefakten waarin gebruik wordt gemaakt van eigenschappen van een gasontlading. Gevuld met verschillende gassen en dampen bepalen zij voor een belangrijk deel de huidige verlichtingsmarkt. De vraag die ons in deze studie interesseert is, welke relatie de in beide voorgaande hoofdstukken gepresenteerde kennis heeft met deze artefakten. In deze studie zal deze vraag nader worden geanalyseerd aan de hand van de geschiedenis van kwikdamlampen. Dit hoofdstuk zal ingaan op de geschiedenis van die kwiklampen die werden bedreven op lage druk.

De beschrijving daarvan is grotendeels gebaseerd op tijdschrift-artikelen en boeken. Voor de bijdrage van het Natuurkundig Laboratorium van Philips, waarop in het vervolg van deze studie de nadruk zal liggen, is eveneens gebruik gemaakt van archiefmateriaal van Philips. Daarmee beschikken we over unieke bronnen om het inzicht in de relatie tussen wetenschappelijke kennis en het ontwerpen van artefakten diepgaand te kunnen bestuderen. Speciale aandacht gaat dan ook uit naar het werk van de bij kwiklampen betrokken fysici van het Natuurkundig Laboratorium van Philips.

Philips begon in de jaren twintig met de produktie van lagedrukkwiklampen, daarbij andere bedrijven volgend. Daarvóór hadden reeds verscheidene andere bedrijven kwiklampen op de markt gebracht. Op deze voorgeschiedenis wordt in dit hoofdstuk uitgebreid ingegaan om duidelijk te maken, welke factoren op de ontwikkeling van invloed waren en welke problemen de ontwerpers steeds weer ontmoetten. In de vorige eeuw werden kwiklampen nog niet op grote schaal geproduceerd, omdat de problemen daarvoor nog te groot waren. Wel werden in Groot Brittannië en in de Verenigde Staten de eerste octrooien op deze

lampen toegekend. Paragraaf 2 gaat in op deze eerste lampen van vóór de eeuwwisseling. De eerste kwiklampen die een bescheiden kommercieel sukses hadden, waren die van de Amerikaan P. C. Hewitt. Paragraaf 3 beschrijft Hewitts lamp die vlak na 1900 voor het eerst aan het publiek werd getoond. De concurrentie die direkt daarna ontstond met de Amerikaanse firma 'General Electric Company' (voortaan kortweg 'General Electric' genoemd) is onderwerp van paragraaf 4. De lampen die Hewitt en General Electric op de markt brachten konden direkt op de netspanning worden aangesloten. Dat gold niet voor de 'neonbuizen' van de Fransman G. Claude, die met kwikdamp gevuld konden zijn en dan een blauwachtig licht uitstraalden en die op enkele tienduizenden Volt bedreven werden. Claudes buizen, die in paragraaf 5 aan de orde komen, werden mede daarom alleen voor reclamedoeleinden gebruikt. Philips, wiens bijdrage aan lagedrukkwiklampen in paragraaf 6 worden beschreven, produceerde vanaf ongeveer 1920 zogenaamde 'blauwbuizen', die waren gebaseerd op de uitvinding van Claude. In de laatste paragraaf (§7) wordt teruggekeken op de hier beschreven geschiedenis van lagedrukkwiklampen. Centraal daarbij staat de vraag welke relatie er bestaat tussen wetenschappelijke kennis en de ontwikkeling van artefakten, alsmede welke factoren op die ontwikkeling van invloed zijn geweest.

## §2. Kwiklampen in de vorige eeuw.

De Britse hoogleraar T. Way kreeg als eerste in 1857 een Brits octrooi op een kwiklamp. Vier jaar nadien volgde een Amerikaans octrooi.[1] Het ging daarbij om een ontladingslamp waarvan één elektrode uit kwik bestond en de andere óf eveneens uit kwik óf uit een koolstaafje, dat vergelijkbaar was met een koolstofelektrode uit een koolbooglamp. Uit de eerste elektrode, die hoger gelegen was dan de tweede, vloeide een zeer dun straaltje kwik naar de tweede. Een elektrische stroom door het kwikstraaltje verhitte het zodanig, dat het verdampte, waarna een boogontlading in de kwikdamp ontstond. Net als in een koolbooglamp was de ruimte in de lamp niet geëvacueerd, zodat de druk gelijk was aan die van de atmosfeer. Way beoogde hiermee een elektrische verlichtingsbron te maken.[2] Vanwege de grote

intensiteit en gelijkmatigheid van het uitgestraalde licht baarde zijn lamp bij demonstraties in 1860 groot opzien. Chemical News konkludeerde hierna, dat er geen redenen meer bestonden, die het gebruik van elektrische verlichting voor algemene toepassing nog in de weg konden staan.[3] Hierbij dient te worden bedacht, dat gloeilampen nog niet bestonden, terwijl koolbooglampen juist in dat jaar in Groot Brittannië voor het eerst op de markt kwamen. Kunstverlichting bestond in die dagen vooral uit gasverlichting. In vergelijking daarmee viel één kenmerk van Ways lamp vooral op: de slechte kleurweergave. In het licht van de lamp werden handen en gezichten spookachtig paars-groen. In Dingler's Polytechnisches Journal werd daarom de mening naar voren gebracht, dat "demnach dieses Licht für viele praktische Anwendungen als nicht entsprechend befunden werden [muss]".[4] Tegelijkertijd echter hoefde, aldus hetzelfde blad, de slechte kleurweergave niet overal tot afwijzing van het gebruik te leiden: "Indessen bleiben noch mehrere Fälle, wo die Farbenerscheinung kein wesentliches Erfordernis ist. Für Beleuchtung von Öffentlichen Plätzen, Leuchttürmen, Schiffen usw. ist es unschätzbar".[5] Deze argumentatie zou daarna nog vaak worden herhaald en nog zeker tachtig jaar lang (tot de invoering van de fluorescentielamp of TL-lamp in 1938) de discussie over toepassing van kwiklampen in hoge mate beïnvloeden.

Ways landgenoot J. Rapieff, eveneens een hoogleraar, verkreeg in 1879 een octrooi op een kwiklamp, die op twee belangrijke punten van die van Way afweek: de lamp had de vorm van een omgekeerde U en was luchtdicht afgesloten.[6] Vanwege de vorm 'verbruikte' de lamp geen kwik, zodat de vorm geen extra beperking voor de levensduur meer met zich meebracht (bij Way stroomde het kwik van de ene elektrode naar de andere en moest de terugvoer met de hand geschieden [7]). De Duitser L. Arons was de eerste die in 1892 de ontladingsruimte evacueerde, alvorens een ontlading in kwikdamp tot stand te brengen.[8] Arons' lamp had dezelfde vorm had als die van Rapieff. Ontsteking van Arons' lamp volgde op kortsluiting tussen de beide vloeibare kwikelektroden door middel van kantelen van de lamp, eveneens een van Rapieff afkomstige vinding. In tegenstelling tot de uitvindingen van diens voorgangers verscheen Arons' lamp korte tijd later op de

markt, zij het alleen voor laboratoriumdoeleinden.[9]

Arons was als fysikus verbonden aan het Physikalisches Institut der Universität Berlin en was anders dan zijn voorgangers niet primair geïnteresseerd in een lamp voor verlichtingsdoeleinden: hij vroeg bijvoorbeeld geen octrooi aan op zijn uitvinding. Zijn interesse ging primair uit naar een lamp die zoveel mogelijk scherp gedefinieerde spektraallijnen tussen ultraviolet en infrarood uitzond ten behoeve van optische onderzoekingen. Dat maakt ook begrijpelijk, waarom hij zijn lamp eerst evakueerde: dan verkreeg hij de best gedefinieerde uitgangspositie voor spektraalmetingen. Tevens was hij geïnteresseerd in de samenhang tussen enkele van belangzijnde grootheden. Hij was de eerste die aangaf, dat het evakueren van de ontladingsruimte van voordeel was en die ontdekte dat de lichtintensiteit een functie is van de dampdichtheid en de temperatuur, alsmede dat het spanningsverloop in de lichtboog door de lengte en de diameter van de buis wordt bepaald.[10] Hij zocht dus mede naar de relaties die in een kwikontladingsbuis tussen verschillende beoordelingscriteria bestaan, al hadden die voor hem vooral de betekenis van fysische variabelen. Een lamp voor verlichtingsdoeleinden had hij, zoals gezegd, niet op het oog. In zijn eerste publikatie sprak Arons dan ook konsekwent over een "Apparat" en verscheen het woord "Lampe" hooguit tussen haakjes.[11] Voor hem moest het apparaat voldoen aan normen van beoordelingscriteria van een fysisch meetinstrument en niet aan die van lampen voor verlichtingsdoeleinden. Een overzicht van de met Arons' instrument bereikte normen staat in tabel 6.1.

Voor Arons zelf betekende dit apparaat een "eine ausserordentlich einfache Methode, einen intensiv leuchtenden, lang andauernden Lichtbogen zwischen Quecksilberelectroden herzustellen, welcher nur verhältnismässig geringe electromotorische Kräfte zu seiner Unterhaltung erfordert und keine der lästigen Eigenschaften von Lichtbögen zwischen zwei Metallelectroden besitzt".[12] De ontsteking van de ontlading volgde na kantelen van de lamp. Het specifieke vermogen van de lamp zelf was relatief laag (het rendement was hoog [13]), maar veel van deze winst ging verloren in de grote voorschakelweerstand, die Arons voor stabilisatie van de boogstroom moest toepassen. Deze stabilisatie was nodig vanwege de negatieve stroom-span-

beoordelingskriterium	bereikte norm	opmerking
1. aansluitspanning	105-110 V	netspanning
2. stroom	10 A	
3. afmetingen:		
- lengte U-vorm	6 cm	
- diameter	2 cm	
4. specifiek vermogen	gering	verlies in voor- schakelweer- stand groot
5. kleur van het licht	grijsachtig wit	
6. oppervlaktehelderheid	hoog	
7. levensduur	groot	
8. temperatuur	hoger dan kook- punt van kwik	waterkoeling no- dig, grote kans op breuk
9. druk	tot enkele mm kwikdruk	
10. stabiliteit van de ontlading	gering	waterkoeling, grote voorscha- kelweerstand nodig.
11. ontstekingswijze via:		
- kantelen	eenvoudig en be- trouwbaar, niet gebruiksvriende- lijk	
- hulpelektrode	gebruiksvriende- lijk	

Tabel 6.1 Kenmerken van Arons' lamp uit 1892. [14]

ning-karakteristiek van een boogontlading (zie figuur 4.6). De stabiliteit van de ontlading werd door Arons extra verhoogd door waterkoeling van de lamp te gebruiken.

Het licht van Arons' lamp was grijsachtig-wit van kleur, hetgeen werd veroorzaakt door het nagenoeg ontbreken van rode spektraallijnen in het spectrum (golflengten van 610 - 770 nm). Dit euvel interesseerde ook Arons zelf, omdat hij, zoals gezegd, met zijn stralingsbron zoveel mogelijk spektraallijnen van hoge intensiteit, verdeeld over het gehele spectrum van ultraviolet tot infrarood, wilde opwekken. Ter oplossing van dit probleem trachtte hij metalen toe te voegen, waarvan de spektraallijnen juist de lege plekken in het kwikspektrum konden opvullen. Een hinderlijk, en toen nog onbegrepen

verschijnsel was echter, dat in een gasontladingsbuis met verschillende gassen en dampen in het algemeen slechts de lijnen van één gas of damp optreden. Men hoopte dat dit laatste niet zou gelden voor legeringen - waarover men toen nog twistte of deze een andere status hebben dan chemische bindingen of mengsels van willekeurige samenstelling -, zodat Arons zijn geluk via deze weg probeerde. Zijn hoop werd echter, mede door allerlei technische obstakels, zoals snelle breuk van de lampen, niet vervuld.[15]

E. Gumlich van de Physikalisch-technische Reichsanstalt herhaalde kort daarop (1897) dit laatstgenoemde onderzoek van Arons. Hij maakte een cadmium-amalgaam-lamp, omdat het spektrum van cadmium intensieve rode lijnen bevat en dus het kwikspektrum goed kan aanvullen. In tegenstelling tot Arons slaagde Gumlich er in zo'n lamp te maken, waarvan het spektrum min of meer de sommatie was van de afzonderlijke spektra. De lampen kwamen echter niet in de handel, omdat zij het gebruik "in freier Luft auf die Dauer nicht aushalten".[16]

Kort nadien probeerde Arons een lamp te maken met een amalgaam, waaraan hij de formule 'Hg<sub>3</sub>PbBi' toekende. Het amalgaam werd gemakkelijk vloeibaar, maar de temperatuur in de lamp liep zo hoog op, dat spoedig alle lampen te gronde werden gericht. Dit laatste euvel werd pas in 1907 verholpen door R. Küch, een fysikus van de firma 'Heraeus' te Hanau (Duitsland), die een groot deskundige was op het gebied van de bewerking van kwartsglas, dat veel hogere temperaturen dan normaal glas kan weerstaan. Op verzoek van Arons vulde Küch een van zijn zojuist ontwikkelde hogedrukkwiklampen uit kwartsglas met het amalgaam 'Hg<sub>3</sub>PbBi' en verkreeg daarmee een lamp die een rijk lijnenspektrum uitstraalde. Heraeus bracht deze lamp op de markt voor "wissenschaftliche Zwecke".[17] Met deze lamp was het oude ideaal van de fysikus Arons in principe vervuld. Op verdere ontwikkelingen in de ontwikkelingslijn van de kwiklamp als 'wetenschappelijk' instrument zullen we hier niet nader ingaan. De grote markt voor lichtbronnen lag in een andere richting, namelijk in die voor algemene verlichting. Voor deze markt gelden vaak andere normen voor (soms andere) beoordelingskriteria.

Samenvattend kan worden gezegd, dat er rond 1900 nog geen kwik-



lampen op de markt waren voor verlichtingsdoeleinden. Wel werden zowel in Europa als in de Verenigde Staten kunstlichtbronnen reeds op ruime schaal toegepast. Drie soorten waren voor de verschillende toepassingsmogelijkheden het belangrijkste: gloeilampen, koolbooglampen en gaslampen. De koolbooglamp was de eerste commerciële lamp waarbij de lichtopwekking gepaard ging met een gasontlading. Het licht ontstond door een elektrische stroom via twee koolspitsen door lucht te sturen. Tussen beide koolstaafjes ontstond een boogontlading die via temperatuurstraling bijna wit licht uitstraalde. In sommige uitvoeringen droegen de zeer heet wordende koolspitsen zelf ook wezenlijk bij aan de lichtopwekking. In alle gevallen werden de koolspitsen zo heet, dat zij na verloop van tijd opbrandden. Destijds hadden de koolspitsen een levensduur van rond de 10 uur, waarna nieuwe in de lamp moesten worden gemonteerd. Koolbooglampen gaven veel, bijna wit licht en werden vooral gebruikt voor verlichting van grote ruimten en voor buitenverlichting. Gaslampen dienden vooral voor straatverlichting, maar na 1880 werden vele daarvan, vooral in de Verenigde Staten, vervangen door booglampen, die veiliger en schoner waren. In Europa bleef gasverlichting tot in de jaren dertig van deze eeuw in zwang.[18] De eerste kooldraadgloeilampen waren weliswaar in gebruik duurder dan beide andere lichtbronnen, maar veroverden na hun introductie rond 1880 desondanks de markt voor binnenhuisverlichting. Van doorslaggevend belang daarvoor was, dat zij in het algemeen een behoorlijke kleurweergave hadden, voor kleine lichtstromen waren te produceren en hoog scoorden op beoordelingscriteria, die we kunnen samenvatten onder de term 'gebruikersvriendelijkheid': ze waren schoon, veilig en eenvoudig te bedienen.

Naast de ontlading in een koolbooglamp en in een kwiklamp onderzocht men in de vorige eeuw ook andere lichtbronnen gebaseerd op gasontladingen. Men ging daarbij uit van geëvakueerde buizen - de zogenaamde 'Geissler-buizen' - al dan niet gevuld met een speciaal soort gas of damp. T. A. Edison was een van degenen die op zo'n buis een octrooi verkreeg (1896). Zijn buis was bedekt met een laagje calcium-wolframaat, dat wit oplichtte onder invloed van de erop vallende kathodestrallen.[19] Deze 'fluorescentiebuis' verliet het

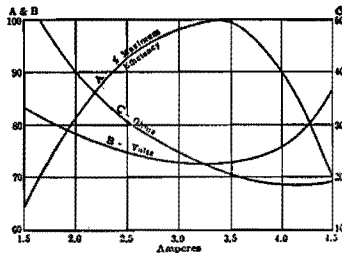
experimentele stadium niet, maar droeg wel bij aan reeds bestaande hooggespannen verwachtingen ten aanzien van gasontladingslampen. De redactie van het Amerikaanse tijdschrift Electricity schreef bijvoorbeeld al eerder (1893): "these tubes now are receiving the earnest attention of electrical experimenters with the fond and not chimerical hope that in the illumination of the tubes lies the desired secret of practical lighting by glowworm or phosphorescent light - light without heat".[20] Men was zich er dus reeds toen van bewust, dat bij de destijds in gebruik zijnde lichtbronnen veel energie verloren ging via warmte en straling in het ultraviolette of infrarode gedeelte van het spectrum. Met een kooldraadgloeilamp werden slechts enkele procenten van de toegevoerde energie omgezet in zichtbare straling (golflengten ruwweg tussen 400 en 800 nm). In de glimworm of het vuurvliegje zag men de ideale, door de natuur gegeven lichtbron, die wit licht gaf zonder warmteverlies, terwijl men van de gasontladingslampen verwachtte dat deze dit ideaal beter konden benaderen dan de gloeilampen.

### §3. De kwiklamp van Hewitt (1901).

De eerste kwiklamp die daadwerkelijk voor verlichting werd toegepast, was van P. C. Hewitt, die een ingenieursopleiding aan het Columbia College (nu Columbia University) te New York had gevolgd.[21] Na zijn opleiding kreeg hij een functie in de firma van zijn vader en grootvader - de Cooper Hewitt Company - en werkte hij jarenlang aan een kwiklamp voor algemene verlichtingsdoeleinden.[22] Tijdens de jaarlijkse bijeenkomst van het American Institute of Electrical Engineers op 12 april 1901 toonde hij zijn kwiklamp voor het eerst in het openbaar. Met het voor die tijd uitzonderlijk lage specifieke vermogen van 0,32 W/kaars trok hij grote aandacht. Ter correctie van de "disagreeable" blauw-groene kleur gebruikte hij rood-fluorescerende schermen.[23]

Zijn belangrijkste oogmerk was een lamp te konstrueren met zo hoog mogelijk rendement en dus met zo klein mogelijke voorschakelweerstand, die desondanks ook bij sterke schommelingen in de netspanning stabiel zou branden.[24] Hij onderzocht empirisch het ver-

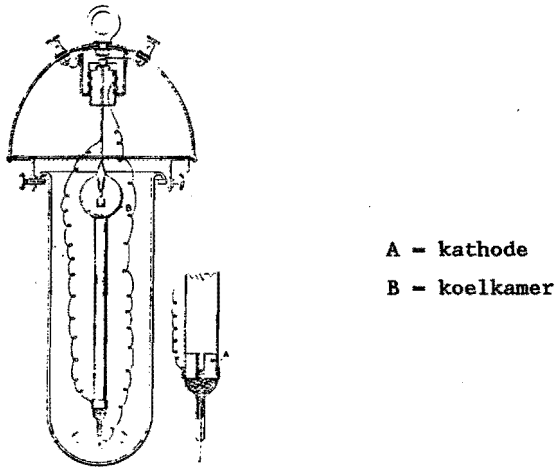
band tussen stroom en spanning in de buis, met de dichtheid van het kwik, de diameter van de buis en de lengte van de buis als parameters. Ook mat hij het elektrische veld (spanningsval per cm) in de lengterichting, als funktie van de druk, de stroomsterkte en de doorsnede van de buis. Gezien uit het oogpunt van rendabele verlichting was het belangrijkste resultaat, dat het rendement het hoogst is waar de I-V-karakteristiek van de boogontlading een minimum doorloopt (figuur 6.1). De preciese waarde van het hoogste rendement hangt samen met de dichtheid van de damp. Hewitt ontdekte dat het lichtrendement bij een bepaalde dampdruk een maximum vertoont. Met behulp van grafieken kon hij zo voor een bepaalde situatie de lamp met het hoogste rendement bepalen. [25]



Figuur 6.1 Relatief rendement (A), spanning (B) en weerstand (C) als funktie van de stroom in een kwikbooglamp [Wickenden (1910), fig. 80].

Om de stabiliteit van de ontlading te verhogen, bewandelde Hewitt een geheel andere weg dan Arons, die een grote voorschakelweerstand gebruikte en soms waterkoeling toepaste. Hewitt ontwierp een rechte buis (dus geen omgekeerde U-vorm) met een koelkamer aan de bovenzijde (gedeelte B in figuur 6.2). Deze zorgde voor een vergroot warmteuitwisselend oppervlak met de omgeving, zodat de temperatuur en dus de dampdruk in de buis minder aan schommelingen onderhevig was. Als de dampdruk te hoog werd kondenseerde kwikdamp aan de wand van de koelkamer, waarna het kwik terugstroomde naar de kwikplas onder in de buis, die de kathode vormde.

Zowel door Hewitt en zijn kollega's, als door elektrotechnische bladen werd de lamp aan het publiek gepresenteerd via vermelding van



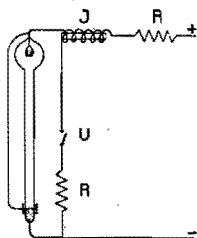
Figuur 6.2 Kwiklamp van Hewitt (pré-kommercieel stadium)  
[The Electrician 47 (1901), 947].

bereikte normen van uiteenlopende beoordelingskriteria. Een overzicht daarvan is te vinden in tabel 6.2. In het algemeen waren de positieve beoordelingen van Hewitts lamp als volgt: kleine oppervlaktehelderheid (geringe verblinding), stabiele ontlading ook bij relatief grote spanningsschommelingen, hoog rendement van de lamp zelf, grote levensduur en geringe onderhoudskosten. Vooral vanwege het eerste en laatste punt waren de lampen een geduchte concurrent van koolbooglampen, die zeer hoge oppervlaktehelderheden hadden (rond 1900 van 4000 tot 16.000 kaars/cm<sup>2</sup>) en duur in onderhoud waren, omdat de koolstaafjes zo vaak moesten worden verwisseld.

Niet alle bereikbare normen waren echter even rooskleurig. Zo deed Hewitt jarenlang onderzoek naar de meest geschikte ontstekingsvorm van de lamp. Aanvankelijk, in de experimentele fase, gebruikte hij een spanningspuls, gekombineerd met een capacitieve strip, waarvan het ene uiteinde was verbonden met de anode en het andere uiteinde via de buitenzijde van de buis tot in de buurt van de kathode reikte (figuur 6.3). De spanningspuls werd opgewekt via een zelfinductie J en ontstond door een schakelaar U gelijktijdig te sluiten met het aansluiten van de spanning. Daardoor kwam tussen het uiteinde van de capacitieve strip en de kathode een spanning van ruim 5000 V te staan, die voldoende was om de ontsteking op gang te bren-

beoordelingskriterium	bereikte norm	opmerking
1. aansluitspanning	$\pm 55, \pm 110$ en $\pm 220$ V	netspanning. (d.c. en a.c.)
2. stroom	$\pm 3$ A	
3. afmetingen:		
- lengte	0,2-3,0 m	
- diameter	0,25-5,0 cm	
4. specifiek vermogen		
- zonder voorsch.app.	$\pm 0,35$ W/kaars	
- met voorsch.app.	0,45-0,60 W/kaars	
5. lichtstroom	300-700 kaars	
6. kleur van het licht	bleek blauw-groen	grootste bezwaar voor grootscha- lig gebruik
7. oppervlaktehelderheid	0,3-4,3 kaars/cm <sup>2</sup>	geringe verblin- ding
8. levensduur	1000-16.000 uur	
9. temperatuur	wand juist aan te raken	temp. beïnvloedt rendement zeer
10. druk	1 à 2 mm kwikdruk	
11. arbeidsfaktor	0,80-0,85	
12. stabiliteit van de ontlading	hoog	alleen onrustig bij oppervlak van de kathode
13. ontstekingswijze via:		
- spanningspuls	(uiteenlopend beoordeeld)	oude methode; na 1908 op de markt voor hoge en lange lampen
- kantelen	veilig en be- troubaar, niet gebruiksvrien- delijk	later automati- sche kanteling
- hulpkathode	ontsteektijd lang en onzeker	
14. aktiniteit	zeer hoog: 30 x die van kool- booglamp	lamp geschikt voor fotografie en kopiëren
15. uv-opbrengst	hoog	lamp geschikt als uv-bron
16. stroomonderbreking	direkt bij uitval van de spanning	lamp geschikt als stroomonderbreker
17. gelijkrichting	ideaal	lamp geschikt als gelijkrichter
18. onderhoudskosten	zeer laag	
19. contrastwerking	groot	
20. vermoeiing v.h. oog	zeer gering	volgens Hewitt
21. diffuusheid van licht	groot	

Tabel 6.2 Kenmerken van Hewitts lamp. [26]

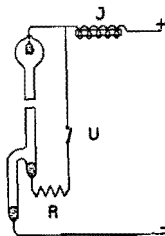


J - zelfinductie  
 R - weerstand  
 U - schakelaar

Figuur 6.3 Ontsteking van Hewitts lamp m.b.v. een spanningspuls  
[Von Recklinghausen (1904), fig. 52].

gen. Vervolgens vulde de buis zich met de ontlading. Door Hewitt en zijn kollega's werd deze ontstekingsvorm onder meer als "bequem" gekwalificeerd.[27] Uit kommentaar van tijdgenoten blijkt echter, dat deze methode niet zo betrouwbaar was als de reeds door Arons en anderen gebruikte kantelmethode.[28] De eerste Hewitt-lampen, die in 1903 op de markt kwamen, waren dan ook op de meer betrouwbare kantelmethode gebaseerd.[29] Gebruikersvriendelijk was de kantelmethode echter niet. Een tijdgenoot gaf daarover bijvoorbeeld als oordeel, dat "das Kippen jeder einzelnen Lampe oder kleinerer Gruppen eine sehr hässliche Sache ist, deren Beseitigung im Interesse einer allgemeinen Anwendung dringend geboten erscheint".[30] Het bezwaar van kantelen was bijvoorbeeld, dat de lampen niet op een moeilijk bereikbare plaats konden worden opgehangen. Dit probleem werd niet lang nadien opgelost door de Engelsen C. O. Bastian en A. E. Salisbury, die een automatische kantelinstallatie ontwierpen.[31] Hewitt nam deze methode over, maar perfectioneerde later toch zijn eigen oorspronkelijke spanningspuls-methode, die hij toen toepaste voor lange en hooghangende buizen. Vooral bij de langere buizen was dit een voordeel, omdat die door kantelen nog al eens braken.[32] Een derde en laatste ontstekingsmethode was die met een hulpkathode, die dichter bij de anode dan de kathode is aangebracht (figuur 6.4). Daardoor kon bij een lagere spanningspiek een ontlading in de lamp ontstaan, die na uitschakelen van de schakelaar U oversprong naar de hoofdkathode. Deze methode werd destijds op zich zelf positief be-

oordeeld, maar had als nadeel dat de ontstekingsduur onzeker was en soms zeer lang was.[33]



J - zelfinductie  
R - weerstand  
U - schakelaar

Figuur 6.4 Ontsteking van Hewitts lamp m.b.v. een hulpkathode  
[Von Recklinghausen (1904), fig. 53].

Geen van de drie genoemde ontstekingswijzen kon een vergelijking met het eenvoudige inschakelen van een gloeilamp doorstaan. Hewitts lampen konden dat wel op andere punten: zij konden ook op het elektriciteitsnet worden aangesloten, hadden een lichtstroom die geschikt was voor huiskamergebruik (300 - 700 kaars), een lage oppervlaktehelderheid (10 à 30 keer zo laag als die van de gloeidraden van kooldraadgloeilampen) en een hoog rendement (+ 10 keer zo hoog als dat van kooldraadgloeilampen). Hét grote obstakel voor binnenverlichting vormde echter de bleke, blauw-groene kleur. Hewitt trachtte in voordrachten zijn gehoor ervan te overtuigen, dat de daardoor optredende slechte kleurweergave als het ware werd gecompenseerd door het hoge rendement, maar het publiek volgde hem daarin niet.[34] Na een aanvankelijk enthousiasme volgde een teleurstelling, die vooral door de kleur werd veroorzaakt.[35] Omdat rode spektraallijnen ontbraken, kregen mensen in het licht van de lamp een groenig, spookachtig uiterlijk, hetgeen als uiterst onaangenaam werd ervaren. Er was dan ook een algemeen gevoelen, dat de kwiklamp alleen dan een succes zou kunnen worden, indien het tekort aan rode stralen zou kunnen worden opgeheven.[36] Veel pogingen werden daarom ondernomen om kleurcorrectie te verkrijgen. De ideale norm daarvoor werd destijds (1904) door W. Wedding, hoogleraar van de Technische Hogeschool te Charlottenburg, als volgt onder woorden gebracht: "bei

Erzeugung des Lichtes sollen wir Menschen auf das sehen, was die Natur uns bietet durch den grossen Sonnenball".[37] Licht met een te veel aan rood vergeleken met het zonnep spectrum, zoals in de kooldraadgloeilampen, was niet zeer hinderlijk, omdat dat als extra 'warm' werd ervaren. Licht met een tekort aan rood, zoals van kwiklampen, kwam echter over als 'kil'.

Een minder sterk punt van Hewitts lamp was ook de arbeidsfaktor van 0,80 à 0,85.[38] De arbeidsfaktor van een elektrisch apparaat is een maat voor de effectiviteit, waarmee elektrisch vermogen van een wisselspanningsnet wordt afgenomen. In het ideale geval is de arbeidsfaktor gelijk aan 1. Dat is alleen dan het geval, indien de stroom en spanning met elkaar in fase zijn én er geen vervormingen, zoals hogere harmonischen, optreden. Gloeilampen bezitten zo'n ideale arbeidsfaktor, maar bij gasontladingslampen treedt een inherent lagere waarde op, die alleen kan worden gecorrigeerd met behulp van filters. Het is een beoordelingskriterium, dat vooral voor de elektriciteitsmaatschappijen van belang is. De genoemde waarde voor de lamp van Hewitt werd weliswaar in die dagen vermeld, maar leidde niet tot pogingen kompensatieschakelingen te maken. Gezien het feit dat deze lampen slechts op kleine schaal werden toegepast, is dat begrijpelijk. Daardoor hadden immers de elektriciteitsmaatschappijen weinig last van de lagere arbeidsfaktor. De elektriciteitsmaatschappijen roerden zich pas op dit punt in de loop van jaren dertig, toen zij grootschalige toepassing van gasontladingslampen vreesden (zie hoofdstuk VII §6).

Bastian en Salisbury ontwierpen niet alleen een automatisch kantelsysteem, maar plaatsten in afwijking van Hewitt een kwiklamp tezamen met een gloeilamp in één armatuur. Het doel daarvan was een betere kleurweergave te verkrijgen. Daarin slaagden zij ten dele, maar het totale rendement daalde ten opzichte van de 'kale' kwiklamp.[39] Omdat hun kwiklamp weer de omgekeerde U-vorm van Arons' lamp had, was de totale konstruktie kompakter dan die van Hewitts lamp. Daarom verwachtte men veel van de lamp, die door de Bastian Mercury Vapour Lamp Ltd. werd geproduceerd.[40] Zoals reeds werd gezegd, korrigeerde Hewitt zelf in eerste instantie de kleur met behulp van fluorescerende schermen. Daardoor daalde het lichtrendement



echter met  $\pm 25$  %. Bovendien verbleekten de schermen snel.[41] Veelvuldig werd gepoogd aan het kwik gassen of dampen toe te voegen die spektraallijnen uitzenden in het gewenste, missende gedeelte van het spectrum. Net als eerder bij Arons mislukten deze pogingen echter. Ook met amalgamen werden bij lagedrukkwiklampen geen positieve resultaten bereikt.[42]

De lagedrukkwiklampen verwierven vooral door hun kleur geen groot aandeel in de verlichtingsmarkt. Zij waren slechts geschikt voor speciale toepassingen, waar de kleur minder en het rendement meer van belang was. Dat was bijvoorbeeld het geval in fabriekshallen en grote open ruimten. Ook in tekenzalen en drukkerijen werden ze naar tevredenheid gebruikt, omdat het licht diffuus was en een sterkere contrastwerking bleek te hebben dan dat van andere lichtbronnen. Hewitt en zijn kollega's legden er vaak de nadruk op, dat het licht ook minder vermoeiend zou zijn voor de ogen, maar die stelling was niet onomstreden.[43] Volgens een Europese tijdgenoot vonden Hewitts lampen meer aftrek in de Verenigde Staten dan in Europa, omdat de Amerikanen in tegenstelling tot de Europeanen meer aan de lage prijs dan aan de goede smaak de voorkeur gaven.[44]

Hewitts lamp bleek enkele kenmerken te hebben, waardoor deze in aangepaste vorm eveneens voor andere doeleinden kon worden gebruikt. Ten eerste bleek de chemische werking (aktiniteit) van de uitgezonden straling zeer hoog, waardoor de lamp een belangrijk instrument kon zijn bij fotografie en kopieerdoeleinden. Dit effect kon extra worden uitgebuit, omdat de lamp kouder was dan andere lichtbronnen met dezelfde chemische werking en daardoor dichterbij het lichtgevoelige papier kon worden geplaatst. Ten tweede produceert een kwikontlading een grote hoeveelheid ultraviolette straling, waarvan men toen reeds wist, dat deze bacteriën kan doden. De reeds genoemde Kùch van de firma Heraeus, wiens onderzoek nog uitgebreid aan de orde zal komen in verband met de ontwikkeling van hogedrukkwiklampen, slaagde er rond de eeuwwisseling in lampen te maken uit het moeilijk bewerkbare kwartsglas, dat ultraviolette straling doorlaat. Daardoor konden ook kwiklampen voor medische doeleinden worden gemaakt. Tenslotte vertoonde de lamp nog twee kenmerken, die niets met de opgewekte straling van doen hadden: de lamp liet de stroom slechts in

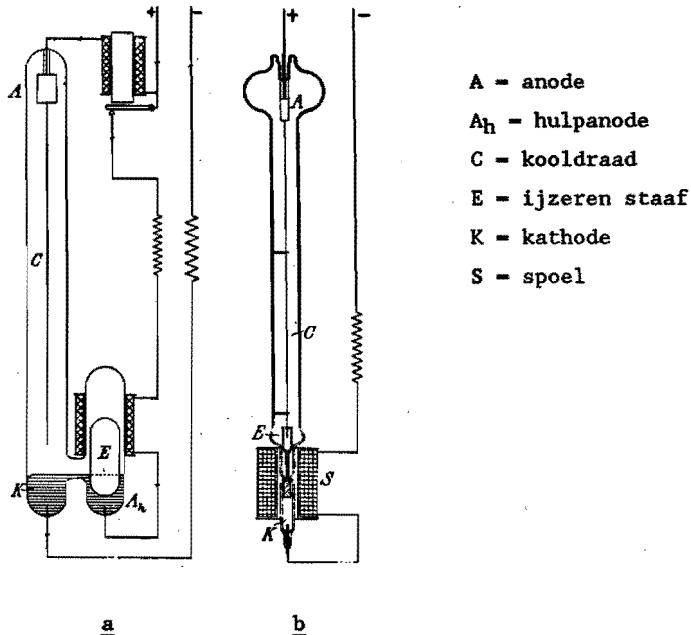
één richting door én onderbrak de stroom direkt als de spanning beneden een bepaalde drempelwaarde daalde. Deze eigenschappen gaven aanleiding tot twee nieuwe richtingen van technische ontwikkeling, namelijk die van een kwikdampgelijkrichter, waarvan Hewitt de officiële uitvinder is, en een kwikdampstroomonderbreker. Bovendien wordt aan Hewitt de uitvinding van een versterkerbuis toegeschreven die was gebaseerd op een kwikontlading (1904). Deze versterkerbuis leidde tot veel onderzoek in verschillende industriële laboratoria, maar moest het uiteindelijk afleggen tegen de versterkerbuis (audion of triode) van Lee de Forest (eerste octrooi 1907).

#### §4. Konkurrentie van General Electric.

Zonder konkurrentie bleef de lamp van Hewitt niet. Ondanks de skeptische ontvangst voor algemene verlichtingsdoeleinden vanwege de kleur, nam General Electric de handschoen op en mengde zich in de strijd. Verwonderlijk was dat niet, want dit bedrijf had grote belangen in de verlichtingsindustrie te verdedigen. General Electric, waarin onder andere alle maatschappijen van Edison waren opgegaan, domineerde met Westinghouse de verlichtingsmarkt in de Verenigde Staten. Westinghouse had zijn belangen reeds veiliggesteld door Hewitts eerste onderzoekingen te financieren en een aanzienlijk belang te nemen in de in 1902 door Hewitt opgerichte Cooper Hewitt Electric Company.[45]

Onderzoek aan kwiklampen behoorde tot de eerste werkzaamheden in het nog jonge 'researchlaboratorium' van General Electric te Schenectady (opgericht in 1900). De angst dat een buitenstaander eerder een kommerciële kwiklamp zou kunnen vervaardigen was zelfs een van de belangrijkste aanleidingen om dit laboratorium op te richten. In een interne notitie werd reeds in september 1900 gekonkludeerd: "If someone gets ahead of us in this development we will have to spend large sums in buying patents or patent rights, whereas if we do the work ourselves this necessity will be avoided." [46] Kort na de oprichting van het laboratorium zochten W. R. Whitney, E. Weintraub en C. P. Steinmetz vooral naar verbetering van de kleur en vergemakkelijking van de ontsteking van kwiklampen. Kleurcorrectie trachtten

zij bijvoorbeeld te verkrijgen met behulp van fluorescerende poeders, maar dat leverde niet de gewenste resultaten op.[47] Hun onderzoek leidde wel tot belangrijke octrooien op het gebied van de ontsteking.[48] De ontstekingsmethoden van Weintraub en Steinmetz zijn weergegeven in respektievelijk figuur 6.5<sup>a</sup> en 6.5<sup>b</sup>.



Figuur 6.5 Ontsteking van een kwiklamp volgens Weintraub (a) en Steinmetz (b) [Polak (1907), fig. 25a en 25b].

De uitvinding van Weintraub bestond uit het aanbrengen van een hulpanode (A<sub>h</sub>) en een met de anode verbonden kooldraad (C). Bij aansluiting van de spanning trok een elektromagneet het ijzeren staafje E uit A<sub>h</sub>, waardoor het kwikniveau in A<sub>h</sub> en in de kathode K daalde. De kwikverbinding tussen A<sub>h</sub> en K werd verbroken, waardoor tussen beide een ontleding ontstond. De ontleding werd overgenomen door de uiterste punt van C die een hogere spanning had dan A<sub>h</sub>. C geleidde de stroom, zodat de uiterste punt van C in spanning daalde en de anode A de hoogste spanning bezat. De ontleding werd daardoor door A overgenomen, nadat de hele ruimte zich met kwikdamp had gevuld. Om-

dat de geleidende kwikdamp een veel lagere weerstand had dan C, nam C al snel na de ontsteking niet meer deel aan de ontlading. In de lamp van Steinmetz werd de hulpanode vermeden, door een kooldraad (C) bij aansluiting van de spanning korte tijd in de kwikplas van de kathode te trekken met behulp van een ijzeren kern (E) en een spoel (S). Beide methoden berustten dus op het automatisch verbreken van een kortsluiting tussen (hulp)anode en kathode en vermeden het gebruik van kantelen van de lamp.

Het meeste onderzoek aan kwiklampen bij General Electric werd verricht door Weintraub en Steinmetz. Ter illustratie van het werk in het laboratorium van General Electric volgt hieronder een van de onderzoeken van Weintraub in grote lijnen. Weintraub was een fysicus die in Duitsland was gepromoveerd en na enige jaren bij MIT te hebben gewerkt door General Electric werd gekontrakteerd. Van groot belang voor ons thema is, dat hij erin slaagde vanaf dat moment zowel een rol binnen de bedrijfskontekst, als binnen de wetenschappelijke gemeenschap te spelen. Zijn publikatie in 1904 over zijn kwikontladingsonderzoek in het gezaghebbende tijdschrift Philosophical Magazine was "the first scientific publication" van het research laboratorium van General Electric.[49] Interessant is, dat hij in die publikatie problemen uit de praktijk (bijvoorbeeld de ontsteking van de lamp) benaderde uit een "theoretical point of view".[50] Zijn theoretische en experimenteel getoetste overwegingen plaatste hij in de toenmalige universitaire discussies met betrekking tot de elektrische ontladingen in gassen. Zo schreef hij expliciet: "The results obtained can be conveniently expressed by using the modern terminology of the theory of ionization in gases, and the principle discovered can be considered as the first application, to my knowledge, of that theory to a practical problem."[51] Met andere woorden: hij beschouwde zich zelf als iemand die 'toegepaste wetenschap' verrichtte in de meest letterlijke zin van het woord. Voor eerdere theorievorming verwees hij naar artikelen van J. J. Thomson en Arons.

Weintraubs onderzoeken legden General Electric geen windeieren. In de Amerikaanse oktroomwetgeving kon een zogenaamde 'interference' toestand worden gekreëerd door een octrooi aan te vragen op een thema, waarop een ander dat kort tevoren had gedaan, maar waar-

van de toekenningsprocedure nog niet was afgerond. In zo'n geval moesten beide partijen met laboratoriumjournaals en getuigen aantonen, wie het eerst de uitvinding had gedaan. Zo'n konflikt kon jaren in beslag nemen, waarbij uiteraard de partij met de meeste financiën in het voordeel was. Met behulp van enkele op Weintraubs onderzoek gebaseerde oktroofaanvragen probeerde General Electric via een 'interference' de Cooper Hewitt Electric Company klein te krijgen. Dat lukte uiteindelijk niet, maar het duurde wel tot 1911, eer Hewitt zijn juridische gelijk kreeg. Door het proces en doordat Westinghouse, zijn financiële steun en toeverlaat, in 1907 failliet was gegaan, stond Hewitt er toen slecht voor. Binnen twee jaar was een licentieovereenkomst met General Electric getekend en na nog eens acht jaar (1919), toen G. Westinghouse was overleden, kocht General Electric Hewitts firma in zijn geheel op. De naam van de firma veranderde toen in 'General Electric Vapor Lamp Company'. Nog weer twintig jaar later ging deze firma op in het moederconcern. [52]

Ten tijde dat General Electric Hewitts firma overnam, had General Electric ook langs andere, technische weg Hewitt zwaar onder druk weten te zetten. Dankzij onderzoek van Langmuir kon General Electric sinds 1913 gasgevulde (metaaldraad)gloeilampen produceren met een ongekend hoog rendement. De lamp in deze serie met het hoogste rendement verbruikte 0,5 W/kaars en werd bekend als de 'half-watt-lamp'. Dit betekende een viervoudige winst op kooldraadgloeilampen, zodat de lamp een schok binnen de markt voor elektrische verlichting teweegbracht. Dankzij het hoge rendement en de goede kleurweergave verdrongen de gasgevulde lampen niet alleen definitief bijna alle kooldraadgloeilampen, maar ook veel koolbooglampen en kwiklampen. Ook het onderzoek naar nieuwe kwiklampen kwam na 1913 praktisch stil te liggen: zo verschenen in de periode 1914-1935 minder dan vijf artikelen over lagedrukkwiklampen voor verlichtingsdoeleinden in het gezaghebbende Elektrotechnische Zeitschrift. Ook het feit dat uit interne verslagen van het Natuurkundig Laboratorium blijkt, dat in die tijd Philips bijna geen enkele poging ondernam om de Hewitt-lamp voor verlichting te verbeteren, moge dit nader illustreren. Na 1920 begaf Philips zich alleen op de markt van kwikontladingen voor ultraviolettoepassingen, kopieerdoeleinden en gelijk-

richting. Pas na 1935 verscheen de lagedrukkwiklamp voor algemene verlichtingsdoeleinden weer ten tonele, namelijk via de ontwikkeling van de fluorescentielamp, waarmee een 'droom' van veel verlichtingsdeskundigen in vervulling ging: een 'koude' lichtbron met hoog rendement en de kleur van zonlicht. Op de geschiedenis daarvan zullen we in hoofdstuk VII verder ingaan.

§5. Kwikbuizen bedreven op hoogspanning, 'neonbuizen' van Claude.

De latere ontwikkeling van fluorescentiebuizen berustte niet alleen op de kwiklampen voor laagspanning van Hewitt, maar eveneens, en misschien wel meer, op de neonlampen van G. Claude uit 1910, die op hoogspanning funktioneerden (TL-lampen heten in de Duitse volksmond bijvoorbeeld: 'Neonlichte'). Claude maakte dankbaar gebruik van de eerder ontwikkelde hoogspanningsbuizen van D. McFarlan Moore, een vroegere medewerker van Edison. Moore werkte al sinds 1891 aan gasontladingslampen, waarbij hij zijn doelstelling ontleende aan ongenoegen over de met kooldraadgloeilampen bereikbare normen voor de beoordelingskriteria 'omvang', 'temperatuur' en 'kleur van licht': hij vond kooldraadgloeilampen "too small, too hot and too red" en stelde zich ten doel een koude en efficiënte lichtbron met daglichtkleur te maken.[53] In 1894 verliet hij General Electric, waarin inmiddels alle Edison-maatschappijen waren opgegaan, om zijn eigen Moore Electric Company en Moore Light Company op te richten.

Moore poogde het principe van de Geissler-buizen toe te passen voor commerciële verlichting. Deze buizen bevatten twee elektroden en een gas onder zeer lage druk. Onder invloed van een hoge spanning ontstaat in het gas een glimontlading, waarvan meestal de positieve zuil en soms het negatieve glimlicht als lichtbron dienst doet (vergelijk figuur 4.8). Deze buizen zijn symmetrisch en, in tegenstelling tot Hewitts lampen, geschikt voor directe aansluiting op wisselspanning. Reeds een jaar na de oprichting van zijn beide firma's kon Moore het publiek zijn eerste lampen tonen. Deze waren gevuld met CO<sub>2</sub>, hadden een goede kleurweergave en een redelijk rendement. Alleen de levensduur vormde een probleem, omdat zich uit het CO<sub>2</sub> een neerslag van koolstof vormde en de gasdruk daardoor snel afnam. Het

beoordelingskriterium	bereikte norm	opmerking
1. aansluitspanning	2 à 5.10 <sup>4</sup> V ac	grootste probleem voor algemene verlichting
2. stroom	± 0,3 A	
3. afmetingen:		
- lengte	20 tot 200 m	in willekeurige vorm tebuigen
- diameter	± 5 cm	
4. specifiek vermogen:		
- CO <sub>2</sub> -vulling	> 4 W/kaars	
- N <sub>2</sub> -vulling	> 1,5 W/kaars	
5. kleur van het licht:		
- CO <sub>2</sub> -vulling	daglichtkleur	ideale kleurweergave
- N <sub>2</sub> -vulling	oranjeachtig	
6. oppervlaktehelderheid	± 0,1 kaars/cm <sup>2</sup>	geen verblinding
7. levensduur bij		
- CO <sub>2</sub> -vulling	2000 uur	bijvulling mogelijk; lamp ging jaren mee
- N <sub>2</sub> -vulling	1000 uur	
8. temperatuur	laag	
9. druk	± 0,1 mm kwikdruk	
10. arbeidsfaktor	< 0,85	
11. ontsteking	probleemloos	automatisch door hoge wisselsp.
12. prijs	hoog	
13. onderhoudskosten	laag	

Tabel 6.3 Kenmerken van commerciële Moore-lampen. [54]

duurde tien jaar, voordat Moore met zijn eerste commerciële lamp verscheen (1904). Deze bevatte lucht in plaats van CO<sub>2</sub>, omdat hij de problemen daarmee nog steeds niet had opgelost. Enige jaren nadien kwam Moore alsnog met CO<sub>2</sub>-buizen op de markt, nadat hij een ingenieus systeem had uitgevonden om het teloor gegane CO<sub>2</sub> automatisch bij te vullen en de gasdruk konstant te houden. Zijn buizen, die bekend werden als 'Moore-buizen', hadden de kenmerken, zoals samengevat in tabel 6.3.

Uit tabel 6.3 wordt duidelijk, dat Moore met zijn CO<sub>2</sub>-gasontladingsbuizen de door hem geformuleerde problemen van de kooldraad-gloeilampen had overwonnen. Zijn buizen vertoonden een superieure

kleurkwaliteit. De Amerikaan W. E. Wickenden roemde de Moore-buis in 1910 vanwege zijn kleurweergave, "in which it stands alone among modern illuminants".[55] In tegenstelling tot de lagedrukkwiklampen kwam de ontlading in Moore-buizen eenvoudig tot stand: de noodzakelijk aanwezig zijnde hoge spanning was daarvoor voldoende. Andere voordelen waren de lage oppervlaktehelderheid, de grote levensduur en de lage onderhoudskosten.

De buizen hadden echter ook duidelijke tekortkomingen ten opzichte van andere kunstmatige lichtbronnen. Zo was het rendement van een CO<sub>2</sub>-buis weliswaar vergelijkbaar met dat van een kooldraadgloeilamp, maar ook reeds vóór de uitvinding van de halfwatt-lamp toch twee tot drie keer zo laag als van metaaldraadgloeilampen. Ten opzichte van Hewitts kwiklampen bedroeg het verschil zelfs een faktor acht. Voorts waren de buizen bijzonder lang en moesten ze worden gevoed met zeer hoge spanningen van enkele tienduizenden Volt.[56] Vooral deze laatste eigenschap vormde een grote belemmering voor veel toepassingen, zodat de buizen alleen voor zeer speciale doeleinden, zoals reclame en decoratie, werden gebruikt. Ook de relatief lage arbeidsfaktor van 0,85 of lager stond grootschalige toepassing in de weg. Moore onderging hetzelfde lot als Hewitt. Zijn buizen moesten het afleggen tegen de snelle ontwikkelingen in de metaaldraadgloeilampen en hij zag zich genoodzaakt in 1912 zijn beide firma's aan General Electric te verkopen. Zelf kreeg hij de gelegenheid bij General Electric in het laboratorium terug te keren.[57]

Het principe van de Moore-buizen ging echter niet ter ziele. Terwijl Moore nog bezig was in zijn eigen firma's, experimenteerde de Franse chemikus Claude met soortgelijke buizen gevuld met neon en helium. Volgens H. E. Watson ontleende hij het idee om neon voor verlichtingsdoeleinden te gebruiken hoogstwaarschijnlijk aan zijn vriend W. Ramsay, de Britse chemikus die in 1898 neon had ontdekt.[58] Claudes ervaring lag niet in de kunstverlichting, maar in de destillatie van zuurstof en stikstof uit lucht. Deze ervaring lag wel ten grondslag aan de nieuwe richting die hij insloeg: rond 1908 lukte het hem ook neon op economisch verantwoorde schaal uit lucht te destilleren. Vervolgens deed hij twee belangrijke uitvindingen, die noodzakelijk waren om neonbuizen te kunnen produceren. Aller-



eerst ontdekte hij dat hij verontreinigingen in neongas kon wegnemen met behulp van houtskool. Zo verkreeg hij zeer zuiver neon, hetgeen nodig was om te voorkomen, dat de ontlading niet in neon, maar in een van de verontreinigingsgassen plaatsvond. Ten tweede ontdekte hij, dat het noodzakelijk was om de verstuiving - desintegratie door ionenbombardement - van de elektroden tegen te gaan. Deed hij dat niet, dan werd het neongas te snel verontreinigd en daalde de levensduur van de lamp sterk. Daarom introduceerde hij een grote elektrode met een lage stroomdichtheid. Hij verkreeg een octrooi op toepassen van een elektrode met een oppervlakte van tenminste  $1,5 \text{ dm}^2/\text{A}$ , dat zo algemeen geformuleerd was, dat hij daarmee langdurig concurrenten op een afstand wist te houden.[59]

Hij demonstreerde zijn buizen voor het eerst in 1910 in het Grand Palais te Parijs, waarna zijn lampen op de markt kwamen voor reclameverlichting en decoratie. De belangrijkste redenen daarvoor waren het relatief hoge rendement (ongeveer  $0,5 \text{ W/kaars}$  of  $20 \text{ lm/W}$ ) en de lagere spanningen dan bij Moore-buizen met gelijke lengte noodzakelijk waren (zie tabel 6.4). Door verschillende gassen te gebruiken kon Claude de kleur variëren. Vanaf ongeveer 1912 produceerde hij ook een variant met kwikdamp, die een witachtige kleur had en die enige opgang deed als winkel- en restaurantverlichting.[60]

Technisch gesproken waren er twee belangrijke verschillen met de kwiklampen van Hewitt, waardoor de kwikbuizen van Claude andere normen voor de verschillende beoordelingskriteria bereikten. Ten eerste bestond de kathode niet uit een kwikplas, maar had de buis twee identieke ijzeren elektroden, waardoor de lamp direkt op de steeds meer gangbare wisselspanning was aan te sluiten. Ten tweede was de buis extra gevuld met neongas ter ontsteking van de kwikontlading. In het neon kon bij lagere spanning de ontsteking op gang komen, waarna na verloop van tijd de kwikdamp de ontlading overnam. Dit was een zeer belangrijke, en nadien veelvuldig in gasontladingslampen toegepaste uitvinding, die proefondervindelijk tot stand was gekomen: een atomaire verklaring voor dit verschijnsel had Claude in 1914 nog niet.[61]

De ontsteking van Claudes kwikbuizen was probleemloos in vergelijking met die van de kwikbuizen van Hewitt. Zij hadden in verge-

beoordelingskriterium	bereikte norm	opmerking
1. aansluitspanning	enkele duizenden V	1/3 van Moore- buizen
2. stroom	0,1-1 A	
3. afmetingen:		
- lengte	tot 35 m	in willekeurige vorm te buigen
- diameter	tot 4,5 cm	
4. specifiek vermogen:		
- neon	0,5-0,65 W/kaars	
- neon/kwik	0,8 W/kaars	
5. lichtstroom	< 200 kaars/m	
6. kleur van het licht:		
- neon	oranje	
- neon/helium	geelachtig	
- neon/helium/krypton	'zonlichtkleur'	
- neon/kwik	'witachtig'	
7. oppervlaktehelderheid	< 0,15 kaars/cm <sup>2</sup>	geen verblinding
8. levensduur	2000 uur	
9. druk	+ 1 mm kwikdruk	
10. arbeidsfaktor	0,85-0,90	
11. ontstekingswijze	probleemloos	automatisch dankzij hoge wisselspanning
12. prijs	hoog	

Tabel 6.4 Kenmerken van Claudes neonbuizen.[62]

lijking daarmee echter ook nadelen. Het rendement was lager (0,8 W/kaars) en de aansluitspanning was vanwege de glimontlading enkele duizenden Volt, terwijl de Hewitt-lampen op netspanning konden branden. Bovendien moesten Claudes buizen lang zijn om de elektrodenverliezen relatief laag te houden.[63] Daarom waren zij ongeschikt voor algemene verlichting. Daarentegen waren zij zeer geschikt voor reclamedoeleinden, mede omdat de de glasbuis, waarin zich de ontlading bevond, in elke vorm - bijvoorbeeld in die van een letter - kon worden gebogen.

Gedurende de Eerste Wereldoorlog bood Claude General Electric voor een bedrag van \$ 5.000.000,- de exclusieve licentierechten voor de gehele Amerikaanse markt aan. General Electric sloeg dit aanbod af, omdat het bedrijf zich sterk waande door de nieuwe gasgevulde gloeilampen en voor de lampen van Claude geen grote markt zag wegge-

legd. Claude profiteerde door deze misrekening van General Electric later zelf van de Amerikaanse markt via de oprichting van Claude Neon Lights, Inc. in de Verenigde Staten. Zijn sterke positie ontleende de firma vooral aan het reeds genoemde octrooi op de elektroden, dat stand hield tot de verloopdatum in 1932.[64] In de Verenigde Staten kwamen de buizen voor het eerst in 1924 op de markt.[65]

Over de positie van neonbuizen op de markt van verlichting bestonden aanvankelijk geen grote verschillen van inzicht. De buizen werden alleen geschikt geacht voor speciale doeleinden en niet gezien als grote konkurrent van de gloeilamp. Men zag de buizen als verlichting voor reclame- en dekoratiedoeleinden. Omdat zij bovendien voor de meeste lampenfabrikanten geen grote commerciële waarde vertegenwoordigden, werden zij expliciet buiten de afspraken van het in 1924 opgerichte Phoebus-kartel gehouden.[66] Dit kartel werd opgericht door de leidende gloeilampenfabrikanten - Claude was bijvoorbeeld geen partij bij de overeenkomst - en voorzag in intensieve samenwerking bij de produktie en de verkoop van lampen. Daaronder viel onder meer de plicht tot informatieverstrekking over nieuwe lampen en produktietechnieken, het verstrekken van licentierechten en het toestaan van bezoeken aan elkaars fabrieken en laboratoria.[67]

Ondanks de kleine markt die in die tijd nog met neonbuizen was gemoeid, was ook Philips kort voor de totstandkoming van Phoebus gestart met de produktie en verkoop van deze lampen.[68] Philips sloot daartoe op 26 februari 1924 een licentieovereenkomst met Claude, die na de verstrijksdatum van 31 december 1930 niet werd verlengd, omdat Philips daarin "geen enkel voordeel" meer zag.[69] Daarentegen groeide de markt kennelijk gestaag, want rond 1930 bespraken Philips en Osram tijdens bilateraal overleg opnieuw het probleem van de positie van neonbuizen in Phoebus. Beide firma's waren voorstander van opname in de Phoebus-overeenkomst, omdat bleek dat "Neonverlichting steeds meer veld wint en dat het gevaar, dat Neon ook voor gewone verlichting zal worden toegepast, allerminst denkbeeldig is".[70] Vooruitlopend op een beslissing van de betreffende Phoebus-organen besloten Philips en Osram hun neon-belangen te bundelen. Daartoe richtten zij tezamen op 15 maart 1931 de Osram Philips Neon Aktien-

gesellschaft (Ophinag) op. Daarbij bleek het moeilijk neonbuizen exakt te omschrijven. Osram en Philips vonden elkaar op een omschrijving, waarin centraal stond, dat neonbuizen gasontladingsbuizen zijn, bedoeld voor specifieke toepassingen in reclame, decoratie, verlichting in de luchtvaart en de scheepvaart. De afbakening tot andere lichtbronnen werd dus gedeeltelijk bepaald door het verschil in functie: neonbuizen waren niet zozeer bedoeld om andere objecten te verlichten, als wel om zelf te worden opgemerkt.[71] Sindsdien trad Ophinag op voor Philips en Osram. Zo sloot Ophinag namens beide bedrijven in 1933 een nieuw kontrakt met Claude op het terrein van de neonverlichting.[72]

Na 1930 bleven de gasontladingslampen de gemoederen van de Phoebus-leden bezighouden. In 1935 werd via een scheidsgerecht officieel vastgesteld, dat de sterk in opkomst zijnde natrium- en hogedrukkwiklampen onder de bepalingen van Phoebus zouden vallen; ook toen werden neonbuizen nog expliciet buiten de overeenkomst gehouden.[73] Toen in 1938 de eerste fluorescentiebuizen, die - zoals we nog zullen zien - in technisch opzicht moeilijk van neonbuizen zijn te onderscheiden, voor algemene verlichting op de markt kwamen, werd dit probleem echter opnieuw urgent. Phoebus stelde toen hiervoor een aparte kommissie in, maar die is er, voor zover valt na te gaan, niet in geslaagd deze zaak te regelen vóór het uitbreken van de Tweede Wereldoorlog en de daarmee samenhangende ondergang van Phoebus.[74]

#### §6. 'Blauwe lichtbuizen' van Philips.

Zecher was in 1924 de eerste die zich in het Natuurkundig Laboratorium van Philips met kwikbuizen met neon als ontstekingsgas - door Philips 'blauwe lichtbuizen' genoemd - bezighield.[75] Hij kon daarbij gebruik maken van vroegere ervaringen van Philips met neonglimlampjes, die het bedrijf wellicht reeds sinds 1917 produceerde.[76] In glimlampjes vindt eveneens een glimontlading plaats; de ontladingsbaan is echter zo kort gemaakt, dat er geen positieve zuil optreedt en alleen het negatieve glimlicht als lichtbron dient. Zij branden op een lagere spanning (netspanning) en hebben een ge-

ring rendement. Omdat ze echter weinig vermogen verbruiken (enkele Watt) en de oppervlaktehelderheid voldoende is om hen goed waar te nemen, zijn zij zeer geschikt als indikatielampjes. Proeven met deze glimlampjes behoorden tot de eerste gasontladingsexperimenten van Holst in 1920. Philips verkreeg op basis van deze onderzoeken verscheidene octrooien, bijvoorbeeld betrekking hebbend op de vermindering van het zwart worden van de glaswand ten gevolge van kathodeverstuving, verwijdering van verontreinigingsgassen met behulp van fosfor en verlaging van de ontsteekspanning door gebruik te maken van kathodematerialen met een geringe uittreepotentiaal - toen nog 'Richardson-constante' genoemd.[77]

Via de interne verslagen van het Natuurkundig Laboratorium, die Zecher en andere Philips' medewerkers schreven, hebben we een unieke gelegenheid om een gedetailleerd beeld te krijgen van het werk van fysici in een op toepassingen gerichte kontekst. Daarom zullen wij het werk van enkele Natuurkundig Laboratorium medewerkers aan 'blauwe lichtbuizen' uitgebreid de revue laten passeren. Van belang daarbij is te beseffen, dat het beeld dat uit de interne verslagen naar voren komt, niet noodzakelijkerwijs een direkte afspiegeling hoeft te vormen van het werk, dat de fysici in de laboratoriumruimte verrichtten. Het geeft een beeld van hetgeen onderzoekers van belang achtten om de directie van het Natuurkundig Laboratorium te melden op basis van hun onderzoek. In die zin vormen interne verslagen een neerslag van de informatie die paste in een laboratorium-kultuur, waarin een zekere druk op het produceren van artefakten bestond. Desondanks zullen we deze verslagen als de meest betrouwbare bron voor een beschrijving van het onderzoek gebruiken en trachten daarmee een dieper inzicht te verwerven in de relatie tussen wetenschappelijke kennis en de ontwikkeling van artefakten. Vooral zal aan de orde worden gesteld, welke betekenis de begrippen 'normen' en 'beoordelingskriteria' daarin hebben, die, zoals in het voorgaande werd getoond, zo'n belangrijke rol spelen in de presentatie van (nieuwe) artefakten aan het publiek.

De fysikus Zecher - het is eerder gezegd - werd door Philips in 1924 aangenomen om gasontladingsprodukten te maken. Tot zijn vertrek in 1939 richtte hij zich inderdaad bijna uitsluitend op die taak.

Geen van zijn interne verslagen of externe publikaties was sterk theoriegeladen, in die zin dat hij atomaire verklaringen voor zijn resultaten poogde te geven. Zijn werk kenmerkte zich door het zoeken naar verbanden tussen verscheidene beoordelingskriteria van buizen, zoals de buisdiameter, de dampdruk en de stroomsterkte. Te oordelen naar zijn verslagen gebeurde dat op zeer empirische wijze.

Zijn eerste proeven met 'blauwe lichtbuizen' dateren van november 1924. De buizen waren gemaakt volgens de methode van Claude. Het probleem was dat ze niet altijd blauw brandden, dat wil zeggen dat soms het kwik niet werd aangeslagen. Proeven toonden aan dat dat werd veroorzaakt door te sterke afkoeling onder bepaalde weersomstandigheden. Daardoor kwam de buis niet op de gewenste temperatuur en bleef de dampdruk van het kwik te laag. De oplossing van het probleem zocht Zecher in zodanige verandering van enkele variabelen, dat het kwik bij een lagere buitentemperatuur zou kunnen verdampen en worden aangeslagen. Drie wegen konden volgens Zecher worden bewandeld om kwikdamp bij een lagere temperatuur te laten aanslaan: vergroting van de diameter van de buis, verhoging van de totale druk van het vulgas en de kwikdamp of verlaging van de stroomsterkte [N. B. wellicht betreft deze laatste maatregel een schrijffout, want verhoging van de stroomsterkte is efficiënter]. Of Zecher precies wist waarom deze wijzigingen het gewenste resultaat dichterbij brachten, is niet uit zijn verslag af te leiden. Het lijkt alsof zijn kennis vooral proefondervindelijk van aard was. Hij maakte een buis met een diameter van 16-18 mm (wijdere buizen konden de glasblazers toen nog niet tot letters verwerken) en hij verhoogde de neondruk van 8 tot 20 mm kwikdruk. Deze buis kwam als 'blauwbuis 1925' op de markt, maar voldeed, zoals al was gevreesd, niet in de winter. [78]

In november 1925 vervolgde Zecher daarom zijn proefnemingen via een andere weg. Reeds in 1924 was hem gebleken, dat het toevoegen van argon een zeer gunstig effect had op de ontsteekspanning. Het grote probleem was toen echter om argon voldoende zuiver te krijgen. Door de verontreinigingen die met het argon in de buis kwamen, ontstond een lelijke lichtkleur. Het jaar daarop slaagden Holst en J. Bruynes er echter in dit probleem op te lossen - waarschijnlijk

door magnesium aan de elektroden toe te voegen, dat de laatste verontreinigingen wegnam. Philips kon daardoor in 1926 met een blauwe lichtbuis op de markt komen, die tot  $-12,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  buitentemperatuur nog goed blauw brandde. Zoals echter zo vaak gebeurt in de techniek, leidde de oplossing van het ene probleem ook hier tot de introductie van een ander: de brandspanning van de buizen met argon en neon bleek sterker van de temperatuur af te hangen dan die van buizen zonder argon.[79] Dit euvel noopte Zecher tot nieuwe onderzoekingen omtrent de preciese gevolgen van argon-toevoeging.

In dit vervolgonderzoek mat Zecher de invloed van de variabelen argon-percentages, gasdruk en buitentemperatuur op de beoordelingskriteria: spanning, lichtsterkte, levensduur, kleur van het licht en glaswandtemperatuur van de buis. Ook bij dit onderzoek valt op, hoe empirisch Zecher te werk ging: zuiver op basis van waargenomen veranderingen in de bereikte normen van de beoordelingskriteria, konkludeerde hij dat een totaalruimte van 20 mm kwik en een argon-percentages van 10 % het meest gunstig zou zijn. Van elke theoretische verklaring hield hij zich verre.[80]

Deze houding staat in scherp contrast tot die van Penning, die enige jaren later bij dit onderzoek werd betrokken. Aanleiding daartoe vormde een - niet nader te achterhalen - oktroomkwestie, waardoor Penning moest onderzoeken of argon door krypton kon worden vervangen, zonder dat de kleur bij  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  zou omslaan naar rood.[81] Proefondervindelijk kwam hij tot de konklusie, dat de buizen ook met krypton-vulling tot  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$  blauw bleven branden. Interessant is echter dat Penning zijn meetopstelling tevens gebruikte om meer gegevens te verzamelen omtrent een meer theoretisch probleem en daaraan het grootste gedeelte van zijn verslag wijdde. In zijn eigen woorden: "Nu deze buizen toch beschikbaar waren, werd tevens getracht door spectraalopnamen iets naders te weten te komen omtrent de manier waarop de kwikatomen in blauwe lichtbuizen worden aangeslagen".[82] Hij onderzocht daartoe de spektra van de positieve zuil in mengsels van neon-argon, neon-argon-kwik, neon-krypton-kwik en neon-kwik bij  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  en  $19\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Vergelijking van de verschillende meetresultaten deden hem konkluderen, dat in waarschijnlijk al deze gevallen de kwikatomen rechtstreeks door elektronen worden aangeslagen en bij

19 °C ook rechtstreeks door elektronen worden geïoniseerd.[83]

Enige jaren later, in 1933, zette Penning dit onderzoek voort. Toen concentreerde hij zich op de invloed van 10 % argon-toevoeging op de intensiteit van de groene spektraallijn van kwik (546,1 nm), welke minder dan 10 % bleek te zijn.[84] De resultaten van deze beide onderzoekingen bewerkte hij tot een publikatie voor het tijdschrift Physica, het Nederlandse vakblad voor de natuurkunde.[85] In deze publikatie ondersteunde hij zijn bevindingen met kwalitatieve atomaire beschouwingen. In zijn interne verslagen van het Natuurkundig Laboratorium waagde hij zich bovendien aan een ruwe kwantitatieve ondersteuning, maar de resultaten daarvan publiceerde hij niet. Opmerkelijk is dat hij deze publikatie afsloot met de opmerking, dat hij een deel van zijn resultaten reeds in 1930 klaar had gehad, maar deze "vanwege externe oorzaken" niet eerder had kunnen publiceren.[86] We mogen aannemen dat de eerder genoemde octrooikwestie hierbij een rol heeft gespeeld.

Deze octrooikwestie nam overigens gedurende verscheidene jaren onderzoektijd van enkele onderzoekers in het Natuurkundig Laboratorium in beslag. Naast Zecher en Penning waren W. H. van de Sande Bakhuyzen, Bruynes en Oosterhuis in de jaren 1933 - 1935 betrokken bij metingen betreffende de invloed van argon-toevoeging op de spanningen die bij de 'blauwe lichtbuis' van belang waren: de ontsteekspanning, de transformatorspanning nodig voor het rustig branden en de brandspanning van de buis. Het bleek dat alle relevante spanningen door argon-toevoeging werden verlaagd, zij het dat de ene meer daalde dan de andere.[87] Opvallend is dat alleen in die onderzoekingen, waarbij Penning was betrokken, pogingen werden gedaan om een kwalitatief atomaire verklaring te geven voor de waargenomen verschijnselen.

Een belangrijke andere methode om de relevante spanningen te verlagen, werd in die tijd eveneens door Zecher onderzocht. Hij bracht gloeikathoden aan in de buis in plaats van de gebruikelijke koude ijzeren elektroden. Met gloeikathoden verdwijnt de grote kathodeval van de glimontlading, waardoor de totale spanningsval over de buis aanzienlijk daalt. In 1931 konkludeerde Zecher dat het mogelijk was gloeikathoden toe te passen in standaardreklameletters van



35 cm hoogte met een aansluitspanning van 380 V ac, een spanning die van een normaal 220 V ac driefasennet kan worden afgenomen, zodat geen hoogspanningstransformator meer nodig was. Hij ontdekte tevens dat het vermogen dat voorheen in de kathodeval verloren ging (11 W) bijna gelijk was aan het verlies in de gloeikathoden (12 W), zodat het totale rendement van de nieuwe buis ongeveer gelijk bleef. De nieuwe buis was wel duurder dan de oude vanwege de speciale laag waarmee de kathoden waren bedekt.[88] Deze lampen vonden toepassing als bakens voor vliegvelden en vliegroutes, alsmede bij bestralingsproeven van plantenkulturen.[89]

Het onderzoek aan de ontsteek- en brandspanning van blauwe lichtbuizen in het Natuurkundig Laboratorium liep tot 1935. Daarna verschenen geen interne verslagen meer over dit onderwerp. De aandacht verschoof naar verhoging van het rendement door gebruik te maken van fluorescerend glas of van fluorescerende stoffen op de glaswand. Zecher startte hiermee in oktober 1933.[90] Hij was echter geenszins de eerste die in deze richting zocht, zoals in het volgende hoofdstuk zal blijken.

### §7. Konklusies.

Terugblikkend op de hier beschreven geschiedenis van de ontwikkeling van lagedrukkwiklampen tot 1940 valt allereerst op, dat de meeste en wellicht zelfs alle betrokkenen een opleiding in het hoger onderwijs hadden gevolgd. Hewitt had een ingenieursopleiding genoten, Claude was een chemikus en de meeste anderen waren fysici. Enerzijds is dat niet vreemd: in de wetenschappelijke gemeenschap bevond zich veel expertise op het gebied van gasontladingsbuizen- en verschijnselen, zoals we in hoofdstuk IV hebben gezien. Anderzijds dringt zich hierdoor sterk de vraag op, wat de betekenis hiervan is. Volgt hieruit dat het maken van een ontladingsbuis zonder kennis uit de wetenschappelijke gemeenschap nauwelijks mogelijk was? En volgt daaruit dat daarom de afstand tussen toenmalige fysische kennis en de ontwikkeling van gasontladingsbuizen klein was? Zonder deze vragen met een volmondig "ja" te willen beantwoorden, kan worden gesteld dat de kennis over de konstruktie van ontladingsbuizen en over

de door verschillende elementen uitgezonden spektra, die binnen de wetenschappelijke gemeenschap aanwezig was, noodzakelijke kennis was voor diegenen die een gasontladingsbuis voor verlichting wilden ontwerpen. In die zin was de afstand tussen wetenschappelijke kennis en toepassing klein. In de vorige eeuw kwam daar nog een sociaal element bij: de genoemde onderzoekers Way, Rapieff en Arons werkten alle drie in een wetenschappelijke omgeving. Hewitt was de eerste onderzoeker die zich expliciet richtte op het ontwerpen van een kwiklamp voor de verlichtingsmarkt en die in het bedrijfsleven werkte. Zonder zich met zijn nieuw verworven kennis in de fysische gemeenschap te presenteren, slaagde hij in zijn doelstelling. Zijn werkwijze was echter niet scherp te onderscheiden van die van andere wetenschappers die aan de orde zijn geweest: net als bijvoorbeeld Arons zocht hij op systematische wijze naar de samenhang tussen een aantal van belangzijnde beoordelingskriteria. Zijn doelstelling was echter anders, zodat hij in andere normen was geïnteresseerd. Hewitt wilde bijvoorbeeld een langdurig stabiele ontlading met een zo hoog mogelijk lichtrendement bewerkstelligen. Arons streefde een andere doelstelling na, omdat hij was geïnteresseerd in een apparaat dat een zo rijk mogelijk stralingspektrum (ook in het niet zichtbare gedeelte van het spektrum) uitzond. Hieruit volgt dat de factoren die bij de ontwikkeling van de lamp van Hewitt en het apparaat van Arons van invloed zijn geweest, kunnen worden beschreven in termen van wensen en eisen ten aanzien van de normen van beoordelingskriteria.

De werkwijze van Zecher kwam sterk met die van Hewitt overeen: zonder naar theoretische verklaringen te zoeken, bracht hij via systematisch onderzoek de relaties tussen verscheidene beoordelingskriteria in kaart met als doel nieuwe lampen te ontwikkelen. Het werk van Weintraub aan het begin van deze eeuw en van Penning in de jaren twintig en dertig vormen een contrast hiertoe. Zij poogden beide niet alleen relevante kennis voor lampen te ontwikkelen, maar tevens in de fysische gemeenschap een rol te spelen. Hoe was zo iets mogelijk? De meest in het oog springende reden waarom zij een dubbelrol konden vervullen, is dat zij in staat bleken verschijnselen in kwiklampen in de toen gangbare fysische taal te vertalen en aldus ook voor andere fysici interessante verhandelingen te publiceren.

Penning onderzocht bijvoorbeeld de botsingsprocessen in een bepaald soort kwiklamp en kon daarna uitspraken doen in termen van aanslag en ionisatie ten gevolge van verschillende soorten interacties in de ontlading. Aan een toepassing ontleende hij dus kennis die voor gasontladingsfysici relevant was. Andersom kan echter niet worden gesteld, dat nieuwe fysische kennis, bijvoorbeeld omtrent de bouw van atomen (de kwantumtheorie), grote invloed heeft uitgeoefend op de ontwikkeling van nieuwe kwiklampen. Of dit bij de totstandkoming van latere kwiklampen, zoals de fluorescentielampen, wel het geval is geweest, komt in het volgende hoofdstuk aan de orde.



HOOFDSTUK VII. LAGEDRUKKWIKLAMPEN MET FLUORESCENTIEPOEDERS

TOT 1940.

§1. Inleiding.

In het vorige hoofdstuk hebben we gezien, dat bij de ontwikkeling van lagedrukkwiklampen tot het begin van de jaren dertig niet sterk gebruik werd gemaakt van de nieuwe kennis die in de eerste decennia van deze eeuw ten aanzien van de atoombouw en gasontladingsprocessen tot stand kwam. Wel gaf de kennis over gasontladingsprocessen en over de konstruktie van gasontladingsbuizen uit de vorige eeuw belangrijke impulsen aan de ontwikkeling van kwiklampen. In de loop van de jaren dertig van deze eeuw slaagden verscheidene laboratoria van lampenfabrikanten erin met lagedrukkwiklampen hogere rendementen en een betere kleurweergave te realiseren. Zij brachten daartoe fluorescentiepoeders op de binnenzijde van de glaswand aan, die de overvloedig aanwezige ultraviolette straling omzette in zichtbare straling. Fluorescentiestraling is een van de vormen van luminescentiestraling, dat al dié energie-omzettingen naar straling omvat, waarbij de oorzaak niet is gelegen in onderlinge botsingen van atomen, molekulen, ionen en elektronen als gevolg van een hoge temperatuur. Van fluorescentie wordt gesproken, als de vrijkomende straling het gevolg is van extern op een materiaal of gas invallende straling, zoals ultraviolette straling of röntgenstraling. Een speciale vorm van fluorescentie betreft fosforescentie, waarbij nagloeien van de straling uitzendende materie optreedt, ook als de bron van excitatie wordt weggenomen. Voor stoffen die een fluorescerende of fosforescerende werking hebben wordt vaak de naam 'fosforen' gebruikt. Deze naam is afgeleid van het element 'fosfor', dat deze eigenschap sterk vertoont. Niet alle fosforen bevatten echter fosfor! Naast fluorescentie en fosforescentie onderscheidt men nog elektroluminescentie en chemieluminescentie. Bij elektroluminescen-

tie wordt de straling veroorzaakt door de door een elektrisch veld teweeggebrachte aanslag van de atomen of molekulen. Chemieluminescentie omvat tenslotte al dié vormen van stralingsopwekking, waarbij de energie via een chemische reactie wordt aangevoerd.

Dit hoofdstuk beschrijft de vroege geschiedenis, tot ongeveer 1940, van het onderzoek naar en de ontwikkeling van fluorescentielampen waarin gebruik werd gemaakt van een lagedrukkwikontlading (in Nederland worden deze lampen 'TL-lampen' genoemd). Speciale aandacht gaat daarbij uit naar de bijdragen van de onderzoekers van het Natuurkundig Laboratorium van Philips, omdat van hun werk omvangrijke bedrijfsarchieven beschikbaar waren en daarmee de aard van toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek diepgaand kon worden onderzocht. Om de bijdragen van de Philips' medewerkers in het juiste perspectief te plaatsen, wordt uitgebreid ingegaan op de belangrijkste onderzoekingen die, voordat Philips hiermee begon, in Frankrijk en de Verenigde Staten werden verricht.

De structuur van dit hoofdstuk is als volgt. Paragraaf 2 gaat in op luminescentieonderzoek tot ongeveer 1920. Hierin worden enkele belangrijke momenten uit de geschiedenis van fluorescentieonderzoek beschreven. Paragraaf 3 beschrijft het onderzoek dat in de jaren twintig en dertig in Frankrijk en de Verenigde Staten werd verricht en dat leidde tot op hoogspanning bedreven fluorescentielampen. In paragraaf 4 komt aan de orde hoe de Amerikaanse firma General Electric, gestimuleerd door onder meer de ontwikkelingen in Frankrijk, in de jaren dertig in enkele jaren tijd de eerste fluorescentielamp bedreven op laagspanning produktierijp wist te maken. De verwoede pogingen van Hygrade Sylvania Corporation om een zo groot mogelijk deel van de Amerikaanse markt voor fluorescentielampen te veroveren, zijn onderwerp van paragraaf 5. In de daarop volgende paragraaf (§6) wordt uitvoerig stilgestaan bij de ontwikkeling van fluorescentielampen in het Natuurkundig Laboratorium van Philips. In de laatste paragraaf (§7) wordt teruggekeken op de in dit hoofdstuk beschreven geschiedenis, waarbij vooral zal worden geanalyseerd hoe de relatie was tussen de ontwikkeling van fluorescentielampen en (nieuwe) wetenschappelijke kennis.

§2. Fluorescentieonderzoek tot 1920.

Een van de eerste onderzoekers die op systematische wijze fluorescentieverschijnselen bestudeerde was G. G. Stokes. Stokes introduceerde ook het begrip 'fluorescentie', afgeleid van het mineraal fluoriet, dat dit verschijnsel zeer sterk vertoont. In 1852 formuleerde hij op basis van zijn onderzoekingen de naar hem vernoemde wet, dat straling van een bepaalde golflengte via fluorescentie slechts kan worden omgezet in straling van een grotere golflengte.

De Fransman A. E. Becquerel beschreef als eerste proeven met fluorescentiematerialen in gasontladingsbuizen (1859). Hij fabriceerde buizen, waarin verschillende van deze materialen in poeder- of korrelvorm voorkwamen en waarin een gasontlading plaatsvond onder lage druk (1 à 2 mm kwikdruk). Hij suggereerde als eerste een dun laagje van deze materialen aan de binnenzijde van zo'n buis aan te brengen, maar bracht dit idee niet in praktijk. Zijn landgenoot deBoisbandron deed een dertigtal jaren later (1886) een belangrijke ontdekking, namelijk dat in de meeste gevallen zeer geringe hoeveelheden verontreinigingen nodig zijn om een materiaal fluorescerend te maken.[1] Getuige de reeds genoemde 'fluorescentielamp' van Edison uit 1896 kunnen we aannemen, dat reeds in de vorige eeuw bepaalde verwachtingen bestonden omtrent de toepasbaarheid van fluorescentie voor verlichtingsdoeleinden (zie hoofdstuk VI §2).

Kort na de eeuwwisseling werden in verschillende landen proeven genomen om fluorescentielampen voor verlichting te ontwikkelen. Vaak werden ultraviolette stralen voor de excitatie gebruikt, maar soms ook röntgenstralen of kathodestrallen (bundels snelle elektronen). In de Verenigde Staten beschreef Steinmetz van General Electric in 1902 lampen die aan de buitenzijde met fluorescentiestoffen waren bedekt. Twee jaar later experimenteerde J. A. Fleming met glas, waarin uraniumverbindingen waren meegesmolten. In Frankrijk herleefde rond 1910 het oude idee van Becquerel om fluorescentiepoeders aan de binnenzijde van een gasontladingsbuis aan te brengen. In dat jaar kregen E. Urbain, Feige en C. Scal een octrooi op een Geissler-buis - de buis die ook aan de lampen van Moore en Claude ten grondslag had gelegen - inwendig bedekt met een fosforescerend sulfide. In

diezelfde tijd onderzocht ook W. S. Andrews, die net als Steinmetz bij General Electric werkte, deze optie. Hij verrichtte hieraan jarenlang onderzoek en zou in 1912 een "excellent working model of our present-day fluorescent lighting tube" hebben gehad.[2] Net als alle andere fluorescentielampen uit die tijd was deze lamp voorzien van koude kathoden en dus van het hoogspanningstype. Ondanks verscheidene toegekende octrooien, kwamen deze lampen echter geen van alle op de markt, onder meer doordat de rendementen als te laag werden beoordeeld.[3]

### §3. Fluorescentielampen op hoogspanning.

In de jaren twintig kwamen de belangrijkste vorderingen op het gebied van hoogspanningsfluorescentielampen uit Frankrijk. Dit is niet verwonderlijk, omdat daar ook de bakermat lag van de hoogspanningsneonbuizen van Claude en Franse onderzoekers daarom gewend waren aan het gebruik van hoogspanning voor verlichtingsdoeleinden. De Fransen richtten hun aandacht dan ook vooral op problemen betrekking hebbend op de fluorescentiepoeders en niet zozeer op het verlagen van de aansluitspanning. Buizen waren eenvoudig beschikbaar in de vorm van Claudes neonbuizen, al dan niet gevuld met kwik. J. Risler beschreef in 1923 buizen die aan de buitenzijde waren bedekt met zinksulfide.[4] Twee jaar nadien volgde van hem een octrooiaanvraag (toegekend in 1926) op een buis, die inwendig was bedekt met fluorescentiemateriaal en die was voorzien van extern verhitte kathoden. Hij was daarmee, voorzover bekend, de eerste die octrooi verkreeg op een fluorescentiebuis die door gebruik van verhitte kathoden op een relatief lage spanning kon branden, al is onbekend hoe laag de aansluitspanning was. Deze ontwikkeling kreeg in Frankrijk echter op dat moment geen sterke aandacht, waarschijnlijk omdat men daar gewend was aan het werken met koude kathoden en de verhitte kathoden nog lang niet produktierijp waren. Men bestudeerde vooral de fluorescentiepoeders, die in de buizen van Risler teveel licht absorbeerden en waaruit dampen vrijkwamen die het vakuumpompen hinderden en die nadien tijdens het gebruik de gasdruk teveel beïnvloedden. Nog in de loop van de jaren twintig werd dit euvel echter overwonnen



en verschenen de eerste hoogspanningsfluorescentiebuizen met verschillende kleuren op de markt. Zij vonden vooral toepassing in reclameverlichting.[5]

Grootschaliger werd het gebruik van hoogspanningsfluorescentiebuizen pas in 1933, toen Claude deze eveneens ging produceren. Zelfs algemene verlichting kwam steeds dichterbij: met behulp van een combinatie van een neonbuis en een groene fluorescentiebuis was het mogelijk een daarvoor geschikte lichtbron samen te stellen. De grootste tekortkoming van de toen gebruikte fosforen was het gebrek aan rode lijnen in het uitgezonden spektrum. Intensief zochten Claude en zijn medewerkers daarom naar geschikte fosforen. Na enkele jaren slaagden zij erin door enkele fosforen te mengen een redelijke lichtkleur te verkrijgen, zodat de firma Claude in 1936 publiekelijk haar eerste 'witte' fluorescentiebuis kon tonen.[6]

Uit het standpunt van reclame en decoratie vormde de hoogspanningsfluorescentiebuis een belangrijke stap vooruit. Uitgedrukt met behulp van beoordelingskriteria luidde de belangrijkste doelstelling voor deze toepassingen als volgt: "In this field, the requirements are that the tubes themselves shall give attractive new colours or tints at high efficiency".[7] Voor gebruik als bron voor algemene verlichting moest de buis echter aan andere voorwaarden voldoen. Vooral de kleur van het licht werd daarvoor nog als groot probleem ervaren: deze was nog niet 'wit' genoeg. Na 1936 volgden dan ook vooral verbeteringen ten aanzien van de norm voor de kleur. Het rendement was toen al zodanig vergroot, dat het boven het niveau van de beste gloeilampen uitstak. Zo was het rendement van de in 1935 door Claude Neon Lights in de Verenigde Staten uitgebrachte 'Lumophor'-buis, die groen licht gaf, reeds 60 lm/W. De levensduur van deze buizen was vergelijkbaar met die van hoogspanningsbuizen zonder fluorescentiepoeders - 3000 à 4000 uur - zodat ook deze norm niet als probleem werd ervaren.[8] De buizen vonden al gauw toepassing voor binnenverlichting, zij het alleen daar waar de noodzakelijke hoogspanning niet al te problematisch was, zoals in winkels en showrooms. Tabel 7.1 toont voor enkele beoordelingskriteria de normen die met typische hoogspanningsfluorescentielampen aan het eind van de jaren dertig konden worden bereikt.

beoordelingskriterium	bereikte norm	opmerking
1. rendement bij:		
- blauw	20-25 lm/W	vulling: kwikdamp
- groen	45-60 lm/W	vulling: kwikdamp
- 'orchid'	20-25 lm/W	vulling: kwikdamp
- warm wit	30-35 lm/W	vulling: kwikdamp
- koud wit	30-35 lm/W	vulling: kwikdamp
- geel	18-20 lm/W	vulling: kwikdamp
- rose	15-20 lm/W	vulling: kwikdamp
- goud	12-16 lm/W	vulling: neongas
- 'Salmon'	12-16 lm/W	vulling: neongas
- rose	12-16 lm/W	vulling: neongas
2. diameter	8-35 mm	
3. stroom	12-500 mA	
4. aansluitspanning	1000-15.000 V	
5. vermogen	1,5-75 W/m	
6. arbeidsfaktor:		
- zonder capaciteit	0,50	vermoedelijk inkl. lektransformator
- met capaciteit	0,90	

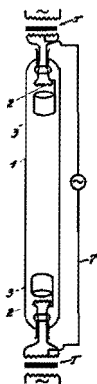
**Tabel 7.1 Kenmerken van typische hoogspanningsfluorescentielampen anno 1938 ('Zeon-buis', VS) [McDermott (1938)].**

Feitelijk was er maar één beoordelingskriterium, waarvan de bereikte norm voor zeer grootschalige toepassingen als problematisch werd ervaren: de aansluitspanning. Deze was zo hoog, dat op veel plaatsen (bijvoorbeeld binnenshuis) de veiligheid in gevaar zou kunnen komen. Bovendien vereisten deze buizen de installatie van grote en dure transformatoren. Daarom was al gedurende langere tijd voor de meeste toepassingen de gewenste norm voor de aansluitspanning van lichtbronnen gelijk aan de netspanning (in de meeste landen 110 of 220 V ac).

**§4. Fluorescentiebuisen op laagspanning van General Electric en Westinghouse.**

De Fransen richtten hun aandacht, zoals wij in de vorige paragraaf hebben gezien, vooral op de ontwikkeling van fluorescentiebui-

zen bedreven met hoogspanning. Bijdragen voor buizen op laagspanning kwamen in hoofdzaak uit andere landen. In Duitsland vroegen F. Meyer, H. J. Spanner en E. Germer in december 1926 octrooi aan op een laagspanningsgasontladingsbuis, die in hun ogen met fluorescentiepoeders geschikt zou zijn voor reclamedoeleinden. Op dezelfde uitvinding vroegen ze in de loop van een jaar daarna in verscheidene landen, waaronder de Verenigde Staten, octrooi aan (figuur 7.1). [9]



- 1 - ontladingsbuis
- 2 - gloeikathoden
- 3 - hulpelektroden
- T - transformator

Figuur 7.1 Laagspanningsgasontladingsbuis van Meyer,  
Spanner en Germer met gloeikathoden (1926)  
[Amerikaans octrooischrift 2.182.732].

De drie uitvinders, die werkzaam waren bij de Berlijnse firma 'Rectron', waren er net als de in de vorige paragraaf genoemde Risler in geslaagd buizen te voorzien van gloeikathoden, waardoor de kathodeval aanzienlijk wordt verlaagd en aansluiting op de netspanning mogelijk werd. Het is onbekend of zij zelf na de octrooiaanvragen nog pogingen hebben ondernomen om laagspanningsfluorescentielampen fabrikagerijp te maken. [10] Het is evenmin bekend of ze zelf veel met fluorescentiestoffen hebben gewerkt. Wel duidelijk is dat Spanner en Germer zich nadien grotendeels op de ontwikkeling van hogedrukkwiklampen hebben toegelegd, zoals nog zal blijken in hoofdstuk VIII. Kort na de Amerikaanse aanvraag werden de octrooirechten, die pas op 5 december 1939 (!) werden toegekend, verkocht aan de Amerikaanse firma 'Electrons, Inc.' Bij General Electric was aanvankelijk niemand op de hoogte van deze octrooiaanvraag. Pas zes maan-

den na het verschijnen van General Electric's eerste laagspannings-fluorescentielampen in april 1938 hoorden medewerkers voor het eerst van het bestaan daarvan. Voor alle zekerheid kocht General Electric de rechten toen voor \$ 180.000,- van Electrons, dat er wellicht niet rouwig om was, omdat het al tien jaar tevergeefs had geprobeerd de octrooirechten te krijgen.[11]

Aangezien het octrooi van Meyer, Spanner en Germer bij General Electric onbekend was, heeft het daar op de ontwikkeling van laagspanningsfluorescentielampen geen invloed kunnen uit oefenen. Dat gold wel voor de Franse ontwikkelingen. In 1926 waren deze aanleiding voor het researchlaboratorium te Schenectady om proeven te nemen met gloeikathoden in neonbuizen met kwikdamp, voorzien van zinksilicaat aan de binnenzijde van de buis. De onderzoekers gebruikten een stroom van 3 A en maten daarbij een dermate laag rendement, dat ze de proefnemingen staakten. Achteraf gezien misten zij toen net de ontdekking van een belangrijke wetmatigheid, namelijk dat de opwekking van de door de kwikdamp geleverde ultraviolette straling, die door zinksilicaat in groen licht wordt omgezet, reeds bij lage stroomdichtheid een maximum bereikt en bij toenemende stroomdichtheid zelfs enigszins daalt. Door het gebruik van een grote stroom overheerste de aanslag van de rood-oranje neonlijnen, waardoor het groene fluorescentielicht onvoldoende tot zijn recht kwam. Lagere stroomdichtheden of een ander startgas dan neon hadden deze wetmatigheid reeds toen kunnen openbaren.[12]

Met een ander onderzoek in de jaren twintig in Schenectady had General Electric echter onbedoeld meer geluk voor de latere ontwikkeling van de laagspanningsfluorescentielampen. A. W. Hull, werkzaam aan verschillende gasontladingsartefakten, paste in 1927 in een buis met gloeikathoden gasdrukken van enkele micro- tot enkele millimeters kwikdruk toe om hogere rendementen en langere levensduren te verkrijgen. Zijn octrooiaanvraag van oktober 1927 claimde vooral toepasbaarheid van deze lage drukken in gelijkrichters, maar sprak zijdelings ook over gasontladingslampen. Het in januari 1931 hierop toegekende octrooi bleek General Electric later een stevige basis te geven in octrooigeschillen, die al snel na de introductie van hun eerste fluorescentielampen ontstonden.[13]

Tot 1933 lag het werk aan fluorescentielampen bij General Electric stil. Een niet onbelangrijke faktor daarin zal zijn geweest, dat tussen General Electric en Claude Neon Lights een ongeschreven herenakkoord bestond, waarin was afgesproken dat de laatstgenoemde zich met zijn neonbuizen alleen op de markt voor buitenverlichting zou begeven en de eerstgenoemde deze markt niet zou verstoren.[14] Aangezien voor binnenverlichting laagspanningsbuizen vereist waren en de eerste kortstondige proeven daarmee in 1926 niet hoopgevend waren geweest, is het niet verwonderlijk, dat het laboratorium te Schenectady daaraan geen aandacht meer had geschonken.

De situatie veranderde in 1933 na een bezoek van W. L. Enfield, hoofd van de lampenontwikkelingsafdeling van General Electric, aan Parijs, waar hij onder de indruk raakte van de Franse hoogspannings-fluorescentielampen. Na zijn terugkeer besprak hij de eventuele mogelijkheden om gestandaardiseerde fluorescentielampen te fabriceren. Voor hem en zijn kollega's was de Franse ontwikkelingslijn wat dat betreft problematisch: de Fransen zouden lange buizen nodig hebben, die voor elke situatie opnieuw zouden moeten worden ontworpen. Dat paste geenszins in de bedrijfskultuur van General Electric, die werd bepaald door massaproductie van gestandaardiseerde goederen. Aangezien General Electric zich verder alleen voor de markt van binnenverlichting interesseerde, behoeft het geen verbazing, dat het doel een "uniform, easily replaceable lamp suitable for low-voltage operation" zou moeten zijn.[15] De lampenontwikkelingsafdeling begon echter niet direkt met de verwezenlijking van deze doelstelling. Dat gebeurde pas een jaar nadien, nadat Enfield van A. H. Compton, adviseur van General Electric, een brief uit Groot Brittannië had ontvangen. Deze brief, waarin Compton op basis van grote rendementsverbeteringen van fluorescentielampen door de Britse General Electric Company voorspelde, dat deze lampen dé verlichting van de toekomst zouden vormen, gaf waarschijnlijk de doorslag voor Enfield om niet langer te wachten.[16] Desondanks begon hij voorzichtig: hij zette eerst één man aan het werk om te onderzoeken of de norm van het beoordelingskriterium 'aansluitspanning' kon worden verlaagd naar de netspanning.[17]

Deze eis bracht veel problemen met zich mee. Allereerst was het

een open vraag, welk gas of welke damp het meest geschikt zou zijn voor de excitatie van de fluorescentiestof. Na experimenten met verschillende gassen en dampen werd duidelijk, dat een ontlading in kwik onder zeer lage druk het meest geschikt zou zijn om een hoog rendement te verkrijgen.[18] Bekend was dat de meeste fosforen door ultraviolette straling worden aangeslagen en het bleek dat in een kwikontlading bij een dampdruk van ongeveer 0,005 à 0,01 mm kwikdruk - juist drukken die onder het octrooi van Hull vielen! - ongeveer 60 % van de toegevoerde energie wordt omgezet in ultraviolette straling met een golflengte van 253,7 nm. De wandtemperatuur van de buis waarbij dit zeer hoge percentage kan worden bereikt, strekt zich uit van 35 - 45 °C, waardoor tevens het aloude ideaal van de lampenontwikkelaars - een koude, hoog efficiënte witte lichtbron - een stap dichterbij kwam. Daardoor verschoof de aandacht met betrekking tot het rendement van de excitatiebron naar het rendement van de te gebruiken fosforen. Immers toen werd de vraag: welke fosfor zet een golflengte van 253,7 nm zo efficiënt mogelijk om in zichtbare straling?

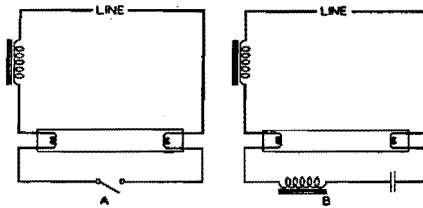
Aangezien normale glassoorten ultraviolette straling van deze golflengte niet doorlaten, moesten de fosforen aan de binnenzijde van de buis worden aangebracht. Zij moesten daarom aan de volgende extra eisen voldoen: ze moesten de door de kwikontlading opgewekte zichtbare straling zoveel mogelijk doorlaten, zo weinig mogelijk door kwik en door de ontlading worden aangetast, in een uniforme laag op de glaswand kunnen worden aangebracht en een enigszins fosforescerend karakter hebben om flikkeren van het licht te reduceren. Aanvankelijk werd alleen met natuurlijke fosforen gewerkt, zoals zinksilicaat en calciumwolframaat, maar gedurende de jaren dertig brachten deze vereisten grootschalige onderzoeken naar geschikte synthetische fosforen met zich mee. Synthetische fosforen hebben als voordeel, dat daarmee de rendementen van de stralingsomzetting nog aanzienlijk kunnen worden verhoogd, omdat men tijdens het fabricageproces de samenstelling, bijvoorbeeld met betrekking tot de noodzakelijke verontreiniging in de kristalstructuur, nauwkeurig kan beïnvloeden. Tijdens het eerste jaar van de proeven in het ontwikkelingslaboratorium van General Electric werd daaraan echter nog niet

gedacht. Men testte eenvoudig op basis van 'trial and error' "every available natural material".[19] Een van de onderzoekers zou zelfs 60.000 verschillende mineralen hebben onderzocht om een rood fluorescerende fosfor te vinden.[20] L. J. Buttolph, werkzaam bij de General Electric Vapour Lamp Co. - de opvolger van de Cooper Hewitt Electric Co. - schreef in 1936 dat het aanbrengen van de fluorescentiematerialen nog de meeste problemen gaf: "As a matter of fact, nearly the whole development problem of the lamp centers around the manner of applying materials".[21]

Wellicht is deze uitspraak enigszins overdreven. Immers met de eis van laagspanning als belangrijkste criterium waren niet zozeer de fosforen, als wel de te gebruiken kathoden het hoofdprobleem. Bij General Electric testte men aanvankelijk koude kathoden, maar deze bleken ongeschikt te zijn.[22] Om bij lagere spanning hetzelfde vermogen per centimeter buislengte te kunnen dissiperen, moet namelijk de stroomsterkte worden opgevoerd, maar daardoor neemt de kathodeverstuiving sterk toe en stijgt bovendien de kathodeval. Daarom moest men kathoden ontwikkelen die bij een sterke elektronenemissie een aanzienlijke verlaging van de kathodeval met zich zouden meebrengen. Volgens de beschikbare bronnen vormde dit het enige probleem, waarvoor het ontwikkelingslaboratorium te Nela Park assistentie vroeg van het researchlaboratorium te Schenectady. De kathode die uiteindelijk werd ontwikkeld was van het zogenaamde 'Wehnelt-type', die twee vormen kent. De eerste is de 'oxydkathode', bestaande uit een metaal bedekt met een metaaloxohuidje en gekenmerkt door een lage uittreepotentiaal. Deze kathode wordt door de ontlading zelf verhit. De tweede is de 'gloeikathode' die door een aparte aansluiting op de omlaag getransformeerde netspanning extern wordt verhit en daardoor sterk elektronen emitteert. De gloeikathode zorgt voor een niet-zelfstandige ontlading (zie hoofdstuk IV §4). Beide soorten kathoden zorgen voor een drastische verlaging van de kathodeval. Zonder in details te gaan, kan worden gezegd dat de ontwikkeling van de geschikte kathoden niet eenvoudig was: "The cathode caused a great deal of trouble".[23]

Een volgend probleem was het ontsteken van de ontlading. De in ontwikkeling zijnde lamp leek uiterlijk veel op hoogspanningsfluo-

rescentielampen en had daarmee duidelijk wortels in Claudes neonbuisen. Binnen de lamp was er echter één groot verschil: de stroom moest veel groter zijn. Daardoor hadden de processen in de buis meer overeenkomst met de lampen van Hewitt, waarvan de ontsteekproblemen reeds uitgebreid zijn beschreven. Deze worden veroorzaakt, doordat in koude toestand de ontsteekspanning vele malen hoger is dan de brandspanning. Bij een fluorescentielamp was de eerstgenoemde een faktor vier keer zo groot als de laatstgenoemde.[24] Met spanningspulsen en hulpelektroden kon dit verschil eventueel worden overbrugd, maar dan trad hevige verstuiving van de elektroden op, die de levensduur daarvan verkortte en zwart worden van de buis bij de elektroden veroorzaakte. Daarom ontwikkelde General Electric een ontstekingsmechanisme, waarbij de elektroden zodanig werden voorverhit, dat de kathodeval extra werd verlaagd en de ontsteking zelfs bij 115 Volt kon plaatsvinden. Omdat het Philips veel hoofdbreken kostte een ontstekingsmechanisme te ontwikkelen dat werd gedekt door eigen octrooien, tonen we hier de verschillende oplossingen van General Electric volledig (figuur 7.2).



Figuur 7.2 Netwerken voor de ontsteking van de eerste fluorescentielampen van General Electric [Inman en Thayer (1938), fig. 5].

In het netwerk van figuur 7.2A worden de elektroden verhit, zodra de schakelaar wordt gesloten. Indien na enkele seconden de schakelaar wordt geopend, ontstaat door inductie een spanningspiek over de buis, waardoor de ontlading ontsteekt. Een variant hierop is een vibrerende schakelaar (figuur 7.2B). Zodra de spanning wordt aangezet, worden de elektroden verhit door een stroom die voornamelijk



door de zelfinductie en de capaciteit vloeit. Als de elektroden zo warm zijn geworden, dat de ontsteking plaatsvindt, is de impedantie van de buis veel kleiner dan van het parallelle netwerk, zodat daarvoor nauwelijks meer stroom loopt. De extra inductie en capaciteit in figuur 7.2B zorgen tezamen zowel voor een extra hoge spanningspiek, als voor voorverhitting van de elektroden.

beoordelingskriterium	bereikte normen			
1. aansluitspanning	115 V	115 V	115 V	220 V
2. lampspanning	63 V	50 V	65 V	115 V
3. stroom	0,27 A	0,33 A	0,35 A	0,30 A
4. vermogen	15 W	15 W	20 W	30 W
5. afmeting				
- lengte	45 cm	45 cm	60 cm	90 cm
- diameter	2,5 cm	3,8 cm	3,8 cm	2,5 cm
6. rendement:				
- gelig wit	30 lm/W	30 lm/W	32 lm/W	35 lm/W
- daglicht	30 lm/W	30 lm/W	32 lm/W	35 lm/W
- blauw	18 lm/W	18 lm/W	19 lm/W	21 lm/W
- groen	60 lm/W	60 lm/W	65 lm/W	70 lm/W
- rose	20 lm/W	20 lm/W	22 lm/W	24 lm/W
- goud	18 lm/W	18 lm/W	19 lm/W	21 lm/W
- rood	3 lm/W	3 lm/W	3 lm/W	3 lm/W
7. opp. helderheid:	(in kaars/cm <sup>2</sup> ; cijfers anno 1942):			
- daglicht	0,6	0,4	0,5	0,8
- blauw	0,4	0,3	0,3	0,5
- groen	1,1	0,7	0,8	1,3
- rose	0,4	0,2	0,3	0,4
- goud	0,6	0,3	0,3	0,5
- rood	0,05	0,04	0,04	0,07
8. prijs:				
- gelig wit	\$ 1,50	\$ 1,50		\$ 2,00
- daglicht	\$ 1,50	\$ 1,50		\$ 2,00
9. invloed netspanningsvariaties	relatief gering			
10. levensduur	1000 uur			
11. wandtemperatuur	± 40 °C			
12. druk van:				
- kwikdamp	0,005 - 0,039 mm			
- argongas	3 - 4 mm			
13. arbeidsfaktor	0,57			
14. lichtstabiliteit	geringe flikkering, afh. van fosfor			

Tabel 7.2 Kenmerken van eerste vier laagspanningsfluorescentielampen van General Electric, april 1938. [25]

Reeds in september 1935, krap een jaar na de eerste onderzoeken, toonde General Electric zijn eerste laagspanningsfluorescentielampen in het openbaar, namelijk tijdens een bijeenkomst van de Illuminating Engineering Society in Cincinnati (Ohio). Tijdens de honderdste geboortedag van het Amerikaanse octrooibureau (23 november 1936) werden zij voor het eerst buiten General Electric gebruikt. Het duurde echter nog tot april 1938, alvorens ze vrijelijk te koop waren.[26] Toen kwamen General Electric en Westinghouse, dat sinds 1935 met General Electric had meegewerkt aan de ontwikkeling van de lampen, tezamen met vier verschillende fluorescentielampen in zeven verschillende kleuren op de markt.[27] De kenmerken daarvan zijn samengevat in tabel 7.2. De levensduur van deze eerste lampen werd geschat op 1000 uur. Anders dan bij gloeilampen, waarbij de levensduur als functie van de aansluitspanning nauwkeurig is vast te leggen, was dit getal echter niet meer dan een zeer globale indicatie. De levensduur werd vooral beperkt door het aantal malen aan- en uitschakelen, omdat de kathodeverstuiving daarmee direkt samenhangt. Bij gering aantal malen schakelen brandden de buizen vele duizenden uren en nam alleen het rendement af door achteruitgang van de kwaliteit van de fosforen.

De eerste lampen hadden met hun inductieve voorschakeltoestel een arbeidsfaktor van  $\pm 0,6$ . Toen zij in de loop van 1939 grootschalige toepassing begonnen te vinden, was dat aanleiding voor de elektriciteitsmaatschappijen bezwaar aan te tekenen. Immers om bij zo'n lage arbeidsfaktor bij eenzelfde spanning (netspanning) een even groot vermogen in deze lampen te dissiperen als in gloeilampen, zou een veel grotere stroom nodig zijn.[28] Het perspectief voor de elektriciteitsmaatschappijen was daarom de noodzaak van aanzienlijk meer of dikkere kabels bij gelijkblijvend vermogensverbruik. Dit was voor hen weinig aantrekkelijk, zodat de lampenfabrikanten werden gedwongen de arbeidsfaktor te verhogen tot  $\pm 0,9$ . Met een capaciteit over de lampaansluitingen of via gebruik van twee buizen met tegengestelde faseverschuiving tussen stroom en spanning in één armatuur kon dit probleem in principe eenvoudig worden opgelost.[29] Het gebruik van een capaciteit parallel aan de netspanning introduceerde echter een nieuw probleem: een aanzienlijk percentage derde harmoni-

sche, hetgeen onaangenaam was voor de elektriciteitsmaatschappijen.

Toen General Electric in april 1938 tezamen met Westinghouse de produktie begon van de eerste fluorescentielampen, bestond er nog onzekerheid over het functioneren daarvan in de praktijk. Liever hadden beide firma's het tijdstip van de introductie verlaat, maar de organisatoren van de wereldtentoonstelling te New York en San Francisco (1939) dwongen hen tot een vroegtijdige introductie. Zij dreigden namelijk tijdens de daarop vooruit lopende tentoonstelling in 1938 hoogspanningsfluorescentielampen uit Europa ten toon te stellen, indien General Electric en Westinghouse niet met hun nieuwe buizen over de brug zouden komen.[30] De aldaar tentoongestelde buizen dienden vooral decoratieve doeleinden. Dit paste in het (voorzichtige) bedrijfsbeleid in de beginjaren van deze buizen. Alleen de technische staf zag de buizen als mogelijke vervangers voor gloeilampen. De bedrijfsleiding aarzelde echter of dat wel zou stroken met de gevestigde belangen met betrekking tot de gloeilampenfabrikage - beide firma's beheersten bijna 80 % van de Amerikaanse gloeilampenmarkt en hadden geen enkel belang bij ernstige verstoring daarvan.[31] Het was niet te voorzien of nieuwe lampen met hoog rendement en lange levensduur wel financieel voordelig zouden zijn. Bij de eerste publikaties over de buizen in 1936 werden zij daarom vooral gepresenteerd voor speciale doeleinden: "One of the principal applications of these lamps is for assembly into low-wattage lines of light for use in decorative and architectural lighting (.....) There should be a large field for these lamps in specialty lighting works".[32] Het beleid om deze buizen aldus aan het publiek te presenteren veranderde in 1938 niet direkt. Zo schreef General Electric Review in november van dat jaar: "The new lamps are for use primarily in decorative lighting because they produce colored light efficiently in a variety of interesting shades".[33] Voor zover de nieuwe lamp voor verlichting zou worden gebruikt, zou hij de gloeilamp nooit vervangen maar aanvullen, betoogde W. Harrison van General Electric in dezelfde maand. Volgens hem zou de lamp "undoubtedly" een verhoging van het lichtgebruik en niet een daling van het elektriciteitsverbruik tot gevolg hebben.[34]

§5. Marktinvloed van Hygrade Sylvania Corporation.

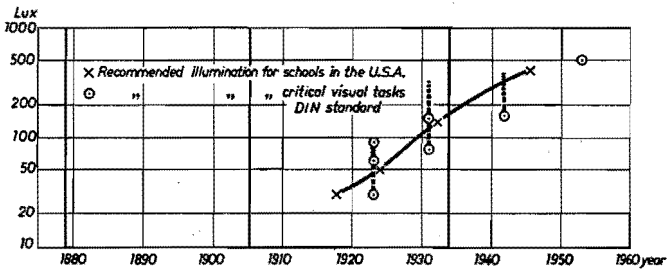
De in de vorige paragraaf besproken politiek kwam echter zeer spoedig ernstig onder druk te staan. In het najaar van 1938 bracht Hygrade Sylvania Corporation (in het vervolg kortweg 'Sylvania' genoemd) een soortgelijke serie fluorescentielampen in de handel als General Electric en Westinghouse eerder dat jaar hadden gedaan. Sylvania had al sinds 1931 ervaring opgedaan met fluorescentielampen. Het bedrijf ontwikkelde een methode om fluorescentiepoeders op de binnenwand van de buizen aan te brengen, die in elk geval rond 1950 nog steeds algemeen werd gebruikt. Het verwierf daarop een octrooi in 1937, dat overigens later sneuvelde tijdens de octrooistrijd met General Electric en Westinghouse.[35] In het begin van de jaren dertig waren de medewerkers van Sylvania er niet in geslaagd voldoende hoge levensduren te realiseren, zodat zij hun experimenten destijds hadden gestaakt. Toen General Electric en Westinghouse later echter vorderingen maakten met hun fluorescentielampen, nam Sylvania de draad weer op en maakte het die buizen min of meer na.[36]

Sylvania was op dat moment één van de zogenaamde 'B-licentees' van General Electric op het terrein van de gloeilampenverlichting. Via een licentiesysteem was bijna de gehele Amerikaanse gloeilampenmarkt verdeeld over verscheidene ondernemingen, waarbij de meeste firma's onder een A- of B-licentie van General Electric produceerden. Westinghouse had de enige A-licentie en daarmee het recht een redelijk fors quotum lampen te produceren, die bovendien de merknaam van General Electric - 'Mazda' - mochten dragen. Firma's met een B-licentie mochten slechts een geringer quotum lampen produceren, dat was vastgesteld als percentage van de omzet van General Electric. Zo mocht Sylvania maximaal 9,124 % van General Electric's gloeilampenomzet verkopen. Het is evident waarom Sylvania zich als belanghebbende op het gebied van fluorescentielampen meldde: het wilde af van de grote afhankelijkheid van General Electric en een eigen markt creëren. Om de kansen daarop te vergroten kocht het bijvoorbeeld twee van Raytheon Manufacturing Company - een producent van onder andere radiobuizen - afkomstige octrooien die betrekking hadden op gasontladingsprodukten.[37]

Sylvania viel niet zozeer op door zijn lampen, als wel door de agressieve verkoopkampanje. Vanaf het begin pogde het door te breken op de markt voor algemene verlichting. In zijn reclamekampanjes legde het daarom grote nadruk op het hoge rendement van de lampen, ofwel op 'dezelfde hoeveelheid licht voor minder geld'. Dit doorkruiste het voorzichtige marktbeleid van General Electric en Westinghouse, zodat zij zich genoodzaakt zagen over te gaan tot een verandering van strategie. Ook zij gingen meer nadruk leggen op het hoge rendement van de buizen.[38] Zo presenteerde General Electric Review van januari 1939 de lampen als een "a new era in artificial lighting" en "the greatest single development in light production in many years".[39] De nadruk werd daarbij vooral gelegd op de ongekend hoge rendementen bij elke gewenste kleurweergave en op het feit, dat de lamp met 'daglichtkleur' de beste benadering van daglicht vormde die ooit met kunstlicht was bereikt. Bovendien lag de nadruk voor toepassingen niet langer op decoratieve, maar op algemene verlichting.

De elektriciteitsmaatschappijen, die aanvankelijk niet veel aandacht aan de nieuwe lampen voor 'speciale' toepassingen hadden geschonken, raakten door deze kampanje gealarmeerd. Voor hen doemde het schrikbeeld op van een instortende markt voor de verkoop van elektriciteit. Een scherp konflikt was het gevolg. Omdat de elektriciteitsmaatschappijen echter al tientallen jaren voor de reclame en verkoop van de gloeilampen van General Electric en Westinghouse zorgden, hadden deze drie belanghebbenden voldoende redenen om de strijd niet te hoog te laten oplopen. In april 1939 belegden zij daarom een gemeenschappelijke konferentie. General Electric en Westinghouse kozen na afloop daarvan eieren voor hun geld en veranderden hun verkoopstrategie opnieuw. Daags na de konferentie, op 1 mei 1939, gaf General Electric een interne verklaring uit, waarin onder meer stond: "The fluorescent Mazda lamp should not be presented as a light source which will reduce lighting costs". En Westinghouse verklaarde: "We will oppose the use of fluorescent lamps to reduce wattages".[40] Inderdaad verschenen daarna advertenties en publicaties, waarin werd benadrukt, dat de lamp vooral geschikt was voor decoratieve doeleinden of als aanvulling op reeds bestaande verlich-

ting. In plaats van de nadruk te leggen op 'evenveel licht voor minder geld' werd deze nu op 'meer licht voor hetzelfde geld' gelegd - een campagne die uiteraard meer strookte met de belangen van de elektriciteitsbedrijven, maar die ook niet tegen die van de lampenproducenten zelf inging.



Figuur 7.3 Aanbevolen lichtsterkten in de loop van de tijd [Elenbaas (1959), fig. 11.lb].

De nieuwe reclamestrategie werd ondersteund met argumenten van een biologisch karakter: geredeneerd werd dat het menselijk oog door de evolutie het meest geschikt is geworden om zijn functie uit te oefenen bij licht met dezelfde spektrale samenstelling én dezelfde intensiteit als daglicht. Daarom werden in die tijd de aanbevolen lichtsterkten aanzienlijk verhoogd (figuur 7.3). In 1940 vatte O. P. Cleaver, hoofd van de verlichtingssectie van de commerciële ontwikkelingsafdeling van Westinghouse, de toen min of meer uitgekristalliseerde beleidslijn als volgt samen: "It is generally agreed that the new fluorescent lamp will not supplant all other light sources, but instead will supplement them, giving the illuminating engineer a further means of creating the high illuminations indoors which science indicates are needed for eyesight conservation".[41]

Met de overeenkomst tussen General Electric, Westinghouse en de elektriciteitsmaatschappijen in het voorjaar van 1939 was de rust op de verlichtingsmarkt echter nog niet volledig teruggekeerd. Sylvania was namelijk geen partij bij de overeenkomst geweest en trok zich daarvan dan ook niets aan. Het bedrijf bleef gericht op een zo groot mogelijk aandeel van de fluorescentielampenmarkt en schuwde daarvoor een blijvend agressieve campagne niet. Sylvania veroverde al gauw

een marktaandeel van bijna 20 % in de Verenigde Staten, waardoor ook General Electric en Westinghouse zich gedwongen zagen af en toe terug te vallen in het gewraakte reclamebeleid, waarin de nadruk lag op het hoge rendement van de nieuwe lampen.[42] Bovendien zagen zij zich genoodzaakt om via grootschalige produktie van betrekkelijk goedkope fluorescentielampen te voorkomen, dat 'outsiders' als Sylvania de gehele markt zouden veroveren. Hun officiële standpunt luidde daarom: "Als de gloeilampenfabrikanten niet tijdens het begin van deze ontwikkeling een beleid aannemen voor grootschalige produktie, met daaraan gekoppeld lage kosten, dan laten zij een markt open voor exploitatie door een veelheid van niet-gelicenceerde fabrikanten".[43] Mede door de agressieve verkoopkampanje van Sylvania werden de lampen boven iedere verwachting verkocht. Tot groot genoegen van de elektriciteitsmaatschappijen verminderde het totale afgenomen elektrische vermogen niet, omdat de lampen meestal, zoals gehoopt, ter verhoging van lichtniveaus werden gebruikt. Van enkele honderduizenden in 1938 groeide de verkoop via één à twee miljoen in 1939 en zes miljoen in 1940 naar eenentwintig miljoen in 1941.[44] In 1952 overtrof de verkoop zelfs die van gloeilampen en verkregen de fluorescentielampen een nog steeds bestaande voorsprong.[45] Een gedeeltelijke verklaring voor deze spektakulaire groei zou kunnen zijn, dat in de Verenigde Staten (net als overigens in Groot Britannië) de oorlogsindustrie op ruime schaal van deze lampen werd voorzien om 's nachts te kunnen doorwerken. Toen de mensen eenmaal waren gewend aan de hogere verlichtingsniveaus, zou het moeilijk zijn geweest deze na de oorlog weer terug te draaien.

#### §6. Philips en de ontwikkeling van laagspanningsfluorescentielampen.

##### Inleiding.

In de grote lijn van de ontwikkeling van de fluorescentielampen op laagspanning, zoals die in het voorgaande is beschreven, komt Philips niet voor. De historische literatuur geeft de meeste eer aan Risler en Claude en zijn medewerkers, alsmede aan Meijer, Spanner en Germer en de Amerikaanse firma's. Bestudering van de koncernarchie-

ven van Philips haalt dit beeld niet onderuit, nee, bevestigt het zelfs in hoofdlijnen. Zo schreef J. Deenen, lid van de Technische Directie van de Lichtgroep, in 1952 in een interne notitie aan Th. P. Tromp, lid van de Raad van Bestuur, bepaald denigrerend over de bijdrage van het Natuurkundig Laboratorium aan de ontwikkeling van de fluorescentielamp op laagspanning. In de notitie valt bijvoorbeeld te lezen, dat de Philips-lamp was 'gekopieerd' van General Electric. Deenen vroeg zich ook af: "Wat heeft het Nat. Lab. gepresteerd op fluorescentiepoeders? Zinkberylliumsilicaat hebben wij overgenomen van de General Electric, fosfaatpoeders van de Engelse General Electric. Hadden wij moeten wachten op het Nat. Lab.?" [46] De strekking van Deenens notitie - Philips heeft hiermee de markt gevolgd - lijkt mij juist. Desalniettemin is er lang in het Natuurkundig Laboratorium gewerkt aan fluorescentielampen.

Volgens C. Zwikker, van 1923 tot 1929 in dienst van het Natuurkundig Laboratorium en nadien hoogleraar te Delft, verwachtte Holst in theorie reeds lange tijd veel van toepassing van fluorescentie. [47] Reeds bij het begin van het onderzoek naar gasontladingen in 1917 zag Holst mogelijkheden voor fosforescentie via kathodestraalen. [48] Als voorbeeld noemde hij het gebruik van willemiet (zinksilicaat), een stof waarmee ook in de jaren dertig nog bij General Electric werd geëxperimenteerd in het kader van de ontwikkeling van de fluorescentielamp. [49] Holst werkte dit idee echter toen niet uit. Wel zou hij in de jaren twintig tegen een bezoeker van General Electric, G. Fonda, die binnentrad met de vraag: "hebben jullie de 100 lumen [per] Wattlamp al?", hebben geantwoord: "nee, dat gaat niet met gloeidraden; dan moet je nog even op fluorescentie wachten". [50]

De Groot vervaardigde in 1923 een hoogspanningsbuis uit groen fluorescerend uraanglas. De buis deed jarenlang dienst in een Philips' reclame te Eindhoven, maar zou verder weinig aandacht hebben getrokken, ook niet van de octrooiafdeling van Philips. [51] Later in de jaren twintig verrichtte ook Zecher enkele proeven met fluorescentie. Net als andere producenten van neonbuizen bracht Philips hoogspanningsfluorescentiebuizen in de handel. Deze buizen hadden zowel een fluorescerende glaswand als fluorescerende poeders. [52]



Philips bepaalde de nieuwe ontwikkelingen niet, maar volgde anderen, indien die interessante innovaties verrichtten. Daartoe hield het bedrijf zich goed op de hoogte van de nieuwste ontwikkelingen bij concurrenten. Zo ontving het in 1932 tenminste twee berichten over de fluorescentielampen, die Claude in dat jaar in Parijs had gedemonstreerd.[53] In die jaren verschenen verscheidene publikaties over nieuwe uitvindingen op het gebied van de verlichting met gasontladingen, waardoor zekere verwachtingen bij het publiek werden gewekt. Osram speelde daarop in door na het ontstaan van Ophinag bekend te maken, dat edelgasbuizen wellicht voor algemene verlichting toepassing zouden kunnen gaan vinden. Voor Philips was dat reden intern een waarschuwende notitie te verspreiden onder de werknemers die contacten onderhielden met de buitenwereld. Onder directeuren van elektriciteitsmaatschappijen was door de bekendmaking van Osram namelijk de indruk ontstaan, dat binnen korte tijd door gebruik van edelgasbuizen het stroomverbruik voor verlichting zou kunnen dalen tot  $1/4$  à  $1/3$  van de toenmalige waarde. Weliswaar waren er al wel laagspanningsneonbuizen op de markt, maar die scoorden nog te slecht op de beoordelingskriteria 'gebruikersvriendelijkheid' en 'kleur'. Ze waren namelijk voorzien van onhandige gloeistroomtransformatoren en smoorspoelen en hadden een veel te "geprononceerde" kleur. Het advies luidde dan ook: "U kunt daarom zulke geruchten (.....) gerust tegenspreken en verklaren dat, hoewel de gasontladingsbuis met edelgasvulling theoretisch een zeer volmaakte en efficiënte lichtbron kan zijn, de praktische verwezenlijking van dit ideaal nog zoover is, dat de gewone gloeilamp nog langen tijd de algemeene gebruikte lichtbron zal blijven".[54]

Toch waren deze ontwikkelingen voldoende aanleiding voor Philips om ook het Natuurkundig Laboratorium intensiever met dit thema aan de slag te laten gaan. Deze paragraaf gaat uitgebreid in op het werk van die onderzoekers in dit laboratorium die bij de ontwikkeling van deze fluorescentielampen waren betrokken. Om te aksentueren hoe sterk zij waren gericht op het realiseren van bepaalde normen van een grote verscheidenheid aan beoordelingskriteria, vormen de werkzaamheden met betrekking tot de van belangzijnde beoordelingskriteria de structuur van de navolgende beschrijving. In de periode 1933-

1939 verrichtte Zecher het leeuwendeel van de werkzaamheden aan laagspanningsfluorescentielampen in het Natuurkundig Laboratorium. In hoeverre hij reeds direkt in 1933 aan toepassing voor algemene verlichting dacht, is niet bekend. Enige tijd later legde hij daarop echter sterk de nadruk. Zo valt in een intern verslag van hem uit 1937 te lezen, dat hij had geprobeerd de lampen geschikt te maken voor "algemeene toepassing in de huiskamer".[55] Deze toepassing vormde dus het perspektief voor de fluorescentielamp en bepaalde, zoals we hieronder zullen zien, in grote trekken de gewenste normen van de belangrijkste beoordelingskriteria.

### Rendement en lichtopbrengst.

Zecher begon zijn onderzoek aan fluorescentielampen op laagspanning in oktober 1933. Zijn aandacht vestigde hij in eerste instantie op twee beoordelingskriteria: het rendement en de lichtstroom. Klaarblijkelijk waren dat de meest belangrijke criteria waarop een nieuwe lichtbron werd beoordeeld, alvorens in aanmerking te kunnen komen voor verder onderzoek (vergelijk ook de eerste proeven van General Electric in 1926, die werden gestaakt vanwege de lage rendementen). Zecher vergeleek de gemeten rendementen en lichtstromen expliciet met die van buizen zonder fluorescerende stoffen of glazen. Zij vormden dus zijn referentiepunt en bepaalden de ondergrens van hetgeen nog akseptabel was. Het rendement van normale kwikbuizen op hoogspanning kon hij met fluorescerend glas verhogen van 4 lm/W tot 8 lm/W bij een 'witte' kleur en tot 12 lm/W bij een andere kleur. Met 'wit' fluorescerende poeders verkreeg hij later zelfs 16 lm/W. Hij beproefde eveneens laagspanningsbuizen en konkludeerde: "Voor laagspanningsbuizen kan men in het gunstigste geval ca. 20 lm/W verwachten". Dat was een faktor vier hoger dan de waarde van laagspanningsbuizen zonder fluorescentie.[56]

Van groot belang is, dat Philips, afgezien van de fosforen en de fluorescerende glazen, technisch gezien relatief weinig behoefde te veranderen of bij te leren. Het bedrijf produceerde al jaren zowel hoogspannings- als laagspanningsbuizen voor verscheidene doeleinden. Deze funktioneerden bij lage temperatuur en produceerden reeds veel

van de gewenste ultraviolette straling, die als basis kon dienen voor fluorescentieverlichting. Zecher kon dan ook terecht schrijven: "De kwiklichtbuizen zooals voor reclamelicht gebruikelijk (.....) kunnen met fluoresceerende stoffen zonder eenige verandering der ontladingscondities gebruikt worden." [57] Te oordelen naar de onderzoekingen die hij aan fluorescentielampen uitvoerde, had deze konklusie ook betrekking op de elektroden. Waarschijnlijk had Zecher daarvoor met zijn vroegere onderzoekingen aan laagspanningsbuizen voor reklamedoeleinden (1932) reeds de principiële oplossing gevonden. Een opmerkelijk gegeven in dit verband is, dat Philips reeds in 1929 de (toekomstige) octrooirechten voor de gehele wereld met uitzondering van de Verenigde Staten op de eerder genoemde uitvinding van Meyer, Spanner en Germer had gekocht. Zoals in §4 is besproken, gingen de rechten voor de Verenigde Staten later naar General Electric. Philips kocht deze rechten in een periode, waarin de octrooi-procedure alleen was afgerond in België, Frankrijk, Hongarije, Spanje en Zwitserland. [58] In Nederland en Duitsland werden de betreffende octrooiaanvragen nooit ter inzage gelegd, hetgeen erop wijst, dat de aanvragen tuusentijds werden teruggetrokken (zonder tussenkomst van de aanvrager wordt zowel in Nederland als in Duitsland elke octrooiaanvraag ongeveer anderhalf jaar na de datum van eerste indiening voor het publiek ter inzage gelegd). [59] Waarom Philips dat heeft gedaan, is onbekend. Mogelijkerwijs zag Philips niet voldoende in deze uitvinding en trachtte het bedrijf met deze koop alleen potentiële octrooi-problemen te voorkomen. Net als bij General Electric speelde deze octrooirechten op de ontwikkeling van de fluorescentielamp bij Philips geen rol, ondanks dat Philips deze rechten dus al lang in zijn bezit had. Ook werden geen aanwijzingen gevonden, dat Philips met deze rechten later - aan het eind van de jaren dertig - nog heeft geprobeerd de concurrentie op enigerlei wijze een voet dwars te zetten.

Keren we terug naar het werk van Zecher, dan is te konstateren, dat hij geen problemen meer had met de gewenste brandspanning van 220 V ac. Hij kon al zijn aandacht besteden aan het verhogen van het rendement door de geschikte keuze uit fosforen en fluoresceerende glazen. Zijn werkwijze was daarbij identiek aan die van voorheen aan

'blauwe lichtbuizen': op basis van 'trial and error' beproefde hij vele stoffen en glazen, waarna hij de resultaten vergeleek met de klassieke niet-fluorescerende voorgangers. Drie verschillende opties legde hij in eerste instantie op tafel: fluorescentiepoeder met normaal glas, fluorescerend glas met fluorescentiepoeder én fluorescerend glas alleen. Rond 1936 ging zijn voorkeur duidelijk uit naar de laatstgenoemde optie: "Fabricatorisch zal men voor de eenvoud ernaar streven de poeders door fluorescerende glazen te vervangen".[60] De keus voor de meest geschikte lichtbron was dus nog niet gemaakt. Het was zelfs nog niet zeker of de lagedrukkwikbuis het niet zou afleggen tegen andere kwiklampen. Zo vergeleek hij de kleur en het rendement van vier kwikontladingslampen met elkaar: een lagedrukfluorescentielamp bedreven op hoge spanning, eenzelfde buis bedreven op netspanning, een superhagedrukkwiklamp met fluorescerende buitenballoon en een dampdruk van 20 atm en een superhagedrukkwiklamp met een dampdruk van 100 atm. De maximaal haalbare rendementen met deze vier lichtbronnen waren volgens Zecher respectievelijk 46 lm/W, 38,5 lm/W, 58,5 lm/W en 84,5 lm/W (alle exclusief verliezen in elektroden en voorschakelapparatuur), zodat wat dat betreft de superhagedrukkwiklamp van 100 atm veruit superieur was. Met betrekking tot de kleurweergave gekombineerd met het nettorendement scoorde de lagedrukkwiklamp bedreven op netspanning echter het hoogst: daarmee kon 'wit' licht worden verkregen bij een netto rendement van  $\pm 27$  lm/W.[61]

Was Zecher uit fabrikagetechnische overwegingen het meest gepoorterd voor fluorescentieglas alleen, vanwege het rendement gaf hij voorlopig de voorkeur aan de combinatie van fluorescerend poeder en fluorescerend glas. Hij ontdekte namelijk, dat de op de gebruikelijke wijze aangebrachte poeders nog ongeveer 50 % van de ultraviolette stralen doorlieten, terwijl fluorescerend glas deze stralen nog weer zou kunnen omzetten in licht. Vooral over een laagje calciumwolframaat ('210<sup>a</sup> blauw') op uraanglas was hij enthousiast.[62] In januari 1937 sloot hij zijn rendementsmetingen af. Het verkregen resultaat - 22 tot 30 lm/W inclusief het voorschakeltoestel - bevredigde hem. Mede op basis daarvan achtte hij toen de lamp rijp als "toepassing voor algemeene verlichting".[63]

Uit het werk van Zecher blijkt op geen enkele manier, dat hij hoe dan ook onder druk stond om beperkingen te introduceren aangaande de bovengrens van het rendement. Desondanks bestond ook in Europa, net als in de Verenigde Staten, in potentie een konflikt met de elektriciteitsmaatschappijen op dit punt. Reeds vermeld werd, hoe bevreesd de direktoren van deze maatschappijen dienaangaande op uitlatingen van Osram hadden gereageerd. Toen dan ook rond 1938 verscheidene lampenfabrikanten in Europa op het punt stonden fluorescentielampen met hoge rendementen uit te brengen, was de druk van de elektriciteitsbedrijven merkbaar tot in de direktiekamers. Zo stond op 4 oktober van dat jaar in een interne vergadering van Philips, waarbij vele van de belangrijkste medewerkers, zoals direktoren, medewerkers van de kommerciële afdeling en van het oktrooibureau, aanwezig waren, het punt "Samenwerking met Electriciteitsbedrijven" expliciet op de agenda. Tijdens de bijeenkomst werd met betrekking tot de introductie van fluorescentielampen besloten een strategie van "fair-play" ten opzichte van de elektriciteitsbedrijven te volgen. Vertaald in konkrete activiteiten betekende deze politiek, dat Philips hetzelfde beleid wilde hanteren, dat later (!), in april 1939, in de Verenigde Staten tussen General Electric, Westinghouse en de Amerikaanse elektriciteitsbedrijven werd overeengekomen: "Invoeren van fluore[s]centiebuizen zal bij voorkeur gepaard moeten gaan met het opvoeren van het lichtniveau, teneinde de medewerking van de Electriciteitsmaatschappijen te behouden, resp[ectievelijk] te verkrijgen". [64] Zo werd dus in Europa in een vroegtijdig stadium een konflikt hierover vermeden. Interessant is dat het potentiële konflikt over een nieuwe technisch realiseerbare norm van het beoordelingskriterium 'rendement' werd opgelost door een nieuwe norm voor een ander beoordelingskriterium, dat los stond van de lamp als zodanig, te bepleiten, namelijk het verlichtingsniveau van met kunstlicht verlichte ruimten. Met de elektriciteitsmaatschappijen wilde Philips samen gaan pleiten voor meer licht in dezelfde ruimte, onder het motto, dat men dan beter zou kunnen zien. Zodoende had het mogelijke konflikt geen direkte invloed op de technische eigenschappen en dus ook niet op de konstruktie van de lamp bij Philips.

Kleur.

Met het rendement en de lichtstroom behoort de kleur tot de meest belangrijke beoordelingskriteria van een lamp. De kleur bepaalt immers in hoge mate de toepassingsmogelijkheden. Uiteraard is dit verband niet direkt: bij een gele lamp met voldoende lichtstroom zou men in principe een boek kunnen lezen, zodat deze lamp voor algemene verlichting zou kunnen worden gebruikt. De kleur 'wit' - dat wil zeggen een spektrum korresponderend met dat van daglicht - is echter zo algemeen aanvaard voor een lamp voor algemene verlichting, dat deze norm nauwelijks meer onderhandelbaar lijkt te zijn.

Zolang gasontladingslampen de kleur van gloeilampen, waarvan de kleur destijds nog het meest met die van daglicht overeenkwam, niet konden evenaren, was de perceptie van de fabrikanten voor mogelijke toepassingen duidelijk: in dat geval waren de gasontladingslampen alleen geschikt voor speciale doeleinden. Reeds vermeld werd, dat neonbuizen in 1924 mede daarom buiten de bepalingen van Phoebus werden gehouden. Binnen de bedrijven zelf werd deze visie vooral door commerciële medewerkers gedragen. Zo herinnerde Zwikker zich later uit de jaren twintig van Philips: "(.....) de officiële mensen kon je (.....) alleen maar motiveren door te zeggen dat het een reclamelamp was".[65]

Het toepassen van gasontladingslampen voor algemene verlichting hield voor Philips een bepaald risico in, vooral als deze uit de neonverlichting zouden worden ontwikkeld, omdat deze verlichtingssoort niet onder de Phoebus-bepalingen viel. Zoals gezegd waren de ontwikkelingen in neonbuizen rond 1930 al aanleiding tot zorg voor Philips. De vrees voor vorderingen op het gebied van de kleur van het licht zal zeker mede oorzaak zijn geweest voor deze zorg.

Het heeft er daarentegen alle schijn van, dat de onderzoekers van het Natuurkundig Laboratorium zich geen zorgen maakten over het verkrijgen van de kleur 'wit'. Eerder lijkt het tegendeel het geval te zijn geweest: Zecher streefde met zijn onderzoekingen duidelijk een witte kleur na. In 1930 deed hij proeven met hoogspanningsbuizen en kon hij "enigszins wit uitziend licht" verkrijgen door drie buizen te combineren, namelijk een rode buis (neongas), een blauwe buis

(kwikdamp) en een groene buis (kwikdamp met geel glas). Twee jaar later gebruikte hij een buis met een tussenschot, waarbij hij het ene gedeelte vulde met neon en het andere met kwik. Nog drie jaar later onderzocht hij de kleur van een neonbuis van 1 m lengte, gekombineerd met een buis van uraanglas van 4 m lengte. In 1936 terugkijkend op deze drie experimenten, konstateerde hij: "Bij al deze proeven maakte zich het gemis aan blauw licht sterk bemerkbaar en bevredigde het resultaat weinig". [66] Hij zette het verkregen spectrum dus af tegen een ideale spektrale samenstelling, namelijk die van daglicht. In de praktijk was echter ook het spectrum van de gloeilamp - dat meer rood bevat dan dat van daglicht - een behoorlijke maatstaf. Zo schreef Zecher in 1936 naar aanleiding van kleurmetingen aan lampen met verschillende fluorescerende poeders en glazen: "Een zeer fraaie nabootsing van de kleur van gloeilampenlicht levert de combinatie Uraanglas-Auerphosphor 211<sup>a</sup>". [67] Voorzover valt na te gaan, heeft Zecher na het realiseren van een witgele kleur met deze laatste combinatie (1936) zelf geen onderzoek meer gedaan om nog verdere kleurverbetering te verkrijgen. Ook van andere Philips' medewerkers zijn geen rapporten van vóór 1940 hierover gevonden. Waarschijnlijk heeft Philips dus in een vroegtijdig stadium besloten de fosforen van anderen te gebruiken, indien het bedrijf tot produktie van de buizen zou overgaan.

Behalve Zecher had ook De Groot met fluorescentiestoffen gewerkt. Na zijn komst in 1923 had hij aan het thema 'luminescentie' enige aandacht geschonken en vanaf 1935 werd hij daarin bijgestaan door N. W. H. Addink, J. H. Gisolf en F. A. Kröger. Zij trachtten meer inzicht te krijgen in de fysische processen, die zich bij fluorescentie en fosforescentie afspelen. Een beschrijving van hun onderzoek zou de omvang van deze studie ver te buiten gaan en blijft daarom achterwege.

### Levensduur.

Levensduurproeven zijn van levensbelang voor elke lampenfabrikant. Gaat een lamp maar relatief kort mee of is de levensduur onbetrouwbaar, dan zal de klant ontevreden zijn. Is de levensduur

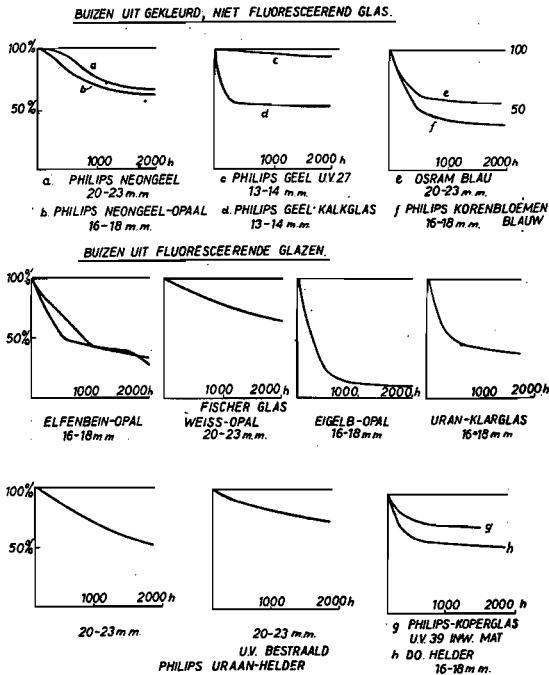
daarentegen bijna onbegrensd, dan zal de fabrikant worden gekonfronteerd met lage produktiecijfers. Bij een gloeilamp kan de fabrikant de levensduur kunstmatig beïnvloeden, omdat er een direkt verband bestaat tussen de levensduur van de gloeidraad (en dus ook van de lamp), de dikte van de gloeidraad en de brandspanning. Gloeilampen voor algemene verlichting waren in het algemeen zo gedimensioneerd, dat zij bij netspanning een gemiddelde levensduur van 1000 uur hadden. Door een gloeilamp op onderspanning te laten branden, stijgt de gemiddelde levensduur fors, al daalt in dat geval het rendement.

Bij de ontwikkeling van fluorescentielampen bleek de levensduur een van de lastigste beoordelingskriteria te zijn. Zou men een ontlasting in neon als bron van de ultraviolette straling gebruiken, dan zou de levensduur in principe zeer lang kunnen zijn, omdat neon de glaswand en de elektroden relatief weinig aantast. Voor de fabrikant kan het gebruik van kwik, dat de voorkeur kreeg vanwege het hogere rendement met betrekking tot de omzetting van elektrische energie in ultraviolette straling, bovendien gunstiger zijn uit het oogpunt van de levensduur. Kwik tast zowel de elektroden, als de fluorescentiestoffen en de glaswand aan, zodat de levensduur van de lamp daarmee eenvoudiger zou zijn te begrenzen.

Problematisch is dat de levensduur van een lamp niet alleen wordt bepaald door de tijdsduur, waarin de lamp funktioneert. Ook als de lamp nog niet kapot is gegaan, kan de 'economische' levensduur zijn verstreken, doordat de kwaliteit zodanig is achteruit gegaan, dat de lichtstroom sterk is verminderd of de oorspronkelijk 'witte' kleur bijvoorbeeld vergeeld is. Het rendement daalt eveneens na verloop van tijd, zodat een lamp al voordat zijn 'technische' levensduur is verstreken, niet meer aan zijn doeleinden hoeft te beantwoorden. Voor de lampenfabrikant is echter het probleem, dat het gros van de klanten op dat moment de lamp nog niet vervangt, maar wacht totdat deze daadwerkelijk sneuvelt. Voor de fabrikant is het dus zaak te zorgen, dat ook de 'technische' levensduur beperkt is en dat de lamp bij het bereiken daarvan nog een akseptabele lichtstroom en kleur, alsmede een redelijk rendement heeft vergeleken met de betreffende begintoestanden.



VERLOOP VAN DE LICHTSTERKTE VAN  
KWIKLICHTBUIZEN GED. 2000 BRANDUREN



Figuur 7.4 Levensduurproeven van Zecher aan fluorescentielampen,  
1934-1936 [Zecher (1936), Nat. Lab. verslag 1071].

Op dit punt deed Zecher dan ook uitgebreide proeven met verscheidene in de handel verkrijgbare fluorescerende poeders en glazen. Figuur 7.4 geeft een indruk van Zechers proeven uit 1934 tot 1936, waarin hij de kwaliteit van fluorescerende glazen vaststelde via het meten van de lichtstroom als functie van de tijd. De figuur illustreert hoe sterk tijdens de eerste experimenten de lichtstroom nog achteruit ging. Afnemingen tot 50 % van de beginwaarde na 2000 branduren waren eerder regel dan uitzondering. Ook konstateerde Zecher verkleuring die onder meer door een sterke daling van het roodgehalte van het uitgestraalde licht werd veroorzaakt. [68]

Na vergelijkbare proeven met fluorescentiepoeders, aangebracht

op de binnenzijde van de buis, konkludeerde hij dat de lichtstroom van poeders na 2000 branduren tot 45 % kon afnemen. Op basis van deze proeven kon Zecher dan ook niet beslissen of fluorescerende poeders, dan wel fluorescerende glazen beter waren. Wel kon hij een selectie maken tussen de verschillende poeders onderling. Zo vielen sulfiden af, omdat deze weliswaar rijke kleurenschakeringen konden geven, maar na 2000 branduren 30 à 45 % minder licht opbrachten en zwarte vlekken vertoonden door chemische reacties met kwik. Als bruikbare fosforen hield hij silicaten en wolframaten over.[69]

Naast deze proeven met óf alleen fluorescerend glas óf alleen fluorescerend poeder verrichtte hij ook proeven met combinaties van beide. Niet alleen ontdekte hij, dat combinaties soms hogere rendementen, hogere lichtstroom en betere kleuren gaven dan glazen of poeders apart, maar ook dat het poeder de glaswand kon beschermen tegen de inwerking van kwik. Daarom hoefde hij minder exclusieve glassoorten te gebruiken om toch goede levensduren te verkrijgen.[70] In 1937 ontwikkelde hij langs deze weg een fluorescentielamp, die hij in principe geschikt achtte voor algemene toepassing. Deze bestond uit een omhulling van uraanglas, die was bedekt met zinkcadmiumsilicaat (Auerfosfor 211<sup>a</sup>).

Zecher werkte dus in tegenstelling tot zijn Amerikaanse collega's niet met mengsels van verscheidene fosforen op gewoon glas. Zijn resultaten bevredigden hem echter eveneens: "Kleur, rendement en levensduur van de fluorescentiebuis rechtvaardigen een toepassing voor algemeene verlichting", zo luidde zijn konklusie in 1937.[71] Kennelijk waren de kleur, het rendement en de levensduur de belangrijkste beoordelingscriteria, waaraan de geschiktheid van een lamp voor algemeen gebruik werd getoetst. Bij de beoordeling van de verkregen normen van deze drie criteria, liet Zecher zich leiden door een vergelijking met de gloeilamp. Zo vergeleek hij de verkregen 'witte' kleur expliciet met die van gloeilampen en was hij tevreden met een drie maal zo hoog rendement als van gloeilampen met hetzelfde vermogen en met een lichtafneming van ongeveer 20 % na 1000 branduren, de standaardlevensduur van gloeilampen.[72]

Een andere faktor die de levensduur van een fluorescentielamp bepaalt, is het verstuiven van de kathoden, waardoor de glaswand in

de buurt daarvan zwart wordt. Dit probleem werd, voor zover bekend, niet in het Natuurkundig Laboratorium bestudeerd, maar binnen de groep 'Lampenonderzoek' van de afdeling 'Philora'. Philora werd begin 1934 opgericht voor de behartiging van Philips' belangen op het gebied van de gasontladingslampen. Zijn naam ontleende deze afdeling aan de samentrekking van 'Philips' en 'aurora', hetgeen verwijst naar de kleur van morgenrood. Deze naam werd gekozen, omdat Philips' eerste eigen gasontladingslampen natriumlampen waren, die een oranje-gele kleur hadden.[73] Philora kende drie onderafdelingen: lampenonderzoek, een technisch-kommerciële afdeling en een fabrieksgroep. Het fundamentele onderzoek aan en de ontwikkeling van gasontladingslampen werden (nog) niet door Philora overgenomen van het Natuurkundig Laboratorium. Het laboratorium voor lampenonderzoek van Philora beperkte zich vrijwel uitsluitend tot kwaliteitsmetingen aan handelslampen van eigen en andermans fabrikaat en aan experimentele lampen uit het Natuurkundig Laboratorium. De eigen handelslampen werden steekproefsgewijs getest, waarna gerealiseerde normen voor verscheidene beoordelingskriteria, zoals levensduur, lichtstroom, gedissipeerd vermogen en rendement werden vergeleken met gewenste normen.[74] In de loop van de jaren dertig gingen eerst de afdeling lampenonderzoek en de fabrieksgroep over naar de Lichtgroep van Philips, waarna in 1938 ook de kommerciële afdeling volgde.[75]

Philora loste het probleem van het zwart worden van de glaswand proefondervindelijk op. Uit notities komt het beeld naar voren van technici, die verscheidene 'trucjes' probeerden, waarvan ze wisten dat deze in soortgelijke omstandigheden wel eens wilden helpen, zonder dat zij een diepgaand inzicht hadden in de oorzaken. Zo onderzocht Philora bij verscheidene soorten kathoden de invloed van: het aanbrengen van de kathoden in zijtuitjes, van roosters of chroomijzeren doppen bij de kathoden en van de wijze van vakuümpompen (snel of langzaam). De konklusie die uiteindelijk werd getrokken, mag kenmerkend worden genoemd voor de recept-achtige wijze van werken van Philora en wordt daarom in zijn geheel weergegeven: "Kathodetisch bedekte kathoden met 100  $\mu$  emitter 1417 [een bepaald mengsel van aardalkali-oxyden] en met een niet aan de kathode verbonden ijzerdop en in korten tijd gepompt op een verticaal pompstel

met droge lucht (.....) gaf een goede levensduur (> 2000 uur) en géén afzwarting".[76] (Onderstreping in origineel).

Aan het eind van de jaren dertig vormde de benedengrens van de levensduur geen probleem meer: de klant kon daarmee tevreden worden gesteld. De bovengrens werd echter steeds problematischer. Proeven toonden aan, dat levensduren van meer dan 3000 uren niet uitzonderlijk waren en dat verlenging nog kon worden verwacht. Technisch gezien was dit fraai, maar kommercieel weinig aantrekkelijk. Anton Philips, verantwoordelijk voor de kommerciële gang van zaken binnen het Philips' concern, maakte zich daarover ernstige zorgen. Na een bezoek aan General Electric in 1938 schreef hij G. Swope, president-directeur van General Electric, een brief om zijn zorgen over de toekomst te uiten. Aangezien deze brief zeer illustratief is voor de betekenis, die kommerciële medewerkers aan het beoordelingskriterium 'levensduur' toekenden, is deze in bijlage IV weergegeven. Uit deze brief blijkt, hoe bevreesd Anton Philips was voor een lamp die de gewone gloeilamp kon vervangen en een levensduur van wellicht 6000 tot 8000 uren kon verkrijgen. Gepoogd zou kunnen worden de levensduur kunstmatig te beperken, maar aangezien er geen sterke octrooien waren, zou dat slechts concurrenten in de kaart spelen. Zijn enigszins droef klinkende gevolgtrekking luidde daarom: "It might turn out that this new invention is, financially, not an attractive prospect for both our companies".[77]

In oktober van het jaar waarin deze brief werd verstuurd, vergaderde Philips intern op het hoogste bestuursniveau over de politiek ten aanzien van gasontladingslampen. Belangrijk agendapunt was de fluorescentielamp. Niet alleen werd tijdens deze bijeenkomst, waarbij Anton Philips zelf ontbrak, besloten, zoals eerder vermeld, tot 'fair play' ten opzichte van de elektriciteitsbedrijven, die een te hoog rendement vreesden. Ook meende men dat de fluorescentielampen een "redelijke kans" moest worden gegeven.[78] Deze woordkeuze toont de aarzelingen van kommerciële zijde nog eens duidelijk aan. We mogen aannemen dat de eerste fluorescentielampen van General Electric en Westinghouse, die toen juist een half jaar op de markt waren, tezamen met de vrees voor buitenstaanders Philips hebben gedwongen tot deze positieve beslissing met betrekking tot de produktie. Ook Phi-

lips profiteerde daardoor later van de zich zo explosief ontwikkelende markt voor fluorescentielampen.

Stroom, spanning, ontstekingswijze en arbeidsfaktor.

Al een jaar of twee voordat General Electric en Westinghouse hun eerste buizen in de handel brachten, volgde Zecher hun opvatting over de gewenste norm voor de aansluitspanning, namelijk de netspanning. Veel van de basistechnologische kennis had Philips in huis door de jarenlange ervaring met hoogspanningsneonbuizen. Gezien zijn doelstelling achtte Zecher overschakeling op laagspanning echter ontoekombaar: "Om deze buizen nu ook voor verlichting geschikt te maken is noodzakelijk bedrijf op een netspanning van 220 V ac met eenvoudige middelen bij automatische ontsteking". [79] (Onderstreeping in origineel). Deze wenzen ten aanzien van de beoordelingscriteria 'aansluitspanning' en 'ontstekingswijze' brachten een aantal moeilijkheden met zich mee, die tezamen met de commerciële angsten de introductie van Philips' eerste fluorescentielamp bedreven met laagspanning hebben vertraagd.

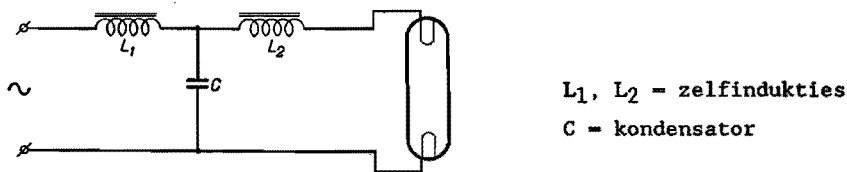
Om deze moeilijkheden goed te kunnen begrijpen, is het nodig drie soorten spanningen te onderscheiden: de aansluitspanning, de brandspanning en de ontsteekspanning. De aansluitspanning is de spanning die nodig is voor het naar behoren functioneren van de lamp inclusief zijn voorschakeltoestel. De brandspanning is de spanning over de 'kale' buis in bedrijf en de ontsteekspanning is de spanning die over de 'kale' buis moet staan om de ontlading te kunnen ontsteken. Uit technisch oogpunt is de meest ideale situatie die, waarin zowel de brandspanning als de ontsteekspanning niet groter is dan de aansluitspanning. In dat geval is immers geen extra apparatuur nodig om de aanwezige spanning te verhogen.

Het verlagen van de brandspanning onder 220 V ac was kennelijk geen bezwaar, gezien de eerdere ervaringen van Zecher met het maken van reclamebuizen op netspanning. Hij schreef althans over dit probleem geen rapporten of notities en vermeldde in 1937 slechts terloops, dat de toen vervaardigde lamp was voorzien van gloeikathoden. [80]

De meeste problemen had Philips met de ontsteekspanning. Net als General Electric en Westinghouse zag het Natuurkundig Laboratorium zich geconfronteerd met het klassieke probleem waarmee ruim dertig jaar tevoren ook Hewitt had geworsteld: hoe kan men met netspanning op elegante en automatische wijze een boogontlading in kwikdamp ontsteken, die uiteindelijk een brandspanning van ongeveer  $1/2$  à  $2/3$  van de netspanning heeft? Nadat Zecher had geconkludeerd, dat de door hem ontwikkelde lamp in aanmerking kwam voor algemene verlichting (1937), richtte hij zijn aandacht gedurende ruim een jaar op de ontwikkeling van een toestel, dat dit probleem kon oplossen.

In theorie zag hij vier verschillende wegen, die hij kon bewandelen om zijn doel te bereiken. Ten eerste zou hij de zuil van de boogontlading tijdelijk kunnen verkorten, bijvoorbeeld door extra ontstekingsstrips te monteren. Ten tweede zou hij kunnen pogen de kathodeval nog verder te verlagen. Het tijdelijk verhogen van de spanning, zolang de lamp nog niet op temperatuur is, zou een derde mogelijkheid zijn. Tenslotte als vierde optie, bleef over de oude methode van een kortstondige spanningspuls.

Zecher onderzocht vijftien verschillende apparaten, die elk op een van deze methoden waren gebaseerd. Op basis van een vergelijking tussen de verkregen normen voor tien beoordelingskriteria met betrekking tot hulpapparatuur, kwam hij tot de konklusie, dat een resonantieschakeling en een lamp zonder gloeikathoden, zoals is weergegeven in figuur 7.5, het beste was.



Figuur 7.5 Resonantieschakeling  
[Elenbaas (1959), fig. 8.19].

De werking van deze schakeling berust op het ontstaan van een hoge spanning ( $\pm 500$  V) over de gasontladingslamp, zolang deze nog

niet is ontstoken en de weerstand daarvan dus nog oneindig hoog is. Het toestel scoorde het beste op de volgende drie criteria: de arbeidsfaktor, vervorming van de netstroom en gevoeligheid voor netspanningsvariaties. Volgens Zecher trad er geen faseverschuiving op (arbeidsfaktor = 1), werden hogere harmonischen in de netstroom nauwelijks opgewekt (derde harmonische slechts 1,6 % van de eerste) en was de afhankelijkheid van netspanningsvariaties relatief gering. Als extra voordeel zag Zecher, dat deze resonantieschakeling lampen van verschillende lengten (dus met verschillende brandspanningen) kon bedienen.[81]

De goede technische beoordeling, die dit toestel van Zecher kreeg, strookte met de commerciële belangen van Philips. Deze waren namelijk gediend met door oktrooien gedekte innovaties en Holst verwachtte de resonantieschakeling (kortweg 'LC-apparaat' genoemd) goed te kunnen oktrooieren. Ook de natriumlamp en de hogedrukkwiklamp wilde hij om deze reden van LC-apparatuur voorzien. Een belangrijke extra reden lag in de verwachting hiermee handig te kunnen inspelen op toekomstige eisen van de elektriciteitsmaatschappijen. Notulen van een gezamenlijke vergadering van het Natuurkundig Laboratorium en Philora geven de gedachtengang van Holst treffend weer: "Prof. Holst wijst op wat wij in de toekomst kunnen verwachten, nl. een verbod van parallel condensatoren [N.B. de Amerikaanse oplossing ter verhoging van de arbeidsfaktor] en bepalingen omtrent hogere harmonische. Wij moeten dus zorgen volledig klaar te zijn, zoodra de omstandigheden daartoe dwingen en hebben dan het voordeel door patenten gedekt te zijn".[82]

Holst baseerde zijn verwachtingen op regelmatige gesprekken, die hij met vertegenwoordigers van de KEMA voerde. De KEMA meldde zich als belanghebbende op het toneel, omdat deze instelling namens de elektriciteitsmaatschappijen voorschriften voor elektrotechnische materialen en apparatuur kon opstellen. Apparatuur en materialen konden een keuringsmerk (KEMA-keur) krijgen, indien de betreffende beoordelingscriteria voldeden aan door de KEMA vereiste normen. Voor de KEMA was bijvoorbeeld 'aanrakingsgevaar', dat wil zeggen mogelijk contact met te hoge spanningen, een belangrijk beoordelingskriterium.

Een eerste geregeld contact tussen de KEMA en Philips vond

plaats binnen het Nederlandsch Genootschap voor Verlichtingskunde (NGvV). Op initiatief van het bestuur van dit genootschap ontstond in 1934 de 'Commissie voor het Vaststellen van Keuringseischen van Gasontladingsbuizen en -lampen'. Leden van deze commissie kwamen van verscheidene belanghebbende zijde: A. H. O. W. de Bats (bestuurslid NGvV), M. N. Biedermann (Neon-vereniging), J. H. J. de Jong (KEMA), Holst en G. B. van der Werfhorst (beide Philips), H. B. Dorgelo (Technische Hoogeschool Delft) en Ornstein (Rijksuniversiteit Utrecht).[83] Het belang van Philips in deze commissie was volgens Holst om "verlichtingswaarden van lichtbronnen van geheel afwijkende eigenschappen" (waaronder lampen met lijnenspektra) in getallen te kunnen weergeven.[84] Dan zouden internationale vergelijkingen van gasontladingslampen op meer objectieve leest kunnen worden geschoeid. Zonder hierop gedetailleerd in te gaan, kan worden gezegd dat dit thema - de fotometrie van gasontladingslampen - al een oud knelpunt was. Het bepalen van het rendement van een lamp hangt namelijk samen met het meten van de lichtstroom, waarbij toentertijd het menselijk oog ter ijkning van de meetapparatuur een onmisbare rol vervulde. De ooggevoeligheidskromme verschilt echter van persoon tot persoon. Daarom werd vaak gewerkt met het gemiddelde van enkele mensen, die tezamen de gemiddelde internationale ooggevoeligheidskromme bezaten. Dit was weinig bevredigend en kreeg in die jaren ook in internationaal opzicht (in de Commission Internationale de l'Eclairage) grote aandacht. De genoemde commissie van het NGvV hield zich tot na de Tweede Wereldoorlog met dit thema bezig en kwam niet toe aan andere keuringseisen van gasontladingslampen.[85]

Andere beoordelingskriteria van gasontladingslampen, die zowel voor Philips als voor de KEMA van belang waren, kwamen uitgebreid ter sprake in bijeenkomsten die los stonden van deze commissie voor keuringseisen. Deze bijeenkomsten kwamen voort uit ontmoetingen die de KEMA met zusterorganisaties uit geheel Europa in de internationale 'Installationsfragen-Kommission' (IFK) had. De IFK was in 1926 ontstaan op initiatief van keuringsinstituten in Duitsland, Nederland, Noorwegen en Zweden en rekende het tot haar taak om voorschriften met betrekking tot huishoudelijke elektrische apparatuur en instrumenten op elkaar af te stemmen. In de jaren dertig ontstond



binnen de IFK de behoefte goede regelgeving te ontwerpen voor het vaag afgebakende terrein van de 'middelspanningen', dat wil zeggen spanningen tussen laag- en hoogspanning. In een vergadering van de IFK te Boedapest in mei 1936 werd daartoe een commissie voor 'Mittelspannung', kortweg 'Mispa' genoemd, opgericht.[86]

Tijdens de eerste vergadering van de Mispa werd afgesproken zich voorlopig te richten op apparaten, die door leken werden bediend en die óf op 250 V ac naar aarde óf 380 V ac tussen twee geleiders werden aangesloten en waarin spanningen boven 380 V zouden kunnen voorkomen. Op voorstel van G. de Zoeten (KEMA) besloot de commissie voorts zich te beperken tot bepalingen omtrent gasontladinglampen, omdat deze "steeds meer ook in handen van leken" terecht kwamen. Een ander argument voor deze keuze was, dat bij de industrie de "dringende wens tot zoveel mogelijk uniforme regelgeving in de verschillende landen" bestond.[87] Eveneens op voorstel van De Zoeten werd besloten een vertegenwoordiger van Philips, een vertegenwoordiger van de Duitse lampenindustrie en één fabrikant van kleine transformatoren voor de volgende bijeenkomsten uit te nodigen. Volgens de notulen van de eerste Mispa-vergadering had de KEMA ook op de inhoud van de te ontwerpen richtlijnen grote invloed: vijf van de acht voorstellen waren van De Zoeten afkomstig. Zij betroffen onder meer: een verbod op transformatoren zonder gescheiden wikkelingen (de zogenaamde 'spaartransformatoren', die bijvoorbeeld werden gebruikt om spanningen van 110 V ac naar 220 V ac te transformeren) en bescherming tegen aanrakingsgevaar van hoge spanningen. Voorts wenste men afspraken te maken over eventueel aangebrachte zelfinducties en condensatoren (waaronder dus LC-apparaten vielen). Interessant is dat men voor het beoordelingskriterium 'stroom' besloot geen maximaal toelaatbare norm te introduceren om "de ontwikkeling niet te remmen".[88]

In eerste instantie bleven gasontladinglampen voor laagspanning dus buiten het Mispa-overleg. Desondanks had de KEMA grote behoefte ook voor deze lampen eisen aan enkele beoordelingskriteria te stellen. Nog geen maand na de eerste Mispa-bijeenkomst ontmoetten Philips en de KEMA elkaar daarom voor bilateraal overleg. Onderwerp van gesprek was: "Voorschriften betreffende gasontladinglampen bij

huisinstallaties". [89] De KEMA, vertegenwoordigd door J. C. van Starveren (directeur), J. H. J. de Jong en De Zoeten, uitte grote bezwaren tegen grootschalige toepassing van gasontladingslampen, omdat dat de konditie van het elektriciteitsnet aanzienlijk zou verslechteren. De oorzaak van hun zorg lag in de slechte arbeidsfaktor van deze lampen, zowel tengevolge van de faseverschuiving tussen stroom en spanning als van vervorming door hogere harmonischen. [90] Als bezwaren van hogere harmonischen noemden de KEMA-vertegenwoordigers: grotere kans op resonantie in het elektriciteitsnet, problemen met elektrische motoren, telefoonstoringen, mogelijk grote demping van elektriciteitsmeters en kans op radiostoring. Zij achtten een derde harmonische van maximaal 1 % toelaatbaar, terwijl de praktijk 7 à 10 % te zien gaf. [91]

Een ander belangrijk agendapunt was het gebruik van resonantieschakelingen voor de ontsteking van gasontladingslampen. E. G. Dorgelo van het Natuurkundig Laboratorium had op dat moment een LC-apparaat ontwikkeld voor natrium- en hogedrukkwiklampen, dat een ontsteekspanning boven 250 V kon opwekken, maar waarbij de spanning tijdens bedrijf gelijk was aan de netspanning. [92] Van belang voor de KEMA was echter vooral ook de spanning die over de uiteinden van dit toestel zou staan, indien de lamp niet meer funktioneerde of werd verwijderd - de zogenaamde 'openlusspanning'. Volgens de toen in Nederland geldende normen mochten in geen enkele laagspanningsinstallatie spanningen voorkomen van meer dan 300 V tegen aarde. [93] Juist aan deze eis was vaak lastig of niet te voldoen met een LC-apparaat. De schakeling van figuur 7.5 is bijvoorbeeld zo ontworpen, dat zolang de lamp nog niet is ontstoken, de spanning over de uiteinden van de lamp  $\pm$  500 V bedraagt. Aangezien deze situatie elektrotechnisch gezien identiek is met een kapotte of verwijderde lamp - in al die gevallen bevindt zich op die plek als het ware een oneindig hoge weerstand - is de openlusspanning ook 500 V.

De afbakening van toelaatbare spanningen hield ook tijdens de tweede Mispabijeenkomst in juni 1937 de gemoederen bezig. In aanwezigheid van W. H. Tromp, werkzaam bij de afdeling 'Normalisatie' van Philips, en van Wiegand van de fabriekafdeling van lichtbuizen van Osram, werd geen overeenstemming verkregen over de afgrenzing

tussen laag- en middelspanning.[94] Net als na de eerste Mispa-vergadering troffen Philips en de KEMA elkaar voor bilateraal overleg binnen een maand nadien. Tijdens de onderhandelingen lukte het Holst de KEMA te beïnvloeden ten aanzien van de toekomstige voorschriften voor gasontladingslampen. De KEMA bleek bereid de eis van een hoge arbeidsfaktor te laten varen voor natriumlampen met voorschakeltoestellen, omdat deze slechts in kleine aantallen werden toegepast in weg- en terreinverlichting. Omdat kwiklampen overal zouden kunnen worden toegepast, handhaafde de KEMA alleen voor deze lampen de eis tot kompensatie van de lage arbeidsfaktor. Kennelijk om zich van krachtige steun in de rug te verzekeren, liet de KEMA Philips weten op dit punt een enquête te hebben gestart onder de Nederlandse elektriciteitsbedrijven, die het meest van alle betrokkenen belang hadden bij een zo hoog mogelijke arbeidsfaktor.[95]

Ook met betrekking tot het toelaatbare percentage harmonischen en de maximale spanning in huisinstallaties kon Holst de KEMA in de richting van Philips' wensen opschuiven. De KEMA-eis van maximaal 1 % derde harmonische bracht hij met succes aan het wankelen door te wijzen op een aanzienlijk percentage derde harmonische bij stofzuigers en boormachines. Daarnaast wist hij de bovengrens van 300 V voor de spanning te wijzigen in 380 V ac door de KEMA te konfronteren met haar eigen beleid om alle huishoudens in Nederland op een driefasennet van 380/220 V ac aan te willen sluiten in verband met bijvoorbeeld pleidooien voor elektrisch koken.[96] In de loop van 1938 volgde nog een aanzienlijke versoepeling van deze norm van 380 V ac. De oorzaak daarvan lag in proeven van de KEMA zelf ten aanzien van in- en uitschakelspanningen aan gebruikelijke huishoudelijke apparatuur, zoals stofzuigers en wasmachines. De KEMA had daarbij spanningspieken tot 700 V waargenomen. Niet zonder voldoening konstateerde P. J. Oranje van de afdeling Philora-Lampenonderzoek na een vergadering met de KEMA in mei van dat jaar: "Hierom zijn zij wel geneigd ook voor gasontladingslampen spanningsstooten toe te laten, wanneer deze noch in grootte noch in tijdsduur buiten verhouding de "normale" spanningsstooten overschrijden" (onderstreping in origineel).[97] We zien hier hoe verkregen normen van reeds bestaande artefakten hun invloed kunnen uitoefenen op de totstandko-

ming van gewenste normen van nieuwe.

Philips kreeg ook langs andere weg de gelegenheid om het proces van de totstandkoming van voorschriften in de Mispas te beïnvloeden. Tromp kreeg namelijk met Wiegand (Osram) het fiat van de Mispas om een rapport over het afbakeningsprobleem aangaande de spanningen op te stellen.[98] Dit resulteerde in een rapport, waarin voorstellen voor verscheidene van belangzijnde beoordelingskriteria aangaande gasontladingslampen en hun hulpapparatuur waren geformuleerd.[99] Na aanzienlijke interne bijschavingen door verscheidene Philips-medewerkers werd dit rapport ter bespreking voorgelegd aan de derde Mispas-vergadering in het voorjaar van 1938. Tijdens deze vergadering werd besloten het werkterrein van de kommissie uit te breiden tot laagspanning, waarmee het probleem van de afbakening van laag- en middelspanning deels werd opgeheven. Op voorstel van de KEMA - en dat werd door Philips als belangrijke concessie gezien - gingen de aanwezigen ook akkoord met een voorlopige beperking van de afspraken tot huisinstallaties. Lampen en toebehoren voor buitenverlichting werden, zo was de redenering, door deskundigen bediend, zodat de eisen dienaangaande minder stringent zouden hoeven te zijn.[100]

Met betrekking tot de spanning werden drie categorieën gedefinieerd. In de eerste categorie vielen lampen voor huishoudelijke installaties, waarin de spanning niet blijvend hoger mocht worden dan 250 V ac ten opzichte van aarde (dat wil eveneens zeggen niet meer dan 500 V ac tussen twee precies in tegenfase zijnde geleiders). De tweede categorie betrof installaties, waarin de spanning blijvend boven 250 V ac tegenover aarde kon zijn, maar minder bleef dan 500 V ac tussen twee geleiders. Deze categorie had betrekking op straat- en terreinverlichting en viel dus voorlopig buiten de afspraken. Dat gold ook voor de laatste categorie, die alle overige gasontladingslampen omvatte. De term 'blijvend' in deze categorie-indeling was van groot belang voor de lampenfabrikanten, omdat daardoor het optreden van spanningspieken bij in- en uitschakelen van de lampen niet langer ter discussie stond.[101]

Langdurig werd gediscussieerd over de vraag of LC-apparaten onder de eerste categorie zouden kunnen vallen. Het struikelblok zou kunnen zijn, dat op het punt tussen de condensator en de zelfinduk-

ties (zie figuur 7.5) een hogere spanning dan 250 V ac tegenover aarde blijvend zou kunnen optreden. Desondanks was men algemeen van mening, dat het LC-apparaat zou moeten worden toegelaten. Een betrekkelijk nieuw argument gaf daarvoor de doorslag, namelijk dat zo'n toestel een op de spanning voorijlende stroom heeft en daarmee de konditie van het elektriciteitsnet, dat een geringe naijling vertoont, kan verbeteren. Als voorwaarde voor toelating werd alleen gesteld, dat het punt van hogere spanning zelfs niet met gereedschap (bijvoorbeeld een schroevendraaier) zou zijn aan te raken.[102]

Aan een afronding van de werkzaamheden in de vorm van definitieve voorwaarden kwam de Mispa echter vóór 1940 niet meer toe. In 1939 waren nog wel vergaderingen voorzien van de IFK en de verschillende commissies, maar vanaf september van dat jaar werden alle activiteiten opgeschort in verband met het uitbreken van de oorlog in centraal-Europa. Voor Philips was dit nadelig, omdat de richting van de geplande voorschriften uitermate gunstig was voor het bedrijf. Immers het LC-apparaat, waarvan Philips hoopte dat het goed door oktrooien zou worden beschermd, zou worden toegestaan en wellicht als enige voldoen aan de door de KEMA te stellen eisen.

Tijdens de ontwikkeling van een geschikt voorschakeltoestel voor fluorescentielampen kristalliseerde zich mede door deze andere belanghebbenden een reeks beoordelingskriteria daarvoor uit. Binnen Philips werd een lijst met dertien punten opgesteld, die werd gebruikt bij onderlinge vergelijking van verscheidene voorschakelapparaten. In het oorspronkelijke woordgebruik luiden deze punten als volgt:[103]

1. Afmetingen [waarmee werd bedoeld: stroom x spanning] van de onderdeelen uitgedrukt in Voltampères (VA).
2. Optredende spanningen in of aan het apparaat met en zonder buis (eventueel met defecte buis). Bestaat er levensgevaar bij aanraken onder ongunstige omstandigheden.
3.  $\cos \phi$  [ $\phi$  is de faseverschuiving tussen stroom en spanning; met  $\cos \phi$  werd vaak, enigszins slordig, de arbeidsfaktor bedoeld].
4. Netstroom-ervorming.
5. Radiostoring.
6. Kan het apparaat op eenige afstand van de buis gemonteerd worden.
7. Tijd tusschen inschakelen en ontsteken van de buis.
8. Invloed van netspanningsvariaties.

9. Eigen verliezen van het apparaat.
10. Invloed van de schakeling op de lamp.
11. Reproduceerbaarheid bij Philips en derden.
12. Kostprijs.
13. Octrooisituatie."

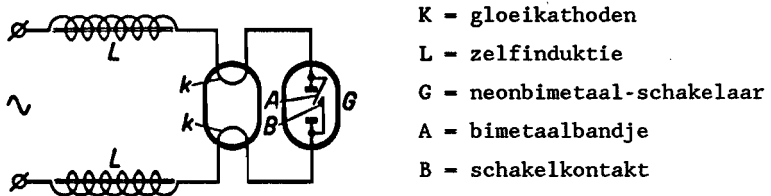
Ten aanzien van de realisering van 'optimale' voorschakeltoestellen dachten de betreffende Philips-medewerkers dus expliciet in termen van wat wij 'beoordelingskriteria' hebben genoemd en de 'normen' waaraan moest worden voldaan.

In 1939 volgden verscheidene vergaderingen bij Philips, waarin over de keuze van het voorschakeltoestel werd gesproken op basis van een toetsing van de verschillende mogelijkheden aan bovengenoemde criteria. In januari van dat jaar werd besloten F. C. van Looij te verzoeken een door Zecher en H. A. W. Klinkhamer ontworpen LC-schakeling handelsklaar te maken. Daarnaast zou een Amerikaanse schakeling worden gekopieerd voor proefnemingen.[104] Ruim een half jaar daarna, in augustus 1939, besloot Philips te kiezen voor een LC-apparaat. Een positieve ontvangst op de markt trachtte men extra te stimuleren. Zo valt in een interne notitie te lezen: "Verder wordt het van belang geacht, de openbare meening reeds nu in de richting van de goede oplossing [dat wil zeggen het LC-apparaat] te beïnvloeden, door een artikel in het November nummer van het Philips' Technisch Tijdschrift".[105] Holst zou deze taak op zich nemen, maar zag daarvan later toch af, omdat hij wilde wachten totdat zeker was, dat de elektriciteitsmaatschappijen de resonantieschakeling zouden aanvaarden.[106]

De voltooiing van het LC-apparaat liet echter op zich wachten. De preciese oorzaken daarvoor zijn niet geheel duidelijk. Wat mee-speelde was in elk geval, dat de octrooipositie wellicht toch niet zo sterk was, als sommigen bij Philips hadden gehoopt. Nog in maart 1940 moest de octrooiafdeling van Philips hierover meer duidelijkheid verschaffen en na ruim een jaar durfde men nog steeds geen uitspraak te doen over de mogelijkheden voor buitenstaanders om de Philips' octrooien te omzeilen, indien de elektriciteitsbedrijven met hun eisen zouden komen.[107] Bovendien kunnen enkele nog niet vermelde bezwaren van het LC-apparaat een remmende invloed hebben

uitgevoerd. Het toestel was duur, groot en zwaar.[108] Hoe het ook zij, in 1940 was de LC-schakeling nog steeds niet handelsklaar en verlangde een klaarblijkelijk geïrriteerde Holst garanties op dit punt van de commerciële afdeling. Deze werden toegezegd, maar onder de voorwaarde dat het toestel "technisch goed en wat prijs betreft redelijk" zou zijn.[109] De bedoeling was toen om in oktober 1940 klaar te zijn. Maar in augustus 1941 was dit, wellicht ook vanwege de oorlogsomstandigheden, nog steeds niet het geval. Dat was reden voor Frits Philips (de zoon van Anton Philips) om van hogerhand in te grijpen. Hij eiste toen onomwonden, dat de kwestie binnen enkele weken geregeld zou moeten zijn.[110]

De eerste Philips' fluorescentielamp (TL 100) was voorzien van een Amerikaans voorschakeltoestel. Het principe daarvan was gelijk aan dat van de schakeling, die is getoond in figuur 7.2A. In het netwerk was een neon-bimetaalschakelaar opgenomen, die de Amerikaanse firma's enige tijd na hun eerste fluorescentielampen op laagspanning hadden geïntroduceerd. Figuur 7.6 toont de schakeling, zoals Philips die in de handel bracht.



- K = gloeikathoden
- L = zelfinductie
- G = neonbimetaal-schakelaar
- A = bimetaalbandje
- B = schakelkontakt

Figuur 7.6 Amerikaans voorschakeltoestel voor de eerste Philips-fluorescentielampen [Oranje (1942), fig. 135].

De werking van dit toestel is als volgt. De netspanning is, zoals gezegd, onvoldoende om de buis zelf te ontsteken, maar wel groot genoeg om in de parallel aan de buis geschakelde neon-bimetaalschakelaar G een glimontlading tot stand te brengen. De glimstroom vloeit door de gloeikathoden van de buis, zodat deze enigszins worden verhit. De glimontlading zelf verhit het bimetaaltje zodanig, dat het vervormt en op een gegeven moment een elektrisch contact

## FLUORESCENTIELAMPEN.

tussen A en B tot stand brengt. De schakelaar vormt dan een kortsluiting, waarvan de kortsluitstroom door de gloeikathoden van de fluorescentielamp vloeit. Deze worden daardoor sterker verhit en emitteren meer elektronen. Door afkoeling van de schakelaar wordt de verbinding tussen A en B na enige tijd verbroken. Vanwege de aanwezige smoorspoelen ontstaat dan een grote spanningspuls over de fluorescentielamp, die ontsteekt als de gloeikathoden voldoende verhit zijn geweest. Zo niet, dan start de procedure van voren af aan. De schakelaar zal net zo lang openen en sluiten, totdat de lamp ontsteekt. Aangezien dit praktisch nooit direkt gebeurt, knippert de lamp eerst enkele malen. Dit werd bij Philips in 1939 nog als zo "onaangenaam" ervaren, dat deze schakeling aanvankelijk expliciet buiten de vergelijkende studies werd gehouden. [111]

beoordelingskriterium	verkregen norm	opmerking
1. Volt/Ampère	210-230 V	
2. openlusspanning	goed (< 220 V)	
3. $\cos \phi$ :		
- alleen inductief voorschakeltoestel	slecht (0,5)	
- met kond. 2,5 $\mu\text{F}$	goed (0,9)	
4. netstroomvervorming:		
- met kond. 2,5 $\mu\text{F}$	hoog (15% 3e harm.)	
5. radiostoring	mogelijk	
6. montage op afstand?	mogelijk	
7. ontstekingstijd	2 à 3 s	
8. invloed netsp. var.		
9. eigen verliezen	+ 5,5 W	
10. invloed op lamp		
11. reproduceerbaarheid		
12. kostprijs:		
- zonder condensator	f 2,75 à f 2,95	(1939)
- met kond. 2,5 $\mu\text{F}$	f 4,45	(1939)
13. octrooidekking	ja <sup>1</sup>	kracht onzeker
14. afmetingen	245 x 62 x 36 mm <sup>3</sup>	
15. gewicht	0,81 kg	

1) schakeling beschermd in Nederland, Frankrijk, Duitsland, Oostenrijk, Hongarije, België en Zweden.

Tabel 7.3 Kenmerken van hulpapparaat van eerste Philips' fluorescentielamp in 1940; smoorspoel met Amerikaanse neon-bimetaalschakelaar. [112]



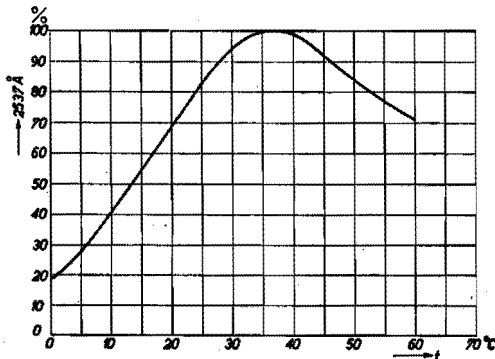
De neon-bimetaalschakeling met smoorspoel had de normen, die zijn weergegeven in tabel 7.3. Daarin zijn alle beoordelingskriteria vermeld, die Philips intern hanteerde, ook al konden niet alle daarvan verkregen normen worden achterhaald. Aan de reeds genoemde beoordelingskriteria zijn 'afmetingen' en 'gewicht' toegevoegd, omdat de daarvan verkregen normen in toenmalige bronnen eveneens werden genoemd.

Als nadelen van de neon-bimetaalschakeling werden gezien: de relatief lange ontsteektijd (2 à 3 s), de inherent lage  $\cos \phi$  (en dus lage arbeidsfaktor) van  $\pm 0,5$  én het relatief hoge percentage derde harmonische, dat zou optreden indien  $\cos \phi$  met een condensator van  $2,5 \mu\text{F}$  zou worden gecorrigeerd tot 0,9. Deze condensator moest dan parallel aan het net worden geplaatst, waarmee het ontstaan van een hoog percentage derde harmonische niet zou kunnen worden vermeden. Gezien de stemming binnen de KEMA verwachtte men bij Philips, dat de KEMA als uiterste grens 10 % hogere harmonischen zou aksepteren.[113] Dit zou feitelijk leiden tot een verbod op condensatoren parallel aan het net. Philips aarzelde daarom om over te gaan op deze Amerikaanse schakeling. (In hoeverre eventuele licentiekosten een rol speelden is mij onbekend [114]). Waarom is Philips daartoe dan toch overgegaan in 1940? Vermoedelijk gaf de doorslag, dat het LC-apparaat duurder ( $f$  5,85 à  $f$  6,85), zwaarder en groter was, alsmede meer eigen verliezen had dan het Amerikaanse toestel.[115] Vanwege de oorlogsomstandigheden waren de voorschriften van de elektriciteitsbedrijven uitgebleven en speelden de voordelen van het LC-apparaat, zoals een goede arbeidsfaktor en een akseptabel niveau van de derde harmonische, slechts een ondergeschikte rol. Philips bleef echter hopen op stringente voorwaarden van de elektriciteitsbedrijven. Intern kwam men overeen, dat "dit voorschakelapparaat als voorlopig [zou] worden beschouwd en dat zoo spoedig mogelijk een LC-apparaat zou volgen".[116]

#### Afmetingen, oppervlaktehelderheid en wandtemperatuur.

De afmetingen van fluorescentielampen hangen direkt samen met de gewenste normen voor de oppervlaktehelderheid en de lichtstroom, die

op hun beurt weer door de temperatuur van de glaswand worden bepaald. Vast uitgangspunt in alle beschouwingen was de wandtemperatuur zodanig te kiezen, dat de omzetting van elektrische energie in ultraviolette straling met een golflengte van 253,7 nm optimaal zou zijn. De wandtemperatuur was daardoor vastgelegd: 35 à 40 °C (figuur 7.7). Om de wandtemperatuur op deze lage waarde te houden, kon de stroomdichtheid (stroom per oppervlakteëenheid) niet te hoog worden opgevoerd. Anderzijds kon de totale stroom niet te laag worden gekozen, vanwege de noodzaak de gloeikathoden voldoende warm te houden voor een brandspanning die lager moest zijn dan 220 V ac. De dwarsdoorsnede van de buis moest daarom relatief groot zijn.



Figuur 7.7 Invloed van wandtemperatuur t op de produktie van UV-straling van 253,7 nm, bij een diameter van 35 mm en een stroom van 250 mA [Oranje (1942), fig. 137].

De gewenste lichtstroom en oppervlaktehelderheid bepalen het totale oppervlak van de buis. Voor lange cilindervormige lichtbronnen geldt:

$$\Phi = \pi^2 \cdot B \cdot O \tag{7.1}$$

met:  $\Phi$  = lichtstroom (lm).  
 B = oppervlaktehelderheid (kaars/cm<sup>2</sup>)  
 O = schijnbaar oppervlak (cm<sup>2</sup>)

Het schijnbare oppervlak  $O$  van een krom lichtgevend oppervlak is gelijk aan de projectie daarvan op een vlak loodrecht op de waarnemingsrichting. Voor een fluorescentielamp geldt dus:

$$O = d \cdot l \quad (7.2)$$

met:  $d$  = diameter van de lamp (cm)  
 $l$  = lengte van de lamp (cm).

Voor zijn eerste fluorescentielamp (TL 100) nam Philips de norm van de lichtstroom over van gloeilampen. Richtlijn daarvoor was een waarde van ongeveer 1000 lm, overeenkomend met de lichtstroom van gasgevulde gloeilampen van 75 W ( $\pm$  850 lm) of van 100 W ( $\pm$  1250 lm). Ook de Amerikaanse firma's hadden zich met hun buizen van 90 cm lengte op deze norm gericht (zie tabel 7.2). Een harde noodzaak was deze norm echter niet. Zo kozen de Britse firma's voor hun eerste fluorescentielampen van maart 1940 een waarde van 3000 lm. Ook Philips begon al gauw na 1940 met de ontwikkeling van lampen met hogere lichtstromen (de TL 200 en TL 300 met respectievelijk 2000 en 3000 lm), omdat "behalve uit berekeningen, ook aan de hand van (.....) praktijkervaring, reeds [kan] worden geconstateerd, dat een eenheid van 1000 Lumen voor algemeene verlichtingsdoeleinden natuurlijk te klein is".[117]

De norm van de oppervlaktehelderheid nam men niet over van gloeilampen. Met de fluorescentielamp had men in principe de mogelijkheid een lagere, niet verblindende waarde te kiezen, omdat de buisdiameter toch groot moest worden gekozen. Daarom konden de fabrikanten kiezen of zij een lamp met betrekkelijk hoge of lage oppervlaktehelderheid zouden produceren. Bij oppervlaktehelderheden boven  $\pm 0,75$  kaars/cm<sup>2</sup> treedt verblinding op, zodat gloeilampen met hun oppervlaktehelderheden van 5 - 40 kaars/cm<sup>2</sup> (in gematteerde uitvoering) in het algemeen van lampenkappen moeten zijn voorzien die de lamp zelf aan het oog onttrekken. In de Verenigde Staten hadden General Electric en Westinghouse gekozen voor oppervlaktehelderheden van 0,4 à 0,8 kaars/cm<sup>2</sup> voor hun daglichtlampen (tabel 7.2). Dit was weliswaar veel lager dan de waarde van gloeilampen, maar toch hoog genoeg om in veel gevallen indirecte verlichting of

gebruik van extra afscherming aan te bevelen. Daardoor ging echter een groot gedeelte van het hoge rendement alsnog verloren. Voor de elektriciteitsmaatschappijen was dit voordelig, maar ook voor de lampenfabrikanten had deze keuze enkele voordelen. Volgens Van Dijk en Oranje waren de voordelen van een hogere oppervlaktehelderheid als volgt:[118]

1. vervanging van reeds geïnstalleerde hoogspanningsfluorescentielampen kon makkelijker door deze lampen plaatsvinden;
2. de prijs van het voorschakeltoestel was per lumen lager;
3. een afgeschermde lamp stelde minder hoge eisen aan de afwerking dan een zichtbare lamp;
4. de verhouding verkoopprijs/kostprijs was bij hogere helderheid aanzienlijk gunstiger.

Of de Amerikaanse firma's deze argumenten voor hun keuze hadden gehanteerd is onbekend. Philips volgde hen echter niet, ondanks de intern naar voren gebrachte voordelen. Waarom Philips dat niet deed, is niet precies duidelijk. Uit een notitie van 16 augustus 1939 komt naar voren, dat Philips met Osram was overeengekomen een zodanig lage oppervlaktehelderheid te kiezen, dat de lamp zonder omhulling zou kunnen worden gebruikt zonder verblinding te veroorzaken. Samen kozen zij voor een oppervlaktehelderheid van 0,3 kaars/cm<sup>2</sup>. [119] Deze norm werd algemeen beschouwd als de maximale waarde, waarbij in de meeste gevallen nog juist geen verblinding optreedt en was als zodanig vastgelegd in het normaalblad van de Deutsche Lichttechnische Gesellschaft DIN 5035. [120]

Philips nam dus voor zijn eerste fluorescentielamp de volgende twee uitgangspunten:

$$\Phi = 1000 \text{ lm}$$

$$B \leq 0,3 \text{ kaars/cm}^2$$

Uit de formules (7.1) en (7.2) volgt dan:

$$d.l \geq 330 \text{ cm}^2$$

Verder bleek dat voor een stabiele ontlading de brandspanning maxi-

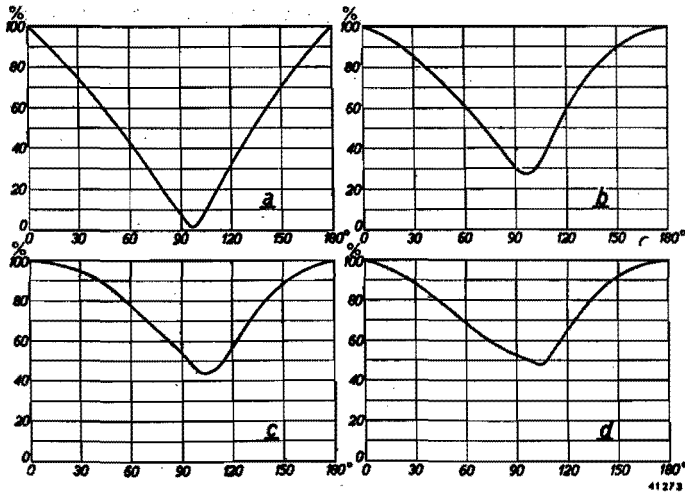
maal ongeveer 120 V mocht bedragen. De brandspanning is echter gekoppeld aan de lengte van de lamp én aan de spanningsval per cm buislengte (elektrische veldsterkte), die op zijn beurt vooral door de diameter wordt bepaald. De diameter bepaalt anderzijds tezamen met de stroom de lichtstroom. Door grafieken te tekenen, waarin alle verschillende relaties en keuzemogelijkheden op empirische wijze waren vastgelegd, bleek Philips met een lengte van 1 m en een diameter van 3,5 cm aan de aan  $\Phi$  en B gestelde eisen te kunnen voldoen. [121]

### Flikkeren.

Een belangrijke eis aan lichtbronnen is, dat zij zo weinig mogelijk flikkeren, anders gezegd een voor het oog niet of nauwelijks waarneembaar aan-uit-gedrag vertonen. Indien lampen op gelijkstroom branden, is dit probleem niet aan de orde, maar bij wisselstroomvoeding kan een donkere periode optreden bij elke nuldoorgang van de stroom. Een gloeilamp vertoont dit effect niet, omdat de gloeidraad bij een frekwentie van 50 of 60 Hz niet de tijd krijgt om tijdens nuldoorgangen voldoende af te koelen. De gloeidraad zendt dus continu licht uit, zij het met een periodieke rimpel op de intensiteit. Een gasontladingslamp dooft daarentegen bij elke nuldoorgang volledig uit, zodat stroboscopische effecten kunnen optreden. Bij fluorescentielampen heeft men de mogelijkheid het flikkeren te reduceren door het gebruik van fosforen met een nagloeitijd, die de orde grootte heeft van een kwartperiodetijd (bij 50 Hz 5 ms). De keuze van de juiste fosforen werd echter minder door de fosforescerende werking dan door het rendement van de stralingsomzetting, het fluorescentiespektrum en de verwerkingsmogelijkheden bepaald. Het flikkeren was bij de eerste Philips-lampen, die in drie kleuren uitkwamen, niet geheel afwezig. Figuur 7.8 geeft een indruk van het flikkeren van deze lampen in vergelijking met een lagedrukkwiklamp zonder fluorescentiestoffen. Als maat daarvoor is genomen de lichtstroom als functie van de doorlopen fasehoek.

Bij Philips werd aan het eind van de jaren dertig begonnen met een onderzoeksprogramma dat betrekking had op fosforescentie. Ondanks het interessante karakter van dit thema zullen we een be-

schrijving daarvan achterwege laten, omdat het in de door ons beschouwde periode geen direkte invloed had op de door Philips uitgebrachte fluoresciënelampen.



Figuur 7.8 Lichtstroom als functie van de fasehoek voor lagedruk-kwikontlading zonder fluoresciëtie (a) en Philips' TL 100 daglicht (b), warm-wit (c) en wit (d) [Oranje (1942), fig. 134].

Radiostoring.

Aan het eind van de jaren dertig kwam een nieuw beoordelingskriterium op met betrekking tot fluoresciënelampen: 'radiostoring'. Het probleem van storing van radio's speelde weliswaar in theorie bij alle gasontladingslampen, maar was minder urgent bij de beoordeling van vroegere lampen, omdat zij betrekkelijk weinig werden toegepast en in het algemeen buiten en dus op grote afstand van ontvangers werden geïnstalleerd, terwijl bovendien het gebruik van radio's nog niet sterk was ingeburgerd.

Radiostoring kan langs drie wegen de antenne van het radiotoestel bereiken: de lamp kan zelf als zender fungeren, de leidingen tussen de lamp en het voorschakeltoestel kunnen dat eveneens en de

toevoerleidingen kunnen storingen naar het elektriciteitsnet transporteren. In 1939 verrichtte C. Verburg in het Natuurkundig Laboratorium een uitvoerig onderzoek naar dit probleem, dat vrij urgent was, omdat de lampen waren bedoeld voor gebruik in huis en dus in de buurt van ontvangers konden zijn opgesteld. Hij ontdekte dat de oorzaak van de storing gedeeltelijk was gelegen in hoogfrequent trillingen in de ontlading, die ontstaan bij de anode.[122]

Verburg probeerde het euvel bij de bron aan te pakken door de ontlading te stabiliseren bij de anode. De beste remedie bleek het aanbrengen van een hulpontlading bij elke elektrode. Deze oplossing werd al eerder gebruikt bij het onderdrukken van lopende striae, die door dezelfde oorzaak bij de anode kunnen ontstaan. Om een hulpontlading tot stand te brengen moest Verburg bij elke elektrode een extra insmelting voor een hulpelektrode maken, hetgeen productie van de buis niet makkelijker maakte. Bovendien verbruikten de hulpontladings extra energie.

Dit laatste gold niet voor een andere oplossing, waarbij werd uitgegaan van het onderdrukken van de opgewekte hoogfrequent trillingen. Eén methode daarvoor is het gebruik van een ander vulgas dan argon, maar dan stijgt de ontsteekspanning te veel. Een geschiktere methode bleek het aanbrengen van metalen hulsjes om de gloeielektroden, die daarmee elektrisch contact maakten. Daardoor werd het oppervlak van de anode vergroot en daalde de anodeval, zodat, mits de anodeval lager bleef dan de ionisatiespanning van het aanwezige gas, de ontlading bij de anode stabiel werd.[123] Het leggen van elektrisch contact tussen de elektrode en de omhulling introduceerde echter een nieuw probleem: de glaswand werd daardoor eerder zwart.[124] Of de eerste fluorescentielampen van Philips daadwerkelijk van speciale hulsjes bij de elektroden waren voorzien, kon niet met zekerheid worden vastgesteld.

Maatregelen ter onderdrukking van de transmissie van de storing langs de drie genoemde wegen werden echter zeker wel genomen. De storing door de lamp zelf werd verminderd met behulp van een condensator van 0,01  $\mu$ F parallel aan de lamp. Voorts voorkwam het plaatsen van het voorschakeltoestel dichtbij de lamp een sterke antennewerking van de verbindende leidingen. Tenslotte werd de smoorspoel sym-

metrisch verdeeld tussen beide aansluitpunten van het elektriciteitsnet, hetgeen transmissie van de storing naar het net reduceerde (zie figuur 7.6). Indien dat niet afdoende was, konden extra filters tussen de lamp en het net uitkomst bieden.

Naast de lamp kon ook de neonbimetaal-schakelaar radiostoring veroorzaken. Bij elke aan- of uitschakeling wekt de schakelaar namelijk elektromagnetische straling van een pulsvormig karakter op, die als geknetter op de radio kan doorklinken. Een remedie daartegen werd als nauwelijks nodig beschouwd, omdat deze storing slechts enkele sekonden duurde. Indien de lamp echter defekt was, bleef de schakelaar ononderbroken schakelen met als gevolg een kontinu geknetter. Dat was slechts te verhelpen door de verbinding met de netspanning te verbreken of de lamp te verwijderen, want ook dan kwam de schakelaar zonder spanning te staan (zie figuur 7.6). [125]

#### Prijs.

Het vaststellen van de verkoopprijs van de fluorescentielamp was een groot probleem voor Philips en de andere Phoebus-leden die deze lampen wilden gaan produceren. Philips en Osram wilden gezamenlijk met één lamp op de markt komen en probeerden op dit punt tot overeenstemming te komen. Tijdens een vergadering in mei 1939 werden twee opties op tafel gelegd. Beide firma's zouden enerzijds een hoge, anderzijds een lage prijs kunnen hanteren. Een hoge prijs zou buitenstaanders aan de ene kant weren door de te verwachten lage omzetmogelijkheden, maar aan de andere kant misschien aantrekken door mogelijk grote winsten. Het alternatief van de lage prijs zou mogelijkwerwijs buitenstaanders weren vanwege de lage winstmogelijkheden, maar hen wellicht aanlokken door de potentieel hoge omzetten. Osram en Philips voelden beide het meest voor een hogere prijs, al waren ze het toen nog niet eens over de preciese waarde. Deze politiek volgden ze ook, toen zij in 1940 hun eerste lampen produceerden.

Reeds na een jaar rees echter de twijfel binnen Philips. Van Dijk van de kommerciële afdeling van Philora stelde voor van de ingeslagen weg af te wijken, omdat hij gealarmeerd was door de snel dalende prijzen van de Amerikaanse lampen en de daaraan gekoppelde



snel stijgende verkoopcijfers. Niet langer mocht "de vrees, dat de belangrijke en continue winsten van de gloeilampenverkoop in gevaar gebracht worden (.....) leiden tot een politiek van geheele of gedeeltelijke afzijdigheid".[126] Het voortgaan op de weg van geringe aantallen en hoge prijzen zou zijns inziens tot gevolg kunnen hebben, dat Philips zijn "grip" op de verlichtingsmarkt zou gaan verliezen. Hij verzocht de directie van Philips daarom over te gaan op grootschalige produktie met een "redelijke" prijs per lamp, omdat dat de belangen van Philips beter zou dienen.[127] Kennelijk verwoordde Van Dijk op dat moment breder levende opvattingen binnen Philips, want binnen een maand had hij het fiat van de directie voor zijn voorstellen.[128]

We kunnen hieruit afleiden, dat Philips met de norm van het beoordelingskriterium 'prijs' vooral poogde de markt zodanig te beïnvloeden, dat een grote kans op een stevige marktpositie (al dan niet met grote winst) zo goed mogelijk zou zijn gewaarborgd.

#### De eerste Philips-fluorescentielamp 'TL 100'.

Begin 1940 brachten British Thomson Houston, het Britse Siemens en het Britse General Electric Company gezamenlijk een fluorescentielamp op de markt.[129] Deze Britse firma's lagen daarmee voor op Philips, hetgeen tot grote onrust leidde bij Van Dijk van de Technisch Commerciële Afdeling van Philora: "Terwijl wij tot nu toe steeds de eerste zijn geweest die met nieuwe producten op gasontladingsgebied gereed waren, resp. steeds de ontwikkeling in een bepaalde richting gedreven hebben, b.v. natriumlampen, kwartslampen, watergekoelde lampen, zijn wij thans bij de andere partners maanden en maanden achter", verzuchtte hij in een interne notitie in april 1940.[130] Desondanks was Philips een maand later in principe gereed om de produktie van zijn eerste fluorescentielampen (TL 100) te beginnen. De oorlog brak toen echter ook in Nederland uit, waardoor de datum van uitkomen werd vertraagd tot september 1940.[131] Ondanks de breuk die door de oorlog tussen Philips en Osram ontstond, brachten ze deze lamp toch min of meer samen uit. De kenmerken van de eerste gezamenlijke lamp van Philips en Osram zijn samengevat in ta-

beoordelingskriterium	norm	opmerking
1. afmetingen:		
- lengte	100 cm	
- diameter	35 mm	
2. vermogen:		
- exkl. voorsch. app.	22,5 W	
- inkl. voorsch. app.	28 W	
3. stroom	0,25 A	
4. aansluitspanning	210-230 V	
5. kleuren	daglicht, warmwit	
6. rendement:		
- daglicht	36 lm/W	inkl. verliezen
- warmwit (Philips)	28 lm/W	„ „
idem (Osram)	35 lm/W	„ „
7. lichtstroom:		
- daglicht	1000 lm	
- warmwit (Philips)	800 lm	
idem (Osram)	1000 lm	
8. oppervlaktehelderheid:		
- daglicht	0,3 kaars/cm <sup>2</sup>	geen verblinding
- warmwit	0,23 kaars/cm <sup>2</sup>	„ „
9. wandtemperatuur	± 40 °C	
10. omgevingstemperatuur	> 5 °C	
11. arbeidsfaktor:		
- zonder kompensatie	0,5	
- met 2,5 µF	0,9	
12. levensduur	2000 uur	vooral afh. van aantal malen starten
13. prijs	f 20,-	inkl. toebehoren

Tabel 7.4 Kenmerken van de eerste fluorescentielampen van  
Philips en Osram, september 1940. [132]

bel 7.4.

De latere fluorescentielampen van Philips werden in navolging van de eerste ook TL-lampen genoemd. Interessant is de achtergrond van deze naamgeving. Volgens het woordenboek staat 'TL' voor 'tube luminescent', maar volgens Van Dam, die vroeger bij Philips werkte, hebben beide letters een andere betekenis. Voordat de TL 100 op de markt kwam, experimenteerde Philips met soortgelijke buizen in een warenhuis, die met een aantal op één hoogspanningstransformator waren aangesloten. Deze buizen heetten 'HTL', afgeleid van 'high ten-

sion luminescence'. Toen de laagspanningslamp uitkwam, zou Philips simpelweg de 'H' van HTL hebben weggelaten.[133]

We kunnen ons afvragen waarom Philips 'pas' twee jaar na de Amerikaanse firma's zijn eerste fluorescentielampen bedreven met laagspanning produceerde. Zecher begon zijn onderzoek immers al in 1933 en konkludeerde reeds in 1937, dat de door hem ontwikkelde fluorescentielampen in principe in aanmerking kwamen voor algemene verlichtingsdoeleinden. Philips had dus uit technisch wetenschappelijk oogpunt weinig beletsel om evenals de Amerikaanse firma's rond 1938 zijn eerste fluorescentielampen uit te brengen. Uit het bovenbeschrevene wordt echter duidelijk, hoe uiteenlopende belangen met betrekking tot verscheidene beoordelingskriteria verdragend hebben gewerkt. Zo waren de elektriciteitsmaatschappijen bevreesd voor de hoge rendementen, de lage arbeidsfaktor, vervorming van de netstroom en de te hoge spanningen aan de lamp of in het voorschakeltoestel. Het eerste punt werd opgelost door te besluiten tot een gezamenlijk pleidooi met de elektriciteitsbedrijven voor verhoging van het verlichtingsniveau in met kunstlicht verlichte ruimten. De overige drie punten waren onderwerp van onderhandeling tussen Philips en de KEMA, waarbij het laatstgenoemde punt - te hoge spanningen - bovendien in het internationale forum van de IFK op belangen van buitenlandse elektriciteitsbedrijven, alsmede van producenten van kleine transformatoren moest worden afgestemd. Philips verwachtte dat uit deze onderhandelingen zeer stringente voorwaarden naar voren zouden komen, waaraan alleen het LC-apparaat van Philips zou kunnen voldoen. Philips wachtte daarom de uitkomst van de onderhandelingen af.

Ook andere factoren werkten echter vertraging in de hand. Een daarvan was dat de kommerciële afdeling van Philora langdurig (ongeveer twee jaar na 1939) wachtte met het produktierijp maken van het LC-apparaat, waarschijnlijk omdat deze afdeling het te groot, te zwaar en te duur vond. Daarnaast speelde de niet geringe angst van de kommerciële leiding, dat een succesvolle fluorescentielamp de winstgevende verkoop van gloeilampen ernstig zou kunnen ondermijnen. Een aarzelende, afwachtende houding was het gevolg.

Tenslotte kan een rol hebben gespeeld de wens van Philips om zoveel mogelijk afspraken te maken met de concurrerende fabrikanten

ontrent standaardisatie van normen met betrekking tot afmetingen, vermogen, lichtstroom, oppervlaktehelderheid, enzovoort. Met Osram vonden dienaangaande regelmatig besprekingen plaats in het kader van een in 1931 gesloten samenwerkingskontraakt. Aangezien Philips er echter van overtuigd was, dat Phoebus in 1939 zou gaan beslissen, dat de laagspanningsfluorescentielampen in de kartelafspraken zouden worden opgenomen, poogde het bedrijf eveneens met de Britse partners, waarmee Philips geen extra kontrakten had, afspraken te maken. Dat mislukte omdat de Britse partners in de keuze van de afmetingen en het voorschakeltoestel de Amerikanen volgden. Zij wensten zich aangaande standaardisatie liever bij General Electric en Westinghouse aan te sluiten dan bij het Europese vasteland. Zij waren in het laatstgenoemde geval benauwd voor dure apparatuur, waardoor de kans op zware concurrentie van buitenstaanders met goedkopere Amerikaanse hulpapparatuur te groot zou worden.[134] Al deze onderhandelingen kostten tijd, maar Philips had dat er voor over, omdat het uit de intensieve samenwerking met Osram had geleerd, dat daardoor "een chaos op de [verlichtings]markt" kon worden voorkomen.[135] Het was de Tweede Wereldoorlog die voorkwam, dat al deze onderhandelingen tot een goed einde werden gebracht. Philips stond daardoor met zijn LC-apparaat met lege handen en volgde noodgedwongen de Amerikanen met hun neon-bimetaalschakeling. Alleen de afmetingen van de Philips-lampen waren daarop nog niet afgestemd, maar ook dat duurde niet lang. Na de oorlog zag Philips zich gedwongen ook de afmetingen van de Amerikanen over te nemen.[136] Samenvattend kunnen we zeggen, dat Philips niet zozeer op technisch-wetenschappelijke 'doorbraken' van het Natuurkundig Laboratorium heeft moeten wachten - principieel nieuwe uitvindingen heeft ook het Natuurkundig Laboratorium niet verricht - als wel op het afronden van onderhandelingen met verscheidene andere belanghebbenden.

Desondanks profiteerde ook Philips van een zich explosief ontwikkelende markt. Na de principiële beslissing met betrekking tot grootschalige produktie, verliepen de produktiecijfers als volgt: 34.000 (1941), 126.000 (1942), 1.000.000 (1943) en 7.000.000 (1944).[137]

§7. Konklusies.

In de inleiding van dit hoofdstuk werd de vraag gesteld, of de fysische kennis zoals is beschreven in de hoofdstukken IV en V op de ontwikkeling van fluorescentielampen meer invloed heeft gehad dan op die van lagedrukkwiklampen, die in hoofdstuk VI aan de orde zijn geweest. De in dit hoofdstuk naar voren gebrachte geschiedenis vormt geen aanleiding om op dit punt de balans naar een van beide ontwikkelingen te laten doorslaan. Net als bij de ontwikkeling van lagedrukkwiklampen hebben de ontwikkelaars van fluorescentielampen profijt gehad van kennis omtrent de processen die zich in de ontladingsbuis afspelen, maar de invloed van de nieuwste ontwikkelingen op theoretisch gebied was niet groot. Alleen met betrekking tot de beoordelingskriteria 'spanning' en 'radiostoring' is een direkte inbreng van kennis uit de gasontladingsfysika aanwijsbaar. Zo waren voor het ontwikkellaboratorium van General Electric alleen de problemen met betrekking tot de brandspanning, die kleiner moest zijn dan de netspanning, aanleiding om de hulp in te roepen van hun collega's uit het researchlaboratorium. De onderzoekers van het researchlaboratorium hoefden voor dit probleem geen principieel nieuwe kennis te ontwikkelen: zij konden gebruik maken van Wehnelt-kathoden, die in 1905 waren ontwikkeld en lage uittreepotentiaalen vertonen, al moesten zij voor de toepassing in fluorescentielampen toch nog veel problemen overwinnen. Bij Philips hoefde men op dit punt geen onderzoek meer te doen, waarschijnlijk omdat er in het Natuurkundig Laboratorium reeds voldoende ervaring was met het gebruik van Wehnelt-kathoden in kwiklampen. Daar werd vóór 1940 wel een onderzoek verricht naar de gasontladingsverschijnselen die de oorzaak vormen van radiostoring. Verburg kreeg enig inzicht in de daarvoor verantwoordelijke ontladingsprocessen en kon mede op basis daarvan remedies tegen de radiostoring voorstellen.

Een ander onderzoek dat in het Natuurkundig Laboratorium van Philips werd geïnitieerd door problemen met betrekking tot fluorescentielampen, was gericht op het verschijnsel 'fosforescentie'. Onvrede ten aanzien van de kleurweergave, het rendement van de stralingsomzetting en de levensduur van de toenmalige fosforen gaven

daartoe de impulsen. Dit onderzoek leidde echter vóór 1940 niet tot bruikbare resultaten. De werkwijze die tot 1940 in de verschillende laboratoria met betrekking tot de fosforen werd gevolgd, kan als 'trial and error' worden gekwalificeerd: veel materialen werden min of meer op goed geluk op hun uitgestraalde frekwentiespektrum, hun stralingsrendement en hun levensduur getest, waarbij dié materialen werden geselecteerd die het best aan de desbetreffende gewenste normen voldeden.

Uit de in dit hoofdstuk beschreven geschiedenis blijkt, hoe sterk de invloed was van beoordelingskriteria en de met betrekking daartoe door verschillende belanghebbenden als ideaal ervaren normen. Zowel in het ontwikkelingsproces in de laboratoria, als in de overwegingen van de lampenfabrikanten en in de onderhandelingen tussen belanghebbende instanties speelden zij een centrale rol. Het is niet overdreven te stellen, dat de ontwikkelaars dachten in termen van beoordelingskriteria. Het wél of níét realiseren van een als minimaal ervaren norm van een of meer beoordelingskriteria vormden de toetssteen voor het al of niet voortzetten van het ontwikkelwerk. Zo stopte General Electric in eerste instantie het onderzoek aan fluorescentielampen in 1926, omdat de toen verkregen rendementen veel te laag waren. Andersom gebruikte Zecher de door hem in 1937 gerealiseerde normen voor de kleur, het rendement en de levensduur van fluorescentielampen als argument om de toepasbaarheid van deze lampen voor huiskamergebruik te bepleiten.

Maar ook bij de bedrijfsleiding kwamen beoordelingskriteria expliciet in commerciële overwegingen naar voren. Een duidelijk voorbeeld werd gegeven in de bezorgdheid van Anton Philips over de introductie van de nieuwe fluorescentielampen op de markt: uitdrukkelijk noemde hij de combinatie van de relatief grote levensduur en het goede rendement als redenen, waarom deze lampen een bedreiging zouden kunnen vormen voor de bestaande verhoudingen op de verlichtingsmarkt.

Tevens blijkt dat de communicatie tussen de belanghebbenden voor een belangrijk deel verliep via beoordelingskriteria. Zo werden de problemen die rezen tussen de elektriciteitsmaatschappijen en de lampenfabrikanten, zowel in Europa als in de Verenigde Staten, ex-

pliciet uitgedrukt in termen van beoordelingskriteria: de elektriciteitsmaatschappijen waren bevreesd voor de hoge rendementen, de lage arbeidsfaktor en de mogelijk te hoog oplopende openlusspanning van het voorschakeltoestel van de fluorescentielampen. Via onderhandelingen probeerden de lampenfabrikanten en de elektriciteitsmaatschappijen overeenstemming te bereiken over de meest geschikte norm voor deze beoordelingskriteria.

Naast de elektriciteitsmaatschappijen vormden de klanten een belangrijke groep belanghebbenden. Ook tussen hen en de lampenfabrikanten verliep de kommunikatie via beoordelingskriteria: in de agressieve reclamekampanje van Hygrade Sylvania Corporation werd het publiek warm gemaakt voor de nieuwe lampen door te wijzen op de uitstekende kleurweergave en het hoge rendement, waardoor verlichting goedkoper zou kunnen worden. Voor Hygrade Sylvania Corporation was het benadrukken van de verkregen normen voor deze beoordelingskriteria een middel om te pogen indruk te maken op het publiek en aldus zijn marktaandeel in de verlichtingsmarkt te vergroten.

Tot slot werpt dit hoofdstuk enig licht op de wijze waarop normen voor beoordelingskriteria tot stand komen. Klanten hebben de neiging nieuwe artefakten met bestaande artefakten te vergelijken. De lampenontwikkelaars in het laboratorium vergeleken daarom in hun proeven de fluorescentielampen vaak met gloeilampen, die voor het beoogde doel van algemene verlichting reeds decennialang werden toegepast. Vooral de met gloeilampen verkregen normen voor de kleur van het licht, het rendement en de levensduur vormden voor deze functie een standaard, waaraan met de fluorescentielampen bereikbare normen werden afgemeten. Voor de kleur van het uitgezonden licht vormde de gloeilamp echter een minimumstandaard voor algemeen gebruik. Al vroeg werd de spektrale samenstelling van zonlicht als het ideaal hiervoor naar voren gebracht.

Interessant is dat ook de verschillende nationale kulturen van invloed kunnen zijn bij de totstandkoming van normen. Bij fluorescentielampen was het grondpatroon in de ontwikkeling over de gehele wereld gelijk, maar ten aanzien van enkele beoordelingskriteria zijn toch nationale verschillen aan te geven. In Frankrijk werd bijvoorbeeld de aanvankelijke onmogelijkheid om een fluorescentielamp op

netspanning aan te sluiten lange tijd niet als probleem gezien. Daar was men gewend aan de hoogspanningsbuizen van Claude, waarop de nieuwe fluorescentielampen sterk leken, zodat eerst hoogspannings-fluorescentielampen ontstonden. In de Verenigde Staten daarentegen werd de noodzakelijke hoogspanning echter wel als probleem ervaren. Daar dacht men in termen van massaproductie, hetgeen leidde tot de wens om fluorescentielampen ook in woonhuizen op de netspanning te kunnen aansluiten. Ook voor de afmetingen had dit consequenties: van aanvang af wenste men daar een lamp met gestandaardiseerde afmetingen, die eenvoudig in grote aantallen zou zijn te produceren.

Samenvattend kan worden gesteld, dat beoordelingskriteria op allerlei niveau's een belangrijke rol spelen. De eisen en wensen met betrekking tot fluorescentielampen werden gesteld in termen van normen voor beoordelingskriteria. Beoordelingskriteria waren niet weg te denken in het ontwikkelingsproces van deze lampen in de laboratoria en vormden de middelen waarmee de verschillende belanghebbenden met elkaar over de lampen konden communiceren. De dynamiek in de totstandkoming van fluorescentielampen blijkt dus te beschrijven, en derhalve tevens begrijpelijk te maken, met de argumenten die speelden met betrekking tot de normen voor de beoordelingskriteria.



HOOFDSTUK VIII. HOGEDRUKKWIKLAMPEN, 1900-1940.§1. Inleiding.

In de beide voorafgaande hoofdstukken is ingegaan op de geschiedenis van lagedrukkwiklampen met en zonder fluorescentie tot ongeveer 1940. In deze lampen bevindt zich een hoeveelheid kwik met zeer geringe dampspanning, namelijk ten hoogste enkele millimeter kwikdruk. In de jaren dertig verschenen daarnaast verschillende hogedrukkwiklampen op de markt met dampdrukken van ongeveer 0,1 tot 10 atm. Ook 'superhogedrukkwiklampen', waarin drukken tot enkele honderden atmosfeer kunnen voorkomen, maakten toen hun entree. Deze beide lampensoorten bouwden voort op het exemplary achievement van de hogedrukkwiklamp van R. Küch en T. Retschinsky uit 1906.

Voor de ontwikkeling van kwiklampen met lage druk kwikdamp, zowel met als zonder fluorescerende stoffen, waren geen 'doorbraken' nodig op theoretisch gebied. De nieuwe kennis die werd ontwikkeld, was voor een groot gedeelte proefondervindelijk van aard en had vooral betrekking op fluorescentiepoeders en kathoden. Zeer duidelijk kon dit worden geïllustreerd aan de werkwijze van Zecher, die zich bijna niet voor atomaire verklaringen van de waargenomen verschijnselen interesseerde en verbeteringen vooral op empirische wijze realiseerde. De lagedrukkwiklampen gaven wel aanleiding tot meer theoretisch gericht onderzoek, bijvoorbeeld aangaande de daarin optredende ontladingsprocessen bij de elektroden (in verband met radiostoring) of de processen die zich in fosforen voordoen. De daaruit voortvloeiende kennis heeft echter, voor zover valt vast te stellen, niet veel invloed uitgeoefend op de vooroorlogse ontwikkelingen.

Bij hogedruk- en superhogedrukkwiklampen lag de situatie anders. De ontwikkeling van deze lampen ging gepaard met sterk theorie-geladen onderzoek, dat wil zeggen met onderzoek dat was gericht op de

fundamentele processen in de ontlading. Elenbaas van het Natuurkundig Laboratorium van Philips vervulde daarin een zeer belangrijke rol. De vraag is of daardoor de geschiedenis van hoge- en superhogedrukkwiklampen door een nauwere samenhang tussen wetenschappelijk onderzoek en de ontwikkeling van artefakten wordt gekenmerkt dan die van lagedrukkwiklampen. Dit hoofdstuk zal ingaan op het ontstaan van hogedrukkwiklampen met een dampdruk van ongeveer 1 atm, terwijl het volgende hoofdstuk de kwiklampen onder super hoge druk zal bespreken. Om een goed overzicht te krijgen van de ten tijde van Elenbaas' eerste onderzoeken reeds bestaande technisch-wetenschappelijke kennis, wordt hier eerst ingegaan op de voorgeschiedenis, te beginnen bij het werk van Küch en Retschinsky. De theorievorming van Elenbaas komt vooral in hoofdstuk IX aan de orde, omdat hij deze grotendeels ontwikkelde, nadat Philips met zijn eerste hogedrukkwiklampen op de markt was gekomen.

### §2. De eerste hogedrukkwiklamp van Küch en Retschinsky (1906).

Küch en Retschinsky ontwikkelden hun eerste hogedrukkwiklamp in het laboratorium van de firma W. C. Heraeus te Hanau (Duitsland). Dit bedrijf produceerde rond 1900 vooral platina en enkele andere metalen, maar was in die tijd ook tot produktie van ultraviolet-lampen overgegaan. Aan de basis daarvan stond het werk van de fysikus Küch, leider van het laboratorium en sinds 1891 in dienst van Heraeus.[1] In 1899 was het hem niet slechts gelukt bergkristal tot kwartsglas om te smelten - een op zich reeds bekende techniek - maar ook om dit kwartsglas, net als andere glassoorten, in willekeurige vormen te verwerken. Zo kon hij vaten en buizen uit kwartsglas maken.[2] Een van de belangrijkste toepassingen was een ultraviolet-lamp op basis van een lagedrukkwikontlading. De door de kwikontlading opgewekte ultraviolette stralen werden tot zeer kleine golflengten (tot 250 nm) door de kwartsglazen omhulling doorgelaten. Andere glassoorten lieten golflengten van minder dan ongeveer 300 nm niet meer door, terwijl juist de kortere golflengten met succes bij de behandeling van huidziekten konden worden gebruikt.[3] Kort na de ontdekking van Küch kwam Heraeus met kwiklampen met kwartsglas op de

markt.[4]

In het laboratorium van Heraeus experimenteerden Küch en Retschinsky met kwiklampen uit kwartsglas. Zij ontdekten dat deze lampen een veel hogere norm van de elektrische veldsterkte ("Spannungsabfall") konden bereiken dan lagedrukkwiklampen. Normale kwiklampen haalden geen hogere norm dan 1 V/cm, vanwege de sterk toenemende druk en temperatuur. Het door hen gefabriceerde kwartsglas kon echter veel hogere drukken en temperaturen weerstaan dan gewoon glas, zodat zij de elektrische veldsterkte aanzienlijk konden opvoeren. Zij bleken in staat meer dan 30 V/cm te bereiken en maten de daarbij optredende drukken en temperaturen, alsmede de spektrale verdeling van de opgewekte straling.

De konstruktie van de lamp was enigszins vergelijkbaar met de eerste kwiklamp van Rapieff en Arons: hij was omgekeerd U-vormig met in de 'benen' van de U-vorm een plasje kwik, dat respektievelijk de kathode en de anode vormde. De afmetingen van het anode- en kathodevat verschilden van elkaar om er voor te zorgen, dat beide kwikplasma's bij de gebruikte gelijkstroom even snel verdampten, zodat langdurig gebruik mogelijk was. Ook was de vorm van het kathodevat zodanig gekozen, dat de warmte-afgifte naar de omgeving stabiliserend werkte op de aan beide polen verdampende hoeveelheid kwik.[5]

Voor de elektrodedoorvoer gebruikten Küch en Retschinsky ijzerdraad in konusvormige slijpstukken uit nikkelstaal, zowel bij de overgang van binnen naar buiten als omgekeerd. De overgangen tussen de slijpstukken en de kwartswand waren luchtdicht afgedicht met druppels kwik. Deze vorm voorkwam dat bij onderdruk in de lamp lucht naar binnen kon komen en bij overdruk de elektrodedoorvoer uit de omhulling zou worden gedrukt. Deze komplexe konstruktie was nodig, omdat de uitzettingskoëfficiënten van ijzer en kwarts zoveel verschillen, dat bij sterke stijging van de temperatuur mechanische spanningen ontstonden in een direkte insmelting van ijzer in kwartsglas, die barsten veroorzaakten.[6] Hun aldus gekonstrueerde lamp kon drukken tot ongeveer 4 atm doorstaan.[7]

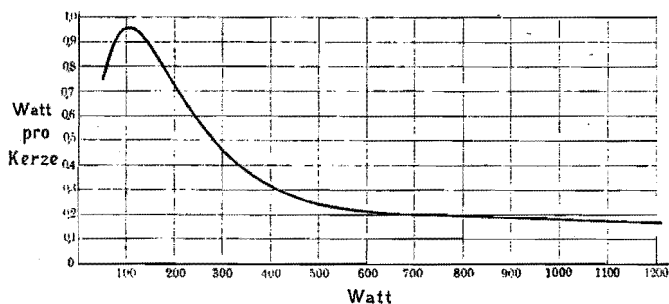
Om de lamp te ontsteken gebruikten Küch en Retschinsky de bekende kantelmethode. Voerden zij de belasting van de lamp op, dan constateerden zij dat de lichtgevende boog zich van de glaswand los-

maakte en zich steeds meer tot een draadvorm samensnoerde (kontraktie). Een ander kenmerk van de lamp was een positieve I-V-karakteristiek.[8]

Een van de belangrijkste vondsten betrof het verloop van het specifieke vermogen als functie van de belasting van de lamp. Allereerst stelden zij vast, dat er een positief verband bestond tussen de belasting en de kwikdampdruk in de lamp. Vervolgens zetten zij het specifiek vermogen grafisch uit als functie van de belasting. Het resultaat is te zien in figuur 8.1 (die een identieke, maar fraaiere weergave is van de originele metingen van Küch en Retschinsky). Figuur 8.1 laat zien dat de beide onderzoekers bij lage belasting (en dus lage druk) een snelle toeneming van het specifieke vermogen als functie van de belasting waarnamen. Aanvankelijk daalde het rendement van de lamp dus bij toenemende belasting. Dit was geheel in overeenstemming met de eerdere waarnemingen van anderen (vergelijk het rechtse gedeelte in figuur 6.1). Nieuw was echter dat bij een bepaalde waarde van de belasting ( $\pm 100$  W) het specifieke vermogen een maximum bereikte en daarna weer snel afnam. Dat betekende dat bij toenemende kwikdampdruk het rendement van de lamp na aanvankelijk een minimum te hebben doorlopen, weer toenam. Bij belastingen van ongeveer 1000 W verkregen zij 0,185 W/Hkaars (1 Hkaars of Hefner kaars is ongeveer 0,9 kaars), een waarde waarvan zij claimden, dat het de laagste was die tot dan toe was gemeten. Ter verklaring van het optreden van het maximum in de kurve, suggereerden zij dat bij toenemende belasting (en dus toenemende kwikdampdruk en temperatuur) het rendement van de straling als gevolg van aanslag door de door het elektrische veld versnelde elektronen weliswaar afneemt, maar het rendement van de temperatuurstraling juist toeneemt. Het laatste effect zou zo sterk naar voren treden boven een bepaalde belasting, dat het dan de gehele waarde van het totale rendement zou bepalen.[9]

Voor het specifieke vermogen van de ultraviolette straling vonden Küch en Retschinsky eenzelfde verloop als functie van de belasting, als zij voor de zichtbare straling hadden gemeten. Tenslotte onderzochten zij de optredende verschuivingen in de intensiteit van een aantal spektraallijnen en het aanwezige continue spectrum. Een

van de resultaten was, dat in het continue spektrum, dat sterker aanwezig was dan bij lage druk, de kortere golflengten relatief sneller toenamen dan de langere. [10]



Figuur 8.1 Specifiek vermogen (Watt per kaars) als functie van de belasting (Watt) bij hogedrukkwiklamp van Küch en Retschinsky [Bussmann (1907), fig. 46].

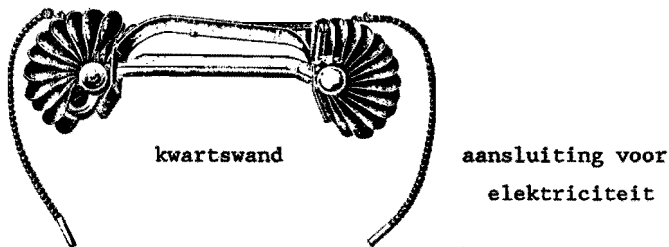
In een apart gepubliceerd onderzoek gingen Küch en Retschinsky in op de verandering van de temperatuur in de as van de ontlading. Ondanks de rijke ervaring van Küch met het meten van hoge temperaturen [11], leverde dit de nodige problemen op. Het voornaamste probleem was, dat de optredende temperatuur bij zeer hoge belasting alle meetinstrumenten deed smelten. Küch en Retschinsky konden met thermokoppels maximaal 1700 °C meten bij een belasting van ongeveer 400 W. Via extrapolatie van de meetgegevens meenden zij bij 800 W temperaturen van 6000 tot 7000 °C te kunnen verwachten. Zij zagen hierin een ondersteuning voor hun vermoeden, dat temperatuurstraling bij hogere belasting (en druk) een steeds grotere rol gaat spelen. [12]

Küch en Retschinsky kregen, net als bijvoorbeeld Weintraub bij General Electric en Penning later bij Philips, van hun werkgever de gelegenheid een dubbelrol te spelen. Niet alleen waren zij ontwikkelaars van nieuwe artefakten in het bedrijfslaboratorium van Heraeus, maar ook konden zij net als universitaire fysici de resultaten van hun onderzoek aan de fysieke gemeenschap presenteren. Zij publi-

ceerden hun bevindingen in twee artikelen in de Annalen der Physik, waarvan de eerste rendements- en spektraalmetingen en de tweede temperatuurmetingen in een hogedrukkwikontlading behandelde. Ook zonder sterke theoretische verklaringen hadden deze publikaties op dat moment een zekere waarde voor de fysische gemeenschap, omdat zij nog niet eerder bekende gegevens over het destijds veelvuldig bestudeerde thema 'gasontladingsverschijnselen' presenteerden. Zij waren dus in staat verbanden te leggen tussen fysisch van belangzijnde grootheden.

De relatie met het ontwerpen van artefakten komt in hun werk eveneens naar voren. De door hun gemeten grootheden hadden óf direkt óf indirekt de betekenis van ontwerpcriteria voor het ontwerpen van hogedrukkwiklampen. Zo is het specifieke vermogen in reciproke vorm gelijk aan het lichtrendement van de lamp en bepaalt het stralingspektrum direkt de kleur van het uitgezonden licht. Uit hun werk volgt dus een belangrijke eigenschap van beoordelingscriteria: in de kontekst van het ontwerpen kunnen zij de betekenis van ontwerpcriteria hebben en in de kontekst van fysisch onderzoek die van fysische grootheden, terwijl zij soms direkt of indirekt in elkaar zijn te vertalen. Wij zullen hierop in §7 terugkomen en hier het verhaal voortzetten van de hogedrukkwiklampen van Küch en Retschinsky.

koelbladen



Figuur 8.2 Kwarts lamp van Küch en Retschinsky voor 3,5 A en 220 V [Busmann (1907), fig. 50].

De door hen ontwikkelde kennis werd toegepast bij de productie van twee artefakten: een lichtbron en een ultravioletstraler. Figuur

8.2 toont de uitvoering als bron van verlichting in 1907. Duidelijk herkenbaar zijn waaiervormige metalen koelbladen bij de anode en de kathode. Zij dienden ter stabilisatie van de temperatuur en daarmee van de ontlading. Toepassing van grote condensatieruimten, die in Hewitts lampen werden gebruikt, werd wel onderzocht, maar bleek bij hoge druk niet goed te funktionieren.[13] De kenmerken van de eerste hogedrukkwiklampen zijn samengevat in tabel 8.1.

Net als de lamp van Hewitt was de hogedrukkwiklamp geschikt voor aansluiting op de netspanning, terwijl de eerste versies ook slechts geschikt waren voor gelijkspanning. Vanwege het toenemende gebruik van wisselspanning, kwam in 1912 ook een wisselspanningsvariant op de markt.[14] Een groot verschil met Hewitts lamp was de mogelijkheid van een veel hogere belasting per centimeter booglengte. De elektrische veldsterkte in handelsuitvoering bedroeg 12 V/cm tegenover 1 V/cm in lagedrukkwiklampen. De lengte van de boog en dus van de gehele lamp kon daardoor veel korter worden gehouden. Een hogedrukkwiklamp kon daarom in armaturen worden geplaatst, die analoog waren aan die van koolbooglampen.

Positief gewaardeerde punten van de lamp waren vooral het zeer lage specifieke vermogen van  $\pm 0,28$  W/kaars, een gegarandeerde levensduur van 1000 uur, de eenvoudige bediening en de zeer lage onderhoudskosten. Vanwege de hoge lichtstroom van 1080 kaars en meer was de lamp net als koolbooglampen slechts geschikt voor verlichting van grote ruimten of voor buitenverlichting. Een in het oog springend nadeel ten opzichte van koolbooglampen was de hoge verkoopprijs, die om en nabij M 200,- lag voor gelijkspanningslampen en voor wisselspanningslampen zelfs nog 40 % hoger was.[15] De reden hiervan was de hoge prijs van het kwartsglas, dat ongeveer M 1,- per gram kostte, terwijl de lamp ongeveer 80 gram kwartsglas bevatte.[16] Desondanks wezen berekeningen uit, dat de kwartslamp, vanwege het hoge rendement en de geringe onderhoudskosten, in gebruik goedkoper zou zijn dan koolbooglampen.[17]

Over de waardering van de kleurweergave waren de meningen, net als bij de voorgangers met lage kwikdampdruk, ernstig verdeeld. De kwalifikaties liepen uiteen van "angenehm" tot "hässlich".[18] Overeenstemming bestond wel over de verbetering ten opzichte van de la-

beoordelingskriterium	bereikte norm	opmerking
1. spanning: - brandspanning - aansluitspanning	85-180 V 100-130, 200-250 110 en 220 V	wisselspanning vanaf 1912
2. stroom	1,5-4 A	
3. vermogen	≤ 1170 W	
4. elektr. veldsterkte: - in lab. opstelling - handelsuitvoering	tot ruim 30 V/cm 12 V/cm	
5. afmetingen: - booglengte - diameter	8, resp. 15 cm 1 à 1,5 cm	110, resp. 220 V
6. specifiek vermogen: - in lab. opstelling  - handelsuitvoering	0,20 W/kaars  0,22-0,28 W/kaars	exklusief voor- schakelweerstand
7. lichtstroom: - in lab. opstelling - handelsuitvoering	≤ 6420 kaars 1080-2700 kaars	
8. kleur van het licht	gelig-wit	
9. levensduur: - gegarandeerd - in praktijk	1000 uur soms tot 6000 uur	
10. temperatuur	6000 à 7000 °C	in as van boog, ruw geschat
11. druk	1 à 2 atm	
12. opwarmtijd	10 min.	
13. invloed netspan- ningsvariaties	groot	bij wisselspann. stabilisatie met smoorspoel
14. ontstekingswijze: - via automatisch kantelen	eenvoudig, storingsvrij	
15. uv-opbrengst	zeer hoog	
16. aktiniteit	zeer groot	20 x die van gloeilamp
17. prijs	M 170,- à M 200,-	duur door kwarts; bij wisselspann. 40 % hoger
18. onderhoudskosten	zeer laag	

Tabel 8.1 Kenmerken van hogedrukkwiklampen van Kùch en  
Retschinsky rond 1910. [19]

gedrukkwiklampen: in het spektrum van de hogedrukversie bevond zich meer geel en ook een geringe hoeveelheid rood, zodat de totale



kleurweergave beter was. Ook de aanwezigheid van een sterker kontinu spektrum droeg daartoe bij. Desondanks moest H. Heraeus, een van de firmanten van Heraeus, kritici van de lamp gelijk geven, dat de kleurweergave nog niet ideaal was. Vanwege die reden had de firma reeds in 1904, direkt na de eerste proeven met de hogedrukkwiklamp, een variant met amalgamen onderzocht. Toen was opnieuw gebleken, dat een samengesteld spektrum van de verschillende konstituerende gassen en dampen hooguit korte tijd stand houdt en op den duur alleen het kwikspektrum overblijft. Rond 1907 begon Heraeus desondanks met de produktie van een lood-bismut-zink-cadmium-amalgaam-lamp voor spektroskopische doeleinden. Zoals reeds werd vermeld in hoofdstuk V §2, had Arons de stimulans voor de ontwikkeling van deze lamp gegeven, die volgens H. Heraeus niet geschikt was voor verlichtingsdoeleinden.[20]

De firma Heraeus garandeerde een levensduur van 1000 uur, terwijl in de praktijk levensduren van 2000 tot 3000 uur niet uitzonderlijk waren.[21] Dit betekende dat de complexe elektrodedoorvoer - slijpstukken afgedicht met een druppel kwik - die ook in de handelslampen werd toegepast, geen problemen opleverde voor de levensduur.[22] De elektrodedoorvoeren waren hooguit in zoverre lastig, dat zij massafabrikage van de lampen onmogelijk maakten. Dit werd echter in die tijd door geen van de beschikbare bronnen als probleem naar voren gebracht; pas veel later, in 1956, noemde Elenbaas dit als tekortkoming van de lamp van Küch en Retschinsky.[23] Wellicht is een verklaring hiervoor, dat de lampen aan het begin van deze eeuw vanwege de kleur nog niet geschikt werden geacht voor algemene verlichting. Zij werden slechts voor speciale doeleinden gebruikt en dus in kleine series geproduceerd. Dat veranderde pas na 1935 (mede door het werk van Elenbaas).

De lampenfabrikanten hadden hoge verwachtingen van de hogedrukkwiklamp voor buitenverlichting. Volgens gegevens uit 1909 leverden niet alleen Heraeus, maar ook verschillende producenten van koolbooglampen deze nieuwe lamp. De lamp werd vooral geschikt geacht voor verlichting van laadstations, stations, havens en overslagplaatsen. Voor verlichting van wegen kwam de lamp niet in aanmerking, omdat hij daarvoor teveel licht gaf (en dus verblindend zou

kunnen zijn).[24] Rond 1915 viel de hogedrukkwiklamp echter als verlichtingsbron, net als de koolbooglampen, ten proef aan de snelle opkomst van de gasgevulde gloeilampen, die eveneens hoge rendementen haalden, goedkoper waren en vooral een betere kleurweergave hadden. Pogingen om de hogedrukkwiklamp in te voeren voor buitenverlichting mislukten daarom.[25]

Daarentegen slaagde Heraeus er wel in voor de lamp een grote markt voor fotografische, therapeutische en biologische doeleinden te kreëren. Aan de basis van deze toepassingen lag de hoge dosis ultraviolette straling, die de kwikontlading opwekte. Uit een vergelijkend onderzoek in 1910 bleek bijvoorbeeld, dat van alle toenmalige lichtbronnen de kwartslamp van Kùch en Retschinsky de hoogste norm haalde met betrekking tot de aktiniteit.[26]

### §3. Enkele andere vroege hogedrukkwiklampen.

In 1908 begon de Westinghouse Cooper Hewitt Company te Londen eveneens met de produktie van hogedrukkwiklampen, de "Silica" lampen. De karakteristieken van deze lampen waren overeenkomstig aan die van Heraeus. Ze waren voorzien van automatische kantelinstallaties ter ontsteking van de ontlading en gemonteerd in grote gemateteerde armaturen. Daardoor was de oppervlaktehelderheid van de totale lamp laag en verspreide hij een aangenaam licht met zachte ("soft") schaduwen. Innovaties ten opzichte van de lampen van Heraeus werden niet geclaimd en zijn ook niet uit de literatuurbeschrijving af te leiden.[27]

Enige jaren later onderzochten M. Wolfke en C. Ritzmann in een privé-laboratorium te Breslau hoe zij de lichtkleur van kwiklampen konden verbeteren. De drijfveer voor hun onderzoek verwoordde Wolfke als volgt: "Der grösste Nachteil der heutigen Quecksilberlampen, der ihr Verwendungsgebiet in der Praxis bedeutend einschränkt, ist wohl das unangenehme, dem Quecksilber eigene an roten Strahlen arme Licht".[28] De aanleiding vormde dus de als 'onvoldoende' gekwalificeerde lichtkleur van de hogedrukkwiklamp. Naar eigen zeggen onkundig van eerdere pogingen om deze tekortkoming te overwinnen, onderzochten zij de mogelijkheden om kwik te vervangen door makkelijk

smeltbare legeringen. Als eisen stelden zij een hoog rendement, een legering die noch een neerslag zou vormen op de glaswand, noch deze chemisch zou aantasten, alsmede een 'witte' kleurweergave van de lamp. De enige metalen waarvan ze in theorie verwachtten, dat die hieraan konden voldoen, waren zink en cadmium. Zink viel - om onbekende redenen - af zodat alleen cadmium overbleef. Voor een 'witte' kleurweergave was het voldoende aan het cadmium enkele procenten (3 - 10 %) kwik toe te voegen. De kleur van een dergelijke cadmium-kwiklamp was volgens hen vergelijkbaar met die van gewone koolbooglampen. [29]

Ze onderzochten twee verschillende konstrukties van de lamp. In de ene lamp bestond de kathode uit de legering van cadmium en kwik, terwijl de anode van grafiet was gemaakt. In de andere werden beide elektroden gevormd door deze legering. De tweede lamp haalde een veel lager specifiek vermogen dan de eerste: respectievelijk 0,16 W/kaars bij 620 W en 0,50 W/kaars (vermoedelijk bedoelden ze hier steeds Hkaars [30]). Het verloop van het specifiek vermogen als functie van het in de lamp gedissipeerde vermogen was in beide gevallen analoog aan dat van de lamp van Küch en Retschinsky: bij lage vermogens trad een relatief hoog specifiek vermogen op, dat echter bij een toenemend vermogen sterk daalde (vergelijk figuur 8.1). [31]

Een apart probleem vormde de ontsteking van de lamp. Een eenvoudige kantelschakeling funktioneerde niet, omdat noch de kathode, noch de anode bij kamertemperatuur vloeibaar was. Ze probeerden verschillende opties, waaronder uitvoeringen met hulpelektroden, inductieve pulsformige spanningen en Wehnelt-kathoden. Deze voldeden niet - onvermeld bleef, waarom niet - zodat zij zich gedwongen zagen nieuwe ontstekingsmechanismen te ontwikkelen, die naar eigen zeggen bevredigend waren. Voor het eerste type konstrueerden zij een grafieten anode aan een kettinkje, waardoor via kantelen contact kon worden gemaakt tussen kathode en anode. In het tweede type maakten zij gebruik van de neerslag die bij uitschakeling op de kwartswand achterbleef. Bij herinschakeling van de spanning vloede door de neerslag een stroom, waarna deze verdampte. In de zo ontstane damp werd met behulp van een hulpanode de ontlading ingeleid. [32]

Door verschillende buitenstaanders werd de lamp van Wolfke,

waarvan de kenmerken zijn samengevat in tabel 8.2, nadien als potentiële oplossing van het kleurprobleem van kwiklampen naar voren gebracht.[33] Desondanks kwam hij nooit in produktie. Een van de redenen daarvoor was, dat de levensduur - in het laboratorium van Wolfke tenminste enkele weken [34]- te kort was: het cadmium tastte het kwartsglas te snel aan.[35] Bovendien werd de ontstekingswijze met behulp van een grafietelektrode aan een kettinkje als 'gekomplieerd' gekwalificeerd.[36]

beoordelingskriterium	norm type I*	norm type II*
1. spanning:		
- aansluitspanning	netspanning	netspanning
- brandspanning	< 100 V	< 100 V
2. stroom	tot $\pm$ 9 A	> 5 A
3. vermogen	tot 1100 W	tot 620 W
4. specifiek vermogen	$\geq$ 0,50 W/kaars**	$\geq$ 0,16 W/kaars**
5. lichtstroom	< 2200 kaars**	< 3800 kaars**
6. kleur	'wit'	'wit'
7. levensduur:		
- technisch	tenminste enkele weken	tenminste enkele weken
- economisch	kort: kwarts aantast door Cd	kort: kwarts aantast door Cd
8. ontstekings tijd	enige tijd, als bij Kùch en Retschinsky	enige tijd, als bij Kùch en Retschinsky
9. ontstekingswijze	gekomplieerd	eenvoudig, beste voor metaaldamp-lampen met vaste elektroden

\* type I: kathode uit Cd-Hg-amalgaam; anode uit grafiet.

type II: beide elektroden uit Cd-Hg-amalgaam.

\*\* Wolfke (1912) vermeldde "Kerze", bedoelde waarschijnlijk "Hefnerkerze" (0,9 kaars); de cijfers dienen hiermee dan te worden gecorrigeerd.

Tabel 8.2 Kenmerken van Wolfkes cadmium-kwiklamp (1912).

[Wolfke (1912); Gehlhof (1926), 557].

Na de lamp van Wolfke werd het tot het eind van de jaren twintig stil rondom verlichtingstoepassingen van hogedrukkwiklampen. Vermeldenswaard uit de tussenliggende periode is een uitvinding voor een nieuwe elektrodedoorvoer door kwartsglas van de Cooper Hewitt Elec-

tric Company rond 1921 (die toen juist was overgegaan in handen van GE). De nieuwe konstruktie bestond uit enkele glasovergangen tussen het doorvoermateriaal en het kwarts. De overgangslagen hadden ieder een klein verschil in uitzettingscoëfficiënt en overbrugden aldus het grote verschil tussen de uitzettingscoëfficiënten van kwarts en het doorvoermateriaal. De met deze elektrodedoorvoer voorziene lampen waren vooral bedoeld voor fysisch onderzoek en niet voor de verlichtingsmarkt.[37]

#### §4. Spanner, Germer en Döring.

Na hun werk aan lagedrukkwikbuizen (zie hoofdstuk VII §4) begonnen Spanner en Germer tezamen met U. W. Döring aan een langdurig programma met betrekking tot hogedrukkwiklampen. Dat was in 1929, dus 25 jaar na de eerste proefnemingen van Küch en Retschinsky.[38] Ze werden niet alleen gedreven door het idee deze lampen als ultraviolet-bron te verbeteren, waarvoor zich inmiddels een omvangrijke markt had gevestigd, maar eveneens door de sterke wens een revolutie op de verlichtingsmarkt teweeg te brengen. Zo verwachtten zij de gewone gloeilampenverlichting te kunnen verdringen, omdat hun nieuwe lamp het rendement van de half-watt-lamp verre zou overtreffen.[39] Het doel waarnaar zij streefden, verwoordde Spanner later als volgt: "What is wanted in the illuminant of the future is a lamp which will have all the advantages of mercury and neon lamps, which can be made to glow with any color, even if the desired color is an approximation of daylight, and which can be screwed directly into any socket".[40]

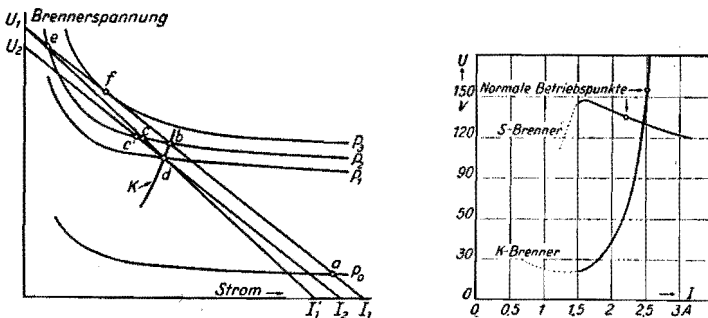
De konstruktie van de lamp sloot nauw aan bij de hogedrukkwiklampen van Küch en Retschinsky, zoals die voor ultraviolet-doeleinden op de markt waren. De eerste experimentele lampen waren bijvoorbeeld eveneens omgekeerd U-vormig. Er waren echter ook belangrijke verschillen. Zo voegden zij een edelgas (neon of argon) toe aan het kwik en brachten zij een grafieten hulpanode aan op de buitenzijde van de glaswand, die tot dicht bij de kathode werd geleid. Via de capacitieve werking van de hulpanode kon de ontsteking zonder kantelen tot stand komen. Bovendien slaagden zij er waarschijnlijk als

eersten in Wehnelt-kathoden geschikt te maken voor gebruik in hogedrukkwiklampen. Tot dan toe waren proeven met deze kathoden altijd teleurstellend verlopen, vanwege de te korte levensduur van enkele uren. Lange tijd waren deze kathoden daarom alleen geschikt voor fysieke experimenten.[41] Spanner, Germer en Döring konstrueerden een lamp met zelfverhittende Wehnelt-elektroden, die, omdat ze geen extra elektrische energie nodig hadden ter verhitting, konden volstaan met één doorvoerdraad per elektrode. Dat was gunstig voor de prijs, want elektrodedoorvoeren waren, zeker door kwartsglas, bijzonder duur.[42] Volgens M. Pirani, directeur van de Studiengesellschaft für Elektrische Beleuchtung - het onderzoekslaboratorium van Osram - hadden deze elektroden echter ook nadelen: ze zouden een minder stabiele ontlading in de lamp veroorzaken.[43]

Een laatste belangrijk verschil met de vroegere hogedrukkwiklamp vormde de glazen omhulling van de lamp. De drie uitvinders slaagden er niet alleen in uitvoeringen met kwartsglas, maar ook met andere glassoorten, zoals Pyrex Duran, loodglas en Thüringer glas, te maken.[44] Vanwege de insnoering van de ontlading bleef de temperatuur aan de wand relatief zo laag, dat ook deze glassoorten nog niet smolten.[45] Over de konstruktie van de elektrodedoorvoer door de glaswand is weinig met zekerheid uit de literatuur af te leiden. Slechts eenmaal troffen wij een uit de mond van Spanner zelf opgetekende opmerking aan die wees op problemen met de elektrodedoorvoer. Onvermeld bleef de preciese aard van de problemen, maar we mogen aannemen, dat zij de 'klassieke' breuk bij hogere temperaturen betroffen. Spanner probeerde zijn probleem op te lossen met zegellak op de doorvoer uit wolfram (waarmee hij waarschijnlijk mechanische spanningen probeerde te reduceren), maar die liep uit en verontreinigde het edelgas (waarna vermoedelijk de ontsteking problematisch werd).[46]

De lamp kon direkt op de netspanning worden aangesloten, zowel in 110 V ac als 220 V ac netten. In de lamp vond een boogontlading plaats, die in de eerste uitvoeringsvormen, net als in de lamp van Küch en Retschinsky, een positieve I-V-karakteristiek had.[47] Later (1934) bracht de Hanau Quarzlampengesellschaft, de firma waarin Heraeus zijn belangen op het gebied van kwartslampen had onderge-

bracht [48], een ultravioletlamp uit, die was gebaseerd op de uitvinding van Spanner, Germer en Döring.[49] In tegenstelling tot de eerste laboratoriumlampen had deze lamp echter een negatieve I-V-karakteristiek. De oorzaak daarvan was, dat de hoeveelheid kwik zodanig beperkt was gehouden, dat in bedrijf alle kwik was verdampt. Voordat alle kwik is verdampt, doorloopt de I-V-karakteristiek als het ware een lijn van punten die op opeenvolgende karakteristieken van normale boogontladingen liggen. Figuur 8.3 toont een en ander: in de linker figuur geven de krommen  $p_0$  tot en met  $p_3$  normale boogkarakteristieken weer bij konstante druk ( $p_i < p_{i+1}$ ). De kromme K wordt doorlopen, zolang nog niet alle kwik is verdampt (daarom had de lamp van Küch en Retschinsky een positieve karakteristiek). Zodra het kwik is verdampt, neemt de druk bij toenemende stroom bijna niet meer toe, zodat de I-V-karakteristiek meer met het verloop van de karakteristiek bij konstante druk gaat overeenkomen en een negatieve helling ontstaat. Dit is aangegeven met de kromme S in de rechter figuur.



Figuur 8.3 Boogkarakteristieken bij konstante druk ( $p_0, \dots, p_3$ ) en I-V-karakteristiek bij onverzadigde en verzadigde kwikdamp (resp. K- en S-kromme) [Ende (1934), fig. 2 en 9].

In de loop van 1930 zochten de drie uitvinders contact met Osram in een poging de octrooiaanvragen op hun nieuwe lamp te verkopen. Klaarblijkelijk verliepen de onderhandelingen uiterst moeizaam. Daarom openden ze binnen een half jaar eveneens gesprekken met Philips. Naar eigen zeggen deden ze dat, omdat ze met Philips veel be-

tere ervaringen hadden dan met Osram, maar bij Osram leefde het gevoelen, dat zij Philips en Osram tegen elkaar wilden uitspelen.[50] Philips en Osram lieten dat niet gebeuren en onderhandelden vanaf dat moment (januari 1931) tezamen met de uitvinders. Pikant daarbij is het voorstel van Philips aan Osram om alleen, maar namens beide, de besprekingen te voeren, omdat vanwege de gerezen conflicten tussen Osram en de uitvinders, de aanwezigheid van Osram-vertegenwoordigers de prijs slechts kon doen stijgen.[51]

Verscheidene Philips-medewerkers bezochten Spanner, Germer en Döring in hun laboratorium, alwaar zij een aantal uitvoeringsvormen van de lamp te zien kregen. De eerste reacties waren zeer enthousiast. H. Niclassen van Philips-Berlijn raadde aan de onderhandelingen niet onnodig te rekken, omdat hem de zaak technisch zeer interessant leek.[52] Wehl van de hoofdgroep Licht sprak zelfs van een te verwachten "Umwälzung der gesamten Lichttechnik" en stelde voor alles op alles te zetten om de octrooien van Spanner, Germer en Döring te verkrijgen, die zijns inziens bijna het gehele gebied van de verlichting bestreken.[53] Hun bewondering werd gewekt door de hoge rendementen die de uitvinders claimden (omgerekend 30 à 40 lm/W), de hoge oppervlaktehelderheden, de redelijk witte kleur en de mogelijkheid de lamp in verschillende vormen (bijvoorbeeld letters) te maken. Vooral een combinatie van een hogedrukkwiklamp met een 500 W gloeilamp, die tevens dienst deed als voorschakelweerstand, maakte vanwege de uitstekende kleurweergave grote indruk.[54] Onderzoek van de octrooiafdeling van Philips leverde op, dat de claims van Spanner, Germer en Döring waarschijnlijk te verstrekkend waren, maar ook dat enkele octrooiaanvragen lastig te bestrijden zouden zijn.[55]

Zowel in het Natuurkundig Laboratorium van Philips als in de Studiengesellschaft van Osram werd de lamp nader op zijn merites beoordeeld. Holst liet de uitvinders via Niclassen weten, dat zijn oordeel negatief was. Hij zou zowel "technisch als wetenschappelijk niets interessants" hebben ontdekt en hooguit enkele details uit de octrooiaanvragen interessant hebben geacht.[56] Speelde in die boodschap ongetwijfeld het belang van Philips mee om aldus de prijs te reduceren, bij de eveneens negatieve beoordeling van Pirani kan dat veel minder het geval zijn geweest. Hij baseerde zijn bevindingen



namelijk expliciet op metingen van de door de nieuwe lamp bereikte normen voor beoordelingscriteria als rendement, ontstekingstijd, flikkeren, levensduur en bedrijfszekerheid, waarvan we mogen aannemen dat deze eerlijk geschieden. Pirani mat een maximaal rendement van 25 lm/W bij hardglazen lampen bij hoge vermogens (800 W) (N. B. een glas wordt 'hard' genoemd, als het een hoge verwekingstemperatuur heeft, dat wil zeggen pas week wordt bij temperaturen van meer dan ongeveer 600 °C). Hogere rendementen, zoals door de uitvinders werden geclaimd, waren slechts te verkrijgen via gebruik van kwarts-glas en ook dan alleen bij grote vermogens. In alle gevallen was het rendement bij lagere vermogens veel geringer. Een hardglazen lamp van 200 W haalde bijvoorbeeld exclusief voorschakelweerstand niet meer dan 8 lm/W.[57]

Voorts waren de aan Pirani ter hand gestelde lampen onbetrouwbaar. Ze vielen vaak uit, waarna ze ongeveer 5 minuten nodig hadden om zodanig af te koelen, dat ze weer konden ontsteken. Pirani zag dit als nadeel tegenover kwiklampen van Osram, die dit euvel niet vertoonden (onduidelijk is of deze vergelijking met hogedrukkwiklampen van Osram werd gemaakt). Bovendien waren de lampen uiterst breekbaar en kwetsbaar, zodat levensduurproeven geen positieve resultaten opleverden. Tenslotte flikkerden ze te opvallend, zodat Pirani hen voor straatverlichting ongeschikt achtte. Als ze daarvoor toch zouden worden toegepast, vreesde hij dat ze een sterke antipathie zouden losmaken.[58]

Het samenvattend oordeel van Pirani was dan ook hard: "Die Verwendung von Spannerschen Quecksilberlampen als Ersatz für Glühlampen ist nicht nur wegen der Farbe, sondern vor allem wegen der Unsicherheit des Betriebes (die Lampen gehen immerfort aus und zünden dann nach einigen Minuten wieder) und wegen des schlechten Wirkungsgrades (.....) völlig aussichtslos".[59] Het verkrijgen van bepaalde normen, waarbij de gloeilamp als standaard diende, speelde dus ook bij hogedrukkwiklampen een centrale rol. Dat blijkt eveneens duidelijk uit het voorstel dat Pirani op basis van zijn experimenten formuleerde. Hij stelde namelijk voor om Spanner de opdracht te geven "eine kleine, wie eine Glühlampen einschraubbare Lampe von 1/4 Amp. zum Herstellungspreise von 80 Pfennig incl. Vorschaltwiderstand mit

einem Gesamtwirkungsgrad von 25 Lm/W (einschl. Vorschaltwiderstand) herzustellen, die eine Lebensdauer von rund 1000 Stunden aufweist".[60]

De negatieve oordelen van Holst en Pirani resulteerden niet in het beëindigen van de onderhandelingen met de drie uitvinders. Daarvoor waren de door hen aangevraagde octrooien te serieus. Ondanks dat men bij Philips en Osram niet geloofde, dat met de nieuwe lamp rendabel kleine lichtsterkten konden worden verkregen en de lamp bijgevolg de gloeilamp nooit zou kunnen verdringen, dacht men dat in de toekomst veel geld met de uitvinding kon zijn gemoed.[61] Philips en Osram zouden in dat geval óf de octrooien moeten kopen óf hevig moeten bestrijden.[62] De angst voor eindeloze octrooioprocesen deed hen uiteindelijk voor de eerste van deze beide opties kiezen.[63] Een overeenkomst die de overdracht van de octrooien regelde en tevens voorzag in een maandelijksse toelage voor de uitvinders in ruil voor exclusieve rechten op nieuwe uitvindingen op verlichtingsgebied gedurende een periode van drie jaar, werd getekend op 6 mei 1931.[64]

Uitdrukkelijk werd in deze overeenkomst vastgelegd, dat de rechten van de Hanau Quarzlampengesellschaft, die de rechten van Spanner, Germer en Döring voor ultraviolet-toepassingen had verworven, onberoerd zouden blijven. Daarnaast hielden Osram en Philips zich het recht voor hun via deze overeenkomst verkregen rechten en plichten voor Groot Brittannië en Ierland over te dragen aan een of meer Britse firma's.[65] Achtergrond voor deze clause was, dat Osram zich al eerder had verplicht tot exclusieve overdracht aan General Electric Company van zijn octrooien op het terrein van gasontladingslampen met gloeikathoden voor een periode die reikte tot na 1940.[66] Onderhandelingen tussen de uitvinders, Philips, Osram, General Electric Company en British Thomson Houston leidden vervolgens tot een overeenkomst tussen de uitvinders, General Electric Company en British Thomson Houston voor de genoemde grondgebieden, die op 19 januari 1934 werd ondertekend en met terugwerkende kracht tot 6 mei 1931 in werking trad.[67]

Daarmee was de wereldmarkt voor de octrooiaanvragen van Spanner, Germer en Döring verdeeld: Philips en Osram mochten eventuele ok-

beoordelingskriterium	norm Spanner	bereikte norm Osram-lampen		
1. spanning:				
- aansluitspann.	115 V	220 V	220 V	220 V
- brandspanning	$\pm 90$ V	120 V	130 V	140 V
2. stroom	tot 6 A	2,5 A	4,5 A	8,0 A
3. vermogen	100-500 W	250 W	500 W	1000 W
4. afmetingen:				
- lengte	31 cm	27,5 cm	31 cm	33,5 cm
- diameter	5 cm	4,6 cm	5,8 cm	4,3 cm
5. rendement	tot 50 lm/W	40 lm/W	45 lm/W	55 lm/W
6. lichtstroom	< 25.000 lm	10.000 lm	23.000 lm	55.000 lm
7. opp. helderheid (kaars/cm <sup>2</sup> )		180	190	260
8. kleur van het licht	groenig-wit geen rood	witachtig, geen rode stralen		
9. levensduur	1500 uur	2000 uur		
10. wandtemperatuur		400-500 °C		
11. kwikdampdruk	$\pm 1$ atm	$\pm 1$ atm		
12. elektr. veldst.		10 V/cm		
13. ontsteektijd:				
- 100% licht	$\pm 3$ min.	enkele min.		
- herontsteking	5-15 min.	5 min.		
14. flikkeren	gering (bij 60 Hz)			
15. radiostoring		afwezig		
16. arbeidsfaktor:				
- zonder capac.		0,45-0,6		
- met capac.	$\pm 0,9$	0,85-0,9		
17. gebruikskosten:				
- M 0,10/kWh		7-22% minder dan gloeilampen		
- M 0,40/kWh		50-60% ,, ,, ,,		

Tabel 8.3 Kenmerken van eerste commerciële hogedrukkwiklampen van Spanner en Osram (1934) [Smith (1934); Krefft en Summerer (1934)].

trooirechten toepassen in de gehele wereld met uitzondering van Groot Brittannië en Ierland, die aan de Britse firma's toevielen, en van de Verenigde Staten en Canada, waarvoor de uitvinders zelf de rechten behielden. In verschillende laboratoria werd de hogedrukkwiklamp verder ontwikkeld. Bij Osram werkte men rond 1930 reeds onafhankelijk van Spanner, Germer en Döring aan hogedrukkwikontladin- gen.[68] Aan het eind van 1932 meldden enkele bezoekers van Philips, waaronder Zecher, dat Osram de hogedrukkwiklamp "tot in de puntjes"

had afgewerkt en wilde gaan toepassen voor fabrieksverlichting en ultravioletdoeleinden.[69] Eind 1933 begon Osram met de produktie van hogedrukkwiklampen, die waren voorzien van de zelfverhittende oxydkathoden, die Spanner, Germer en Döring als eersten hadden geïntroduceerd.[70] De elektrodedoorvoer bestond uit wolfram door Supremax.[71] Tabel 8.3 geeft een overzicht van de kenmerken van deze eerste Osram-hogedrukkwiklampen.

Dezelfde tabel geeft ook de kenmerken van de eerste hogedrukkwiklampen waarmee Spanner in 1934 op de Amerikaanse markt verscheen. Hij richtte daartoe tezamen met zijn broer G. Spanner de firma 'Spanner Vapor Lamp Co.' te New York op. De Britse General Electric Company was toen inmiddels alle andere fabrikanten voorgegaan met de produktie van deze nieuwe lampen. In november 1932 had dit bedrijf zijn eerste proefwegverlichting aan het publiek getoond.[72] Waarnemers van de Electrical Times hadden enthousiast op deze vertoning gereageerd, hoewel hun het gebrek aan rode stralen in het spektrum niet was ontgaan.[73] In oktober 1933, vlak voor de eerste hogedrukkwiklampen van Osram, waren de eerste lampen van General Electric Company van 400 W fabrikagerijp.[74]

#### §5. Begin van hogedrukkwikontladingsonderzoek bij Philips.

In de loop van 1932, dus een jaar nadat de overeenkomst tussen Philips en Osram enerzijds en Spanner, Germer en Döring anderzijds was ondertekend, besloot Holst ook hogedrukkwikontladings in het programma van het Natuurkundig Laboratorium op te nemen. Zijn exakte overwegingen voor deze beslissing onttrekken zich aan onze waarneming. Vermoedelijk gaven de grote belangen van Philips in de verlichtingsmarkt de doorslag. Philips kon immers niet het risico lopen nieuwe ontwikkelingen te missen, die wellicht de gloeilamp (ten dele) konden verdringen of nieuwe markten konden openen. Bovendien had het bedrijf al ruime ervaring met gasontladingslampen. Het produceerde, zoals we al hebben gezien, bijvoorbeeld reeds geruime tijd neonbuizen en had al enige tijd natriumlampen in onderzoek, zodat de stap naar hogedrukkwiklampen niet zeer groot was.

De jonge fysikus Willem Elenbaas werd verzocht het onderzoek ter

hand te nemen. Hij was toen 26 jaar oud en drie jaar in dienst van het Natuurkundig Laboratorium. Vóór die tijd had hij bij Ornstein in Utrecht natuurkunde gestudeerd, bij wie hij tevens was gepromoveerd op een onderzoek naar de intensiteit van heliumppektraallijnen. Alvorens hij met hogedrukkwikontladingen begon, was magnetisme onderwerp van zijn studie geweest bij Philips. In 1942 verliet hij het Natuurkundig Laboratorium om naar de fabriekafdeling van gasontladinglampen te gaan. Later kreeg hij de leiding over alle laboratoria (op het laatst 25 stuks) van de industriegroep 'Licht'. [75]

Teruggrijpend op zijn herinneringen vertelt Elenbaas, dat hij geen enkele druk voelde om konkrete produkten te fabriceren. Hij moest van Holst niets anders doen dan pogen de zich in de lamp afspelende fysische processen te begrijpen. [76] Zijn eerste publikatie betrof het gedrag van de elektrische veldsterkte, een belangrijke grootheid die bij een gewenste boogspanning de lengte van de ontlaadingsbaan en dus ook van de buis bepaalt. Zoals gezegd publiceerden ook Kùch en Retschinsky reeds in 1906 over dit thema. Nadien (1927) had Güntherschulze metingen verricht aan de elektrische veldsterkte bij lage drukken. Voor kwikontladingen had hij het volgende verband vastgesteld:

$$G = \frac{C}{D \cdot (1 + a \cdot i/D)} \quad \left| \quad T = \text{konstant} \right. \quad (8.1)$$

met: G = elektrische veldsterkte (V/cm)  
 D = diameter (cm)  
 C = konstante, waarvan de waarde afhangt van T  
 a = konstante, waarvan de waarde afhangt van T  
 i = stroomsterkte (A)

De geldigheid van deze formule strekt zich uit tot ongeveer 90 °C, of 0,16 mm kwikdruk. Elenbaas breidde de metingen van Güntherschulze uit tot temperaturen tussen 83 en 300 °C, overeenkomend met dampdrukken tussen 0,11 en 247 mm kwikdruk. [77] Zijn eerste onderzoek betrof daarmee het overgangsgebied tussen lage- en hogedrukkwikontladingen. Het resultaat van zijn metingen, waarbij hij de buis in een oven plaatste om de temperatuur konstant te houden, kon hij weergeven met de volgende formule:

$$G = \frac{C}{D^a \cdot i^b} \quad \left| \quad T = \text{konstant} \right. \quad (8.2)$$

met: G, D en i als in formule (7.1)

C = konstante, waarvan de waarde van T afhangt

a = konstante, ,, ,, ,, ,,

b = konstante, ,, ,, ,, ,,

In zijn eerste publikatie over dit onderwerp claimde Elenbaas, dat deze formule over het gehele door hem onderzochte temperatuurdomein geldig zou zijn en dat alleen de precieze waarden van a, b en C nog van de temperatuur afhankelijk waren.[78] In een latere publikatie herriep hij deze konklusie, omdat hij bij dié temperaturen waarbij kontraktie optreedt, en waar de ontlading dus overgaat in een hogedrukontlading, geen bevestiging had kunnen krijgen.[79]

Uit zijn eerste interne verslag blijkt, dat Elenbaas zijn onderzoek breder had opgezet dan uit deze publikatie zou kunnen worden gekonkludeerd. Hij onderzocht niet alleen het verloop van de elektrische veldsterkte als functie van de stroom en de diameter, maar ook de spektrale samenstelling van de uitgezonden straling en het lichtrendement als functie van de stroomsterkte, de dampdruk, de buisdiameter en het percentage "bijmengsels" (dat wil zeggen: andere gassen en dampen).[80] Elenbaas poogde dus in eerste instantie op empirische wijze verbanden vast te leggen tussen enkele beoordelingskriteria, die in de kontekst van zijn onderzoek de betekenis van fysische parameters en (on)afhankelijke variabelen verkregen. In die zin leek dit onderzoek op dat van het in §2 beschreven onderzoek van Küch en Retschinsky, waarin eveneens verbanden werden vastgesteld tussen enkele fysisch relevante grootheden.

Elenbaas' konklusie ten aanzien van de spektrale energieverdeling luidde, dat deze niet zeer sterk van de genoemde variabelen afhankelijk was. Bij hogere druk namen alleen de gele lijnen met golflengten van 577,0 en 579,0 nm "nogal sterk" toe. Van het lichtrendement stelde hij vast, dat het bij 100 °C (0,27 mm kwikdruk) een maximum bereikte, waarna het bij toenemende temperatuur daalde om bij 200 °C (17,3 mm kwikdruk) een minimumwaarde te passeren. Bij ho-

ger wordende temperatuur (en druk) steeg het rendement weer, een gegeven dat strookte met de vroegere waarnemingen van Küch en Retschinsky. Niet alleen bleek het rendement toe te nemen als functie van de druk, maar ook van de stroom. Omdat bovendien bij toenemende druk de elektrische veldsterkte toeneemt, kwam hij tot de konklusie, dat het rendement toeneemt bij stijgende belasting per centimeter buislengte - eveneens een konklusie die in de lijn van de eerdere metingen van Küch en Retschinsky lag; zij spraken in tegenstelling tot Elenbaas over "Belastung", maar ervan uitgaande dat zij met een buis van vaste lengte experimenteerden, golden hun konklusies ook voor de belasting per centimeter buislengte.

In de praktijk bevindt een lamp zich uiteraard niet in een oven, zodat de temperatuur in de tijd niet konstant is. Dan stijgt de druk, als de stroom toeneemt, omdat de toenemende stroom de temperatuur doet stijgen en de dampdruk een positieve functie van de temperatuur is. Bovendien stijgt de elektrische veldsterkte bij toenemende stroom en daardoor het vermogen, zodat dit proces versneld plaatsvindt. De ontlading was daardoor tamelijk instabiel, zolang niet alle kwik in damp was overgegaan. Elenbaas ontdekte dat een goede remedie tegen deze instabiliteit het zodanig beperken van de hoeveelheid kwik was, dat deze in bedrijf geheel was verdampt (onbekend is of deze ontdekking onafhankelijk van dezelfde ontdekking in Duitsland, die leidde tot de ultravioletlamp van de Quarzlampen Gesellschaft te Hanau, plaatsvond; zie §4). In dat geval bleef, zoals gezegd, de druk in de lamp bij toenemende stroom nagenoeg konstant en kreeg de I-V-karakteristiek een negatieve helling (zie figuur 8.3). Daardoor kon de boogspanning, die toeneemt zolang de druk toeneemt, niet verder oplopen. Het gevolg daarvan was weer, dat de boogspanning niet meer boven de voedingsspanning kon oplopen en de lamp niet meer spontaan doofde. (Dit zou de verklaring kunnen zijn van de instabiliteit van de eerste lampen van Spanner, Germer en Döring). Enige ruwe berekeningen en experimentele toetsingen deden Elenbaas konkluderen, dat bij een netspanning van 220 V ac, respektievelijk 380 V ac de brandspanning niet hoger mocht komen dan 160 V, respektievelijk 275 V.

De noodzakelijke hoge temperatuur - bij een druk van 1 atm moet

de laagste temperatuur in de buis ongeveer 350 °C bedragen en kan de hoogste wandtemperatuur zeker 100 °C hoger liggen - bezorgde ook Elenbaas moeilijkheden. Hoe hoger de verwekingstemperatuur van de glaswand was, hoe beter het zou zijn. Kwartsglas was daarom in principe het meest geschikt, maar dat was duur en moeilijk te bewerken. Vooral de elektrodedoorvoer was moeilijk - een probleem dat al ten tijde van Küch en Retschinsky speelde. Vanwege de grote stroomsterkte moesten de elektrodedoorvoeren zeker 600 °C kunnen verdragen. Na verschillende proefnemingen bleek een direkte insmelting van molybdeen in Supremax het best te voldoen aan de levensduureisen. Alle andere combinaties - ook die van wolfram via één tussenglas, waarmee Osram in 1934 op de markt kwam - sprongen te snel. Een probleem dat hier direkt mee samenhang, was de brandstand van de lampen. In horizontale stand ligt de gekontraheerde ontladingsbaan boven het midden van de buis, zodat de bovenzijde van de buis dan extra wordt verhit en er een grotere kans op smelten bestaat. In horizontale stand is de maximaal mogelijke belasting daarom kleiner dan in verticale stand, waarin de warmte symmetrisch wordt afgevoerd.

Elenbaas gebruikte aanvankelijk aan beide zijden van de buis zowel een oxydkathode als een anode, waarbij de kathode apart werd verhit. Net als Spanner ontdekte hij spoedig, dat dit niet noodzakelijk was en dat de ontlading de elektroden sterk genoeg verhitte om voldoende elektronen te emitteren. Dit gold overigens alleen voor brandende buizen. Voor de ontsteking van koude buizen was de elektronenemissie bij 220 V ac te laag. Dit probleem kon eenvoudig worden verholpen met een hulpelektrode (een wolframstrip van 250  $\mu\text{m}$  dikte), die werd verbonden met de ene elektrode en die via een grote weerstand tot vlakbij de andere elektrode werd geleid. Als ontsteekgas voldeed argon van 5 mm kwikdruk het beste. De koude ontsteking vormde dus geen probleem voor Elenbaas. Herontsteking van een nog warme lamp liet echter, net als bij Spanner en Osram, enige tijd op zich wachten.

Ondanks dat hem dat niet nadrukkelijk door Holst was verzocht, paste Elenbaas zijn nieuw verworven kennis toe in een vijftal lampen. Deze waren ieder bedoeld voor een eigen functie, die elk hun eigen wensen met betrekking tot verschillende beoordelingscriteria



met zich meebrachten. De achtereenvolgende functies waren: schijnwerperverlichting ("floodlight"), lichtdruk, ultravioletbestraling, projectie en verlichting met 'wit' licht. Ter illustratie geven we hier de eigenschappen van de lampen voor de twee laatstgenoemde functies in samenvatting weer.

Voor projectiedoeleinden is een zo groot mogelijke oppervlaktehelderheid gewenst. Een wolframgloeidraad van 3000 °C heeft een oppervlaktehelderheid van 1257 kaars/cm<sup>2</sup>. Elenbaas wenste deze norm te overtreffen. Zijn eerste kwikbuizen belastte hij met een elektrische veldsterkte van ongeveer 30 V/cm. Daarmee verkreeg hij ongeveer 100 kaars/cm<sup>2</sup>. Om de norm van de wolframdraad te kunnen overtreffen, moest Elenbaas de belasting verder opvoeren. Om desondanks voor een goede warmteafvoer te zorgen, maakte hij een relatief grote glazen bol uit Supremax van 55 mm doorsnede, waarin zich in het centrum een ontlading bevond van slechts 1 cm lengte, waaraan 600 W zou kunnen worden toegevoerd. Hiermee verwachtte hij 2000 - 2500 kaars/cm<sup>2</sup> te kunnen bereiken.

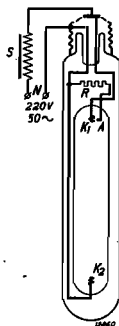
De verdeling van deze 600 W over stroom en spanning vormde voor het experiment aanvankelijk een groot probleem. Bij een elektrische veldsterkte van 13 V/cm was de druk al meer dan 1 atm, zodat verhoging daarvan explosiegevaar zou opleveren. Gegeven een elektrodenafstand van 1 cm moest de stroom bij die veldsterkte echter 50 A bedragen, een waarde die te hoog was voor de elektroden. Verhoging van de elektrische veldsterkte tot bijvoorbeeld 60 V/cm zou wellicht kunnen door de lamp in een ballon met hoge druk onder te brengen. Dan zou een stroom van ongeveer 10 A voldoende zijn, hetgeen acceptabel was voor de elektroden. Uit een latere publikatie (1935) komt naar voren, dat Elenbaas er inderdaad in slaagde om de elektrische veldsterkte nog aanzienlijk op te voeren, al wordt niet vermeld, hoe hij dat deed. Bij een elektrische veldsterkte van 50 V/cm verkreeg hij een belasting van 600 W/cm en een oppervlaktehelderheid van 2500 kaars/cm<sup>2</sup>. De druk in deze experimentele lamp bedroeg 10 atm.[81] In zijn eerder geschreven verslag gaf hij vier wegen aan om de oppervlaktehelderheid nog verder op te kunnen voeren: het vergroten van de diameter van de glazen buitenballon, koelen, het verkleinen van de afstand tussen de elektroden of het gebruik van harder glas. In

al deze gevallen zou de belasting per centimeter buislengte nog verder kunnen worden opgevoerd. De door hem aangegeven optie van koelen werkte hij niet nader uit. Deze werd later van groot belang voor de vervaardiging van superhogedrukkwiklampen, zoals nog uitgebreid in hoofdstuk IX aan de orde zal komen.

Voor het ontwerpen van "witte" lampen - Elenbaas noemde hen zelf zo - trachtte hij kleurcorrectie van het uitgezonden spectrum te verkrijgen door toevoeging van cadmium en/of zink, een inmiddels klassieke poging. Het beste resultaat met cadmium kreeg hij, als ook dat geheel was verdampt en dus onverzadigd aanwezig was. Het probleem was echter, dat de koudste plek van de lamp daarvoor zeker 650 °C moest zijn en dat zodoende Supremax, met een verwekingstemperatuur van 750 °C, niet geschikt was (de hoogste temperatuur van de glaswand zou namelijk nog ver boven 650 °C moeten liggen). Bij zink was dit euvel nog manifester: zinklijnen waren in het totale spectrum nauwelijks waarneembaar. Zowel voor gebruik van cadmium als van zink zou alleen harder glas uitkomst kunnen bieden.

§6. Philips' HO-lampen.

Mede door het onderzoek van Elenbaas was Philips spoedig in staat hogedrukkwiklampen te produceren. De eerste melding van aanwe-



- K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> - hoofdelektroden
- A - hulpelektrode
- R - grote weerstand
- S - smoorspoel
- N - netspanning

Figuur 8.4 Eerste HO-lamp van Philips (1934).[82]

zigheid van deze lampen in de 'proeffabriek', een afdeling van het Natuurkundig Laboratorium waar nieuwe produkten fabrikagerijp werden gemaakt, dateert van april 1934.[83] Op dat tijdstip zal ongeveer de produktie een aanvang hebben genomen, want in een overzicht van de lampen van de afdeling 'Philora' van januari 1934 is nog slechts sprake van natriumlampen; kwiklampen werden nog niet genoemd.[84] Figuur 8.4 geeft een schets van de konstruktie van de eerste Philips' hogedrukkwiklampen uit 1934.

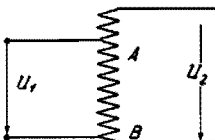
De hogedrukkwiklampen van Philips werden 'HO-lampen' genoemd; de 'H' was afkomstig van Hg, de representatie van het element kwik, terwijl de 'O' aangaf, dat de lamp was voorzien van zelfverhittende oxydkathoden.[85] De HO-lampen hadden een standaard huls, die in gangbare fittingen kon worden geschroefd - een oude wens van Spanner, zoals we hebben gezien. Tussen de fitting en de netspanningsaansluiting moest ter stabilisatie een smoorspoel worden opgenomen, zodat de lamp desondanks niet zonder meer in reeds aanwezige fittingen van gloeilampen kon worden geschroefd. De lamp had twee glazen omhullingen, waarbij de binnenste verend was opgehangen in de buitenste. Tussen beide glaswanden heerste hoog-vakuum om de binnenste lamp sneller op temperatuur te laten komen.[86]

Tabel 8.4 toont de kenmerken van de Philips' HO-lampen, die in eerste instantie in drie typen verschenen met vermogens van respectievelijk 250, 400 en 500 W. De lampen konden direkt via een smoorspoel op 220 V ac netten worden aangesloten. Voor gebruik in 120 V ac netten, die destijds niet slechts in de Verenigde Staten, maar ook in Europa nog veelvuldig voorkwamen, moest een aparte transformator worden gebruikt. Afgezien van deze transformator moest in dat geval ook de smoorspoel nog worden toegepast, zodat per lamp twee hulpapparaten nodig zouden zijn. Dat maakte het geheel gekompliceerd en duur, zodat men naar wegen zocht dit te vermijden. De goedkoopste oplossing bleek te liggen in het gebruik van een 'spaarlektransformator'. In dergelijke transformatoren worden twee besparende principes toegepast. Ten eerste heeft deze transformator de eigenschappen van een smoorspoel, zodat een aparte smoorspoel kan worden vermeden (transformatoren met deze eigenschap worden 'lektransformatoren' genoemd). Ten tweede zijn de primaire en de sekundaire wikkeling van

beoordelingskriterium	bereikte norm bij		
	250 W	400 W	500 W
1. spanning:			
- aansluitspanning	220 V	220 V	220 V
- brandspanning	120 V		
2. stroom	2,5 A		
3. vermogen	250 W	400 W	500 W
4. afmetingen:			
- lengte	250 mm		
- diameter	46 mm		
5. rendement	36 lm/W	40 lm/W	40 lm/W
6. lichtstroom	9000 lm	16.000 lm	20.000 lm
7. oppervlaktehelderheid (kaars/cm <sup>2</sup> )	100	100	100
8. ontsteektijd voor:			
- volle lichtstroom	10-12 min.		
- 80 % lichtstroom	6 min.		
- herontsteking	enkele min.		
9. kleur	witachtig (geen rood in spektrum)		
10. levensduur	3000 uur		
11. druk	± 1 atm		
12. invloed netspanning variaties	groot, maar lamp brandt stabiel		
13. brandstand	alleen vertikaal		

Tabel 8.4 Kenmerken van de eerste drie Philips HO-lampen (1934). [87]

de spaarlektransformator niet gescheiden, maar liggen zij in elkaars verlengde, zodat de konstruktie eenvoudiger en goedkoper is. Transformatoren die dit tweede kenmerk bezitten heten 'spaartransformatoren'. Een schema daarvan is te zien in figuur 8.5.



$U_1$  = netspanning

$U_2$  = openspanning

A = gemeenschappelijk punt  
primaire en sekundaire  
winding

B = begin primaire wikkeling

Figuur 8.5 Spaartransformator.

Reeds vermeld werd dat de KEMA in de loop van de jaren dertig toenemend stelling ging nemen tegen het gebruik van spaartransformatoren in het algemeen (zie hoofdstuk VII §6). De KEMA werd daarbij geleid door veiligheidsoverwegingen: in netten waar de nulleider slecht of niet geaard zou zijn, zou de spanning aan de sekundaire zijde van een spaartransformator veel te hoog kunnen oplopen, zo luidde het argument.[88] Via de Mispa-kommissie van de IFK poogde de KEMA aanvankelijk een internationaal verbod van transformatoren met niet-gescheiden wikkelingen af te dwingen.[89] De gesprekspartners in de Mispa gingen hiermee echter niet akkoord. Tijdens bilateraal overleg met Philips in juli 1934 bleek de KEMA wel gevoelig te zijn voor het argument van Philips, dat gescheiden wikkelingen de transformatoren te groot en te zwaar zouden maken.[90] De KEMA verzachtte zijn standpunt, waarschijnlijk onder druk van de andere belanghebbenden, in de richting van beperkte toelating. Tijdens de laatste vooroorlogse vergadering van de Mispa in het voorjaar van 1938 meldde Van Staveren (KEMA) de aanwezigen niet langer oppositie te zullen voeren tegen spaartransformatoren voor spanningen onder 250 V tegenover aarde, mits ompoling (dat wil zeggen: verkeerd aansluiten) bijna uitgesloten zou zijn (dat wil zeggen dat aarding van de gemeenschappelijke geleider van primaire en sekundaire aansluiting moest worden vermeden).[91] Omdat de Mispa door het uitbreken van de oorlog in midden-Europa nadien niet meer bijeenkwam, werden de afgesproken voorschriften, zoals gezegd, niet meer officieel vastgesteld.

Het rendement van de HO-lampen bedroeg, afhankelijk van het vermogen, 36 à 40 lm/W. Dat was een waarde die ongeveer twee keer zo hoog lag als van gloeilampen met vergelijkbare lichtstromen. Ondanks een duurdere installatie dan bij gloeilampen, gaf dit in principe de mogelijkheid van goedkopere verlichting, mede omdat de levensduur zonder problemen tot 3000 uur kon worden opgevoerd. Uit verschillende bronnen blijkt echter, dat het niet vanzelfsprekend was, dat zij rendabeler zouden zijn dan bestaande verlichting. Bij vergelijking van gloeilampenlicht met kwiklampenlicht, al of niet gekombineerd met gloeilampenlicht voor een betere kleurweergave, hing het sterk af van plaatselijke omstandigheden, zoals de stroomprijs, welke verlichtingssoort het meest rendabel was.[92] Bovendien, zo merkte men

bij Philips, stootte elektrische verlichting, waaronder de natrium- en hogedrukkwiklampen, in de jaren dertig nog op onverwacht grote concurrentie van gasverlichting. Volgens de afdeling 'Philora' was dit grotendeels te wijten aan de leveranciers van gas en gasverlichting. Die zouden zo "geheimzinnig" doen over hun precieze bedrijfsgegevens, dat vertegenwoordigers van elektrische verlichting te vaak met de mond vol tanden stonden. Om dat te verhelpen, wijdde Philora in 1935 aan dit thema een aparte studie, waarin op basis van een uitgebreide vergelijking de volgende konklusie werd getrokken: "Zusammenfassend kann man sagen, dass in der Praxis die Elektrizität dem Gase für Strassenbeleuchtung entschieden überlegen ist und man kann daher innerhalb kürzerer oder längerer Frist den endgültigen Sieg der Elektrizität auf diesem Gebiete erwarten".[93]

Philips verwachtte dat de HO-lamp het meest zou worden toegepast voor straatverlichting. Volgens cijfers uit 1931 omvatte de straatverlichting 12 % van de gehele verlichtingsmarkt, zodat een verkoop van redelijke omvang in het verschiet lag.[94] Hoogvermogen-gloeilampen, natrium- en kwiklampen waren de voornaamste elektrische lichtbronnen voor deze markt. Bij Philips en Osram verwachtte men, dat natriumlampen vanwege hun zeer hoge rendement (toen ongeveer 50 lm/W), maar slechte kleurweergave (geel-oranje) vooral op buitenwegen zouden worden toegepast. Binnen de bebouwde kom zouden hogedrukkwiklampen, vanwege hun betere kleurweergave, daarentegen geschikter zijn.[95]

Voor algemene verlichting kwamen HO-lampen niet in aanmerking. Daarvoor was ten eerste de lichtstroom - tenminste tien keer zoveel als van de gebruikelijke gloeilampen van 75 en 100 W - te groot. Kleinere lichtstromen konden wel worden gerealiseerd, maar niet zonder het rendement eveneens aanzienlijk te verlagen. Bovendien was de kleurweergave daarvoor onvoldoende. De kleur was weliswaar 'witter' dan van lagedrukkwiklampen, maar de spektrale samenstelling van het licht verschilde daarvan desondanks niet zeer sterk. Alleen gele spektraallijnen waren duidelijk sterker aanwezig, zodat, omdat de gevoeligheid van het oog voor de daarmee korresponderende golflengten groot is, de kleurindruk wel sterk verschilde. Rode spektraallijnen ontbraken echter ook bijna geheel in deze nieuwe lampen van

l'atm. Dat was voor straatverlichting in de stad in zoverre onaangenaam, dat de rode gedeelten op verkeersborden in het licht van deze lampen onvoldoende herkenbaar waren. Mogelijke oplossingen werden gezocht in het aanvullen met gloeilampenlicht of het vermengen van de rode verf met de rood-fluorescerende stof 'Rhodamin' - dezelfde stof die Hewitt veertig jaar voordien voor fluorescerende schermen had gebruikt.[96]

Buitendien werden, in navolging van Arons, Gumlich en Wolfke, de mogelijkheden van toevoeging van cadmium en zink - twee elementen met intensieve rode spektraallijnen - opnieuw onderzocht. Bij Philips behoorde dit, zoals gezegd, tot de eerste onderzoeken van Elenbaas in de jaren 1932 en 1933. Spanner experimenteerde in 1934 eveneens met cadmium-toevoeging [97], terwijl General Electric Company als enige bedrijf in Europa een hogedrukkwiklamp met cadmium op de markt bracht.[98] In hoeverre Osram mengsels van cadmium (of zink) en kwik heeft onderzocht is onbekend. Elenbaas meldde in 1934 na een bezoek aan de Studiengesellschaft dat de onderzoekers hieraan weinig aandacht leken te besteden.[99] Vragen we ons af, waarom de genoemde laboratoria deze lijn van onderzoek niet krachtiger ter hand hebben genomen, dan moet waarschijnlijk het eerste antwoord luiden, dat de beschikbare glassoorten te lage verwekingstemperaturen hadden om de ideale temperatuur te kunnen verkrijgen (vergelijk het onderzoek van Elenbaas). Bovendien is het denkbaar dat vanaf 1935 de ontwikkeling van superhogedrukkwiklampen met fluorescerende buitenballon (HPL-lampen) een rem op dit onderzoek heeft veroorzaakt. Deze lampen, met een uitstekende kleurweergave en hoog rendement, zullen in het volgende hoofdstuk uitgebreid aan de orde komen.

De HO-lampen van Philips haalden een levensduur van gemiddeld 3000 uur. De vraag of dit ook de aan klanten opgegeven waarde zou worden, leidde in 1935 tot onenigheid tussen Philips en Osram. Osram wilde een lagere levensduur opgeven, omdat de lichtterugval na 3000 uur reeds groot zou zijn. Bovendien vreesde Osram dat het opgeven van zulke lange levensduren dié Phoebus-partners in de kaart zou spelen die al langere tijd streefden naar het produceren van hoogvermogen-gloeilampen voor straatverlichting met lange levensduur - een dringende wens van de betrokken autoriteiten.[100] Naast Osram

verschilden ook de Britse firma's met Philips van mening op dit punt. Zij hanteerden sinds de invoering op de Britse markt een gegarandeerde levensduur van 1500 uur, gekoppeld aan een - in vergelijking met Philips' lampen - lage prijs. Zij meenden dat een verhoging van de opgegeven levensduur eveneens tot prijsverhogingen zou leiden, hetgeen de elektriciteitsbedrijven, de voornaamste klant van deze lampen, "ernstig zou mishagen".[101] Zonder de combinatie van lage prijs en relatief korte levensduur hadden zij, zo luidde hun analyse, nooit zo'n succesvolle marktpolitiek kunnen bedrijven.[102] In een speciaal aan de levensduur gewijde vergadering van Phoebus op 24 maart 1936 werd vanwege de sterk verschillende meningen geen algemeen geldende afspraak gemaakt. De Phoebus-partners moesten genoegen nemen met de afspraak, dat de op te geven levensduur van kwiklampen op het kontinent van Europa 2000 uur zou bedragen en in Groot Brittannië 1500 uur.[103]

De ontsteektijd van de Philips' HO-lampen bedroeg ruim 10 minuten, gerekend tussen het moment van inschakelen van de spanning en het bereiken van de volledige lichtstroom. Na ongeveer 6 minuten straalden zij ongeveer 80 % van de uiteindelijke lichtstroom uit. Bovendien vertoonden zij een aanzienlijke herontsteektijd (de tijd die verstrijkt tot de lamp weer onsteekt bij plotselinge uitval). Deze bedroeg enkele minuten, net als bij de overeenkomstige lampen van Osram. Bij Spanners' lamp duurde de herontsteektijd 5 tot 15 minuten, maar hij beloofde het publiek verder onderzoek met als doel het verkrijgen van dezelfde norm als van gloeilampen: "Naturally the research on this feature will be prosecuted to render the high-pressure mercury lamp as prompt in lighting up as the filament lamp", schreef een medewerker van de Spanner Vapor Lamp Company in 1934.[104] Blijkt hieruit een lichte vrees voor een slechte ontvangst van deze norm, ook Osram verwachtte klaarblijkelijk op dit punt geen warm onthaal. Bij de eerste uitvoerige schriftelijke presentatie van de nieuwe lampen aan het publiek in januari 1934 schreven twee Osram-medewerkers namelijk: "Die durch die Natur der Lampe bedingte Anlauf- und Wiederzündzeit könnte ihre Anwendung hemmen. Die Praxis beweist jedoch, dass in den meisten Fällen eine merkliche Behinderung des Gebrauches nicht eintritt".[105] (N. B. deze laatste



opmerking kan slechts zijn gebaseerd op experimenten in proefinstallaties, want Osram had toen de produktie van grotere aantallen nog niet aangevangen). Welke tegenmaatregelen de fabrikanten hebben ondernomen, is niet uit het beschikbare bronnenmateriaal af te leiden. In het Natuurkundig Laboratorium werd het probleem van de herontsteektijd van HO-lampen niet tot apart onderzoeksthema verheven. Het heeft er alle schijn van, dat de klanten dit euvel voor lief moesten nemen. Tot tenminste 1965 hielden de HO-lampen deze eigenschap.[106]

Een ander kenmerk van de HO-lampen verzachtte deze tekortkoming wellicht. Door de begrenzing van de hoeveelheid kwik was onder normale condities alle kwik verdampt. Daardoor kon, zoals gezegd, de brandspanning bij toenemende stroom niet meer toenemen (zie figuur 8.3). Toenemende netspanning kon de lamp daarom niet meer doven, in tegenstelling tot de eerste experimentele lampen van Spanner. De lamp doofde slechts als de netspanning gedurende enkele perioden geheel werd onderbroken. De stabiliteit van de ontlading was zodoende groot. Desalniettemin hadden netspanningsvariaties grote invloed op andere beoordelingskriteria, namelijk de lichtstroom en het vermogen. Bij een variatie van 10 % in de netspanning veranderde de lichtstroom ongeveer 28 % en het vermogen ongeveer 20 %. De omvang van deze variaties kwam overeen met die van gloeilampen. Bij gloeilampen bestond er echter bovendien een direkt verband met de levensduur: door te hoge netspanning werd deze aanzienlijk bekort. Dat bleek bij HO-lampen niet het geval te zijn: levensduur en netspanning waren bij deze lampen onafhankelijke grootheden.[107]

De belasting van de HO-lamp was zo hoog, dat bij gebruik van het door Philips gekozen glas de lamp alleen vertikaal mocht branden. In elke andere brandstand - N. B. een tot dan toe niet genoemd beoordelingskriterium van kwiklampen - was de warmteafvoer via de glaswand niet symmetrisch genoeg en zou de glaswand plaatselijk kunnen smelten. Toen de HO-lamp ruim een jaar op de markt was, werd besloten dat Elenbaas en P. Schouwstra van de Philora-fabrikageafdeling tezamen zouden proberen dit probleem op te lossen. De ideale norm voor de brandstand werd door hen omschreven als de mogelijkheid tot branden in elke, willekeurige stand.[108] Zoals Elenbaas al eerder had aangegeven, moest de remedie worden gezocht in gebruik van harder

glas. Uit het onderzoek bleek bijvoorbeeld, dat het door Osram gebruikte glas veel beter was dan dat van Philips.[109] Het gebruik daarvan gaf een gedeeltelijke oplossing, die in elk geval werd toegepast in de nieuwe lampen 'HO-1000' en 'HO-2000', die rond 1937 op de markt werden gebracht.[110] De HO-1000 kon tot een hoek van 45° met de vertikaal functioneren. Voor de HO-2000 gold hetzelfde, maar die kon bovendien in horizontale toestand branden. Omdat de HO-1000 dit laatste niet kon en dat kennelijk als een tekortkoming werd ervaren, bracht Philips in 1938 een extra hogedrukkwiklamp uit, de HO-1000 (L), die eveneens horizontaal kon branden. De gebruiker van deze nieuwe lamp moest daarvoor echter 3 % vermogen en 13 % lichtstroom inleveren.[111] Hij moest met andere woorden ook met een lager rendement genoegen nemen.

De hogedrukkwiklampen met kwikdampdrukken van rond 1 atm vonden toepassing in straatverlichting en pleinverlichting, alsmede op plaatsen waar veel licht gewenst was en de kleurweergave van minder belang was. De omzet van deze lampen bleef beperkt. In 1936 bijvoorbeeld bedroeg de totale omzet van natrium- en hogedrukkwiklampen in geld uitgedrukt niet meer dan 1,9 % van Philips' totale verlichtingsomzet.[112] Ook enige verkoopcijfers mogen dit nader illustreren: in de periode tussen 1 juli 1936 en 1 juli 1937 werden door de Phoebus-partners 161.800 gasontladingslampen verkocht. In de twaalf daarop volgende maanden groeide dit aantal tot 297.500 - een toename van ongeveer 85 %. In de eerstgenoemde periode was het aandeel van Philips 25,5 %, hetgeen in de tweede periode toenam tot 29,8 %. De drie Britse firma's (General Electric Company, British Thomson Houston en het Britse Siemens) namen tezamen in de eerstgenoemde periode 53 % van de totale verkoop voor hun rekening, maar zagen hun marktaandeel in de tweede periode slinken tot 40 %. Osram volgde Philips op enige afstand met respectievelijk 17 % en 22,5 % in de genoemde perioden. Het resterende gedeelte was voor rekening van de firma's 'Pintsch' (Duitsland) en 'Compagnie des Lampes' (Frankrijk).[113]

§7. Konklusies.

Van de hier beschreven onderzoekers publiceerden Küch en Retschinsky, alsmede Elenbaas over hun toepassingsgerichte onderzoek naar hogedrukkwikontladingen in wetenschappelijke tijdschriften. Wat levert hun werk aan nieuwe inzichten op ten aanzien van de relatie tussen wetenschappelijke kennis en de ontwikkeling van artefakten? Met betrekking tot de door Küch en Retschinsky in 1906 en 1907 gepubliceerde gegevens valt op, dat vele daarvan direkt aan het artefakt waren ontleend en vele omgekeerd ook van direkt belang waren voor het ontwerpen van hogedrukkwiklampen. Een voorbeeld daarvan betreft de elektrodedoorvoer door kwartsglas, die grote elektrische stromen aan de ontlading moest kunnen toevoeren en tevens bij hoge temperaturen moest kunnen standhouden.

De relevantie hiervan voor de lamp moge duidelijk zijn, maar kennelijk was deze konstruktieve kennis ook voor de fysische gemeenschap van belang. Het presenteren van het verband tussen het specifieke vermogen en het door de lamp gedissipeerde vermogen is een ander voorbeeld. Voor lampenontwerpers was dit verband van belang, omdat hiermee het rendement (de reciproke waarde van het specifieke vermogen) direkt als funktie van het in de lamp gedissipeerde vermogen kon worden bepaald. Voor fysici was dit interessant, omdat hiermee een nog niet eerder bekende relatie werd gelegd tussen fysische grootheden in een hogedrukkwikontlading. Hieruit blijkt tevens een wezenlijke eigenschap van beoordelingskriteria, die bepalend is voor een eventuele relatie tussen fysische kennis en artefakten: beoordelingskriteria kunnen in een fysische kontekst de betekenis van een fysische variabele hebben en in een ontwerpkontekst die van een ontwerpkraterium, terwijl sommige fysische variabelen direkt of indirekt in ontwerpkrateria zijn te vertalen. Voor fysici is bijvoorbeeld het stralingsrendement van belang, omdat dat kennis verschaft over dat deel van de toegevoerde energie dat de ontlading verlaat via straling, alsmede over het resterende gedeelte dat via geleiding en konvektie verdwijnt. Het draagt daarom bij aan kennis over de energieuitwisseling in de ontlading. Voor een lampenontwerper levert kennis over het stralingsrendement gekombineerd met kennis over het

uitgestraalde spektrum het lichtrendement op. Gegeven het streven van de ontwerper een zo groot mogelijk bereik te hebben ten aanzien van de norm voor het lichtrendement, is dit ook voor hem van direkt belang.

Ook het beoordelingskriterium 'kleur van het licht' mag dit nader illustreren. Voor de lampenontwerper, die elke gewenste kleur wil kunnen realiseren, is dit een belangrijk ontwerp-kriterium. De kleur van het licht wordt direkt bepaald door de samenstelling van het zichtbare gedeelte van het stralingsspektrum, hetgeen een zeer belangrijke fysische grootheid is, omdat het stralingsspektrum kennis oplevert over de fundamentele ontladingsprocessen. Ten tijde van Küch en Retschinsky vermoedden fysici dat dit laatste het geval zou kunnen zijn. In de jaren dertig, ten tijde van het onderzoek van Elenbaas, kon men met behulp hiervan uitspraken doen over bijvoorbeeld overgangswaarschijnlijkheden, aanslagfuncties en de in de ontlading optredende botsingsprocessen.

In het onderzoek van Elenbaas is bovengenoemd kenmerk van beoordelingskriteria eveneens te herkennen. De beoordelingskriteria 'elektrische veldsterkte' en 'stroomsterkte' werden in zijn gepubliceerde onderzoek twee fysische grootheden waarvan het onderlinge verband werd vastgesteld. Voor het ontwerpen van lampen was kennis over deze twee, in dat geval ontwerp-kriteria, eveneens van belang: gegeven een gewenste brandspanning bepaalt de elektrische veldsterkte de lengte van de ontladingsbaan en aldus de minimale lengte van de lamp, terwijl de stroomsterkte, gegeven een gewenste levensduur, bepalend is voor de konstruktie van de elektrodedoorvoer én de konstruktie van de elektroden. Samenvattend kan worden gezegd, dat fysisch onderzoek naar fundamentele processen relevant kan zijn voor het ontwerpen van nieuwe artefakten, omdat in sommige gevallen ontwerp-kriteria over en weer kunnen worden vertaald in fysische grootheden, waartussen dit fysische onderzoek verbanden kan afleiden (experimenteel of theoretisch).

Bekijken we de factoren die beslissend waren voor het totstandkomen van hogedrukkwiklampen, dan vallen allereerst de konstruktieve bottlenecks op. Küch en Retschinsky slaagden er alleen in een hogedrukkwiklamp te ontwikkelen, omdat ze hadden geleerd het vanwege de

hoge temperatuur noodzakelijke kwartsglas in elke gewenste vorm te brengen én omdat zij een komplexe konstruktie voor de elektrodedoorvoer hadden vervaardigd, die ook bij hoge temperaturen standhield. Later, in de jaren twintig, werden oxydkathoden ontwikkeld die in een hogedrukkwikontlading een voldoende lange levensduur hadden. Dankzij gebruik van oxydkathoden konden in de jaren dertig hogedrukkwiklampen worden gemaakt, waarin de elektroden niet meer uit plasje kwik bestonden, maar waarin tijdens bedrijf alle kwik was verdamppt. Daardoor kon worden gebruik gemaakt van het onder andere door Elenbaas ontdekte gegeven, dat in dat geval de boogontlading een negatieve I-V-karakteristiek heeft en daarom gemakkelijker is te stabiliseren.

De door Küch en Retschinsky ontwikkelde lampen werden toegepast voor verlichtingsdoeleinden. Hun lampen ondervonden echter rond 1915 zo'n zware concurrentie van de nieuwe gasgevulde gloeilampen, dat zij bijna geheel van de verlichtingsmarkt verdwenen. In termen van beoordelingskriteria gesteld: zij moesten het afleggen tegen de met de gasgevulde gloeilampen verkrijgbare normen voor de kleurweergave, het rendement, de lichtstroom en het bedieningsgemak. De hoop met gasontladingslampen ooit de gloeilamp te kunnen verdringen bleef echter aanwezig, zoals mag blijken uit het werk van Spanner rond 1930 en de reacties daarop van Philips-medewerkers. We zien daarmee een belangrijk, door Clark eerder beschreven, kenmerk van marktdiffusie bevestigd: men vergelijkt een nieuw produkt met reeds bekende produkten die dezelfde functie kunnen vervullen. Aanvullend hierop kan worden gezegd, dat dit plaatsvindt aan de hand van een onderlinge vergelijking van de gerealiseerde normen voor de van belangzijnde beoordelingskriteria. Immers zolang met een hogedrukkwiklamp niet op een even rendabele wijze als met gloeilampen 'wit' licht met een lichtstroom van ongeveer 1000 kaars kon worden gerealiseerd, hoefde de gloeilamp geen verdringing van zijn positie op de verlichtingsmarkt te vrezen. Ontwerpers in de laboratoria spelen op deze dynamiek in: hun werk is er juist op gericht nog niet eerder gerealiseerde normen te verkrijgen. Zo vergeleken de onderzoekers van Philips en van Osram de prestaties van de hogedrukkwiklampen vaak expliciet met die van gloeilampen.

Tenslotte toont de hier beschreven geschiedenis een mogelijke invloed van octrooien en octrooiaanvragen. Was een octrooiwestie met betrekking tot lagedrukkwiklampen aanleiding om Penning te vragen onderzoek te doen naar ontsteekspanningen (hoofdstuk VI §6), bij hogedrukkwiklampen is een minder direkte invloed aan te wijzen. De door Spanner, Germer en Döring aangevraagde octrooirechten op hogedrukkwiklampen brachten Philips er niet slechts toe deze rechten te verwerven, maar ook droegen ze bij aan het initiëren van de eerste onderzoekingen naar hogedrukkwikontladingen in het Natuurkundig Laboratorium van Philips. Dit kan worden gezien als een beïnvloeding van het onderzoek via de door concurrenten verkregen normen voor bepaalde beoordelingskriteria. Octrooien leggen immers de rechten vast voor de produktie van artefakten die bepaalde kenmerken vertonen of waarvan, anders gezegd, sommige beoordelingskriteria bepaalde belangrijk geachte normen kunnen bereiken.

IX. KWIKLAMPEN MET SUPER HOGE DRUK.§1. Inleiding.

Tijdens zijn eerste onderzoek naar hogedrukkwikontladingen, waarvan het interne verslag werd afgerond in december 1933, was Elenbaas met de druk en temperatuur tot de maximale grenzen van de bestaande glassoorten en de destijds mogelijke elektrodedoorvoeren gegaan. De reden om deze uitersten te onderzoeken was gelegen in zijn wens een 'ideale' projektielamp te ontwerpen, die vóór alles moest worden geoptimaliseerd naar een zo hoog mogelijke oppervlaktehelderheid. Het belangrijkste inzicht dat hij tijdens dit onderzoek verwierf was, dat de sleutel voor deze optimalisatie lag in het opvoeren van de belasting per centimeter buislengte. Door dit te doen bereikte hij voor de oppervlaktehelderheid een maximale waarde van 2500 kaars/cm<sup>2</sup>. Op deze uitvinding werd op zijn naam octrooi aangevraagd in verscheidene landen.

Enige tijd nadien kreeg C. Bol, leider van de ontwikkelgroep, opdracht van Holst de proeffabrikage van natriumlampen te beëindigen en die van hogedrukkwiklampen te beginnen. [1] Elenbaas stond hem bij met zijn nieuw verworven kennis. In de loop van 1934 lukte het Bol, in tegenstelling tot Elenbaas, om lampjes te maken die bij dampdrukken tot enkele honderden atmosfeer uitzonderlijk hoge oppervlaktehelderheden bereikten. In een proefopstelling werd een maximale waarde van 180.000 kaars/cm<sup>2</sup> gemeten. [2] Dat trok zeer grote aandacht, omdat deze waarde zelfs de oppervlaktehelderheid van het zonnoppervlak overtrof. Het nieuwe van de lampjes lag in externe koeling met stromend water en een nieuwe elektrodedoorvoer door kwartsglas, die grote stromen tot op hoge temperaturen kon toevoeren - een uitvinding van Bol en zijn assistent H. J. Lemmens. Bol claimde de volledige uitvinding van de lamp voor zich zelf, waarmee een konflikt met Elenbaas was geboren, die de uitvinding van de koeling claimde.

Hij had deze optie, zoals we hebben gezien in hoofdstuk VIII §5, al eerder gerapporteerd, maar was alleen niet op het idee van waterkoe-ling gekomen.

Met het konflikt kan gedetailleerd worden geïllustreerd, op welke verschillende manieren artefakten kunnen ontstaan en welke invloed fysisch onderzoek op de totstandkoming van artefakten kan hebben. De paragrafen 2 en 3 gaan daarom uitgebreid in op de achtergronden van het werk van Bol en Elenbaas aan superhogedrukkwiklampen.

De ontstaansgeschiedenis van deze lampen laat ook zien, hoe sterk de drang van natuurwetenschappers kan zijn om met nieuwe artefakten de door bestaande artefakten opgeworpen drempels (dat wil zeggen de daardoor maximaal te realiseren normen) te overtreffen. Indien van belang geachte drempels sterk worden overschreden, kan dit onrust op de markt veroorzaken, alsmede strijd om een zo stevig mogelijke octrooipositie. Dit gebeurde naar aanleiding van de ontwikkeling van superhogedrukkwiklampen: tussen Philips en Osram ontstond enige kommotie, terwijl de nieuwe lampen een vergaande vorm van samenwerking tussen Philips en de Britse Phoebus-partners in de weg stonden. Paragrafen 4 en 5 beschrijven deze konflikten achtereenvolgens. Hoe met de nieuwe lamp een nieuwe bioskoopprojectielamp en een nieuwe lamp voor algemene verlichting werd ontworpen, staat beschreven in de paragrafen 6 en 7. Paragraaf 8 geeft tenslotte enkele konklusies weer.

## §2. Ontstaan van superhogedrukkwiklampen: het werk van Bol.

Cornelis Bol, geboren in 1885, was volgens verhalen van ex-medewerkers van het Natuurkundig Laboratorium iemand met een eigenzinnig karakter. J. Voogd zei bijvoorbeeld later over hem: " (.....) die viel natuurlijk buiten alle schema's". [3] Bol had onder meer de ambachtsschool gevolgd en zich bekwaamd in de bewerking van glas en metaal. Bovendien was hij, voordat hij in 1907 voor de eerste maal naar de Verenigde Staten vertrok, enige tijd technisch assistent geweest in het cryogene laboratorium van Kamerlingh Onnes te Leiden. In de Verenigde Staten bezocht hij verschillende universiteiten en behaalde hij aan de universiteit van Montana een bachelor of science



graad in de natuurkunde. In 1914 kreeg hij aan de universiteit van Stanford de kans om voor zijn doktorsgraad (Ph. D.) te gaan werken. Twee jaar nadien werd hij op vakantie in Nederland gearresteerd wegens desertie uit het Nederlandse leger. Volgens de autoriteiten had hij zich namelijk in 1914 bij het uitbreken van de oorlog in Europa, waar Nederland overigens buiten bleef, direkt bij het Nederlandse leger moeten melden. Hij werd kort daarop weliswaar afgekeurd voor de militaire dienst, maar het kostte hem desondanks een verblijf van veertien dagen in het huis van bewaring. Om geld te verdienen aanvaarde hij een baan bij Philips, waar hij spoedig op het Natuurkundig Laboratorium terecht kwam. Hij bleef vervolgens, geheel tegen zijn aanvankelijke bedoeling in, tot 1936 in Nederland. Toen keerde hij terug naar de Verenigde Staten, waar hij weer in dienst trad van de universiteit van Stanford, eerst als 'research associate', later als 'research professor'. In de Verenigde Staten verrichtte hij proeven met kwiklampen bij extreem hoge dampdrukken van 700 atm. Het gebruikte kwartsglas kon de daarbij optredende temperaturen echter niet lang verdragen, zodat geen praktische toepassing volgde.[4]

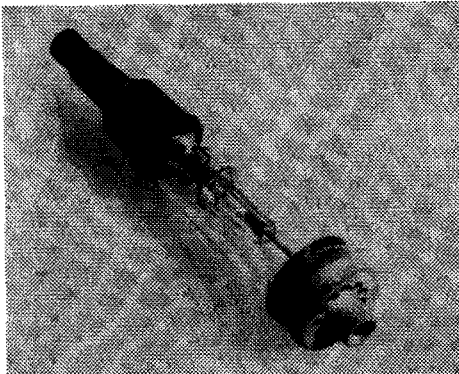
Bij Philips werd Bol alom geprezen om zijn grote technische be- gaafdheden, hoewel hij het naar eigen zeggen ook wel eens met Gerard Philips aan de stok had, omdat die vond dat hij teveel zijn eigen gang ging.[5] Bol had de naam tot stand te kunnen brengen, wat volgens de gangbare mening niet kon. Een voorbeeld daarvan is de elektrodeoorvoer door kwartsglas van hem en Lemmens. Aanleiding voor deze uitvinding was een onderzoek van hun kollega A. van Wijk naar ultraviolettoepassingen van kwiklampen. Alleen insmeltingen van zeer dunne wolframdraadjes (enkele  $\mu\text{m}$  dik) bleven bij hogere temperatu- ren luchtdicht. Deze konden echter niet voldoende stroom toevoeren, zodat Bol zijn assistent Lemmens opdracht gaf om te experimenteren met bundels dunne draden. De resultaten bleken echter onbetrouwbaar te zijn. Op advies van Bol probeerde Lemmens ook een konstruktie met één dikkere wolframdraad, die via één tussenglas in kwarts werd in- gesmolten. Dat was hoogst ongebruikelijk, omdat men tot dan toe voor grotere stromen de methode van General Electric had gebruikt, waar- bij verschillende tussenglazen werden toegepast (zie hoofdstuk VIII §3). Tot ieders verrassing bleek de konstruktie met één tussenglas

stromen van 10 A tot op hoge temperaturen mogelijk te maken. Volgens Druyvesteyn berustte dit sukses min of meer op toeval: Lemmens had namelijk zonder opzet geëttst wolframdraad gebruikt, dat geen braampjes bevat, zodat de metaal-glasverbinding veel grotere mechanische spanningen kan verdragen.[6] Bol vertelde later niet zonder trots, dat Jonas, die voorheen bij de Hanau Quarzlampengesellschaft had gewerkt en bij Philips aan de overgang tussen metaal en glas werkte, hem nadien had gezegd, dat "zij het nooit geprobeerd hadden, omdat zij teveel van quartz afwisten en overtuigd waren dat het niet kon".[7]

De nieuwe insmelttechniek van Bol en Lemmens ontstond hoogstwaarschijnlijk tussen december 1933 en april 1934, kort na het eerste interne verslag van Elenbaas over hogedrukkwikontladingen.[8] Deze vinding bleek van groot belang voor de ontwikkeling van kwiklampjes onder super hoge drukken, waarvan de ontstaansgeschiedenis volgens Bol ongeveer als volgt verliep. Na een bezoek aan een tentoonstelling in ongeveer 1934 kwam hij tot de gedachte een 'reuzenlamp' te maken, die zonder hulp van andere lampen het gehele tentoonstellingsterrein zou kunnen verlichten. Hij wilde daarvoor een lichtbron van tenminste 100.000 kaars hebben en vroeg Elenbaas een kwiklamp te ontwerpen, die dat kon opbrengen. Dankzij zijn eerdere onderzoek was Elenbaas in staat deze wens tot optimalisatie naar lichtstroom te vervullen. Hij bepaalde voor Bol met behulp van empirisch afgeleide grafieken de juiste hoeveelheid kwik en geschikte afmetingen. De lengte van de buis stelde hij vast op ruim een meter en de diameter op ongeveer 10 cm. Het ontsteken van de buis leverde echter problemen op, waarna Bol op het idee kwam het ontstekingsproces met een brander te stimuleren. De ontlading ontstak daardoor prima, maar daarna verliep het opwarmingsproces zo snel, dat de buis explodeerde. Na nog een geëxplodeerde buis kwam hij op het idee om de ontsteking te stimuleren met een brander en vervolgens het opwarmingsproces met behulp van een stroom lucht af te remmen. Dat functioneerde uitstekend en hij mat een maximale lichtstroom van ongeveer 100.000 kaars bij een belasting met ongeveer 10 kW.[9]

Dit bracht hem op het idee om te experimenteren met het overbelasten van 'gewone' hogedrukkwiklampen onder luchtkoeling. Hij test-

te deze inval - we volgen nog steeds Bols verhaal - met de inmiddels in produktie zijnde HO-lamp van 250 W. Dankzij de koeling kon hij zo'n lamp tot 1000 W belasten. Om bij kleinere lampen, die handzamer van afmeting waren dan de 1 m lange buis, ook 100.000 kaars te kunnen bereiken, verkleinde hij de diameter van de buis sterk én koelde hij het buisje nog verder met stromend water (onbekend is of hij op de hoogte was van de waterkoeling die Arons reeds vóór de eeuwwisseling bij kwiklampen had toegepast of dat waterkoeling een onafhankelijke gedachte van hem was; wel bestonden toen al enige tijd watergekoelde zendbuizen, onder andere van Philips). Waterkoeling zou de glaswand echter zo sterk koelen, dat het temperatuurverval daarin te sterk zou zijn en het glas zou barsten. Hij zocht daarom zijn toevlucht tot kwartsglas, dat grote mechanische spanningen kan verdragen. Daarbij kwam de nieuwe insmelttechniek voor de elektroden hem goed van pas. Met een capillairvormig buisje van 30 cm lengte en enkele millimeters doorsnede, dat met water werd gekoeld, slaagde hij erin de gewenste 100.000 kaars te verkrijgen (figuur 9.1).[10]



Figuur 9.1 Voorbeeld van een watergekoeld superhagedrukkwiklampje (SP 500) [Philips Concern Archief, fotoarchief, B.11219].

Het lampje bracht een konflikt met zich mee tussen Bol en Elenbaas, dat zich toespitste op de uitvinding van de koeling: volgens Elenbaas kwam Bol niet zelf op het idee om de lampjes te koelen, maar koelde hij deze op zijn aanbeveling. In zijn visie was alleen de wijze van koelen - met stromend water - van Bol afkomstig.[11]

Toen Bol op 'zijn' uitvinding oktrooi wilde aanvragen, werd duidelijk hoe gekompliceerd dit meningsverschil met Elenbaas was. Volgens Elenbaas voorzag de oktrooiafdeling van Philips in verscheidene landen problemen met een aparte oktrooiaanvraag op de uitvinding van Bol, omdat deze dan met de eerdere oktrooiaanvraag van Elenbaas' projektielamp zou kunnen interfereren. Van Dam van de oktrooiafdeling stelde daarom voor de oktrooiaanvraag van Elenbaas in enkele landen in te trekken en één nieuwe in te dienen op naam van Bol, Elenbaas en Lemmens tezamen.[12] Zij gingen daarmee niet direkt akkoord, zoals kan worden geïllustreerd met de data van de verrichte activiteiten met betrekking tot de oktrooiaanvragen. Het oktrooi van Elenbaas werd voor het eerst in Duitsland ingediend op 5 februari 1934, waarschijnlijk vóór de eerste experimenten van Bol. Op 5 november van hetzelfde jaar volgde in Duitsland de eerste aanvraag voor een oktrooi op de superhogedrukkwiklamp op naam van Bol, Elenbaas en Lemmens. Desondanks werd in Nederland nog een oktrooi aangevraagd op Elenbaas' projektielamp op 1 februari 1935, op de voet gevolgd door een gezamenlijke oktrooiaanvraag op de superhogedrukkwiklamp op 25 februari.[13] Welke oktrooiaanvraag uiteindelijk overeind zou blijven, was in die tijd nog onduidelijk. Van Dam zag zich bijvoorbeeld genoodzaakt nog op 7 februari 1935 Holst, die op bezoek was bij Osram, schriftelijk te verzoeken niet teveel naar buiten te brengen over het nieuwe lampje, omdat "de heeren van het Laboratorium omtrent de noodzakelijke kenmerken van het lampje reeds drie keer van mening [zijn] veranderd".[14]

Uiteindelijk werden "de heeren" het eens over de verschillende oktrooiaanvragen. Het oktrooi op de projektielamp van Elenbaas werd ingetrokken in Duitsland (29 juni 1935), Nederland (4 februari 1936) en Hongarije (24 februari 1936). In andere landen werd de aanvraag óf afgewezen óf liet Philips het toegekende oktrooi vervallen rond 1940. Alleen in de Verenigde Staten en Canada, waar General Electric het namens Philips indiende, bleef het tot de verloopdatum van kracht (in Canada tot 1956).[15]

Uiteindelijk bereikten de betrokkenen dus overeenstemming over de oktrooiaanvragen. Het meningsverschil tussen Bol en Elenbaas was er echter de wereld niet mee uit. In de wandelgangen werden de nieu-

we kwiklampjes enige tijd hardnekkig 'Bol-lamp' genoemd, hetgeen zeker niet zal hebben bijgedragen aan de goede verstandhouding tussen beide heren. In 1936 richtte de Technisch Commercieele Afdeling van Philora een missive aan meer dan vijftig mensen, waarin werd verzocht niet langer de naam 'Bol-lamp' te gebruiken, maar de naam 'HP' voor in lucht brandende superhogedrukkwiklampen en de naam 'SP' voor de watergekoelde typen.[16]

Het konflikt over de oktroyaanvragen illustreert hoe sterk de claims van Bol en Elenbaas met elkaar interfereerden. Het boven geschetste verhaal van Bol kan juist zijn geweest. Geldt dat ook voor de visie van Elenbaas? In de volgende paragraaf zullen gedeelten van zijn werk worden behandeld om hierop een antwoord te vinden.

### §3. Ontstaan van superhogedrukkwiklampen: het werk van Elenbaas.

In hoeverre valt de visie van Elenbaas te onderbouwen met historische bronnen? Allereerst blijkt daaruit dat Elenbaas koeling van kwiklampen als zodanig eerder had geadviseerd. Dat was echter in de kontekst van het ontwerpen van een projektie lamp (zie hoofdstuk VIII §5) en niet van een kleine lamp met grote lichtstroom (het doel van Bol). Kan Elenbaas hem daartoe desondanks de weg hebben gewezen? In een lezing in 1935 gaf Bol aan, dat Elenbaas' theorie al vóór zijn eigen experimenten in de juiste richting had gewezen, maar deze uitspraak betrof niet het toepassen van extra koeling.[17] Om een beter inzicht te krijgen in de mogelijke rol van de theorie van Elenbaas, volgt hier een overzicht van zijn eerste onderzoeken tot en met 1936, die leidden tot een theorie, die later de 'isotherme-plasmatheorie' werd genoemd. In de hoofdstukken IV en V werd deze theorie reeds kort aangestipt.[18]

De eerste publikatie van Elenbaas die betrekking had op hogedrukkwikontladingen - dat wil zeggen op ontladingen waarvan de positieve zuil is gekontraheerd - betrof de temperatuur in de as van de ontlading.[19] Dit onderzoek sloot aan bij onderzoek van zijn leermeester Ornstein uit Utrecht. Die deed sinds enige jaren uitgebreide temperatuurmetingen in verschillende boogontladingen (zie hoofdstuk V §3). Als methode gebruikten hij en zijn medewerkers het meten van

de verhoudingen van de intensiteiten van spektraallijnen, die volgens hun opvattingen bij de heersende druk en temperatuur direkte gegevens opleveren voor de temperatuur van het gasmengsel als geheel. Bij lagere druk en temperatuur kon deze methode niet worden gebruikt, omdat de elektronen door het aanwezige elektrische veld dan zo sterk worden versneld, dat zij een beduidend hogere kinetische energie, en - in het geval van een ongeordende beweging - dus een hogere temperatuur krijgen dan de ionen en atomen. In dat geval heerst er geen thermisch evenwicht tussen de verschillende groepen ontladingspartners. Bij hogere druk echter zijn de botsingen, vanwege de grote dichtheid van de deeltjes, zo frekvent dat de elektronen geen kans hebben zeer hoge snelheden te verkrijgen. De kinetische energieën, en dus de temperaturen van de verschillende ontladingspartners komen daarom bij toenemende druk steeds dichter bij elkaar te liggen; het gas is 'isotherm' en kent slechts één temperatuur. Volgens Elenbaas was dit inzicht vooral aan het werk van Ornstein te danken. Via het meten van de intensiteitsverhoudingen van spektraallijnen had Ornstein met een medewerker de gastemperatuur in de boog van een kwiklamp van de Hanau Quarzlampengesellschaft bij een stroom van 1 A geschat op 3800 K. Voorts kende Elenbaas het werk van Küch en Retschinsky, waarvan hij vermeldde dat zij bij 4 A en 60 V een temperatuur van 1700 °C in de ontladingsas hadden gemeten (onvermeld liet hij dat zij bij gelijke stroom en 200 V via extrapolatie temperaturen van 6000 - 7000 °C hadden verwacht).[20]

Allereerst onderzocht Elenbaas op grond van deze gegevens of de temperatuur een waarde tussen 2000 en 4000 K zou kunnen bezitten. Hij bracht daartoe in eerste instantie een bepaalde hoeveelheid kwik in de buis, die geheel verdampte en waarvan hij op basis van een (helaas onvermelde) berekening verwachtte, dat die bij die temperaturen in de ontladingsas een druk van minder dan 1 atm zou opleveren. Hij konstateerde echter voortdurend, dat de druk groter moest zijn dan 1 atm, omdat de glaswand, week geworden door de hoge temperatuur, opzwol in plaats van naar binnen zoog. Daarom draaide hij daarop de situatie om. Hij ging niet langer uit van een bij benadering bekende temperatuur, waarbij de druk te meten zou zijn, maar van een situatie waarin de druk precies 1 atm zou moeten zijn en de

temperatuur de te bepalen grootheid was. Daartoe bepaalde hij experimenteel de hoeveelheid kwik, die bij het week worden van de glaswand bij toenemende temperatuur deze noch deed opzwellen noch deed inzuigen; de druk in de buis moest dan gelijk zijn aan de buitendruk. [21]

Deze hoeveelheid kwik zal zonder elektrische ontlading geheel verdampen bij een bepaalde uniforme temperatuur  $T_0$  en dan in de buis de bij deze temperatuur behorende dampdruk  $p_0$  opleveren. Bij aanwezigheid van een ontlading zal de temperatuur niet uniform over de buis verdeeld zijn, maar sterk van de plaats afhangen. Als in de ontlading alle kwik is verdampt én de buis vertikaal brandt, zodat de temperatuurverdeling cilindrisch is, kan met behulp van de gaswet worden afgeleid:

$$p \cdot \int_0^{R_2} \frac{2\pi r \cdot dr}{T(r)} = p_0 \cdot \frac{\pi \cdot R_2^2}{T_0} \quad (9.1)$$

met:  $p$  = druk in de buis.

$r$  = afstand tot het midden van de buis.

$R_2$  = straal van de binnenwand van de buis.

$T(r)$  = temperatuur op afstand  $r$  van het midden.

Zou de vorm van  $T(r)$  bekend zijn, dan had Elenbaas met behulp van formule (9.1) de temperatuur aan de wand én in het midden van de buis in principe kunnen berekenen, omdat hij  $p$  gelijk aan 1 atm had gemaakt en voorts  $p_0$ ,  $T_0$  en  $R_2$  bekend waren. De vorm van  $T(r)$  was echter onbekend. Boven- en ondergrenzen voor de temperatuur in het centrum kon hij wel bepalen door een gedachte-experiment met twee extreme vormen van  $T(r)$ . Een volkomen lineair aflopend verloop van  $T(r)$  tussen de glaswand en de as van de ontlading zou volgens de formule een temperatuur van 8550 K in het midden moeten opleveren. Een van het midden tot de rand van de ontlading vlak verloop, gevolgd door een lineair verloop tot de glaswand, zou daarentegen met een waarde van 4900 K in het midden korresponderen. [22] Aangezien het werkelijke verloop ergens tussen deze beide uitersten zou moeten inliggen, gaven deze waarden ruwe schattingen voor de maximale en minimale temperatuur in de as van de ontlading.

Met behulp van energiebeschouwingen waarin het toegevoerde vermogen en het via straling, geleiding en konvektie gedissipeerde vermogen werden betrokken, kon Elenbaas een meer plausibel verloop van  $T(x)$  bepalen, dat bij benadering parabolisch was. Met formule (9.1) volgde dan een schatting van de temperatuur in het midden van de buis van  $6000 \pm 800$  K bij een stroom van 5,5 A en een elektrische veldsterkte van 8,8 V/cm - een waarde die verrassend dicht in de buurt van de zeer ruwe, door Elenbaas niet vermelde, schatting van Küch en Retschinsky lag. [23]

Het veronderstelde temperatuurevenwicht tussen de ontladingspartners had twee belangrijke consequenties: ten eerste kon daarom de verdeling van de elektronen over de verschillende energieniveaus direkt met de verdelingsfunctie van Boltzmann worden berekend en ten tweede volgde daarmee de ionisatiegraad direkt uit de formule van Saha (zie formule 4.8). Voor Elenbaas vormde dit uitgangspunt de basis van een aantal beschouwingen over hogedrukkwikontladingen, die in 1934 en 1935 verschenen en die we tezamen de 'isotherme-plasmatheorie' kunnen noemen. G. Heller, een kollega die speciaal door Philips was aangetrokken om over het werk van andere medewerkers van het Natuurkundig Laboratorium publikaties te schrijven, vatte de beschouwingen van Elenbaas kort daarop (1935) samen in het tijdschrift Physics. [24] Gezien de helderheid van zijn betoog volgen we hier grotendeels zijn artikel.

Heller richtte zich expliciet tot ingenieurs, dus tot mensen die konkrete artefakten moeten ontwerpen. Die stuiten vaak op het probleem, dat zij van een te ontwerpen apparaat wel de fysische principes kennen, maar vanwege mathematische problemen niet bij machte zijn de kenmerken te berekenen. Om te voorkomen dat voor ieder apparaat opnieuw de kenmerken proefondervindelijk moeten worden vastgesteld, worden vaak gelijkvormigheidswetten gehanteerd. Deze wetten leggen zodanige relaties vast tussen het te ontwerpen apparaat en een (schaal)model, dat bepaalde relevante gegevens ontleend aan het (schaal)model eveneens geldig zijn voor het te ontwerpen apparaat. De wetten leggen vast onder welke kondities het ontwerp en het model gelijkvormig zijn, dat wil zeggen wanneer de (differentiaal)vergelijkingen die het proces in beide gevallen beschrijven gelijk zijn



en tevens de grensvoorwaarden met elkaar overeenstemmen. Het gebruik van dimensieloze grootheden, die in elke gelijkvormige situatie dezelfde waarde bezitten kan een belangrijk onderdeel van deze methode vormen.

De fundamentele differentiaalvergelijking voor hogedrukkwikontladingen werd als volgt afgeleid. De ionisatiegraad  $\alpha$  volgt dankzij het temperatuurevenwicht uit de formule van Saha. Veronderstellend dat  $\alpha \ll 1$  én dat de druk  $p$  evenredig is met  $m/r_0^2$  volgt daaruit:

$$\alpha^2 \cdot m/r_0^2 = S(T) \quad (9.2)$$

met:  $\alpha$  = ionisatiegraad.

$m$  = hoeveelheid kwik per cm buislengte (gr/cm).

$r_0$  = straal van de buis (cm).

$T$  = temperatuur (K).

$S(T)$  een functie die alleen van  $T$  afhangt.

In navolging van Langevin schreef Heller voor de stroomdichtheid  $i$ :

$$i = \alpha \cdot q \cdot G \cdot C/T^{3/2} \quad (9.3)$$

met:  $q$  = lading van 1 gr kwikatomen (C/gr).

$G$  = elektrische veldsterkte (V/cm).

$C$  = konstante

Voor het toegevoerd vermogen  $dL$  in een cilindrische schil met straal  $r$  en dikte  $dr$  geldt:

$$dL = i \cdot G \cdot 2\pi r \cdot dr \quad (9.4)$$

Uit (9.2), (9.3) en (9.4) volgt:

$$dL = (G^2 \cdot r_0^3/m^{3/2}) \cdot [C \cdot q \cdot (S(T)/T)^{3/2} \cdot 2\pi x \cdot dx] \quad (9.5)$$

met:  $x = r/r_0$  = relatieve afstand tot het midden van de buis (dus dimensieloos!)

Het toegevoerde vermogen  $dL$  verlaat de beschouwde cilinderschil via konvektie, geleiding en straling. De konvektie werd in eerste in-

stantie verwaarloosd. Voor de thermische geleiding  $dW_1$  geldt:

$$dW_1 = \frac{d}{dr}(2\pi r \cdot \sigma(T) \cdot \frac{dT}{dr}) \cdot dr = \frac{d}{dx}(2\pi x \cdot \sigma(T) \cdot \frac{dT}{dx}) \cdot dx \quad (9.6)$$

met:  $\sigma(T)$  = thermische geleidbaarheid.

Onder verwaarlozing van zelfabsorptie - het invangen van in de ontlading opgewekte fotonen door het gas in de ontlading zelf, dat via niet-elastische botsingen aanleiding geeft tot straling met een andere golflengte - is het stralingsvermogen  $dW_2$  evenredig met het aantal aangeslagen kwikatomen:

$$dW_2 = m \cdot 2\pi x \cdot dx \cdot F(T) \quad (9.7)$$

waarin  $F(T)$  een (niet nader gespecificeerde) functie is die alleen van  $T$  afhangt. Als de konvektie inderdaad verwaarloosbaar is, moet gelden:

$$dL = dW_1 + dW_2 \quad (9.8)$$

Substitutie van (9.5), (9.6) en (9.7) in (9.8) leidt tot de volgende fundamentele differentiaalvergelijking:

$$\frac{d}{dx}(x \cdot \sigma(T) \cdot dT/dx) + m \cdot F(T) \cdot x = \frac{G^2 \cdot r_0^3}{m^{1/2}} \cdot (C \cdot q \cdot \frac{S^{1/2}(T)}{T^{1/2}} \cdot x) \quad (9.9)$$

In deze differentiaalvergelijking - in de vakliteratuur de 'Elenbaas-Heller-vergelijking' genoemd - is  $T$  de enige onbekende, zodat het temperatuurverloop  $dT/dx$  volledig is bepaald. Het enige probleem is dat de vergelijking niet analytisch oplosbaar is.

Desondanks wees de vergelijking de richting aan voor beschouwingen over gelijkvormige ontladingen in kwikdamp onder hoge druk. Gegeven een bepaalde waarde voor  $dT/dx$  aan de wand, ligt  $dT/dx$  voor elke waarde van  $x$  vast. Bij gegeven temperatuur  $T$  aan de wand legt de vergelijking ook  $T(x)$  volledig vast. In navolging van Elenbaas

definieerde Heller daarom al dié ontladingen als gelijkvormig waarin  $T(x)$  hetzelfde verloop heeft. Anders gezegd: twee hogedrukkwikontladingen zijn gelijkvormig als de temperaturen in homologe punten van de ontladingsbaan aan elkaar gelijk zijn:

$$T_1(r_1/R_1) = T_2(r_2/R_2) \quad (9.10)$$

voor:  $r_1/R_1 = r_2/R_2$

met:  $T_1, T_2$  = temperatuur in buis 1 en 2.

$r_1, r_2$  = afstand tot het centrum van buis 1 en 2.

$R_1, R_2$  = straal van buis 1 en 2.

Volgens vergelijking (9.9) kan hieraan alleen dan worden voldaan, als in beide gevallen de parameters  $m$  en  $G^2 \cdot r_0^3/m^{\frac{1}{2}}$  dezelfde waarde hebben én de wandtemperaturen aan elkaar gelijk zijn. Experimenteel bleek de wandtemperatuur weinig invloed te hebben op het temperatuurverloop in het ontladingsgedeelte, zodat deze laatste voorwaarde werd verwaarloosd. [25] Door de formules (9.5), (9.6) en (9.7) over  $x$  te integreren, kan voor  $W_1, W_2$  en  $L$  worden geschreven:

$$\left. \begin{aligned} W_1 &= A \\ W_2 &= B \cdot m \\ L &= (G^2 \cdot r_0^3/m^{\frac{1}{2}}) \cdot D \end{aligned} \right\} (9.11)$$

waarin  $A, B$  en  $D$  integralen zijn die alleen van  $T(x)$  afhangen en die dus voor gelijkvormige ontladingen slechts eenmaal hoeven te worden bepaald. Omdat  $T(x)$  in theorie verschillend kan zijn bij verschillende  $m$ , kunnen  $A, B$  en  $D$  indirect ook nog van  $m$  afhangen. Experimenteel bleek echter dat zij voor waarden van  $m$  tussen 0,75 en 12 mg/cm vrijwel konstant bleven. Uit (9.11) konden de volgende eigenschappen voor gelijkvormige hogedrukkwikontladingen worden afgeleid:

- in gelijkvormige hogedrukkwikontladingen heeft de belasting per centimeter buislengte ( $L$ ) dezelfde waarde;
- in gelijkvormige ontladingen geldt:  $G$  is evenredig met  $r_0^{-3/2}$ ;
- in gelijkvormige ontladingen behouden zowel het warmteverlies door geleiding ( $W_1$ ), als de uitgezonden straling ( $W_2$ ) dezelfde waarde per centimeter buislengte.

Voor het stralingsrendement  $\eta$ , betrekking hebbend op de som van de ultraviolette, zichtbare en infrarode straling, volgt uit formule (9.11):

$$\eta = \frac{W_2}{W_1 + W_2} = \frac{B \cdot m}{A + B \cdot m} \quad (9.12)$$

Door substitutie van experimenteel gevonden waarden voor A en B kon  $\eta$  ook worden geschreven als:

$$\eta = \frac{m}{1,48 + m} \quad (9.13)$$

voor:  $0,75 \text{ mg/cm} < m < 12 \text{ mg/cm}$

De gelijkvormigheidsbeschouwingen leidden tot opmerkelijke conclusies met betrekking tot de elektrische veldsterkte, de spektrale energieverdeling, het rendement en de oppervlaktehelderheid. De elektrische veldsterkte volgde door in formule (9.11) L gelijk te stellen aan  $W_1 + W_2$  en de experimenteel gevonden waarden voor A, B en D in te vullen:

$$G = \frac{m^{\frac{1}{2}} \cdot (8,5 + 5,75 \cdot m)^{\frac{1}{2}}}{d^{3/2}} \cdot 10^2 \quad (9.14)$$

indien G in V/cm, m in mg/cm en d in mm (d = diameter van de buis) wordt uitgedrukt.

De spektrale energieverdeling van gelijkvormige ontladingen moest in theorie, vanwege hetzelfde temperatuurverloop, dezelfde zijn (N. B. mijns inziens betekent dit dat ook de kleurweergave van gelijkvormige ontladingen in theorie dezelfde zou moeten zijn - een destijds noch door Elenbaas, noch door Heller expliciet getrokken conclusie). Deze conclusie bleek in de praktijk geen grote geldigheid te bezitten: de zelfabsorptie, die in eerste instantie was verwaarloosd, bleek in verschillende gelijkvormige ontladingen sterk te kunnen verschillen, waardoor sterk van elkaar afwijkende spectra

konden optreden. De Groot verrichtte een empirisch onderzoek naar dit verschijnsel en trachtte zijn bevindingen kwalitatief te verklaren. Hij konstateerde drie eigenschappen van het spektrum bij toenemende druk:[26]

1. een sterke verbreding van de meeste spektraallijnen naar de rode zijde van het spektrum;
2. een sterker wordend kontinu spektrum, dat zich uitstrekt van het uiterste ultraviolet (230 nm) tot in het infrarood (1,2  $\mu\text{m}$ );
3. een breder wordende donkere band in het continue spektrum rond de kwiklijn met een golflengte van 253,7 nm tengevolge van zelfabsorptie.

De Groot verklaarde beide eerste punten uit de wijziging die energieniveau's in atomen ondergaan ten gevolge van de relatief kleine afstand tussen de atomen bij zeer hoge druk. De ladingen van de atomen beïnvloeden de energieniveau's dan zodanig, dat de energiever verschillen tussen de opeenvolgende niveau's geringer worden, met als gevolg een langere golflengte bij een bepaalde energiesprong. Vooral de resonantiesprong, die bij lage drukken de ultraviolette lijn 253,7 nm oplevert, zou, aldus De Groot destijds, om deze reden een continu spektrum tot gevolg hebben.[27]

Tenslotte leverden de gelijkvormigheidswetten een formule op voor het berekenen van het stralingsrendement, alsmede beschouwingen over vergroting van de oppervlaktehelderheid. Volgens Elenbaas was formule (9.13) de eerste waarmee direkt het rendement kon worden berekend.[28] De oppervlaktehelderheid kon niet zo eenvoudig in formulevorm worden vastgelegd. Zij wordt bepaald door de omvang van het lichtgevend oppervlak en door de hoeveelheid uitgestraald licht. In theorie is de lichtstroom voor gelijkvormige ontladingen even groot, terwijl het lichtgevend oppervlak door de kontraktie van de ontlading wordt bepaald. Omdat de kontraktie sterker wordt bij afnemende diameter van de buis, neemt bijgevolg de oppervlaktehelderheid toe bij kleiner wordende diameter.

Via beschouwingen van Elenbaas, Heller en De Groot was het dus op theoretische gronden mogelijk door de juiste keuze van bepaalde variabelen, zoals de hoeveelheid kwik, de buisdiameter en de elektrische veldsterkte, een gewenste waarde van de lichtstroom, het

rendement en de oppervlaktehelderheid te verkrijgen, alsmede de kleurweergave te beïnvloeden. Niet alle waarden van konstanten in de afgeleide formules waren direkt mathematisch uit de theorie af te leiden, maar met behulp van experimenten kon Elenbaas deze soms binnen bepaalde grenzen vrij nauwkeurig vaststellen. Daardoor kon hij met voldoende nauwkeurigheid mathematische relaties tussen enkele variabelen vastleggen. De formules leverden Elenbaas dus heuristische op voor optimalisatie naar enkele beoordelingskriteria. Wenste hij bijvoorbeeld een lamp met zowel hoge oppervlaktehelderheid als hoog rendement, dan wezen de afgeleide formules in de richting van vergroting van de hoeveelheid kwik ( $m$ ) en verkleining van de straal van de ontladingsbuis ( $r_0$ ). Een hogere druk zou daarvan het gevolg zijn, hetgeen tevens een betere kleurweergave met zich mee zou brengen.

Is het nu ook denkbaar dat Elenbaas op basis van bovenstaande beschouwingen Bol zou hebben kunnen adviseren een gekoeld superhogedrukkwiklampje te maken, dat 100.000 kaars zou uitstralen? Bij gebrek aan harde schriftelijke bewijzen voeren we hier een gedachte-experiment uit, waarmee we een potentieel antwoord op deze vraag kunnen krijgen. Bol wilde, zoals gezegd, optimalisatie naar het beoordelingskriterium 'lichtstroom', onder de randvoorwaarde dat de afmetingen van de lamp niet te groot zouden zijn. Als direkte grootheid kwam de lichtstroom niet in de beschouwingen van Elenbaas voor. De lichtstroom is echter gelijk aan het zichtbare gedeelte van de straling, die in de berekeningen met ' $W_2$ ' is aangeduid. Onder de vooronderstelling dat de lichtstroom toeneemt als  $W_2$  toeneemt, kunnen de gegeven formules tevens uitspraken doen over de lichtstroom. Formule (9.11) geeft dan aan, dat de lichtstroom kan worden opgevoerd door de hoeveelheid kwik per cm buislengte ( $m$ ) te vergroten. Omdat daarmee tevens het stralingsrendement zou toenemen (formule (9.12)), zou de lichtstroom daardoor zelfs extra snel groter worden. Indien bovendien het gedissipeerde vermogen per cm buislengte ( $L$ ) zou worden opgevoerd, zou de elektrische veldsterkte ( $G$ ) groter worden, zodat de lengte van de lamp zou kunnen worden beperkt. Verkleining van de straal van de buiswand ( $r_0$ ) zou  $G$  nog sterker doen stijgen en dus extra aan de gewenste verkleining van de afmetingen

bijdragen. Het toepassen van deze maatregelen zou echter een sterke druk- en temperatuurverhoging veroorzaken, zodat de buiswand én zeer stevig zou moeten zijn én gekoeld zou moeten worden om smelten daarvan te voorkomen. (N. B. het geforceerd beïnvloeden van de wandtemperatuur had, zo bleek proefondervindelijk, geen grote invloed op het temperatuurverloop in de buis, zodat koeling de lichtstroom niet sterk zou beïnvloeden). Elenbaas had dus in theorie Bol de weg kunnen wijzen voor het ontwerpen van gekoelde superhogedrukkwiklampjes met grote lichtstroom. Uit zijn theorie volgden de noodzakelijke heuristieken om het door Bol gestelde doel te bereiken.

Bol en Elenbaas kunnen dus onafhankelijk van elkaar op de gedachte zijn gekomen, hoe zij met een kwiklamp met beperkte afmetingen grote lichtstromen konden verwezenlijken. Van belang is dat zij daarbij een sterk verschillende methode hanteerden. Bol werkte zuiver op experimentele, proefondervindelijke basis, terwijl Elenbaas door theoretische beschouwingen wist (of had kunnen weten) wat hij moest doen. Elenbaas wist echter nog niet, hoe hij het moest doen, terwijl Bol dat wel wist. Het koelen met water en het gebruik van kwartsglas waren op dat moment onmisbare konstruktieve voorwaarden om de lampjes te kunnen maken.

Met nadruk zij er hier op gewezen, dat ook uit het werk van Elenbaas blijkt, hoe een verband kan worden gelegd tussen theoretische beschouwingen en het ontwerpen van artefakten. Zoals eerder werd gekonstateerd naar aanleiding van het werk van Küch en Ret-schinsky, kunnen relaties tussen beide bestaan, dankzij het feit dat sommige beoordelingskriteria enerzijds de betekenis kunnen hebben van een ontwerp criterium en anderzijds kunnen worden vertaald in fysieke grootheden.

#### §4. Konflikt tussen Philips en Osram.

Binnen het Natuurkundig Laboratorium werd het belang van de nieuwe superhogedrukkwiklampen al vroeg hoog aangeslagen, naar we mogen aannemen omdat daarmee belangrijke bestaande drempels konden worden overschreden. Toen in oktober 1934 drie medewerkers van de Studiengesellschaft van Osram, waaronder Pirani, op bezoek kwamen,

werd in het op schrift gestelde programma uitdrukkelijk aan de medewerkers van het Natuurkundig Laboratorium verzocht het onderwerp van deze lampjes niet aan te roeren. Via kontakten op direktieniveau tussen beide firma's lekten de nieuwe ontwikkelingen echter uit in januari 1935. Pirani vroeg daarop aan Holst een nadere toelichting, maar ontving vanwege Holsts afwezigheid een brief van W. K. Brümmer, werkzaam op het sekretariaat van Philips. Die schreef hem dat hij welkom was bij Philips om de nieuwe uitvinding te bekijken, maar op voorwaarde dat Osram tot drie maanden na het bezoek strikte geheimhouding in acht zou nemen.[29]

Het antwoord hierop was een vinnige brief van de direktie van Osram, waarin deze zich op het standpunt stelde, dat Philips dit krachtens het samenwerkingskontraakt van 15 maart 1931 weliswaar kon eisen, maar dan alleen met betrekking tot niet-produktierijpe uitvindingen. Bovendien dreigde Osram met het eveneens scherper gaan volgen van de letter van de overeenkomst, mocht Philips bij zijn standpunt volharden.[30] Philips bezweek niet voor dit dreigement, maar antwoordde dat de gewenste zwijgplicht van drie maanden nodig was, omdat de oktroyaanvraag nog niet rond was - een op zich korrekte weergave van de feiten.[31] Bovendien, zo blijkt uit archiefmateriaal van later datum, was Philips er veel aan gelegen, dat de oktroyorechten op het gebied van super hoge drukken niet via Osram bij Tungsram en de Britse General Electric Company terecht zouden komen. Philips zag er meer in om alle toekomstige oktroyoien op superhogedrukkwiklampen gedurende enkele maanden alleen met Osram aan te vragen en aldus gezamenlijk, zonder andere firma's, een zo sterk mogelijke oktroyoipositie te verkrijgen.[32] Van de andere firma's hoopte Philips dan waarschijnlijk goede licentie-betalingen te kunnen verkrijgen. In het Philips' archief vonden wij geen aanwijzingen, dat Osram met dit voorstel van Philips heeft ingestemd. Wel ging Osram na een mondelinge toelichting in maart 1935, waarvan de details onbekend bleven, akkoord met de door Philips verlangde geheimhouding.[33] Bijster aktueel was het toen al niet meer, want inmiddels waren de oktroyoiaanvragen naar alle landen, behalve de Verenigde Staten, de deur uit en ruim een week daarna werd het lampje zowel in Duitsland als Nederland aan het publiek getoond. In Duits-



land volgde zelfs een speciaal aan het lampje gewijde radiouitzending. [34]

De gemoederen bedaarden snel. Osram begon niet direkt zelf met onderzoek naar kwikontladingen onder super hoge drukken. Uyterhoeven, die Osram enige maanden later bezocht, meldde dat de onderzoekers daar, naar zijn indruk, nog steeds moeite hadden met de insmelting van wolfrام in kwartsglas middels één tussenglas (de uitvinding van Bol en Lemmens). Naar zijn idee waren ze nog niet over de "verrassing" van de superhogedrukkwiklamp heen. Zo zou een van de Osram-onderzoekers nog hebben gesproken over de "tam-tam" die deze lamp had opgeleverd. [35]

#### §5. Blokkade voor overeenkomst met Britse firma's.

In oktober 1935 gaf Philips in Groot Brittannië een demonstratie van de nieuwe superhogedrukkwiklampen. Niet zonder genoegen berichtte G. B. van de Werfhorst van de afdeling Philora, dat medewerkers van General Electric Company "zuur-zoet" het schouwspel hadden aanschouwd. [36] Tot op dat moment had Philips met de drie Britse firma's (General Electric Company, British Thomson Houston en het Britse Siemens) veel minder contact gehad dan met Osram. Philips wilde die situatie echter graag wijzigen en had General Electric Company in 1932 voor het eerst een voorstel tot samenwerking gedaan. Toen had Philips General Electric Company technische hulp aangeboden voor alle onder Phoebus vallende produkten tegen een vergoeding van 1 % van General Electric Company's netto omzet. General Electric Company had dit aanbod geweigerd en geantwoord met een tegenbod van wederzijdse hulp met gesloten beurzen. [37]

Philips weigerde hiermee akkoord te gaan, overtuigd als het bedrijf was van zijn voorsprong op General Electric Company. Ook op een voorstel van een jaarlijkse vergoeding van £ 5000,- (exklusief natriumlampen) ging General Electric Company echter niet in. [38] Aan het eind van 1934, toen Bol bezig was met kwiklampjes onder super hoge druk, leek een akkoord bijna in zicht. Bij monde van een vertegenwoordiger wekte General Electric Company de indruk in te willen stemmen met de gevraagde jaarlijkse vergoeding van £ 5000,-. De eni-

ge wens, die werd bepaald door "prestigeoverwegingen", was nog dat het bedrag zou worden betaald via een tussenpersoon.[39] Het voorstel ketste echter weer af op de weigering van de directie van General Electric Company, die elk ander voorstel dan wederzijdse technische hulp met gesloten beurzen onakseptabel vond.[40]

Kort daarop, nadat de eerste oktroyaanvraag op de superhogedrukkwiklamp in Duitsland was ingediend, bracht Philips als extra eis op tafel, dat voor de 'Bol-lamp' een royalty zou moeten worden betaald. General Electric Company deelde hierop mee, dat daardoor geen "bevredigende basis voor een overeenstemming" meer aanwezig was en beëindigde de besprekingen. Toen enige maanden later via mondelinge kontakten toch weer mogelijkheden aanwezig leken, stelde Philips tot in detail uitgewerkte ontwerpcontracten op, waarvan de hoofdlijnen als volgt waren:[41]

- technische hulp ad f 5000,- per jaar, maar beperkt tot gloeilampen;
- gratis uitwisseling van oktroyen op het gebied van gloeilampen en gasontladingslampen, behalve met betrekking tot de 'Bol-lamp', waarover 5 % royalty zou moeten worden betaald;
- een extra aandeel in de verkoop van gasontladingslampen op de Britse markt.

Achtergrond voor deze verzwaring van de eisen was vermoedelijk, dat men bij Philips had ontdekt, dat het ook mogelijk was superhogedrukkwiklampen met beperkte lichtstroom, maar hoog rendement te maken, die bovendien 'witter' licht uitstraalden dan de HO-lampen (de latere HP-lampen). Van deze variant van superhogedrukkwiklampen verwachtte men veel bij Philips. In 1937 sprak men bij Philips in termen van de "toekomstige massalamp", toen proeven met fluorescentiepoeders op een extra omhullende glasballon aantoonde, dat ook de kleurweergave nog aanzienlijk kon worden verbeterd (de latere HPL-lampen).[42] Om het rendement hoog te houden moest de dampdruk bij voorkeur boven 10 atm worden gehouden. Juist op kwiklampen die dampdrukken boven 10 atm hadden, had Philips de oktroyrechten verkregen. Daarom verwachtte medewerkers van de oktroyafdeling van Philips, dat de Britse firma's voor superhogedrukkwiklampen "zeker" van Philips' oktroyen gebruik zouden moeten maken.[43] (Op de HP- en

HPL-lampen wordt in §7 van dit hoofdstuk nog verder ingegaan).

Verrast door de nieuwe eisen verwierp General Electric Company de voorstellen resoluut. Over 5 % royalty voor de 'Bol-lamp' zou eventueel zijn te praten, maar aan beperking van de technische hulp tot gloeilampen en de wens van een hoger marktaandeel voor gasontladingslampen wenste General Electric Company onder geen beding te moeten te komen.[44] In de loop van 1936 slikte Philips zijn extra wensen grotendeels in. Alleen de eis van 5 % royalty op de 'Bol-lamp' bleef staan. General Electric Company weigerde echter opnieuw, omdat het bedrijf meende op dat moment technisch gesproken geheel de gelijke van Philips te zijn geworden. Om deze visie kracht bij te zetten werd Holst door het researchlaboratorium van General Electric Company te Wembley rondgeleid. Dit bezoek had echter niet het bedoelde effect, want Philips bleef op zijn standpunt staan.[45]

Van haar kant trachtte de Technisch Commerciële Afdeling van Philora - die vond dat General Electric Company zich "op het hooge paard zette" door Philips' "onbetwistbare voorsprong, vooral op het gebied der Bollampen", niet te willen erkennen - General Electric Company via verschillende wegen onder druk te zetten. Zo meldde deze afdeling aan de Britse firma's, dat het met "eenvoudige apparatuur" (bedoeld werd waarschijnlijk een LC-apparaat) een veel grotere arbeidsfaktor kon verkrijgen. Voorts hield Van de Werfhorst een uitvoerige lezing in Cheltenham en schreef Van Dijk een artikel voor het Britse tijdschrift Light and Lighting; beide activiteiten hadden tot doel Philips' superioriteit nog eens te benadrukken. Tenslotte gaven Mendels en Van Dijk aan D. C. F. van Eendenburg van Philips te Londen ter overweging om contact te zoeken met het Britse leger met als doel een proef te organiseren met superhogedrukkwiklampen in Britse militaire zoeklichten. De Britse firma's zouden hiervan ongetwijfeld op de hoogte raken en zodoende in eigen huis met de kracht van Philips kunnen worden gekonfronteerd.[46]

De pogingen over en weer om de ander van het eigen technisch kunnen te overtuigen mochten niet baten. De zaak bleef vervolgens rusten tot 1938, toen Holst en Lokker er op terug kwamen, omdat zij van mening waren, dat een kontrakt een gunstige invloed zou kunnen uitoefenen op standaardisatie van de afmetingen en de kenmerken van

gasontladingslampen in Europa. Aangezien de Britse firma's in hun ogen nimmer bereid zouden zijn Philips voor zijn voorsprong te betalen, stelden zij voor alleen nog een grotere medezeggenschap over de Britse markt te claimen. Dit voorstel werd voorgelegd aan de Britse firma's, maar ook ditmaal liep het spaak. Op 19 april 1938 verklaarde directeur H. F. van Walsem de zaak daarom definitief te zullen begraven. [47]

Bij elkaar genomen heeft de superhogedrukkwiklamp dus ruim drie jaar, in de periode tussen eind 1934 en begin 1938, een belangrijke rol gespeeld in de onderhandelingen met General Electric Company. Philips hield gedurende die gehele tijd vast aan 5 % royalty voor de lamp, omdat het bedrijf hooggespannen verwachtingen van de lamp had en zich gesteund voelde door een sterke octrooipositie. General Electric Company bestreed deze octrooipositie niet alleen met woorden, maar ook met de fabricage van in de vrije lucht brandende kwiklampen met een kwikdampdruk van ongeveer 6 atm, die daarmee dus buiten het genoemde Philips-octrooi bleven, dat alleen betrekking had op drukken boven 10 atm. Dat bracht Philips echter niet aan het wankelen, omdat het hoopte dat General Electric Company spoedig zou overstappen op lampen met dampdrukken van 10 atm of meer.

Mocht dit ooit gebeuren, dan zou Philips door vast te houden aan de eis van 5 % royalty, veel geld aan de Britse markt kunnen verdienen. Tot vervanging van de gloeilamp is het echter nooit gekomen. Een van de redenen daarvoor zou de opkomst van fluorescentielampen aan het eind van de jaren dertig kunnen zijn. In 1938, toen Holst en Lokker voorstelden de eis van 5 % royalty te laten vallen, werden deze lampen in de Verenigde Staten net verkocht en werden hun voordelen steeds duidelijker: ze ontstaken vrijwel direkt, hadden in tegenstelling tot de superhogedrukkwiklampen geen herontsteektijd van meer dan vijf minuten, waren aansluitbaar op de netspanning, hadden een goede kleurweergave, een hoog rendement, een lange levensduur en waren niet zo complex van konstruktie als de superhogedrukkwiklampen. Dit alles betekende overigens niet, dat de laatstgenoemde geen belangrijke markten veroverden, zoals we in het vervolg zullen zien.

§6. Superhogedrukkwiklampjes voor bioskoopprojectie.Inleiding.

De nieuwe superhogedrukkwiklampjes trokken veel belangstelling. Na demonstraties voor de pers volgden publikaties in bladen als Electrotechniek, De Ingenieur, Elektrotechnische Zeitschrift en Das Licht. [48] Het lampje werd geschikt geacht voor verlichting van zeer grote plaatsen (bijvoorbeeld vliegvelden), voor het opwekken van nauwe lichtbundels in zoeklichten en voor projectie. In uitvoeringsvormen met geringer vermogen trachtte Philips het lampje geschikt te maken voor openbare verlichting. We zullen in deze paragraaf het voorbeeld van de toepassing van de nieuwe lamp in bioskoopprojectie beschrijven, terwijl in de volgende paragraaf toepassing voor algemene verlichting aan de orde komt. Deze voorbeelden laten zien welke rol beoordelingscriteria tijdens de ontwerpfase en gedeeltelijk ook tijdens de diffusiefase (het verspreiden op de markt) spelen en welke functie de fysici van het Natuurkundig Laboratorium van Philips in deze fase nog vervulden. In de twee genoemde toepassingen werden aan dezelfde beoordelingscriteria zeer verschillende eisen gesteld.

Het ontwerpen van een projectielamp via een hogedrukkwikontlading onder hoge belasting was oorspronkelijk een idee van Elenbaas. Zoals eerder beschreven stelde hij als hoofdvoorwaarde een zo hoog mogelijke oppervlaktehelderheid en verkreeg hij zonder kunstmatige koeling een maximale waarde van  $2500 \text{ kaars/cm}^2$ . Dat was weliswaar een faktor 25 maal zo veel als bij de lampen met een dampdruk van 1 atm (de HO-lampen), maar niet veel meer dan met gloeilampen was te verkrijgen. Speciale projectiegloeilampen met hulp spiegels konden zelfs nog hogere waarden bereiken. [49] Wenste men belangrijk hogere waarden, dan was men aangewezen op het gebruik van booglampen. Normale koolbogen haalden waarden van ongeveer  $17.000 \text{ kaars/cm}^2$ . Nog hoger reikten zogenaamde 'hoogintensiteitslampen', waarin een chemische stof in de zeer hete ontladingsboog werd gebracht en die tot  $120.000 \text{ kaars/cm}^2$  konden opbrengen. Afgezien van het frekwente onderhoud, hadden koolbogen echter twee, juist voor projectie hinderlijke bezwaren: de brandvlek wisselde soms spontaan in vorm en afme-

ting, terwijl bovendien vaak kleine hete deeltjes uit de boog wegspatten, die de kondensor-spiegel aantastten.[50] Om die redenen gebruikte men waar mogelijk gloeilampen, maar daarmee kon men gezien de beperkte oppervlaktehelderheid slechts kleine filmdoeken voldoende belichten.

Al langere tijd leefde daarom bij vele belanghebbenden, zoals ontwerpers, verkopers en gebruikers van bioskoopapparatuur, de behoefte aan een lamp die de voordelen van booglampen en van gloeilampen zou combineren - een wens die volgens de toenmalige deskundigen onvervulbaar was. In de praktijk betekende dat het ontwerpen van een zo klein mogelijke lamp, met zeer hoge oppervlaktehelderheid, een geschikte vorm, aansluitmogelijkheden op normale netspanningen, eenvoudige bediening en onderhoud, een hoog rendement en geen bijzondere koeling.[51] Toen Philips later met zijn eerste superhogedrukkwik-projektie-lampje uitkwam, dat overigens niet aan al deze wensen tegemoet kwam, liet dit bedrijf niet na op deze heersende opvatting ten aanzien van een ideaaltype in te spelen: "Gezien vanuit het standpunt van projectie, verenigt de nieuwe superhogedrukkwiklamp in zich de voordelen van een gewone booglamp - die zij met betrekking tot de oppervlaktehelderheid nog overtreft - en van de projectiegloeilamp, waarvan de oppervlaktehelderheid relatief gering is, maar die geen onderhoud nodig heeft".[52]

In het navolgende volgen we de geschiedenis van deze toepassing, waarbij de structuur van het verhaal weer wordt gegeven door de belangrijkste, met de beoordelingscriteria samenhangende gebeurtenissen.

#### Stroom en spanning: de frekwentie.

In februari 1935 nam Nillesen van de afdeling Cinema van Philips contact op met Bol over toepassing van 'diens' lampje in projektoeren. Als ideaalbeeld had hij voor ogen: "Wij zouden gaarne een weg openen om het projektie-lampje zonder aanpassingsmoeilijkheden en met een minimale elektrische apparatuur in de cabine, op bestaande installaties toe te passen".[53] Een voor het lampje belangrijk gevolg van deze opstelling was, dat het lampje moest kunnen functioneren op

een gelijkgerichte wisselspanning. De nog te ontwerpen gelijkrichter, waarvoor Nillesen aan Bol de noodzakelijke specificaties vroeg met betrekking tot de beoordelingscriteria spanning, stroom en rimpel, zou dan de gebruikelijke gelijkrichter slechts hoeven te vervangen.[54] Met een gelijkrichter gaf de projektielamp een continue lichtstroom, die telkens als een filmbeeldje werd verwisseld voor een volgend werd onderbroken door een 'vlinder' (een roterende schijf met een geschikt gedimensioneerde opening). De vlinder zorgde er voor, dat het verschuiven van de film en van de zwarte band tussen twee filmbeeldjes niet op het scherm werden afgebeeld. De nuttige lichtstroom daalde door het gebruik van de vlinder met een faktor twee.

Met een kwiklamp zou het onderbreken van de lichtstroom met een vlinder echter in principe achterwege kunnen worden gelaten, zodat het effectieve rendement kon worden verdubbeld. Door de lamp aan te sluiten op wisselspanning zou de lichtstroom periodiek worden met een donkerperiode van dezelfde frekwentie als die van de stroom en spanning, omdat een gasontladingslamp telkens als de stroom door nul gaat geheel dooft. Met gloeilampen en booglampen is deze mogelijkheid principieel afwezig, omdat zij beide temperatuurstralers zijn en te lang nagloeien. Van essentieel belang voor de verwerkelijking van deze optie is, dat de donkerperiode in de lichtstroom dezelfde frekwentie heeft als het aantal filmbeeldjes dat per seconde moet worden afgebeeld. (Een geheel aantal malen hogere frekwentie geeft ook het gewenste beeld op het filmdoek, maar leidt bij gelijke amplitude van de lichtstroom tot helderheidsverlies op het scherm).

Enige weken na zijn brief aan Bol, in dezelfde maand dat het nieuwe kwiklampje voor het eerst in openbaarheid werd gebracht (maart 1935), schreef Nillesen een rapportje met richtlijnen voor het toepassen van het 'Bol-lampje' in projektoren. Daarin besprak hij ondermeer de mogelijkheid om de donkerperioden in de lichtstroom zelf te gebruiken, waardoor een vlinder achterwege zou kunnen blijven. Hét grote probleem was, dat de snelheid van de film volgens internationale afspraken was vastgelegd op 24 beeldjes per seconde, terwijl de frekwentie van de donkerperiode in de lichtstroom zonder extra voorzieningen 50 Hz (netfrekwentie) zou bedragen, zodat af-

stemming noodzakelijk zou zijn. Dit zou kunnen gebeuren met een frequentieomvormer, die de netspanning van 50 Hz in een spanning van 48 Hz zou omzetten. Een omvormer zou echter tenminste 40 % rendementsverlies met zich mee brengen en bovendien niet goedkoop, eenvoudig en bedrijfszeker zijn. Tevens zou deze oplossing Philips gezichtsverlies kunnen bezorgen, daar het bedrijf tot dan toe steeds had geageerd tegen draaiende, slijtende en onderhoud vragende omvormers. Nillesen bepleitte daarom het gebruik van een gelijkrichter, mede omdat Philips deze, als producent van gelijkrichters, zelf kon ontwerpen en produceren.[55]

Zijn zienswijze werd echter voorlopig niet overgenomen. In een vergadering in april 1935 van enkele medewerkers van het Natuurkundig Laboratorium, waaronder Bol en Holst, met een vertegenwoordiger van de Philips' apparatenfabriek kwam het argument naar voren, dat het kwiklampje vooral in vlinderloze systemen grote voordelen zou bieden boven gewone koolbooglampen. Alleen dan zou de lichtstroom op het scherm ongeveer twee maal zo veel kunnen bedragen als bij booglampen met dezelfde lichtstroom. De bereikbare norm voor de lichtstroom was aanleiding de definitieve keuze voor de voeding (ofwel het verloop en de grootte van de beoordelingskriteria 'stroom' en 'spanning') uit te stellen. Vier alternatieven werden op tafel gelegd:[56]

- a. omvorming van de netspanning van 50 Hz in een spanning van 24 Hz middels een (dure) frekwentieomvormer;
- b. gelijkrichting van de netspanning, gekombineerd met een onderbreker op de as waarop normaal de vlinder was gemonteerd, die de lampstroom 24 keer per seconde zou onderbreken;
- c. verhoging van de snelheid van de film tot 25 beeldjes per seconde, gekombineerd met een wisselstroom van 25 Hz voor de lamp;
- d. verhoging van de snelheid van de film tot 25 beeldjes per seconde, gekombineerd met een wisselstroom van 50 Hz voor de lamp en een "kleine snelle" vlinder (vermoedelijk draaiend met een frequentie van eveneens 50 Hz, die nodig was om de donkerperiode lang genoeg te maken); deze vlinder zou 25 % in plaats van de gebruikelijke 50 % verlies in lichtstroom opleveren.

De aanwezigen achtten beide laatstgenoemde oplossingen zo eenvoudig,



dat zij serieus werden onderzocht. Zowel de beeld- als de muziekkrequentie werden hiermee 4 % verhoogd. Al gauw raakte men er echter bij Philips van overtuigd, dat dit niet de juiste weg was, omdat juist dié bioskoopeigenaren die het kwiklampje vanwege de hogere lichtstroom zouden willen gebruiken, geen genoegen zouden nemen met deze zichtbare en hoorbare vervorming.[57]

E. G. Dorgelo (N.B. niet te verwarren met H. B. Dorgelo, die in de jaren twintig bij Philips had gewerkt en ten tijde van deze gebeurtenissen hoogleraar te Delft was) ontwierp ten behoeve van het vlinderloze systeem met omvormer (alternatief a) een LC-schakeling met instelbare donkerperiode en uitgangsspanning.[58] De Electromotorenfabriek 'Dordt' kreeg van Philips de opdracht een kleinere, goedkopere en meer economische frekwentieomvormer te ontwerpen.[59] P. M. van Alphen, werkzaam op het Natuurkundig Laboratorium, onderzocht de mogelijkheden van alternatief b met een onderbreker op de vlinderas.[60] Daar wij geen enkele aanwijzing vonden hoe dit onderzoek is verlopen, mogen we aannemen, dat dit alternatief spoedig van tafel verdween. Dorgelo werkte daarna nog enige tijd aan de enig overgebleven optie zonder vlinder en slaagde er in een opstelling met LC-apparaat te maken, waarmee in principe 24 beeldjes per seconden konden worden gedraaid.[61] Hoewel hij nog in 1937 melding maakte van proeven met een omvormer van Belgische makelij, liep echter ook dit spoor dood.[62] Uiteindelijk bleek namelijk, dat de levensduur van de lamp bij wisselstroomvoeding onaanvaardbaar veel korter was dan bij gebruik van een gelijkrichter.[63]

In een eerste artikel van Dorgelo over watergekoelde kwiklampen uit 1937 was met betrekking tot toepassing in projectoren nog wel sprake van een mogelijke keuze uit het al dan niet gebruiken van een vlinder. Voor vlinderloze systemen moest, aldus Dorgelo, de snelheid van de film echter naar 25 beeldjes per seconde worden opgevoerd. Zou men dit niet doen, dan zouden, aldus Dorgelo indertijd, zwevingen in de lichtintensiteit ontstaan.[64] In een nieuwe filmprojektor die rond 1939 op de markt kwam, werd echter het klassieke systeem met gelijkrichter en vlinder toegepast, terwijl geen melding meer werd gemaakt van eventuele andere opties.[65]

Stroom en spanning: de grootte.

De grootte van stroom en spanning veroorzaakte niet zoveel problemen als de frekwentie daarvan. Zij waren in het geval van de projectielampjes afgeleide grootheden, waarbij, voor zover valt na te gaan, geen rekening werd gehouden met eisen van de elektriciteitsmaatschappijen. Zij werden bepaald door het vermogen dat nodig was om de noodzakelijk geachte lichtstroom op te wekken. De gewenste lichtstroom was op zijn beurt weer een functie van de schermgrootte, omdat het scherm een bepaalde helderheid moest bezitten. De gewenste helderheid was verschillend voor verschillende schermgrootten. Hoe groter het scherm was, hoe groter de helderheid moest zijn. Als vuistregel hanteerde men indertijd, dat de helderheid op het scherm, gemeten in lux ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ), zonder aanwezigheid van een film, ongeveer 20 à 30 keer de beeldbreedte, gemeten in meters, moest bedragen.[66] Zodoende was voor een scherm van bijvoorbeeld  $4 \times 3 \text{ m}^2$  een lichtstroom van  $\pm 1500 \text{ lm}$  nodig. Rekening houdend met een lichtverlies van 90 % door het optische systeem en 50 % door het gebruik van een vlinder, zou de projectielamp in dat geval 30.000 lm moeten opbrengen. Het rendement van de gebruikte projectielamp bepaalde vervolgens het benodigde elektrische vermogen, waarmee de grenzen voor stroom en spanning waren aangegeven. Binnen die grenzen kon dan worden gekozen voor een grote spanning en kleine stroom of omgekeerd.

Tijdens de ontwikkeling van de lamp voor projectiedoeleinden cirkuleerden verschillende waarden voor het gewenste vermogen. Bij gebruik van een LC-apparaat adviseerde Dorgelo in 1936 alleen een lampje voor 750 W te ontwikkelen en desnoods één voor 600 W voor kleinere bioskopen.[67] De eerste in 1937 uitgebrachte projectielamp, de 'SSP 800 W', dissipeerde een vermogen van 800 W bij een spanning van 600 V tussen de elektroden. De stroomsterkte bedroeg 1,5 A bij wisselstroom en 1,3 A bij gelijkstroom.[68]

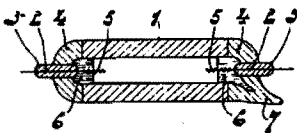
Een jaar later volgde de 'SP 1000 W', waarin het vermogen was opgevoerd tot 1000 W, bij een gelijkstroom van 2 A en een gelijkspanning van 500 V. Voor het omhoogtransformeren van de netspanning werd een lektransformator - een transformator met gescheiden wikkelingen en smoorspoel eigenschappen - gebruikt.[69] Een spaarlektrans-

formator zonder gescheiden ontwikkelingen werd door Philips niet toelaatbaar geacht.[70] Philips volgde hiermee dus de nog niet officieel vastgestelde richtlijn van de IFK-kommissie Mispa ten aanzien van het gebruik van spaartransformatoren (zie hoofdstuk VIII §6).

Het enige probleem, dat gedurende de ontwikkeling met betrekking tot de spanning optrad, betrof de ontsteekspanning. Bij proeven met een lampje te Utrecht in 1937 - waarschijnlijk met de SSP 800 W - bleek de ontsteekspanning 4000 V te kunnen bedragen. Volgens Dorgelo kwam dat, doordat zich bij het uitschakelen van het lampje kwikdruppels in het nauwe buisje vormden, die bij ontsteking eerst moesten doorslaan. Volgens hem zou langzaam uitschakelen van de lamp dit euvel kunnen verhelpen, omdat dan geen kwikdruppels tussen beide elektroden zouden ontstaan.[71] Of dit de werkelijke oorzaak was, is onbekend. In het Philips-archief vonden wij geen verdere melding meer van het probleem. Voor de SSP 800 W van 1937 werd een ontsteekspanning van 900 V opgegeven en voor de SP 1000 W van 1938 van 800 V.[72]

#### Levensduur.

De levensduur van het watergekoelde kwiklampje vormde een groot probleem. Door de waterkoeling kon worden voorkomen, dat de glaswand te heet werd, maar de elektroden, waarmee de uiteinden van de ontlaadingsbaan contact maakten, konden daarmee niet worden gekoeld. Bij de eerste proeven in 1934 bleek al, dat daarom de levensduur van de



- 1 = kwartsbuisje.
- 2 = wolframelektrodedoorvoer.
- 3, 4 = overgangsglaslaagjes van dezelfde soort.
- 5 = dunnere wolframdraadjes om de elektrodedoorvoeren, voorzien van aardalkali-oxyde.
- 6 = kwikdruppeltje.
- 7 = glaspuntje voor evacuatie van buisje en regeling lengte van uit kwik stekende elektroden.

Figuur 9.2 Konstruktie van superhoge-drukkwiklampje ter koeling van de elektroden [Brits octrooischrift 431.450, fig. 1].

elektroden en dus van het lampje zeer kort was.[73] In het Natuurkundig Laboratorium werd daarom een konstruktie ontwikkeld die eveneens de elektroden kon koelen (figuur 9.2).

De elektroden, die bijna geheel door de kwikdruppels waren omgeven, werden op twee manieren door de afgebeelde konstruktie gekoeld. Ten eerste werd warmte afgevoerd via het verdampte kwik, dat langs de uiteinden van de elektroden stroomde. Ten tweede voerden de kwikdruppels, die tijdens bedrijf op hun plaats bleven door de hoge druk én door het capillair-effekt, warmte af naar de glaswand. De konstruktie voorkwam dat de elektroden in zeer korte tijd te gronde gingen. Daarvoor moest wel afstand worden gedaan van de inmiddels gebruikelijke techniek van zodanige dosering van de hoeveelheid kwik, dat in bedrijf juist alle kwik was verdampt. De damp bleef door de noodzakelijk aanwezige kwikdruppels dus voortdurend verzadigd. De isotherme-plasma-theorie van Elenbaas kon daarom niet op de verschijnselen in dit buisje worden toegepast. In hoeverre deze konstruktie het oude risico van te hoog oplopende brandspanningen en dus van doven van de ontlading herintroduceerde (zie hoofdstuk VIII §5) viel niet uit de beschikbare bronnen af te leiden.[74]

Tijdens proeven met watergekoelde superhogedrukkwiklampjes, uitgevoerd door Dorgelo in maart 1935, bleek de levensduur sterk te variëren per exemplaar en afhankelijk te zijn van de gebruikte frequentie. Hij konstateerde toen een maximale levensduur van 200 uur bij een frequentie van 50 Hz.[75] Dat was dicht in de buurt van de destijds nog nagestreefde norm van 300 uur. Voor zeer zwaarbelaste kwiklampjes, die vanwege het hogere roodgehalte voor kleurenfilm noodzakelijk zouden zijn, was de levensduur echter aanzienlijk korter. Daarom werd de eis aan de levensduur bijgesteld: deze zou bij een brandspanning van 500 V minimaal 100 uur en bij een tot 600 V verhoogde brandspanning minimaal 20 uur moeten bedragen.[76]

In oktober 1936 werd op basis van demonstraties besloten, dat de afdeling Cinema van Philips een lampje zou ontwikkelen, dat 1000 W zou dissiperen bij een belasting van 800 W/cm. Dit lampje - intern 'F2' genoemd - was het prototype van de reeds genoemde SP 1000 W, die in 1938 als opvolger van de SSP 800 W in de handel werd gebracht. In 1937 verrichtte het Natuurkundig Laboratorium verscheide-

ne levensduurproeven met deze F2-lampjes. Bij gebruik van verchroomde spiegels varieerde de levensduur tussen 100 en 500 uur. Bij speciaal ontworpen verzilverde spiegels, die "absoluut" noodzakelijk zouden worden in de praktijk in verband met hun hoge reflektiecoëfficiënt, daalde de levensduur echter tot 10 à 100 uur. In proefopstellingen in de afdeling Cinema reikte de levensduur zelfs niet verder dan tot 10 à 30 uur. In de medio 1937 in deze afdeling gemaakte "definitieve" opstelling daalde de levensduur zelfs tot 0 à 10 uur. Dit werd als een veel te lage waarde beschouwd, waarna H. Gooskens (bedrijfsleiding) en G. J. Lambert (Philora-fabrikage) een rapport met stevige kritiek opstelden. Zij verweten het Natuurkundig Laboratorium veel te veel de suggestie te hebben gewekt, dat een levensduur van 100 uur probleemloos was te realiseren. Het Natuurkundig Laboratorium zou zich teveel hebben laten leiden door proeven van Dorgelo, die vrijwel alle met verchroomde spiegels waren uitgevoerd, terwijl het Natuurkundig Laboratorium had kunnen weten, dat de nieuwe verzilverde spiegels nodig waren. Het Natuurkundig Laboratorium had in de visie van beide genoemde heren "te weinig brandproeven genomen (.....) onder de omstandigheden, zoals die naderhand in de praktijk zouden zijn".[77]

Het probleem werd veroorzaakt doordat de verzilverde spiegels meer licht reflekteerden dan de verchroomde spiegels, zodat het lampje meer teruggekaatst licht absorbeerde en eerder door oververhitting te gronde ging. De oplossing van het probleem werd langs twee wegen gevonden. De eerste was zuiver technisch van aard: het verscherpen van de toleranties in de spiegelkonstructie, zodat het spiegelbeeld van de lichtbron op een goed gedefinieerde afstand van de lichtbron zelf kwam te liggen en de spreiding in de levensduur werd verminderd. De tweede weg was het bijstellen van het verwachtingspatroon omtrent de bereikbare norm: Philips zou zich in het vervolg, in plaats van op de eerder gewenste 100 uur, baseren op een levensduur van 25 à 30 uur - een waarde die overigens nog voldeed aan de eerder in 1935 geuite minimumnorm van 20 uur.[78] Later wist Philips de levensduur toch weer op te voeren: voor de SP 1000 W werd in 1939 een levensduur van 100 uur opgegeven bij gebruik op gelijkstroom, indien de lamp steeds om het kwartier een kwartier werd uit-

geschakeld.[79]

Kleur.

Bij de gebruikelijke booglampen met normale koelelektroden was de kleur van het uitgestraalde licht geelachtig. Rond 1935 bestonden er echter ook zogenaamde 'high intensity' booglampen met verkoperde koolstofelektroden, die blauwachtig licht uitstraalden. Volgens de afdeling Cinema ging het bioskooppubliek in die tijd in toenemende mate de voorkeur geven aan de kleurweergave van deze high intensity booglampen.[80] Het blauwachtige witte licht van superhagedrukkwiklampjes zou bij deze tendens goed kunnen aansluiten. Er was echter ook een belangrijk verschil tussen de spektra van beide lampen: de eerstgenoemde wekte in tegenstelling tot de laatstgenoemde een met daglicht overeenkomende hoeveelheid rode straling op. De 'high intensity' booglamp was daarom in principe meer geschikt voor het weergeven van kleurenfilms dan de superhagedrukkwiklamp. Vooral ten behoeve van het gebruik bij projectie van kleurenfilms werd dan ook gepoogd het roodgehalte te verhogen.

Een voor de hand liggende methode was het vergroten van de belasting van het kwiklampje, ten gevolge waarvan door toenemende temperatuurstraling het roodgehalte steeds meer zou toenemen. Het grote probleem van deze methode was echter, dat daardoor de levensduur van het lampje aanzienlijk werd ingekort.[81] Een alternatief hiervoor was het toevoegen van cadmium of zink, een klassieke maar weinig bevredigende methode, zoals reeds herhaaldelijk naar voren is gebracht. Desondanks experimenteerde Elenbaas hiermee op verzoek van de afdeling Cinema, maar naar zijn zeggen leed de levensduur hieronder te sterk.[82] Het leidde er wel toe, dat in de octrooien op de watergekoelde superhagedrukkwiklampjes expliciet ook de mogelijkheid van toevoeging van cadmium of zink werd geclaimd.[83]

Uiteindelijk werd gekozen voor een zo hoog mogelijke belasting, gerelateerd aan een akseptabele levensduur. De speciaal voor projectie bedoelde SP 1000 W had een twee maal zo hoge belasting (800 W/cm) als twee andere uitgebrachte watergekoelde superhagedrukkwiklampjes, de SP 500 W en SP 2000 W. Beide laatstgenoemde lampjes had-

den daardoor een grotere levensduur van respectievelijk 200 en 150 uur, bij om het kwartier aan- en uitschakelen.[84] De weergave van zwart-wit films met behulp van hoogbelaste lampjes was "uitstekend".[85] Voor kleurenfilms was het roodgehalte echter toch nog te mager: het bedroeg slechts 1/3 van dat van daglicht (zie tabel 9.1). Voor kleurenfilms werd daarom de lamp nog zwaarder belast, terwijl de vlinder werd voorzien van een rood filter en de overmaat aan violet en kortgolvig blauw licht met een geel filter werd gekorri-geerd. Met deze filters was de weergave van kleurenfilms volgens Philips "bevredigend".

	ultraviolet-violet-blauw-groen-geel-oranje-rood-infrarood							
	390	430	490	570	600	610	770	nm
	1	2	3	4	5	6	7	8
spektraal- vakje (nm)	400- 420	420- 440	440- 460	460- 510	510- 560	560- 610	610- 660	660- 720
gloeilamp	0,005	0,058	0,25	5,4	33,5	42,7	16,6	1,54
koolbooglamp	0,013	0,116	0,43	7,4	37,3	40,0	13,6	1,13
zonlicht	0,016	0,175	0,64	9,2	39,3	38,2	11,6	0,91
daglicht	0,025	0,26	0,91	11,1	40,8	36,2	9,9	0,73
high intensity booglamp	0,050	0,27	0,97	10,2	43,7	33,2	10,6	0,94
SP 1000 W: -'kaal'	0,042	0,53	0,87	4,6	52,6	37,6	3,4	0,25
- hoog belast, rode vlinder, geel filter	0,03	0,4	0,9	4,4	50	37	6,8	0,5

Tabel 9.1 Relatieve lichtstroom (% van totale lichtstroom) voor acht deelgebieden van het zichtbare spectrum [Heller (1939), tabel II].

#### Kosten.

Een van de redenen om superhohgedrukkwiklampjes voor projectie te ontwikkelen lag in de verwachting, dat daarmee de kosten konden worden teruggeschroefd. Nillesen maakte in maart 1935 een overzicht van de exploitatiekosten van zo'n lampje en vergeleek die met de exploitatiekosten van een booglamp met normale koelelektroden en van een

'Peerless Magnarc' booglamp, een lamp die was voorzien van verkoperde koolelektroden. Het resultaat is weergegeven in tabel 9.2 (prijzen in guldens per uur).[86]

	normale koolbooglamp	Peerless Magnarc booglamp	superhagedruk- kwiklampje
koolverbruik lampje	0,065	0,175	0,075
gelijkrichter	0,200 (5 kW)	0,140 (3,5 kW)	0,030 (0,75 kW)
gelijkrlampen	0,025	0,025	0,015
totaal	0,290	0,340	0,120

Tabel 9.2 Geschatte exploitatiekosten van superhagedrukkwiklampje voor cinema, vergeleken met twee booglampen (prijzen in guldens per uur).

Het voordeel van de Peerless Magnarc booglamp ten opzichte van zowel de normale booglamp als van het kwiklampje lag vooral in de kleurweergave (vergelijk tabel 9.1). Bovendien gaf de eerstgenoemde een hogere lichtstroom op het scherm (3000 lm) dan de gewone booglamp (1500 lm). Het beschouwde kwiklampje gaf echter een gelijke lichtstroom als de Peerless Magnarc lamp en was naar verwachting aanmerkelijk goedkoper in het gebruik.

De getoonde berekening was gebaseerd op een verkoopprijs van f 7,50 per kwiklampje en een levensduur van 100 uur, hetgeen nog eens illustreert dat al vroeg de indruk bestond, dat deze norm haalbaar moest zijn. De uitkomst van de berekening was, zoals tabel 9.2 laat zien, zeer gevoelig voor variaties in deze levensduur. Zou deze bijvoorbeeld slechts 20 uur bedragen, dan zou het gebruik van het lampje duurder worden dan van beide booglampen. Het is dus begrijpelijk dat Gooskens en Lambert later zulke forse kritiek uitten, toen deze norm met gebruik van de nieuwe spiegels in eerste instantie niet haalbaar leek. Daarmee zou een sterk verkoopargument zijn weggevallen. De nadien toch gehaalde levensduur van 100 uur doet vermoeden, dat de exploitatiekosten uiteindelijk sterk concurrerend



zijn geworden met de gewone en de 'high intensity' booglampen. Bij de presentatie van het lampje via het Philips Technisch Tijdschrift in januari 1939 werd slechts vermeld, dat het vermogensverbruik van de SP 1000 W twee keer zo gering was als van een normale booglamp en dat deze dus "een besparing van 50 %" opleverde.[87]. Tabel 9.2 laat zien, dat dit gegeven voor de totale exploitatiekosten een aanzienlijk vertekend beeld kan opleveren en bijgevolg een adequate vergelijking niet mogelijk maakt.

### Konklusie.

In het bovenstaande zijn de meest belangrijke ontwikkelingen die tot de totstandkoming van de speciale projektielamp 'SP 1000 W' hebben geleid weergegeven. Zonder tot in detail alle overwegingen met betrekking tot de gerealiseerde normen van de verschillende beoordelingskriteria te hebben vermeld, kunnen toch enige konklusies worden getrokken aangaande het ontwerpproces. Ten eerste zijn geen fysici meer bij het ontwerpproces betrokken geweest (alleen Van Alphen verrichtte gedurende korte tijd enkele proeven in verband met de frequentie van de afgebeelde filmbeeldjes). Ten tweede blijkt hoe bereikte normen van reeds bestaande projektielampen de gewenste normen van het te ontwerpen lampje hebben beïnvloed. De bestaande lampen zorgden als het ware voor de doelstellingen, waarop de ontwerpers zich moesten richten om tot een 'betere' projektielamp te komen. Samenvattend zouden we de belangrijkste ontwerpdoelen als volgt kunnen weergeven: poog de oppervlaktehelderheid zo groot mogelijk te maken en in elk geval die van de bestaande bronnen te overtreffen, poog onder de exploitatiekosten van de bestaande projektielampen te blijven, het bedieningsgemak zoveel mogelijk gelijk te laten zijn aan dat van de gloeilamp en de kleurweergave zoveel mogelijk met die van daglicht te laten overeenstemmen. De gewenste normen van hierbij niet expliciet genoemde beoordelingskriteria waren hiervan grotendeels afgeleid. Stroom en spanning werden bijvoorbeeld bepaald door de gewenste waarde van de helderheid van het filmdoek en de wens zoveel mogelijk rood in het kleurenspektrum te verkrijgen.

Niet alle normen lagen echter aan het begin van het ontwerppro-

ces vast. De gewenste levensduur kon bijvoorbeeld, zonder tot stopzetting van het proces te leiden, worden teruggeschroefd naar 25 à 30 uur. Ook de gebruikersvriendelijkheid kende geen harde norm: weliswaar vormde de gloeilamp in dit opzicht de ideale norm, maar de daardoor bereikte norm was onhaalbaar wegens de noodzakelijke waterkoeling.

In het geval van de SP 1000 W, waarvan de kenmerken zijn samengevat in tabel 9.3, kunnen we spreken van 'technische vooruitgang', maar alleen met betrekking tot een beperkt aantal beoordelingscriteria. Wat betreft oppervlaktehelderheid - hét beoordelingskriterium voor een projektie lampje - en de lichtstroom was het lampje een stap vooruit ten opzichte van de bestaande projektie lampen. Maar ten aan-

beoordelingskriterium	bereikte norm	opmerkingen
1. spanning:		
- ontsteekspanning	800 V	gelijkspanning
- brandspanning	500 V	gelijkspanning
2. stroom	2 A	gelijkstroom
3. vermogen:		
- in lampje	1000 W	
- trafo+gelijkrichter	500 W	
4. afmetingen:		
- lengte ontlading	12,5 mm	
- inwendige diameter	1,8 mm	
- uitwendige diameter	4 mm	
5. rendement	60 lm/W	
6. lichtstroom	60.000 lm	
7. oppervlaktehelderheid	< 60.000 kaars/cm <sup>2</sup>	
8. kleur	witachtig blauw	
9. levensduur	100 uur	bij elk kwartier aan/uitschakelen
10. druk	80 à 100 atm	

Tabel 9.3 Kenmerken van SP 1000 W projektie lampje

[Elenbaas (1939); Heller (1939)].

zien van de kleurweergave bleef het lampje, zolang geen extra maatregelen met filters werden genomen, achter bij de 'high intensity' booglampen en de gloeilampen. Indien we hieruit een algemeen geformuleerde konklusie mogen trekken, zou deze als volgt kunnen luiden: van 'technische vooruitgang' is sprake indien een artefakt voor een

bepaalde toepassing de belangrijkste normen van bestaande artefakten, gezien vanuit de functie die zij vervullen, overtreft; met betrekking tot secundair geachte beoordelingskriteria, in verband met die specifieke functie, kunnen de bereikte normen eventueel lager of minder uitvallen dan de reeds gerealiseerde.

### §7. Algemene verlichting.

#### Inleiding.

In 1936 kwam Philips met een nieuwe superhogedrukkwiklamp: de HP 300. Het was een lamp met relatief laag vermogen (75 W) en lage lichtstroom (3000 lm). In §5 werd reeds vermeld, dat Philips veel van deze lamp verwachtte: het bedrijf hoopte zelfs, dat het de toekomstige "massalamp" zou worden, met andere woorden dat deze lamp geschikt zou zijn voor algemene verlichtingsdoeleinden. In de presentatie aan het publiek bracht het bedrijf de lamp als één die op effectieve wijze zou kunnen bijdragen aan het verhogen van het totale verlichtingsniveau. De hoop op een soort revolutie verzweeg het niet: "We staan (.....) aan de vooravond van een grote stap in de verhooging van het nuttig effect der verlichting", liet Heller de lezers van het Philips Technisch Tijdschrift weten. Steeds minder zou, aldus Heller, verlichting vanwege financiële motieven achterwege hoeven te blijven.[88]

In deze paragraaf volgen we de totstandkoming van superhogedrukkwiklampen voor algemene verlichting en zullen we verschillen en overeenkomsten met het ontwerpproces van de superhogedrukkwiklamp voor filmprojectie, de SP 1000 W, trachten op te sporen. Allereerst gaan we in op de totstandkoming van de eerste lamp in deze lijn van de ontwikkeling, de HP 300. Daarna volgen we de verdere ontwikkeling van deze lamp, nadat deze op de markt was gekomen, met het doel enkele invloeden van de markt op de ontwikkeling nader te analyseren. Ook zal worden gelet op de functie die fysici nog in deze fase vervullen.

De eerste superhogedrukkwiklamp voor algemene verlichting: HP 300.

Bij Philips leidden een drietal impulsen tot de ontwikkeling van superhogedrukkwiklampen voor algemene verlichting. Ten eerste bestond al enige tijd de dringende wens hogedrukkwiklampen van relatief gering vermogen, dat wil zeggen met een relatief geringe lichtstroom en desondanks hoog rendement te maken. De bestaande HO-lampen hadden een hoog rendement, maar vertoonden als tekortkoming, dat zij relatief grote lichtstromen (minimaal  $\pm 10.000$  lm; zie tabellen 8.3 en 8.4) moesten uitstralen om een redelijk hoog rendement te halen. Zij werden daarom alleen daar toegepast, waar grote lichtstromen nodig waren, zoals bij straatverlichting en verlichting van grote fabriekshallen.[89] Dit werd als een niet-ideale situatie beschouwd, zoals onder meer kan worden afgeleid uit het feit, dat Pirani (Osram) al in 1931 voorstelde van Spanner en zijn medewerkers te verlangen een "kleine" hogedrukkwiklamp met een rendement van 25 lm/W te ontwikkelen (zie hoofdstuk VIII §4). Bij Philips trachtte Elenbaas in 1934 een lamp van het HO-type te maken met een vermogen van 150 W, maar daarbij "verwaterde" hét grote voordeel ten opzichte van de gloeilamp: het rendement zakte te fors.[90] Via het 1-atmosfeer-type liep het verkrijgen van de gewenste norm voor het rendement dus vast tegen de grenzen die de natuur stelt.

Ten tweede gaf de theorievorming van Elenbaas een belangrijke impuls tot de ontwikkeling van superhogedrukkwiklampen voor openbare verlichting. Uit zijn theorie volgde een mogelijke weg ter realisering van deze wens. Daaruit bleek dat niet zozeer het totale vermogen maatgevend is voor het rendement, als wel de hoeveelheid kwikdamp per centimeter buislengte (zie formule 9.13). Met de constructie van de HO-lampen kon vergroting daarvan echter niet worden gerealiseerd, omdat deze de hogere drukken en temperaturen niet kon weerstaan. Er was dus nog een derde impuls nodig: een technische realisering van deze theoretisch gebleken mogelijkheid. Deze deed zich ongeveer tegelijkertijd voor in de vorm van het door Bol gemaakte kwartslampje. Zelfs zonder extra koeling kon de druk in Bols kwartsbuisje tot ongeveer 20 atm worden opgevoerd. Uit proeven bleek dat het rendement bij zulke hoge drukken inderdaad relatief hoog

bleef.[91]

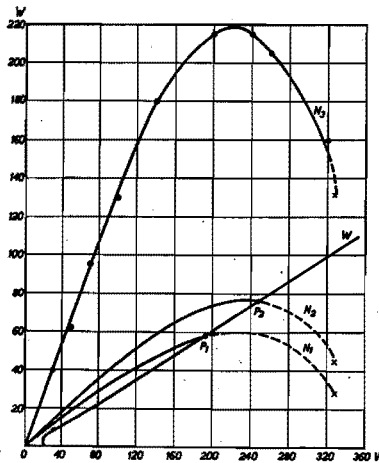
Voordat de eerste in lucht brandende superhogedrukkwiklampen, de 'HP 300' lampen, in produktie kwamen, werkte het Natuurkundig Laboratorium vooral aan de volgende beoordelingskriteria: levensduur, lichtstroom, stroom, spanning en temperatuur van de kwartswand. In een toespraak voor het Koninklijk Instituut van Ingenieurs op 22 maart 1935 wees Bol er al op, dat de aandacht bij de verbetering van de proeflampen zich vooral op vergroting van de levensduur richtte.[92] Onbekend is hoe werd geprobeerd de levensduur op te voeren. Duidelijk is wel dat bij de levensduurproeven werd gemeten, hoe sterk het rendement daalde als functie van de tijd én hoe lang de lampen gemiddeld brandden, alvorens zij sneuvelden. In juli 1935 bleek uit deze proeven, dat na ongeveer 700 uur 15 % van de lampen was uitgevallen en dat van de rest het rendement ongeveer 20 % was afgenomen. Deze 700 uur was aan de lage kant vergeleken met de levensduren van natriumlampen en hogedrukkwiklampen van het HO-type, die levensduren van 2000 à 3000 uur haalden. Mendels van de Technisch Commercieele Afdeling Philora zag daarom toen "commercieel nog geen groote mogelijkheden voor deze lamp". Weliswaar zou de kostprijs van de nieuwe lamp waarschijnlijk lager uitvallen dan die van de genoemde gasontladingslampen, maar met zo'n korte levensduur zou, aldus Mendels, de prijs per uur toch niet concurrerend genoeg kunnen zijn.[93] Dit probleem viel al snel weg: amper twee maanden later werd gemeld, dat een levensduur van 2000 uur bij een lichtterugval van 30 % kon worden verkregen. Het probleem was daarom van andere aard geworden: de lampen hadden weliswaar een voldoende technische levensduur, maar hun economische levensduur was nog onvoldoende, omdat de lichtterugval als functie van de brandtijd te groot werd geacht. Desalniettemin werd gekonkludeerd dat de lamp bijna gereed was voor de verkoop.[94]

De verkoop van de lamp werd gekoördineerd via Phoebus, omdat inmiddels was besloten, dat gasontladingslampen onder de regels van deze, oorspronkelijk alleen voor gloeilampen bedoelde, organisatie zouden vallen. In een vergadering in april 1936 van zeven van de grootste lampenfabrikanten ter wereld, waaronder General Electric (in Phoebus vertegenwoordigd via de International General Electric

Company), General Electric Company, Osram en Philips, werden onder meer afspraken gemaakt over de gewenste normen voor de lichtstroom. Zoals gezegd bestond de wens kleinere eenheden uit te brengen dan de bestaande hogedrukkwiklampen. Een sterke verlaging ten opzichte van de kleinste waarde van HO-lampen (+ 10.000 lm) achtten de lampenfabrikanten echter ongewenst. De lichtstroom zou niet teveel in de buurt van die van veel verkochte gloeilampen (+ 1000 lm) mogen komen, omdat anders bij de elektriciteitsmaatschappijen de angst zou kunnen ontstaan, dat het in de bedoeling lag deze door de nieuwe kwiklampen te vervangen. In dat geval zouden zij, vanwege het hoge rendement van de nieuwe lampen, aanzienlijk minder elektrisch vermogen verkopen én, vanwege de slechte arbeidsfaktor (0,55), toch een ongeveer even grote stroom moeten leveren. Daarom werd afgesproken alleen met lampen van 3000 en 5000 lm uit te komen én dat pas te doen "na een voorzichtige voorlichting van de elektriciteitsbedrijven".[95]

Het bij deze lampen horende vermogen bedroeg respektievelijk ongeveer 80 en 120 W (het rendement was dus ongeveer 35 à 40 lm/W). Verschillende wegen waren mogelijk om dit vermogen via de juiste keuze van stroom en spanning te verwezenlijken. Osram en de Britse firma's richtten zich op lampen die direkt via een smoorspoel op 220 V a.c. konden worden aangesloten. Osram besloot daartoe, omdat dat de introductie van de lamp voor binnenverlichting - hét terrein dat Osram met deze lampen voor kwiklampen wilde openleggen - aanzienlijk zou kunnen vergemakkelijken.[96] Philips koos echter aanvankelijk een andere weg. Het bedrijf wilde een, vooral door Holst benadrukte, situatie, waarin de produkten zoveel mogelijk door oktrooien zouden zijn gedekt [97]- een begrijpelijk streven, gezien het feit dat Philips verwachtte, dat de HP-lamp een nieuwe massalamp zou kunnen worden. De konsekwentie van dit beleid was enerzijds, dat de druk in het kwartsbuisje bij voorkeur groter dan 10 atm zou moeten zijn. Anderzijds ontstond daaruit de wens, die later tevens bij de fluorescentiebuisen naar voren kwam, een situatie na te streven, waarin de elektriciteitsmaatschappijen alleen het door Philips ontwikkelde LC-apparaat als voorschakeltoestel zouden toestaan. Philips koos daarom in eerste instantie een bedrijfsdruk van 20 atm. Deze

keuze, gekombineerd met de wens van een zo hoog mogelijk rendement, leidde tot een lamp met een brandspanning van 230 V, een ontsteekspanning van 400 V en een stroom van 0,4 A. De belasting bedroeg 40 W/cm. De voeding bestond in eerste instantie uit een spaarlektransformator, maar gezien de hoge ontsteekspanning was deze in veel landen in strijd met de regels. Daarom werkte Dorgelo met Van Stekelenburg vanaf begin 1936 samen aan een geschikt LC-apparaat. [98]

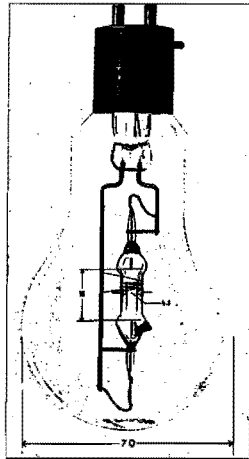


Figuur 9.3 Aan de lamp toegevoerde energie bij verschillende instellingen van spaarlektransformator ( $N_1$ ,  $N_2$  en  $N_3$ ) en door de lamp afgevoerde energie ( $W$ ); beide als functie van de brandspanning ( $V$ ) [Heller (1936), fig. 4].

Vóór die tijd had Dorgelo het opwarmen en de stabiliteit van in lucht brandende superhogedrukkwiklampjes onderzocht. [99] Hij ontdekte dat het door de ontlading afgevoerde vermogen  $W$  boven een bepaalde waarde van de brandspanning bijna lineair met de brandspanning toeneemt. In figuur 9.3 is dit verband weergegeven. De krommen  $N_1$ ,  $N_2$  en  $N_3$  geven de energie als functie van de spanning waarmee de lamp door de spaarlektransformator wordt gevoed bij verschillende instellingen van de transformator. Schakelt men een koude lamp in, dan is aanvankelijk het toegevoerde vermogen  $N$  groter dan het afgevoerde vermogen  $W$ . De lamp wordt daardoor warmer, er verdampst meer

kwik en de brandspanning neemt eerst snel en dan langzaam toe. Daardoor stijgt  $W$ , net zolang totdat een snijpunt met de betreffende  $N$ -kromme is bereikt. Voor de kromme  $N_3$  wordt geen snijpunt gevonden, omdat, voordat dat kan gebeuren, de brandspanning boven de voedingspanning oploopt en de lamp dooft. In dat geval ontsteekt de lamp opnieuw, nadat hij voldoende is afgekoeld. Een spontaan aan- en uitgaande lamp is het gevolg, net zolang totdat de lamp sneuvelt.

Bij de kromme  $N_1$ , die zeer dicht bij de  $W$ -lijn ligt, is het verschil tussen opgenomen en afgestane warmte zo klein, dat de lamp nauwelijks warmer wordt. Het duurt dan lang, eer het stabiele punt  $P_1$  is bereikt. Bovendien is de ligging van  $P_1$  zeer gevoelig voor kleine variaties in de ligging van  $N_1$ , zodat de brandspanning instabiel is. Het is dus zaak zowel de instelling van kromme  $N_1$  als die van  $N_3$  te vermijden.  $N_2$  geeft een bevredigende instelling van de spaarlektransformator aan. [100]



Figuur 9.4 De eerste HP 300 van Philips uit 1936

[Heller (1936), fig 1.].

Voordat de eerste HP-lamp voor de verkoop gereed was, besteedde Elenbaas in zijn onderzoek naar hogedrukkwikontladingen onder meer aandacht aan de temperatuur van de kwartswand van de in lucht brandende lampjes. Via een combinatie van een theoretische afleiding en



een meting van bepaalde konstanten, kwam hij tot de volgende schatting:

$$T = 620 \cdot (W/R_2)^{1/2} + 7,5 \cdot W \cdot 10 \log R_2/R_1 \quad (9.15)$$

met: T = temperatuur van de kwartswand (K)  
 W = belasting (W/cm)  
 R<sub>1</sub> = binnenstraal van kwartsbuisje (mm)  
 R<sub>2</sub> = buitenstraal van kwartsbuisje (mm)

Bij belastingen tussen 25 en 70 W/cm leverde deze formule een verschil op van maximaal 13 % met door Van Alphen uitgevoerde metingen, die volgens Elenbaas "moeilijk" (dus evenmin zeer nauwkeurig) waren. Uit de formule volgde een temperatuur van 1080 K bij een belasting van 25 W/cm en 1490 K bij 70 W/cm. [101] Uit zijn onderzoek

beoordelingskriterium	bereikte norm
1. spanning:	
- ontsteekspanning	+ 400 V
- brandspanning	230 V
2. stroom	0,4 A
3. vermogen:	
- in de lamp	75 W
- verlies in de spaarlektr.	15 W
4. afmetingen:	
- inwendige diameter kwarts	4,5 mm
- uitwendige diameter kwarts	7 mm
- uitwendige diameter ballon	max. 70 mm
- lengte ontladingsbaan	18 mm
5. rendement:	
- bruto	40 lm/W
- netto	33 lm/W
6. lichtstroom	3000 lm
7. oppervlaktehelderheid:	
- maximaal in de as	1150 kaars/cm <sup>2</sup>
- gemiddeld	450 kaars/cm <sup>2</sup>
8. ontsteektijd voor:	
- 90 % lichtstroom	5 min
- volle lichtstroom	6 min
- herontsteking	1 à 2 min
9. arbeidsfaktor	0,55
10. druk	20 atm
11. kleur	witachtig (weinig rood)

Tabel 9.4 Kenmerken van de eerste Philips' HP 300 uit 1936. [102]

volgde dus een bevestiging van de noodzaak om een glassoort te gebruiken met zeer hoge verwekingstemperatuur (kwartsglas had een verwekingstemperatuur van meer dan 1550 K).

De eerste in lucht brandende superhogedrukkwiklampen kwamen in 1936 op de markt. Figuur 9.4 geeft een afbeelding van de lamp, waarin duidelijk het kwartsbuisje is te zien, dat werd omhuld door een glasballon van gelijke afmeting als van een gloeilamp met gelijk vermogen. Tabel 9.4 geeft de kenmerken van de eerste HP 300, waarvan Heller expliciet vermeldde, dat deze de gloeilamp waarschijnlijk niet geheel zou verdringen. Als argumenten noemde hij, dat de gloeilamp direkt de volle lichtstroom geeft en een veel betere kleurweergave vertoont.[103] Ook de besproken voorzichtige politiek ten aanzien van de elektriciteitsmaatschappijen met betrekking tot de introductie van de HP-lampen kan echter bij deze 'disclaimer' een rol hebben gespeeld.

Stroom en spanning: spaarlektransformator, smoorspoel of LC-apparaat?

In principe beschouwde Philips de oplossing met een spaarlektransformator als tijdelijk. Nadat het met de HP 300 op de markt was gekomen wilde het zo spoedig mogelijk overgaan op een LC-apparaat, omdat het daarbij door oktroomen zou worden gedekt én dit apparaat waarschijnlijk als enige zou voldoen aan te verwachten voorschriften van de elektriciteitsmaatschappijen omtrent de arbeidsfaktor en het gebruik van condensatoren parallel aan het elektriciteitsnet. Holst maakte een financiële afweging van de verschillende mogelijkheden, die konden worden gekozen uit "hoge druk" (vermoedelijk verwijzend naar de 20 atm van de Philips HP 300), dan wel "lage druk" (vermoedelijk verwijzend naar de 6 à 10 atm van de lampen van General Electric Company en Osram) met een smoorspoel dan wel een LC-apparaat. Volgens hem was een LC-apparaat in combinatie met "hoge druk" goedkoper dan in combinatie met "lage druk", omdat in het eerste geval minder kwarts nodig zou zijn. Ook zou deze combinatie goedkoper zijn dan die van "lage druk" met een smoorspoel, omdat in dat geval een aparte dure condensator nodig zou zijn voor de kompensatie van de arbeidsfaktor.[104] Dit was een extra reden voor Philips om te blij-

ven werken aan de ontwikkeling van een geschikt LC-apparaat. Om zeker te zijn, dat bij eventueel gebruik van LC-apparaten de octrooidekking zo gunstig mogelijk zo zijn, slaagde het bedrijf er met succes in Osram over te halen gezamenlijk een mogelijk concurrerend octrooi (het "Dörnig-octrooi" genoemd) te kopen.[105]

Reeds in 1936 werd Philips echter gedwongen om zijn ideaal van een HP-lamp met een kwikdampdruk van meer dan 10 atm, die was aangesloten op een LC-apparaat op zijn minst tijdelijk te laten varen. In Groot Brittannië was Philips verplicht om toestemming van de Britse firma's te krijgen voor de verkoop van lampen. Met hen was Philips overeengekomen een gezamenlijke superhogedrukkwiklamp voor de Britse markt te maken. Het gevolg was, dat Philips voor de Britse markt een lamp moest maken die via een smoorspoel op 220 V a.c. moest kunnen worden aangesloten. Van Dijk bestempelde deze situatie als "onaangenaam", omdat, indien de verwachtingen van Philips ten aanzien van het LC-apparaat zouden uitkomen, deze lamp voor de Britse markt slechts een tijdelijke oplossing zou zijn. Ook op het kontinent trof Philips echter een soortgelijke tegenslag: het faalde in zijn pogingen Osram er toe over te halen de politiek van Philips te volgen.[106] Osram bleef bij zijn superhogedrukkwiklamp van 3000 lm die via een smoorspoel direkt op 220 V a.c. kon worden aangesloten. De bedrijfsdruk bedroeg ongeveer 10 atm, terwijl het rendement, inclusief het verlies in de smoorspoel, met 36 lm/W net iets hoger lag dan dat van de HP 300 inclusief verliezen in de spaarlektransformator.[107]

Waarschijnlijk omwille van de standaardisatie - ook bij fluorescentielampen later een belangrijk argument voor het bedrijf - ging Philips zelf overstag. Het verliet zijn oorspronkelijke ontwikkelingslijn en nam die van Osram en de Britse firma's over. Achteraf bleek men daar met deze ommezwaai niet ongelukkig te zijn geweest: de smoorspoel was goedkoper dan de spaarlektransformator en veroorzaakte, zoals gezegd, minder verliezen. Bovendien vond men daar later de noodzakelijke verlaging van de brandspanning gunstig, omdat daardoor de lamp van een gewone schroefhuls mocht worden voorzien, hetgeen de invoering op de markt "in niet geringe mate" zou hebben vergemakkelijkt.[108] Gevoelens van een soort 'nederlaag' bleven er

echter ook: Elenbaas omschreef de beslissing later (1956) bijvoorbeeld als één, waarbij Philips "water in de wijn" had gedaan.[109]

In het Natuurkundig Laboratorium bleef Dorgelo langdurig bezig met het onderzoek naar een geschikt LC-apparaat. De urgentie daarvan bleef echter gering, zolang de elektriciteitsmaatschappijen niet expliciet het gebruik van parallel-kondensatoren aan het net zouden verbieden (het verbod op spaarlektransformatoren hinderde niet meer vanwege de overgang op smoorspoelen). In 1937 besloot Philips de invoering van LC-apparaten op zijn minst uit te stellen tot januari 1939, tenzij de elektriciteitsmaatschappijen alsnog concrete eisen op tafel zouden leggen.[110] Zoals we hebben gezien bij de ontwikkeling van fluorescentiebuizen gebeurde dat echter niet. De situatie bleef tot 1940 zoals die was: smoorspoelen werden bijna overal gebruikt, LC-apparaten kwamen niet verder dan de laboratoriumtafel en spaarlektransformatoren werden alleen toegepast voor het omhoog transformeren van de spanning in 115-125 V a.c. netten.[111]

### Kleur.

In het spektrum van de HP 300 was enig rood aanwezig, zodat de kleurweergave beter was dan die van HO-lampen. Maar Philips was hiermee nog niet tevreden, omdat "de afwijking van de spectrale verdeling van daglicht en van gloeilampenlicht zeer aanzienlijk" was, aldus Heller.[112] De ideale norm voor de kleur van de HP-lampen was dus daglicht of gloeilampenlicht - hetgeen niet verwonderlijk is, gezien de toepassing die Philips voor ogen had. Om een goede kleurweergave met deze lampen te verkrijgen, werd bij het verschijnen van de eerste HP 300 in 1936 geadviseerd één HP-lamp met één of twee gloeilampen van hetzelfde vermogen in één armatuur te plaatsen. Het overschot aan rood van de gloeilampen compenseerde dan het tekort aan rood van de HP-lampen, terwijl bovendien in totaliteit het rendement hoger werd dan van gloeilampen alleen.[113]

In het Natuurkundig Laboratorium was men, toen de HP 300 uitkwam, al enige tijd bezig om de kleurweergave te verbeteren. Het initiatief daartoe was medio 1935 van Osram uitgegaan, waar men een onderzoek was begonnen naar fluorescerende poeders aangebracht op de

buitenballon. Osram wenste op dit terrein een nauwe samenwerking met Philips, omdat dat bedrijf verwachtte dat fluorescentie de toekomstige ontwikkeling van lampen in hoge mate zou gaan bepalen.[114] Philips bleef niet achter en begon zelf in december 1935 met het onderzoek naar fluorescentiematerialen voor HP-lampen.[115] In het Natuurkundig Laboratorium waren de eerste proeven van Zecher, die deze samen met het onderzoek naar fluorescerende lagedrukkwikbuizen uitvoerde.[116]

Philips zette een grote druk achter deze ontwikkeling. Reeds in 1936, toen de kleurweergave nog lang niet optimaal was, bood het al HP 300 lampen met fluorescerende buitenballon - later 'HPL 300' genoemd - aan voor verlichting van de weg Brussel-Antwerpen. Bij Osram was men hierover geïrriteerd, omdat men meende met Philips te zijn overeengekomen, dat de fluorescentielampen pas op de markt mochten komen, als de norm van 'wit' licht was bereikt, omdat pas dan een adequate vervanging van de combinatie van HP-lampen met gloeilampen beschikbaar zou zijn.[117] Osram, dat steun kreeg van General Electric Company, wilde ook voorkomen, dat in een te vroeg stadium, als de lamp nog niet was uitontwikkeld, een te grote vraag zou ontstaan. Philips was het hiermee in principe wel eens, maar wilde desondanks sneller met de verkoop beginnen. Om de markt rustig te houden, stelde Philips voor het mechanisme van hoge prijzen te hanteren.[118]

Philips stuurde aanvankelijk aan op 1 mei 1937 als datum van introductie van superhogedrukkwiklampen met fluorescerende ballon.[119] Het verloop van het fluorescentieonderzoek (dat we hier niet verder beschouwen, omdat dat een studie op zich zou vergen) dwong echter tot uitstel van een jaar. Het werd 1 mei 1938, alvorens de eerste HPL 300 en HPL 500 uitkwamen, die respectievelijk 3000 lm en 5000 lm uitstraalden. Zij vertoonden sterke overeenkomsten met de bestaande HP 300 en de inmiddels ook verschenen HP 500. De verschillen betroffen een fluorescentie laagje aan de binnenzijde van de buitenballon, enigszins gewijzigde afmetingen, een hoger gewicht en een verplichte verticale brandstand (huls aan de bovenzijde) met een maximale afwijking ten opzichte van de vertikaal van 30°.[120] Dat waren echter bijzaken vergeleken met de kleurbetering, het doel waarvoor de lamp was ontwikkeld. Tabel 9.5 geeft een overzicht van

de spektrale samenstelling van het licht van de HP-lamp, van de HPL-lamp en van enkele andere lampen (zie tabel 9.1 voor de met de vakjes korresponderende kleuren).

	1	2	3	4	5	6	7	8
spektraal- vakje (nm)	400- 420	420- 440	440- 460	460- 510	510- 560	560- 610	610- 660	660- 720
daglicht (gem.)	1	1	1	1	1	1	1	1
HP	0,68	3,19	0,10	0,08	1,26	1,26	0,07	0,09
HPL	0,29	0,88	0,16	0,14	1,14	1,31	0,41	0,41
HP-menglicht:								
- 2:1	0,52	2,19	0,15	0,21	1,11	1,23	0,65	0,91
- 1:1*	0,44	1,69	0,17	0,28	1,03	1,22	0,93	1,33
- 1:2	0,36	1,24	0,20	0,39	0,95	1,20	1,21	1,74

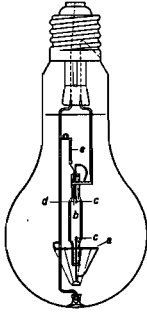
\* ML 500 menglichtlamp

Tabel 9.5 Spektraalverdeling van enkele 'witte' lichtbronnen anno 1940, genormeerd op daglicht [Matthews (1940), tabel 4].

Uit de tabel is af te leiden, dat de HP-lampen een sterke overmaat aan violet-blauw (vakje 2) uitstraalden en een sterk tekort aan rood (vakjes 7 en 8). Bij de HPL-lampen was het eerste euvel bijna geheel verholpen, maar de hoeveelheid rood, hoewel met een faktor vijf verhoogd, was nog steeds onvoldoende.

Wat kleurweergave betreft was de combinatie van gloeilampen met HP-lampen beter, maar dat ging ten koste van het rendement. Toch bestudeerde het Natuurkundig Laboratorium, wederom in de persoon van Elenbaas, die combinatie serieus. In 1936 en 1937 experimenteerde hij met een lamp die in de ballon zowel een kwartslampje als een gloeidraad bevatte. De bedoeling was te onderzoeken, in hoeverre de gloeidraad én voor kleurverbetering zou kunnen zorgen én een smoorpoel overbodig zou kunnen maken. Elenbaas volgde daarbij recente ontwikkelingen van General Electric Company, waar hetzelfde idee was uitgewerkt voor kwiklampen van het 1-atmosfeer-type. Met deze menglichtlamp kwam General Electric Company rond 1937 op de markt, maar volgens Elenbaas kon men hiermee slechts "onpraktisch grote eenheden" realiseren.[121] In hetzelfde jaar dat General Electric Company

hierop octrooi verkreeg (1936), vroeg Philips op een menglichtlamp van Elenbaas octrooi aan.[122] Vier jaar later volgde de eerste productie van hierop gebaseerde lampen: de 'ML 500'. [123]



- a. gloeidraad in argon-stikstof-mengsel
- b. kwartsbuisje.
- c. hoofdelektroden.
- d. hulpelektrode.
- e. stroombegrenzingsweerstand.

Figuur 9.5 De eerste menglichtlamp van Philips in 1940, de 'ML 500' [Matthews (1940), fig. 6].

De ML 500, waarvan figuur 9.5 een dwarsdoorsnede geeft, kende enkele voor-, maar ook nadelen ten opzichte van de combinatie van één HP en één gloeilamp in één armatuur. Voordelen waren het overbodig worden van een voorschakeltoestel en van verscheidene fittingen in één armatuur, een onmiddellijk volle lichtstroom na ontsteking en een aanlooptijd van de kwikontlading van slechts één minuut. De laatste eigenschap was het gevolg van de extra verhitting van het kwartsbuisje door de daaromheen geplaatste gloeidraad. Een nadeel was echter, dat bij het aanschakelen de netspanning bijna volledig over de gloeidraad kwam te staan, die daardoor tijdelijk werd overbelast. Sterker dan bij gloeilampen het geval was, was de levensduur - 2000 uur bij niet sneller uitschakelen dan na drie branduren - dus gevoelig voor het aantal malen aan- en uitschakelen. Een ander nadeel betrof de kwikontlading, die door een in fase zijnde stroom en spanning - de gloeidraad forceerde een arbeidsfaktor van 1 - na elke nuldoorgang van de stroom langere tijd nodig had om weer te ontsteken (bij andere kwiklampen ijelde de spanning voor op de stroom en had deze al een bepaalde waarde, als de stroom door nul ging). Gevolg was dat zowel de gloeidraad, als de kwikontlading niet onder optimale condities funktioneerden en het totale rendement lager was

dan van een combinatie van één HP en één gloeilamp in één armatuur. Met 20 lm/W was het rendement echter nog steeds aanzienlijk meer dan dat van een gewone gloeilamp. Philips verwachtte dan ook, dat de ML-lamp daar toepassing zou vinden, "waar voor de verlichting grotere lampeenheden gewenscht zijn".[124] Daarbij gingen de gedachten uit naar openbare verlichting, alsmede naar de verlichting van fabrieken, kantoren, warenhuizen, winkels, ziekenhuizen, scholen, enzovoort, kortom het gebied van de algemene verlichting.

### Herontsteektijd.

Het enige onderzoek met betrekking tot HP-lampen dat was gebaseerd op klachten van konsumenten, betrof de herontsteektijd na plotselinge uitval. Als belanghebbende meldde zich het laboratorium van de Gemeente Electriciteitswerken (GEW) te Amsterdam, nadat het in 1938 enkele proeven had genomen rond de herontsteektijd van HPL-lampen. Hoewel deze tijd reeds korter was dan bij HP-lampen, kwalificeerde het laboratorium deze toch nog als "bezwaar" voor straatverlichting.[125] De medewerkers Faber en Rutgers van der Loeff van het laboratorium hadden ter oplossing van dit bezwaar een "veiligheidsschakeling" ontworpen, waarin zich achter één smoorspoel twee parallel geschakelde lampen bevonden. Bij normaal gebruik zou één van beide lampen branden. Mocht deze ten gevolge van een sterke spanningsdaling doven, dan zou na het terugkeren van de spanning de andere, nog koude lamp vrijwel direkt ontsteken. De proefneming slaagde in zoverre, dat de overblijvende herontsteektijd, zoals gewenst, verwaarloosbaar klein werd. Er werd echter een nieuw probleem geïntroduceerd: soms ontstond een "wissel-schakeling", waarin het branden van de twee lampen elkaar om het kwartier spontaan afwisselde. Een ander bezwaar van deze oplossing was, dat steeds armaturen voor twee lampen moesten worden toegepast. Daaraan trachtten zij te ontkomen door te experimenteren met twee kwartsbuisjes in één ballon.[126]

In oktober 1938 besprak Rutgers van der Loeff het probleem van de herontsteektijd van HP-lampen in het algemeen met enkele Philips-medewerkers, waaronder Van Dijk, Elenbaas en Holst. Gebleken was dat



de oplossing van twee kwartslampjes in één ballon niet voldeed, omdat het niet-brandende lampje door het andere dusdanig werd verhit, dat ook het eerstgenoemde geen korte ontsteektijd meer vertoonde na plotselinge spanningsuitval. Over bleef, aldus de gesprekspartners, alleen de mogelijkheid van twee lampen in één armatuur. Als variant op de twee HP-lampen in één armatuur werd een combinatie van één HP-lamp en één gloeilamp voorgesteld, desgewenst voorzien van een schakeling die onder normale kondities alleen de HP-lamp zou laten branden. [127]

Na het gesprek zocht Elenbaas naar een mogelijkheid om de herontsteektijd van HP-lampen zelf toch nog te verkleinen. Hij maakte daarbij gebruik van het gegeven, dat de dampdruk in het gehele buisje en daarmee de ontsteekspanning alleen wordt bepaald door de koudste plek van het buisje. Als hij dus in staat zou zijn één plek van het buisje extra snel te laten afkoelen, zou de herontsteektijd korter worden. Hij realiseerde dit idee door aan het kwartsbuisje een smal, relatief lang en dunwandig zijbuisje te smelten (1 cm lang, inwendige diameter 2 mm, uitwendige diameter 2,5 mm). Daarmee werd de herontsteektijd ongeveer een faktor 1,5 bekort. Nog beter werd het resultaat - tot twee maal zo kort - indien hij in het zijbuisje een stukje molybdeen-folie aanbracht, dat via een wolfraamdoorvoer door het kwartsglas thermisch met een relatief groot, zwart stuk nikkel-blik was verbonden. Om te voorkomen dat het zijbuisje de normale opwarmtijd zou verlengen, doordat het bij aanschakelen te lang de koelste plek in de lamp zou zijn, werd het omwonden met een weerstandsdraad van chroom-nikkel, die in serie met de ontlading was geschakeld en die het zijbuisje bij aanschakelen extra verhitte. [128] Waarschijnlijk verliet deze remedie de laboratoriumtafel niet. In dokumentatie van rond 1940 is geen aanwijzing te vinden, dat zijbuisjes voor dit doel in kommerciële lampen werden toegepast. [129] (Het is onbekend waarom dit zo was; wellicht was de remedie van Elenbaas te kompleks en te duur).

### Konklusie.

Samenvattend kunnen we zeggen, dat een groot deel van de ontwik-

keling van de HP-lampen, net als bij de SP 1000 W, kan worden begrepen op grond van de nagestreefdè toepassing. Het is evident dat een deel van de door de eerste HP-lampen bereikte normen werd bepaald door de wens deze lampen voor algemene verlichting geschikt te maken. De belangrijkste illustratie hiervan betreft de beoordelingskriteria 'rendement', 'lichtstroom' en 'kleur'. Philips slaagde er in een lamp te maken die een hoog rendement had (2 à 3 keer zo hoog als dat van gloeilampen) en die een lichtstroom had die ongeveer drie keer zo klein was als die van de kleinste HO-lampen, zodat de lamp én economischer was dan gloeilampen én voor veel meer plaatsen in aanmerking kwam dan de HO-lampen. Het beoordelingskriterium 'kleur' laat zien, dat de onderzoekers van het laboratorium het ideaal van algemene verlichting - de kleur van daglicht - poogden te verkrijgen. Dat liep uit op de ontwikkeling van HPL- en ML-lampen; de laatste voldeden het best aan het kleurideaal, maar moesten daarvoor ongeveer de helft van het rendement van de HP-lamp prijsgeven.

Hieruit kunnen we tot een bevestiging komen van een naar aanleiding van de totstandkoming van de SP 1000 W getrokken konklusie: bij een technische ontwikkeling wordt sukses afgemeten aan de bereikte normen van de op grond van de beoogde toepassing als belangrijkste beschouwde beoordelingskriteria. Fabrikanten pogen déze normen hoger of kwalitatief beter te maken dan de normen die reeds door de voor die functie bestaande artefakten worden gehaald. Op door hen van minder belang geachte beoordelingskriteria kan eventueel lager of slechter worden geskoord.

De geschiedenis van de HP-lampen leert echter ook iets anders, namelijk dat andere belanghebbenden dan de lampenfabrikanten zich sterk kunnen maken voor een zo gering mogelijk verlies ten aanzien van de door de fabrikanten minder belangrijk geachte beoordelingskriteria. Zo vormden klachten van de Gemeente Electriciteitswerken te Amsterdam de belangrijkste reden, dat Elenbaas een onderzoek instelde naar een zo kort mogelijke herontsteektijd van HP-lampen na plotselinge uitval. Hoewel nergens expliciet naar bestaande lampen werd verwezen, is het aannemelijk dat deze klacht des te sterker was, omdat bestaande lampen als de gloeilamp überhaupt geen herontsteektijd kennen. Vanuit dezelfde visie kunnen we de eis van de KEMA

begrijpen omtrent compensatie van de slechte arbeidsfaktor en van een verbod van spaarlektransformatoren in verband met de veiligheid. Beide zaken waren gekoppeld aan een in de KEMA-visie dreigende verslechtering van de bestaande situatie.

Tenslotte zien we hier, hoe bedrijfseconomische belangen kunnen interfereren met ideaaltechnische oplossingen. Philips probeerde een zodanige HP-lamp met voorschakelapparaat te ontwikkelen, dat de oktrooidekking zo optimaal mogelijk zou zijn. Gesteund door de verwachting, dat de elektriciteitsmaatschappijen weldra condensatoren parallel aan het net voor een betere arbeidsfaktor zouden verbieden, maakte Philips de eerste HP-lamp zo, dat deze direkt op een nog te perfektioneren LC-apparaat zou kunnen worden aangesloten, dat goed door oktrooien was beschermd. De lamp zelf werd vanwege een goede oktrooibescherming op een bedrijfsdruk van 20 atm gebracht. Gevolg van deze oktrooioverwegingen was, dat een lamp ontstond die in eerste instantie alleen op een dure en extra verliezen introducerende spaarlektransformator kon worden gebruikt. De technisch eenvoudiger en minder verliezen opleverende oplossing van aansluiting op het net via een smoorspoel - de konstruktie die General Electric Company en Osram prefereerden - liet Philips aanvankelijk met opzet liggen vanwege de nagestreefde sterke oktrooioppositie. Later sloot Philips zich bij General Electric Company en Osram aan, toen de verwachte richtlijnen van de elektriciteitsbedrijven uitbleven en de konstruktie van Osram en General Electric Company een gemakkelijkere invoering op de markt opleverde.

Een vergelijking van de inbreng van fysici bij de ontwikkeling van het bioskooplampje SP 1000 W en de lamp voor algemene verlichting HP 300 laat zien, dat bij de eerstgenoemde alleen Van Alphen gedurende korte tijd was betrokken, terwijl bij de laatstgenoemde Elenbaas zowel voor de temperatuur in de ontlading, als voor de kleur van het licht en de herontsteektijd te hulp werd geroepen. Toch kan niet worden gezegd, dat de problemen met de HP 300 ernstiger waren dan die met de SP 1000 W of omgekeerd. Wellicht was, na het konflikt tussen Elenbaas en Bol, afgesproken dat Elenbaas geen bemoeienis zou hebben met de SP-lampen. Elenbaas had in theorie ook verder onderzoek kunnen doen voor de bioskooplampen.

In het werk van Elenbaas aan HP-lampen zien we een bevestiging van eerder getrokken konklusies ten aanzien van het verband tussen fysische theorieën en artefakten. Zo was hij in staat het beoordelingskriterium 'herontsteektijd' te vertalen in de fysische grootheid 'tijd die nodig is om het kwartsbuisje zodanig te laten afkoelen, dat de ontsteekspanning van de kwikdamp voldoende is gedaald'. Daarom was hij in staat een maatregel voor te stellen die de herontsteektijd kon verlagen. Anders gezegd: hij kon dankzij begrip van het fysische proces dat aan het probleem ten grondslag lag, een geschikte heuristiek aangeven. Deze heuristiek zou als volgt kunnen worden weergegeven: tref zodanige maatregelen dat tenminste een klein gedeelte van het kwartsbuisje na plotselinge spanningsuitval snel afkoelt. Een belangrijk kenmerk van heuristieken blijkt ook weer uit dit voorbeeld: kennis van een geschikte heuristiek zorgt niet noodzakelijkerwijs voor een juiste remedie voor een probleem. Elenbaas gaf voor de te lange herontsteektijd weliswaar een oplossing via het gebruik van een zijbuisje aan het kwartsbuisje, maar die werd niet in kommerciële lampen toegepast (wellicht omdat deze oplossing te duur en te kompleks was).

#### §8. Konklusies.

In dit hoofdstuk is beschreven, hoe enerzijds volgens Bol, anderzijds volgens Elenbaas superhagedrukkwiklampen met waterkoeling zijn ontstaan. De weg die Bol schilderde was anders dan die Elenbaas beschreef. Bol stelde dat deze lampen ontstonden dankzij door hem uitgevoerde experimenten, nadat Elenbaas hem had voorgehouden, dat hij moest streven naar vergroting van de hoeveelheid kwik per cm buislengte. Dat hij dat kon realiseren door de lampen te koelen, zou zijn eigen idee zijn geweest. Elenbaas daarentegen is van mening, dat ook het advies om te koelen van hem afkomstig was, waarbij hij voor zijn adviezen sterk leunde op theoretische inzichten omtrent de processen in hagedrukkwikontladingen. De geraadpleegde bronnen geven geen uitsluitsel over het gelijk van een van beide onderzoekers. Dat is in deze studie echter van sekundair belang. Belangrijker is dat beide verhalen een reëel, plausibel alternatief vormen met betrek-

king tot de ontstaansgeschiedenis van deze lampen en dat de theorievorming van Elenbaas krachtige heuristische opleverde voor optimalisatie naar verscheidene beoordelingskriteria, zoals het rendement, de lichtstroom en de oppervlaktehelderheid. Ook hierbij werd weer gekonstateerd, dat de sleutel voor het kunnen afleiden van zulke heuristieken ligt in de mogelijkheid van vertaling van beoordelingskriteria in fysische grootheden.

Uit de beschrijving van de ontwikkeling van de SP 1000 W lamp voor bioskoopprojectie en van de HP-lampen voor algemene verlichting blijkt een bevestiging van eerder getrokken konklusies over de dynamiek van ontwikkelingsprocessen. Zo speelt onderlinge vergelijking met bestaande artefakten voor een functie waarvoor men nieuwe artefakten wil realiseren een dominante rol. De bestaande artefakten bepalen welke normen met betrekking tot de meest belangrijk geachte beoordelingskriteria minimaal met de nieuwe artefakten verkregen dienen te worden. In dit verband werd het begrip 'technische vooruitgang' aangestipt. Als operationaliseerbare omschrijving daarvan werd voorgesteld 'vooruitgang' te definiëren als het realiseren van hogere of betere normen met betrekking tot dié beoordelingskriteria die voor een bepaalde functie van essentieel belang worden geacht. Daarvan uitgaande kan ook van 'vooruitgang' sprake zijn, als het nieuwe artefakt op een aantal beoordelingskriteria minder goed scoort dan reeds bestaande artefakten doen, zolang dit alleen geldt voor minder van belang geachte beoordelingskriteria.

Uit de ontstaansgeschiedenis van de HP-lampen volgt nog een ander belangrijk aspekt ten aanzien van de dynamiek van ontwikkelingsprocessen: verschillende belanghebbenden kunnen een van elkaar afwijkende perceptie hebben met betrekking tot de vraag welke beoordelingskriteria het meest belangrijk zijn. Zo bepaalden derden dat Philips werd gedwongen om de gerealiseerde normen voor de arbeidsfactor en de herontsteektijd aan te passen. Ook intern speelden deze perceptieproblemen een belangrijke rol. In het Natuurkundig Laboratorium van Philips was men van mening, dat de 'beste' HP-lamp een dampdruk van meer dan 10 atm moest hebben. De kommerciële afdeling oordeelde echter, dat de mogelijkheid van een directe aansluiting op het openbare elektriciteitsnet via een smoorspoel een hogere priori-

teit had, waardoor de dampdruk naar ongeveer 6 atm moest worden verlaagd. Hieruit volgt eveneens dat het begrip 'vooruitgang' relatief is: voor iedere belanghebbende kan vooruitgang een andere betekenis hebben.

Bij de ontwikkeling van superhogedrukkwiklampen voor bioskoopdoeleinden (SP 1000 W lamp) werd geen onderzoek meer verricht naar de fundamentele ontladingsprocessen om bepaalde problemen op te lossen. Elenbaas onderzocht daarentegen wel de ontladingsprocessen in HP-lampen met het doel enkele euvels, zoals de als te lang ervaren herontsteektijd na plotselinge spanningsuitval, te verhelpen. Toch kan daaruit niet worden afgeleid, dat de aard van de problemen met de HP-lampen anders was dan die met de bioskooplampen. Empirische methoden en methoden gebaseerd op inzichten in de fundamentele ontladingsprocessen werden dus naast elkaar gebruikt en droegen beide bij aan het 'verbeteren' van de normen met betrekking tot de beoordelingscriteria van superhogedrukkwiklampen.

X. DISKUSSIE.§1. Inleiding.

Het hoofddoel van deze studie was inzicht te verwerven in de relatie tussen toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek en de ontwikkeling van artefakten in een industriële kontekst. Geïnspireerd door enkele innovatiemodellen werden drie begrippen geïntroduceerd die de analyse zouden moeten ondersteunen: 'beoordelingskriteria', 'normen' van deze beoordelingskriteria en 'belanghebbenden'. Op basis van bestaande studies was duidelijk, dat deze drie begrippen op zinvolle wijze konden worden gebruikt in een beschrijving van relevante marktprocessen en ontwerpprocessen en de wijze waarop deze processen op elkaar inspelen. De vraag was of deze drie begrippen ook vruchtbaar zouden kunnen worden gebruikt bij een analyse van het karakter en het belang van het toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek, dat ter ondersteuning van innovaties in bedrijfslaboratoria wordt uitgevoerd. De belangrijkste konklusie dienaangaande kan als volgt worden omschreven: *veel beoordelingskriteria kunnen direkt of indirekt de betekenis van een fysische grootheid aannemen, waardoor de inhoudelijke ontwikkeling van toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek relevant kan zijn voor de totstandkoming van nieuwe artefakten. Beoordelingskriteria blijken daarmee de verbindende categorie te vormen tussen toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek, ontwerpprocessen en processen die zich op de markt afspelen.*

Tot deze konklusie kwamen we via een beschrijving van de geschiedenis van kwiklampen tot ongeveer 1940, met speciale aandacht voor het toepassingsgerichte onderzoek dat met betrekking tot deze lampen in het Natuurkundig Laboratorium van Philips werd uitgevoerd. Daarbij kon onder andere gebruik worden gemaakt van laboratoriumrapporten, notulen van vergaderingen, alsmede van interne en externe

korrespondentie. Daarmee kon een diepgaand en gedetailleerd beeld worden gegeven van wat er zich achter de schermen bij Philips afspeelde. Het enige wat niet kon worden onderzocht is, welke werkzaamheden de onderzoekers precies aan hun laboratoriumtafels verrichtten, noch welke politiek-strategische bedoelingen eventueel achter bepaalde brieven of rapporten schuilgingen. In die zin blijft er ook na deze studie nog een 'vertaalslag' over tussen feitelijke werkzaamheden en motieven en de presentatie daarvan naar anderen. Deze beperking van het bronnenmateriaal - die wellicht met laboratoriumjournaals ten dele zou kunnen worden opgeheven - dient te worden meegewogen bij het lezen van de nu volgende bevindingen waartoe deze studie heeft geleid.

In dit hoofdstuk wordt eerst ingegaan op de relatie tussen toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek en de ontwikkeling van artefakten (§2). Daarbij komen onderwerpen aan de orde die uit de vier case-studies naar voren zijn gekomen, die daarvoor onderling worden vergeleken. De daarop volgende paragraaf (§3) gaat in op elementen met betrekking tot de dynamiek van innovatieprocessen. Daarbij is geen volledigheid nagestreefd, maar gepoogd aandacht te besteden aan die elementen waarvan het belang uit deze studie is gebleken. De vierde en laatste paragraaf van dit hoofdstuk gaat vragenderwijs in op de bruikbaarheid van het analysekader voor een bredere vraagstelling met betrekking tot de 'verwetenschappelijking van de techniek'.

## §2. Inhoudelijke relatie tussen toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek en de ontwikkeling van artefakten.

Uit deze studie komen een aantal belangrijke inhoudelijke kenmerken van toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek en de ontwikkeling van artefakten naar voren. Zij zijn te rangschikken onder 'konstruktieve kennis', 'natuurwetenschappelijke kennis' en 'werkwijzen'. De beschreven case-studies strekken zich uit over die periode (1900 - 1940) waarvan algemeen wordt aangenomen, dat zich daarin wezenlijke veranderingen voltrokken op deze punten. Daarom worden in deze paragraaf deze vier case-studies met elkaar vergele-



kenmerk	lagedrukkwiklampen	fluorescentielampen
konstruktieve kennis	buisconstructie, vakuümzuigen, toevoer elektrische energie, temperatuur stabilisatie (Hewitt)	opbrengen fosforen, keuze juiste fosfor, oxydkathoden
natuurwetenschappelijke kennis	kennis over stralingsspektra van de elementen	kennis over stralingsspektra van de elementen
werkwijzen:		
a. trial and error		zeer belangrijk in verband met opbrengen en keuze van fosforen
b. empirisch systematisch onderzoek	veelvuldig	veelvuldig
c. fundamenteel onderzoek	soms (Weintraub, Penning); niet zeer relevant	lampen stimuleerden fluorescentieonderzoek; radiostoring onderzocht

Tabel 10.1 Vergelijking van de vier case-studies.

(zie vervolg op volgende pagina)

ken (zie tabel 10.1) en wordt vastgesteld welke veranderingen zich in de loop van de tijd bij de ontwikkeling van kwiklampen hebben voorgedaan. De paragraaf eindigt met een stelling ten aanzien van de 'verwetenschappelijking van de techniek'.

### Konstruktieve kennis.

De eerste lagedrukkwiklampen die rond 1860 werden vervaardigd, dankten hun ontstaan voor een groot deel aan de konstruktieve kennis die in de wetenschappelijke gemeenschap aanwezig was omtrent de vervaardiging van ontladingsbuizen. Kennis over de opwekking van elektrische energie en over het vakuümzuigen van buizen (Arons) speelden een beslissende rol. Deze kennis behoorde in de jaren dertig van de

kenmerk	hogedrukkwiklampen	superhogedrukkwiklampen
konstruktieve kennis	gebruik kwartsglas, elektrodedoorvoer, oxydkathode (Spanner c.s.)	gebruik kwartsglas, elektrodedoorvoer, waterkoeling (bij SP-lampen)
natuurwetenschappelijke kennis	kennis over stralingsspektra van de elementen	kennis over stralingsspektra van de elementen; energieomzetting in hogedrukkwikontlading (Elenbaas)
werkwijzen:		
a. trial and error		zeer belangrijk in verband met elektrodedoorvoer (Bol/Lemmens)
b. empirisch systematisch onderzoek	veelvuldig	veelvuldig
c. fundamenteel onderzoek	voor Küchs en Spanners lampen nog niet van groot belang; start door Elenbaas: isotherme plasmatheorie, gelijkvormigheidswetten	onderzoek van Elenbaas gaf belangrijke heuristieken

Tabel 10.1 Vergelijking van de vier case-studies.

(vervolg van vorige pagina).

twintigste eeuw tot het standaardrepertoire van industriële ontwikkelaars van gasontladingsartefakten. Zij die werkten aan de constructie van fluorescentielampen worstelden met andere problemen, zoals de keuze van fosforen, het opbrengen van fosforen op de binnenzijde van de glaswand en de constructie van geschikte oxydkathoden. Dit laatste was tezamen met het zoeken naar een of meer fluorescentiepoeders met een geschikt fluorescentiespektrum het belangrijkste probleem dat moest worden opgelost.

Ook bij de ontwikkeling van hogedrukkwiklampen speelden kon-

struktieve problemen een belangrijke rol. Küch en Retschinsky konden deze lampen slechts vervaardigen, omdat zij hadden geleerd hoe ze kwartsglas moesten bewerken én zij er in waren geslaagd een elektrodendoorvoer door kwartsglas te maken die bij de optredende hoge temperaturen stand hield.

De elektrodendoorvoer door kwartsglas van Bol en Lemmens en de toepassing van waterkoeling waren uitvindingen die onmisbaar waren voor de konstruktie van superhogedrukkwiklampen waarin de druk opliep tot ongeveer 100 atm en meer. Voor een variant waarin de dampdruk ongeveer 10 atm bedroeg was geen extra koeling nodig, maar werd een extra glasballon om een klein kwartslampje aangebracht.

Samenvattend kan worden gezegd, dat bij alle vier kwiklampen het overwinnen van konstruktieve problemen een belangrijke invloed uitoefende op de totstandkoming ervan.

#### Natuurwetenschappelijke kennis.

Lagedrukkwiklampen dankten hun ontstaan in de vorige eeuw voor een belangrijk deel aan de natuurwetenschappelijke kennis die inmiddels in wetenschappelijke kring voorhanden was omtrent de stralingspektra van de elementen. Omdat in die kring bekend was, dat de kleur van het licht van een kwikontlading witachtig is, werd kwik geselecteerd als element om een ontladingslamp te maken. De kennis over stralingspektra van de elementen werd na de eeuwwisseling meer en meer een onderdeel van de kennis van de onderzoekers in laboratoria van lampenfabrikanten zelf. De impulsen hiertoe werden gegeven door onder meer Hewitt, Küch en Retschinsky, alsmede door Claude.

Voor de ontwikkeling van fluorescentielampen was bovendien kennis over de fluorescentiespektra en de nagloeitijd van fosforen nodig. Toen deze ontwikkeling begon, was daarover al het een en ander bekend in academische kring, maar veel heeft dat niet aan de totstandkoming van deze lampen in 1938 bijgedragen. Fosforen die een geschikt fluorescentiespectrum en een voldoende nagloeitijd vertoonden, moesten proefondervindelijk in de bedrijfslaboratoria worden gevonden.

Ook voor het totstandkomen van hogedrukkwiklampen in 1906 werd

geen specifieke nieuwe kennis uit wetenschappelijke kring meer gebruikt. Küch en Retschinsky ontdekten zelf door het verrichten van toepassingsgericht onderzoek, dat het stralingsrendement en het stralingspektrum bij hogere dampdruk en temperatuur veranderden. Zij leverden omgekeerd juist nieuwe relevante kennis aan de fysische gemeenschap. Ook Spanner, Germer en Döring ontleenden later (rond 1930) geen fundamenteel nieuwe inzichten aan de fysika om hun hogedrukkwiklampen te kunnen maken. Zij hielden zich vooral bezig met konstruktieve problemen en niet met de processen die zich in een hogedrukkwikontlading afspelen. Elenbaas was de eerste die zich daarop vanaf 1932 richtte én die zich met publikaties nadrukkelijk in de fysische gemeenschap begaf. Veel konsekwenties voor de hogedrukkwiklampen van het HO-type (1 atmosfeer in bedrijf) had zijn onderzoek echter nog niet.

Aan de vervaardiging van superhogedrukkwiklampen lagen zijn berekeningen voor een belangrijk deel wel ten grondslag. Daarmee vormen de superhogedrukkwiklampen de enige lampen uit deze studie waarbij sprake is van een sterk verband tussen fundamentele kennis over gasontladingsverschijnselen en de totstandkoming van een gasontladingslamp.

Opvallend is dat Elenbaas daarbij niet direkt kennis uit de atoomfysika gebruikte. De door Bohr en anderen ontwikkelde kwantumtheorie vormde in geen van de vier beschreven case-studies een direkte basis voor theoretische berekeningen die voor het ontwerpen van de lampen van nut waren. Welke invloed had de kwantumtheorie dan wel? Uit deze studie blijkt die invloed vooral indirekt te zijn geweest. De kwantumtheorie reikte de onderzoekers nieuwe begrippen aan, waardoor zij een beter (kwalitatief) begrip kregen van de mogelijke verschillende soorten botsingen die aan bepaalde gasontladingsverschijnselen ten grondslag liggen. Zo hadden begrippen als 'aanslag', 'ionisatie', 'botsingen van de eerste soort' en 'botsingen van de tweede soort' een specifieke, door de atoomfysika beschreven, betekenis, die gekoppeld was aan de veranderingen in de aan botsingen deelnemende atomen. Deze kennis was voor Elenbaas echter slechts een achtergrond van zijn theorievorming. Belangrijker was zijn inzicht dat in een kwikontlading bij hoge druk de elektro-

nentemperatuur bijna gelijk is aan die van de ionen en de atomen. Energiebeschouwingen gaven bij hem dus de doorslag voor zijn resultaten.

### Werkwijzen.

Voor een onderlinge vergelijking van de gevolgde werkwijzen onderscheiden we drie soorten werkwijzen: 'trial and error', 'empirisch systematisch onderzoek' en 'fundamenteel onderzoek'. Onder 'trial and error' wordt die werkwijze verstaan, waarin de onderzoekers min of meer op goed geluk proberen hun doel te bereiken. Het zoeken naar een geschikt fluorescentiepoeder voor fluorescentielampen in de jaren dertig vormt hiervan een voorbeeld. In 'empirisch systematisch onderzoek' wordt gepoogd op systematische en empirische wijze zoveel mogelijk verbanden tussen beoordelingskriteria van een artefakt vast te stellen om met behulp daarvan te kunnen optimaliseren naar een of meer kenmerken. Als resultaat van een dergelijk soort onderzoek kan bijvoorbeeld de wet van Ohm worden genoemd, die voor een bepaalde categorie van materialen een empirische relatie tussen elektrische stroom en spanning weergeeft. Ook de levensduurproeven van Zecher aan fluorescentiepoeders in de jaren dertig kunnen hier als voorbeeld worden genoemd (zie figuur 7.4). Met 'fundamenteel onderzoek' wordt hier dat onderzoek bedoeld, dat poogt verbanden tussen fysische grootheden en theoretische inzichten af te leiden uit (algemene) fysische wetmatigheden die niet alleen op één artefakt betrekking hebben. Een voorbeeld van dit soort onderzoek is het meten van de levensduur van metastabiele atomen.

Vergelijken we de vier case-studies met elkaar ten aanzien van deze drie werkwijzen, dan blijkt dat 'trial and error' vooral bij de totstandkoming van fluorescentielampen en van superhogedrukkwiklampen een zeer belangrijke rol heeft gespeeld. Voor fluorescentielampen werden een zeer groot aantal fosforen - bij het Amerikaanse General Electric naar men zegt tot 60.000 (!) toe - op hun levensduur en fluorescentiespektrum getest. Bij het ontwerpen van superhogedrukkwiklampen werd gebruik gemaakt van een elektrodedoorvoer door kwartsglas, die Bol en Lemmens 'tegen beter weten in' hadden

ontdekt. In beide gevallen was geen sprake van het gebruik van een krachtige heuristiek, maar meer van 'lukraak' proberen om een bepaald doel te bereiken.

Het uitvoeren van 'empirisch systematisch onderzoek' vond in alle vier case-studies veelvuldig plaats. Dit lijkt een zeer belangrijke werkwijze voor het vergaren van relevante informatie voor het ontwerpen van artefakten, waarvan de beoordelingskriteria aan bepaalde gewenste normen moeten voldoen. Zo hebben we in alle vier gevallen grafieken gezien, waarin verbanden tussen enkele beoordelingskriteria werden vastgelegd. De functie hiervan lijkt te zijn om ontwerpprocessen efficiënter te laten verlopen door onzekerheden over de samenhang tussen beoordelingskriteria te minimaliseren. Deze gedachte sluit aan bij ideeën van W.G. Vincenti, die, na historische studies in de vliegtuigindustrie, tot de konklusie kwam, dat de voornaamste functie van 'know how' van ingenieurs is om de onzekerheden zoveel mogelijk te reduceren.[1]

In het verlengde hiervan kan worden gesteld, dat een verdere reductie van de onzekerheid en onduidelijkheid kan worden bereikt door 'fundamenteel' gericht onderzoek. Bij gasontladingslampen was het doel van dit onderzoek om de makroskopisch waarneembare verschijnselen te verklaren met behulp van de daaraan ten grondslag liggende atomaire (botsings)processen, hopen dat hieruit kennis zou voortvloeien die behulpzaam kon zijn bij het ontwerpen van nieuwe lampen.[2] Zoals hierboven is behandeld zou dat kunnen, indien daarmee verbanden konden worden gevonden tussen fysische grootheden, die op hun beurt zouden kunnen worden vertaald naar beoordelings- of ontwerpkriteria.

In de hier beschreven geschiedenis van lagedrukkwiklampen werden twee fundamentele onderzoekingen aangehaald, namelijk die van Weintraub uit 1904 en van Penning uit 1934. Beide onderzoeken leverden weinig direkt resultaat op voor deze lampen. Zij gaven echter wel bijdragen aan een beter begrip van ontladingsprocessen, zodat naar aanleiding daarvan publikaties konden worden geschreven die door wetenschappelijke tijdschriften werden geaksepteerd. Hun onderzoek bleef vooral van belang met betrekking tot het vinden van verbanden tussen fysische grootheden, die niet naar ontwerpkriteria werden

vertaald.

Dat gold later eveneens voor het fluorescentieonderzoek dat op gang kwam door de ontwikkeling van fluorescentielampen. Vóór 1940 leidde dit onderzoek niet tot voor deze lampen bruikbare resultaten. Dat was anders bij onderzoek van Verburg van Philips, die trachtte meer inzicht te verwerven in de atomaire processen die verantwoordelijk waren voor de door fluorescentielampen veroorzaakte radiostoring. Hij ontdekte in welk gedeelte van de ontladingsbaan botsingsprocessen konden optreden, die aanleiding gaven tot het ontstaan van elektromagnetische straling met radiofrequenties en kon, daardoor geleid, voorstellen doen voor maatregelen ter reductie van deze straling. In het algemeen gaf fundamenteel gericht onderzoek echter geen grote bijdragen aan de totstandkoming van fluorescentielampen.

Dat was tevens het geval bij de ontwikkeling van hogedrukkwiklampen. Kúch en Retschinsky ontdekten in 1906 enkele interessante verbanden tussen fysische grootheden in hogedrukkwikontladingslampen, die de moeite van publikatie in een fysisch vakblad waard waren. Hun interesse lag echter primair, zo lijkt het, bij de samenhang tussen de met deze grootheden direkt gekoppelde beoordelingskriteria van deze lampen, zoals het specifiek vermogen als functie van het gedissipeerde vermogen. De eerste die, geabstraheerd van de direkte toepassing van hogedrukkwiklampen, onderzoek verrichtte naar de fundamentele processen in hogedrukkwikontladingslampen, was Elenbaas in 1932. Hij slaagde er in om gelijkvormigheidswetten af te leiden voor hogedrukkwikontladingslampen, die waren gebaseerd op een differentiaal-vergelijking die de samenhang gaf tussen de relevante fysische grootheden in een dergelijke ontlading. Dankzij het feit dat veel van deze grootheden direkt of indirekt in beoordelingskriteria waren te vertalen, kon hij krachtige heuristische opstellen, die optimalisatie naar gewenste effecten aanzienlijk vereenvoudigden. Men zou kunnen zeggen, dat zijn onderzoek duidelijk maakte welke normen überhaupt fysisch te realiseren waren. Zijn onderzoek gaf als het ware de grenzen van het mogelijke aan.

Niet alleen maakte zijn onderzoek het ontwerpen van hogedrukkwiklampen eenvoudiger, ook was het mede aanleiding voor het totstandkomen van superhogedrukkwiklampen. Zijn onderzoek gaf de impul-

sen daarvoor, omdat de resultaten aangaven, dat via temperatuur- en drukverhoging lampen konden worden gemaakt die een zeer grote oppervlaktehelderheid of een zeer grote lichtstroom bij geringe afmetingen bezaten - N.B. een gegeven dat in het konflikt tussen Bol en Elenbaas niet door Bol werd bestreden! Superhogedrukkwiklampen dankten hun ontstaan dus voor een belangrijk deel aan nieuwe kennis over fundamentele ontladingsprocessen.

Plaatsen we de vier behandelde soorten kwiklampen in een historische lijn, dan kan worden gekonkludeerd, dat tussen 1900 en 1940 de verwevenheid tussen natuurwetenschappelijk onderzoek en hun ontwikkeling toenam. Zo dankten de superhogedrukkwiklampen hun ontstaan voor een belangrijk deel aan de door Elenbaas geformuleerde heuristieken, die waren gebaseerd op zijn fundamentele onderzoek. Uitgedrukt in termen van normen en beoordelingskriteria volgt hieruit het volgende inhoudelijke kenmerk voor de 'verwetenschappelijking van de techniek': *waar 'verwetenschappelijking van de techniek optreedt, wordt het verkrijgen van 'betere' normen van beoordelingskriteria van artefakten in de loop van de tijd steeds minder alleen bepaald door empirisch, systematisch onderzoek, maar vooral ook door fundamenteel gericht onderzoek.*

### §3. Elementen van de dynamiek van innovatieprocessen.

Na te zijn ingegaan op enkele inhoudelijke kenmerken van toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek en de ontwikkeling van artefakten, zullen in deze paragraaf elementen betreffende de dynamiek van innovatieprocessen aan de orde worden gesteld. Daarbij wordt geen volledigheid nagestreefd. Slechts die kenmerken passeren de revue die nadrukkelijk uit deze studie naar voren komen. We maken daarbij onderscheid tussen de volgende vier niveaus: het toepassingsgerichte onderzoek van fysici, het ontwerpproces, de keuzen van het onderzoeksmanagement en processen op de markt.

Richten we ons allereerst op het niveau van het door fysici in de bedrijfslaboratoria verrichte toepassingsgerichte onderzoek. Zowel uit de werkwijzen die zijn gericht op het vaststellen van empirische relaties als van theoretisch gefundeerde relaties tussen ver-



schillende beoordelingskriteria valt af te leiden, dat de fysikus informatie kan verzamelen over dié beoordelingskriteria die in een fysische grootheid zijn te vertalen. Dan is in principe een berekening of grafische presentatie mogelijk. De kleur van het door een lamp uitgestraalde licht wordt bijvoorbeeld vertaald in de spektrale samenstelling van de straling: de straling wordt opgedeeld in pakketjes met een bepaalde 'bandbreedte' (dat wil zeggen met frequenties tussen twee grensfrequenties), waarvan de energie-inhoud wordt bepaald. Ook voor de spanning geldt dit: voor een konsument heeft de spanning de betekenis van een evaluatiekriterium: "kan ik deze lamp direkt op de netspanning aansluiten?" zal hij zich bijvoorbeeld afvragen. Voor de onderzoeker heeft de spanning echter de betekenis van een fysische variabele, die hij kan meten en waarmee hij kan rekenen. In de theorievorming van Elenbaas komt de spanning bijvoorbeeld voor in de variabele  $G$ , de elektrische veldsterkte (hoofdstuk IX, §5). Dankzij het feit dat sommige beoordelingskriteria in fysische grootheden zijn te vertalen, kan de fysikus het reservoir van natuurwetenschappelijke kennis, dat door hem wordt aangevuld, ten nutte maken voor de ontwikkeling van artefakten. Daarom heeft het zijn fysici in bedrijfslaboratoria toepassingsgericht onderzoek te laten verrichten.

Een interessant, hiermee direkt samenhangend punt is de relevantie van dit soort onderzoek voor de fysische gemeenschap. Elenbaas kreeg bijvoorbeeld alle ruimte om in de fysische vakbladen te publiceren. Dat was echter geen voldoende voorwaarde voor daadwerkelijke publikatie: we kunnen er van uitgaan, dat de redactie van een vakblad alleen dan tot publikatie overging als deze van mening was, dat de inhoud van het aangeboden artikel relevant was voor de fysische gemeenschap. Elenbaas publiceerde in vakbladen bijvoorbeeld wel over het temperatuurverloop in een hogedrukkwikontlading en over de spektrale samenstelling van de daarin opgewekte straling, maar niet over zaken als de gewenste glasdikte of de kleur van het opgewekte licht. Dat duidt er op, dat hij wel publiceerde over de samenhang van fysische grootheden en niet zozeer over de ontwerpcriteria, waarmee deze grootheden direkt of indirekt samenhangen. Konkluderend kunnen we zeggen: het werk van een fysikus in een toepassingsgerichte kontekst

kan ook voor fysici uit andere konteksten relevant zijn, omdat hij zich net als zij kan bezig houden met onderzoek naar de samenhang tussen fysische grootheden in bepaalde processen.

Daarom kan de toepassingsgerichte fysikus ook een rol spelen in de gemeenschap van de fysici. Hij spreekt hun taal en verricht overeenkomstige handelingen. Daarom ook kan de door andere fysici verzamelde kennis relevant worden gemaakt voor de ontwikkeling van artefakten. Elenbaas maakte bijvoorbeeld dankbaar gebruik van de kennis die zijn leermeester, Ornstein, had verzameld omtrent atomaire verschijnselen in (hogedruk)boogontladingen. Via het onderzoek van Ornstein kwam hij op de gedachte, dat in een hogedrukkwiklamp sprake is van lokaal temperatuurevenwicht tussen de gasdeeltjes - de basis voor zijn verdere theoretische beschouwingen (hoofdstuk IX, §5). In die zin past een onderzoeker in een industrieel laboratorium bestaande kennis toe en zouden we kunnen spreken van 'toegepast onderzoek'. Aangezien de onderzoeker echter meer doet, zoals het zelf ontwikkelen van nieuwe kennis, is dit begrip te 'eng' en geen adequate aanduiding van zijn werk.

Een tweede niveau dat, naast het niveau van het toepassingsgerichte onderzoek door fysici, in bedrijfslaboratoria een belangrijke rol speelt, is dat van het ontwerpen van nieuwe artefakten. Het resultaat van het toepassingsgerichte onderzoek, dat voor de ontwerper beschikbaar is, kan in twee vormen worden onderscheiden: de presentatie van gemeten of afgeleide wetmatigheden betreffende fysische grootheden óf van heuristische ter ondersteuning van ontwerpprocesen. Uit het onderzoek van Elenbaas volgde bijvoorbeeld de volgende heuristische regel: wenst men een kwiklamp met een hoog rendement en een hoge oppervlaktehelderheid, dan dient de hoeveelheid kwik per centimeter buislengte te worden verhoogd en de straal van de buis te worden verkleind (hoofdstuk IX, §5). Ondanks dat de preciese samenhang hierin ontbreekt, is dit een eenduidige ontwerpregel. Toen dit moest worden gerealiseerd, ontstonden echter grote problemen. Beide maatregelen duiden op druk- en temperatuurverhoging. Hogere druk en temperatuur vormen echter een belasting voor de glaswand. Deze bepaalt daarom de maximaal toelaatbare normen voor de druk en de temperatuur en stelt dus grenzen aan het rendement en de oppervlak-

tehelderheid.

Dankzij het toepassen van waterkoeling kon Bol dit probleem oplossen. Dit voorbeeld toont een beperking van heuristieken: ze kunnen weliswaar aangeven wat er moet worden gedaan om bepaalde normen te bereiken, maar niet hoe konstruktieve problemen daarbij moeten worden opgelost. De taak van de ontwerper kan dan ook worden omschreven als het overwinnen van konstruktieve problemen om gewenste normen van beoordelingskriteria te realiseren, al dan niet gebruik makend van de kennis die fysici omtrent de samenhang van beoordelingskriteria hebben verzameld.[3] Ook de elektrodedoorvoer van Bol en Lemmens kan dit nader illustreren. Men wist reeds sinds het begin van deze eeuw, dat het vervaardigen van een geschikte elektrodedoorvoer door de wand van kwartsglas van een hogedrukkwiklamp een complexe zaak was. Voor superhogedrukkwiklampen was dit probleem nog ernstiger, omdat de glaswand daarvan nog warmer zou worden. De nieuwe elektrodedoorvoer van Bol en Lemmens kon zulke hoge temperaturen weerstaan bij grote stroomdoorgang, dat de door Elenbaas gevonden heuristiek kon worden nagevolgd en het gewenste doel kon worden verkregen.

Het derde niveau waarop belangrijke activiteiten betreffende de dynamiek van innovatieprocessen plaatsvinden, is dat van het onderzoekmanagement. In het Natuurkundig Laboratorium van Philips was het Holst die de grote lijn van het onderzoek bepaalde. Hij voorzag de onderzoekers van een algemeen geformuleerde opdracht. Zijn overwegingen waren daarbij vooral bedrijfsstrategisch van aard. Een van zijn toetsstenen voor het verrichten van een bepaald onderzoek was de vraag, of het kon bijdragen aan een versteviging van Philips' oktrooipositie. In termen van normen en beoordelingskriteria zou kunnen worden gesteld, dat Holst het als een van zijn taken opvatte om realiseerbare normen van beoordelingskriteria via oktrooien te beschermen. In deze studie vinden we deze beleidslijn meermalen door voorbeelden ondersteund. Zo onderzochten Zecher en anderen langere tijd 'blauwe lichtbuizen' in verband met een oktrooikwestie (hoofdstuk VI, §6) en wees Holst er bij de ontwikkeling van een voorschakelapparaat voor kwiklampen op, dat moest worden gestreefd naar een apparaat dat zo goed mogelijk door oktrooien zou kunnen worden be-

scherm (hoofdstuk VII, §6).

Een tweede beleidsfaktor die de activiteiten van de onderzoekers kon beïnvloeden, was - naast de wens tot een stevige octrooi-positie - de keuze voor een nauwe samenwerking met andere grotere lampenfabrieken. De achterliggende gedachte daarvan was de wens tot standaardisatie te komen en aldus "een chaos op de [verlichtings] markt" te voorkomen (zie pagina 214). Philips wenste met andere woorden zoveel mogelijk uniformiteit te bereiken bij de normen van de beoordelingskriteria van de op de markt komende lampentypen. Met dit doel voor ogen sloot Philips met verschillende grote lampenfabrieken bilaterale kontrakten af, waarin samenwerking en uitwisseling van technische informatie over produkten en produktietechnieken was geregeld. De onderzoekers van het Natuurkundig Laboratorium van Philips hadden in dit beleid een belangrijke functie: zij bezochten de laboratoria van de concurrenten. Zo gingen Zecher en Elenbaas af en toe op bezoek bij Osram om zich aldaar van de nieuwste ontwikkelingen op de hoogte te stellen.

Een derde punt van overweging op het niveau van het onderzoekmanagement betrof het contact met andere belanghebbenden dan de concurrerende lampenfabrikanten. Philips koos voor een direkt contact met de grootste belanghebbenden en wist daardoor precies welke verlangens en eisen ten aanzien van de beoordelingskriteria bij konsumenten en regelgevende instanties leefden. Door regelmatig contact met de KEMA was Holst bijvoorbeeld zeer tijdig op de hoogte van mogelijk toekomstige regelgeving met betrekking tot een minimaal toelaatbare arbeidsfaktor, maximaal toelaatbare spanningen en een verbod op het toepassen van een condensator parallel aan het elektriciteitsnet ter korrektie van een lage arbeidsfaktor. Voor Holst was dit voldoende reden om een onderzoek naar de ontwikkeling van LC-apparaten gaande te houden. Ook het genoemde onderzoek van Elenbaas aan de herontsteektijd van HP-lampen, dat op gang werd gebracht na klachten van de Gemeentelijke Electriciteitswerken te Amsterdam, is een voorbeeld van de mogelijk richtinggevende functie van direkte kontakten met belanghebbenden op het totstandkomen van de normen van sommige beoordelingskriteria (hoofdstuk IX, §7).

Overwegingen op beleidsniveau beïnvloedden dus direkt de keuze

van het veld van onderzoek in het Natuurkundig Laboratorium. Uit verschillende interviews en schriftelijke, onder andere van Holst afkomstige, historische bronnen blijkt, dat de onderzoekers bij de dagelijkse werkzaamheden veel vrijheid kregen (hoofdstuk V, §5). Op operationeel niveau, dat wil zeggen bij de uitvoering van het onderzoek, liet Holst de noodzakelijke keuzen meestal over aan de laboratoriummedewerkers zelf. Dat wil niet zeggen, dat zij allen eindeloos de tijd kregen om gedetailleerde fysische problemen te onderzoeken. Volgens Holst zelf was zijn devies om veel ongericht onderzoek - door hem "grondslagenonderzoek" genoemd - in een vakgebied toe te laten, zolang hij van mening was, dat er nog te weinig bekend was over de "eigenschappen" van artefakten in dit gebied en dus over de "richtlijnen" voor het zoeken naar nieuwe produkten en werkwijzen. Zodra hij echter vond dat de vergaarde kennis voldoende was om meer toepassingsgericht te werk te kunnen gaan, besloot hij dat ook te doen. Hijzelf noemde het bij Philips verrichte gasontladingsonderzoek in de jaren twintig en dertig later als voorbeeld van deze beleidslijn op operationeel niveau.[4] Deze studie ondersteunt deze stellingname van Holst: in hoofdstuk V (§5) werd getoond, hoezeer het gasontladingsonderzoek van het Natuurkundig Laboratorium in de jaren twintig was gericht op het verkrijgen van een algemeen inzicht in fysische gasontladingsverschijnselen. De volgende hoofdstukken lieten zien, dat het ontwikkelen van artefakten (kwiklampen) inderdaad later, vooral in de jaren dertig, op gang kwam.

Het vierde en laatste te bespreken niveau van de dynamiek van innovatieprocessen betreft dat van de markt. Op de markt moet een artefakt een bepaalde functie vervullen, bijvoorbeeld die van algemene verlichting. De wensen en eisen van de belanghebbenden ten aanzien van een artefakt voor een bepaalde functie zijn te vertalen in gewenste of vereiste normen van beoordelingskriteria. Van belang is dat de belanghebbenden ieder hun eigen perceptie kunnen hebben omtrent het artefakt. De gewenste normen kunnen onderling sterk verschillen. Bovendien kunnen zij in de loop van de tijd veranderen, zoals we hebben gezien bij het rendement van nieuw te ontwerpen lampen, waaraan gaandeweg steeds hogere eisen werden gesteld, mede op basis van het feit, dat andere nieuwe lampen steeds hogere ren-

dementen haalden. Hierin schuilt een deel van de dynamiek van innovatieprocessen. Ook is de dynamiek echter terug te vinden in het ontstaan van nieuwe beoordelingskriteria. In deze studie komt het beoordelingskriterium 'arbeidsfaktor' als meest treffende voorbeeld daarvan naar voren: in het begin van de eeuw speelde het voor gasontladinglampen geen rol in de discussie over toepassingen, maar in de jaren dertig werd het een zeer belangrijk beoordelingskriterium, waaraan de elektriciteitsmaatschappijen steeds zwaardere eisen gingen stellen. De reden daarvoor was de angst van deze maatschappijen, dat zij, als deze lampen op grote schaal zouden worden verkocht, bij een even grote belasting van het elektriciteitsnet toch minder elektrisch vermogen zouden verkopen (hoofdstuk VII, §6).

Een interessant aspect is dat de fabrikanten er niet naar streven alle normen van een nieuw artefakt 'beter' te laten zijn dan die van bestaande artefakten voor dezelfde beoogde functie. Uit deze studie volgt, dat zij een prioriteitenvolgorde ten aanzien van de verschillende van belang zijnde beoordelingskriteria hanteren. Voor de functie van algemene verlichting werden bijvoorbeeld het rendement, de kleurweergave en de levensduur door de fabrikanten als belangrijkste beoordelingskriteria gezien. Met betrekking tot het rendement en de levensduur bereikten de eerste fluorescentielampen 'hogere' normen dan de bestaande gloeilampen voor deze functie. Toen de kleur van het licht voldoende 'wit' kon worden gemaakt, vormden de fluorescentielampen daarom in potentie een grote concurrent voor de gloeilamp - Anton Philips uitte bijvoorbeeld direkt na de introductie van de eerste Amerikaanse fluorescentielampen zijn vrees voor de mogelijk negatieve gevolgen van deze lampen voor de gloeilampenverkoop (zie bijlage IV). Dit beeld werd bij de lampenfabrikanten niet verstoord door het feit, dat fluorescentielampen op enkele beoordelingskriteria duidelijk 'lager' scoorden dan gloeilampen: de ontsteektijd bedroeg bijvoorbeeld enkele sekonden, terwijl de eerste fluorescentielampen ook een aanzienlijke radiostoring vertoonden; een gloeilamp heeft daarentegen geen merkbare ontsteektijd en veroorzaakt geen radiostoring. In de perceptie van de fabrikanten waren enkele beoordelingskriteria dus belangrijker dan andere.

Ook het voorbeeld van de superhagedrukkwiklamp voor bioskoop-

doeleinden laat dit mechanisme zien. Vóór alles moest worden geoptimaliseerd naar de oppervlaktehelderheid. Het watergekoelde superhogedrukkwiklampje van Philips overtrof de oppervlaktehelderheid van de meeste andere projectielampen. Na enige jaren onderzoeks- en ontwikkelingswerk werd een speciaal voor deze functie ontworpen lamp door Philips op de markt gebracht. Op hét beoordelingskriterium van projectielampen - de oppervlaktehelderheid - scoorde deze lamp zeer hoog, op andere, door Philips in eerste instantie minder van belang geachte, beoordelingskriteria werd echter een 'lagere' score ten opzichte van de bestaande projectielampen geaksepteerd. De gebruikersvriendelijkheid was bijvoorbeeld dank zij de noodzakelijke waterkoeling minder groot dan die van gloeilampen. In de visie van een fabrikant hoeft een artefakt dus voor een goede kans op de markt niet op alle beoordelingskriteria 'hogere' te scoren dan concurrerende artefakten. Dit duidt op het bestaan van een hiërarchie in de beoordelingskriteria, die afhankelijk is van de functie waarvoor het artefakt wordt gebruikt. Deze konklusie sluit aan bij een stelling van Clark, dat er in ontwerpprocessen hiërarchieën zijn aan te wijzen in de verschillende thema's waaraan verder moet worden gewerkt.[5]

Deze hiërarchie kan zich echter wijzigen, als het artefakt eenmaal op de markt is, doordat andere (invloedrijke) belanghebbenden duidelijk maken, dat bepaalde beoordelingskriteria een hogere prioriteit zouden moeten krijgen. De KEMA drong er bij Philips bijvoorbeeld op aan een hoge waarde voor de arbeidsfaktor van gasontladinglampen te realiseren. Ook wenste de KEMA, dat het percentage derde harmonische dat deze lampen met hun voorschakeltoestel op het elektriciteitsnet veroorzaakten zo gering mogelijk zou zijn. Gezien de machtspositie van de KEMA veroorzaakten deze wensen een verschuiving van aandacht binnen het Natuurkundig Laboratorium van Philips naar deze beoordelingskriteria. Ook de herontsteektijd van hogedrukkwiklampen, die enkele minuten bedroeg, werd pas expliciet onderwerp van een studie in het Natuurkundig Laboratorium van Philips, toen de Gemeentelijke Electriciteitswerken van Amsterdam klachten hierover hadden geuit.

Het bovenstaande laat zien, dat de begrippen 'normen' en 'beoordelingskriteria' kunnen worden gebruikt bij het beschrijven van in-

novatieprocessen vanaf de 'laboratoriumtafel' tot de markt. Zij worden (impliciet) gebruikt in de communicatie tussen de vier bovenvermelde niveaus en vormen tevens, omdat zij een instrumentarium bieden om de 'black box' te openen, de middelen om natuurwetenschappelijke kennis te koppelen aan de ontwikkeling van artefakten. *Normen en beoordelingskriteria vormen dus de verbindende categorieën tussen de processen waarmee de belanghebbenden op de markt een artefakt beoordelen en de processen die zich bij het onderzoeksmanagement, het ontwerpen en het verrichten van toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek in het bedrijf afspelen. Het hier gebruikte analysekader geeft dus de mogelijkheid om de klassieke tegenstelling tussen interne en externe techniekgeschiedenis op te heffen.*

§4. Relevantie van analysekader voor de 'verwetenschappelijking van de techniek'.

In §2 is aangetoond, dat de begrippen 'beoordelingskriteria' en 'normen' sleutelbegrippen zijn voor het analyseren van de (zich veranderende) inhoudelijke relatie tussen natuurwetenschappelijke kennis en de ontwikkeling van artefakten. De daarop volgende paragraaf (§3) liet zien, dat zij tezamen met het begrip 'belanghebbenden' verbindende categorieën vormen voor een analyse van innovatieprocessen op allerlei niveaus tussen het werk aan de laboratoriumtafel en marktprocessen. De aanleiding tot deze studie was, zoals in hoofdstuk I is beschreven, gelegen in de discussie omtrent de 'verwetenschappelijking van de techniek', dat meer omvat dan de hier diepgaand onderzochte thema's. De vraag is nu of het gepresenteerde analysekader ook voor de bestudering van de bredere vraagstelling met betrekking tot de 'verwetenschappelijking' een bruikbaar instrumentarium biedt. De verrichte case-studies laten een afgerond antwoord niet toe. Suggesties en vragen voor verder onderzoek zijn hieruit echter wel af te leiden.

Hier zal worden ingegaan op de volgende drie onderwerpen:

1. het aantrekken van steeds grotere aantallen ingenieurs en academici door de industrie tussen 1900 en 1940;
2. het oprichten van speciale onderzoekslaboratoria voor het ver-



richten van toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek door deze ingenieurs en academici;

3. de vraag of een vakgebied een bepaald niveau van ontwikkeling moet hebben bereikt, alvorens artefakten kunnen ontstaan, die gebruik maken van kennis uit dit vakgebied.

Beide eerstgenoemde punten geven aan, dat de industrie er in de periode 1900 - 1940 in slaagde institutionele kaders te scheppen voor het beoefenen van natuurwetenschap op een zodanige wijze, dat de resultaten daarvan technisch relevant waren. Rond 1900 was het geenszins vanzelfsprekend, dat de industrie in deze poging zou slagen. Het Amerikaanse bedrijf 'General Electric Company' stelde in dat jaar de eerste werknemers met een academische opleiding aan, maar veel meer dan een hoop, dat zij een nuttige bijdrage aan de ontwikkeling van artefakten (waaronder expliciet kwikdamplampen, zie hoofdstuk VI §4) konden leveren, bestond er niet. Academici moesten als het ware de 'belofte' die in de natuurwetenschap school, nog waarmaken. Tussen 1900 en 1915 werden in het research laboratorium van General Electric enkele duidelijke successen geboekt, bijvoorbeeld de door Langmuir ontwikkelde 'half-watt' lamp. De Eerste Wereldoorlog, waarin veel wetenschappers bijdroegen aan de oorlogsindustrie en aan het oplossen van concrete noden onder de bevolking, markeert een afronding van deze 'belofte-fase'. De overtuiging dat natuurwetenschappelijke kennis relevant kan zijn voor technische ontwikkelingen won definitief terrein, waarna het aantrekken van wetenschappers en het oprichten van speciale onderzoekslaboratoria in een stroomversnelling kwam. Tegen 1940 bestond er nauwelijks meer twijfel over de technische relevantie van het verrichten van toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek (zie ook hoofdstuk II).

Kunnen deze beide fasen - een belofte-fase' tot 1915 en een 'akseptatie-fase' tussen 1915 en 1940 - worden bestudeerd met behulp van het gebruikte analysekader? Deze vraag zou als volgt in de vorm van de volgende twee vragen kunnen worden geoperationaliseerd:

1. herkennen wetenschappers al in een vroeg stadium (rond 1900), dat natuurwetenschappelijke kennis in principe een belofte inhield voor technische ontwikkelingen, doordat het voor hen duidelijk was dat fysische grootheden kunnen worden vertaald in beoorde-

lingskriteria van artefakten? Was er eerst toepassingsgericht onderzoek en kwam de institutionalisering daarvan daarna min of meer vanzelf?

2. Of was het eerder omgekeerd zo, dat de industrie vanwege een toenemende overschakeling op massaproductie een steeds grotere behoefte kreeg aan gestandaardiseerde produktiewijzen én controletechnieken, die in speciale laboratoria werden ontwikkeld? Werd pas later binnen deze reeds bestaande laboratoriumcultuur 'ontdekt', dat natuurwetenschappelijke kennis relevant kan zijn voor de ontwikkeling van artefakten en werd dus pas gaandeweg duidelijk, dat toepassingsgericht onderzoek zinvol is, omdat fysische grootheden in beoordelingskriteria kunnen worden vertaald?

Het derde bovengenoemde punt betreft de vraag of een vakgebied een bepaald inhoudelijk stadium moet hebben bereikt, alvorens het in artefakten toepassing kan vinden. In dit verband is de stelling van enkele onderzoekers uit de 'Starnberg-groep' interessant, dat 'verwetenschappelijking van de techniek' tegenwoordig plaatsvindt op basis van 'afgeronde' ("fertige") theorieën.[6] Een andere door hen verdedigde gedachte is, dat disciplines een zekere 'theoretische rijpheid' ("theoretische Reife") dienen te bezitten, voordat de verdere ontwikkeling daarvan vooral door externe oorzaken (waaronder de wens bepaalde artefakten te produceren) kan worden bepaald.[7] Ook verdedigen zij de stelling, dat in sommige wetenschapsgebieden, ondanks dat de theoretische 'rijpheid' niet zeer groot is, toch externe oorzaken richtinggevend kunnen zijn voor de verdere ontwikkeling daarvan. Zij noemen dit 'funktionalisering' ("Funktionalisierung") van de wetenschap.[8] Zowel 'theoretische rijpheid' als 'funktionalisering' kunnen volgens hen kenmerken zijn van "Finalisierung der Wissenschaft".

Ondanks de moeilijke operationaliseerbaarheid van de door de Starnbergers gebruikte begrippen, kunnen hierbij toch enige kanttekeningen worden geplaatst. Beschouwen we allereerst de these van de Starnbergers met betrekking tot de noodzakelijke theoretische 'rijpheid' van een vakgebied, alvorens externe oorzaken richtinggevend kunnen zijn voor de verdere ontwikkeling daarvan. G. Küppers

verdedigt een stelling van deze strekking voor de gasontladingsfysika: zijns inziens ontwikkelde de gasontladingsfysika zich tot ongeveer 1925 zuiver op basis van wetenschapsinterne doelstellingen en begon daarna een technische oriëntering van dit vakgebied.[9] Deze studie heeft laten zien, dat een dergelijke grote lijn inderdaad gold voor het onderzoek in het Natuurkundig Laboratorium van Philips: in de jaren twintig waren het vooral algemene gasontladingsverschijnselen die door de onderzoekers van dit laboratorium werden bestudeerd, terwijl zij zich in de jaren dertig nadrukkelijker bezig hielden met onderwerpen die direkt aan gasontladingsartefakten waren ontleend. Het onderzoek van H. B. Dorgelo aan metastabiele atomen (hoofdstuk V §5) mag als kenmerkend voorbeeld voor het onderzoek in de jaren twintig gelden, terwijl het onderzoek van Elenbaas aan hogedrukkwikontladingen kenmerkend is voor het onderzoek in de jaren dertig (hoofdstuk VIII en IX).

Rond 1930 waren enkele gasontladingstheorieën op deelterreinen beschikbaar en was de gasontladingsfysika een vakgebied met eigen doelstellingen geworden (zie hoofdstuk IV en tabel 4.1). In die zin had de gasontladingsfysika toen een zekere 'rijpheid' bereikt. Desondanks dient een dergelijke grote lijn voorzichtig te worden gehanteerd: Hamburger begon het gasontladingsonderzoek bij Philips immers expliciet vanwege vraagstukken met betrekking tot gasontladingsartefakten, terwijl ook Holst enkele jaren later konkrete toepassingen voor ogen had - gasontladingslampen - toen hij zijn eerste gasontladingsonderzoekingen verrichtte (hoofdstuk V §5). Dus ook voordat er sprake was van een zekere theoretische 'rijpheid' waren technische doelstellingen, zij het soms vaag, al richtinggevend voor de gasontladingsfysika.

Wenden we ons tenslotte naar de these van de Starnbergers omtrent de noodzakelijke 'afronding' van theorieën, alvorens 'verwetenschappelijking' kan plaatsvinden. Om bij deze studie te blijven: moest de gasontladingsfysika eerst een 'afgeronde' theorie bevatten, alvorens toepassingen als gasontladingslampen van kennis uit dit vakgebied konden profiteren? Hoe moeilijk ook 'afronding' is te definiëren, toch is deze stellingname mijns inziens niet sterk. Enerzijds bestonden er vóór de jaren twintig en dertig geen als 'afge-

rond' te kwalificeren gasontladingstheorieën. Anderzijds werden al vanaf ongeveer 1900 gasontladingslampen, bijvoorbeeld die van Hewitt en van Claude, met enig succes op de markt gebracht, die, hoewel de voornaamste problemen die daarbij moesten worden overwonnen, betrekking hadden op de konstruktie (zie §2), wel degelijk hun ontstaan ook voor een belangrijk deel dankten aan onderzoekingen in gasontladingsen. Dus ook voordat er 'afgeronde' gasontladingstheorieën bestonden, konden ontwerpers van nieuwe gasontladingsartefakten al profiteren van nieuwe 'brokken' kennis, die toegankelijk waren, dank zij de vertaalbaarheid van fysische grootheden in beoordelingskriteria.

Hoewel verder onderzoek nodig is, valt dus op grond van deze studie niet te verwachten, dat het door de Starnbergers aangereikte begrip 'afronding' van theorieën voldoende adequaat is om te analyseren, waaraan natuurwetenschappelijke inzichten dienen te voldoen om technisch relevant te kunnen zijn. Wellicht bevindt zich een belangrijk criterium in de vraag of wetenschappelijke kennis zich zó laat presenteren, dat in konkrete situaties die zich in een klasse van artefakten (bijvoorbeeld hogedrukkwiklampen) kunnen voordoen, de samenhang tussen dié fysische grootheden die kunnen worden vertaald in beoordelingskriteria van de artefakten, is beschreven. Een theorie die daarop is gebaseerd en aldus direkt aan een klasse van artefakten is gekoppeld, zou een 'technologische theorie' kunnen worden genoemd.

SAMENVATTING.

Het hoofddoel van deze studie was het analyseren van de kennisinhoudelijke relatie tussen toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek en de ontwikkeling van artefakten (onder artefakten worden onder meer produkten en productieprocessen gerekend). Aanleiding hiertoe vormde de discussie in techniekhistorische en -filosofische kring omtrent het verschijnsel 'verwetenschappelijking van techniek'. In de literatuur over dit onderwerp is de genoemde kennisinhoudelijke relatie tot nu toe onderbelicht gebleven, terwijl algemeen wordt aangenomen, dat steeds vaker de totstandkoming van nieuwe artefakten afhankelijk is van ontwikkelingen in toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek. Het probleem waarop deze studie zich heeft gericht, betreft de vraag hoe toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek bijdraagt aan de ontwikkeling van artefakten en hoe deze bijdrage is veranderd in de periode 1900 - 1940. Deze periode is gekozen, omdat toen in de gehele wereld steeds meer bedrijven wetenschappers aantrokken om in speciale onderzoekslaboratoria toepassingsgericht onderzoek te verrichten. Dit probleem is uitgewerkt in de vorm van een case-studie met betrekking tot de ontwikkeling van kwikdamplampen in de genoemde periode. Deze lampen vormen een voorbeeld van een categorie artefakten, waarvan algemeen werd (en wordt) aangenomen, dat zij hun ontstaan voor een groot deel hebben te danken aan de snelle groei van de kennis op het gebied van de gasontladings- en atoomfysika in de eerste decennia van deze eeuw. Speciale aandacht is uitgegaan naar het toepassingsgerichte onderzoek dat met betrekking tot kwikdamplampen in het Natuurkundig Laboratorium van Philips werd verricht. Aangezien het archief van Philips toegankelijk was voor historisch onderzoek, konden de pogingen die destijds in het Natuurkundig Laboratorium werden ondernomen om natuurwetenschappelijke kennis relevant te maken voor het ontwerpen van nieuwe kwikdamplampen diepgaand worden bestudeerd.

Voor de beschrijving van de geschiedenis van kwikdamplampen is gebruik gemaakt van een analysekader, waarmee de factoren die van invloed zijn geweest op de ontwikkeling van deze lampen kunnen worden geanalyseerd (hoofdstuk III). Naast wensen en eisen van bijvoorbeeld consumenten vormen toepassingsgerichte onderzoekingen een van deze factoren. Het analysekader is dus primair bedoeld voor een beschrijving van de dynamiek van innovatieprocessen, maar getracht is het zó op te stellen, dat ook de kennisinhoudelijke relatie tussen toepassingsgericht onderzoek en het ontwikkelen van nieuwe artefakten er een plaats in kon krijgen. Een drietal begrippen vormen tezamen dit kader: belanghebbenden, beoordelingskriteria en normen. Onder 'belanghebbenden' worden al die groepen, instanties en individuen verstaan die op een of andere wijze belang hebben bij de ontwikkeling van een bepaald artefakt. 'Beoordelingskriteria' zijn al die kenmerken van dat artefakt waarop het door de verschillende belanghebbenden wordt beoordeeld. Het rendement, de stroomsterkte, de kleur, de lichtstroom en de prijs zijn voorbeelden van beoordelings-

kriteria van lampen. 'Normen' tenslotte worden gedefinieerd als de kwalitatieve of kwantitatieve waarden die beoordelingskriteria kunnen aannemen. Normen voor de kleur zijn bijvoorbeeld rood, groen en blauw en voor het rendement 20 of 40 lumen per Watt.

Ter inleiding op de geschiedenis van kwikdamlampen wordt in hoofdstuk IV ingegaan op enkele belangrijke ontwikkelingen in de atoom- en gasontladingsfysika tot 1940. Daaruit blijkt onder meer, dat zij tot 1900 nauwelijks van elkaar waren te onderscheiden. Pas na de ontdekking van het elektron (1897) en de ontwikkeling van de kwantumfysika (na 1913) ontwikkelden zij zich tot aparte vakgebieden met eigen doelstellingen.

Hoofdstuk V behandelt de vraag of de onderwerpen waaraan gasontladingsfysici onderzoek verrichtten, afhankelijk waren van de context waarin deze fysici werkten. Een kwantitatieve beschouwing op basis van de mondiale gasontladingspublicaties in een vijftal jaren tussen 1920 en 1940 laat zien, dat de meeste gasontladingspublicaties uit universiteitslaboratoria afkomstig waren. Gasontladingsfysici uit industriële laboratoria namen echter ook een zeer groot deel hiervan voor hun rekening. Een van de meest opvallende verschillen tussen de gasontladingsfysici in de verschillende contexten is, dat diegenen die in het bedrijfsleven werkten, hun aandacht meer gelijkmatig over verschillende onderwerpen verdeelden dan hun collega's uit hogeschool-, universiteits- en overheidslaboratoria. Bovendien publiceerden zij, zoals te verwachten viel, relatief het meest over toepassingen van gasontladingen.

De studie beschrijft de geschiedenis van vier soorten kwikdamlampen: lagedrukkwiklampen, fluorescentielampen, hogedrukkwiklampen en superhogedrukkwiklampen. Uit de beschreven geschiedenis van lagedrukkwiklampen (hoofdstuk VI) blijkt, dat vanaf het begin (1860) de meeste ontwerpers/onderzoekers een academische opleiding of ingenieursopleiding hadden gevolgd. Zowel de konstruktieve kennis om gasontladingslampen te maken als de kennis over de stralingsspektra van de elementen was in eerste instantie uit de wetenschappelijke gemeenschap afkomstig. In die zin was de afstand tussen wetenschappelijke kennis en artefakten klein. Vanaf ongeveer 1900 vond onderzoek aan en ontwikkeling van lagedrukkwiklampen vooral plaats in bedrijfslaboratoria. Tot 1940 bleef de ontwikkeling van nieuwe lagedrukkwiklampen vooral gebaseerd op empirisch, systematisch onderzoek. Fundamenteel onderzoek droeg daaraan nauwelijks iets bij.

Ook bij de ontwikkeling van fluorescentielampen (hoofdstuk VII) speelde tot 1940 fundamenteel gericht onderzoek geen doorslaggevende rol. Alleen voor de oplossing van problemen met betrekking tot de beoordelingskriteria 'spanning' en 'radiostoring' werd enig profijt getrokken van dit soort onderzoek. In het algemeen berustte echter ook de ontwikkeling van fluorescentielampen voornamelijk op empirisch, systematisch onderzoek. Daarnaast speelde echter ook een 'trial and error' werkwijze bij het onderzoek een belangrijke rol: om een geschikt fluorescentiepoeder te vinden werden zeer veel fluorescentiestoffen (bij het Amerikaanse General Electric naar men zegt tot 60.000 toe) op hun levensduur en fluorescentiespektrum getest.

Bij hogedrukkwiklampen werd de ontwikkeling vooral bepaald door konstruktieve problemen (hoofdstuk VIII). In 1906 werd bekend dat

deze lampen 'beter' scoren op de beoordelingscriteria 'kleur' en 'rendement' dan lagedrukkwiklampen. Vanwege de optredende hoge temperatuur moest echter het moeilijk bewerkbare kwartsglas worden gebruikt, waarin slechts met grote moeite elektrodedoorvoeren waren in te smelten. Bovendien duurde het tot ongeveer 1930 alvorens oxydkathoden zodanig konden worden vervaardigd, dat hun levensduur in hogedrukkwiklampen lang genoeg was. Toen die kathoden eenmaal konden worden gebruikt, konden hogedrukkwiklampen stabiel branden.

Tijdens de ontwikkeling van hogedrukkwiklampen verrichtte W. Elenbaas van het Natuurkundig Laboratorium van Philips uitgebreid onderzoek naar de samenhang tussen verschillende fysische grootheden in een hogedrukkwikontlading. Uit een analyse van zijn onderzoek volgt, dat dat voor de ontwikkeling van deze lampensoort in eerste instantie geen grote gevolgen had. Dat was wel het geval bij de superhogedrukkwiklampen, hoewel het werk van zijn kollega C. Bol met betrekking tot een elektrodedoorvoer en het koelen met stromend water voor de realisering daarvan van minstens even groot belang was (hoofdstuk IX). Aangetoond wordt dat het onderzoek van Elenbaas voor de opkomst van nieuwe lampentypen van belang kon zijn, omdat de fysische grootheden die in zijn onderzoek een rol speelden vertaalbaar zijn in beoordelingscriteria van kwiklampen. Zo is de spektrale samenstelling van de uitgezonden straling te vertalen in de door het menselijk oog waargenomen kleur van het licht. De totstandkoming van superhogedrukkwiklampen in de jaren dertig steunde het meest van alle vier besproken soorten kwikdamplampen op fundamenteel georiënteerd onderzoek. In de loop van de tijd werd de ontwikkeling van kwikdamplampen dus niet alleen steeds sterker afhankelijk van empirisch, systematisch onderzoek, maar ook van fundamenteel onderzoek. De toenemende afhankelijkheid van fundamenteel gericht onderzoek kan als kenmerk van 'verwetenschappelijking van de techniek' worden beschouwd.

Ook uit andere voorbeelden dan de superhogedrukkwiklampen blijkt, dat fysisch onderzoek relevant kan zijn voor de ontwikkeling van artefakten, doordat verscheidene beoordelingscriteria kunnen worden vertaald in fysische grootheden. Fysisch onderzoek kan daarom duidelijk maken welke normen van beoordelingscriteria haalbaar zijn en welke niet. 'Normen' en 'beoordelingscriteria' vormen aldus cruciale begrippen bij het analyseren van de kennisinhoudelijke relatie tussen de ontwikkeling van artefakten en toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek. Daarnaast blijken deze begrippen echter eveneens in een analyse van de dynamiek van innovatieprocessen op allerlei niveaus (in het laboratorium, op managementniveau en op de markt) een rol te kunnen spelen. Zij vormen daarom een verbindende categorie tussen de werkzaamheden van de laboratoriummedewerkers, het bedrijfsmanagement, de produktieafdeling en de activiteiten op de markt. Met het gebruik van de begrippen 'belanghebbenden', 'beoordelingscriteria' en 'normen' kan aldus 'interne' en 'externe' geschiedschrijving met elkaar worden geïntegreerd en de traditionele tegenstelling tussen beide worden opgeheven.

SUMMARY.

This study analyses the role of application-oriented research in the development of artefacts, which are defined as products and production processes. The idea grew out of discussions among historians and philosophers about the 'scientification of technology'. It is often taken for granted that application-oriented research leads to the development of new artefacts. However, this transition is usually very complex, and we do not properly understand how it takes place. This is the principal issue dealt with in this study.

In doing so, I concentrated on the period between 1900 and 1940, when many companies began to employ scientists in specialised research laboratories. In order to study the dynamics of application-oriented research in detail, I chose to focus on the development of mercury-vapour discharge lamps. It is commonly believed that this resulted from rapid advances in gas-discharge and atomic physics during the first decades of the twentieth century. As free access to the Philips Concern Archives was given, it was possible to thoroughly investigate the application-oriented research done by physicists at the Philips Physical Laboratory ('Natuurkundig Laboratorium') during the period under review. This book pays special attention to their pursuit of physical knowledge relevant to the development of artefacts, in this case mercury-vapour discharge lamps.

Chapter III presents a conceptual framework for the description and analysis of factors influencing the development of these lamps. The needs and wishes of consumers constitute one group of factors. An entirely different group of factors is to find in the research programmes themselves. This framework has been inspired by existing models of the dynamics of innovation processes, but it has been defined in such a way as to also help to analyse the relationship between application-oriented research and the development of artefacts.

The framework has three concepts. 'Interested parties' are defined as those groups and institutions with a stake in the development of a certain artefact. 'Evaluation criteria' are the artefact's characteristics used by interested parties in judging it. In our case, these include for instance the efficiency, current, colour, and price of a lamp. Finally, 'standards' are the quantitative or qualitative values attached to evaluation criteria. For instance, the standard colours of a lamp are red, yellow, and blue, while the standard for lamp efficiency could be 20 lumen per watt.

As an introduction to the history of mercury-vapour discharge lamps, chapter IV describes some important developments in atomic and gas-discharge physics until 1940. One of the conclusions of this chapter is that until 1900, they were virtually indistinguishable. It was only after the discovery of the electron in 1897 and the



birth of quantum physics in 1913 that they became separate research fields, each with its own aims.

Chapter V tries to answer the question whether the research topics of gas-discharge physicists depended on the type of institution in which they were working. A count of articles published around the world on gas-discharge physics between 1920 and 1940 (at five-year intervals) shows that most came from university laboratories. But industrial physicists also published a substantial number. One important difference between the articles published by the various groups of physicists is that the articles by industrial physicists were more evenly distributed over the entire range of research subjects than those by university and government scientists. They were also the most prolific authors on the applications of gas-discharges, but this is not surprising.

The study describes the history of four types of mercury-vapour discharge lamps: low-pressure lamps, fluorescent lamps, high-pressure lamps, and super-high pressure lamps. The discussion of low-pressure lamps in chapter VI shows that from the beginning in 1860, most designers and researchers had had a university or engineering education. The manufacturing knowledge needed for gas-discharge lamps as well as the knowledge of the physical elements' radiation spectra came from the scientific community. In this sense, there was no great distance between scientific knowledge and artefacts. From 1900 onwards, research and development on low-pressure mercury-vapour discharge lamps took place in industrial laboratories. Until 1940, the development of new lamps of this type was mostly based on an empirical, systematic type of research, and hardly on fundamental research.

Nor did fundamental research play an important part in the early development of fluorescent lamps, which are discussed in chapter VII. The only areas in which it had some influence were in the evaluation criteria 'voltage' and 'radio interference'. Broadly speaking, fluorescent lamps were the fruit of empirical, systematic research. However, much was also achieved by trial-and-error in testing fluorescent materials. For instance, researchers at the General Electric Company in the USA allegedly tried out about 60,000 chemical compounds to obtain more information on their lifetime and fluorescence spectrum, both of which were criteria for the evaluation of fluorescent lamps.

The development of high-pressure mercury-vapour discharge lamps was characterised by manufacturing problems (chapter VIII). In 1906, it was known that such lamps could achieve better colour and efficiency, which were major evaluation criteria, than low-pressure lamps. As the high-pressure lamps generate very high temperatures, quartz glass had to be used, which has a very high softening point. However, quartz glass was hard to handle and very expensive. For instance, it was difficult to make a construction of lead-in wires into the quartz glass that could stand the high temperatures. It was not before the thirties that it was possible to use oxide-coated cathodes in high-pressure lamps with adequate lifetimes. Stable high-pressure lamps were eventually achieved by using oxide-coated cathodes and very little mercury.

During the development of high-pressure lamps, W. Elenbaas of

the Philips Physics Laboratory thoroughly investigated the relationship between several physical variables in high-pressure mercury-vapour discharges. An analysis of his work indicates that, at first, it had no great influence on the development of high-pressure lamps. His work had a greater influence on the development of super-high pressure lamps, first made in the thirties. But equally important were a new lead-in wire construction through quartz glass and a water cooling technique devised by his colleague C. Bol (see chapter IX). The study shows that the work done by Elenbaas was helpful in the development of new mercury lamps, because the physical quantities he had specified could be translated into criteria for the evaluation of mercury lamps. For example, the intensity of the frequencies of the radiation spectrum can be related to the colour of the light as perceived by the human eye. Compared with the other types of mercury vapour discharge lamps, super-high pressure lamps were most influenced by fundamental research. As time passed by, the development of mercury-vapour discharge lamps not only depended more and more on empirical, systematic research but also on fundamental research. Growing dependence on fundamental research can be considered a characteristic of 'scientification of technology'.

From this study it can be concluded that physical research can be relevant to the development of artefacts because some physical variables can be directly or indirectly translated into evaluation criteria. Research can clarify the relationship between physical variables pertaining to evaluation criteria of artefacts. By doing so this research makes it possible to optimise the variables individually or in a combination. Therefore, research can indicate which specific standards can feasibly be attached to each evaluation criterium. So 'standards' and 'evaluation criteria' are crucial concepts in understanding the relationship between application-oriented research and the development of artefacts. Moreover, these concepts can play a significant role in analysing the dynamics of innovation processes at many different levels: in laboratories, at the management level, and in the market. Therefore they constitute a useful tool for studying the work of researchers, designers and management, as well as market processes. So by using the concepts 'interested parties', 'evaluation criteria' and 'standards', the traditional gap between internal and external history of technology can be bridged.

BIJLAGE I. TOELICHTING OP ENKELE OUDE GROOTHEDEN.lichtstroom/lichtsterkte:

voor de hoeveelheid licht die een lichtbron geeft (lichtsterkte) gebruikte men de eenheid 'kaars', die ongeveer overeenkomt met de huidige eenheid van lichtsterkte 'candela' (cd). De lichtstroom  $\Phi$  in lumen volgt uit de lichtsterkte I via:  $\Phi = \int I \cdot d\omega$ , waarbij  $\omega$  de ruimtehoek is. Voor een puntbron, die symmetrisch naar alle kanten licht uitstraalt volgt:  $\Phi = 4\pi \cdot I$ ; voor een lange rechte draad is:  $\Phi = \pi^2 \cdot I$  en voor een plat vlak:  $\Phi = \pi \cdot I$ .

specifiek vermogen:

een niet meer gebruikte grootheid die aangaf hoeveel vermogen een lamp nodig had om 1 kaars lichtstroom op te brengen; de eenheid was dus W/kaars.

rendement:

deze grootheid kwam vanaf ongeveer 1920 in zwang in plaats van het begrip 'specifiek vermogen' en gaf aan hoeveel licht een lamp gaf per eenheid van vermogen; de eenheid was lumen per Watt (lm/W). Tegenwoordig gebruikt men de grootheid 'specifieke lichtstroom' in plaats van 'rendement', eveneens uitgedrukt in lm/W.

oppervlaktehelderheid:

voor de oppervlaktehelderheid gebruikt men tegenwoordig de grootheid 'luminantie'; de eenheid was kaars/cm<sup>2</sup> en is nu cd/m<sup>2</sup> (1 kaars is ongeveer gelijk aan 1 cd).

druk:

in deze studie wordt de druk uitgedrukt in atm of mm kwikdruk; tegenwoordig gebruikt men de eenheid 'Pascal' (Pa):  
1 mm kwikdruk = 133,322 Pa en 1 atm = 101.325 Pa.

**BIJLAGE II. AANTALLEN GASONTLADINGS-PUBLIKATIES IN  
WETENSCHAPPELIJKE LITERatuur IN DE PERIODE 1920-1940.**

instituut soort	1920	1925	1930	1935	1940	totaal <sup>1)</sup> 1920-1940
universiteit	51(1)	121(1)	64(1)	117(1)	82(1)	1910(1)
bedrijfsleven	12(2)	34(2)	14(2)	32(2)	23(2)	500(2)
techn.hogesch.	2(4)	19(4)	10(3)	31(3)	19(3)	365(3)
overheid	9(3)	22(3)	9(4)	13(4)	13(4)	285(4)
onbekend	45	34	9	28	23	560
<b>totaal</b>	<b>119</b>	<b>230</b>	<b>106</b>	<b>221</b>	<b>160</b>	<b>3620</b>

1) berekend via interpolatie van aantallen uit vorige kolommen.

Tabel B1. Aantal gasontladingspublicaties in de wetenschappelijke literatuur per instelling, 1920-1940.

rubriek	1920	1925	1930	1935	1940	totaal <sup>1)</sup> 1920-1940
rubriek d	10(2)	35(2)	12(4)	43(1)	29(1)	570(1)
rubriek b	10(2)	44(1)	21(1)	28(2)	15(3)	540(2)
rubriek c	6(5)	24(3)	15(2)	15(4)	11(4)	320(3)
rubriek a	14(1)	13(4)	13(3)	27(3)	3(6)	315(4)
rubriek f	8(4)	8(5)	3(6)	5(6)	23(2)	175(5)
rubriek e	3(6)	4(6)	9(5)	12(5)	7(5)	155(6)

1) berekend via interpolatie van aantallen uit vorige kolommen.

- a = ontladingspartners
- b = elementaire wisselwerkingen tussen ontladingspartners
- c = wisselwerkingen tussen grote aantallen ontladingspartners
- d = makroskopische gasontladingsverschijnselen
- e = verschijnselen bij de elektroden
- f = toepassingen van gasontladingen

Tabel B2. Aantal malen dat een rubriek aan de orde werd gesteld door universitaire onderzoekers, 1920-1940.

rubriek <sup>1)</sup>	1920	1925	1930	1935	1940	totaal <sup>2)</sup> 1920-1940
rubriek d	1(5)	10(2)	5(1)	5(3)	7(1)	125(1)
rubriek f	1(5)	2(6)	1(5)	16(1)	7(1)	120(2)
rubriek b	3(1)	11(1)	3(3)	5(3)	2(4)	110(3)
rubriek c	2(3)	6(3)	3(3)	5(3)	5(3)	90(4)
rubriek e	3(1)	3(5)	5(1)	7(2)	2(4)	90(5)
rubriek a	2(3)	5(4)	0(6)	1(6)	1(6)	40(6)

1) rubrieken: zie toelichting bij tabel B2.

2) berekend via interpolatie van aantallen uit vorige kolommen.

Tabel B3. Aantal malen dat een rubriek aan de orde werd gesteld door industriële onderzoekers, 1920-1940.

rubriek <sup>1)</sup>	1920	1925	1930	1935	1940	totaal <sup>2)</sup> 1920-1940
rubriek d	2	7(1)	4(1)	12(1)	6(1)	140(1)
rubriek e	0	3(4)	4(1)	6(2)	6(1)	85(2)
rubriek b	0	4(2)	1(3)	5(3)	1(5)	55(3)
rubriek a	0	4(2)	0	4(4)	1(5)	45(4)
rubriek f	0	0	1(3)	3(5)	5(3)	35(4)
rubriek c	0	2(5)	0	2(6)	2(4)	25(6)

1) rubrieken: zie toelichting bij tabel B2.

2) berekend via interpolatie van aantallen uit vorige kolommen.

Tabel B4. Aantal malen dat een rubriek aan de orde werd gesteld door onderzoekers van technische hogescholen, 1920-1940.

rubriek <sup>1)</sup>	1920	1925	1930	1935	1940	totaal <sup>2)</sup> 1920-1940
rubriek d	1(3)	8(1)	4(1)	2(3)	7(1)	95(1)
rubriek a	4(1)	6(2)	1(3)	1(5)	1(5)	55(2)
rubriek f	0	2(4)	3(2)	5(1)	2(3)	55(3)
rubriek d	2(2)	4(3)	0	3(2)	3(2)	50(3)
rubriek e	1(3)	2(4)	0	2(3)	2(3)	30(5)
rubriek c	1(3)	2(4)	1(3)	0	1(5)	20(6)

1) rubrieken: zie toelichting bij tabel B2.

2) berekend via interpolatie van aantallen uit vorige kolommen.

Tabel B5. Aantal malen dat een rubriek aan de orde werd gesteld door onderzoekers van overheidsinstituten, 1920-1940.

rubriek <sup>1)</sup>	1920	1925	1930	1935	1940	totaal <sup>2)</sup> 1920-1940
rubriek d	29(1)	72(1)	22(2)	71(1)	56(1)	1080(1)
rubriek b	22(3)	72(1)	32(1)	42(2)	28(3)	880(2)
rubriek a	27(2)	33(4)	15(5)	38(3)	8(6)	535(3)
rubriek c	16(5)	36(3)	20(3)	27(6)	21(4)	525(4)
rubriek f	17(4)	16(5)	10(6)	33(4)	42(2)	470(5)
rubriek e	9(6)	15(6)	19(4)	31(5)	19(5)	410(6)

1) rubrieken: zie toelichting bij tabel B2.

2) berekend via interpolatie van aantallen uit vorige kolommen.

Tabel B6. Totaal aantal malen dat een rubriek aan de orde werd gesteld (inclusief "onbekende" instituutsoorten), 1920-1940.

land	bedrijf	univer- siteit	techn. hogesch.	over- heid	onbe- kend	totaal <sup>1)</sup> 1920-1940
Ver. Staten	53(1)	157(1)	14(2)	28(1)	3	1105(1)
Duitsland	24(3)	95(2)	57(1)	10(3)	5	820(2)
Groot Brit.	3(4)	83(3)	0	0	2	385(3)
Nederland	27(2)	10(6)	3(3)	0	0	190(4)
Italië	0	15(4)	1(6)	2(5)	2	100(5)
Frankrijk	0	9(8)	2(5)	6(4)	0	85(6)
Zwitserland	2(5)	15(4)	1(6)	0	1	85(7)
Sovjet Unie	0	6(10)	0	11(2)	5	80(8)
Oostenrijk	1(6)	9(8)	3(3)	1(7)	4	70(9)
Japan	1(6)	10(6)	0	2(5)	1	60(10)
overige	1	26	0	6	3	165
onbekend	3	0	0	0	113	480
totaal	115	435	81	66	139	3625

1) zie tabel 5.2.

Tabel B7. Aantal gasontladingspublicaties per land naar kontekst (som van 1920, 1925, 1930, 1935 en 1940).

BIJLAGE III. DE ARBEIDSAKTOR.

De arbeidsfaktor  $a$  van een elektrisch instrument en dus ook van een gasontladingslamp wordt als volgt gedefinieerd:

$$a = \frac{W_1}{I_1 \cdot V_1}$$

met:  $W_1$  = vermogen van de (kale) lamp.

$I_1$  = effectieve waarde van de stroom  $i_1(t)$  door de lamp.

$V_1$  = effectieve waarde van de spanning  $v_1(t)$  over de lamp.

Voor een periodieke verandering met periodetijd  $T$  volgt hieruit:

$$a = \frac{(1/T) \cdot \int_0^T v_1(t) \cdot i_1(t) \cdot dt}{\left\{ (1/T) \cdot \int_0^T v_1^2(t) \cdot dt \cdot (1/T) \cdot \int_0^T i_1^2(t) \cdot dt \right\}^{1/2}}$$

Nu zijn er verschillende mogelijkheden:

- $v_1(t)$  en  $i_1(t)$  zijn sinusvormig en in fase; dan is  $a = 1$ .
- $v_1(t)$  en  $i_1(t)$  zijn wel in fase, maar niet zuiver sinusvormig; dan is  $a < 1$ .
- $v_1(t)$  en  $i_1(t)$  zijn sinusvormig, maar de stroom ijlt na op de spanning met een fasehoek  $\varphi$ ; dan is:

$$a = \cos \varphi$$

Deze faseverschuiving betekent dat het vermogen  $W_1$  inefficiënt wordt afgenomen. Immers in dit geval geldt:

$$W_1 = V_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi$$

Om bij gelijke  $V_1$  (netspanning) een evengroot vermogen af te nemen, moet de stroom een effectieve waarde bezitten, die  $1/\cos \varphi$  maal zo groot is als in een situatie zonder faseverschuiving. Dit vormt een extra belasting voor het elektriciteitsnet.

Als  $a < 1$  is en er geen werkelijke faseverschuiving bestaat, spreekt men wel van een "schijnbare faseverschuiving".

BIJLAGE IV. AFSCHRIFT BRIEF A. F. PHILIPS AAN G. SWOPE.\*

3rd September 1938.

Gerard Swope Esq., President  
General Electric Company,  
570, Lexington Ave,  
New York.

Dear Gerard,

During my last visit in Cleveland I came under the impression of the gas discharge tubes you are going to make on a rather big scale. My opinion was that you made in Nela Park very big progress in gas discharge tubes, but we are finding that it might be that when we get more experience the life of these tubes might be nearly unlimited. We have already a lot of those tubes which are burning 3000 to 4000 hours with a drop of economy of about 30 %. So it might be that we all are going to replace a part of ordinary 1000 hours lamps in tubes which will burn at this moment 3 to 4000 hours with a drop of 30 % in economy, but which might grow to 6 or 8000 hours; now of course we could try to make the tubes of a quality which is not so extremely good but we all know that when there is coming competition (patents not being very strong) and our competitors bring a lamp on the market with an extremely high life, we will have to follow them.

It might turn out that this new invention is, financially, not an attractive prospect for both our companies.

I only write you this, Gerard, that later when we meet again, you could not blame me that I had not given my opinion after my return in Holland.

With very best regards,  
sincerely yours,

(s) A.F. Philips.

---

\* Bron: PCA, Nat. Lab. 128, Licht en Verlichting (Algemeen), Correspondentie, map 1.



VOETNOTEN.

(N.B. 'PCA' staat voor: Philips' Concern Archief)

Voetnoten hoofdstuk I.

1. Statistiek van Nederland; statistiek van het hooger onderwijs 1930-1931, (1932), staat 2.
2. Ibidem, 20.
3. Ibidem, staat 2.
4. Pieterse (1981), 178.
5. Ibidem, 178.
6. Bijvoorbeeld: Noble (1979); Rip (1980), 113.
7. Bijvoorbeeld: Pieterse (1981), 133 e.v.
8. Daumas (1969); Mayr (1976); Pinch en Bijker (1984); Homburg (1986); de laatste geeft een verhelderend overzicht van het verwarrende gebruik van het begrip 'Tweede Industriële Revolutie'.
9. Birr (1957); Fagen (1975); Hoddeson (1981); Reich (1977) en (1985); Wise (1980).
10. Bijvoorbeeld: De ontwikkeling van de kleurstoffenindustrie (1984).
11. Layton (1978) en (1979); Vincenti (1979), (1982), (1984) en (1986); Russo (1981).
12. Noble (1979); Mowery (1981).
13. Al (1952), 31-32.
14. Ibidem, 34, 47.
15. Dorgelo (1938), 100; woorden van gelijke strekking treft men bijvoorbeeld aan bij Sweers (1941).
16. Zie bijvoorbeeld: Seeliger (1930).

Voetnoten hoofdstuk II.

1. Zie voor meer informatie: Hutter (1986), Laboratoria in Nederland vóór 1940, en Hutter (1986), "Nederlandse laboratoria 1860-1940; een kwantitatief overzicht".
2. Hutter (1986), Laboratoria in Nederland vóór 1940.
3. Zie: De Clercq (1918), 1530, voetnoot 4.
4. De Clercq (1918).
5. Ibidem.
6. Hutter (1986), "Nederlandse laboratoria 1860-1940; een kwantitatief overzicht", tabel 3.
7. Hutter (1986), Laboratoria in Nederland vóór 1940.
8. Sweers (1941).
9. Bloemen (1977) en (1981); De Vries (1979).
10. De begrippen 'fysici' en 'chemici' gebruik ik exclusief voor aan universiteiten afgestudeerde wetenschappers; zij omvatten

- dus niet de natuurkundig, resp. chemisch ingenieurs.
11. Voor het samenstellen van figuren 2.2 en 2.3 zijn de volgende bronnen gebruikt:
    - a. De toekomst der academisch gegradueerden (1936), pag. 173: voor chemici en scheikundig ingenieurs voor de jaren 1898 t/m 1934; pag. 154-155 voor fysici voor de jaren 1913 t/m 1934; pag. 201 voor biologen in 1934; pag. 222 voor farmaceuten in 1934; pag. 497 voor elektrotechnisch ingenieurs voor de jaren 1898 t/m 1934 en pag. 464-465 voor werktuigbouwkundig ingenieurs voor de jaren 1898 t/m 1934.
    - b. Adresboek 1940 van de ingenieurs en technologen gediplomeerd aan de Polytechnische School 1865-1905, Technische Hogeschool 1906-1940: cijfers voor natuurkundig ingenieurs tot en met 1940;
    - c. Ongepubliceerde overzichten van N. Disco van het beroep van elektrotechnisch en werktuigbouwkundig ingenieurs in 1881, 1900, 1912, 1926 en 1939, TH Delft;
    - d. KIVI-commissie voor het technisch onderwijs in Nederland, rapport 1, (1948): cijfers voor natuurkundig ingenieurs in 1946;
    - e. Chemisch jaarboekje (1941): deze bron geeft cijfers voor een selectie van chemici en scheikundig ingenieurs (namelijk de leden van de Chemische Vereniging) in 1941; deze cijfers zijn gekorrigeerd m.b.v. een schatting van het totaal aantal chemici en scheikundig ingenieurs in 1941, zoals volgt uit: De toekomst der academisch gegradueerden (1936), pag. 172 en 189; bij de correctie is volledige representativiteit van het Chemisch jaarboekje verondersteld;
    - f. 12e volkstelling, annex woningtelling, 31 mei 1947; serie A. rijks- en provinciale cijfers, deel 5. statistiek der academisch gevormden (1950): alle cijfers m.b.t. 1947 zijn gebaseerd op tabel 14 en vormen het totaal van de categorieën 01 t/m 17, met uitzondering van 05-24 en 16.
    - g. Blanken (1977).
  12. Cijfers voor het aantal fysici in de industrie rond 1940 zijn onbekend. Wel zijn enige cijfers voor Philips uit 1938 bekend: Blanken (1977) geeft een aantal van 54 fysici voor 1938 in het Nat. Lab. van Philips. Dorgelo (1938) spreekt van 46 fysici in 1938 in het Nat. Lab. en van 59 fysici bij Philips als geheel op dat moment.
  13. Zeventig jaren statistiek in tijdreeksen, 1899-1969, (1970), 4.
  14. De gebruikte bronnen zijn hetzelfde als in voetnoot 11. N.B. voor het berekenen van de totale werkzame aantallen per beroepsgroep zijn werklozen en gepensioneerden van de totale aantallen afgetrokken.
  15. De in voetnoot 12 genoemde cijfers voor fysici bij Philips in 1938 doen vermoeden, dat het percentage fysici in de industrie in 1940 hoger is geweest dan in 1936 en niet lager zoals in figuur 2.2 is weergegeven.
  16. Zie voor de gebruikte bronnen voetnoot 11 a, b, c, e en g. Meer gedetailleerde informatie is te vinden in: Hutter (1986), "Nederlandse laboratoria 1860-1940; een kwantitatief overzicht".
  17. De Clercq (1918).

18. Ibidem.
19. Zie bijvoorbeeld: Prins (1918); Ginneken (1923); Kruyt (1923); Straub (1932) en Dorgelo (1938).
20. De Clercq (1918).
21. Zie bijvoorbeeld: Kruyt (1918) en (1923); Electrotechniek, 5 (1927), 378; Zwikker (1929) en Gelissen (1933).
22. Gelissen (1933).
23. Zie voor een uitgebreide beschrijving: Heerding (1986), 376-391.
24. Holst (1938).
25. Al (1952), 23.
26. Ibidem, 24.
27. Staatscourant, bijvoegsel, 20-5-1908, nr. 118; De Ingenieur, 23 (1908), 407-411; Economisch-Statistische Berichten, 3 (1918), 70-72.
28. De Vries (1977), 42 e.v.
29. Cohen (1917).
30. Van Kasteel (1957).
31. Notulen der Bestuursvergaderingen van de 'Wetenschappelijke Commissie van Advies en Onderzoek in het Belang van Volkswelvaart en Weerbaarheid', 1<sup>e</sup> verg. d.d. 26-1-1918.
32. Economisch Statistische Berichten, 3 (1918), 70-72.
33. Notulen der Bestuursvergaderingen van de 'Wetenschappelijke Commissie van Advies en Onderzoek in het Belang van Volkswelvaart en Weerbaarheid', 1<sup>e</sup> verg. d.d. 26-1-1918.
34. Ibidem, 10<sup>e</sup> verg. d.d. 29-4-1919.
35. Ibidem, 3<sup>e</sup> verg. d.d. 26-4-1918, 5<sup>e</sup> verg. d.d. 29-6-1918, 10<sup>e</sup> verg. d.d. 29-4-1919.
36. Chemisch Weekblad, 15 (1918), 564-565; Al (1952), 26.
37. Van Nieuwenburg (1920).
38. Notulen der Bestuursvergaderingen van de 'Wetenschappelijke Commissie van Advies en Onderzoek in het Belang van Volkswelvaart en Weerbaarheid', 13<sup>e</sup> verg. d.d. 18-12-1920.
39. Zie bijvoorbeeld het verslag van een lezing van J. Straub voor de Chemische Vereeniging d.d. 29-12-1925 in: Chemisch Weekblad, 23 (1926), 11-19.
40. Chemisch Jaarboekje, Deel I (1922), 98.
41. Van Kasteel (1957), 10.
42. De Ingenieur, 40 (1925), 571-572; Chemisch Weekblad, 23 (1926), 11-19; een artikel van Dresden (1927), dat zowel in De Gids, febr. (1927), als in Sterkstroom, 5 (1927), 139-140 werd gepubliceerd.
43. Het citaat is o.a. terug te vinden bij: Dresden (1927).
44. Chemisch Weekblad, 23 (1926), 150-151 en 184.
45. Van Kasteel (1957), 11; Al (1952), 46.
46. Al (1952), 81-83.
47. Cool (1939).
48. Het Vaderland, Avondblad D, 9-5-1939 en Het Vaderland, Avondblad A, 11-5-1939.
49. Cool (1939).
50. Brief van G. J. Teppema aan de Minister van Economische Zaken, d.d. 9-5-1939; Algemeen Rijksarchief. (N.B. in werkelijkheid werd de wet door 7 ministers ondertekend en niet door 8).
51. Ibidem.

52. Ibidem.
53. Ibidem.
54. De Ingenieur, 55 (1940), A438-A439.
55. Vosmaer (1913).
56. Ibidem.
57. Geciteerd in De Clercq (1916).
58. Ibidem.
59. Kruyt (1918).
60. Heerding (1986), 385, voetnoot 3.
61. Ornstein (1926).
62. Ibidem.
63. Ornstein (1927).
64. Ibidem.
65. Moorman (1927).
66. Moorman (1927). Moorman schreef deze woorden in nov. 1927, waarschijnlijk niet op de hoogte van het feit dat De Mooij zojuist (juli 1927) opdracht had gekregen het "vergeelende papier" om te zetten in een wetsvoorstel.
67. Ibidem.
68. Sterkstroom, 5 (1927), 137-138.
69. Moorman (1927).
70. Fonds voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek ter Bevordering van Volkswelvaart.
71. Ibidem.
72. Electrotechniek, 5 (1927), 359.
73. Electrotechniek, 8 (1930), 359-360.
74. Ibidem.
75. Ibidem.
76. Fonds voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek ter Bevordering van Volkswelvaart.
77. Ibidem: memorandum bij de agenda van de regentenvergadering d.d. 30-12-1937.
78. Ibidem: vergelijkt bijvoorbeeld een brief van Lohr, regent van het Fonds, gericht aan de voorzitter d.d. dec. 1937.
79. Ibidem: memorandum bij de agenda van de regentenvergadering d.d. 30-12-1937.
80. Ibidem: brief van H. Lohr aan H. A. van Karnebeek, dec. 1937; brief van J. C. van Staveren aan L. S. Ornstein, 24-12-1937; brief van L. S. Ornstein aan J. C. van Staveren, 16-3-1938; brief van L. S. Ornstein aan H. Gelissen, 16-3-1938.
81. Ibidem: brief van W. Th. H. Stibbe aan L. S. Ornstein, 11-12-1939.

Voetnoten hoofdstuk III.

1. Zie voor een inleiding in de economische innovatiestudies: Rip en Van den Belt (1984), 15-18; overigens zijn ook in de techniekgeschiedenis belangrijke ontwikkelingen gaande geweest m.b.t. de vraag hoe innovatieprocessen verlopen en of een internalistische, externalistische dan wel een daaruit samengestelde beschrijvingswijze de meest adequate is. Momenteel hebben de laatste de overhand. De techniekhistorici hebben echter

- geen analysekaders verschaft, die voor mijn doeleinden bruikbaar zijn, zodat zij hier verder onbesproken blijven. Zie voor een historisch overzicht van de ontwikkeling van de techniekgeschiedenis: Van Houten (1986).
2. Rosenberg (1982).
  3. Layton (1977).
  4. Nelson en Winter (1977) en (1982).
  5. Dosi (1982) en (1984).
  6. Dosi (1982), 148.
  7. Ibidem, 152.
  8. Ibidem.
  9. Ibidem, 160.
  10. Rip en Van den Belt (1984), 22 e.v.
  11. Ibidem, 37.
  12. Ibidem, 44.
  13. Weeder en Kester (1982).
  14. Zie ook: Lintsen en Verbong (1983).
  15. Zie ter inleiding: Bijker (1987); Elzen (1986); Pinch en Bijker (1984).
  16. Bijker (1987), 17.
  17. Vergragt (1985).
  18. Skolimowski (1966).
  19. Ibidem.
  20. Clark (1985).
  21. Ibidem, 240.

#### Voetnoten hoofdstuk IV.

1. Waardevol materiaal over de periode na 1900 is te vinden in Thomson en Thomson (1928) en (1933), alsmede in Kapzow (1955). Deze boeken zijn niet primair historisch bedoeld, maar zij zijn leerboeken waarin belangrijke historische ontwikkelingen zijn vermeld.
2. Von Engel (1955), 1.
3. Kapzow (1955), 11.
4. Ibidem.
5. Ibidem.
6. Ibidem.
7. Von Engel (1951).
8. Het is niet precies bekend, wanneer Davy voor het eerst een boogontlading waarnam. Zijn eigen notities wijzen het meest in de richting van 1808. Zie: Ayrton (1901), 24-26.
9. Ayrton (1901), 25.
10. Ibidem, 28.
11. Kapzow (1955), 11, 12 en 411.
12. Murdoch (1985), 4.
13. Zie voor uitgebreide behandeling van de verschillende theorieën tot 1800: Gardner (1971), 1-219<sup>d</sup>.
14. Gardner (1971), 219.
15. Ibidem, 282.
16. Over de invloed van de vakuumpomp-technologie, zie: Brown (1978).

17. Brown (1978).
18. Zie bijv.: Knight (1986), 99. Voor uitgebreide behandeling van Faradays theorieën, zie: Gardner (1971), 290-325.
19. Gardner (1971), 319.
20. Ibidem, 396-436.
21. Voor een grondige analyse van de ontdekking van kathodestralen, zie: Gardner (1971), 364-395.
22. Cajori (1962), 357.
23. Gardner (1971), 437-467.
24. Ibidem, 454-456.
25. Zie bijv.: Knight (1986), 107; Thomson en Thomson (1928), 229 e.v.
26. Knight (1986), 107.
27. Brown (1978).
28. Knight (1986), 108.
29. James (1983), 140.
30. James (1983).
31. Ibidem, 144.
32. Ibidem, 145.
33. Ibidem, 146.
34. Ibidem, 152 e.v.
35. Knight (1986), 108.
36. Ibidem, 108-109.
37. Zie verder: Jammer (1966), 62-69.
38. Zie voor een overzicht van de ontwikkeling van atoommodellen en de rol van spektroskopie daarbij: Whittaker (1973), 106-143.
39. Ibidem, 106.
40. Ibidem, 107.
41. Jammer (1966), 86 e.v.
42. Alonso en Finn (1973), 40-41, plaatsen de proef van Franck en Hertz uit 1913 bijvoorbeeld in het kader van een toetsing van de theorie van Bohr.
43. Franck en Hertz, Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft 16 (1914), 457-467 en 16 (1914), 512-517.
44. Thomson en Thomson (1933), 65-68.
45. Nobel lectures, including presentation speeches and laureates' biographies, Physics, 1922-1941, (1965), 96.
46. Whittaker (1973), 134.
47. Bijv. Whittaker (1973), 142.
48. Zie bijv.: Brown (1978).
49. Brown (1978).
50. Zie bijv. de indeling van Science Abstracts, Section A - Physics, tot 1940.
51. Zie de indeling van de Duitse Physikalische Berichte, die in 1931 overstapten van de naam "Elektrizitätsleitung in Gasen" naar "Gasentladung".
52. Brown (1978).
53. Ibidem.
54. Deze indeling dank ik aan prof. dr. A. A. Kruithof, die van 1934 tot 1962 bij Philips heeft gewerkt en nadien tot 1978 hoogleraar atoomfysika was aan de Technische Hogeschool Eindhoven.
55. Register publicaties 1914-1935, 104-111; Register publicaties

- 1935-1951, 131-135.
56. Zie: Kapzow (1955), Thomson en Thomson (1928) en (1933), alsmede Uyterhoeven (1938).
  57. Thomson en Thomson (1933), 75.
  58. Naast spontane terugval bestaat ook door botsingen geïnduceerde terugval.
  59. Franck en Reiche (1920).
  60. Meissner (1925).
  61. Zie: Kapzow (1955), 82-87; Hermann en Wagener (1950).
  62. Thomson en Thomson (1933), 44-47.
  63. Zie voor het vervolg op hun proeven: Thomson en Thomson (1933), 65-73; Kapzow (1955), 147-155.
  64. Zie voor kort historisch overzicht: Kapzow (1955), 163-167.
  65. Von Engel (1955), 3.
  66. Volgens Kapzow (1955), 170, waren het F. L. Mohler, C. Boerner en W. W. Coblentz die in 1929 op het bestaan van deze interne vorm van fotoïonisatie wezen. Zie voor fotoïonisatie-onderzoek in de periode tot 1940: Kapzow (1955), 170-177.
  67. James (1983), 140.
  68. Zie de literatuurverwijzingen op pag. 131-134 van Compton en Langmuir (1930) en op pag. 277 van Kapzow (1955).
  69. Compton en Langmuir (1930), 191-204; Thomson en Thomson (1933), 337-338; zie voor meer onderzoek in de jaren dertig: Kapzow (1955), 195-200.
  70. Compton en Langmuir (1930), 204 e.v.
  71. Thomson en Thomson (1928), 85.
  72. Kapzow (1955), 202-204; 210-217; Thomson en Thomson (1928), 85 e.v.
  73. Kapzow (1955), 210-217.
  74. Brown (1978).
  75. Zie: Thomson en Thomson (1933), 47 e.v.; Kapzow (1955), 163-167, 220-222.
  76. Thomson en Thomson (1933), 91.
  77. Ibidem, 105-108.
  78. Kapzow (1955), 155-156.
  79. Brown (1978).
  80. Seeliger (1930), 438.
  81. Zie voor korte inleiding: Kapzow (1955), 310-315.
  82. Kapzow (1955), 339-342; Thomson en Thomson (1933), 486-491.
  83. Kapzow (1955), 310-311, 316-317, 345-346.
  84. Bright (1972), 379-380.
  85. Ibidem, 369-374.
  86. Brown (1978).
  87. Zie: Kapzow (1955), 311.
  88. Holst en Oosterhuis (1924).
  89. Thomson en Thomson (1933), 594.
  90. Druyvesteyn (1930), "Der Niedervoltbogen".
  91. Zie voor kort overzicht: Kapzow (1955), 313-314 en 429-438; voor originele theoretische beschouwingen: Heller (1935).
  92. In de praktijk blijkt dit niet altijd juist te zijn; bij toenemende druk neemt vooral de zelfabsorptie van bepaalde frequenties toe, zodat de totale energieverdeling over het spectrum aanzienlijk verandert; Heller (1935), 392.

93. Heller (1935), 392; Elenbaas (1935), "Ähnlichkeitsgesetze der Hochdruckentladung".
94. Kapzow (1955), 381.
95. Thomson en Thomson (1933), 401.
96. Ibidem, 324.

Voetnoten hoofdstuk V.

1. Voor het totstandkomen van de figuren 5.1 en 5.2, alsmede die in bijlage II dank ik Paul de Bot, Phil Bruls, Wim van Helden en Niek Lambregts, die daarvoor veel werk hebben verricht.
2. Le Pair en Volger (1982), 451-490.
3. Als "wetenschappelijke literatuur" zijn al die tijdschriften aangemerkt, die werden samengevat in Science Abstracts of Physikalische Berichte. Gasontladingsartikelen zijn als volgt geselecteerd:
  - uit Science Abstracts, 23 (1920), 28 (1925) en 33 (1930) de betreffende artikelen onder de categorie "Electricity and Magnetism" subcategorie "discharges in gases and in vacuo";
  - uit Science Abstracts, 38 (1935) en 43 (1940) de betreffende artikelen onder de categorie "Electricity and Magnetism" subcategorie "Conduction and discharge in gases";
  - uit Physikalische Berichte, 1 (1920), 6 (1925), en 11 (1930) de betreffende artikelen onder categorie 5: "Elektrizität und Magnetismus" subcategorieën 8: "Elektrizitätsleitung in Gasen" en 9: "Elektrische Korpuskularstrahlung";
  - uit Physikalische Berichte, 16 (1935) en 21 (1940) de betreffende artikelen onder categorie 5: "Elektrizität und Magnetismus" subcategorieën 6: "Elektrophysik der Gase" en 7: "Elektronen aus Grenzflächen".

Niet alle publikaties uit deze categorieën zijn in de telling verwerkt: publikaties die alleen spektraalmetingen betreffen zijn weggelaten, omdat zij meer betrekking hebben op atoom- dan gasontladingsfysika.

4. De Groot (1951), 102.
5. N.B. De totale aantallen publikaties zoals volgen uit figuur 5.1 en tabel B2 (bijlage II) zijn niet gelijk aan de totale aantallen van figuur 5.2, omdat in één artikel meerdere rubrieken aan de orde kunnen komen. Zie voor precieze cijfers bij figuur 5.2 tabellen B2 t/m B5 in bijlage II.
6. Zie tabellen B2 t/m B5 in bijlage II.
7. De totale aantallen zijn berekend exclusief de artikelen uit een onbekende kontekst. Zouden die worden meegeteld dan ontstaat de volgende volgorde: d (1080), b (880), a (535), c (525), f (470) en e (410) (zie tabel B6 in bijlage II). Alleen rubriek a en c wisselen dan van plaats, maar het beeld verandert nauwelijks, waaruit tevens kan worden afgeleid, dat de "onbekenden" waarschijnlijk naar rato uit de verschillende konteksten komen en dus het totaalbeeld überhaupt nauwelijks beïnvloeden.
8. Zie: Holst (1938).
9. Met andere bronnen kunnen we de schattingen voor de TH Delft en



- Philips kontroleren. Volgens Mededelingen uit het Laboratorium voor Technische Physica van de TH Delft werden door de medewerkers van de TH Delft tot 1940 11 publikaties over gasontladingsverschijnselen geschreven. Volgens Register publicaties 1914-1935, separaat nrs. 1-1000 en Register publicaties 1935-1951 separaat nos. 1001-2000 kwamen er tot 1940 209 publikaties over gasontladingen uit het Natuurkundig Laboratorium van Philips (spektraalmetingen en onderzoek aan metastabiele atomen niet meegerekend). Het verschil met de 130 in de tekst genoemde publikaties is gedeeltelijk te verklaren doordat in de tekst is gewerkt met steekproeven en gedeeltelijk doordat niet elke publikatie in de in voetnoot 3 genoemde bronnen is verwerkt.
10. Zie tabel B7 (bijlage II).
  11. L.S. Ornstein, a survey of his work from 1908 to 1933 (1933), 2-3.
  12. Van Dijck-Huffnagel (1926), 52.
  13. L.S. Ornstein, a survey of his work from 1908 to 1933 (1933), 4.
  14. Ibidem, 4.
  15. Zernike (1941).
  16. Ibidem.
  17. Smit (z.j.).
  18. L.S. Ornstein, a survey of his work from 1908 to 1933 (1933), 113.
  19. Ibidem, 45-53; Smit (z.j.).
  20. L.S. Ornstein, a survey of his work from 1908 to 1933 (1933), 105-106.
  21. Ibidem, 52-53.
  22. Ibidem, 46; Elenbaas (1934), "Die Temperatur des Quecksilberbogens", 211.
  23. L.S. Ornstein, a survey of his work from 1908 to 1933 (1933), 50.
  24. Ibidem, 105-106.
  25. Zie: Smit (1950), 282-284.
  26. Smit (z.j.); L.S. Ornstein, a survey of his work from 1908 to 1933 (1933), 54-57; Elenbaas (1930).
  27. Smit (1936).
  28. Le Pair en Volger (1982), 468.
  29. Zie: Oosterhoff (1984).
  30. In oktober 1913 verscheen in de grote dagbladen de volgende advertentie van Philips: "Gevraagd een bekwaam, jong doctor i. d. natuurkunde, vooral ook goed experimentator".
  31. Blanken (1977).
  32. Ibidem.
  33. Holst (1947).
  34. Interview met W. Elenbaas d.d. 26-9-1984, met M. J. Druyvesteyn d.d. 11-9-1984 en A. A. Kruithof d.d. 31-8-1984.
  35. Holst (1938), 199.
  36. Holst (1938).
  37. Zie voor de eerste activiteiten van Holst in 1914: Heerding (1986), Deel II, 386-391.
  38. Hamburger (1917), pag. XIII-XVI.
  39. Aantekeningenboekje van waarschijnlijk Oosterhuis, 15-1-1917 t/m 24-7-1917; PCA.

40. Ibidem. Bloch (1921), 44-45, geeft als maximaal rendement voor groen licht (0,55  $\mu\text{m}$ ) 54 kaars/W (nauwkeurigheid 5 %) en voor een metalen lichaam van 5900 K  $\pm$  9 kaars/W. De kaars is een oude niet meer gangbare eenheid voor de lichtsterkte. 1 kaars komt ongeveer overeen met 1 candela, de moderne eenheid van lichtsterkte. Omrekening van de lichtsterkte I naar de lichtstroom  $\Phi$  in lumen volgt uit:  $\Phi = \int I \cdot d\omega$ , waarbij  $\omega$  de ruimtehoek is. Deze omrekening is niet altijd eenvoudig. Voor een puntbron, die symmetrisch naar alle kanten uitstraalt volgt:  $\Phi = 4\pi \cdot I$ ; voor een lange rechte draad is:  $\Phi = \pi^2 \cdot I$  en voor een plat vlak:  $\Phi = \pi \cdot I$ . Rond 1920 kwam het gebruik van de grootheid 'lumen' steeds meer in zwang; Bloch (1921), 13.
41. Het was algemeen gebruik het rendement aan te geven via de reciproke waarde, namelijk in W/kaars; 0,15 W/kaars correspondeert bij een lange rechte draad met een rendement van 66 lm/W (zie vorige voetnoot).
42. 0,16 W/kaars correspondeert bij een lange rechte draad met een rendement van 62 lm/W (zie beide vorige voetnoten).
43. Aantekeningenboekje van waarschijnlijk Oosterhuis, 15-1-1917 t/m 24-7-1917; PCA.
44. Aantekeningenboekje van Holst over "Doorslagspanningen Argon; begin van het onderzoek betr. lichtemissie van gassen", PCA; dit boekje is ongedateerd, maar moet uit 1917 of 1918 zijn, omdat het notities bevat over ionisatie van argon die in 1918 werden gepubliceerd; zie: Holst en Koopmans (1918).
45. Aantekeningenboekje van waarschijnlijk Oosterhuis, 15-1-1917 t/m 24-7-1917, PCA; verder drie aantekeningenboekjes van Holst: diegene uit de vorige voetnoot, één vanaf febr. 1917 en één vanaf oktober 1919, PCA.
46. Garratt (1978), Part I, 85-86.
47. Ibidem, 195.
48. Nat. Lab. 105, Colloquia, Diversen, map 1, PCA; interview met M. J. Druyvesteyn in voorjaar 1973, PCA.
49. Interview met M.J. Druyvesteyn in voorjaar 1973, PCA.
50. Hertz (1924); zie ook: De Groot (1951), 105.
51. De Groot (1951), 102.
52. Flügge (1956), 241-242; zie voor originele publikaties: Holst en Oosterhuis (1921), Holst en Oosterhuis (1923).
53. De Groot (1954).
54. Penning (1926).
55. De Groot (1954).
56. Zie: Flügge (1956), 85; Garratt, Part III, 41-42.
57. Flügge (1956), 85.
58. Penning (1937).
59. Le Pair en Volger (1982), 460.
60. Garratt (1978), Part III, 47.
61. Uytterhoeven (1938).
62. Een uitgebreide beschrijving hiervan is te vinden in: Hutter en Janssen (1987).
63. Interview met A. van Wijk in 1973 afgenomen door H. Bruining, PCA.
64. Druyvesteyn (1930), "De invloed der energieverliezen bij elastische botsingen in de theorie der electronendiffusie"; Druyve-

- steyn (1985).
65. Druyvesteyn (1932).
  66. Zie: Flügge (1956), 417, 546 en 547.
  67. Druyvesteyn en Penning (1940).
  68. Gebaseerd op: Le Pair en Volger (1982), 461 en 476.
  69. Zie: Le Pair en Volger (1982), 460 en 463.
  70. Interview met A.A. Kruithof, d.d. 31-8-1984.
  71. Interview met M.J. Druyvesteyn, d.d. 11-9-1984.
  72. Ibidem.
  73. Een kopie van de brief is eerder gepubliceerd in: Aarts, Dries en Spierings (1981); zij ondersteunen de argumentatie van Anton Philips overigens niet; m.i. is daar wel degelijk reden toe, omdat in 1924 van de 14 fysici 3 uit Duitsland afkomstig waren (Hertz, Jonas en Zecher); zie: Garratt (1978), Part I, 109 en Part III, 47.
  74. Aarts, Dries en Spierings (1981).
  75. Barends (1931).
  76. Oosterkamp (1933).
  77. Van Manen (1934).
  78. Van Gorcum (1935).
  79. Dorgelo, Alting en Boers (1935).
  80. Van Gorcum (1936).
  81. Persoonlijke mededeling van C.J.D.M. Verhagen.
  82. Nawijn (1943).
  83. Van Geel (1939).
  84. Zie voor de proefschriften: Verhagen (1942), Van Geel (1955).
  85. Van Geel (1939); N. B. de vergelijking is alleen geldig bij verwaarlozing van nawerking en van de wandstromen.
  86. Van Geel (1939), Verhagen (1941).
  87. Verhagen (1941).

#### Voetnoten hoofdstuk VI.

1. Brits octrooischrift 2841 (1857) en Amerikaans octrooischrift 3345 (1861); Weintraub (1904), 95.
2. Dingler's Polytechnisches Journal 157 (1860), 399.
3. Vogel (1907), 3.
4. Dingler's Polytechnisches Journal 159 (1861), 46-47.
5. Ibidem.
6. Brits octrooischrift 211 (1879); beschrijving volgens Vogel (1907), 6-7.
7. Dingler's Polytechnisches Journal 157 (1860), 399.
8. Volgens Von Recklinghausen (1902) was Rapiieff de eerste die gevakuëerde lampen gebruikte. Dit is echter niet in het Britse octrooischrift 211 (1879) van Rapiieff terug te vinden. Ook Vogel (1907), 7, bestrijdt deze visie.
9. Arons (1896), 73, voetnoot 1.
10. Vogel (1907), 8.
11. Arons (1892); Vogel (1907), 8-9, meldt dat Arons op zijn lamp geen octrooi had aangevraagd.
12. Arons (1892), 767.
13. Tot ongeveer 1920 gebruikte men de eenheid 'Watt per kaars' om

de effectiviteit van een lichtbron aan te geven. Tegenwoordig gebruikt men het begrip 'specifieke lichtstroom', uitgedrukt in lumen per Watt. In dit proefschrift wordt in plaats van het begrip 'specifieke lichtstroom' het begrip 'rendement' gebruikt, omdat dat in de jaren twintig en dertig werd gebruikt. Globaal kan men stellen, dat vóór 1909 de specifieke lichtstroom gelijk was aan 9/(aantal Watt per kaars). Daarna gold in de Verenigde Staten: 10/(aantal Watt per kaars), terwijl in Europa tot + 1920 onzeker was welk van deze beide omrekeningsfactoren geldig waren. (Zie ook bijlage I).

14. Samengesteld m.b.v. Arons (1892); Arons (1896); Polak (1907); Von Recklinghausen (1902) en Von Recklinghausen (1904).
15. Arons (1896).
16. Arons (1907), 176; Gumlich (1897).
17. Arons (1907), 178.
18. Bright (1972), 213.
19. Ibidem, 220 en 384.
20. Electricity 4 (1893), 142; geciteerd in Bright (1972), 220.
21. Hewitt was de zoon van een bekende New Yorkse politikus, die tevens medefirmant was van de Cooper Hewitt Company. Hewitt dankte zijn beide voornamen (Peter Cooper) aan de compagnon van zijn vader, die tevens zijn grootvader was.
22. Dat Hewitt reeds voor 1901 jarenlang bezig was aan een kwiklamp, baseer ik op: Polak (1907), 599.
23. The Electrician 47 (1901), 50.
24. Von Recklinghausen (1904).
25. Hewitt (1904); Von Recklinghausen (1902) en Von Recklinghausen (1904).
26. Samengesteld m.b.v. Von Recklinghausen (1902); Von Recklinghausen (1904); Axmann (1905); Hahn (1905); Elektrotechnische Zeitschrift 26 (1905), 940-941; Polak (1907); Vogel (1907), 51-52, en Elektrotechnische Zeitschrift 29 (1908), 943.
27. Von Recklinghausen (1902), 495; N.B. Von Recklinghausen werkte bij Westinghouse Elektrizitäts A.G. te Berlijn; hij was dus geen onafhankelijk waarnemer, want Westinghouse (VS) financierde Hewitt bij zijn pogingen een kwiklamp rijp te maken voor de markt; zie: Bright (1972), 227.
28. Polak (1907), 652; Vogel (1907), 49-51.
29. The Electrician 52 (1903), 115.
30. Vogel (1907), 25.
31. Zie o.a.: The Electrician 52 (1904), 893 en Elektrotechnische Zeitschrift 25 (1904), 408.
32. Elektrotechnische Zeitschrift 29 (1908), 943.
33. Vogel (1907), 51-52.
34. The Electrician 48 (1902), 743.
35. Polak (1907), 599; Vogel (1907), 68-69.
36. Vogel (1907), 78.
37. Von Recklinghausen (1904), 1106.
38. Zie bijlage III.
39. Kommentaar van de redactie van The Electrician 52 (1904), 889-890, tijdens verschijnen van de lamp van Bastian.
40. Bright (1972), 227.
41. Polak (1907), 655.

42. Wolfke maakte in 1912 een succesvol prototype met cadmium-kwik-amalgaam onder hoge druk; deze lamp zal in hoofdstuk VIII worden besproken.
43. Von Recklinghausen (1904).
44. Polak (1907), 656.
45. Bright (1972), 227.
46. Geciteerd in: Reich (1985), 66.
47. Ibidem, 69-70; Wise (1985), 96-101.
48. Onder andere Brits octrooischrift 27638 (1904); aangehaald in: Polak (1907), 652.
49. Weintraub (1904); Wise (1985), 98, noemt deze publikatie de eerste "scientific publication" van het laboratorium van General Electric.
50. Weintraub (1904), 96.
51. Ibidem, 97.
52. Wise (1985), 99-100; Bright (1972), 227.
53. Bright (1972), 221.
54. Samengesteld m.b.v. Wickenden (1910), 125-126; Electrotechnisch en Werktuigbouwkundig Weekblad, 20 (1922), 81-84; Bright (1972), 221-222 en Watson (1961), 3.
55. Wickenden (1910), 125-126.
56. De buizen moesten zo lang zijn om het rendement zo gunstig mogelijk te laten zijn: de kathodeval was namelijk groot (orde-grootte enkele honderden Volt) en nam een fors gedeelte van de buis in beslag; daar alleen de positieve zuil bijdraagt aan de lichtopwekking en de kathodeval niet, moest de buis zo lang mogelijk worden gemaakt.
57. Bright (1972), 223.
58. Watson (1961), 1-2.
59. Bright (1972), 372 e.v.; Neuburger (1914).
60. Bright (1972), 373; Eswein (1912).
61. In moderne termen uitgedrukt werkt de ontsteking met neogas als volgt. Als de spanning wordt aangesloten en de buis koud is, is er (bijna) geen kwikdamp. Wordt de spanning hoog genoeg, dan ontstaat een ontlading in het neogas, waardoor de temperatuur toeneemt en het aanwezige kwik verdampt. Bij een gegeven temperatuur zijn er zoveel kwikatomen in dampvorm aanwezig, dat het kwik de ontlading overneemt, omdat zowel de aanslagspanningen als de ionisatiespanning van kwik lager zijn dan die van neon. Men merkt dat doordat de kleur omslaat van oranje naar blauwachtig-wit.
62. Samengesteld m.b.v. Claude (1910); Claude (1911); Claude (1914); Neuburger (1914); Bright (1972), 373 en Watson (1961), 2-4.
63. Zie voetnoot 56.
64. Bright (1972), 370-371.
65. Ibidem, 370; McDermott (1938).
66. Buiten de overeenkomst vielen ook booglampen; in beginsel vielen andere gasontladingslampen wel onder de overeenkomst, maar er was in 1935 een scheidsgerechtheid nodig om daarover volledige duidelijkheid te verschaffen; PCA, E 18.1 (Phoebus); D 22.1, Gasontladingslampen, 1930-1939.
67. Meinhardt (1932), 106 e.v.

68. De Groot (1951), 107, spreekt van 1923 als eerste jaar van produktie van neonbuizen door Philips; J. Bruynes, zelf betrokken geweest bij de eerste produktie, herinnerde zich later het jaartal 1919; interview met J. Bruynes d.d. 8-12-1960 door prof. dr. ing. N. A. Halbertsma; PCA.
69. PCA, Secr. 341, Claude, Correspondentie tot 31-12-1929; PCA, Secr. 341, Claude, Diversen.
70. PCA, Secr. 882, Osram Samenwerking, Dr. W. Brümmer II.
71. PCA, E 18.1 (Phoebus): D 22.1 Gasontladingslampen, 1930-1939.
72. Ibidem.
73. Ibidem.
74. Ibidem.
75. Zecher (1926), Nat. Lab. verslag 106.
76. Het jaartal 1917 wordt genoemd door: De Groot (1951), 102; Watson (1961), 7, noemt 1921.
77. Brits octrooischrift 145.400 (1919); Duits octrooischrift 395.293 (1919); Duits octrooischrift 404.288 (1920); Watson (1961), 11-12.
78. Zecher (1926), Nat. Lab. verslag 106.
79. Ibidem.
80. Zecher (1926), Nat. Lab. verslag 120.
81. Wellicht hing dit onderzoek van Penning samen met een kontrakt dat Philips op 20-12-1928 met het Amerikaanse Claude Neon Lights had afgesloten; deze overeenkomst voorzag in een licensering aan Claude van een door Philips in de Verenigde Staten aangevraagd octrooi; deze aanvraag dateerde van 18-2-1925 en had betrekking op ontladingslampen in argon en/of kwik. Volgens de tekst van het verdrag was het octrooi in 1928 nog niet toegekend. Het is mogelijk dat later bij de toekenning problemen zijn ontstaan, waarna het Natuurkundig Laboratorium van Philips werd belast met enkele onderzoekingen. PCA, secr. 882, Osram Samenwerking, Dr. W. Brümmer I.
82. Penning (1930).
83. Ibidem.
84. Penning (1933).
85. Penning (1934).
86. Ibidem.
87. Van de Sande Bakhuyzen e.a. (1934), Nat. Lab. verslag 807; Oosterhuis e.a. (1935), Nat. Lab. verslag 1002; Zecher (1934), Nat. Lab. verslag 874; Zecher (1934), Nat. Lab. verslag 881; Zecher (1934), Nat. Lab. verslag 900.
88. Zecher (1932), Nat. Lab. verslag 670.
89. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Correspondentie map 1.
90. Zecher (1935), Nat. Lab. verslag 1024.

Voetnoten hoofdstuk VII.

1. Inman (1954).
2. Dit is een uitspraak van H. C. Dake en Jack de Ment uit 1941; geciteerd in Bright (1972), 384-385.
3. Bright (1972), 385.
4. Claude (1939); dat Risler in 1923 Claudes neonbuizen met neon

- en kwik gebruikte is te vinden in: Bright (1972), 385.
5. Bright (1972), 385; Claude (1939).
  6. Claude (1939).
  7. Davies en Ryde (1939).
  8. McDermott (1938).
  9. In de Verenigde Staten leidde deze aanvraag tot het octrooi-schrift 2.182.732. Uit bronnen in het Philips' archief blijkt dezelfde aanvraag in vele Europese landen te zijn ingediend. Voorzover valt na te gaan, leidde deze aanvraag in Europa lang niet overal tot een octrooi.
  10. Bright (1972), 386-387.
  11. Ibidem, 420.
  12. Ibidem, 390 (voetnoot 40).
  13. Ibidem, 386 en 418 e.v.
  14. Ibidem, 373.
  15. Ibidem, 389.
  16. Inman (1954).
  17. Bright (1972), 389.
  18. Ibidem, 389.
  19. Inman (1954), 35.
  20. Ibidem.
  21. Buttolph (1936), 1175.
  22. Bright (1972), 389.
  23. Ibidem, 389.
  24. Inman en Thayer (1938).
  25. Samengesteld m.b.v. Bright (1972), 394-395; Inman en Thayer (1938); Murdoch (1985), 212; Internationale Beleuchtungskommis-sion 10 (1939), 178; Amick (1942), 18 en Harrison (1938).
  26. Inman (1954).
  27. Bright (1972), 391.
  28. Vgl. bijlage III.
  29. Bright (1972), 403; General Electric Review 43 (1940), 77-78.
  30. Bright (1972), 399.
  31. Ibidem, 400-401.
  32. Buttolph (1936), 1177.
  33. General Electric Review 41 (1938), 509.
  34. Harrison (1938), 26.
  35. Zie voor uitgebreide beschrijving van de octrooistrijd in de Verenigde Staten: Bright (1972), 418 e.v.
  36. Bright (1972), 392.
  37. Ibidem, 392-393, 418.
  38. Ibidem, 404.
  39. General Electric Review 42 (1939), 44-49.
  40. Bright (1972), 400 e.v.
  41. Cleaver (1940), 266.
  42. Bright (1972), 404-405.
  43. PCA, Nat. Lab. 221, Fluorescentie.
  44. General Electric Review 45 (1942), 43, fig. 52.
  45. Inman (1954).
  46. PCA, Dossier 811.13, volgno. 1.
  47. Interview met C. Zwikker door Bruining en Voogd, jan. 1973, PCA.
  48. Aantekeningenboekje van waarschijnlijk Oosterhuis, 15-1-1917 t/m 24-7-1917, PCA.

49. Inman (1954).
50. Interview met C. Zwikker door Bruining en Voogd, jan. 1973, PCA.
51. Ibidem; Zecher (1935), Nat. Lab. verslag 1024.
52. Zecher (1935), Nat. Lab. verslag 1024.
53. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Correspondentie, map 1.
54. Ibidem.
55. Zecher (1937), Nat. Lab. verslag 1144.
56. Zecher (1935), Nat. Lab. verslag 1024.
57. Ibidem.
58. PCA, Secr. 441, Germer, Dubbele Copieën.
59. Dit volgt uit nader onderzoek in de bibliotheek van de Nederlandse Octrooiraad te Rijswijk.
60. Zecher (1936), Nat. Lab. verslag 1096.
61. Zecher (1936), Nat. Lab. verslag 1103.
62. Zecher (1936), Nat. Lab. verslag 1127.
63. Zecher (1937), Nat. Lab. verslag 1144.
64. PCA, E 18.1 (Phoebus): D 22.1 Gasontladingslampen, 1930-1939.
65. Interview met C. Zwikker door Bruining en Voogd, jan. 1973, PCA.
66. Zecher (1936), Nat. Lab. verslag 1137.
67. Zecher (1936), Nat. Lab. verslag 1103.
68. Zecher (1936), Nat. Lab. verslag 1071.
69. Zecher (1936), Nat. Lab. verslag 1096.
70. Zecher (1936), Nat. Lab. verslag 1127.
71. Zecher (1937), Nat. Lab. verslag 1144.
72. Ibidem.
73. Interview met E. G. Dorgelo d.d. 4-10-1984; PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Reiserapporten, map 1.
74. PCA, D 22.113 (041) Techn. Rapporten, 1930-1939, '37/'39, diverse nummers.
75. PCA, E 18.1 (Phoebus): D 22.1 Gasontladingslampen, 1930-1939.
76. PCA, D 22.113, Overzicht Philora, Ontw. per jaar, 1940/45.
77. Zie bijlage IV; N.B. de in deze brief vermelde levensduren waren ook voor Philips nog sterk afhankelijk van het aantal malen aan- en uitschakelen.
78. PCA, E 18.1 (Phoebus): D 22.1 Gasontladingslampen, 1930-1939.
79. Zecher (1937), Nat. Lab. verslag 1144.
80. Ibidem.
81. Zecher (1938), Nat. Lab. verslag 1308.
82. PCA, Nat. Lab. 123, Kwiklampen, Besprekingen, map 1.
83. PCA, Nat. Lab. 177, Commissie tot het Vaststellen van Keurings-eisen voor Gasontladingsbuizen, map 1.
84. Ibidem.
85. Ibidem.
86. Niederschrift über die 1. Sitzung der IFK-Unterkommission für Geräte für Mittelspannung, Montag, den 4. Januar 1937, im Gebäude des Reichsverbandes der Elektrizitätsversorgung, Berlin, Km IFK (UKO Mispä) CH 102/37 (Entwurf), Zürich, 20-4-1937; CEE-archief, KEMA, Arnhem.
87. Ibidem.
88. Ibidem.
89. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Besprekingen, map 1.
90. Zie bijlage III.
91. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Besprekingen, map 1.



92. Ibidem.
93. Zusammenstellung der auf die Umfrage der Schweiz vom 2. September 1936 betreffend Anforderungen an Geräte für Mittelspannungen eingegangene Antworten, IFK (UKO Mispa), CH 116/36, Zürich, 12-12-1936; CEE-archief, KEMA, Arnhem.
94. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Reisrapporten, map 1.
95. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Besprekingen, map 1.
96. Ibidem.  
N.B. in een driefasennet van 220 V ac zijn drie geleiders aanwezig, waarop spanningen staan die steeds 120 ° in fase ten opzichte van elkaar verschillen. Door de spanning tussen twee van deze geleiders te nemen, ontstaat een periodieke spanning met een maximale waarde van 380 V ac.
97. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Besprekingen, map 1.
98. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Reisrapporten, map 1.
99. "Anforderungen an Gasentladungslampen", 2<sup>e</sup> ontwerp, CH 104/38, Zürich, 6-5-1938; o.a. aanw. in: PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladungen, Rapporten, map 2.
100. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Besprekingen, map 1.
101. Ibidem.
102. Ibidem.
103. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Besprekingen, map 1.
104. Ibidem.
105. Ibidem.
106. Ibidem.
107. Ibidem; PCA, Nat. Lab. 221, Fluorescentie.
108. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladungen, Rapporten, map 2.
109. Ibidem.
110. PCA, Nat. Lab. 112, Fluorescentie, Diversen, map 1.
111. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Besprekingen, map 1.
112. Samengesteld m.b.v.: Oranje (1942), 209, 220 en 260; PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladungen, Rapporten, map 2.
113. Kruithof, destijds zelf bij TL-lampen betrokken, meent zich te herinneren, dat Philips na de oorlog voor elke in Duitsland verkochte neon-bimetaalschakelaar DM 0,50 licentiekosten moest betalen.
114. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladungen, Rapporten, map 2.
115. Ibidem; PCA, Nat. Lab. 114, Gasontladungen Technisch Comité Engeland, map 4.
116. PCA, Nat. Lab. 221, Fluorescentie.
117. Ibidem.
118. PCA, Nat. Lab. 111, Fluorescentie, Rapporten, map 1.
119. PCA, Nat. Lab. 114, Gasontladungen Technisch Comité Engeland, map 5.
120. Oranje (1942), 216.
121. Ibidem; Kruithof (1941).
122. Verburg (1940); na 1940 bleek de kathodeval ook storing te veroorzaken. Tijdens de oorlog trachtte Kruithof hiertegen tevergeefs een remedie te vinden.
123. Ibidem.
124. PCA, D 22.113, Overzicht Philora, Ontw. per jaar, 1940/45.
125. Oranje (1942), 221-222.
126. PCA, Nat. Lab. 221, Fluorescentie.

## VOETNOTEN.

127. Ibidem.
128. Ibidem.
129. PCA, Nat. Lab. 221, Fluorescentie.
130. PCA, Nat. Lab. 114, Gasontladingen Technisch Comité Engeland, map 6.
131. Ibidem.
132. Samengesteld m.b.v.: Oranje (1942), 260; PCA, Nat. Lab. 221, Fluorescentie; PCA, Dossier 811.131 volgno.1.
133. PCA, Dossier 811.131 volgno.1.
134. PCA, Nat. Lab. 114, Gasontladingen Technisch Comité Engeland, map 4; PCA, Nat. Lab. 114, Gasontladingen Technisch Comité Engeland, map 5.
135. PCA, Nat. Lab. 221, Fluorescentie.
136. PCA, Dossier 811.131 volgno.1.
137. Ibidem.

### Voetnoten hoofdstuk VIII.

1. Sammelausstellung der Deutschen chemischen Industrie (1900), 154; Heraeus, 60 Jahre Quarzglas - 25 Jahre Hochvakuumtechnik (1961), 5; N.B. de eerstgenoemde bron noemt R. Küch een "wissenschaftlicher Chemiker", maar alle overige door mij geraadpleegde bronnen noemen hem een "fysikus", zoals: Girard (1912) en Bussmann (1907); bovendien noemt Poggendorf (1925/26) hem een fysikus.
2. Heraeus, 60 Jahre Quarzglas - 25 Jahre Hochvakuumtechnik (1961), 5.
3. Vogel (1907), 37.
4. In elk geval produceerde Heraeus deze lampen in 1904, zo blijkt uit: Küch en Retschinsky (1906), 564, voetnoot 1.
5. Küch en Retschinsky (1906).
6. Elenbaas (1956).
7. Küch en Retschinsky (1906).
8. Ibidem.
9. Ibidem; N.B. in Duitsland was de eenheid Hefner kaars (Hkaars), die ongeveer overeenkomt met 0,9 kaars, zeer gangbaar.
10. Ibidem.
11. Heraeus, 60 Jahre Quarzglas - 25 Jahre Hochvakuumtechnik (1961), 16-17.
12. Küch en Retschinsky (1907).
13. Bussmann (1907).
14. Girard (1912).
15. Ibidem.
16. Bussmann (1907).
17. Girard (1912).
18. Bussmann (1907), zie vooral de op zijn lezing aansluitende discussie op pag. 935.
19. Samengesteld m.b.v.: Küch en Retschinsky (1906); Küch en Retschinsky (1907); Bussmann (1907); Bussmann (1909); Elektrotechnische Zeitschrift 31 (1910), 867 en Girard (1912).
20. Ibidem.
21. Bussmann (1909).

22. Ibidem.
23. Elenbaas (1956).
24. Bloch (1909).
25. Electrotechnisch en Werktuigkundig Weekblad, 20 (1922), 81-84; Gehlhoff (1926), 556; Lux (1928) legt de relatie tussen het verdwijnen van booglampen en de opkomst van gasgevulde gloeilampen; Ende (1934), 853, stelt dat "die Quarzlampe in der Beleuchtungstechnik kurz vor dem Weltkriege von der Glühlampe überholt [wurde]".
26. Elektrotechnische Zeitschrift 31 (1910), 867.
27. The Illuminating Engineer 1 (1908), 633-634.
28. Wolfke (1912).
29. Ibidem.
30. Ik leid dit vermoeden af uit een door Wolfke (1912) gegeven grafiek, waarin hij zijn resultaten vergelijkt met die van Küch en Retschinsky.
31. Wolfke (1912).
32. Ibidem.
33. The Illuminating Engineer 5 (1912), 476-477; Steinhaus (1913); Monasch (1913); Bloch (1921), 117-118.
34. Wolfke (1912).
35. Gehlhoff (1926), 557.
36. Ibidem, 557.
37. Norden (1921).
38. Ende (1934).
39. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Besprekingen, map 1.
40. Electrical World 98 (1931), 788.
41. Pirani (1932).
42. Ende (1934).
43. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Correspondentie, map 1.
44. Ibidem.
45. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Besprekingen, map 1.
46. PCA, Secr. 1389, Licenties Spanner, 1 juni '31 - 1 januari '35.
47. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Reisrapporten, map 1.
48. Volgens een mededeling van Döring uit 1930 zou Hanau Quarzlampengesellschaft voor 50 % van AEG en voor 50 % van "Heraeus-Quecksilberschmelze" zijn geweest, waarmee hij waarschijnlijk bedoelde: "Heraeus Quarzschmelze GmbH" (zie: Heraeus, 60 Jahre Quarzglas - 25 Jahre Hochvakuumtechnik (1961), 5); PCA, Secr. 1172, Licenties Spanner tot 1 juni '31;  
Kaas (Philips) bevestigde in 1930, dat AEG voor 50 % eigenaar was; Ibidem;  
Niclassen meende echter dat AEG volledig eigenaar was; PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Correspondentie, map 1.
49. Ende (1934).
50. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Correspondentie, map 1;  
PCA, Secr. 1172, Licenties Spanner tot 1 juni '31.
51. Ibidem.
52. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Correspondentie, map 1.
53. PCA, Secr. 1172, Licenties Spanner tot 1 juni '31.
54. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Correspondentie, map 1.
55. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Reisrapporten, map 1.
56. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Correspondentie, map 1.

57. PCA, Secr. 1172, Licenties Spanner tot 1 juni '31.  
 58. Ibidem.  
 59. Ibidem.  
 60. Ibidem.  
 61. Ibidem.  
 62. Ibidem.  
 63. Ibidem.  
 64. Een afschrift bevindt zich in: PCA, Secr. 1396, Spanner Engeland, Contracten tot 3 augustus 1934.  
 65. PCA, Secr. 1396, Spanner Engeland, Contracten tot 3 augustus 1934.  
 66. PCA, Secr. 2102, Gasontladingslampen, Engeland t/m 30-4-'39.  
 67. PCA, Secr. 1396, Spanner Engeland, Contracten tot 3 augustus 1934.  
 68. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Correspondentie, map 1.  
 69. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Correspondentie Osram, map 1.  
 70. Krefft en Summerer (1934); Larché en Reger (1937).  
 71. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Correspondentie Osram, map 1.  
 72. Electrical Times 82 (1932), 626-628.  
 73. Electrical Times 82 (1932), 623.  
 74. Ryde (1933).  
 75. Interview met W. Elenbaas d.d. 26-9-1984; PCA, Nat. Lab. 226, Laboratorium Besprekingen (ir. Verff).  
 76. Interview met W. Elenbaas d.d. 26-9-1984.  
 77. Voor omrekening van de temperatuur (T) naar de druk (p) van kwikdamp gebruikte men gegevens uit de International critical tables of numerical data, physics, chemistry and technology, Vol. III, McGraw-Hill, New York, 1928, 206; voor temperaturen tussen 400 °C en 1300 °C geldt bij benadering:  

$$10 \log p = \frac{-52,23 \times 58,7}{T} + 7,752$$
  
 78. Elenbaas (1932).  
 79. Elenbaas (1935), "Der Gradient der Quecksilber-hochdruckentladung als Funktion von Druck, Durchmesser und Stromstärke".  
 80. Elenbaas (1933), Nat. Lab. verslag 854. N.B. de rest van deze paragraaf is, voorzover niet anders aangegeven, in zijn geheel gebaseerd op dit verslag.  
 81. Elenbaas (1935), "Ontladingen in kwikdamp van hoogen druk".  
 82. "Philora" Quecksilberlampen - "Philora" HO-Lampen -, Philips, Zentralbüro für Dokumentation, nr. 12a/25D, 1-10-1934, PCA/CA 362.  
 83. PCA, Nat. Lab. 267, Gasontladingslampen, Diversen, map 1.  
 84. Übersichtsblatt mit Erläuterungen über die z. Zt hergestellten "Philora"-Lampen, Philips, Zentralbüro für Dokumentation, nr. 12a/1D, 1-1-1934, PCA/CA 362.  
 85. Ibidem.  
 86. Dit valt af te leiden uit een publikatie over de eerste hogedrukkwiklampen van Osram, die dezelfde konstruktie hadden: Krefft en Summerer (1934).  
 87. Samengesteld m.b.v.: "Philora" Quecksilberlampen - "Philora"

- HO-Lampen -, Philips, Zentralbüro für Dokumentation, nr. 12a/25D, 1-10-1934, PCA/CA 362; PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladungen, Correspondentie Osram, map 1.
88. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Besprekingen, map 1.
89. Niederschrift über die 1. Sitzung der IFK-Unterkommission für Geräte für Mittelspannung, Montag, den 4. Januar 1937, im Gebäude des Reichsverbandes der Elektrizitätsversorgung, Berlin, km IFK (UKO Mispä), CH 102/37 (Entwurf), Zürich, 20-4-1937, CEE-archieff, KEMA, Arnhem.
90. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Besprekingen, map 1.
91. Ibidem.
92. Stöckel (1936).
93. Vergleich zwischen der Gasbeleuchtung un der elektrischen Beleuchtung - Glühlampen oder Entladungslampen -, Philips, Zentralbüro für Dokumentation, nr. 12a/34D, 1-2-1935, PCA/CA 362.
94. G. B. van der Werfhorst, Voordracht over het Internationale Verlichtings Congres, 1931; interne Philips-voordracht, PCA/CA 362.
95. Dit blijkt onder meer uit verschillende brieven tussen Philips en Spanner, die Philips en Osram het gebruik van natriumlampen uit het hoofd wilde praten: PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Correspondentie, map 1; PCA, Secr. 1389, Licenties Spanner, 1 juni 1931 - 1 januari 1935; zie ook: Kreffft en Summerer (1934).
96. Kreffft en Summerer (1934).
97. PCA, Secr. 1389, Licenties Spanner, 1 juni 1931 - 1 januari 1935.
98. Larchè en Reger (1937).
99. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladungen, Correspondentie Osram, map 1.
100. Ibidem.
101. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Besprekingen, map 1.
102. Ibidem.
103. Ibidem.
104. Smith (1934), 725.
105. Kreffft en Summerer (1934), 89.
106. Elenbaas (1965) (ed.), 152.
107. "Philora" Quecksilberlampen - "Philora" HO-Lampen -, Philips, Zentralbüro für Dokumentation, nr. 12a/25D, 1-10-1934, PCA/CA 362.
108. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Besprekingen, map 1.
109. Ibidem.
110. Uit een notitie uit maart 1936 blijkt, dat Philips toen nog met de drie HO-typen van 250, 400 en 500 W op de markt was: PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladungen, rapporten, map 1. Uit een Philips-publikatie blijkt, dat ze in elk geval in 1937 waren vervangen door de HO-1000 en HO-2000, die een lichtstroom van 10.000, resp. 20.000 lm oprachten: "Philora"-Sachlage 1. Mai 1938, Philips, Zentralbüro für Dokumentation, nr. 12a/70D, 1-5-1938, PCA/CA 362.
111. "Philora"-Sachlage 1. Mai 1938, Philips, Zentralbüro für Dokumentation, nr. 12a/70D, 1-5-1938, PCA/CA 362.
112. PCA, E 18.1 (Phoebus), D 22.1, Gasontladingslampen 1930-1939.

113. Ibidem.

Voetnoten hoofdstuk IX.

1. Notitie van W. Elenbaas, sept. 1987; N. B. de aanvangsdatum van het werk van Bol aan hogedrukkwiklampen is moeilijk exakt te achterhalen. Andere oud-Philips-medewerkers als M. J. Druyvesteyn (interview d.d. 11-9-1984) en E. G. Dorgelo (interview d.d. 4-10-1984, inmiddels overleden) herinnerden zich echter, dat Bol eerst aan natriumlampen werkte. Vermoedelijk is Bol met hogedrukkwiklampen begonnen rond eind 1933 of begin 1934, want; zoals eerder vermeld (hoofdstuk VIII §6) waren deze lampen per 1 januari 1934 nog niet in produktie, maar in april 1934 wel in de proeffabriek.
2. Brits octrooischrift 431.923.
3. Interview met J. Voogd d.d. 6-11-1972 door F. Stieltjes, H. Bruining en G. Diemer; PCA, Geluidsarchief.
4. C. Bol, "Kort overzicht, opleiding en werk van C. Bol", dec. 1960, PCA, Geluidsarchief; Times (1937), 8 febr.; Noel en Farnham (1938); Bol zelf vertelde dat hij proeven deed bij drukken tot 10.000 atm. Noel en Farnham (1938) vermeldden daarentegen, dat Bol experimenten bij drukken tot 10.000 pound/inch<sup>2</sup> ( $\approx$  700 atm) verrichtte; omdat deze laatste waarde mij plausibeler voorkomt, is deze in de tekst vermeld.
5. Interview met C. Bol door N. A. Halbertsma d.d. 21-8-1953, PCA, Geluidsarchief.
6. Interview met M. J. Druyvesteyn d.d. 11-9-1984; in de octrooi-aanvraag (PH 4534), die overigens pas voor het eerst op 31-8-1935 werd ingediend, wordt de noodzaak van etsen niet genoemd; archief Philips' Octrooibureau.
7. Interview met C. Bol door N. A. Halbertsma d.d. 21-8-1953, PCA, Geluidsarchief; C. Bol, "Kort overzicht, opleiding en werk van C. Bol", dec. 1960, PCA, Geluidsarchief.
8. Elenbaas noemde de nieuwe insmeltechniek nog niet in december 1933: Elenbaas (1933), Nat. Lab. verslag 854; voorts spreekt De Groot in april 1934 over de "nieuwe insmeltechniek" van Bol en Lemmens: De Groot (1934), Nat. Lab. verslag 882. Bol bevestigt de aldus geschatte datering door in maart 1935 te spreken over: "Ruim een jaar geleden": Bol (1935).
9. Interview met C. Bol door N. A. Halbertsma d.d. 21-8-1953, PCA, Geluidsarchief; C. Bol, "Kort overzicht, opleiding en werk van C. Bol", dec. 1960, PCA, Geluidsarchief; Bol (1935).
10. Ibidem.
11. Notitie van W. Elenbaas, sept. 1987.
12. Interview met W. Elenbaas d.d. 26-9-1984.
13. Philips' octrooien PH 3935 en PH 4170, archief Philips' Octrooibureau.
14. PCA, Nat. Lab. 123, Kwiklampen, Correspondentie, map 1.
15. Philips' octrooi PH 3935, archief Philips' Octrooibureau.
16. PCA, Secr. 2107, Natrium, Dubbele Wegen.
17. Bol (1935).
18. Zie voor een (bijna) compleet overzicht van Elenbaas' werk:

Verzamelde publicaties van W. Elenbaas (1968).

19. Elenbaas (1934), "Die Temperatur des Quecksilberbogens".
20. Ibidem.
21. Ibidem.
22. Ibidem.
23. Ibidem.
24. Heller (1935). De originele artikelen van Elenbaas betreffen: Elenbaas (1934), "Die Temperatur des Quecksilberbogens"; Elenbaas (1934), "Die Quecksilber-Hochdruckentladung"; Elenbaas (1935), "Die Temperaturänderung des Quecksilberbogens bei Zufügung von Kadmium"; Elenbaas (1935), "Ähnlichkeitsgesetze der Hochdruckentladung".
25. In Heller (1935) is de argumentatie over de invloed van de wandtemperatuur onduidelijk; het vermelde argument komt uit Elenbaas (1965), 35.
26. De Groot (1935).
27. Ibidem. N. B. Elenbaas (1965), 38-44, geeft uitgebreidere en deels andere verklaringen. De verbreding van spektraallijnen is z.i. zowel het gevolg van zelfabsorptie, als van botsingen tussen stralende ("radiating") normale atomen. Het continue spectrum ontstaat volgens hem dankzij rekombinatie van positieve ionen en vrije elektronen én dankzij botsingen tussen aangeslagen en normale atomen.
28. Notitie W. Elenbaas, sept. 1987.
29. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingen, Correspondentie Osram, map 1.
30. Ibidem.
31. Philips' octrooi PH 4170, archief Philips' Octrooibureau; PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingen, Correspondentie Osram, map 1.
32. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingen, Correspondentie Osram, map 1.
33. Ibidem.
34. Philips' octrooi 4170, archief Philips' Octrooibureau; PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingen, Correspondentie Osram, map 1.
35. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingen, Correspondentie Osram, map 1.
36. PCA, Nat. Lab. 123, Kwiklampen, Diversen, map 1.
37. PCA, Secr. 2102, Gasontladingslampen, Engeland t/m 30-4-'39.
38. Ibidem.
39. Ibidem.
40. Ibidem.
41. Ibidem.
42. Ibidem. De octrooiaanvraag in Groot Brittannië op de in lucht brandende superhagedrukkwiklamp (PH 4302) dateert van 27-2-1935 (prioriteitsdatum 16-2-1935 in Duitsland) en werd op 26-9-1935 toegekend (Brits octrooischrift 431.451), archief Philips' Octrooibureau.
43. Ibidem.
44. Ibidem.
45. Ibidem.
46. Ibidem; N. B. de genoemde publikatie van Van Dijk betreft: Van Dijk (1936).
47. PCA, Secr. 2102, Gasontladingslampen, Engeland t/m 30-4-'39;

- PCA, E 18.1 (Phoebus); D 22.1 Gasontladingslampen, 1930-1939.
48. Electrotechniek 13 (1935), 77-79; Elektrotechnische Zeitschrift 56 (1935), 432; Das Licht 5 (1935), 15 april, 84-85; zie voor artikelen in De Ingenieur: Bol (1935), Elenbaas (1935), "Ontladingen in kwikdamp van hoogen druk" en De Groot (1935).
  49. In 1938 kon met gloeilampen met speciale spiegels  $\pm$  4000 Kaars/cm<sup>2</sup> worden bereikt; Höpcke en Thouret (1938).
  50. Heller (1939).
  51. Höpcke en Thouret (1938).
  52. Die Philips Super-Hochdruck-Quecksilberlampen, Philips, Zentralbüro für Dokumentation, Philora, 12a/49D, 15-1-1936, PCA/CA 362.
  53. PCA, Nat. Lab. 123, Kwiklampen, Correspondentie, map 1.
  54. Ibidem.
  55. PCA, Nat. Lab. 123, Kwiklampen, Rapporten, map 1.
  56. PCA, Nat. Lab. 123, Kwiklampen, Besprekingen, map 1.
  57. Ibidem.
  58. PCA, Nat. Lab. 123, Kwiklampen, Rapporten, map 1.
  59. PCA, Nat. Lab. 123, Kwiklampen, Besprekingen, map 1.
  60. Ibidem.
  61. Ibidem; PCA, Nat. Lab. 123, Kwiklampen, Rapporten, map 1.
  62. PCA, Nat. Lab. 123, Kwiklampen, Rapporten, map 2.
  63. Oranje (1942), 181; PCA, Nat. Lab. 123, Kwiklampen, Besprekingen, map 1.
  64. Dorgelo (1937); N.B. m.i. berust dit op een vergissing: in dit geval ontstaan geen zwevingen, maar verschijnt een lopend beeld op het filmdoek; alleen met een vlinder ontstaan zwevingen.
  65. Heller (1939).
  66. PCA, Nat. Lab. 123, Kwiklampen, Rapporten, map 1.
  67. Ibidem.
  68. Dorgelo (1937).
  69. Heller (1939).
  70. Oranje (1942), 181.
  71. PCA, Nat. Lab. 123, Kwiklampen, Besprekingen, map 1.
  72. Dorgelo (1937); Heller (1939).
  73. Brits octrooischrift 431.450, aangevraagd 26-2-1935, verleend 26-9-1935 (Philips' octrooi PH 4171).
  74. Ibidem.
  75. PCA, Nat. Lab. 123, Kwiklampen, Besprekingen, map 1.
  76. Ibidem; vermoedelijk zijn de vermelde brandspanningen bedoeld per cm buislengte.
  77. PCA, Nat. Lab. 123, Kwiklampen, Rapporten, map 2.
  78. Ibidem.
  79. Elenbaas (1939).
  80. PCA, Nat. Lab. 123, Kwiklampen, Rapporten, map 1.
  81. PCA, Nat. Lab. 123, Kwiklampen, Besprekingen, map 1.
  82. Interview met Elenbaas d.d. 26-9-1984.
  83. Brits octrooischrift 431.450, aangevraagd 26-2-1935, verleend 26-9-1935 (Philips' octrooi PH 4171); Brits octrooischrift 431.923, aangevraagd 26-2-1935, verleend 10-10-1935 (Philips' octrooi 4170).
  84. Elenbaas (1939).
  85. Dorgelo (1937).



86. PCA, Nat. Lab. 123, Kwiklampen, Rapporten, map 1.
87. Heller (1939).
88. Heller (1936).
89. Larché en Reger (1937).
90. Elenbaas (1956); PCA, Nat. Lab. 123, Kwiklampen, Rapporten, map 1.
91. Elenbaas (1956); Bol (1935); Brits octrooischrift 431.451 (Philips' octrooi PH 4302).
92. Bol (1935).
93. PCA, Nat. Lab. 123, Kwiklampen, Besprekingen, map 1.
94. Ibidem.
95. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Besprekingen, map 1.
96. Larché en Reger (1937).
97. PCA, Nat. Lab. 123, Kwiklampen, Besprekingen, map 1.
98. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Correspondentie, map 1.
99. Dorgelo (1935), Nat. Lab. verslag 965.
100. Ibidem; Heller (1936).
101. Heller (1936); PCA, D 22.113 (041), 1930-1939, Technische Rapporten 1938, 2000/2454.
102. Heller (1936).
103. Elenbaas (1935), Nat. Lab. verslag 959.
104. PCA, Nat. Lab. 123, Kwiklampen, Besprekingen, map 1.
105. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Correspondentie Osram, map 1.
106. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Besprekingen, map 1.
107. Larché en Reger (1937).
108. Matthews (1940).
109. Elenbaas (1956).
110. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Besprekingen, map 1.
111. Matthews (1940).
112. Heller (1936).
113. Ibidem.
114. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Correspondentie Osram, map 1.
115. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Besprekingen, map 1.
116. Zecher (1936), Nat. Lab. verslag 1103.
117. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Correspondentie Osram, map 1.
118. PCA, Nat. Lab. 113, Gasontladingslampen, Besprekingen, map 1.
119. Ibidem.
120. "Philora"-Sachlage, Philips, Zentralbüro für Dokumentation, 12a/70D, 1-5-1938, PCA/CA 362.
121. Elenbaas (1956); zie ook: Larché en Reger (1937).
122. Philips' octrooi PH 4799, archief Philips' Octrooibureau.
123. Matthews (1940).
124. Ibidem.
125. PCA, Nat. Lab. 123, Kwiklampen, Diversen, map 1.
126. Ibidem.
127. PCA, Nat. Lab. 123, Kwiklampen, Besprekingen, map 1.
128. PCA, Nat. Lab. 123, Kwiklampen, Rapporten, map 2.
129. Oranje (1942), 110, fig. 57 en Matthews (1940), fig. 2 laten wel zijbuisjes aan het kwartsbuisje van de HP 300 zien, maar deze dienden, voor zover valt na te gaan, slechts voor de toe-

voer van de hulpelektrode.

Voetnoten hoofdstuk X.

1. Vincenti (1984) en (1986).
2. Vgl. Seeliger (1930).
3. Zie bijv.: Clark (1985); Weeder en Kester (1982); zij wijzen op dezelfde functie van ontwerpprocessen.
4. Holst (1942).
5. Clark (1985), (zie ook hoofdstuk III, §2).
6. Böhme e.a. (1974), 280.
7. Ibidem, 287.
8. Ibidem, 288.
9. Küppers (1979), 290-291.

REFERENTIES.Referenties zonder auteursnaam.

- 12e Volkstelling, annex woningtelling, 31 mei 1947; serie A. rijks en provinciale cijfers, deel 5. statistiek der academisch gevormden; CBS, Den Haag, 1950.
- Adresboek 1940 van de ingenieurs en technologen gediplomeerd aan de Polytechnische School 1865-1905, Technische Hoogeschool 1906-1940, Vereniging van Delftsche Ingenieurs, Den Haag, z.j.
- Chemisch jaarboekje, Deel I (1922) en Deel IA (1941), Koninklijke Nederlandsche Chemische Vereeniging, Den Haag.
- Das Licht, 5 (1935), 15 april, 84-85,  
"Eine neue Lichtquelle hoher Leistung".
- De Ingenieur, 23 (1908), 407-411,  
"Verslag van de Commissie van Advies voor de Oprichting van een Rijksstation voor fysisch-technologisch onderzoek".
- De Ingenieur, 55 (1940), A438-A439,  
"TNO 1939".
- De ontwikkeling van de kleurstoffenindustrie, (1984),  
KU Nijmegen, Fac. der Wiskunde en Natuurwetenschappen, Nijmegen, 1984.
- De toekomst der academisch gegraduateerden,  
Commissie ter Bestudeering van de toenemende Bevolking van Universiteiten en Hoogeschoolen en de Werkgelegenheid voor academisch Gevormden, Groningen/Batavia, 1936.
- Dingler's Polytechnisches Journal, 157 (1860), 399,  
"Elektrisches Licht mit Quecksilber erzeugt".
- Dingler's Polytechnisches Journal, 159 (1861), 46-47,  
"Das neue elektrische Licht mittelst Quecksilber".
- Economisch-Statistische Berichten, 3 (1918), 70-72.  
"Wetenschappelijk onderzoek en staatszorg".
- Electrical Times, 82 (1932), 623,  
"Editorial notes".
- Electrical Times, 82 (1932), 626-628,  
"The new gaseous lamp; good progress reported at the Wembley laboratories of the G.E.C.".
- Electrical World, 98 (1931), 788.  
"Bright, cold-cathode lamp for 110-Volt service".
- Electrotechniek, 5 (1927), 359,  
"Fonds der Electrotechnische Industrie ter Bevordering van Natuurwetenschappelijk Onderzoek".
- Electrotechniek, 5 (1927), 378,  
"Philips".
- Electrotechniek, 8 (1930), 359-360,  
"Fonds voor Natuurwetenschappelijk Onderzoek ter Bevordering van de Nederlandsche Industrie".
- Electrotechniek, 13 (1935), 77-79,  
"De hoogedruk Philips-kwiklamp".

- Electrotechnisch en Werktuigkundig Weekblad*, 20 (1922), 81-84,  
"Eenige bijzondere elektrische lichtbronnen".
- Elektrotechnische Zeitschrift*, 25 (1904), 408,  
"Eine neue Form der Quecksilberdampf Lampe".
- Elektrotechnische Zeitschrift*, 29 (1908), 943,  
"Neue Quecksilberdampf Lampe von Cooper Hewitt".
- Elektrotechnische Zeitschrift*, 31 (1910), 867,  
"Aktivität von Bogenlampen für photographische Kopierzwecke".
- Elektrotechnische Zeitschrift*, 56 (1935), 432,  
"Eine neue Quecksilberdampf-Höchstdrucklampe".
- Fonds voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek ter Bevordering van Volkswelvaart*;  
jaarverslagen over de jaren 1932, 1933, 1934 en 1936; verschillende notulen uit de jaren dertig; Archief Natuurkunde Bibliotheek, Rijksuniversiteit Utrecht.
- General Electric Review*, 41 (1938), 509,  
"Lampholders for Lumiline lamps".
- General Electric Review*, 42 (1939), 44-49,  
"Illumination".
- Heraeus, 60 Jahre Quarzglas - 25 Jahre Hochvakuumtechnik*, (1961),  
W. C. Heraeus GmbH, Hanau, 1961.
- Internationale Beleuchtungskommission*, 10 (1939), Vol. I, 158-190,  
"Sources de Lumière, rapport du secrétariat (comité Allemand).  
Fortschritte auf dem Gebiet der Lichtquellen seit 1935".
- KIVI-commissie voor het technisch onderwijs in Nederland, rapport 1*,  
(november 1948).
- L. S. Ornstein, a survey of his work from 1908 to 1933*,  
Utrecht, 1933.
- Mededelingen uit het Laboratorium voor Technische Physica van de TH Delft*,  
z.j. (aanwezig in de bibliotheek van de fakulteit Technische Natuurkunde van de Technische Universiteit Delft).
- Nobel lectures, including presentation speeches and laureates' biographies, Physics, 1922-1941*, (1965),  
Elsevier, Amsterdam, 1965.
- Notulen der bestuursvergaderingen van de 'Wetenschappelijke Commissie van Advies en Onderzoek in het Belang van Volkswelvaart en Weerbaarheid'*;  
(26-1-1918 t/m 29-1-1921), (kopieën in bezit van auteur).
- Physikalische Berichte*,  
1 (1920), 6 (1925), 11 (1930), 16 (1935) en 21 (1940).
- Register publicaties 1914-1935, separaat nrs. 1-1000*, (1936),  
Laboratoria NV Philips' Gloeilampenfabrieken Eindhoven, 1936.
- Register publicaties 1935-1951, separaat nos. 1001-2000 en R1-R171*,  
(1952),  
Laboratoria NV Philips' Gloeilampenfabrieken Eindhoven, 1952.
- Sammelausstellung der Deutschen chemischen Industrie*, (1900),  
Weltausstellung zu Paris 1900, druk: Hermann Feyl & Co, Berlin, 1900.
- Science Abstracts, Section A - Physics*,  
23 (1920), 28 (1925), 33 (1930), 38 (1935) en 43 (1940).

- Statistiek van Nederland; statistiek van het hooger onderwijs 1930-1931*, (1932),  
 Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag, 1932.
- Sterkstroom*, 5 (1927), 137-138,  
 "Organisatie der samenwerking tusschen de universiteit, de Technische Hoogeschool en de industrie".
- The Electrician*, 47 (1901), 946-947,  
 "The Cooper-Hewitt vapour lamp".
- The Electrician*, 48 (1902), 743,  
 "Discussion on electrical illumination at the American Institute of Electrical Engineers".
- The Electrician*, 52 (1903), 115,  
 "Mercury vapour lamps".
- The Electrician*, 52 (1904), 893,  
 "E new mercury-vapour lamp".
- The Illuminating Engineer*, 1 (1908), 633-634,  
 "The Westinghouse "Silica" lamp".
- The Illuminating Engineer*, 5 (1912), 476-477,  
 "A mercury cadmium lamp".
- Times*, (1937), 8 febr.,  
 "Cool stars".
- Verzamelde publicaties van W. Elenbaas*, (1968),  
 aangeboden ter gelegenheid van zijn afscheid van de N. V. Philips' Gloeilampenfabrieken te Eindhoven, juni 1968.
- Zeventig jaren statistiek in tijdreeksen, 1899-1969*, (1970),  
 Centraal Bureau voor de Statistiek, Staatsuitgeverij, Den Haag, 1970.

Literatuur met auteursnaam.

- Aarts P., Dries W., en Spiering F. (1981),  
 "De eerste natuurkundig ingenieurs: apparatenbouwers of wetenschappers?", *Intermediair*, 17 (1981), nr. 36, 55-63.
- Al J. (1952),  
*Research als overheidstaak*, proefschrift, Technische Hogeschool Delft, 1952.
- Alonso M. en Finn E. J. (1973),  
*Fundamentele natuurkunde*, 4. *Quantumfysica*, AGON Elsevier, Amsterdam, tweede druk, 1973.
- Amick C. L. (1942),  
*Fluorescent lighting manual*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1942.
- Arons L. (1892),  
 "Über einen Quecksilberlichtbogen", *Annalen der Physik und Chemie*, 47 (1892), 767-771.
- Arons L. (1896),  
 "Über den Lichtbogen zwischen Quecksilberelectroden, Amalgamen und Legirungen", *Annalen der Physik und Chemie*, 58 (1896), 73-95.
- Arons L. (1907),  
 "Eine Amalgamlampe mit reichem Linienpektrum", *Annalen der Physik*, 23 (1907), 176-178.
- Axmann (1905),  
 "Die Uviol-Quecksilberlampe", *Elektrotechnische Zeitschrift*, 26 (1905), 627-628.
- Ayrton H. (1901),  
*The electric arc*, 'The Electrician' Printing and Publishing Company, London, z. j. (waarschijnlijk 1901).
- Barends T. (1931),  
 "Intensiteitsmetingen in het argonspectrum", *Physica*, 11 (1931), 275-281.
- Bijker W. (1987),  
 "De sociale constructie van netwerken en technische systemen; nieuwe perspectieven voor de techniekgeschiedenis", *Jaarboek voor de Geschiedenis van Bedrijf en Techniek*, 4 (1987), 7-24.
- Birr K. (1957),  
*Pioneering in industrial research. The story of the General Electric research laboratory*, Washington D.C., 1957.
- Blanken I. (1977),  
*Academici en ingenieurs in dienst van de NV Philips 1899 - 1938*, Philips, Afdeling Bedrijfshistorie, Eindhoven.
- Bloch L. (1909),  
 "Fortschritte der Strassenbeleuchtung", *Elektrotechnische Zeitschrift*, 30 (1909), 727-730.
- Bloch L. (1921) (ed.),  
*Lichttechnik*, R. Oldenbourg, München, 1921.
- Bloemen E. S. A. (1977),  
*Onderzoek en ontwikkeling door het bedrijfsleven in Nederland, 1919 - 1939*, Sociologisch Instituut Leiden, afstudeerscriptie, juni 1977.
- Bloemen E. S. A. (1981),

- "Bezieling en 'esprit d'équipe'. Industriële research in Nederland in het interbellum", 153-167 in: P. Boomgaard (e.a.) *Exercities in ons verleden; 12 opstellen over de economische en sociale geschiedenis van Nederland en koloniën 1800-1950*, Van Gorcum, Assen, 1981.
- Böhme G., Daele W. van den en Krohn W. (1974),  
 "Die Finalisierung der Wissenschaft", 276-311 in: Diederich W., *Theorien der Wissenschaftsgeschichte; Beiträge zur Diachronischen Wissenschaftstheorie*, Suhrkamp Verlag, 1974.
- Bol C. (1935),  
 "Een nieuwe kwiklamp", *De Ingenieur*, 50 (1935), E91-E92.
- Bright A. A. (1972),  
*The electric-lamp industry: technological change and economic development from 1800 to 1947*, Arno Press, New York, 1972.
- Brown S. C. (1978),  
 "A short history of gaseous electronics" pag. 1-18 in: Hirsch M. N. en Oskam H. J. (Ed), *Gaseous electronics, Volume I, electrical discharges*, Academic Press, New York, San Francisco, London, 1978.
- Bussmann O. (1907),  
 "Die Quarzlampe von Dr. Küch, eine Quecksilberlampe für hohe Spannung, geringen Energieverbrauch und lange Brenndauer", *Elektrotechnische Zeitschrift*, 28 (1907), 932-936.
- Bussmann O. (1909),  
 "Die neuen Form der Quarzlampe von Dr. Küch", *Elektrotechnische Zeitschrift*, 30 (1909), 395-396.
- Buttolph L. J. (1936),  
 "High-efficiency gaseous-conduction lamps", *Electrical Engineering*, 55 (1936), 1174-1180.
- Cajori F. (1962),  
*A history of physics*, Dover Publications Inc., New York, 1962 (ongewijzigde herdruk uit 1929).
- Clark K. B. (1985),  
 "The interaction of design hierarchies and market concepts in technological evolution", *Research Policy*, 14 (1985), 235-251.
- Claude A. (1939),  
 "L' éclairage par luminescence", *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, (april 1939), 307-336. Een engelstalige samenvatting verscheen in: *Light and Lighting*, 32 (1939), 127-131.
- Claude M. G. (1910),  
 "Sur les tubes luminescents au néon", *Comptes Rendus Hebdomaires des Seances de l'Academie des Sciences*, 151 (1910), 1122-1124.
- Claude M. G. (1911),  
 "Sur les tubes luminescents au néon", *Comptes Rendus Hebdomaires des Seances de l'Academie des Sciences*, 152 (1911), 1377-1379.
- Claude M. G. (1914),  
 "Sur le rendement lumineux des tubes au néon en fonction de leur diamètre", *Comptes Rendus Hebdomaires des Seances de l'Academie des Sciences*, 152 (1914), 692-694.
- Cleaver O. P. (1940),  
 "Fluorescent lighting after two years", *Electrical Engineering*, 59 (1940), 261-266.

- Clercq G. de (1916),  
 "Techniek en universiteit", *Chemisch Weekblad*, 13 (1916), 1034-1040.
- Clercq G. de (1918),  
 "Techniek en wetenschap", *Chemisch Weekblad*, 15 (1918), 1530-1537.
- Cohen E. (1917),  
 "Quo vadimus?", *Chemisch Weekblad*, 14 (1917), 438-456.
- Compton K. T. en Langmuir I. (1930),  
 "Electrical discharges in gases, Part I, survey of fundamental processes", *Reviews of Modern Physics*, 2 (1930), 123-242.
- Cool W. (1939),  
 "TNO-Centrale Organisatie. Het 'j'accuse' van den scheidende voorzitter", *De Ingenieur*, 54 (1939), A191-A192.
- Daumas M. (1969),  
 "De geschiedenis van de techniek: onderwerp, begrenzingen en methoden", 42-57 in: Fischer (1980) (oorspronkelijke versie in: *Revue d'histoire des sciences et de leur applications*, 22 (1969), 5-32).
- Davies L. J. en Ryde J. W. (1939),  
 "The development of fluorescent discharge lamps", *Internationale Beleuchtungskommission*, 10 (1939), Vol. II, 136-150.
- Dijk-Huffnagel A. M. van (1926),  
*Het Natuurkundig Laboratorium der Rijksuniversiteit te Utrecht*, 1926, niet gepubl. (aanw. in bibl. Nat. Lab. van de RU Utrecht).
- Dijk R. van (1936),  
 "The development of public lighting practice in The Netherlands", *Light and Lighting*, 32 (1936), 277-280.
- Dorgelo E. G. (1935),  
*Temperatuurevenwicht in hooge-druk kwiklampen*, Nat. Lab. verslag 965, 23-5-1935.
- Dorgelo E. G. (1937),  
 "Watergekoelde kwiklampen", *Philips Technisch Tijdschrift*, 2 (1937), 165-172.
- Dorgelo H. B., Altling H. en Boers C. J. (1935),  
 "Electronentemperaturen in der positiven Säule in Gemischen von Neon und Argon oder Quecksilber", *Physica*, 2 (1935), 959-967.
- Dorgelo H. B. (1938),  
 "De rol der physica in de ontwikkeling der techniek", pag. 95-110 in: *Het bedrijfsleven tijdens de regeering van H. M. Koningin Wilhelmina, 1898-1938*, Frijda's Int. Uitgevers-Onderneming, Amsterdam, 1938.
- Dosi G. (1982),  
 "Technological paradigms and technological trajectories; a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change", *Research Policy*, 11 (1982), 147-162.
- Dosi G. (1984),  
*Technical change and industrial transformation: the theory and an application to the semiconductor industry*, MacMillan, 1984.
- Dresden D. (1927),  
 "Het rapport der Commissie-Went. Toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek ten dienste van het algemeen belang", *Sterkstroom*, 5 (1927), 139-140 (tevens: *De Gids*, febr. (1927)).



- Druyvesteyn M. J. (1930),  
 "De invloed der energieverliezen bij elastische botsingen in de theorie der electronendiffusie", *Physica*, 10 (1930), 61-70.
- Druyvesteyn M. J. (1930),  
 "Der Niedervoltbogen", *Zeitschrift für Physik*, 64 (1930), 781-798.
- Druyvesteyn M. J. (1932),  
 "Die Geschwindigkeitsverteilung der Elektronen in der positiven Säule", *Physikalische Zeitschrift*, 33 (1932), 856-863.
- Druyvesteyn M. J. en Penning F. M. (1940),  
 "The mechanism of electrical discharges in gases of low pressure", *Reviews of Modern Physics*, 12 (1940), 87-174.
- Druyvesteyn M. J. (1985),  
 "Mijn gasontladingsonderzoek bij Philips, 1930-1940", notitie november 1985.
- Elenbaas W. (1930),  
*Intensiteitsmetingen in het heliumspectrum*, dissertatie, Utrecht, 1930.
- Elenbaas W. (1932),  
 "Der Gradient in der positiven Quecksilbersäule", *Zeitschrift für Physik*, 78 (1932), 603-608.
- Elenbaas W. (1933),  
*Kwikbuizen*, Nat. Lab. verslag 854, 21-12-1933.
- Elenbaas W. (1934),  
 "Die Temperatur des Quecksilberbogens", *Physica*, 1 (1934), 211-224.
- Elenbaas W. (1934),  
 "Die Quecksilber-Hochdruckentladung", *Physica*, 1 (1934), 673-688.
- Elenbaas W. (1935),  
 "Die Temperaturänderung des Quecksilberbogens bei Zufügung von Kadmium", *Physica*, 2 (1935), 45-54.
- Elenbaas W. (1935),  
 "Der Gradient der Quecksilber-hochdruckentladung als Funktion des Druckes bei konstanter Stromstärke", *Physica*, 2 (1935), 155-158.
- Elenbaas W. (1935),  
 "Ähnlichkeitsgesetze der Hochdruckentladung", *Physica*, 2 (1935), 169-182.
- Elenbaas W. (1935),  
 "Ontladingen in kwikdamp van hoge druk", *De Ingenieur*, 50 (1935), E83-E90.
- Elenbaas W. (1935),  
*Kwikbuizen II*, Nat. Lab. verslag 959, 20-4-1935.
- Elenbaas W. (1939),  
 "Watercooled high pressure mercury lamps", *Proceedings CIE Congress, Vol. II*, Scheveningen, 1939, 102-107.
- Elenbaas W. (1956),  
 "De hogedrukkwiklamp 50 jaar", *Philips Technisch Tijdschrift*, 18 (1956), 135-141.
- Elenbaas W. (ed.) (1959),  
*Fluorescent lamps and lighting*, Philips' Technical Library, Eindhoven, 1959.
- Elenbaas W. (1965) (ed.),

- High pressure mercury vapour lamps and their applications, Philips Technical Library, Eindhoven, 1965.
- Elenbaas W. (1972),  
*Light Sources*, Philips, Eindhoven, 1972.
- Elzen B. (1986),  
 "Two ultracentrifuges, a comparative study of the social construction of artefacts", *Social Studies of Science*, 16 (1986), 621-662.
- Ende W. (1934),  
 "Neue Wege im Quarzlampenbau", *Elektrotechnische Zeitschrift*, 55 (1934), 853-857.
- Engel A. von (1951),  
 "A survey of recent advances in discharge physics", *Nuovo Cimento* 8 (1951), 42-53.
- Engel A. von (1955),  
*Ionised gases*, At the Clarendon Press, Oxford, 1955.
- Eswein (1912),  
 "Bericht über die XXI. Hauptversammlung der Vereinigung der Elektrizitätswerke am 11. bis 14. VI. 1912 in Kiel", *Elektrotechnische Zeitschrift*, 33 (1912), 827-829.
- Fagen M. D. (ed.) (1975),  
*A history of engineering and science in the Bell System; the early years (1875-1925)*, Bell Telephone Laboratories, Inc., 1975.
- Fischer E. J. (ed.) (1980),  
*Geschiedenis van de techniek. Inleiding, overzicht en thema's*, Martinus Nijhoff, Den Haag, 1980.
- Flügge S. (1956) (ed.),  
*Handbuch der Physik, Band XXII, Gasentladungen II*, Springer, Berlin, 1956.
- Franck J. en Hertz G., 16 (1914), 457-467,  
 "Über Zusammenstöße zwischen Elektronen und den Molekülen des Quecksilberdampfes und die Ionisierungsspannung desselben", *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*, 16 (1914), 457-467.
- Franck J. en Hertz G., 16 (1914), 512-517,  
 "Über die Erregung der Quecksilber resonanzlinie 253,6 [nm] durch Elektronenstöße", *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*, 16 (1914), 512-517.
- Franck J. en Reiche F. (1920),  
 "Über Helium und Parhelium", *Zeitschrift für Physik*, 1 (1920), 154-160.
- Gardner R. E. (1971),  
*The history of vacuum discharges 1704-1880: the intellectual origins of cathode ray controversy*, Ph. D. Thesis, Cornell University, 1971.
- Garratt A. (1978),  
*The story of the Philips Laboratory at Eindhoven*,  
 Vol. I: Part I: History of the Nat. Lab.  
 Vol. II: Part II: The events that shaped the Nat. Lab.  
 Part III: The work of the Nat. Lab.,  
 Eindhoven, PCA, 1978, niet gepubliceerd.
- Geel Chr. van (1939),  
 "Untersuchung von Gasentladungen mit Rücksicht auf ihre

- dynamischen Eigenschaften und ihre Stabilität", *Physica*, 6 (1939), 806-816.
- Geel Chr. van (1955),  
*Zelfinductie en nawerking in gasontladingen*, dissertatie, Delft, 1955.
- Gehlhoff G. (1926) (ed.),  
*Lehrbuch der technischen Physik*, Band 2, Verlag von Johann Ambrosius Barth, Leipzig, 1926.
- Gelissen H. C. J. H. (1933),  
 "Toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek en zijn beteekenis voor de industrie, alsmede voor de mogelijkheid tot werkverruiming", *Chemisch Weekblad*, 30 (1933), 468-473.
- Ginneken P. J. H. van (1923),  
 "Suikerindustrie en chemische wetenschap", *Chemisch Weekblad*, 20 (1923), 517-524.
- Girard F. (1912),  
 "Die neue Wechselstrom-Quarzlampe", *Elektrotechnische Zeitschrift*, 33 (1912), 676-678.
- Gorcum A. H. van (1935),  
 "Moving striations in neon-gas at the beginning of the discharge", *Physica*, 2 (1935), 535-540.
- Gorcum A. H. van (1936),  
 "Determination of the velocity distribution of electrons in a low pressure discharge tube", *Physica*, 3 (1936), 207-218.
- Groot W. de (1934),  
*Zink- en cadmiumbuizen voor ultraviolet licht*, Nat. Lab. verslag 882, 19-4-1934.
- Groot W. de (1935),  
 "Het emissie- en absorptiespectrum van kwikdamp bij zeer hoge drukken (tot 300 at)", *De Ingenieur*, 50 (1935), E92-E94.
- Groot W. de (1951),  
 "Wetenschappelijk onderzoek bij de NV Philips' Gloeilampenfabrieken 1891-1951", *Philips Technisch Tijdschrift*, 13 (1951), 99-143.
- Groot W. de (1954),  
 "Dr. F. M. Penning †", *Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde*, 20 (1954), 1-4.
- Gumlich E. (1897),  
 Ueber die Herstellung von Arons'schen Bogenlampen mit Amalgamfüllung", *Annalen der Physik und Chemie*, 61 (1897), 401-407.
- Hahn K. (1905),  
 "Einige Beobachtungen an der Quecksilberdampf Lampe", *Elektrotechnische Zeitschrift*, 26 (1905), 720-721.
- Harrison W. (1938),  
 "Fluorescent . . . . and other new lamp developments", *Electrical News and Engineering*, (15 nov. 1938), 25-26 en 40.
- Hamburger L. (1917),  
*Over licht-emissie door gassen en mengsels van gassen bij elektrische ontladingen*, dissertatie, Delft, 1917.
- Heerding A. (1986),  
*Geschiedenis van de N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken; deel II (1891-1922); een onderneming van vele markten thuis*, Martinus Nijhoff, Leiden, 1986.

- Heller G. (1935),  
 "Dynamical similarity laws of the mercury high pressure discharge", *Physics*, 6 (1935), 389-394.
- Heller G. (1936),  
 "De kwiklamp HP 300", *Philips Technisch Tijdschrift*, 1 (1936), 129-134.
- Heller G. (1939),  
 "Een installatie voor filmprojectie met watergekoelde kwiklampen", *Philips Technisch Tijdschrift*, 4 (1939), 2-9.
- Hermann G. en Wagener S. (1950),  
*Die Oxydkathode*, Leipzig, 1950.
- Hertz G. (1924),  
 "Über die Anregung von Spektrallinien durch Elektronenstoss, I", *Zeitschrift für Physik*, 22 (1924), 18-26.
- Hewitt P. C. (1904),  
 "Conductivity of mercury vapour", *The Electrician*, 52 (1904), 447-449.
- Hoddeson L. (1981),  
 "The emergence of basic research in the Bell System, 1875-1915", *Technology and Culture*, 22 (1981), 512-544.
- Holst G. en Koopmans A. N. (1918),  
 "De ionisatie van argon", *Verslagen Koninklijke Akademie van Wetenschappen Amsterdam*, 26 (1918), 901-907.
- Holst G. en Oosterhuis E. (1921),  
 "Over de elektrische geleiding in gassen", *Physica*, 1 (1921), 78-87.
- Holst G. en Oosterhuis E. (1923),  
 "The sparking potential of gases", *Philosophical Magazine*, 46 (1923), 1117-1122.
- Holst G. en Oosterhuis E. (1924),  
 "De laagspanningsboog", *Physica*, 4 (1924), 68-75.
- Holst G. (1938),  
 "Octrooi en research", *Economisch-Statistische Berichten*, 23 (1938), 196-200.
- Holst G. (1942),  
 reaktie op H. R. Kruyt, *Organisatie van research en voorlichting*, NIVE, publikatie nr. 213, 1942; opgenomen op pag. 31-35 van deze publikatie.
- Holst G. (1947),  
*Het belang van het fundamenteel wetenschappelijk onderzoek tegenover de technische en industriële vooruitgang*, Standaard-Boekhandel, Antwerpen, 1947.
- Homburg E. (1986),  
 "De 'Tweede Industriële Revolutie'. Een problematisch historisch concept", *Theoretische Geschiedenis*, 13 (1986), 367-385.
- Houten B. C. van (1986),  
 "Techniek-geschiedenis; een historiografische beschouwing", *Jaarboek voor de Geschiedenis van Bedrijf en Techniek*, 3 (1986), 13-42.
- Howatson A. M. (1965),  
*An introduction to gas discharges*, Pergamon Press, Oxford (e.a.), 1965.
- Höpcke O. (1938) en Thouret W.,

- "Quecksilberdampflampen hoher Leuchtdichte. Neue Lichtquellen für die Kinotechnik", *Kinotechnik*, 20 (1938), 148-152.
- Hutter J. J. (1986),  
*Laboratoria in Nederland vóór 1940*, TWIM-Dokumenten nr. 1, ISBN 90 6778 502 4, Technische Universiteit Eindhoven, Onderafdeling Wijsbegeerte en Maatschappijwetenschappen, Eindhoven, 1986.
- Hutter J. J. (1986),  
 "Nederlandse laboratoria 1860 - 1940; een kwantitatief overzicht", *Tijdschrift voor de Geschiedenis van de Geneeskunde, Natuurwetenschappen, Wiskunde en Techniek*, 9 (1986), 150-174.
- Hutter J. J. en Janssen R. J. A. A. (1987),  
 "De eerste natriumwegverlichting van Philips in 1932; een reconstructie via beoordelingscriteria", *Jaarboek voor de Geschiedenis van Bedrijf en Techniek*, 4 (1987), 228-245.
- Inman G. E. en Thayer R. N. (1938),  
 "Low-voltage fluorescent lamps", *Electrical Engineering*, 57 (1938), 245-248.
- Inman G. E. (1954),  
 "Fluorescent lamps - past, present, and future", *General Electric Review*, 57 (1954), nr. 4, 34-38.
- James F. A. J. L. (1983),  
 "The study of spark spectra, 1835-1859", *Ambix*, part 3, nov. 1983, 137-162.
- Jammer M. (1966),  
*The conceptual development of quantum mechanics*, McGraw-Hill, New York, 1966.
- Kapzow N. A. (1955),  
*Elektrische Vorgänge in Gasen und im Vakuum*, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1955.
- Kasteel Th. J. van (1957),  
 "Ontstaan en groei van TNO", pag. 1-39 in: *Een kwarteeuw TNO, 1932-1957; gedenkboek bij de voltooiing van de eerste 25 jaar werkzaamheid van de organisatie TNO*, TNO, Den Haag, 1957.
- Knight D. (1986),  
 "The birth of modern physics", 96-112 in: R. Harré, *The physical sciences since antiquity*, Croom Helm, London & Sydney, 1986.
- Kreff H. en Summerer E. (1934),  
 "Die neuen Quecksilberdampflampen und ihre Anwendung", *Das Licht*, 4 (1934), 1-5, 23-26, 86-89 en 105-108.
- Krohn W., Layton E. T. Jr. and Weingart P. (eds.) (1978),  
*The dynamics of science and technology; social values, technical norms and scientific criteria in the development of knowledge*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, 1978.
- Kruithof A. A. (1941),  
 "Buisvormige luminescentielampen voor algemeene verlichtingsdoeleinden", *Philips Technisch Tijdschrift*, 6 (1941), 65-73.
- Kruyt H. R. (1918),  
 "Samenwerking van wetenschap en industrie in Nederland", *Chemisch Weekblad*, 15 (1918), 418-426.
- Kruyt H. R. (1923),  
 "Wetenschappelijk onderzoek en algemeen belang", *Chemisch Weekblad*, 20 (1923), 541-544.
- Küch R. en Retschinsky T. (1906),

- "Photometrische und spektralphotometrische Messungen am Quecksilberlichtbogen bei hohem Dampfdruck", *Annalen der Physik*, 20 (1906), 563-583.
- Küch R. en Retschinsky T. (1907),  
 "Temperaturmessungen im Quecksilberlichtbogen der Quarzlampe", *Annalen der Physik*, 22 (1907), 595-602.
- Küppers G. (1979),  
 "Fusionsforschung - Zur Zielorientierung im Bereich der Grundlagenforschung", 287-327 in: Daele W. van den, Krohn W. en Weingart P. (ed.), *Geplante Forschung*, Suhrkamp, 1979.
- Larché K. en Reger M. (1937),  
 "Technischer Stand der Metaldampflampen für Allgemeinbeleuchtung", *Elektrotechnische Zeitschrift*, 58 (1937), 761-763, 790-793.
- Layton E. T. Jr. (1977),  
 "Conditions of the technological development", 197-222 in: Spiegel-Rösing, Solla Price (1977).
- Layton E. T. Jr. (1978),  
 "Millwrights and engineers, science, social roles, and the evolution of the turbine in America", 61-87 in: Krohn, Layton and Weingart (1978).
- Layton E. T. Jr. (1979),  
 "Scientific technology, 1845-1900: the hydraulic turbine and the origins of American industrial research", *Technology and Culture*, 20 (1979), 64-89.
- Lintsen H. en Verbong G. (1983),  
*Techniek als faktor in de industrialisatie van Nederland, 1850-1940*, interne notitie, Technische Hogeschool Eindhoven, Onderafd. Wijsbegeerte en Maatschappijwetenschappen, 1983.
- Lux H. (1928),  
 "Die Lichttechnik im Jahre 1927", *Elektrotechnische Zeitschrift*, 49 (1928), 525-527.
- Manen B. van (1934),  
 "Laufende Schichten in Neon", *Physica I*, (1934), 967-978.
- Matthews E. J. L. (1940),  
 "De menglichtlamp en andere kwiklampen met verbeterde kleurweergave", *Philips Technisch Tijdschrift*, 5 (1940), 353-359.
- Mayr O. (1976),  
 "The science-technology relationship as a historiographic problem", *Technology and Culture*, 17 (1976), 663-673.
- McDermott J. A. (1938),  
 "High-voltage gaseous and fluorescent tubes for advertising and architectural lighting", *Electrical Engineering*, 57 (1938), 286-290.
- Meinhardt W. (1932),  
*Entwicklung und Aufbau der Glühlampenindustrie*, Carl Heymanns Verlag, Berlin, 1932.
- Meissner K. W. (1925),  
 "Absorption in excited neon", *Annalen der Physik*, 76 (1925), 124-144.
- Monasch B. (1913),  
 "Die neueren elektrischen Lichtquellen", *Elektrotechnische Zeitschrift*, 34 (1913), 647-649.

- Moorman J. (1927),  
"Het doopmaal van het Fonds der Electrotechnische Industrie ter Bevordering van het Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek", *Electrotechniek*, 5 (1927), 393-398.
- Mowery D. C. (1981),  
*The emergence and growth of industrial research in American manufacturing, 1899-1945*, proefschrift, Stanford University, 1981.
- Murdoch J. B. (1985),  
*Illumination Engineering - from Edison's lamp to the laser*, MacMillan Publishing Company, New York, 1985.
- Nawijn A. (1943),  
*Het gasontladingsmechanisme van den Geiger-Müller-teller*, proefschrift, Technische Hoogeschool Delft, 1943.
- Nelson R. R. en Winter S. G. (1977),  
"In search of a useful theory of innovation", *Research Policy*, 6 (1977), 36-76.
- Nelson R. R. en Winter S. G. (1982),  
*An evolutionary theory of economic change*, Cambridge (Mass.) en London, 1982.
- Neuburger A. (1914),  
"Edelgas-Beleuchtung", *Licht und Lampe*, (1914), 265-268.
- Nieuwenburg C. J. van (1920),  
"De nationale organisatie van wetenschappelijk-technisch werk", *Chemisch Weekblad*, 17 (1920), 70-75.
- Noble D. F. (1979),  
*America by design; science, technology, and the rise of corporate capitalism*, Oxford University Press, 1979.
- Noel E. B. en Farnham R. E. (1938),  
"A water-cooled quartz mercury arc", *Journal of the Society of Motion Picture Engineers* (sept. 1938), 221-239.
- Norden (1921),  
"Die Cooper Hewitt-Quarzlampe und ihre Spektralverhältnisse", *Elektrotechnische Zeitschrift*, 42 (1921), 629.
- Oosterhoff J. L. (1984),  
"De opkomst van een 'Vaderlandsche Natuurkunde' aan de Leidse Universiteit in de tweede helft van de negentiende eeuw", pag. 103-124 in: W. Otterspeer (ed.), *Een universiteit herleeft; Wetenschapsbeoefening aan de Leidse Universiteit vanaf de tweede helft van de negentiende eeuw*, E. J. Brill/Universitaire Pers Leiden, Leiden, 1984.
- Oosterhuis E., Penning F. M. en Zecher G. (1935),  
*Metingen betreffende de ontsteking van een kwiklichtbuis met neon resp. neon-kryptonvulling*, Nat. Lab. verslag 1002, 25-10-1935.
- Oosterkamp W. J. (1933),  
"Loopende striae in Neon", *Physica*, 13 (1933), 51-60.
- Oranje P. J. (1942),  
*Gasontladingslampen*, Meulenhoff & Co, Amsterdam, 1942.
- Ornstein L. S. (1926),  
"Techniek en wetenschap, hun samenwerking aan de universiteit", *Sterkstroom*, 4 (1926), 51-52.
- Ornstein L. S. (1927),  
"Daadwerkelijke samenwerking", *Sterkstroom*, 5 (1927), 79.

- Pair C. le en Volger J. (1982) (ed.),  
*Physics in The Netherlands; a selection of Dutch contributions in the first 30 years after the Second World War*, Volume II, FOM, Utrecht, 1982.
- Penning F. M. (1926),  
 "Abnormale electronensnelheden en trillingen van zeer hoge frequentie in ontladingsbuizen", *Physica*, 6 (1926), 241-248.
- Penning F. M. (1930),  
 Aanslag en ionisatie van kwikatomen in blauwe lichtbuizen, Nat. Lab. verslag 447, 6-1-1930.
- Penning F. M. (1933),  
 De intensiteit van het kwikspectrum, in zuilen van Ne-Hg en Ne-Ar-Hg, Nat. Lab. verslag 844, 15-11-1933.
- Penning F. M. (1934),  
 "Anregung und Ionisierung von Quecksilberatomen in Edelgas-Quecksilber-Säulen", *Physica*, 1 (1934), 763-769.
- Penning F. M. (1937),  
 "Manometers voor lage gasdrukken", *Philips Technisch Tijdschrift*, 2 (1937), 201-208.
- Penning F. M. (1957),  
*Elektrische Gasentladungslampen*, Philips' Technische Bibliothek, Eindhoven, 1957.
- Pieterse M. (ed.) (1981),  
*Het technisch labyrint; een maatschappijgeschiedenis van drie industriële revoluties*, Boom Meppel, Amsterdam, 1981.
- Pinch T. J. en Bijker W. E. (1984),  
 "The social construction of facts and artefacts: or how the sociology of science and the sociology of technology might benefit each other", *Social Studies of Science*, 14 (1984), 399-441.
- Pirani M. (1932),  
 "Neue Gasentladungsstrahler", pag. 33-42 in: *Technisch-wissenschaftliche Abhandlungen aus dem Osram-Konzern*, 2. Band, Julius Springer, Berlin, 1931.
- Poggendorf J. C. (1925/26),  
*Biographisch-literarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exakten Wissenschaften*, deel V, 1925/26.
- Polak J. (1907),  
 "Der Quecksilber-lichtbogen und seine technische Verwendung", *Elektrotechnische Zeitschrift*, 28 (1907), 599-603, 651-656 en 733-738.
- Prins H. J. (1918),  
 "Wetenschap en techniek", *Chemisch Weekblad*, 15 (1918). 1662-1664.
- Recklinghausen M. von (1902),  
 "Über die Quecksilberdampf-Lampe von P. C. Hewitt", *Elektrotechnische Zeitschrift*, 23 (1902), 492-496.
- Recklinghausen M. von (1904),  
 "Die Quecksilberlampe und sonstige Quecksilber-Vakuum-apparate", *Elektrotechnische Zeitschrift*, 25 (1904), 1102-1107.
- Reich L. S. (1977),  
*Radio electronics and the development of industrial research in the Bell System*, dissertatie, John Hopkins University, 1977.
- Reich L. S. (1985),



- The making of American industrial research, science and business at GE and Bell, 1876-1926*, Cambridge University Press, Cambridge, 1985.
- Rip A. (1980),  
*Wetenschap als mensenwerk*, Ambo, Baarn, 2e druk, 1980.
- Rip A. en Belt H. van den (1984),  
*Technologie-ontwikkeling: het Nelson-Winter/Dosi-model*, Leids Instituut voor Sociaal Beleidsonderzoek, Rijksuniversiteit Leiden, Leiden, 1984.
- Rosenberg N. (1982),  
*Inside the black box: technology and economics*, Cambridge University Press, 1982.
- Russo A. (1981),  
"Fundamental research at Bell laboratories: the discovery of electron diffraction", *Historical Studies in the Physical Sciences*, 12 (1981), 117-160.
- Ryde J. W. (1933),  
"Electric discharge lamps", *The Electrical Review*, 113 (1933), 583-584.
- Sande Bakhuyzen W. H. van de, Bruynes J., Oosterhuis E. en Zecher G. (1934),  
*Beobachtungen des Zündvorgangs einer Quecksilberleuchtöhre mit Neon - bzw. Neon-Argon-füllung*, Nat. Lab. verslag 807, 28-7-1934.
- Seeliger R. (1930),  
"Das Eingreifen der Atomphysik in die technische Anwendung der Gasentladungen", *Zeitschrift für technische Physik*, 11 (1930), 438-443.
- Skolimowski H. (1966),  
"The structure of thinking in technology", *Technology and Culture*, 7 (1966), 72-85.
- Smit J. A. (1936),  
"Berechnung der Geschwindigkeitsverteilung der Elektronen bei Gasentladungen in Helium", *Physica*, 3 (1936), 543-560.
- Smit J. A. (1950),  
*Het verkrijgen en meten van constante hoge temperaturen (tot ca. 7000 °K)*, dissertatie, Utrecht, 1950.
- Smit J. A. (z.j.),  
lezing over de geschiedenis van het atoomfysisch onderzoek te Utrecht in deze eeuw tot ± 1970, ongepubl., z.j.
- Smith A. V. (1934),  
"115-Volt mercury-vapor lamp proves highly efficient", *Electrical World*, 103 (1934), 724-727.
- Spiegel-Rösing I. en Solla Price D. (1977),  
*Science, technology and society*, SAGE Publications, London/Beverly Hills, 1977.
- Steinhaus A. (1913),  
"Elektrische Beleuchtung", *Elektrotechnische Zeitschrift*, 34 (1913), 348-349.
- Stöckel H. (1936),  
"Die Wirtschaftlichkeit von Quecksilberdampfbeleuchtung", *Elektrotechnische Zeitschrift*, 57 (1936), 593-594.
- Straub J. (1932),  
"Nieuwe wetenschap voor oude bedrijven", *Chemisch Weekblad*, 29

- (1932), 146-150.
- Sweers B. M. (1941),  
 "Toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek ten behoeve van de  
 Nederlandsche nijverheid", *Economisch-Statistische Berichten*, 26  
 (1941), 378-381.
- Thomson J. J. en Thomson G. P. (1928),  
*Conduction of electricity through gases, Volume I, general pro-  
 perties of ions, ionisation by heat and light*, Dover Publica-  
 tions, New York, 1969; ongewijzigde herduk van de derde druk uit  
 1928.
- Thomson J. J. en Thomson G. P. (1933),  
*Conduction of electricity through gases, Volume II, ionisation  
 by collision and the gaseous discharge*, Dover Publications, New  
 York, 1969; ongewijzigde herdruk van de derde druk uit 1933.
- Uyterhoeven W. (1938),  
*Elektrische Gasentladungslampen*, Verlag von Julius Springer,  
 Berlin, 1938.
- Verburg C. (1940),  
*Radiostoringen door lange gasontladingslampen*, Nat. Lab. verslag  
 1473, 9-1-1940.
- Vergragt P. J. (1985),  
 "The social construction of industrial innovations", paper voor  
 de Social Studies of Science and Society Conference; Troy N.Y.,  
 Verenigde Staten, 24-27 oktober 1985.
- Verhagen C. J. D. M. (1941),  
 "Impedanzmessungen an Gasentladungsröhren", *Physica*, 8 (1941),  
 361-376.
- Verhagen C. J. D. M. (1942),  
*Theorie en metingen over de impedantie en de stabiliteit van  
 gasontladingen*, dissertatie, Delft, 1942.
- Vincenti W. G. (1979),  
 "The air-propeller tests of W. F. Durand and E. P. Lesley: a  
 case study in technological methodology", *Technology and Cul-  
 ture*, 20 (1979), 712-751.
- Vincenti W. G. (1982),  
 "Control-volume analysis: a difference in thinking between  
 engineering and physics", *Technology and Culture*, 23 (1982),  
 145-174.
- Vincenti W. G. (1984),  
 "Technical knowledge without science: the innovation of flush  
 riveting in American airplanes, ca. 1930 - ca. 1950", *Technology  
 and Culture*, 25 (1984), 540-576.
- Vincenti W. G. (1986),  
 "The Davis wing and the problem of airfoil design: uncertainty  
 and growth in engineering knowledge", *Technology and Culture*, 27  
 (1986), 717-758.
- Vogel O. (1907),  
*Die Metalldampflampen mit besonderer Berücksichtigung der Queck-  
 silberdampflampen*, Verlag von O. Leiner, Leipzig, 1907.
- Vosmaer A. (1913),  
 "Iets over techniek en wetenschap", *Chemisch Weekblad*, 10  
 (1913), 142-147.
- Vries Joh. de (1977),

- De Nederlandse economie tijdens de 20-ste eeuw*, Haarlem, 1977.
- Vries Joh. de (1979),  
 "Het economisch leven in Nederland 1918-1940", 102-145 in: *Algemene geschiedenis van Nederland, deel 14*, (1979).
- Watson (1961),  
*The jubilee of the neon glow lamp, 1911-1961*, z. p., 1961.
- Weeder P. en Kester D. (1982),  
 "Variatie en selectie: de constructie van een industrieel produkt. Het geval Tenax", *Kennis en Methode*, 6 (1982), 221-251.
- Weintraub E. (1904),  
 "Investigation of the arc in metallic vapours in an exhausted space", *Philosophical Magazine*, 7 (1904), 95-124.
- Whittaker E. (1973),  
*A history of the theories of aether and electricity; the modern theories, 1900-1926*, Humanities Press, New York, 1973.
- Wickenden W. E. (1910),  
*Illumination and Photometry*, McGraw-Hill, New York, 1910.
- Wise G. (1980),  
 "A new pole for professional scientists in industry: industrial research at General Electric, 1900-1916", *Technology and Culture*, 21 (1980), 408-429.
- Wise G. (1985),  
*Willes R. Whitney, General Electric, and the origins of U.S. industrial research*, Columbia University Press, New York, 1985.
- Wolfke M. (1912),  
 "Über eine neue Metallampflampe mit weissem Licht", *Elektrotechnische Zeitschrift*, 33 (1912), 917-919.
- Zecher G. (1926),  
 Over blauwe lichtbuizen, Nat. Lab. verslag 106, 31-1-1926.
- Zecher G. (1926),  
 Onderzoek aan blauwe lichtbuizen met Argon-Neonmengsels, Nat. Lab. verslag 120, 27-5-1926.
- Zecher G. (1932),  
 Reclamelichtbuizen op netspanning, Nat. Lab. verslag 670, 30-1-1932.
- Zecher G. (1934),  
 Invloed van argonbismengsels op de doorslagspanning van lichtbuizen, Nat. Lab. verslag 874, 24-3-1934.
- Zecher G. (1934),  
 Beobachtungen des Zündvorgangs einer Quecksilberleuchtröhre mit Neon-Heliumfüllung vor und nach Argonzusatz, Nat. Lab. verslag 881, 13-4-1934.
- Zecher G. (1934),  
 Beobachtungen des Zündvorgangs einer Quecksilberleuchtröhre mit Neonfüllung vor und nach Argonzusatz von 35 Prozent, Nat. Lab. verslag 900, 6-7-1934.
- Zecher G. (1935),  
 De lichtsterkte van fluorescentiebuizen, Nat. Lab. verslag 1024, 21-12-1935.
- Zecher G. (1936),  
 Het gedrag van heldere, gekleurde en fluoresceerende glassoorten in kwiklichtbuizen, Nat. Lab. verslag 1071, 12-6-1936.
- Zecher G. (1936),

## REFERENTIES

---

- Het gedrag van fluoresceerende poeders in kwiklichtbuizen*, Nat. Lab. verslag 1096, 19-8-1936.
- Zecher G. (1936),  
*Verhooging van het rendement van verschillende soorten kwiklampen door fluorescentie*, Nat. Lab. verslag 1103, 4-11-1936.
- Zecher G. (1936),  
*De combinatie van fluoresceerend poeder en fluoresceerend glas in kwiklichtbuizen*, Nat. Lab. verslag 1127, 19-11-1936.
- Zecher G. (1936),  
*Wit menglicht uit superhoogedruk kwik-, fluorescentie- en Neonlicht*, Nat. Lab. verslag 1137, 31-12-1936.
- Zecher G. (1937),  
*Lagedruk kwikbuis met fluorescentielicht voor directe netaansluiting*, Nat. Lab. verslag 1144, 4-2-1937.
- Zecher G. (1938),  
*Automatische ontsteking van gasontladingsbuizen (vooral met het oog op de lage druk-kwikzuil)*, Nat. Lab. verslag 1308, 14-7-1938.
- Zernike F. (1941),  
*"Ornsteins levenswerk"*, *Nederlandsch Tijdschrift voor Natuurkunde*, 8 (1941), 253-265.
- Zwikker C. (1929),  
*"De electronen-emissie van metaaloppervlakken"*, *Physica*, 9 (1929), 321-330.

STELLINGEN BIJ:

TOEPASSINGSGERICHT ONDERZOEK IN DE INDUSTRIE;  
DE ONTWIKKELING VAN KWIKDAMPLAMPEN  
BIJ PHILIPS, 1900-1940.

PROEFSCHRIFT

DOOR J. J. HUTTER

De tegenstelling tussen 'interne' en 'externe' techniekgeschiedenis is een schijntegenstelling. Door gebruik te maken van de begrippen 'belanghebbenden', 'beoordelingskriteria' en 'normen' kan deze tegenstelling worden opgeheven.

Dit proefschrift, hoofdstuk X §3.

Het begrip 'verwetenschappelijking van de techniek' verwijst niet alleen naar de opkomst van toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek in de industrie, maar tevens naar een verandering in de wijze waarop artefakten tot stand komen, waarbij met name de invloed van fundamenteel gericht onderzoek in de loop van de tijd toeneemt.

Dit proefschrift, hoofdstuk X §2.

Pogingen van economen om in innovatiestudies de 'black box' te openen dienen te worden ondersteund. Het blijkt voor hen echter niet eenvoudig te zijn om de invloed van natuurwetenschappelijk onderzoek op de ontwikkeling van artefakten op adequate wijze in hun onderzoek te betrekken.

G. Dosi, "Technological paradigms and technological trajectories; a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change", *Research Policy*, 11 (1982), 147-162.

R. R. Nelson en S. G. Winter, "In search of a useful theory of innovation", *Research Policy*, 6 (1977), 36-76.

De suggestie die uit sommige fysika-leerboeken spreekt, als zouden J. Franck en G. Hertz met hun botsingsproeven uit 1913 en 1914 ondersteuning hebben willen verlenen aan het nieuwe atoommodel van Bohr, is onjuist; zij waren geïnteresseerd in een experimentele toetsing van de these, dat energieoverdracht bij botsingen tussen elektronen en atomen gekwantiseerd plaatsvindt in energiepakketjes ter grootte van een geheel aantal malen h.f, waarbij zij de waarde van h (de konstante van Planck) experimenteel wilden bepalen.

- M. Alonso en E. J. Finn (1973), *Fundamentele natuurkunde*, 4. *Quantumfysica*, AGON Elsevier, Amsterdam, tweede druk, 1973.
- J. Franck en G. Hertz, "Über Zusammenstöße zwischen Elektronen und den Molekülen des Quecksilberdampfes und die Ionisierungsspannung desselben", *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*, 16 (1914), 457-467.
- J. Franck en G. Hertz, "Über die Erregung der Quecksilberresonanzlinie 253,6 [nm] durch Elektronenstöße", *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*, 16 (1914), 512-517.

Het is niet terecht dat de gasontladingsfysika geen onderdeel uitmaakt van de geschiedschrijving van de fysika. Reeds uit vooroorlogse publikaties blijkt, dat dit vakgebied niet alleen toepassingsgericht, maar ook fundamenteel van aard was.

- S. G. Brush en L. Belloni, *The history of modern physics: an international bibliography*, Garland, London, 1983.
- R. Seeliger, "Das Eingreifen der Atomphysik in die technische Anwendung der Gasentladungen", *Zeitschrift für technische Physik*, 11 (1930), 438-443.

G. Küppers wekt ten onrechte de indruk, dat de ontwikkeling van gasontladingsartefakten pas kon profiteren van kennis uit de gasontladingsfysika, nadat het onderzoek in dit vakgebied in de jaren twintig van deze eeuw een zekere afronding zou hebben ondergaan.

- G. Küppers, "Fusionsforschung - Zur Zielorientierung im Bereich der Grundlagenforschung", 287-327 in: W. van den Daele, W. Krohn en P. Weingart (ed.), *Geplante Forschung*, Suhrkamp, 1979.

Volgens het woordenboek is 'T.L.-buis' of 'T.L.-lamp' afgeleid van het Franse begrip: 'tube luminescent'; waarschijnlijk is dit historisch onjuist: TL is een alleen door Philips gebezigde handelsnaam, die is ontstaan doordat Philips van zijn 'HTL'-hoogspanningsfluorescentielampen (high tension luminescence) de 'H' schrapte, toen het gelukt was fluorescentielampen voor laagspanning te vervaardigen.

Dit proefschrift, pagina 212 - 213.

Het uitgangspunt van de theorie van 'Social Construction of Technology' (SCOT), dat door W. Bijker wordt samengevat in de slogan: "alles is sociaal", is onhoudbaar.

W. Bijker, "De sociale constructie van netwerken en technische systemen; nieuwe perspectieven voor de techniekgeschiedenis", *Jaarboek voor de Geschiedenis van Bedrijf en Techniek*, 4 (1987), 7-24.

De huidige politieke onrust onder verscheidene bevolkingen van de Sovjet Unie is enerzijds een uiting van en steun aan Gorbatsjovs politiek van perestrojka en glasnost, maar is anderzijds een mogelijke doodsteek voor deze politiek.

Het taalgebruik in kollegediktaten van huidige universitaire medewerkers demonstreert maar al te vaak, dat de regelmatig gehoorde klacht, dat de taalvaardigheid van de huidige generatie studenten zo veel slechter is dan die van vroegere generaties, niet zonder meer juist is.

In tegenstelling tot hetgeen de huidige praktijk in de wetenschappelijke gemeenschap doet vermoeden, is het voor wetenschappers geen blamage om, ook anders dan tijdens officiële toespraken, studenten en kollega's een gericht compliment te geven.



## Curriculum vitae.

Jacobus Johannes Hutter werd geboren op 17 april 1956 te Amsterdam. In 1974 behaalde hij het Gymnasium-B diploma aan het Christelijk Lyceum te Alkmaar. In 1982 sloot hij 'cum laude' een studie tot elektrotechnisch ingenieur af aan de Technische Hogeschool Twente. Zijn doktoraalonderzoek was gericht op de gevolgen voor mikrocomputers van de elektromagnetische puls (EMP) die ontstaat bij kernexplosies. Na enkele tijdelijke aanstellingen bij de afdeling Informatica i.o. van de Technische Hogeschool Twente kreeg hij in 1984 de gelegenheid om aan de Technische Hogeschool Eindhoven een proefschrift voor te bereiden over de historie van toepassingsgericht natuurwetenschappelijk onderzoek in Nederland tot 1940. Momenteel is hij werkzaam bij de Octrooiraad in Rijswijk.