



Electrische en optische eigenschappen van homogene ijzer-koolstof- en koper-koolstofmengsels in gelijkstroom-boogontlading

<https://hdl.handle.net/1874/283657>

4.94.192,

ELECTRISCHE EN OPTISCHE
EIGENSCHAPPEN VAN HOMOGENE
IJZER-KOOLSTOF- EN KOPER-KOOL-
STOFMENGSELS IN GELIJKSTROOM-
BOOGONTLADING.



J. H. REINIERS Jr.

ss.
echt
1924

ELECTRISCHE EN OPTISCHE EIGENSCHAPPEN
VAN HOMOGENE IJZER- KOOLSTOF- EN KOPER-
KOOLSTOFMENGSELS IN GELIJKSTROOM-
BOOGONTLADING.

Diss. Utrecht 1925

ELECTRISCHE EN OPTISCHE
EIGENSCHAPPEN VAN HOMOGENE
IJZER-KOOLSTOF- EN KOPER-KOOL-
STOFMENGSELS IN GELIJKSTROOM-
BOOGONTLADING.

ACADEMISCH PROEFSCHRIFT
TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN
DOCTOR IN DE WIS- EN NATUURKUNDE
AAN DE RIJKS-UNIVERSITEIT TE UTRECHT,
OP GEZAG VAN DEN RECTOR-MAGNIFICUS
DR. H. F. NIERSTRASZ, HOOGLEERAAR IN DE
FACULTEIT DER WIS- EN NATUURKUNDE,
VOLGENS HET BESLUIT VAN DEN SENAA
DER UNIVERSITEIT, TEGEN DE BEDENKIN-
GEN VAN DE FACULTEIT DER WIS- EN
NATUURKUNDE TE VERDEDIGEN OP MAAN-
DAG 29 JUNI 1925, DES NAMIDDAGS VIER UUR,

DOOR

JAN HENDRIK REINIERS Jr.

GEBOREN TE AMSTERDAM.



W. E. J. TJEENK WILLINK, ZWOLLE.

MCMXXV

RIJKSUNIVERSITEIT TE UTRECHT



1903 0349

AAN MIJNE OUDERS
EN
AAN DE NAGEDACHTENIS VAN
PROF. DR. W. H. JULIUS.

Bij het eindigen van mijn academischen studietijd, breng ik allen, die tot mijn wetenschappelijke vorming hebben bijgedragen, mijn dank. In het bijzonder geldt dit U, Hooggeleerde Korteweg en de Vries. Uw heldere en boeiende colleges en de belangstelling uwerzijds ondervonden, zoowel binnen als buiten de collegezaal, blijven voor mij onvergetelijk.

Met eerbied denk ik terug aan mijn ontslapen Leermeester, Prof. Dr. W. H. Julius. De jaren, waarin ik het voorrecht had onder zijn leiding op het Heliophysisch Instituut mijn experimenteelen arbeid te verrichten, zijn wenken, hulp en opwekking bij ondervonden tegenslagen en de vele gesprekken, die ik, vooral bij het bewerken van een groot deel van mijn proefschrift, in zijn studeerkamer met hem mocht hebben, laten de aangenaamste herinneringen bij mij achter.

Nu het mij niet gegeven is, wijlen Prof. Julius mijn promotor te mogen noemen, stel ik, Hooggeleerde Ornstein, Hooggeachte Promotor, de bereidwilligheid, waarmede gij die taak op U genomen hebt, en de belangrijke wenken, welke ik uwerzijds nog mocht ontvangen, zeer op prijs. Ook was de wijze, waarop gij de verbouwing van het Physisch Laboratorium geleid hebt, waardoor ik in staat gesteld werd alle definitieve proeven tot een goed einde te brengen, een niet te onderschatten voordeel voor mij.

Zeer Geleerde Minnaert, de hulp en vriendschap, die ik voortdurend uwerzijds heb mogen ondervinden, waar-

—

deer ik ten zeerste. De gedachte, met U als vriend in aanraking te mogen blijven, is mij zeer aangenaam.

Geachte Polman, ik ben U erkentelijk voor de bereidwilligheid, waarmede en de wijze, waarop gij de talrijke analyses geheel belangeloos in uw vrijen tijd voor mij verricht hebt.

Tenslotte mijn dank aan allen, met wien ik in het Fysisch Laboratorium in aanraking ben geweest en op wier hulp ik nooit te vergeefs een beroep deed.

INHOUD.

	bladz.
Inleiding	1
HOOFDSTUK I. Het materiaal der electroden en hun vervaardiging	5
HOOFDSTUK II. Het gedrag der ijzer-koolstof- en koper-koolstofmengsels in den boog	12
De karakteristieken der meng- sels; Watt-ampère- en Watt- lengte-curven	14
HOOFDSTUK III. Het medium, waarin de boog brandt	30
Het gedrag van de verschillende deelen van den lichtboog	33
Het koolstofspectrum, alsmede dat van ijzer	36
Het rooster en het oplossend vermogen	38
De opstelling der proeven	41
HOOFDSTUK IV. De intensiteitsmetingen	43
Fouten in de nauwkeurigheid der resultaten	58
De invloed van de stroomsterkte op de intensiteit	60
Conclusies	64
HOOFDSTUK V. Iets over de cyaanbanden	66
Samenvatting	69

ERRATA.

In fig. 4 behoort bij de bovenste kromme te staan:
 $l = 5$ m.m., bij de middelste, $l = 3$ m.m. en bij de
onderste, $l = 1$ m.m.

INLEIDING.

Ons onderzoek heeft zijn oorsprong te danken aan een tegenstrijdigheid, die tot nog toe in de litteratuur der spectroscopie scheen te bestaan.

In een verhandeling over het spectrum van den boog tusschen koolstaven, zegt KAYSER ¹⁾, „Die Kohlebanden werden glücklicherweise geschwächt, wenn man Metalle in den Bogen einführt, bei manchen Metalle sehr bedeutend. Die Angabe von SNOW ²⁾ aber, die Banden verschwänden bei Einführung der Alkaliën vollständig, ist ganz falsch. Ebenso falsch ist die Angabe von TROWBRIDGE ³⁾, dasz wenn die Kohlen 30% Fe enthielten, die Kohlebanden verschwänden. Selbst im Bogen zwischen zwei Eisenstäben genügen die Spuren von Kohle im Eisen, um Spuren der Banden erscheinen zu lassen”.

Ook SIMON ⁴⁾ zegt in een samenvattend artikel over den lichtboog, dat het invoeren van metalen in den koolboog het bandenspectrum terugdringt, doch dat anderzijds electroden van gewoon ijzer, door hun koolstofgehalte, eveneens het bandenspectrum vertoonen. TROWBRIDGE onderzocht het spectrum van homogene ijzer-koolstofelectroden in boogontlading op den „koolstofband” bij λ 3883, 7 Å E. Naar aanleiding hiervan schrijft hij letterlijk: „It was speedily seen that from 28 to 30 per cent of iron in combination with 72 to 70

¹⁾ KAYSER, Handb. d. Spectrosc., Bnd. I; bladz. 167.

²⁾ SNOW, Wiedem. Ann. d. Phys. **47**. 1892. bladz. 208—251.

³⁾ TROWBRIDGE, Phil. Mag. **41**. 1896. bladz. 450.

⁴⁾ SIMON, Der Lichtbogen. Handbuch der Naturwissenschaften; Bnd VI, bladz. 212.

percent of carbon, *almost* * completely obliterated the peculiar banded spectrum of carbon."

Op den keper beschouwd is de wijze, waarop KAYSER de gevolgtrekking van TROWBRIDGE aanhaalt, onjuist.

De bedoeling van KAYSER is wellicht geweest, te doen uitkomen, dat de koolstofbanden wel is waar verzwakt worden, doch hun structuur als zoodanig behouden bij de aanwezigheid van metalen in den koolboog.

Hoe dit ook zij, het kon loonend zijn, de proeven van TROWBRIDGE te herhalen en uit te breiden over de andere „cyaanbanden" en de onbetwiste koolstofbanden; vooral nu de fundamenteele proeven en verhandelingen van FRANCK en HERTZ ¹⁾ bewezen hebben, dat het spectrum van gasmengsels geen additieve eigenschappen bezit, doch dat het gas, met de kleinste ioniseeringsspanning, het sterkste spectrum geeft, en er wel degelijk onderdrukking van het spectrum van den eenen component door dat van den anderen kan optreden. Daarbij komt nog, dat — voor zoover mij bekend is — er geen systematische, quantitative metingen gedaan zijn met betrekking tot het spectrum van homogeen gemengde elektroden in gelijkstroom-boogontlading.

Slechts hier en daar vindt men er iets over in de litteratuur.

In het reeds genoemde onderzoek van SNOW gaat deze experimentator langs bolometrischen weg de energieverdeeling na in het spectrum der alkaliën. Daartoe brengt hij in uitgeholde koolstaven het te onderzoeken zout. (Na Cl, K Cl, Li Cl, Co Cl en Rb Cl).

* Cursiveering van mij.

¹⁾ J. FRANCK en G. HERTZ, Ber. Physik. Gesellsch.; **8**. 1916, bld. 213; **15**. 1913; **9**. 1913, bladz. 373; **20**. 1913, bladz. 129. Zie ook b.v. COLLIE en RAMSAY, Proc. Roy. Soc., London **59**. 1896, bladz. 257, en L. HAMBURGER, Over lichtemissie door gasen en mengsels van gasen bij elektrische ontladingen, 1917.

Hij komt dan tot de conclusie, dat de genoemde zouten het koolstofspectrum geheel onderdrukken en alleen de zuivere metaalspectra optreden, indien *beide* elektroden van het zout voorzien zijn; daarentegen vertoont een homogene koolkathode tegenover een met het zout gevulde koolanode het koolstofspectrum aan de kathode. LENARD ¹⁾ komt tot de gevolgtrekking, dat de aanwezigheid van Li de koolbanden in de kern van de boogvlam doet verdwijnen en den cyaanband λ 4216 verzwakt, in vele gevallen zelfs geheel onderdrukt. BERTHOLD ²⁾ constateert hetzelfde. Het Li-zout brengt hij in den boog door de onderste koolectrode te doorboren en hierin een passende koolstaaf, gedrenkt met het te onderzoeken zout, in de vlam te schuiven. Het Li-zout dringt den „stikstofband” naar de anode terug; tenslotte verdwijnt de band geheel. Koper, aluminium en messing zijn volgens hem niet in staat de kool- en stikstofbanden te verdringen.

KING ³⁾ onderzoekt mengsels van $K + Ca$, $K + Sr$, $Ca + Sr$, enz. en neemt waar, dat het metaal met de laagste ionisatiespanning het spectrum van dat met de hoogste ionisatiespanning onderdrukt.

Al deze waarnemingen zijn slechts kwalitatieve. Bovendien worden de componenten niet gelijkwaardig behandeld bij het ontladingsproces. De eene component wordt in den boog gebracht, als de andere reeds aan de ontlading deelneemt; het inbrengen van een metaalzout veroorzaakt complicaties, daar men het aantal bestanddeelen hierdoor verhoogt, wat ongetwijfeld invloed moet hebben. Men ontgaat echter deze moeilijkheid door de bestanddeelen homogeen te mengen en uit dat mengsel

¹⁾ P. LENARD, Ann. d. Phys. (4) **11**. 1903. bladz. 636—650.

²⁾ C. BERTHOLD, Physik. Zeitschr, **8**. 1922.

³⁾ A. S. KING, Astrophys. Journ. **55**. June 1922, bladz. 380—390.

de electroden te vervaardigen. Aan deze voorwaarde werd wel voldaan bij het onderzoek van TROWBRIDGE, doch deze onderzoeker is onvolledig in zijn mededeelingen, zoodat zijn conclusie aan waarde verliest. Immers het al of niet constateeren van een bepaalde frequentie langs fotografischen weg, (en dit is, wat betreft het onzichtbare deel van een spectrum het eenige middel, tenzij men den bolometer, de thermozuil of de photocel gebruikt) hangt af van tweeërlei omstandigheden, namelijk, wat de aanwezigheid in den boog betreft van:

- a. het materiaal, waaruit de electroden vervaardigd zijn;
 - b. de wijze, waarop de bestanddeelen in den boog gebracht worden;
 - c. de omstandigheden, waaronder de ontlading tot stand komt (electrische data, druk, temperatuur);
 - d. het medium, waarin de boog brandt;
 - e. het gedeelte van den boog, dat onderzocht wordt;
- en verder, wat de waarneming langs fotografischen weg betreft, van:

hetgeen er gebeurt met de stralen, voor deze de fotografische plaat bereiken;

de platensoort, den expositietijd en de ontwikkeling.

Bovengenoemde factoren zullen we eerst aan een korte beschouwing onderwerpen, want eerst daarna kan het probleem scherp gesteld worden.

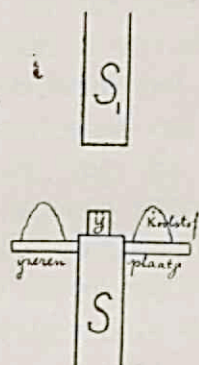


Fig. 1.



Fig. 2.

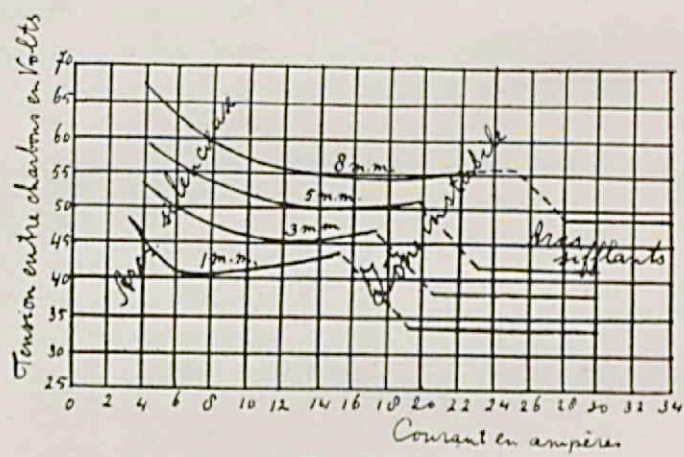


Fig. 3.

HOOFDSTUK I.

Het materiaal der electroden en hun vervaardiging.

De eerste weg, welken ik insloeg, om ijzer-koolstof-electroden te vervaardigen, was de volgende.

Op een ijzeren anode S wordt een stukje ijzer ij gelegd en een boogontlading te weeg gebracht tusschen 't stukje ijzer en de ijzeren kathode S_1 , (fig. 1).

Zoodra de boog aangezet en 't stukje ijzer gesmolten is, brandt de boog rustig. (boog van PFUND¹⁾).

Op een ijzeren plaatje, dat om de anode sluit, wordt nu een wal van fijnverdeelde koolstof om het stukje ijzer gelegd. Schuift men daarna voorzichtig de koolstof in den ijzerdruppel, dan ziet men duidelijk koolstof-slieren zich bewegen van den basis van den druppel naar het aangrijpingspunt van den boog. Tegelijkertijd gaat de min of meer ellipsoïdische vorm van den ijzerdruppel in den bolvorm over, waarna hij, met toenemend koolstofgehalte, steeds platter wordt. Slechts tot een bepaalde grens laat de koolstof zich onder de gegeven omstandigheden in den ijzerdruppel brengen, al schijnt het mij niet onmogelijk toe, dat door verhooging van de

¹⁾ Feitelijk is dit niet geheel juist. PFUND schrijft een stukje ijzeroxyd op de anode voor. SCHULZE, Ann. d. Phys. (4) **12**, 1903, bladz. 828, heeft echter aangetoond, dat zich bij deze methode op 't ijzer een oxydkap kan vormen in den boog. (Naar mijn meening doet ijzer, zonder oxydkapje, het even goed).

*

stroomsterkte het koolstofgehalte op te voeren zou zijn¹⁾).

De scheikundige ontleding gaf minstens 75 % Fe gehalte in dergelijke „ijzer-koolstofdruppels”, dus ver boven de percentages, waarmede TROWBRIDGE werkte.

Deze „druppels” vertoonen een puntvormige uitholling ter plaatse, waar de vlam aangegrepen heeft. Zij zijn licht, vrij gemakkelijk deelbaar en zwart glanzend op den breuk. Het hier beschreven proces verloopt het best door gebruik te maken van onzuiver ijzer b.v. een stuk van een spijker; zuiver ijzerpoeder leent zich zeer moeielijk hiertoe; dit toch springt veelal in een vonkenregen van de anode af. Toch is 't mij wel gelukt, ook hiermede „ijzer-koolstofdruppels” te vormen. In verband evenwel met het zeer hoge ijzergehalte heb ik van deze bereidingswijze moeten afzien. (Zie voor het electrisch en spectroscopisch gedrag der druppels bladz. 29 en 68).

Een andere bereidingswijze was de volgende. Fijn gezeefd poedervormig grafiet (CEYLONSche grafiet, welke algemeen voor een der zuiverste grafietsoorten gehouden wordt) wordt homogeen gemengd met zuiver gereduceerd ijzerpoeder (van de firma KAHLBAUM te Berlijn) en met behulp van dextrine purissimum als bindmiddel in staafvorm geperst.

Dergelijke grafiet-ijzerstaafjes gaven spectroscopisch een groot aantal verontreinigingen te zien, zooals de fotografie duidelijk te zien gaf bij een opname van het midden van den boog, die loodrecht op den spleet van den spectrograaf gesteld was. Vooral hinderlijk was de verontreiniging door Al, met name de sterke band λ 4672, waardoor de koolstof- en cyaanband λ 4737 en

¹⁾ Reeds MOISSAN constateerde, dat bij zeer hoge temperatuur het Fe aanzienlijke hoeveelheden C opneemt.

2 4606 bedekt werden. Daarom liet ik het grafiet 5 uur achtereen koken in een oplossing van HCl en KClO_3 , waarna het werd gefiltreerd en uitgewasschen. Deze bewerking werd zoo lang herhaald, tot de reactie op Al in het filtraat twijfelachtig was.

Van dit grafiet, met herhaaldelijk omgekristalliseerde suiker als bindmiddel, werden electroden vervaardigd; evenzoo van het gereduceerde ijzerpoeder met hetzelfde bindmiddel.

Het spectrum van de grafietelectroden vertoonde spectroscopisch: Na, Mn twijfelachtig, Al sterk, Mg, Fe.

Deze verontreinigingen ontbraken in het spectrum der ijzerelectroden, behalve Na. Hieruit bleek, dat niet de suiker, doch het grafiet aansprakelijk is voor de verontreinigingen. Het grafiet bleek dus niet bruikbaar.

Toen heb ik getracht op de volgende wijze zuivere koolstof te verkrijgen. Herhaaldelijk omgekristalliseerde suiker wordt verkoold. De verkoolde suiker wordt in een vijzel fijn gestampt en daarna zoo fijn mogelijk gezeefd. Electroden, van deze suiker vervaardigd, geven spectroscopisch in het midden van den boog weer de Al-band. Dit Al. moest ongetwijfeld afkomstig zijn van den geëmailleerden pot, waarin de verkoling had plaats gehad. Deze electroden trokken gedurende het vervaardigingsproces vrij sterk krom, waardoor zij minder bruikbaar werden. Er bleef dus nog, voor zoover ik kon nagaan, één middel over: het te probeeren met homogeen kool, zooals die in den handel gebracht wordt.

Bekend is 't, dat deze kool nooit geheel zuiver is ¹⁾ en verontreinigingen meedraagt uit de bereidingswijze.

Zoo heeft OLDENBERG ²⁾ in het spectrum van de door

¹⁾ A. HAGENBACH, Lichtbogen, in Marx, Handb. d. Rad., Bnd IV, blad. 422.

²⁾ O. OLDENBERG, Zeitschr. f. Wiss. Phot. Heft 4, Bnd 13. 1913, blad. 167 en vlgg.

hem gebruikte homogeen kool aangetoond: Na, Cu, λ 3247; Ca λ 4227, 3969 en 3934; Hg λ 2536, 6; Al λ 3962, 3944, 3093 en 3082; Fe ?; Bo λ 2498/97 en Si λ 2882.

Het is echter bekend, dat de verschillende merken de verontreinigingen in verschillende mate bezitten. Zoo gaf b.v. SIEMENS' homogeenkool A in het midden van den boog (boog loodrecht op de spleet van den spectrograaf):

Na.	{	λ 5896 +	Al	{	λ 4672 —
		5890 —			4842 —
		5688 —			5080 —
		5683 —			

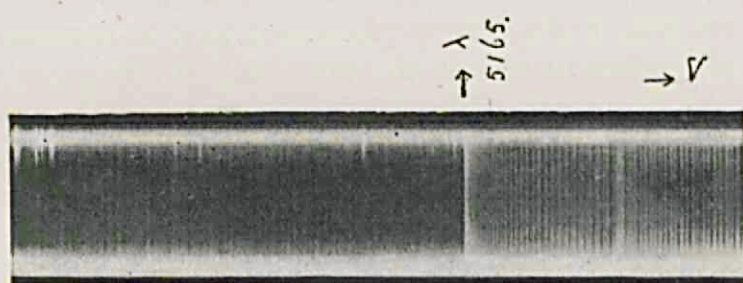
Mg λ 5184 sporen ? Ti —

Ca.	{	λ 3934 uiterst zwak.	Al.	{	λ 3944 uiterst zwak.
		3969 idem.			3962 idem.

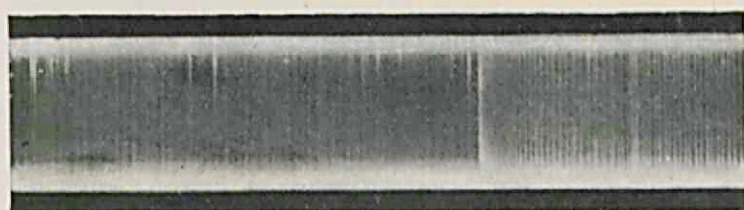
„SHIP-coal” en „CONRADTY NORIS” waren onzuiverder. Daarmee is nog niet gezegd, dat de verontreinigingen, welke in het midden van den boog spectroscopisch ontbreken, daarom niet aanwezig zouden zijn, daar het een bekend feit is, dat de spectraallijnen der verontreinigingen zich in hoofdzaak voordoen aan de kathode. Daarom fotografeerde ik den koolboog, (Homogeen kool, SIEMENS A), „evenwijdig” aan de spleet van den spectrograaf, in het gebied λ 5165 (3e koolband), 4600 (kool en cyaanband) en 4200 (cyaanband). Op de foto 1 ziet men de verontreinigingen als korte lijnen, hoofdzakelijk aan de kathode.

Het gebied λ 5165, waarin ik mij voorstelde intensiteitsmetingen te verrichten, bleek behoorlijk zuiver ¹⁾.

¹⁾ Ook HERTENSTEIN prijst deze koolstaven als zeer zuiver. H. HERTENSTEIN, Zeitschr. f. Wiss. Phot. Bnd XI. Heft 3, 1912, bladz. 77.



1



2

De opnamen zijn genomen in de eerste orde van het gebruikte rooster, met een expositietijd van resp. 25 m, 5m en 5m, en stroomsterkte 6 amp., met een elektroden-spanning van ± 61 Volt.

De koolsoort leek mij voldoende zuiver, om als materiaal gebruikt te kunnen worden. Natuurlijk moesten de staven verpulverd worden. Het bleek onmogelijk door stukslaan de kool tot poeder te verwerken, daarom bleef er maar één middel over: de staven te vijlen. Bij deze methode krijgt men de koolstof in den vorm van fijne poeder. De sporadisch voorkomende grootere stukjes werden steeds zorgvuldig uitgezocht en verwijderd.

De elektroden werden, als volgt, vervaardigd.

Nadat het ijzerpoeder zoo fijn mogelijk gezeefd was, werd het met het koolstofpoeder zoo homogeen mogelijk vermengd in de verhouding, waarin men het mengsel in den boog wil brengen.

Daarop werd het mengsel in een dunne laag op een vlakke schaal uitgespreid en hierop zoo gelijkmatig mogelijk de omgekristalliseerde suiker neergedruppeld.

Met een spatel werd nu het mengsel omgeroerd en de bewerking met de suikeroplossing zoo lang herhaald, tot er een kneedbare „pasta” ontstond. Deze werd met de hand geruimen tijd gekneed, om de homogeniteit zoo hoog mogelijk op te voeren. Daarna werd ze in zeer fijne stukjes verdeeld en in een vooraf goed gereinigden stalen cylinder (diameter 13 mm.) gebracht en telkens met een daarin passende stalen staaf wat aangedrukt. Was een voldoende lengte verkregen, dan werd de staaf met een hamer krachtig in den cilinder gedreven. Zonder eenige moeite kon daarna het ijzer-koolstofstaafje uit den cylinder worden gedrukt. Zulke staafjes werden nu eerst gedurende ± 12 uur in een droogstoof op vrij lage temperatuur ($\pm 60^\circ$ C.) gehouden, teneinde het water van de suikeroplossing tot verdamping te bren-

gen, [direct blootstellen aan vrij hoge temperatuur, doet de verdamping te snel gaan, waardoor kanalen in de staven zouden ontstaan,] waarna zij, na voldoende gedroogd te zijn, vrij hard bleken. Hierop werden zij gedurende een dag met een gasvlam goed na verwarmd. Tenslotte werden zij in een smeltkroes gebracht en door droog fijn gezeefd zand van elkaar, wand en bodem gescheiden, waardoor zij tevens voldoende van de buitenlucht waren afgesloten.

Zij ondergingen nu gedurende een halven dag een flinke verhitting in een heet gestookte kachel, teneinde de suiker tot volledige verkoling te brengen. Na afkoeling en verwijdering van het meestal los aanhangend zand en eventueel gevormd metaaloxyd, waren zij gereed, om als electroden gebruikt te worden. Dergelijke staafjes vertoonen niet de fout van kromtrekken. Op geheel dezelfde wijze vervaardigde ik koper-koolstofelectroden. Bij deze bewerking bestond de mogelijkheid, dat bij 't vijlen deeltjes van de vijl in het koolstofpoeder waren gekomen, waardoor nieuwe verontreiniging in de electroden zou zijn ontstaan. Om mij er van te overtuigen, of dit het geval kon geweest zijn, vervaardigde ik van het gevijlde koolstofpoeder electroden, zonder bijmenging van ijzer, en fotografeerde onder dezelfde omstandigheden als met homogeen kool (bldz. 8).

Foto 2, vergeleken met foto 1, toont duidelijk aan, dat geen nieuwe verontreinigingen waren binnengeslopen. Die in de homogeen kool vertoonen iets kortere lijnen dan in de gevijlde kool, 't gevolg van ijzerverontreiniging, afkomstig van de vijl. Van Al is in de andere opnamen geen spoor te bekennen.

Thans blijft de vraag te beantwoorden, of deze electroden een voldoende homogene samenstelling bezitten. Om dit na te gaan, werden proefstaafjes vervaardigd,

naar schatting resp. op 2%, 3%, 4%, 25% Fe. gehalte.
De ontleding gaf de volgende uitkomsten:

1e preparaat.

1e	afgewogen	hoeveelheid	1 gram;	ijzergehalte	2,16 %	Fe.
2e	"	"	1 gram;	"	1,99 %	"
3e	"	"	1 gram;	"	2,00 %	"
4e	"	"	1 gram;	"	2,16 %	"

2e preparaat.

1e	afgewogen	hoeveelheid	500 m. gr.;	ijzergehalte	3,17 %	Fe.
2e	"	"	500 m. gr.;	"	3,23 %	"
3e	"	"	500 m. gr.;	"	3,07 %	"

3e preparaat.

1e	afgewogen	hoeveelheid	500 m. gr.;	ijzergehalte	4,12 %	Fe.
2e	"	"	500 m. gr.;	"	4,16 %	"
3e	"	"	500 m. gr.;	"	4,29 %	"
4e	"	"	500 m. gr.;	"	3,96 %	"

4e preparaat.

1e	afgewogen	hoeveelheid	500 m. gr.;	ijzergehalte	26,46 %	Fe.
2e	"	"	500 m. gr.;	"	26,46 %	"
3e	"	"	500 m. gr.;	"	26,46 %	"
4e	"	"	500 m. gr.;	"	26,46 %	"

De analyses waren jodometrisch vlg. TREADWELL met 0,01 normaal oplossing. Gelijksoortige resultaten werden verkregen met de koper-koolstofelectroden.

HOOFDSTUK II.

Het gedrag der ijzer- koolstof- en koper- koolstofelectroden in den boog.

Bij 't onderzoek naar het gedrag der electroden stonden deze steeds vertikaal en wel de anode onder. De electroden werden niet afgekoeld.

Ijzer-koolstofelectroden (lage percentages tot $\pm 35\%$ Fe). Bij de kleine stroomsterkten $1-1\frac{1}{2}$ amp. (boog-lengte ± 5 m.m.) brandt de boog onrustig, beweegt zich voortdurend en toont neiging tot uitgaan. Het oppervlak der electroden wordt bultig, vooral dat van de anode. De boog vertoont neiging tot langer worden. Bij 't opvoeren van de stroomsterkte wordt de boog rustiger en is bij omstreeks 3 amp. vrij rustig. Is het percentage ijzer (tot 25% Fe) laag, dan loopt de boog regelmatig in een cirkel langs anode en kathode rond. Dit blijft de boog doen, ook nadat de rand der electroden afgebrand is. Hetzelfde verschijnsel constateerde Snow bij de door hem gebruikte kool-electroden, waarin een lemmet van Alkali-metalen. De boog liep dan steeds om de „docht” heen. Er vormen zich bolvormige ijzerdruppeltjes, vooral op de anode, waarin men duidelijk de koolstof herkent. Zij liggen in een cirkel om de electroden heen. Zij verschijnen steeds op 't koude gedeelte der electroden. Bij de lage Fe percentages zijn deze druppeltjes van de grootte van een speldeknop en worden bij toenemend Fe gehalte groter. Tenslotte gaan zij één

samenhangend geheel vormen en bij 40 à 50 % Fe ontstaat een opstaande „kraag” van ijzer, waarin koolstof opgelost is. Aan de anode is dit weer 't sterkst. Deze „kraag” is zoo los aan de electroden gehecht, dat hij er zonder de minste moeite afgeschoven kan worden, waarna hij zich opnieuw begint te vormen. Op het midden van de anode komt een kleine druppel te voorschijn als stroombasis. De as van den boog blijft onveranderd van stand en is omgeven door een mantel van damp, van groote doorsnede. (fig. 2).

Bij de hoogere percentages (75 % Fe) is de boog weer zeer onrustig en vliegt heen en weer. Het oppervlak van de anode wordt minder bolvormig en met druppels ijzer bedekt, waarin zich koolstof bevindt. Vaak ontstaat er een regen van vonken. Op de koude gedeelten vormen zich groote omlaaghangende koolstofhoudende ijzerdruppels.

Bij 90 % Fe en hooger vormt zich op de oppervlakte van anode en kathode één groote, de geheele oppervlakte bedekkende, ijzerdruppel („kapje”), waarin dezelfde verschijnselen worden waargenomen als bij de vroeger besproken ijzer-koolstofdruppels.

Deze „kapjes” laten zich zeer moeilijk verwijderen; de samenhang met de electroden is zeer hecht.

Koper- koolstofelectroden.

Hun gedrag is analoog aan dat van de ijzer- koolstof-electroden. Op de warme gedeelten der electroden heb ik echter geen vorming van druppels kunnen constateeren. Ook bleef het rondlopen van de vlam bij hooger percentages dan bij de ijzer- koolstofelectroden plaats hebben.

„Ijzer- koolstofdruppels.”

Breekt men een „ijzer-koolstofdruppel” in tweeën en

gebruikt men deze helften als electroden, dan krijgt men een uiterst rustigen boog. Anode en kathode zijn dan vloeibaar.

*Wijze, waarop de bestanddeelen in den boog
gebracht worden.*

Deze vraag is door de bereidingswijze der electroden reeds beantwoord. Zij worden op voet van gelijkheid behandeld.

De karakteristieken der mengsels; Watt-Ampère en Watt-lengtecurven.

De omstandigheden, waaronder de ontlading tot stand komt, leert men het best kennen uit de z.g. karakteristieken.

Alvorens echter over te gaan tot de mededeeling der karakteristieken van ijzer- koolstof- en koper- koolstof- mengsels, wensch ik er nadrukkelijk op te wijzen, dat het niet mijn bedoeling is geweest, deze karakteristieken quantitatief zoo nauwkeurig mogelijk te bepalen. Voor mijn doel had dit geen zin. Zij moesten slechts dienen, om inzicht te krijgen in spanning en stroomsterkte, waaronder later de opnamen genomen zouden worden.

Zooals bekend is, verstaat men onder de (statische) karakteristieken van den lichtboog het verband tusschen de electrodenspanning (e) en de stroomsterkte (i), wanneer men de andere factoren, die mede den toestand van den boog bepalen (materiaal der electroden, diameter, booglengte, temperatuur, druk en aard van het omringende medium), zoo goed mogelijk onveranderd houdt.

Door verschillende onderzoekers zijn de karakteristieken opgemaakt voor:

1. Homogeen koolelectroden (AYRTON).
2. Metaalelectroden ¹⁾.
3. Metaalelectroden, elk op zich zelf homogeen, doch ten opzichte van elkaar bestaande uit twee verschillende bestanddeelen. („Gemischte Elektroden” ²⁾).
4. Electroden, waarvan de eene bestaat uit een metaal, de andere uit homogeen kool ³⁾.
5. Electroden van „Dochtkohl”.

In de litteratuur heb ik echter niet kunnen vinden, dat zij ook opgemaakt zijn voor electroden, bestaande uit twee homogeen gemengde bestanddeelen. Wel heeft BLONDEL zich voor practische doeleinden (vlambogen) bezig gehouden met electroden, bestaande uit een huls van koolstof, waarin een mengsel van homogeen gemengde koolstof en minerale bestanddeelen (b.v. Calciumfluoride) werd gebracht. Men kan dit echter zeker geen electroden noemen, die bestaan uit twee homogeen gemengde bestanddeelen. Voor de onder 1, 2, 3 en 4 genoemde electroden heeft men als algemeenen regel gevonden, dat met toenemende stroomsterkte (i) de spanning (e) tusschen de electroden afneemt. Men kan dan verder verschillende takken op een karakteristiek onderscheiden. Het eerste gedeelte is gekarakteriseerd door hooge e en kleine i ; de ontlading tusschen de electroden is een vonk-ontlading. Bij toenemende i springt tenslotte de e naar een veel lagere waarde. Men is dan op het tweede gedeelte van de karakteristiek: de

¹⁾ GUYE en ZEBRIKOFF, Arch. d. Sc. phys. et nat. 1907.

²⁾ W. L. UPSON, Phil., Mag., 6 vol. XIV, 1907, bladz. 126 enz.
GRAU en RUSZ, Phys. Zeitschr. 9, 1908, bladz. 107.

³⁾ UPSON, l. c.

ontlading is overgegaan in de boogontlading. Tusschen het eerste en tweede gedeelte van de karakteristiek kunnen vonk- en boogontlading naast elkaar plaats hebben, dienovereenkomstig schommelt de e tusschen de twee daarbij behorende waarden ¹⁾).

Bij opvoeren van de i en afnemende e komt men in een gebied, waar de boog begint te sissen (het instabiele gebied). Bij verder aangroeien van de i blijft de e onveranderd; zij is onafhankelijk geworden van de i . Het verloop der karakteristiek is hyperbolisch.

Van de vele formules, voor de karakteristiek voorgesteld door EDLUND, FRÖHLICH, PEUKERT, THOMPSON, schijnt die van AYRTON nog het best te voldoen.

Zij heeft de gedaante:

$$e = a + bl + \frac{c + dl}{i}$$

waarin a , b , c en d karakteristieke grootheden zijn, o.a. voor het elektroden-materiaal.

Uit de formule volgt: $ei = (a + bl) i + (c + dl)$, houdt men de booglengte constant, dan krijgt men ei uitsluitend als functie van i . in de gedaante:

$$(ei)_{l \text{ const.}} = (a + bl) i_{l \text{ const.}} + (c + dl)_{l \text{ const.}}$$

Het verband tusschen het Watt-verbruik en de stroomsterkte wordt dus lineair, m.a.w. de Watt-stroomcurven worden rechte lijnen. Met de l varieert nu ook de helling van de rechte en het van de ei as afgesneden stuk. Blijkbaar gaan de Watt-stroomcurven door het punt:

$$ei = -\frac{ad + bc}{b}; \quad i = -\frac{d}{b}$$

¹⁾ FABRY en BUISSON, Journ. d. Phys. 4, 1910, bladz. 929.

Evenzoo vindt men uit de formule:

$$(ei)_{i \text{ const.}} = (d + bi) \frac{1}{i \text{ const.}} + (c + ai)_{i \text{ const.}}$$

Derhalve de Watt-lengtecurven zijn rechte lijnen, gaande door het punt:

$$ei = \frac{-ad + bc}{b}; \quad l = -\frac{a}{b}$$

Vindt men omgekeerd experimenteel, dat de Watt-lengtecurven rechte lijnen vormen, welke elkaar in één punt snijden en evenzoo de Watt-stroomcurven, dan leidt men hieruit de constanten van de vergelijking van AYRTON af. Nemen wij de zeer nauwkeurige waarnemingen van GUYE en ZEBRIKOFF als voorbeeld, dan kunnen wij zeggen, dat hun Watt-stroomcurven inderdaad rechte lijnen zijn, welke elkaar in één punt snijden. Daarentegen kan men hun Watt-lengtecurven evengoed opvatten als gebogen lijnen, waarbij $ei = f(l)$ vertraagd toeneemt met de lengte van den boog.

Dit heeft SCHULZE ¹⁾ voor Cu-electroden inderdaad aangetoond.

Volgens hem worden de Watt-lengtecurven pas recht voor booglengten, grooter dan 4 m.m. GUYE en ZEBRIKOFF werkten met booglengten, tusschen 0 en 4 m.m. Bovendien gaan hun rechte Watt-lengtecurven ook niet door één punt, terwijl hierop toch het afleiden der constanten in de AYRTON'sche vergelijking berust.

RASCH wijst op de systematische fout van AYRTON bij het meten der booglengten en hierin ligt ook werkelijk de grootste moeilijkheid. Men kan wel den afstand der electroden goed constant houden, maar daarmee is allermint een constante booglengte gegarandeerd. Uit hetgeen op bladz. 12 en vlgg. gezegd is over het gedrag

¹⁾ Eigenlijk toont hij aan, dat $e = f(l)$ eerst vertraagd met de l toeneemt, SCHULZE, i.c. dit komt echter op hetzelfde neer.

der ijzer-koolstof en koper-koolstofelectroden, blijkt, dat daarbij het verkrijgen van een constante booglengte dubbel moeilijk is.

Geheel anders gedragen zich „Dochtkohlen”.

Hun karakteristiek vertoont een maximum en minimum; de Watt-ampère en Watt-lengtecurven zijn geen rechte lijnen meer.

Fig. 3 geeft de karakteristieken van „Dochtkohlen” weer ¹⁾; figuur 4 en 5 de Watt-ampère en Watt-lengtecurven.

Wat de Watt-lengtecurven betreft, deze kunnen, zooals uit de onderzoeken van AYRTON gebleken is, geen rechte lijnen zijn, al zijn de afwijkingen van een rechtlijnig beloop wel zeer gering en zeker niet grooter dan die in de Watt-lengtecurven van GUYE en ZEBRIKOFF voor zuivere metaalelectroden. En op de „rechtlijnigheid” der Watt-lengtecurven is het berekenen der constanten, nog wel in 2 decimalen, in de vergelijking van AYRTON gebaseerd! Uit de Watt-ampèrecurven blijkt, dat het rechtlijnig verloop langer duurt, naarmate de afwijking van het hyperbolisch verloop der karakteristieken geringer is.

Bij mijn metingen stonden de electroden vertikaal, de anode onder. De spanning werd gemeten met een praecisie voltmeter tot op 0,1 volt nauwkeurig en de stroomsterkte met een praecisie ampèremeter, eveneens tot op 0,1 ampère nauwkeurig. Koeling der electroden werd niet toegepast. In 't algemeen verandert er door koeling niets aan den aard van de karakteristiek, alleen stijgt e en daalt i , waarbij de karakteristiek hooger komt te liggen.

De booglengte werd zoo goed mogelijk constant ge-

¹⁾ Ontleend aan LE BLANC, L'arc électrique, Blanchard, Paris, bladz. 44.

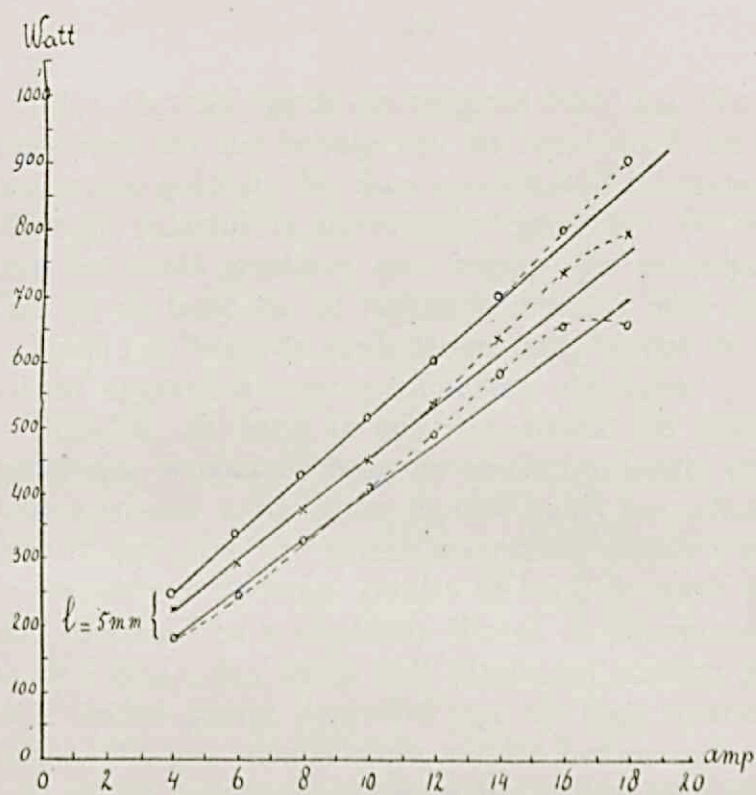


Fig. 4.

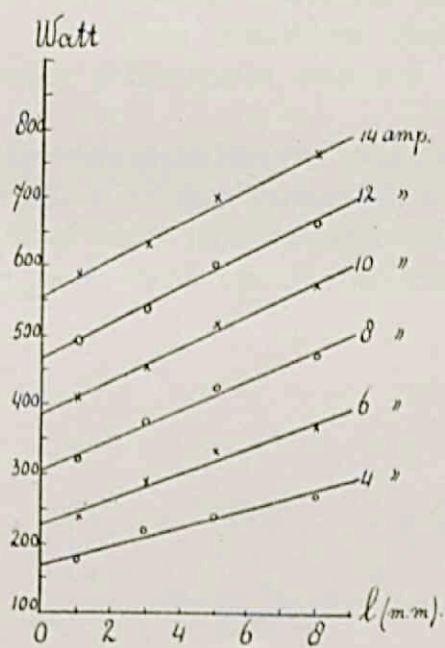


Fig. 5.

houden. Daartoe wordt een vergroot beeld van den boog ontworpen en met behulp van dit beeld wordt de booglengte zoo goed als dit, door voortdurend bijregelen van de lamp mogelijk is, onveranderd gehouden. De meting van het beeld geschiedt met behulp van een kijkertje, dat bij de lamp en de meetinstrumenten opgesteld is.

Zoodra de boog de goede lengte had, werden de naast elkaar opgestelde meetinstrumenten afgelezen.

Brandde de boog te onrustig, zoodat de tijdsduur, gedurende welken de boog de vereischte lengte had, te kort was, dan werd achter de electroden een schaalverdeling geplaatst. Een tweede waarnemer zorgde voor het bijregelen van de lamp. Zoodra de boog de goede lengte had, werden i en e afgelezen. Waren de schommelingen in de e groot, dan waren vele aflezingen noodig; bleken deze slechts gering, dan werd met een klein aantal volstaan. Dit was noodzakelijk, omdat het materiaal vrij snel in den boog opbrandde en het maken hiervan veel arbeid en vooral veel tijd vergde. Daar een booglengte van 5 m.m. mij geschikt voorkwam voor de latere opnamen, is met deze booglengte gewerkt. De lamp brandde onder gelijkstroom, met een netspanning van 220 Volt.

Voor elke stroomsterkte en bijbehorende spanning werd een reeks aflezingen gedaan (in totaal 978). In de volgende tabel vindt men de gemiddelde waarden dier series opgegeven, benevens de middelbare fout.

13.0	0.30	10.0	0.2
22.0	0.28	11.0	0.2
32.0	0.26	12.0	0.2
42.0	0.24	13.0	0.2
52.0	0.22	14.0	0.2
62.0	0.20	15.0	0.2
72.0	0.18	16.0	0.2
82.0	0.16	17.0	0.2
92.0	0.14	18.0	0.2
102.0	0.12	19.0	0.2
112.0	0.10	20.0	0.2
122.0	0.08	21.0	0.2
132.0	0.06	22.0	0.2
142.0	0.04	23.0	0.2
152.0	0.02	24.0	0.2
162.0	0.01	25.0	0.2

Ijzergehalte.	Gemiddelde stroomsterkte (amp.)	Middelb. fout.	Gemiddelde electroden- spanning (Volt).	Middelb. fout.
0 %	1,0	0,00	102	1,37
	3,0	0,08	69,5	0,48
	5,8	0,25	61,6	0,83
	8,8 *	—	58 *	—
	12,6	0,04	56	0,27
	16,0 *	—	55 *	—
	19,7	0,08	55	0,27
1 %	1,2	0,04	83,5	1,03
	3,0 *	—	65,6	0,40
	6,0	0,03	56,9	0,28
	8,9	0,04	53,6	0,21
	12,0 *	—	52,5 *	—
	16,0 *	—	52,5 *	—
	20,0	0,08	45,2	0,34
3 %	1,5	0,03	77,2	1,13
	3,0	0,03	59,8	0,98
	5,9	0,02	51,7	0,43
	8,8	0,04	48,0	0,81
	11,6 *	—	48,3	0,52
	18,9	0,12	48,6	0,52

* Gedurende de reeks opnamen blijft de grootte constant.

Ijzergehalte.	Gemiddelde stroomsterkte (amp.)	Middelb. fout.	Gemiddelde electroden- spanning (Volt)	Middelb. fout.
8 %	3,2	0,02	46,5	1,20
	5,7	0,02	43,1	0,38
	9,1	0,02	42,0	0,34
	11,7	0,02	41,9	0,30
	15,5	0,05	42,5 *	—
	19,7	0,08	42,3	0,02
25 %	0,5	0,01	55,7	1,11
	0,8	0,03	48,0	0,25
	1,3	0,02	38,3	0,42
	4,1	0,02	30,8	0,27
	6,1	0,02	31,4	0,39
	8,9	0,03	33,1	0,30
	11,9	0,06	35,4	0,54
	14,6	0,04	33,4	0,25
	18,1	0,04	32,9	0,29
	20,7	0,17	32,9	0,34

Ijzergehalte.	Gemiddelde stroomsterkte (amp.)	Middelb. fout.	Gemiddelde potentiaal (Volt).	Middelb. fout.
50 %	0,9	0,02	44,3	0,94
	1,4	0,01	32,8	0,48
	3,2 *	—	26,7	0,36
	6,2 *	—	26,7	0,13
	8,8	0,01	29,4	0,60
	11,9	0,07	28,7	0,51
	13,9	0,03	27,4	0,33
	15,1	0,03	27,4	0,18
	19,4	0,15	28,6	0,63
75 %	1,1	0,02	48,0	2,58
	3,0	0,03	35,3	0,17
	6,6	0,04	30,0 *	—
	9,2	0,03	27,2	0,97
	11,5	0,08	29,8	1,49
100 % (smeed- ijzer)	1,0	0,05	70,3	0,49
	3,1	0,03	43,6	0,23
	6,0	0,01	40,0 *	—
	9,2	0,01	37,0	0,12
	11,7	0,04	34,8	0,20
	17,8 *	—	30,0 *	—

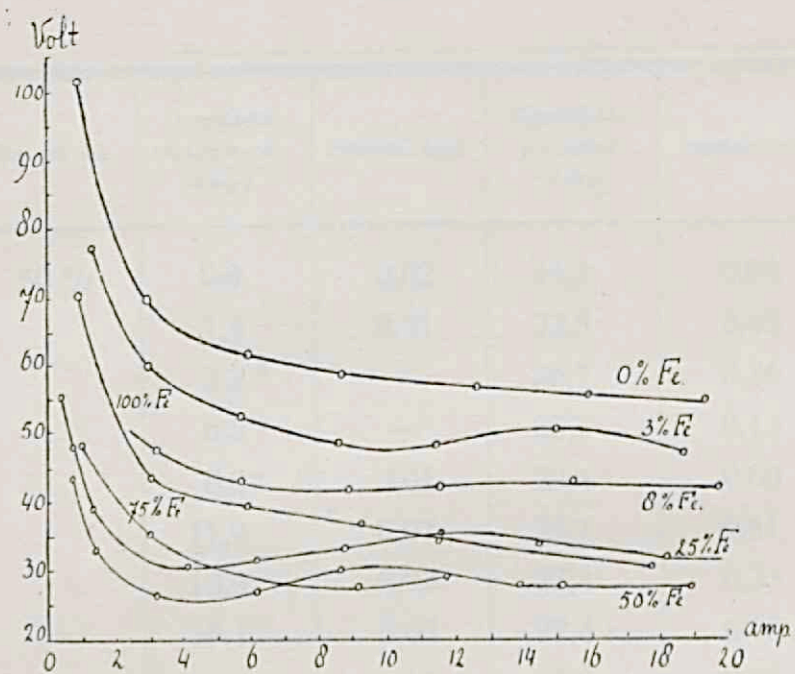


Fig. 6.

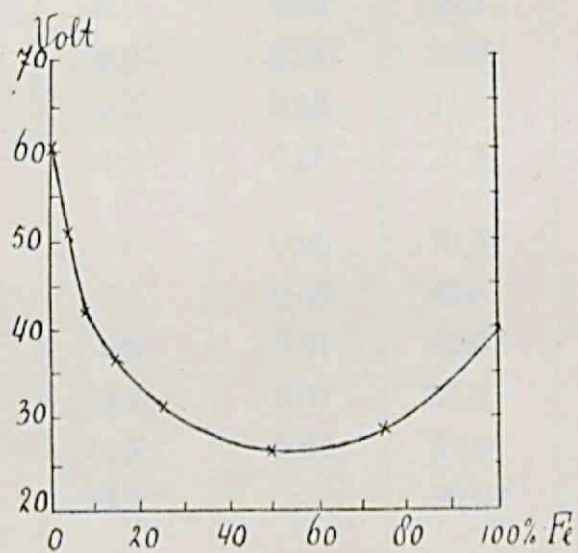


Fig. 7.

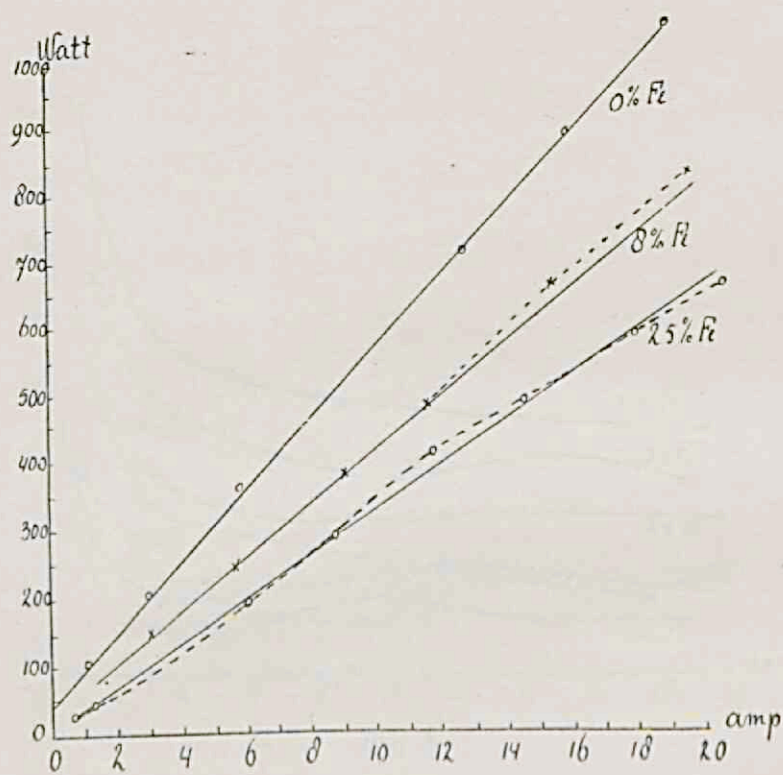


Fig. 8.

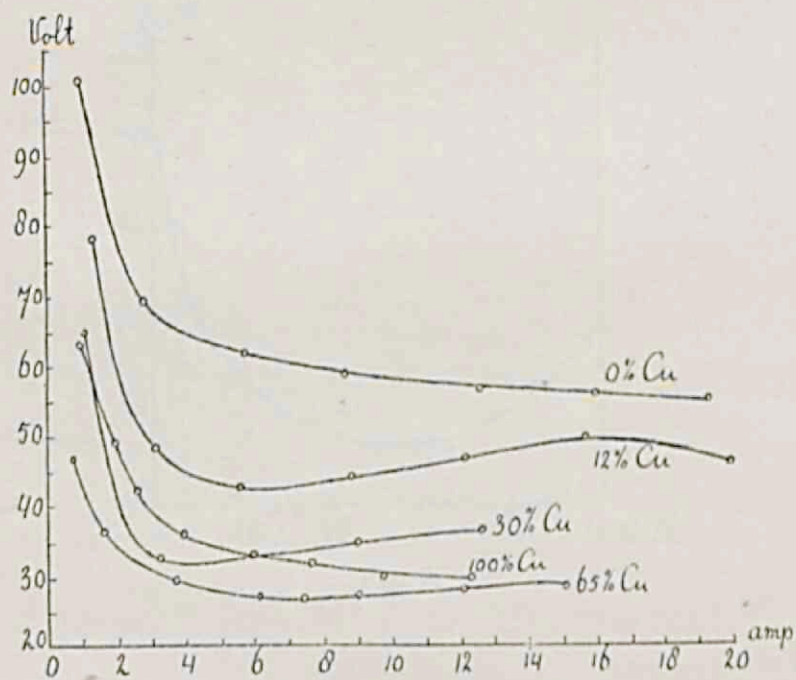


Fig. 9.

Uit deze gegevens zijn de karakteristieken opge-
maakt; (fig. 6). Hun beloop laat duidelijk zien, dat zij,
evenals „Dochtkohl,” een maximum en minimum ver-
toonen.

Het minimum verplaatst zich met toenemend ijzer-
gehalte naar kleiner stroomsterkte, waarna het zich naar
grooter stroomsterkte beweegt en tenslotte bij 100 %
Fe verdwijnt.

Bij toenemend ijzergehalte „zakt” de karakteristiek
eerst, bereikt een laagsten stand, stijgt dan weer en
gaat tenslotte in dien van 100 % Fe over.

Nog duidelijker ziet men dit, indien men de electro-
denspanning als functie van het ijzerpercentage, bij
constante booglengte en stroomsterkte, teekent ($l = \pm$
5 mm.; $i = 6$ amp.); (fig. 7).

De middelbare afwijking doet zien, dat de potentiaal
soms sterk schommelt. Behalve in de onvermijdelijke
verandering in de booglengte, welke men niet beheer-
schen kan, moet de oorzaak hiervan o.a. gezocht worden
in fluctuaties in het ijzergehalte, waarvan de electroden-
spanning sterken invloed ondervindt.

Brandde de boog onrustig, dan verleende een tweede
experimentator zijn hulp; zoo b.v. bij 75 % Fe staafjes.

Het duurde dan soms zeer lang (wel 5 min.), voor
een behoorlijke aflezing kon geschieden, het aantal af-
lezingen voor dit preparaat is daardoor klein.

In fig. 8 zijn voor 0 %, 8 % en 25 % Fe gehalte de
Watt-ampèrecurven geteekend. Duidelijk vertoonen zij
de afwijking van een rechte lijn.

De volgende aflezingen hebben betrekking op het
opmaken der koper-koolstofkarakteristieken ($l = \pm$ 5
mm.; verder dezelfde omstandigheden als bij de aflezi-
ngen voor de ijzer-koolstofkarakteristieken).

Gevonden werd uit 534 aflezingen:

Kopergehalte.	Gemiddelde stroomsterkte (amp.)	Middelb. fout.	Gemiddelde electroden- spanning (Volt).	Middelb. fout.
12 %	1,4	0,02	79,2	1,55
	3,2	0,02	48,3	0,44
	5,8	0,04	41,9	0,73
	9,0	0,04	43,8	0,70
	12,2	0,04	46,3	0,39
	15,9	0,03	49,0	0,13
	20,6	0,20	46,3	1,10
30 %	1,3	0,05	65,2	0,40
	3,2	0,03	32,4	0,40
	6,0	0,10	32,7	0,52
	9,0	0,03	34,3	0,72
	12,7 *	—	37,0 *	—
65 %	0,9	0,01	46,9	0,74
	1,5	0,02	36,1	0,13
	3,9	0,02	29,4	0,24
	6,2	0,03	26,9	0,20
	9,1	0,01	26,8	0,15
	12,1	0,03	27,5	0,23
	15,1	0,03	27,5	0,15

* Gedurende de reeks opnamen blijft de grootheid constant.

Kopergehalte.	Gemiddelde stroomsterkte (amp.)	Middelb. fout.	Gemiddelde electroden- spanning (Volt).	Middelb. fout.
85 %	0,9	0,02	46,0	1,38
	1,6	0,03	35,6	0,51
	4,1	0,01	30,4	0,62
	6,1 *	—	27,7	0,21
	7,5	0,01	26,8	0,28
	9,4	0,08	25,5	0,22
	12,1	0,03	26,7	0,32
	15,3 *	—	28,0 *	—
	18,2	0,03	27,3	0,33
100 %	1,1	0,02	63,8	0,46
	2,0	0,01	49,3	0,53
	2,9	0,03	42,1	0,45
	3,9	0,02	35,5	0,02
	5,7	0,02	33,4	0,03
	7,9	0,01	30,8	0,21
	9,8	0,02	29,6	0,32
	12,4 *	—	28,2	0,12

Uit bovenstaande gegevens zijn de karakteristieken der koper-koolstofmengsels opgemaakt. (fig. 9).

Hun gedrag is analoog aan dat der ijzer-koolstof-karakteristieken, zij vertoonen evenals deze een maximum en minimum, die zich bij toenemend kopergehalte verplaatsen naar kleinere stroomsterkte, zich daarna naar grotere stroomsterkte bewegen en tenslotte weer verdwijnen bij 100 % Cu.

Bij toenemend Cu-gehalte zakt de karakteristiek eerst, bereikt een laagsten stand en stijgt dan weer, waarna zij tenslotte overgaat in dien van 100 % Cu. Teekent men de electrodenspanning als functie van het Cu-gehalte, bij constante booglengte en stroomsterkte, ($l = \pm 5$ mm.; $i = 6$ amp.), dan ontstaat weer een kromme lijn, die overeenkomt met dezelfde kromme voor de ijzer-koolstofmengsels; (fig. 10). Uit fig. 11 blijkt, dat de Watt-ampère-curven der koper-koolstofmengsels geen rechtlijnig verloop hebben.

Terloops zij opgemerkt, dat een karakteristiek, opgemaakt voor koperelectroden, waarvan ik het materiaal voor zuiver hield, zeer duidelijk een maximum en minimum vertoonde.

Mijn gedachte later, dat het toch geen zuiver koper kon geweest zijn, werd door de scheikundige analyse bevestigd; het bevatte o.a. koolstof, ijzer en zink. Het vermoeden ligt wel voor de hand, dat electroden, bestaande uit meer dan één component, altijd in hun karakteristiek een maximum en minimum zullen vertoonen.

Ten slotte heb ik van één ijzer-koolstofpreparaat, n.l. 15 % Fe, de karakteristieken opgemaakt bij verschillende booglengten.

Hierbij doet zich de moeilijkheid van het constant houden van de booglengte nog eens weer heel sterk voor. Vooral komt bij de kleine booglengten het bezwaar aan

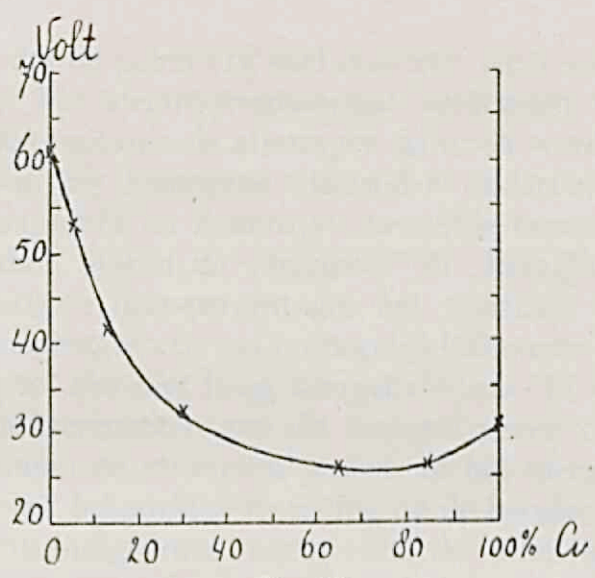


Fig. 10.

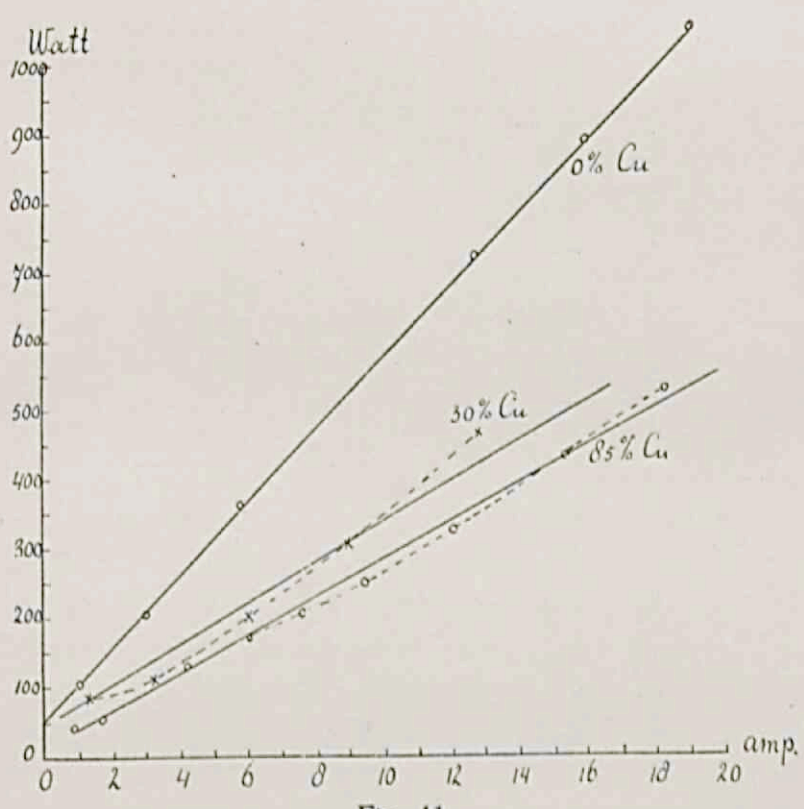


Fig. 11.

den dag, dat de polen vrij snel door een soort van bruggetje van het electrodenmateriaal verbonden worden. Vele malen moesten de aflezingen dan ook worden herhaald. Ook bij homogene electroden ondervindt men vlg. UPSON, GUYE en ZEBRIKOFF, hetzelfde bezwaar.

Bovendien maken de „druppel-“ en „kraag“vorming bij de hogere ijzer-percentages het constant houden van de booglengte vrij wel onmogelijk! Daarom beperkte ik mij tot een niet hoog ijzergehalte, n.l. 15 %.

De karakteristieken van dit mengsel geven duidelijk het maximum en minimum te zien en het mengsel zelf laat tamelijk behoorlijke instelling op de booglenkte toe.

De omstandigheden, waaronder de aflezingen geschieden, waren geheel dezelfde, als bij de vorige.

Gevonden werd uit 334 aflezingen:

Booglengte.	Gemiddelde stroomsterkte (amp.)	Middelb. fout	Gemiddelde electroden- spanning (Volt).	Middelb. fout.
± 6 mm.	0,9	0,03	49,7	0,42
	1,9	0,03	39,2	0,76
	4,0 *	—	36,1	0,83
	4,8	0,02	36,8	0,50
	6,0	0,01	37,8	0,48
	8,0	0,01	38,9	0,24
	12,1	0,01	40 *	—
	15,2	0,05	39,7	0,10
± 4 mm.	0,6	0,02	49,9	1,64
	2,0	0,01	33,9	0,02
	3,3	0,01	31,0	0,27
	4,0 *	—	32,0	0,38
	5,0	0,01	33,8	0,40
	6,0 *	—	35,5	0,12
	8,0 *	—	35,9	0,25
	9,8	0,04	35,8	0,74
± 2 mm.	0,9 *	—	schommelt om 45 Volt	
	2,1	0,02	29,6	0,04
	4,2	0,02	30,6	0,05
	6,2	0,02	31,5	0,45
	7,7	0,04	32,2	0,60
	10,3	0,04	33,0	0,22

* Gedurende de reeks opnamen blijft de grootte constant.

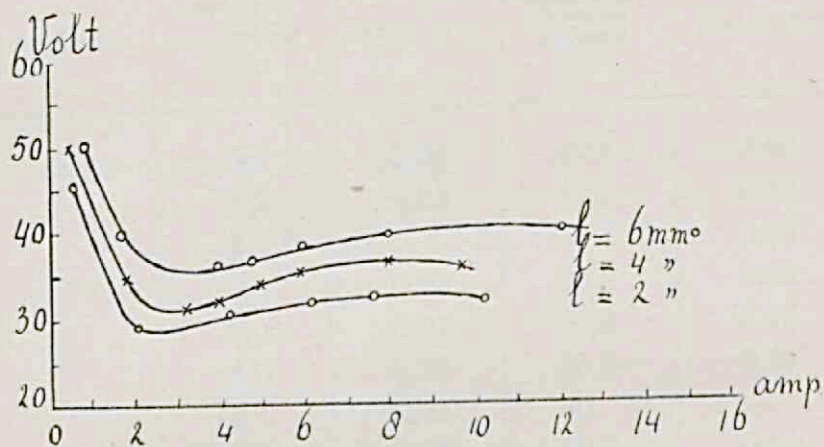


Fig. 12.

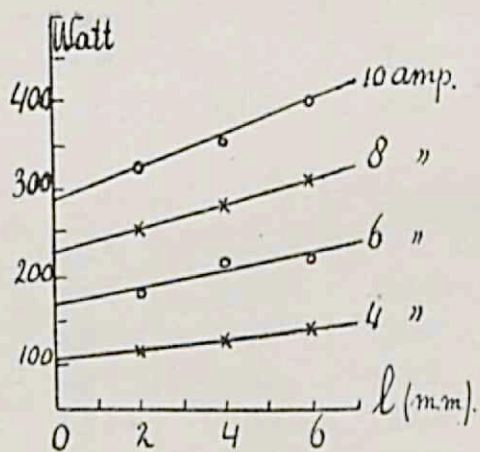


Fig. 13.

Met behulp van deze gegevens zijn gemaakt de karakteristieken (fig. 12). Zij hebben de algemeene eigenschap, dat bij afnemende booglengte de karakteristiek lager komt te liggen. Met „Dochtkohl” komen zij daarin overeen, dat bij afnemende booglengte het minimum naar kleiner stroomsterkte verschuift, terwijl het minimum tevens spitzer wordt.

In fig. 13 zijn de Watt-lengtecurven geteekend voor 4, 6, 8 en 10 amp. Evenals voor „Dochtkohl” is de afwijking van een rechtlijnig verloop gering. Met de Watt-lengtecurven van „Dochtkohl” hebben deze curven de eigenschap gemeen, dat de helling der curven t.o.v. de l-as slechts zeer langzaam toeneemt bij aangroeiende stroomsterkte, in tegenstelling met die van homogeen electroden materiaal. Zie b.v. die van GUYE en ZEBRIKOFF.

Met de koper-koolstofelectroden zal men ongetwijfeld overeenkomstige resultaten verkrijgen. Wel liggen de Watt-lengtecurven der ijzer-koolstofmengsels „lager” dan de overeenkomstige der „Dochtkohl”, doch ik paste geen koeling toe en het is een bekend feit, dat onder die omstandigheid, bij constante booglengte en stroomsterkte, de spanning tusschen de electroden toeneemt, waardoor dan vanzelf de Watt-lengte-curven „hooger” komen te liggen.

Uit het voorgaande mag men wel besluiten, dat de homogene ijzer-koolstof- en koper-koolstofmengsels zich in den electrischen boog gedragen als „Dochtkohl”.

Wat de „druppels” aangaat heb ik geen noemenswaard verschil kunnen constateeren met gewone ijzerelectroden. De vaste „druppels” hebben het bezwaar, dat ze reeds bij zwakke stroomen vloeibaar worden en bij het opvoeren van de stroomsterkte nog al eens van de kathode vallen.

HOOFDSTUK III.

Het medium, waarin de boog brandt.

Het is een algemeene bekendheid, dat in vele gevallen bij het metaal-spectrum, door boogontlading tusschen metaalelectroden verkregen, bijna steeds in meerdere of mindere mate dat van het omringende medium optreedt. Bij mijn onderzoek zijn het de spectraallijnen van de bestanddeelen der lucht en wel voornamelijk zuurstof, stikstof en „waterdamp”. Het verschijnen der „luchtlijnen” is vooral bestudeerd bij vonkontladingen ¹⁾.

Voor zoover ik heb kunnen nagaan, heeft alleen KONEN ²⁾ uitvoerig het deelnemen van de lucht aan de boogontladingen tusschen verschillende metaalelectroden onderzocht; meer terloops GRÜNTER ³⁾, HASBACH ⁴⁾ en enkele anderen. Bij vonkontladingen tusschen metaalelectroden kunnen de „luchtlijnen” zeer sterk zijn en KONEN wijst er op, dat ook bij boogontladingen de banden-spectra der luchtbestanddeelen, hun verbindingen onderling en verbindingen met het electrodenmateriaal zich zeer sterk kunnen vertoonen. Het bleek hem echter,

¹⁾ Een volledige litteratuurlijst vindt men in het „Handbuch der Spectroscopie”, Bnd VII, Erste Lieferung, bladz. 1 en vlgg.

²⁾ H. KONEN, Ueber die Beteiligung der Luft an der Emission des Lichtbogens bei Atmosphärendruck. Festschr., Med., Naturw., Gesellsch. Münster, 1912, bladz. 28—42.

³⁾ R. GRÜNTER. Zs. f. Wiss. Photogr. **13**, 1914, bladz. 1—19.

⁴⁾ K. HASBACH. Zs. f. Wiss. Photogr. **12**, 1913, bladz. 101—122.

dat bij de meeste materialen, die hij als elektroden gebruikte, deze en vooral de sterke banden en lijnen van de luchtbestanddeelen slechts in het ultraviolette gebied voorkomen.

Een tweede gevolgtrekking, waartoe hij komt, is, dat in zeer veel bogen de bandenspectra van de stikstof en stikstof-zuurstofverbindingen sterker zichtbaar zijn, naarmate de boog langer en de stroom zwakker is. (Dit is wel begrijpelijk: hoe kleiner de stroom en hoe grooter de lengte, des te meer komt men langs de karakteristiek in het gebied, waar vonk- en boogontlading in elkaar overgaan of elkaar afwisselen, en vooral bij de vonkontlading is de spectrale invloed van het omringende medium groot).

Gaan we thans in 't kort de resultaten na van KONEN, voorzoover deze voor dit onderzoek van belang zijn.

Stikstof. De cyaanband, λ 3884 wordt, volgens hem door de aanwezigheid van het koolzuur in de lucht bij de meeste bogen gevonden. Hij constateert ze bij chemisch zuiver Cu, Ag, en Pt, evenzoo ziet hij sporen van den cyaanband λ 3594. HUTCHINS¹⁾ constateert dit bij den Cu-boog eveneens (koper uit den handel), doch stelt tevens een nieuwen kop aan den cyaanband λ 3884 bij λ 3914,47 vast; evenzoo neemt hij een nieuwen kop waar aan den tweeden band λ 4216, beginnende bij λ 4278,50 en waarschijnlijk nog een nieuwen kop aan den cyaanband λ 4606. (Vergelijk ook het hoofdstuk der cyaanbanden).

De banden van de derde stikstofgroep (stikstof-zuurstofverbindingen) constateert KONEN in den Cu- en C-boog. Deze banden beginnen bij λ 3000 en gaan dan tot

¹⁾ C. C. HUTCHINS, *Astrophys. Journ.* vol. 15, no. 5, 1902, bladz. 310—311.

de uiterste grens van het spectrum. Zij vallen dus buiten het door mij onderzocht gebied λ 5165 — λ 5129.

Verder treedt, vlg. KONEN, de tweede positieve stikstof-groep regelmatig in de C- Ag- en Cu-boog op, versterkt aan de polen; de negatieve banden aan de kathode. Daar deze groep zich uitstrekt van ongeveer λ 5000 tot λ 3000, vallen zij buiten ons onderzoeksgebied.

De eerste positieve groep van het stikstofbanden-spectrum heeft hij niet kunnen fotografeeren, hij meent deze echter visueel geconstateerd te hebben. Deze groep beslaat ongeveer het gebied λ 7710 — λ 5100, zij ligt dus over het door ons onderzochte gebied heen. In aanmerking echter genomen, dat KONEN de stikstof-groep slechts visueel *meent* gezien te hebben, mogen wij aannemen, dat deze stikstofgroep geen bezwaar zal opleveren, vooral niet, wanneer men bedenkt, dat reeds kleine hoeveelheden Fe en Cu het deelnemen van de koolstof aan de boogontlading sterk doet verminderen en bij boogontlading tusschen ijzerelectroden deze stikstof-groep in het spectrum ontbreekt.

Waterdamp. Volgens KONEN is de vochtigheid der lucht voldoende, om H_{β} , H_{γ} en H_{δ} te voorschijn te brengen; vooral in den Cu- en Ag-boog. Ook deze lijnen liggen buiten ons gebied λ 5165 — λ 5129. Tenslotte neemt KONEN de waterdampbanden in bijna alle bogen, welke in de vrije atmosfeer branden, waar; met name de banden, wier kantlijnen liggen bij λ 3063, 2811 en 2608. Wij kunnen dus de zooeven genoemde buiten rekening laten. Uit de litteratuur daarover blijkt mij, dat systematische onderzoekingen naar de „luchtlijnen” *hebben plaats gehad aan den Al-, Cu- en Ag-boog*; mededeelingen omtrent den ijzerboog heb ik evenwel niet kunnen vinden. Uit die onderzoekingen blijkt wel, hoe gering het aantal luchtlijnen is in het gebied λ 5165 —

λ 5129. Zoo geeft HASBACH¹⁾ voor den Cu-boog geen enkele „luchtlijn” op in het bovengenoemde gebied, evenmin vindt men ze bij GRÜNTER²⁾ voor den Al-boog, terwijl toch de Cu- en Al-boog, volgens de onderzoekingen van KONEN, tot die bogen behooren, waarbij de invloed van het medium in 't algemeen het sterkst is.

Als resumé uit de geheele litteratuur geven KAYSER en KONEN als „luchtlijnen” in ons gebied op: λ 5160 (O_2): 5150 (?) en 5143 (O_2). Daar nu volgens KONEN, bij de boogontlading de zuurstof niet direct aan de boogontlading deelneemt, mogen we in verband met het bovenstaande zeggen, *dat de invloed van het medium op de boogontlading in het door ons beschouwde gebied λ 5165 — λ 5129 een te verwaarloozen factor is.*

Het gedrag van de verschillende deelen van den lichtboog.

Het spectrum is afhankelijk van de electricische omstandigheden in den boog en de plaats in den boog, welke onderzocht wordt.

Verhooging van spanning doet in 't algemeen meer lijnen ontstaan; vooral in sterk verdunde gassen, zooals HERTZ aangetoond heeft. Een tweede belangrijke factor, waardoor het spectrum van een stof bepaald wordt, is de stroomsterkte. Ook hier geldt: hoe grooter de stroomsterkte, des te grooter het aantal lijnen en hun intensiteit.

Zoo heeft MOORE³⁾ in een uitvoerig onderzoek aan

¹⁾ HASBACH, l. c. tabel bladz. 425.

²⁾ GRÜNTER, l. c. tabel bladz. 19.

³⁾ B. E. MOORE, Astrophys. Journ. vol. 54; no. 3 Okt. 1921.

den lichtboog, aangetoond, dat er lijnen zijn, die bij geringe stroomsterkten beide polen verbinden, terwijl weer andere zich alleen in de omgeving van de kathode vertoonen. Bij het opvoeren van de stroomsterkte worden deze lijnen langer en strekken zich tenslotte van pool tot pool uit, terwijl er weer nieuwe „korte” lijnen aan de kathode optreden. Onder deze laatste zijn er die, hoe hoog men de stroomsterkte ook opvoert, zich niet ver van de kathode uitstrekken. Uit dit onderzoek en dat van LENARD, OLDENBERG en anderen, blijkt dus, dat verschillende deelen van den boog verschillende spectra leveren. Wij dienen dus eerst de volgende vragen te beantwoorden:

a. Onder welke electrische omstandigheden moeten de opnamen genomen worden?

b. Welke booglengte is daarvoor als de meest geschikte te beschouwen?

c. Welk deel van den boog komt voor de opnamen in aanmerking?

Men kan beschikken over de grootheden e (electroden spanning), i (stroomsterkte) en l (booglengte), in zooverre, dat men voor een bepaald ijzer-koolstof of koper-koolstofpreparaat twee dier grootheden willekeurig kan kiezen, waardoor vanzelf de derde dan bepaald is. Houden we l en i constant, dan blijkt uit fig. 7 en 10, hoe sterk het potentiaalverschil tusschen de electroden varieert met het ijzer of kopergehalte. Voor de ijzer-koolstofelectroden is de grootste variatie in de spanning ($l = 5$ m.m.), ongeveer $62 - 32,5 = 30$ Volt; voor de koper-koolstofelectroden is deze variatie ten naaste bij $62 - 26 = 36$ Volt. Het is niet altijd mogelijk, de e en l constant te houden, zóó dat voor elk preparaat daarbij een bepaalde stroom behoort. Kiest men de spanning beneden die, waarbij voor een gegeven lengte de zuivere koolboog kan bestaan, dan blijkt uit fig. 6 en 9

onmiddellijk, dat niet voor alle ijzer- en koper-koolstofmengsels een bijbehorende stroomsterkte bestaat. Kiest men de e boven de minimum-spanning van den zuiveren koolboog voor een bepaalde l , dan vindt men inderdaad voor elk preparaat een bijbehorende i . Deze stroomsterkten zijn echter zeer klein; tevens nemen zij bij toenemend Fe en Cu gehalte eerst af, daarna weer toe. Om nu te zien, of de stroomsterkte van grooten invloed is op het koolstofspectrum, fotografeerde ik den derden koolstofband, λ 5165 (midden van den boog, boog loodrecht op de spleet van den spectrograaf) in de lichtsterke, eerste orde van het gebruikte Rowland-rooster.

1e	opname;	i 20	amp.;	e 54,0	Volt;	l 5	m.m.;	t 10	min.
2e	"	; i 12,5	"	; e 56,5	"	; l 5	"	; t 15	"
3e	"	; i 6,0	"	; e 61,0	"	; l 5	"	; t 30	"
4e	"	; i 3,0	"	; e 69,5	"	; l 5	"	; t 30	"
5e	"	; i 1,5	"	; e 90,0	"	; l 5	"	; t 60	"
6e	"	; i 1,0	"	; e 102,0	"	; l 5	"	; t 90	"

In de opnamen 5 en 6 was het koolstofspectrum zeer zwak, in de andere behoorlijk sterk.

Uit het tabelletje blijkt tevens, dat de grootste variatie in de e 48 Volt is, dus grooter dan de grootste verandering in de electrodenspanning, welke men verkrijgt, als men bij constante i en l het Fe en Cu percentage varieert.

Het heeft dus geen zin, de e en l constant te houden en de i daarnaar te regelen; de verandering in de stroomsterkte is klaarblijkelijk van meer invloed dan die in de electrodenspanning, althans die, waarmee ik bij de opnamen te doen zou krijgen. Houdt men e en i constant en zou men de l voor elk preparaat afzonderlijk daarnaar regelen, dan brengt dit echter zeer groote bezwaren met zich mede; men zou dan met zeer korte en zeer lange bogen moeten werken. Is de booglengte (zeer)

klein, dan zullen de „korte lijnen” en die van de verontreinigingen in het midden van den boog kunnen komen. De korte bogen hebben bovendien het bezwaar, dat er voortdurende „brugvorming” tusschen de electroden optreedt. Het beste is de opnamen te doen bij constante i en l .

Steeds heb ik het midden van den boog gefotografeerd, waar het op intensiteitsmetingen aankwam, waaraan bovendien nog het voordeel verbonden is, dat de lijnen der eventueele verontreinigingen geëlimineerd worden.

Het koolstofspectrum, alsmede dat van ijzer.

KAYSER en TROWBRIDGE spreken over het onderdrukken van het koolstofbandenspectrum; de koolstoflijnen noemen zij niet. Deze heb ik dan ook buiten beschouwing gelaten, te eer, omdat ze *hoofdzakelijk in het ultraviolette gebied liggen*¹⁾, in welk gebied, zooals we boven zagen, de invloed van het medium het grootst is. Bovendien stond de door mij gevolgde methode niet toe, in dit gebied intensiteitsmetingen te verrichten. Van de in het algemeen naar rood afgeschaduwde banden in het gebied der lange golven, heb ik afgezien, daar zij weinig intens zijn en de fotografische plaat voor deze straling ongevoelig is.

Er moest dus een keuze gedaan worden uit de sterkere, naar violet afgeschaduwde banden. Deze banden hebben hun eerste kantlijnen in het gedeeltelijk zichtbare gebied bij λ 5635,43 — 5165,30 — 4737,18 — 4365,01 en bij λ 4606,28 — 4216,18 — 3883,55 — 3590,48.²⁾

¹⁾ Zie tabel in KAYSER, Handb. d. Spectrosc. Bnd. VI.

²⁾ Ontleend aan EDER en VALENTA, Atlas typischer Spektra.

De tweede reeks banden laat ik voorloopig buiten beschouwing; er bestaat nog altijd twijfel omtrent hun juiste oorsprong; zij komen trouwens later bij de cyaanbanden ter sprake.

Nu bleek mij reeds uit een voorloopig onderzoek, dat de verschillende echte koolstofbanden zich analoog gedragen bij de aanwezigheid van koper of ijzer in den boog. Daarom koos ik den band λ 5165,43. Voor dit golflengtegebied is de gebruikte platensoort vrij gevoelig; het ijzerspectrum is daar vrij arm aan lijnen en de band is visueel waar te nemen. Zeer nauwkeurige waarnemingen zijn aan dezen band verricht door LEINEN¹⁾

Hij meet tusschen de eerste kantlijn λ 5165,473 en de tweede kantlijn λ 5129,579 in 't geheel 114 lijnen en deelt ze in series in. Het indentificeeren van het ijzerspectrum biedt grooter moeilijkheid, omdat eigenlijk een volkomen zuiver ijzerspectrum nog nooit ontworpen is. Zoo geven KAYSER en RUNGE²⁾ in het beschouwde golflengtegebied 25 ijzerlijnen op.

Zij hebben echter gewerkt met ijzer uit den handel en zijn zelf er van overtuigd, verontreinigingen mee te hebben gefotografeerd. In zijn Handbuch, band VI (1912), geeft KAYSER ook 25 ijzerlijnen op en in het zevende deel (1e afd. 1924) geeft hij er 17, ontleend aan de onderzoekingen van BURNS. BURNS³⁾ zelf echter klaagt over de verontreinigingen in het door hem gebruikte ijzer (eveneens ijzer uit den handel). De ijzerbanden vallen weer buiten het beschouwde gebied.

¹⁾ JOS. LEINEN. Zeitschr. f. Wiss. Phot. **3**, 1905, bladz. 137—154.

²⁾ H. KAYSER en C. RUNGE, Ueber die Spectren der Elemente, Königl. Akad. d. Wiss., Berlin 1888, bladz. 49.

³⁾ Dr. K. BURNS, Zeitschr. f. Wiss. Phot. **12**, 1913, bladz. 207—235 en Bnd. **13**, 1914, bladz. 235—244.

HARTLEY¹⁾ constateert in de waterstof- zuurstofvlam en bij vonkontladingen, ijzerbanden in het ultraviolet. DOMEK²⁾ krijgt met lichtboogontlading tusschen ijzer (oxyd) electroden, ijzerbanden in het roode, gele en groene stralingsgebied. De sterkste bandenreeks ligt tusschen λ 5789,74 en λ 6179,75. Vóór dezen band ligt, volgens hem, een zeer zwakke band, die zoo onduidelijk is, dat van golflengtebepalingen moest worden afgezien. In de talrijke ijzerspectra, welke ik ontworpen heb, was nooit eenige bandenstructuur te constateeren in het gebied λ 5165 — λ 5129. De voordeelen van dit gebied zijn dus:

1. De verontreinigingen hebben er een zeer gering aantal spectraallijnen en beperken zich tot de kathode; het midden van den boog is er geheel vrij van.

2. De 3e koolstofband is behoorlijk sterk en visueel waar te nemen, de fotografische plaat is voldoende gevoelig voor de groene straling.

3. Het ijzer-spectrum is er vrij arm aan lijnen; bandenstructuur ontbreekt.

Hieruit volgt dus, dat men in het midden van den boog tusschen λ 5165 en λ 5129 het zuivere spectrum der homogene ijzerkoolstofmengsels waarneemt.

Het rooster en het oplossend vermogen.

Bij mijn opnamen heb ik gebruikt een vlak Rowland-rooster met autocollimatie. Het rooster heeft een gestreept oppervlak van 8×5 cM. en 568 lijnen per m.m.

¹⁾ W. N. HARTLEY and H. W. Moss, Proc. Roy. Soc. **87**, 1912, bladz. 38—48.

²⁾ E. DOMEK, Wien, Ber. **119**, II A; 1910, bladz. 437—452.

De brandpuntsafstand f van den collimator is 400 c.M. en de diameter D is 10 c.M.

Is het aantal strepen op het rooster m en de orde, waarin men fotografeert, n , dan is het theoretisch (visueel) oplossend vermogen R uitgedrukt in de formule:

$$\frac{\lambda}{d\lambda} = m n = R. \text{ (RAYLEIGH) } ^1)$$

Voor het gebruikte rooster is in de 1e orde, $R = m = 80 \times 568 = 45440$.

Voor $\lambda = 5165,30$ geeft de formule $d\lambda = \frac{\lambda}{R} = 0,114$ en voor $\lambda = 5129,36$, $d\lambda = 0,113$.

Stralen, wier golflengten in het gebied $\lambda \ 5165 - \lambda \ 5129$, een verschil hebben van $0,113 \text{ \AA}$ E of kleiner, worden dus visueel niet meer opgelost. Het theoretisch oplossend vermogen geldt echter voor oneindig nauwe spleten. Een eindige spleetwijdte drukt onmiddellijk het oplossend vermogen omlaag. SCHUSTER ²⁾ voert, na een definitie gegeven te hebben van de oplossing van twee lijnen, in de z.g. „zuiverheid P (Purity) van het spectrum”.

Twee lijnen nu zijn visueel opgelost, als $d\lambda = \frac{\lambda}{P}$ en geheel opgelost als $d\lambda = \frac{2\lambda}{P}$

P wordt in verband gebracht met R door de formule $P = p R$ (p = purity factor). Voor oneindig nauwe spleten is $p = 1$ en krijgt men weer het theoretisch oplossend vermogen. Tenslotte voert hij nog in de „normale breedte” (normal width), n.l. een spleetwijdte,

¹⁾ Zie het overzicht in P. ZEEMAN, Researches in Magneto-Optics, Macmillan, Londen 1913, bladz. 1—13.

²⁾ A. SCHUSTER, Astrophys. Journ. vol. XXI, no. 3, April 1905.

welke een zuiverheid P geeft, die 1,4 % minder is dan de grootst mogelijke.

De normale wijde $= \frac{f\lambda}{4D}$ (uitgedrukt in c.M.)

Voor ons geval $\lambda = 5000 \text{ \AA}$ $E = 5 \times 10^{-5}$ c.M. stellende, krijgen wij voor de normale wijde

$$\frac{f\lambda}{4D} = \frac{400 \times 5 \times 10^{-5}}{4 \times 10} \text{ c.M.} = 0,005 \text{ m.m.}$$

en ik heb gewerkt met een spleetwijde van 0,04 m.m.

Is de spleetwijde $7,2 \times$ de normale, dan wordt het oplossend vermogen tot ongeveer op de helft gereduceerd en $7,2 \times 0,005 = 0,036$. Daar ik met nog iets grotere spleetwijde werkte, moet het oplossend vermogen tot op minder dan de helft gereduceerd zijn.

Berekent men met tabel III, door SCHUSTER gegeven, de p , dan vindt men inderdaad hiervoor ongeveer 0,46.

De visuele oplossing geeft vlg. $d\lambda = \frac{\lambda}{p} = \frac{\lambda}{p.R}$ in ons geval:

$$d\lambda = \frac{5165 \times 10^{-8}}{0,46 \times 45440} = \pm 0,245 \text{ \AA E.}$$

Voor de volledige oplossing moet dus $d\lambda$ minstens 0,49 $\text{\AA E}$ bedragen. Terwijl dan ook LEINEN tusschen λ 5165 en λ 5129, 114 lijnen telt, kom ik tot een getal van slechts 67. Aan de hand van de door LEINEN gegeven golflengten der koolstoflijnen kan men vooruit zeggen, welke lijnen uit het koolstofspectrum zullen samenvallen met elkaar. Stelt men zich nu op het standpunt, dat het te doen is om het intensiteitsverloop in den volledige band, dan is het bovengenoemde een bezwaar. Men zou kunnen tegenwerpen, dat dit te ontgaan zou zijn, door in een hogere orde te fotografeeren. Men zou dan echter gedwongen worden, zijn toevlucht te nemen tot uiterst lange belichtingstijden, omdat het rooster in de hogere orde lichtzwak is.

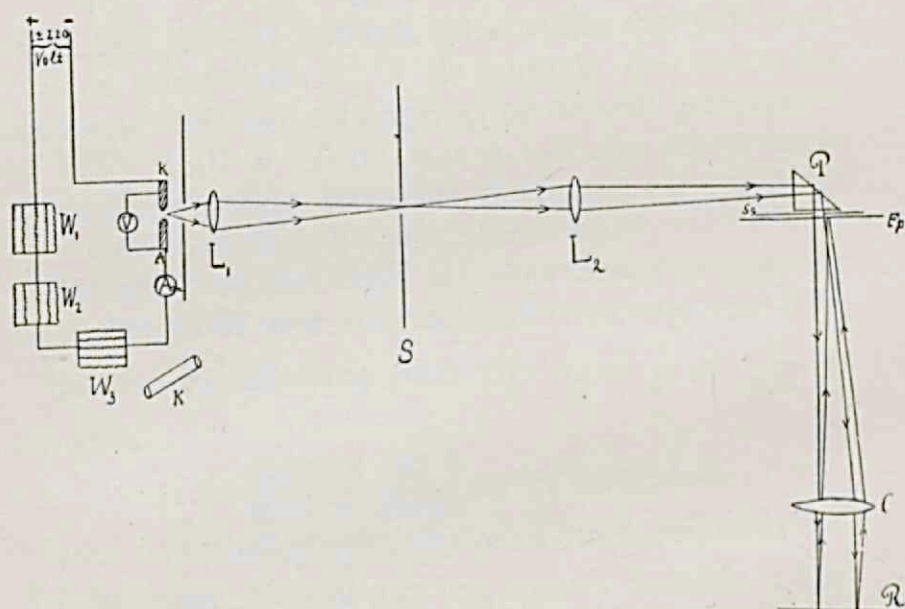


Fig. 14.

In de lichtsterke eerste orde komt bij 1 ampère en een belichtingstijd van 90 min. vrijwel niets van het koolstofspectrum op. Een ander bezwaar, waaraan men ook in de hogere orden niet ontkomt, is in het volgende gelegen. Een opname van een koper-koolstofmengsel (ongeveer 85 % Cu) gaf de sterke Cu-lijn λ 5153 over een breedte van 5 Ångström en beslaat dus het gebied λ 5155,5 — λ 5150,5. In dit gebied telt LEINEN 15 koolstoflijnen. Deze worden dus eenvoudig overdekt.

De spectrogrammen en de microfotometrische opnamen laten echter direct zien, dat de intensiteit van vrijwel alle koolstoflijnen, zoowel die der ijzer-koolstof- als koper-koolstofmengsels, als functie van het ijzer- en koperpercentage, kwalitatief hetzelfde beloop hebben.

De opstelling der proeven.

Deze is aangegeven in fig. 14. De lamp is aangesloten aan den 220 Volt gelijkstroom van het stadsnet. De anode A is de onderste electrode; W_1 , W_2 en W_3 zijn regelbare weerstanden. De spanning tusschen de elektroden wordt afgelezen op de praecisie-voltmeter V, de stroomsterkte op de praecisie-ampèremeter A, beide tot 0,1 nauwkeurig. De lens L_1 vormt op het scherm S een beeld van den boog. Het beeld der elektroden wordt afgeschermd. In S is een spleet loodrecht op de as van den boog aangebracht. Deze spleet is van een schaalverdeling voorzien, om de lengte van den boog te controleren. Vandaar gaan de stralen door de lens L_2 naar het totaal reflecteerend prisma P en komen aldus in de spleet S van den spectrograaf, bereiken vervolgens den collimator C en het rooster R. De stralen keeren daarna door de lens

C naar de fotografische plaat Fp. (vóór het vlak van teekening te denken) terug.

Met deze opstelling werd de derde koolstofband λ 5165 — λ 5129 opgenomen, terwijl de spleet van den spectrograaf loodrecht op de as van den boog stond.

Voor de opnamen der verschillende cyaanbanden wordt de spectrograaf 90° gedraaid; daardoor komt de spleet van den spectrograaf evenwijdig aan de as van den boog te staan. Het totaal reflecteerend prisma wordt daarbij vervangen door een spiegeltje, dat het beeld van den boog op de spleet Ss werpt. De plaats en lengte van het beeld worden gecontroleerd met het kijkertje K. Bij de opnamen van den koolstofband dient het kijkertje voor het controleeren van de beeldlengte op het scherm. De lamp wordt met de hand bijgesteld.

HOOFDSTUK IV.

De intensiteitsmetingen.

De opnamen met de Fe — C mengsels waren als volgt:

Samenstelling der electroden.	Gemiddelde stroomsterkte.	Belichtings- tijd.	Samen- stelling der electroden.	Gemiddelde stroomsterkte.	Belichtings- tijd.	Stand der electroden bij alle opnamen.	Spleetwijdte bij alle opnamen.	Gefotografeerde gebied.	Gedeelte van den boog.	
0 % Fe 1,14 % 1,66 % 3,9 % 7,65 % 13,95 % 24,2 % 36,52 % 43,25 % 59,14 % 69,65 % 83,2 % Staalectroden	± 6 ampère.	25 min.	0 % Fe 3,9 % 7,65 % 13,95 % 24,2 % 43,25 % 0 % 3,9 % 7,65 % 13,95 % 24,2 % 43,25 %	± 3 ampère.	30 min.	Verticale stand. Anode onder. Geen koeling. As van den boog loodrecht op de spleet van den spectrograaf.	0,04 m.m.	3 ^e koolstofband; 1 ^e kantlijn λ 5165.	Middengedeelte.	

* Zie voor de beteekenis van de dubbele opgave bladz. 55.

Alle opnamen werden gedaan met „PAGET, self-filtered-orthochromatic”. Op elke plaat werden ten hoogste vier spectra gefotografeerd. De platen werden ontwikkeld met een ontwikkelaar, bestaande uit drie gelijke volumedeelen hydrochinon A, B en metol hydrochinon.* De ontwikkeltijd bedroeg voor alle opnamen $3\frac{1}{2}$ minuut. De platen werden na het fixeeren gespoeld en gedroogd. De temperatuur bleef vrij constant. Ik las op achtereenvolgende dagen af: $7,5^{\circ}$, 7° , 7° , 7° , 7° , $7,5^{\circ}$, 8° , $8,5^{\circ}$, $8,5^{\circ}$, 8° C. Voor het maken der zwarting-intensiteitskrommen heb ik een der in het Utrechtsche Laboratorium gebruikelijke methoden gevolgd, n.l. de z.g. „inschuivingsmethode”, het eerst aangegeven en toegepast door BURGERS en van CITTERT¹⁾. De spleet van den spectrograaf wordt voor een-derde deel bedekt door een planparallele rookglasplaat, waarvan de selectieve absorptie voor λ 5165 — λ 5129, 59% bedraagt, het volgende derde gedeelte blijft onbedekt, het laatste derde gedeelte wordt weer bedekt door een planparallele rookglasplaat, waarvan de selectieve absorptie in het bovengenoemde stralingsgebied 86 % bedraagt. Iedere spectraallijn van het spectrogram wordt aldus in drie deelen verdeeld, wier intensiteiten zich verhouden als

* De samenstelling is als volgt:

A.		B.		metol-hydrochinon
Hydrochinon	24 gram	Bijtende kali	48 gram	Water 400 cm ³ .
Kaliummetadisulfiet	24 „	Water	1 Liter.	Metol 4,8 gram
Kaliumbromide	24 „			Hydrochinon 9,6 gram
Water	1 Liter.			Kaliummetabisulfiet 32 gram
				Natriumhydroxyde 18 „
				(verdunning 1:5).

¹⁾ H. C. BURGER en P. H. VAN CITTERT, Koninkl. Akad. v. Wetensch. dl XXIII, no. 5, 1920.

Zie ook H. B. DORGELO, The Intensities of the components of multiple spectral lines. Diss. Utrecht, 1924, blad. 6—16.

41 : 100 : 14, vooropgesteld, dat de spectraallijn over haar geheele lengte dezelfde intensiteit bezit. Deze onderstelling is gecontroleerd en bleek juist. Daar de verschillende spectraallijnen uit een spectrogram verschillende intensiteiten bezitten, krijgt men een groote variatie in intensiteiten. Twee belangrijke vragen dienen nu te worden opgelost:

1. hoe verkrijgt men een zwarting-intensiteitskromme voor één enkele plaat, die in staat stelt de intensiteit op één plaat te meten?

2. hoe sluit men de metingen op de verschillende platen aaneen?

Ten einde voor één plaat de zwarting-intensiteitskromme te krijgen, werden de 100 %, 41 % en 14 % intensiteitsdeelen van één en hetzelfde spectrogram doorgefotometreerd met de thermozuil en galvanometer van MOLL¹⁾. Op de bekende wijze worden nu voor de drie deelen van verschillende lijnen de $\frac{U_o}{U_d}$ gemeten. De zwartingskromme wordt verkregen op dubbel log: papier. Een voorbeeld kan dit het beste toelichten. Op de boven aangegeven wijze werd de 3e koolstofband λ 5165 — λ 5129 doorgefotometreerd en voor verschillende lijnen (waaraan ik een nummer geven zal) de zwarting opgemaakt.

¹⁾ MOLL, Kon. Ak. v. Wetensch. Deel XXXVII, 1919, bladz. 566.

Men krijgt dan:

No. van de lijn.	100 % I.	41 % I.	14 % I.
	$\frac{U_o}{U_d}$	$\frac{U_o}{U_d}$	$\frac{U_o}{U_d}$
1	$\frac{62,4}{5,50}$	$\frac{62,25}{19,20}$	$\frac{62,50}{37,50}$
2	$\frac{62,25}{33,20}$	$\frac{62,50}{43,80}$	$\frac{62,50}{50,00}$
3	$\frac{62,25}{6,2}$	$\frac{62,50}{13,00}$	$\frac{62,50}{31,60}$
4	$\frac{62,40}{7,0}$	$\frac{62,40}{22,25}$	$\frac{62,50}{39,50}$
5	$\frac{62,25}{3,00}$	$\frac{62,40}{12,00}$	$\frac{62,50}{30,75}$
6	$\frac{62,30}{17,75}$	$\frac{62,25}{35,60}$	$\frac{62,50}{45,50}$

Op de vertikale as van het dubbel log. papier is nu $^{10}\log. \frac{U_o}{U_d}$ uit te meten.

Op de horizontale log. as zetten we bij log. 14, log. 41 en log. 100 vertikaal de afgemeten stukken log. $\frac{U_o}{U_d}$ uit.

Men verschuift dan de gebroken lijnen 1—1—1; 2—2—2 enz., zoo dat hun uiteinden een vloeiende lijn vormen. (fig. 15).

Men herkent onmiddellijk het onderbelichte en normaal belichte gebied. Er schuilt echter een willekeurigheid in; het is n.l. onverschillig, in welk richting men

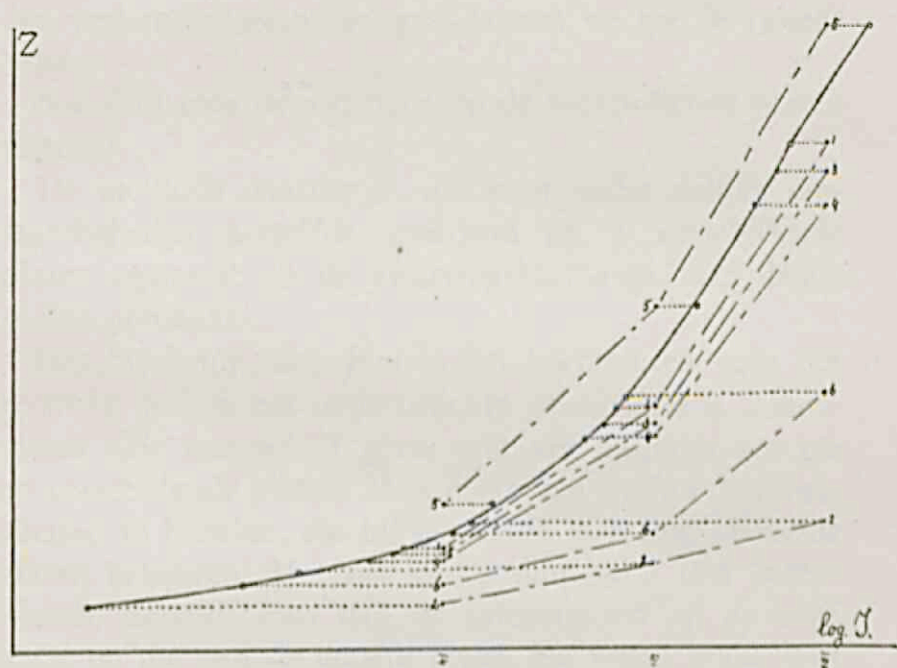


Fig. 15.

verschuift. Dit beteekent, dat het absolute karakter der intensiteitsmetingen verloren gaat, wat echter geen bezwaar is. Immers het gaat slechts om verhoudingen. Voor de spectrogrammen op één plaat kan men dus de intensiteits-verhoudingen voor verschillende lijnen vinden.

Daar we de metingen op de verschillende platen in één verband moeten brengen, komen we tot de tweede vraag:

hoe sluit men de metingen op de verschillende platen aaneeen?

De methode daartoe is, dat men onder gelijke omstandigheden hetzelfde spectrum op 2 verschillende platen opneemt en de zwartingskrommen voor beide platen opmaakt.

Het bleek mij, dat deze in het normale en voor het grootste deel in het onderbelichte gebied steeds samenvielen. Dit was ook 't geval met verschillende spectra op verschillende platen. Men heeft dan slechts de intensiteiten te bepalen, die bij éénzelfde zwarting op beide platen behooren. Met het verhoudingsgetal dier intensiteiten herleidt men dan de intensiteiten op de eene plaat op die van de andere plaat. De vraag is nu, wat men onder de intensiteit van een koolstoflijn moet verstaan? Stel, men heeft voor het midden van de lijn de zwarting uit de microfotometrische opnamen afgeleid en met de zwartingskromme een zekere intensiteit I gevonden. Men mag dan deze I geenszins opvatten als de intensiteit van de spectraallijn. Deze intensiteit bevat nog die van den ondergrond, welke door het continue spectrum van de lichtbron is teweeggebracht. Men moet dus de gevonden intensiteit verminderen met die van den ondergrond ter plaatse, waar de spectraallijn ligt. De eenige weg daartoe is, dat men de intensiteit ter weerszijden van de beschouwde spectraallijn meet. Deze

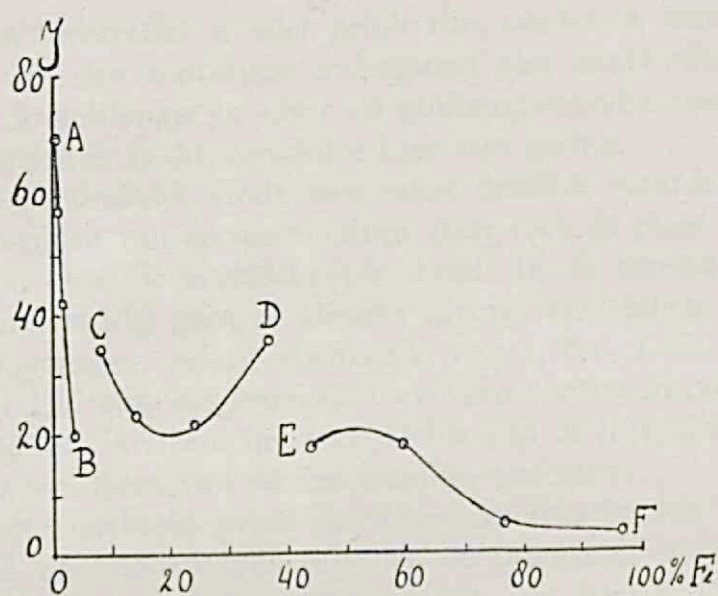


Fig. 16.

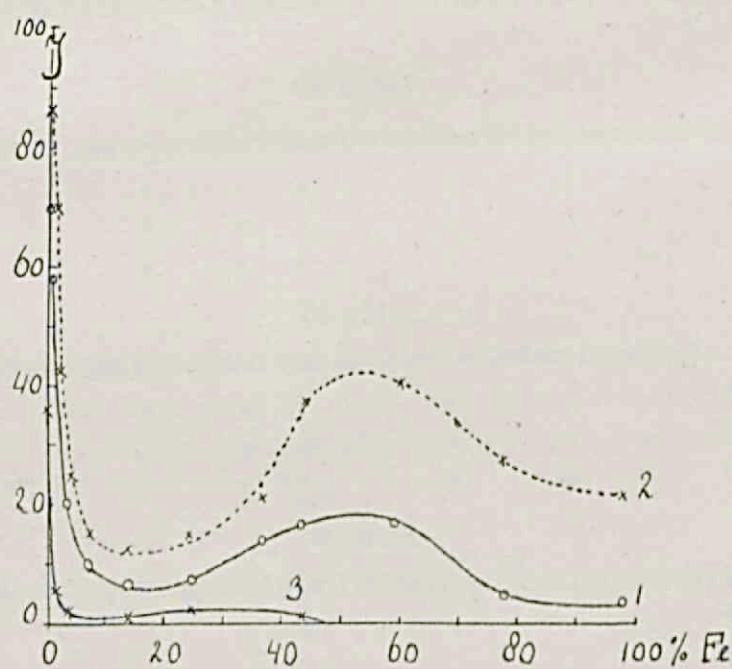


Fig. 17.

4e plaat.

12e spectrogram; opgenomen met staalelectroden, bevattende ongeveer 97 % Fe. De stroomsterkte bedraagt voor alle opnamen 6 amp., de belichtingstijd 25 min.; de opnamen zijn genomen met hetzelfde platenmateriaal (PAGET Orthochromatic"), terwijl de platen op dezelfde wijze, bij dezelfde temperatuur, ontwikkeld zijn. Volgens de op bladz. 46 medegedeelde wijze is een $Z - \log. I$ kromme (zie ook fig. 15) voor de eerste plaat gemaakt met behulp van het geijkte eerste spectrogram.

De intensiteitsmetingen geven:

Spectrogram.	Intensiteit van de koolstoflijn, met ondergrond.	Gemiddelde intensiteit van den ondergrond.	Intensiteit van de koolstoflijn, zonder ondergrond.
1e	86,0	16,9	69,1
2e	69,5	11,7	57,8
3e	41,5	onderbelicht	
4e	24,5	4,8	19,7

In fig. 16 is de intensiteit van de koolstoflijn, zonder ondergrond, als functie van het ijzerpercentage getee-kend n.l. de kromme A B.

Met behulp van het 7e spectrogram maken we nu de $Z - \log. I$ kromme voor de tweede plaat op en meten weer de intensiteiten van de koolstoflijn.

Dit geeft:

Spectrogram.	Intensiteit van de koolstoflijn, met ondergrond.	Gemiddelde intensiteit van den ondergrond.	Intensiteit van de koolstoflijn, zonder ondergrond.
5e	50,0	15,7	34,3
6e	41,8	18,8	23,0
7e	50,2	28,5	21,7
8e	72,0	36,4	35,6

Het verloop van de intensiteit der koolstoflijn, zonder ondergrond, als functie van het ijzerpercentage is aangegeven in fig. 16, nl. de kromme C D. Ten slotte maken wij voor de 3e plaat de $Z - \log. I$ kromme op met behulp van het 9e spectrogram en meten weer de intensiteiten van de koolstoflijn.

Wij vinden dan:

Spectrogram.	Intensiteit van de koolstoflijn, met ondergrond.	Gemiddelde intensiteit van den ondergrond.	Intensiteit van de koolstoflijn, zonder ondergrond.
9e	41,3	23,6	17,7
10e	43,5	25,0	18,5
11e	30,0	25,0	5,0

De zeer zwakke lijn op het spectrogram der staal-electroden heb ik geschat met de $Z - \log. I$ kromme van de bovenstaande plaat op resp.: 23,5, 20 en 3,5.

Het verloop van de intensiteit der koolstoflijnen, zonder ondergrond, bij deze ijzerpercentages is in fig. 16 grafisch aangegeven door de kromme E F. Teneinde nu alle intensiteiten in dezelfde eenheid uit te drukken, meten we de zwartingen op de tweede plaat in de $Z - \log. I$ kromme van de eerste plaat. De gemiddelde factor, waardoor de intensiteiten van de tweede plaat moeten gedeeld worden, is 3,44.

Om de intensiteiten van de derde plaat te meten in de schaal van de eerste plaat, moeten we die van de derde plaat met 0,9 vermenigvuldigen.

Wij krijgen dan het volgende overzicht:

Spectrogram.	Intensiteit van de koolstoflijn, met ondergrond.	Gemiddelde intensiteit van den ondergrond.	Intensiteit van de koolstoflijn, zonder ondergrond.
0 % Fe	86,0	16,9	69,1
1,14 % „	69,5	11,7	57,8
1,66 % „	41,5	onderbelicht	—
3,9 % „	24,5	4,8	19,7
7,65 % „	14,5	4,6	9,9
13,95 % „	12,1	5,4	6,7
24,2 % „	14,6	8,3	6,3
36,52 % „	20,9	10,6	10,3
43,25 % „	37,17	21,24	15,9
59,14 % „	39,15	22,5	16,6
69,65 % „ }	27,3	22,5	4,5
83,2 % „ }			
staalelectroden	21,2	18,0	3,2

In fig. 17 is het intensiteitsverloop van de koolstoflijn als functie van het ijzerpercentage geteekend. No. 1 geeft dit verloop weer zonder intensiteit van den ondergrond; no. 2 geeft het intensiteitsverloop met ondergrond.

Op gelijke wijze vinden we voor de koolstoflijn λ 5155,74 uit dezelfde spectrogrammen:

Spectrogram.	Intensiteit van de koolstoflijn, met ondergrond.	Gemiddelde intensiteit van den ondergrond.	Intensiteit van de koolstoflijn, zonder ondergrond.
0 % Fe	98,0	14,0	84,0
1,14 % "	83,0	4,9	78,1
1,66 % "	52,2	onderbelicht	—
3,9 % "	37,8	2,0	35,8
7,65 % "	15,7	3,4	12,3
13,95 % "	12,3	4,8	7,5
24,2 % "	14,5	7,3	7,2
36,52 % "	20,3	10,1	10,2
43,25 % "	30,6	17,6	13,0
59,14 % "	32,1	19,1	13,0
69,65 % " }	21,4	19,3	2,1
83,2 % " }			
staalelectroden	14,2	12,2	2,0

Het intensiteitsverloop van deze koolstoflijn, zonder en met ondergrond, is weergegeven in fig. 18 (1 en 2).

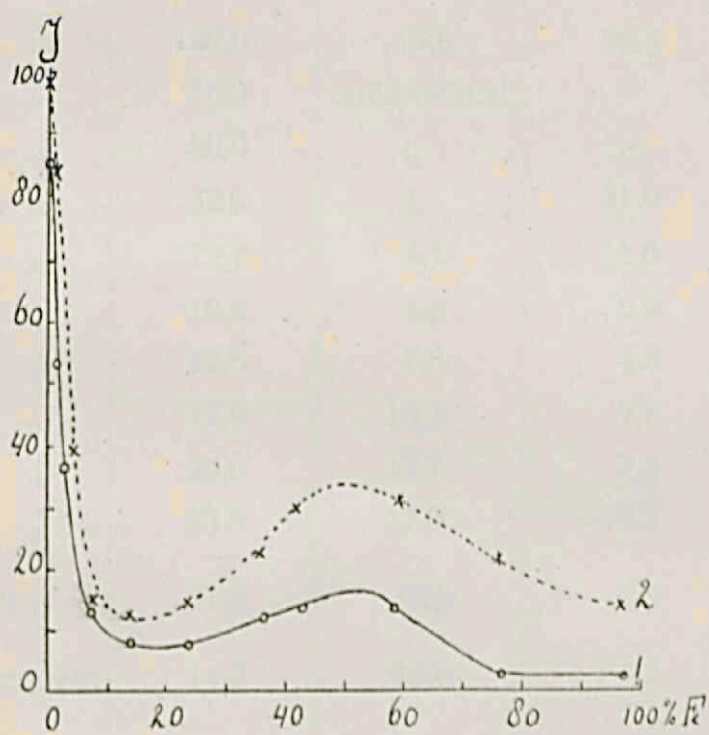


Fig. 18.

Zoo vinden we voor de koolstoflijn λ 5154,54 het volgende intensiteitsverloop:

Spectrogram.	Intensiteit van de koolstoflijn, met ondergrond.	Gemiddelde intensiteit van den ondergrond.	Intensiteit van de koolstoflijn, zonder ondergrond.
0 % Fe	108,0	11,6	96,4
1,14 % „	76,0	onderbelicht	—
1,66 % „	50,0	„	—
3,9 % „	32,0	1	31,0
7,65 % „	15,7	4,1	11,6
13,95 % „	10,8	4,8	6,0
24,2 % „	12,6	7,8	4,8
36,52 % „	17,9	10,1	7,8
43,25 % „	25,0	17,7	7,3
59,14 % „	23,6	17,3	6,3
69,65 % „	21,6	18,9	2,7
83,2 % „			
staalelectroden	14,2	13,0	1,2

Het intensiteitsverloop van deze koolstoflijn als functie van het ijzerpercentage, zonder en met ondergrond is van hetzelfde karakter als dat van de vorige koolstoflijnen. Zwakke koolstoflijnen verdwijnen snel met het opvoeren van het ijzergehalte. Zoo is b.v. de zwakke koolstoflijn λ 5152,71 bij 7,65 % Fe gehalte nog ternauwernood zichtbaar; bij 13,95 % Fe en hoger ijzergehalte verdwenen. Anderzijds ondergaan ook de ijzerlijnen den invloed van de aanwezigheid der koolstof.

Een teekenend voorbeeld hiervan is de ijzerlijn λ 5160,30 en de hiernaast gelegen koolstoflijnen. Terwijl er bij 1,66% Fe gehalte, ($i = 6$ amp., expositietijd 25 min.) niets van de ijzerlijn te zien is, komt zij bij 3,9% Fe zwak op en groeit dan met het ijzergehalte aan. Niet alleen laat een visuele beschouwing der spectrogrammen dit zien, ook de microfotometrische opnamen vertoonen dit duidelijk, (fig. 19, a en b koolstoflijnen, c ijzerlijn).

Het intensiteitsverloop van deze ijzerlijn, met inbegrip van de intensiteit van den ondergrond, is als volgt:

Spectrogram.	Intensiteit van de ijzerlijn, met ondergrond.
staalelectroden	43,5
69,65 } % Fe	59,0
83,2 }	
59,14 % "	109,3
43,25 % "	109,3
36,52 % "	82,5
24,2 % "	56,5
13,95 % "	34,8
7,65 % "	21,2
3,9 % "	16,6
1,66 % "	} ijzerlijn afwezig.
1,14 % "	
0 % "	

In fig. 20 is dit beloop grafisch voorgesteld.

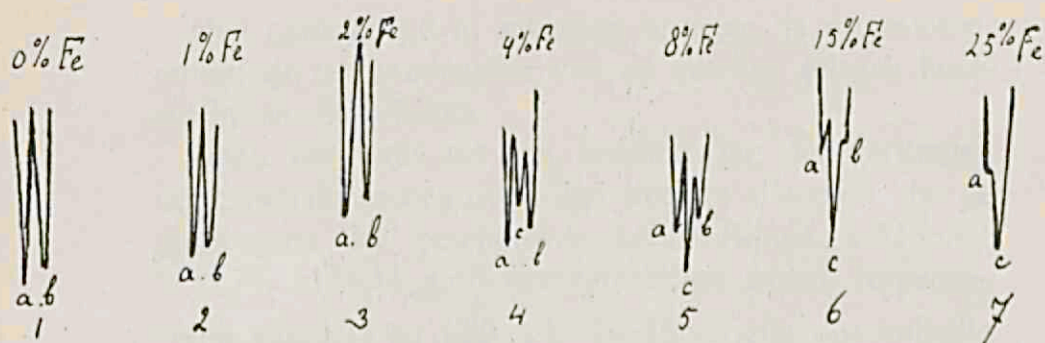


Fig. 19.

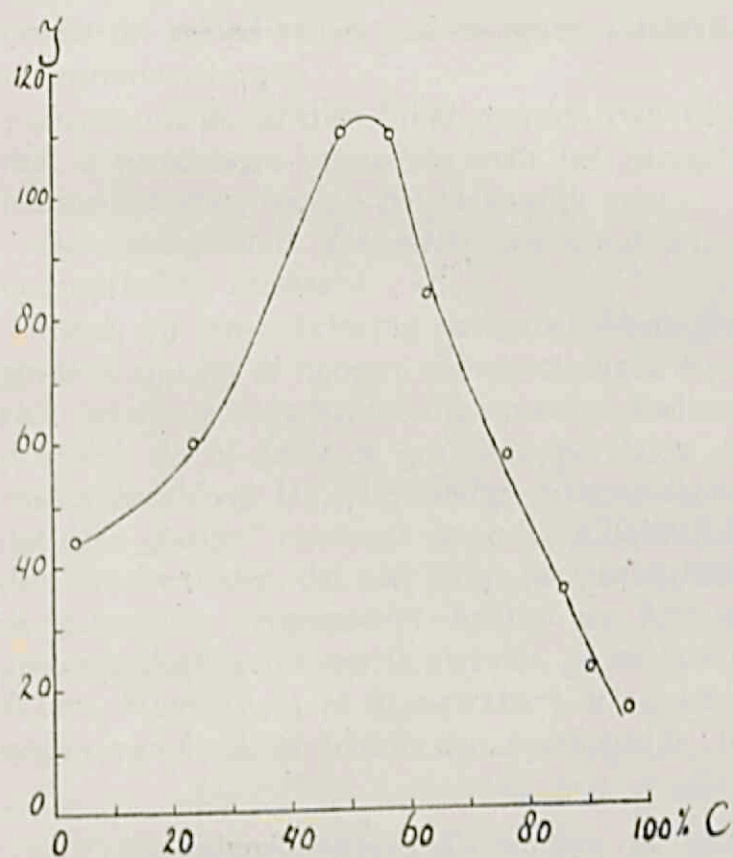


Fig. 20.

Den ondergrond in rekening brengen, is uitgesloten, omdat de ter weerszijden van de ijzerlijn gelegen koolstoflijnen dit beletten.

Gaan we thans tot een beschouwing der verkregen intensiteitskrommen over, dan zien we allereerst, dat de golflengten der beschouwde koolstoflijnen: λ 5156,89, 5155,74, 5154,54 golflengteverschillen geven, respectievelijk van 1,15 en 1,20 Å E. De lijnen zijn dus volledig opgelost. Weliswaar liggen hiertusschen zwakke koolstoflijnen, doch, zooals reeds vermeld is, verdwijnen deze al zeer spoedig, zoodra het ijzerpercentage opgevoerd wordt. De genoemde lijnen leenen zich, vooral omdat dit gebied vrij is van Fe lijnen, uitstekend voor intensiteitsmetingen.

Zooals uit de tabellen blijkt, worden voor één preparaat 2 percentages opgegeven voor het ijzergehalte en hiermede komen we aan een belangrijk punt.

De homogeniteit der elektroden wordt n.l. door de boogontlading verstoord.

Reeds bij een voorloopig onderzoek bleek mij dit 't geval te zijn bij de hoogere ijzerpercentages. Er vormen zich, zooals medegedeeld werd, spoedig vloeibare ijzerdruppels, die al gauw de geheele oppervlakte der elektroden bedekken. De scheikundige analyse toonde aan, dat deze „kapjes” een lager ijzergehalte hadden dan dat deel der elektroden, dat niet direct aan de ontleding had deelgenomen. Vermoedelijk hebben we hier met een proces te doen, gelijksoortig met dat, geconstateerd door WATTS, MENDELHALL en SAUERWALD¹⁾, n.l. dat bij oplosingen van koolstof in metalen (ijzercarbide, boorcar-

¹⁾ F. SAUERWALD, Zeitschr. f. Elektrochem. **28**, 1922, bladz. 183—185.

Zie ook J. A. M. VAN LIEMPT, Chem. Weekbl. **45**, 1924, bladz. 518—519.

bide) het niet koolstof-bestanddeel het eerst uitdampt. Als dit echter zoo is, gedragen de ijzer-koolstof-electroden met hoog ijzergehalte zich gedurende korten tijd als een mengsel (korter naarmate het ijzergehalte toeneemt en de „kapjes”-vorming sneller verloopt). Maar dan ligt ook de conclusie voor de hand, dat de intensiteitskromme van dát ijzerpercentage af, waarbij de „kapjes”-vorming snel plaats heeft, tot aan het ijzerpercentage der staalelectroden een zeer zwak verval moet vertoonen. Dit verval is dan hoofdzakelijk te danken aan de periode van de ontlading, waarbij de elektroden zich nog als mengsel gedragen. *Dit verschijnsel doet zich nu inderdaad voor.* (Zie fig. 17 en fig. 18). Wat ook direct in de krommen de aandacht trekt, is de omstandigheid, dat reeds bij zeer kleine ijzerpercentages de intensiteit der koolstoflijnen zoo buitengewoon sterk afneemt.

Even sterk als een weinig metaaldamp de elektroden-spanning doet dalen (fig. 7 en 10), even sterk doet deze de intensiteit der koolstoflijnen afnemen.

Wat echter het meest treft, is het maximum en minimum in de intensiteitskrommen. Het maximum ligt ongeveer bij 50% Fe-gehalte; ook de ondergrond vertoont bij dit percentage zijn intensiteitsmaximum. Visueel overtuigt men zich gemakkelijk van de intensiteitsmaxima in de spectrogrammen der bovengenoemde koolstoflijnen. Op bladz. 55 is reeds medegedeeld, waarom de intensiteit van den ondergrond der ijzerlijn λ 5160,30 niet in rekening gebracht kan worden. Dit verloop zal echter niet veel afwijken van dat, wat voor den ondergrond van de genoemde koolstoflijnen is gevonden; de intensiteitskromme gaat dan ook weer door een maximum. Verder blijkt, dat de sterkste koolstoflijnen de sterkste verzwakking ondergaan.

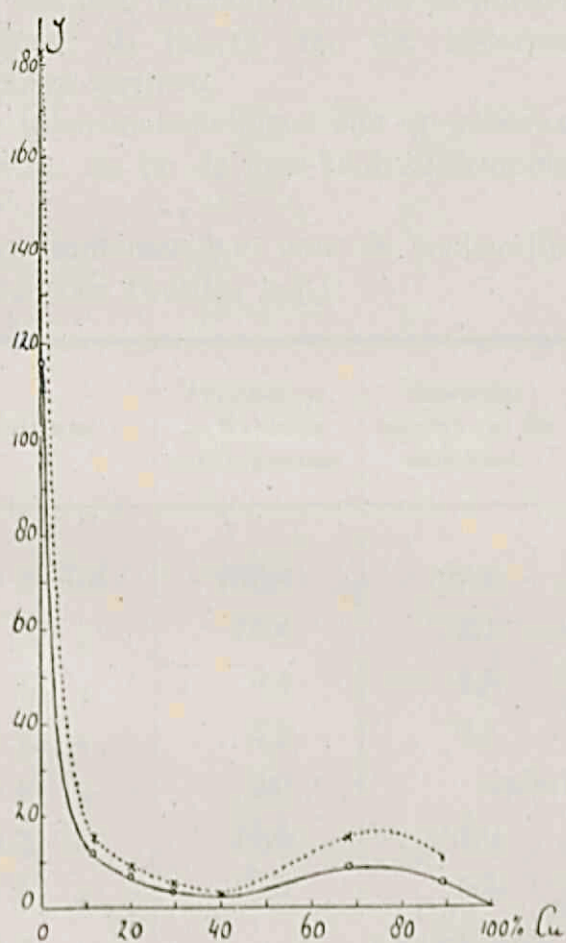


Fig. 21.

De koper-koolstofmengsels.

Deze leveren niet veel nieuws. De spectrogrammen laten ook hier duidelijk zien, dat de intensiteit der koolstoflijnen, als functie van het koperpercentage, een maximum vertoont.

De intensiteitsmetingen zijn op geheel dezelfde wijze ingericht, als bij de ijzer-koolstofmengsels.

Zoo vindt men b.v. voor de koolstoflijn λ 5128,3 (3e lijn van den tweeden kop):

Spectrogram.	Intensiteit van de koolstoflijn, met ondergrond.	Gemiddelde intensiteit van den ondergrond.	Intensiteit van de koolstoflijn, zonder ondergrond.
0 % Cu	182,4	67,6	114,8
12 % "	14,4	3,1	11,8
20 % "	9,4	2,5	6,9
29,5 % "	4,2	0,7	3,5
43,9 % "	2,0	onderbelicht	
66,5 % "	14,6	7,0	7,6
89,7 % "	10,0	5,3	4,7
98,0 % "	onderbelicht		

Het intensiteitsbeloop van de koolstoflijn, als functie van het koperpercentage zonder en met ondergrond, is aangegeven in fig. 21.

Zoo vinden we voor de koolstoflijn λ 5137,5:

Spectrogram.	Intensiteit van de koolstoflijn, met ondergrond.	Gemiddelde intensiteit van den ondergrond.	Intensiteit van de koolstoflijn, zonder ondergrond.
0 % Cu	133,1	21,0	112,1
12 % „	10,4	onderbelicht	—
20 % „	6,5	0,9	5,6
29,5 % „	3,9	onderbelicht	—
43,9 % „	1,8	„	—
66,5 % „	16,0	5,8	10,2
89,7 % „	16,0	7,3	8,7
98 % „	onderbelicht		—

Het intensiteitsbeloop van deze koolstoflijn, zonder en met ondergrond, is aangegeven in fig. 22, (1 en 2).

Fouten in de nauwkeurigheid der resultaten.

Alvorens over te gaan tot de opnamen bij 3 en $1\frac{1}{2}$ amp., dienen we ons eerst af te vragen, welke waarde wij aan de bovenstaande metingen mogen hechten. De foutenbronnen zijn uitvoerig door Mej. R. RIWLIN ¹⁾ in haar proefschrift behandeld. De eerste fout is de z.g. randfout, die daarin bestaat, dat een gelijkmatig over haar geheele oppervlakte belichte plaat naar den rand steeds grootere zwarting vertoont. Door hoogstens vier

¹⁾ RASSA RIWLIN, Das Wesen der Lichtzerstreuung in flüssigen Kristallen, Utrecht, 1923, bladz. 25—32.

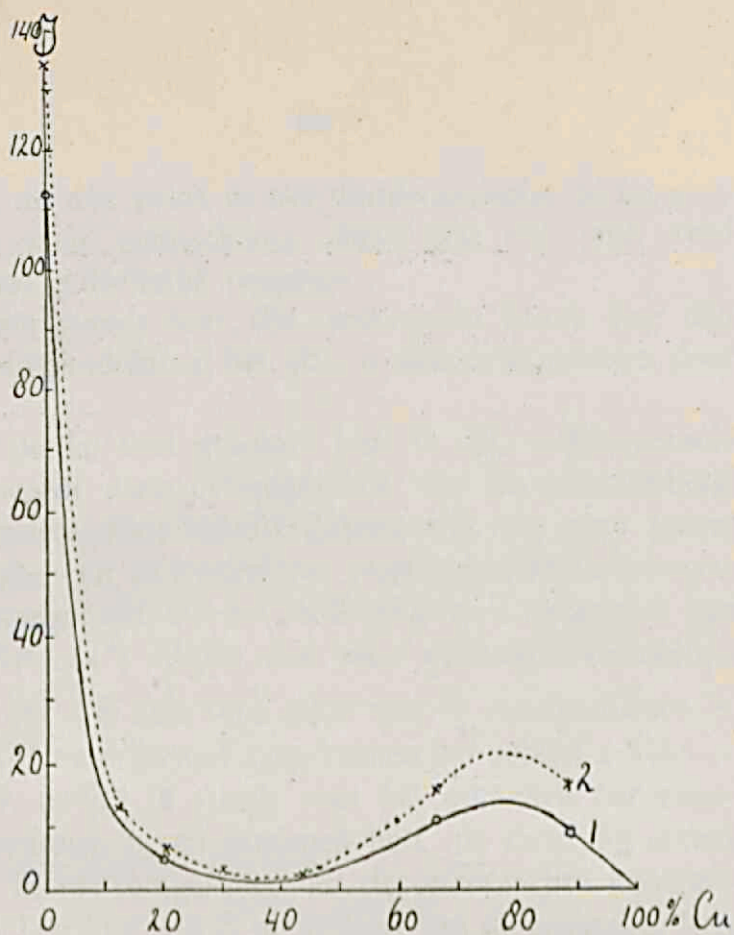


Fig. 22.

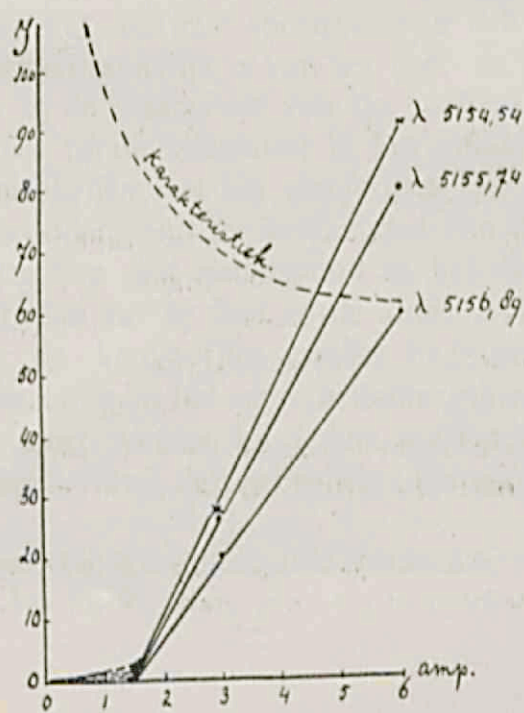


Fig. 23.

spectra op één plaat in het middengedeelte te fotografeeren, waar ruimschoots plaats was voor vijf, werd deze fout gedeeltelijk ontgaan.

Op een tweede fout, die veroorzaakt wordt door den dichtheidsgradiënt in het glas, is uitvoerig gewezen door Busé¹⁾

Een derde, veel grootere fout is die, welke veroorzaakt wordt door heterogeniteit van de gelatine-laag. Een andere fout schuilt daarin, dat niet voor iedere golflengte een afzonderlijke zwarting-intensiteitskromme is opgemaakt. Uit het reeds genoemde onderzoek van Mej. RIWLIN²⁾ blijkt, dat voor golflengte-verschillen van $\pm 100 \text{ \AA}$ E deze fout zeker niet te verwaarloozen is.

Nu blijven mijn metingen binnen het gebied λ 5165 — λ 5129, terwijl ik steeds voor het opmaken der zwartingskrommen lijnen genomen heb, die dicht bij elkaar liggen in de omgeving van de onderzochte koolstoflijnen. Daardoor wordt de invloed van de gemaakte fout gering.

Verder blijkt uit de fig. 17, 18, 21 en 22, dat de ondergrond, door het continue spectrum van den lichtbron veroorzaakt, afhankelijk is van het ijzer- en koperpercentage. Nu is de intensiteit van de koolstoflijnen, verkregen door de totale intensiteit in het midden van zoo'n lijn, te verrekenen met het gemiddelde der intensiteiten van den ondergrond ter weerszijden van de lijn. Ligt de zwarting van den ondergrond in het normale zwartingsgebied, dan zal de fout in de aldus verkregen intensiteit van de koolstoflijn minder bedragen dan wanneer deze zwarting in het onderbelichte gebied ligt. Theoretisch behoort verder bij iedere golflengte een extinctiecoëfficiënt van de gebruikte planparallelle

¹⁾ A. J. H. Busé, *Physica*. Maart 1922, bladz. 85.

²⁾ R. RIWLIN, l. c. fig. 7.

rookglasplaten. Binnen het gebied λ 5156 — λ 5129 bleek echter de extinctie als constant beschouwd te mogen worden.

Verder zal door 't rondlopen van den boog (blz. 12), vooral bij de lagere Fe en Cu-percentages, een variatie optreden in het op het rooster geworpen licht, zoodat er in totaal een andere hoeveelheid energie op valt dan bij stilstaanden gecentreerden boog. Al deze fouten echter zullen aan de geprononceerde eigenschappen der intensiteitscurven, zooals ze op blz. 65 geformuleerd zijn, niets afdoen.

Tenslotte nog een enkel woord over de koolstoflijnen, met de staalectroden verkregen. Behalve het zeer geringe percentage aan koolstof bevat het staal verschillende verontreinigingen, die er door de bereidingswijze inkomen. Mg, Mn, Ti en Al zijn alle verontreinigingen, die in het gebied λ 5165 — λ 5129 hun lijnen en bandenspectra vertoonen.

Zooals ik reeds mededeelde, is de geringe dispersie oorzaak, dat lijnen niet nauwkeurig uitgemeten kunnen worden. Ook is 't niet onmogelijk, dat de lamp „besmet” is geweest met koolstof, doordat er vooraf verschillende ijzer-koolstofelectroden in gebrand hebben. Deze achtergebleven koolstof kan in den boog tusschen de staalectroden gekomen zijn en medegewerkt hebben tot het tot stand komen der lijnen.

De invloed van de stroomsterkte op de intensiteit.

Wij gaan thans over tot de intensiteitsmetingen aan spectrogrammen, opgenomen met stroomsterkten van 3 en $1\frac{1}{2}$ ampère en dienen allereerst den invloed van de stroomsterkte op de intensiteit van het uitgezonden licht quantitatief na te gaan.

Daartoe zijn op één plaat met homogeen kool, onder overigens gelijke omstandigheden, de drie volgende opnamen vastgelegd:

1. Koolstofband λ 5165; $i = 6$ amp.; expositietijd 25 min.
2. „ „ 5165; $i = 3$ „ ; „ 30 „
3. „ „ 5165; $i = 1\frac{1}{2}$ „ ; „ 60 „

Met behulp van het eerste spectrogram is op de vroeger beschreven wijze de $Z - \log. I$ kromme voor de plaat opgemaakt.

Als voorbeeld nemen we de koolstoflijn λ 5156,89. Alles wat op 't eerste spectrogram betrekking heeft, geven we den index 1; t.o.v. het tweede spectrogram gebruiken we den index 2.

We vinden dan voor de intensiteit van λ 5156,89 in het eerste spectrogram, met ondergrond 97,6 voor de intensiteit, zonder ondergrond, 59,3.

Uit de microfotometrische opname van het tweede spectrogram leiden wij de zwarting van de lijn 5156,89 af. Bepalen wij met deze zwarting de bijbehorende intensiteit met behulp van de $Z - \log. I$ kromme van het eerste spectrogram, dan vinden we een zekere I , (met ondergrond 29 en zonder ondergrond 24,18). Gold nu de wet van BUNSEN—ROSCOE, dan zou gelden: $I_1 t_1 = I_2 t_2$, waarin I_1 de gemeten intensiteit en $t_1 = 25$ min. I_2 de gezochte intensiteit en $t_2 = 30$ min. is. Dit geeft dan voor de intensiteit I_2 , met ondergrond, 24,2 en, zonder ondergrond, 20,15. Doch de wet van BUNSEN—ROSCOE geldt niet; we moeten die van SCHWARZSCHILD gebruiken:

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^p.$$

Wij zouden dus de I_2 kunnen berekenen, als we de p kenden.

De bepaling van de p zou een geheele reeks nieuwe onderzoeken eischen, waar ik van afgezien heb. Nu

blijkt echter uit het onderzoek dienaangaande, dat de p steeds kleiner dan 1 is, doch er nooit ver van af ligt. Stel, dat voor de gebruikte platensoort p b.v. = 0,9 was, dan vinden we met de formule van SCHWARZSCHILD, I_2 , met ondergrond, 24,6 en, zonder ondergrond, 20,53; vlg. BUNSEN—ROSCOE I_2 met ondergrond, 24,2 en, zonder ondergrond, 20,15.

Op dezelfde wijze vinden we voor I_3 , met ondergrond, (de ondergrond is niet te meten), met de formule van SCHWARZSCHILD 0,86, met die van BUNSEN—ROSCOE 0,80. Hieruit volgt, dat de invloed van den tijdsexponent op de metingen gering is, tenzij de exponent voor de gebruikte platensoort een abnormaal kleine waarde zou hebben. Er is echter geen reden om dit waarschijnlijk te achten. Wij bedienen ons daarom van de formule van BUNSEN—ROSCOE en vinden dan voor de drie vroeger onderzochte koolstoflijnen (niet omgerekend in de intensiteitsschaal, waarin de intensiteits-krommen van de ijzer-koolstofmengsels zijn opgemaakt) het volgende:

Golflengte λ	Stroomsterkte (amp.)	Intensiteit, zonder ondergrond.	Expositietijd (min.).
5156,89	6	59,3	25
	3	20,15	30
	1½	0,8 *	60
5155,74	6	80,0	25
	3	26,0	30
	1½	1,1 *	60
5154,54	6	91,0	25
	3	26,4	30
	1½	1,2 *	60

* Intensiteit van den ondergrond is niet te meten.

Het intensiteitsbeloop is voor elk der lijnen aangegeven in fig. 23.

Men ziet onmiddellijk, hoe sterk de invloed van de stroomsterkte op de intensiteit is, in tegenstelling met die van de electrodenspanning. Dit blijkt nog eens uit de karakteristiek voor den koolboog bij een booglengte van 5 m.m. in willekeurige spanningseenheid geteekend.

De spectrogrammen toonen aan, dat de intensiteit van de ijzerlijnen eveneens sterk met de stroomsterkte toeneemt.

De spectra der ijzer-koolstofmengsels bij 3 ampère.

Uit figuur 23 volgt, dat de stroomsterkte een enormen invloed heeft op de intensiteit der koolstoflijnen, terwijl fig. 17 en 18 laten zien, hoe sterk de aanwezigheid van het ijzer de intensiteit omlaag drukt.

De conclusie ligt voor de hand, dat bij een stroomsterkte van 3 amp. en zeer geringe ijzerpercentages er vrijwel niets meer van het koolstofspectrum te voorschijn komt. Dit is ook inderdaad het geval.

Terwijl bij 2 % Fe het koolstofspectrum, hoewel zeer verzwakt, toch nog behoorlijk verschijnt, is er bij 4 % Fe vrijwel niets meer van te zien.

Op éénzelfde plaat staan verder de opnamen met 13,95 %, 24,2 % en 43,25 % Fe gehalte. Men ziet onmiddellijk, dat van 13,95 % naar 24,2 % Fe-gehalte de intensiteit der koolstoflijnen toeneemt en dan bij voortschrijdend ijzergehalte weer afneemt.* Het is

*) Vermeld zij, dat op een afzonderlijke plaat nog een opname met 7,65 % Fe gehalte voorkomt. Het lijkt mij, dat de (zwakke) koolstoflijnen in dit spectrogram sterker zijn dan die in het spectrogram, verkregen met 4 % Fe houdende electrodenspanning.

Daar echter de opnamen op verschillende platen staan, lijkt 't mij gevaarlijk, de conclusie met zekerheid te trekken. Een gering verschil in korrelstructuur (wolkvorming), ontwikkeltijd en temperatuur kunnen hierin hun aandeel gehad hebben.

duidelijk, dat met de zeer geringe zwartingen, aan intensiteitsmetingen geen behoorlijke waarde meer te hechten is, behalve voor de opnamen bij 0 % en 2 % Fe. Ik heb daarom de intensiteiten (met ondergrond) zoo goed mogelijk geschat en het intensiteitsbeloop als functie van het ijzerpercentage bij een stroomsterkte van 3 amp. geteekend voor de koolstoflijn λ 5156,89; (fig. 17, no. 3). de andere koolstoflijnen vertoonen, wat hun intensiteit betreft, hetzelfde beloop.

Bij 50 % Fe zijn de lijnen fotografisch niet meer te constateeren.

*De spectrogrammen der ijzer-koolstofmengsels
bij $1\frac{1}{2}$ ampère.*

Daar er met deze stroomsterkte vrijwel niets van het zuivere koolstofspectrum te voorschijn komt, is dit in nog veel sterker mate het geval bij aanwezigheid van ijzer. De lijnen λ 5156,89; 5155,74 en 5154,54 b.v. verdwijnen zeer snel bij toenemend ijzergehalte. Hetzelfde geldt voor de andere koolstoflijnen.

Conclusies.

Mogen we nu, als langs fotografischen weg de afwezigheid van een koolstoflijn geconstateerd wordt, daaruit besluiten, dat deze straling in de lichtbron ontbreekt? Men kan b.v. tegenwerpen, dat de expositietijd niet lang genoeg geweest is, zoodat men met verschillende koolstoflijnen beneden de drempelwaarde van de zwarting der gebruikte platensoort gebleven is. Dit bezwaar is zeer zeker gegrond en juist daarom heb ik den derden koolstofband gekozen, omdat hij ook visueel te bestudeeren is. Het trof mij dan ook direct, dat de intensiteit van den koolstofband zoo snel met de stroomsterkte afneemt en bij de opnamen met 3 en $1\frac{1}{2}$ amp.

heb ik verschillende lijnen met het opvoeren van het ijzergehalte uit het midden van den boog zien verdwijnen. Uit het onderzoek van Moore bleek, dat sommige lijnen, die bij een bepaalde stroomsterkte de polen verbinden, bij afnemende stroomsterkte zich op de polen terugtrekken en dus uit het midden van den boog verdwijnen. Het is niet onmogelijk, dat ditzelfde proces zich ook hier afspeelt en dat de koolstoflijnen, bij het opvoeren van het ijzergehalte, zich uit 't midden van den boog terugtrekken en bij de polen stand houden.

Resumeerende mogen we dan voor de homogene ijzer-koolstofmengsels zeggen:

1. *het verdwijnen van een koolstoflijn in het spectrum van homogene ijzer-koolstofmengsels, verkregen door het midden van den boog te fotografeeren, hangt af van de stroomsterkte en het ijzergehalte.*

2. *voor zulk een lijn zal aan te wijzen zijn een kritische stroomsterkte, beneden welke, en een ijzerpercentage, boven hetwelk, de lijn uit het midden van den boog verdwijnt.*

3. *de curven, die de intensiteit van een koolstoflijn als functie van het ijzergehalte (bij constante stroomsterkte en booglengte) weergeven, vertoonen een maximum en minimum.*

4. *met afnemende stroomsterkte verplaatsen deze maxima en minima zich naar lager ijzergehalte.*

De conclusies 1 en 3 gelden ook voor de homogene koper-koolstofmengsels.

HOOFDSTUK V.

Iets over de Cyaanbanden.

Het doel van deze paragraaf is alleen na te gaan, hoe de cyaanbanden zich gedragen bij boogontlading tusschen ijzer-koolstof- en koper-koolstofmengsels. Het volgende levert dus geen bijdrage tot de oplossing van de vraag, waaraan de cyaanbanden hun ontstaan te danken hebben. Alleen heb ik de proeven van RUNGE en GROTRIAN ¹⁾ met Cu- Al- en Fe-electroden herhaald. De booglengte varieerde tusschen 0 en hoogstens 2 m.m., de stroomsterkte bedroeg ongeveer 3 amp. Bij het Cu en Al heb ik den band λ 3884 geconstateerd, onverschillig of de as van den boog evenwijdig aan of loodrecht op de spleet van den spectrograaf stond; evenzoo den band λ 4216. Van den band λ 4606, kan ik dat niet met zekerheid zeggen. Bij het koperspectrum constateer ik, evenals HUTCHINS een band, beginnende bij ongeveer λ 3914. Het lijkt mij echter gevaarlijk, dezen band zonder meer als een nieuwen kop van den cyaanband λ 3884 op te vatten, vooral, omdat zijn koper-electroden (evenals de mijne) uit handelskoper bestonden. De analyse gaf verschillende verontreinigingen, o.a. koolstof te zien.

¹⁾ RUNGE en GROTRIAN, Phys. Zeitschr. Bnd 15, no. 11, 1914. (Met deze proeven hebben zij getracht aan te toonen, dat de z.g. cyaanbanden dienen te worden opgevat als zuivere stikstofbanden).

Deze opnamen zeggen dus niets voor de opvattingen van RUNGE en GROTRIAN, wel voor de meening, dat voor het opwekken der cyaanbanden koolstof aanwezig moet zijn.

De banden λ 4216 en λ 3884 heb ik met de homogene koper-koolstofelectroden gefotografeerd. De stroomsterkte bedroeg bij alle opnamen 6 amp.; terwijl de as van den boog ($l = 5$ m.m.) evenwijdig aan de spleet van den spectrograaf stond en de expositietijd voor alle opnamen 5 min. bedroeg. De spectrogrammen toonen nu duidelijk het volgende aan.

1. *Bij alle koper-koolstofmengsels (bevattende achtereenvolgens 0%, 12%, 20%, 29,5%, 43,9%, 66,5%, 89,7% en 98% Cu), komen de cyaanbanden λ 4216 en λ 3884 duidelijk op.*

2. *Met toenemend Cu gehalte neemt de intensiteit af; er is geen sprake van, dat deze, zooals bij de koolstoflijnen, door een minimum en maximum gaat.*

Uit het laatste volgt nog weer eens, dat voor het opwekken van de onbetwiste koolstoflijnen andere oorzaken moeten werken dan voor het opwekken van de cyaanbanden. De spectrogrammen wekken sterk den indruk, dat de afname van de intensiteit der lijnen uit den band regelmatig met het C gehalte afneemt; dit in tegenstelling met de stikstof. FOLEY ¹⁾ heeft n.l. aangetoond, dat de intensiteit der banden in geenen deele rechtevenredig is met de hoeveelheid aanwezige stikstof. Hij constateerde tevens, dat de intensiteit van de cyaanbanden, verkregen door de ontlading tusschen koolstof-electroden in de vrije lucht te laten plaats hebben, weinig vermeerderd wordt door den boog te laten branden in een cyaanmedium, terwijl de intensiteit evenmin

¹⁾ FOLEY, Phys. Rev. 5, 1897, bladz. 149.

noemenswaard vermindert, wanneer de ontlading ge-
de cyaanbanden wel moeten worden toegeschreven aan
schiëdt in een Co_2 medium. Vandaar zijn meening, dat
koolstof en stikstof naast elkaar, doch niet aan een ver-
binding.

Bij de ijzer-koolstof-opnamen dienen we onderscheid
te maken tusschen de stadia, waarin de electroden ver-
keeren; we zagen immers, dat bij de hooge percentages
snel „kapjes”-vorming plaats heeft. Men kan echter
steeds het kapje verwijderen en daarmee den boog
noodzaken op het mengsel aan te grijpen. Doet men dit,
dan komen de cyaanbanden λ 3884 en λ 4216 steeds en
duidelijk op, (ook bij kleine stroomsterkten, b.v. 1 en
 $1\frac{1}{2}$ amp.).

Laat men de kapjes zich eerst vormen en maakt
men daarna het spectrogram, dan blijven de cyaanban-
den weg! Zoowel bij 3 als 6 amp., zijn tusschen λ 3884
en λ 3880 (ik beperk mij tot het eerste deel van den
cyaanband) twee flauwe lijnen te constateeren. Door
met een groot oplossend vermogen te werken — opname
in de 3e orde van het gebruikte rooster — kreeg ik met
ijzelectroden* de lijnen terug. De eerste lijn is dan
opgelost in twee componenten. De component met de
langste golflengte is breed en vertoont geen begrenzings-
lijn met verval, nòch naar rood, nòch naar violet. De
tweede component, met de kortere golflengte, heeft een
vrij scherpe begrenzingslijn en vloeit naar violet uit. Ook
de tweede lijn wordt opgelost; de component met de
langste golflengte is vrij scherp, de andere wazig. Om dit
spectrogram ligt de cyaanband λ 3885 gefotografeerd,
zonder dat de fotografische plaat verschoven is. De ge-

* Welwillend afgestaan door de firma Muinck en de Keizer,
te Utrecht. Verontreinigingen: 0,3 % Si, 1 % Mn, 0,05 % P.

noemde lijnen vallen niet samen met lijnen uit den cyaanband. *De cyaanband is dus afwezig.*

De cyaanband λ 4216 — λ 4197 (eerste deel van den band) vertoont bij de ontlading tusschen de ijzer-koolstofelectroden volkomen hetzelfde gedrag als de band λ 3885.

De cyaanband λ 4606 — λ 4578 (eerste deel van den band), vertoont in zooverre een uitzondering, dat hij reeds bij 4% ijzergehalte aanzienlijk verzwakt is. Deze verzwakking neemt met het ijzergehalte toe, de bandenstructuur blijft echter zichtbaar, zoolang de boog op het mengsel aangrijpt. Fotografeert men weer het spectrum, nadat de kapjes zich gevormd hebben, dan komt alleen het ijzerspectrum op. De belichtingstijd bedroeg voor de opnamen der cyaanbanden steeds 5 minuten en de stroomsterkte 6 amp. Alvorens tot de opnamen over te gaan, werd de lamp grondig gereinigd.

Heeft TROWBRIDGE gewerkt met homogene ijzer-koolstofmengsels, dan is zijne bewering, *dat bij ongeveer 30% ijzergehalte de „koolstofband” λ 3884 bijna geheel onderdrukt wordt, onjuist.*

Dat hij geëxperimenteerd zou hebben met „oplossingen” van koolstof in ijzer, met een bovenste grens voor het ijzergehalte van ongeveer 30%, lijkt mij onwaarschijnlijk.

Samenvatting.

Er wordt gewezen op een schijnbare tegenstrijdigheid in de litteratuur aangaande het al of niet onderdrukken van het „koolstofspectrum” (met name den cyaanband λ 3885) in spectrogrammen door boogontlading verkregen tusschen ijzerhoudende koolstofelectroden.

Alvorens deze tegenstrijdigheid tot oplossing te brengen, wordt een methode aangegeven voor het vervaardigen van homogene-ijzer-koolstof- en koper-koolstof-electroden.

Aangetoond wordt, dat de homogene ijzer-koolstof- en koper-koolstofelectroden zich gedragen als „Dochtkohl.”

Besproken wordt de invloed van het medium op de boogontlading; de eigenschappen van het gebruikte rooster, die van de verschillende deelen van den boog, benevens het spectrum van koolstof en dat van ijzer.

De spectrogrammen toonen aan, dat het al of niet onderdrukken van den derden koolstofband afhangt van stroomsterkte en ijzergehalte, terwijl een analoog gedrag geconstateerd wordt voor de andere onbetwiste koolstofbanden.

Gewezen wordt op een principiëel verschil in gedrag tusschen de echte koolstofbanden en de z.g. cyaanbanden.

Geconcludeerd wordt, dat de opvatting van Trowbridge onjuist is.

Stellingen.

I.

De wijze, waarop THOMSON de formule $E = a + \frac{b}{i}$ afleidt, kan niet als een theoretische afleiding opgevat worden; zij is bovendien niet geheel juist.

(J. J. THOMSON. Elektrizitäts-Durchgang in Gasen. Teubner 1906, § 20 bladz. 445 en vlgg.).

II.

De wijze, waarop GUYE en ZEBRIKOFF de vergelijking van de karakteristieken voor verschillend electroden-materiaal uit hun waarnemingen afleiden, is op grond van het verloop van hun Watt-lengtecurven, onbetrouwbaar.

(GUYE et ZEBRIKOFF, Arch. d. Sc. phys. et nat. déc: 1907).

III.

SAUERWALD's verklaring van het verschijnsel bij zijn proeven, dat bij weerstandsverhitting van koolstaven, de stroom plotseling tot nul daalt, is aannemelijker dan die welke RYSCHKEWITSCH geeft.

(F. SAUERWALD. Zeitschr. f. Elektrochem. 1922. bladz. 183—185).

IV.

De berekening van de maximale hoogte der graniet-achtige bergen, zooals BERLAGE die uitvoert, berust op een onjuisten grondslag.

(H. P. BERLAGE, Physica, Jan. '23, bladz. 10).

V.

De opsomming der unicursale algebraïsche bewegingen van den vierden graad, door DARBOUX in KOENIG'S „Leçons de cinématique” is onvolledig.

(KOENIG, Leçons de cinématique, bladz. 362).

VI.

Het is niet gewenscht, de kegelsneden te doen ontstaan, zooals SCHUH doet, als doorsneden van een hyperboloïde.

(Prof. SCHUH, Grepen uit de moderne meetkunde, dl. I).

VII.

De door GONGGRYP aangegeven afleiding van de formule voor den inhoud van een viervlak is niet te verkiezen boven die van CAVALLIERI.

(Dr. B. GONGGRYP, Nieuw Leerboek der Stereometrie).

VIII.

De gronden, waarop SAARE den fekulometer van BLOCH voor het bepalen van het watergehalte in zetmeel veroordeelt, kunnen tegen SAARE'S eigen methode ingebracht worden.

(LUNGE-BERL, Chemische-Technische Untersuchungsmethoden. Bnd. 4. Berlin 1911, bladz. 140—144; DINGL, polyt. Journ. **211**, 397, 1874).

IX.

De meening van PLASMANN, dat door het botsen van meteorieten tegen het aardoppervlak de aardrotatie vertraagd wordt, is zonder meer niet te aanvaarden.

(Dr. PLASMANN, Himmelskunde, blad. 320).

X.

Het is wenschelijk, een college in de geschiedenis der natuurwetenschappen in te stellen.



