

# DE THEORIE DER VLAM

DOOR

Dr. W. STORTENBEKER.

---

## V. VERMINDERING OF VERMEERDERING DER LICHTKRACHT.

Welke zijn de omstandigheden, die hoofdzakelijk invloed uitoefenen op de lichtkracht eener vlam? Ik vermeldde reeds den zeer belangrijken invloed der *temperatuur*, — zoodat alle omstandigheden, die op deze werken, het eveneens op de lichtkracht doen, — doch ook de *hoeveelheid*<sup>1</sup> vaste stof speelt een rol, hoewel geen *belangrijke*. D.w.z. die hoeveelheid behoeft niet zoo heel groot te zijn. Een vlam van lichtgas, dat slechts plm. 4 pCt., zware koolwaterstoffen bevat, geeft niet *veel* minder licht, dan een van zuiver aethyleen. Toch tracht men in sommige gevallen, bijv. bij het *carbureeren*, de hoeveelheid afgescheiden koolstof te vergrooten.

Een aanmerkelijke toeneming van het koolstofgehalte brengt afscheiding van roet en onverbrand gas, dientengevolge verlaging der vlamtemperatuur, teweeg. De omstandigheden, die daarop invloed uitoefenen, zijn — tenminste kwalitatief, — bekend genoeg. Ik vermeld nog, dat dezelfde opmerkingen ook voor andere dan koolstofvlammen gelden, voor zoover men die heeft bestudeerd. Alleen zijn er onder hen, welke *altijd* walmen, zooals die van waterstof met chromylchloride, door HEUMANN onderzocht. Ook in hetgeen nu gaat

---

1) Dit is *niet* in strijd met een vroegere bewering (blz 332), dat de lichtkracht niet zoozeer afhangt van de hoeveelheid kool, als van haren verdelingstoestand, want *hier* kan de verdelingstoestand als standvastig worden beschouwd.

volgen, komen zij, voor zoover bekend is, met de koolstofvlammen overeen (HEUMANN heeft bijv. bij de genoemde vlam ontlichting door  $\text{CO}_2$  aangetoond).

*Vermindering der lichtkracht.* Onder de oorzaken, die de lichtkracht doen dalen of zelfs geheel kunnen doen verdwijnen, verdienen vooral de aandacht de *bijmenging van vreemde gassen* en de *aanwezigheid van vaste lichamen* in de vlam.

*Vreemde gassen.* KARL KNAPP ontdekte in 1870, dat men een lichtgevende gasvlam, door koolzuurgas, stikstof of chloorwaterstof bij het lichtgas te mengen, evengoed van hare lichtkracht kan berooven als door lucht. KNAPP meent daaruit te mogen afleiden, dat zoo wel afkoeling als verdunning deze vermindering der lichtkracht kan veroorzaken; en dat ook bij de Bunsensche vlam niet zoozeer de meer volkomen verbranding als *verdunning* van het lichtgas door lucht oorzaak zou zijn, dat zij geen licht verspreidt.

Aangezien dit plaats vond in eenen tijd, toen, zooals vroeger is beschreven, FRANKLAND's aanval op DAVY's theorie de gemoederen vervulde, veroorzaakte KNAPP's waarneming nogal beroering. Wij zien dan ook in de volgende jaren verschillende onderzoekers zich met dit verschijnsel bezig houden en pogingen tot verklaring in 't werk stellen. Zoo BLOCHMANN (1873), die ontdekt, dat de ontlichting ook gelukt door zuurstof, ja zelfs door brandbare gassen, als waterstof en kooloxyde. Terwijl echter lucht en zuurstof de vlam *kleiner* maken, maken de andere gassen haar *grooter*. Bovendien zij hier reeds vermeld, dat de hoeveelheden, die tot ontlichting noodig zijn, eveneens zeer verschillen. LEWES heeft dit later nauwkeurig bepaald en gevonden, dat daartoe bij dezelfde vlam kunnen dienen:

0,5 Vol. zuurstof	2,3 Vol. stikstof
1,26 Vol. koolzuurgas	5,11 Vol. kooloxyde
2,27 Vol. lucht	12,4 Vol. waterstof.

BLOCHMANN's verklaringswijze is echter niet bijzonder gelukkig en zijne mededeelingen dienaangaande zijn ook niet bijzonder duidelijk. Hij meent te hebben waargenomen, dat steeds eenige afstand bestaat tusschen vlam en brander of tusschen vlam en pit waardoor lucht wordt binnengezogen; deze zou in de lichtgevende vlam (evenals in de Bunsensche) zich eerst met de *vrije* waterstof van het lichtgas vereenigen en daardoor de koolwaterstoffen tot hun ontledingstemperatuur verhitten. Door bijvoeging van  $\text{CO}_2$  wordt het lichtgas sterk verdund en komt over een groot oppervlak en dus in geringer concentratie met de binnenstroomende lucht in aanraking; dientengevolge zou dan het lichtgas volkomen verbranden zonder koolstof-

afscheiding. Anders is het in de Bunsensche vlam. Daar verbrandt wèl de vrije waterstof eerst, maar er blijft nog zuurstof genoeg over om de koolwaterstoffen in kooloxyde en waterstof om te zetten, welke, nog verdund door stikstof uit de lucht, met een niet-lichtgevende vlam verbranden.

Een nieuw feit ontdekte WIBEL (1875). Door de branderbuis te verhitten kan men, *zoowel* de Bunsensche vlam als de met koolzuurgas ontlichte vlam, weder lichtgevend maken. Men mag dus geen *verschillende* verklaring op beide gevallen toepassen en moet aannemen, dat steeds het bij het lichtgas gemengde gas *afkoelend* werkt.

Daartegen komt weder HEUMANN (1876) op. In de Bunsensche vlam kan geen afkoeling plaats hebben, want hare (gemiddelde) temperatuur is *hooger* en evenmin kan dit plaats vinden in de door een *brandbaar* gas als CO ontlichte vlam. Verder toont hij aan, dat ook temperatuursverlaging op zichzelf ontlichtend werken kan, door in een kleine vlam een vast voorwerp, bijv. een platinaschaal te brengen.

Er zouden dus *verschillende* oorzaken zijn, waardoor een lichtgevende vlam van hare lichtkracht kan worden beroofd: 1° zuurstoftoevoer, 2° bijvoeging van een werkeloos gas, dat temperatuurverlagend werkt, 3° bijmenging van een brandbaar gas, als CO of H<sub>2</sub>.

Dit schijnt inderdaad het geval te zijn. Op het eerste gezicht hebben alle onderzochte gassen dezelfde uitwerking, maar terwijl lucht of zuurstof de vlam kleiner maken en hare (gemiddelde) temperatuur verhoogen, doen koolzuurgas of stikstof juist het tegenovergestelde. Van de Bunsensche vlam is vroeger rekenschap gegeven. Dat zij door verwarming der toegevoerde gassen weder lichtgevend wordt, kan misschien worden veroorzaakt door ontleding der kleine hoeveelheid methaan, die zich nog in het tusschengas bevindt (zie blz. 327). De door CO<sub>2</sub> of N<sub>2</sub> ontlichte vlam onderscheidt zich van de Bunsensche, doordien zij slechts uit één enkelen zwaklichtenden kegelmantel bestaat,<sup>1</sup> waarvan echter de binnenvlakte een iets lichtere kleur vertoont en wellicht gelijk is aan de blauwe zône der lichtgevende vlam. Zij scheidt zich evenwel nooit in den vorm eens binnenkegels daarvan af. De temperatuur van den kegelmantel is hoog genoeg om vaste deeltjes, die van buiten worden ingebracht, te doen gloeien; doch niet

1) Dit komt op eigenaardige wijs uit, als men (volgens BLOCHMANN) de hoeveelheid CO<sub>2</sub>, die aan de vlam wordt toegevoerd, vermeedert. De vlam opent zich dan aan de bovenzijde en elk koud voorwerp, dat men er mede in aanraking brengt, doet een scheur in den kegelmantel ontstaan; zoodat men hare structuur duidelijk kan waarnemen.

om het gas, dat zich daarbinnen bevindt, tot koolstofafscheiding te brengen. Derhalve verbrandt dit gas met een niet-lichtgevende vlam. Voorts is het duidelijk, dat verhooging der temperatuur van het gasmengsel de lichtkracht weder eenigermate kan terugroepen. Het ontlichten door een brandbaar, doch met niet-lichtgevende vlam brandend gas — waarvan steeds een aanzienlijke hoeveelheid noodig is (zie de tabel op blz. 382) — kan veroorzaakt worden door de verdunning der koolwaterstoffen, welke een verhooging der temperatuur, waarbij koolstofafscheiding optreedt, ten gevolge heeft.

In hetzelfde verband zij nog gewezen op een verschijnsel, reeds vroeger vermeld (blz. 330). Luchtverdunning vermindert de lichtkracht eener lichtgevende vlam, verdichting der lucht doet haar toenemen, hooge druk brengt sterke roetafscheiding teweeg. DEVILLE (1868) veronderstelt reeds, dat het eerstgenoemde verschijnsel door een verlaging, de beide laatstgenoemde door een verhooging der vlamtemperatuur zouden worden teweeggebracht. Bedenkt men, dat aan de stijging der vlamtemperatuur door de dissociatie der verbrandingsgassen  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$  een grens wordt gesteld (blz. 314), dat deze dissociatie bij drukvermeerdering teruggaat en dus bij drukvermeerdering een hogere vlamtemperatuur kan worden bereikt, dan wint DEVILLE's verklaring aan waarschijnlijkheid.

*Vaste voorwerpen.* Hierboven is reeds medegedeeld, dat ook een vast voorwerp, in de vlam gebracht, hare temperatuur zoodanig kan verlagen, dat de lichtkracht verloren gaat; terwijl naar aanleiding van de temperatuurmeting (blz. 317) de aandacht is gevestigd op de afkoelende werking, uitgeoefend door elk vreemd lichaam, dat door geleiding en straling warmte verliest.

Kleine voorwerpen werken dus slechts lokaal afkoelend en ontlichtend, doch de uitwerking verraadt zich te spoediger, naarmate de vlamtemperatuur lager is; terwijl grootere haar zoo kunnen doen dalen, dat de koolstof zich niet meer *afscheidt*. In de reeds meermalen aangehaalde verhandelingen van HEUMANN vindt men tal van proeven dienaangaande; in 't bijzonder over het verschijnsel, door BLOCHMANN beschreven, aangaande den afstand tusschen vlam en brander. Het heeft echter niet dien omvang en die gevolgen welke BLOCHMANN zich voorstelt, en HEUMANN schrijft het eenvoudig toe aan de afkoelende werking der branderbuis. Bij een door koolzuur ontlichte vlam, die een lage temperatuur heeft, treedt het zeer gemakkelijk op, doch kan door verhitting der branderbuis weder worden opgeheven.

Tot dezelfde groep van verschijnselen moet worden gerekend de werking van *dradegaas*, hetwelk, aangezien de samenstellende draden

in elkanders werkingssfeer liggen, een zoodanige afkoeling veroorzaakt, dat het de vlam geheel tegenhoudt en dus de vlamgassen tot beneden de ontbrandingstemperatuur afkoelt. Het schijnt mij overbodig er nader op in te gaan, aangezien de proeven van DAVY (1816) dienaangaande algemeen bekend zijn.

*Vermeerdering der lichtkracht.* De middelen tot verhooging der lichtkracht, ofschoon voor de practijk van veel meer belang, zijn niet zoo talrijk als die, welke haar doen afnemen. Zij komen alle neer op verhooging der vlamtemperatuur, hetzij door vermeerdering van den zuurstoftoevoer, hetzij door vóórverwarming der verbrandingsgassen. Het eerste werd toegepast door ARGAND in 1782 (vlam met dubbelen luchttek, lampegas), het laatste door SIEMENS in 1881 (regeneratorbrander).

## VI. HET AUERLICHT.<sup>1</sup>

Bij het Auerlicht (gasgloeilicht) gloeit niet meer een afscheidingsproduct der vlam zelve, doch een vreemd lichaam (gloeilichaam, gloeikousje), dat door de Bunsensche vlam wordt verhit en waaraan men zooveel mogelijk den vorm tracht te geven van het deel der vlam, dat de hoogste temperatuur bezit, d.w.z. den buitenkegel.

Het was reeds lang bekend, dat de aarden en alkalische aarden bij verhitting met den blaaspijp of de knalgasvlam een sterk licht uitstralen; BERZELIUS vestigt de aandacht op die eigenschap bij zirkoon-aarde in 1825, DRUMMOND past haar toe in het naar hem genoemde kalklicht (1827), BUNSEN vindt haar voor ytterraarde (1866). Doch het is de onbetwistbare verdienste van AUER VON WELSBACH deze waarneming te hebben gemaakt tot den grondslag eener nieuwe wijze van verlichting. Hij beschrijft zelf<sup>2</sup> hoe hij, tengevolge zijner onderzoekingen over de zeldzame aarden, geleidelijk en na vele vergeefsche pogingen tot deze toepassing is gekomen (1884—1891).

Een enkel woord over de vervaardiging der gloeikousjes. Zooals bekend is, bestaan zij uit een aschskelet van *thorium-* en *ceriumoxyde*, in de gewichtsverhouding van 99 op 1 ongeveer. Het weefsel, dat aan de gloeikousjes ten grondslag ligt, wordt vervaardigd van zeer goed gezuiverde katoen of rameh op speciale brei- of ook wel vlechtmachines. Men verkrijgt dan een buis, welke in stukken van de gewenschte lengte wordt gesneden. Deze worden aan de bovenzijde omgezoomd, gedrenkt met een oplossing, bestaande uit:

1) verg. BÖHM, *Das Gasglühlicht* (Leipzig, 1905);

FISCHER, *Der Auerstrumpf* (AHRENS' Sammlung).

2) *Journal f. Gasbeleuchtung* 44; *Chemical-News* 85, 254 (1902).

99—99,2 dln. thoriumnitraat ( $\text{Th}(\text{NO}_3)_4, 4\text{H}_2\text{O}$ )  
 1—0,8 dln. ceriumnitraat ( $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3, 6\text{H}_2\text{O}$ )  
 250 dln. water

en daarna tusschen gummiwalsen van het overtollige vocht bevrijd, zoodat er plm. 4 gram oplossing in elk kousje overblijft. Nu worden zij op glazen vormen gedroogd, aan de verdikte bovenzijde met versterkingsvloeistof<sup>1</sup> bedeed, nogmaals gedroogd en van den asbestdraad voorzien. Daarna brandt men de kousjes af, na hen eerst over een houten vorm te hebben gladgetrokken. Zij schrompelen sterk ineen en worden slap, doch verkrijgen weder de noodige stijfheid en stevigheid, wanneer men ze over de geheele lengte uitgloeit. Dit geschiedt, door in de holte van het kousje een bijzonderen gasbrander te brengen, welke met persgas wordt gevoed en een krans van horizontale, blauwe vlammetjes levert. Eindelijk worden zij, zoo noodig, verzendbaar gemaakt door drenken met een hardingsvloeistof, welke in hoofdzaak uit collodion bestaat.<sup>2</sup>

Zooals uit deze gegevens gemakkelijk te berekenen valt, weegt een (niet-gehard) gloeikousje ongeveer 0,6 gram en bevat plm. 5 milligram  $\text{Ce}_2\text{O}_3$ . Gewoonlijk vermindert de lichtkracht bij langdurig gebruik, hetgeen zeer waarschijnlijk aan verdamping van het ceriumoxyde moet worden toegeschreven.

Over de oorzaken der buitengewone lichtkracht van het gloeikousje, wanneer dit in de Bunsensche vlam wordt verhit, is men geruimen tijd in twijfel geweest. Thans kan echter, vooral na de onderzoekingen van RUBENS, het vraagstuk als in hoofdtrekken opgelost worden beschouwd. Op drieërlei wijzen heeft men getracht het verschijnsel te verklaren:

*Verklaring van NICHOLS (1892).* Aangezien men toenmaals onderstelde, dat de maximum-temperatuur der Bunsensche vlam slechts  $1300^\circ$  bedroeg, meent NICHOLS dat het licht van het gloeikousje, zoo rijk aan breekbare stralen, niet alleen aan temperatuurstraling kan worden toegeschreven. Het licht zou — tenminste in den beginne — afkomstig zijn van opgespaarde energie, iets als een phosphorescentieverschijnsel zijn. Daardoor zou tegelijkertijd worden verklaard het op den duur verminderen der lichtkracht; wanneer nl. de opge-

1) Bijvoorbeeld: water 100 gram,  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  15 gram,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  15 gram,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (1,3) 1  $\text{cm}^3$ . Op daarmede gedrenkte plaatsen boet het kousje zijn lichtkracht in.

2) Bijvoorbeeld uit: collodion 650 gram, aether 270 gram, oleum ricini 64 gram, kamfer 16 gram.

spaarde energie verdwenen was zou alleen de temperatuurstraling overblijven.

Tegen deze gevolgtrekkingen verzet zich ST. JOHN (1895), steunende op een uitvoerig onderzoek; echter zonder een andere verklaring voor die van NICHOLS in de plaats te stellen. Hij toont allereerst aan, dat de oxyden van het Auerkousje zich noch door bijzondere phosphorescentie-, noch door fluorescentieverschijnselen onderscheiden. Verder bepaalt hij het emissievermogen van verschillende aardn en alkalische aardn ( $MgO$ ,  $ZrO_2$ ,  $Er_2O_3$ ,  $La_2O_3$ ) voor een bepaalde soort van lichte stralen en toont aan, dat het bij dezelfde temperatuur ( $1200^\circ$ ) grooter is dan van *blank* platina. Wordt echter een stuk platinablik, ten deele blank, ten deele bedekt met de bedoelde oxyden, geplaatst in den bijna geheel gesloten, verhitten oven, zoodat het als 't ware deel uitmaakt van den wand, dan verdwijnt het onderscheid. 't Blanke deel van het platina zendt *minder* licht uit dan het met oxyden bestreken gedeelte, doch kaatst *meer* licht van de ovenwanden terug. Waren de oxyden luminescent, dan zou ook onder deze omstandigheden hun emissievermogen *grooter* moeten zijn dan van het platina; thans gaan beide zich gedragen als volkomen zwarte lichamen. Er volgt dus uit, dat de lichtkracht dezer oxyden uitsluitend een gevolg is van *temperatuurstraling*.

*Verklaring van BUNTE* (1897). BUNTE neemt aan, dat het ceriumoxyde, verdeeld in veel grootere massa thoriumoxyde, *katalytisch* werkt. Brengt men het gloeikousje in een brandbaar gasmengsel, waarvan de temperatuur nog ca.  $300^\circ$  beneden de ontbrandingstemperatuur ligt, dan ontbrandt het gasmengsel. BUNTE onderstelt, dat iets dergelijks in de vlam zal plaats hebben en dus de temperatuur van het  $Ce_2O_3$  eveneens tot  $300^\circ$  boven de vlamtemperatuur zal stijgen, waardoor de sterke lichtkracht zou worden verklaard. Het thoriumoxyde zou bij dit alles een lijdelijke rol spelen. BUNTE's verklaring vervalt echter, als LE CHÂTELIER en BOUDOUARD aantoonen, dat het kousje evenveel licht verspreidt, wanneer het verhit wordt in een verbrand, als in een verbrandend gasmengsel. Katalyse is derhalve uitgesloten.

*Verklaring van LE CHÂTELIER en BOUDOUARD* (1898). Uit photometrische metingen bij blank platina en bij verschillende oxyden ( $Fe_2O_3$ , het Auermengsel,  $ThO_2$ ,  $Ce_2O_3$ ,  $UO_2$ ,  $La_2O_3$ ) besluiten zij het volgende.

De gloeikousjes bestaan uit een stof, waarvan het emissievermogen bij de temperatuur, welke zij in de vlam aannemen, *verschillend* is voor verschillende lichtsoorten. 't Is dus bij die temperatuur een *gekleurde* stof.

De hooge werkingsgraad is een gevolg van een groot emissievermogen vooral in het blauw en groengeel, minder in het rood, naar alle waarschijnlijkheid nog minder in het ultrarood.

De hoeveelheid lichte stralen is dus groot, maar toch steeds *kleiner* dan van een volkomen zwart lichaam derzelfde temperatuur (er is dus geen luminescentie).

Maar een volkomen zwart lichaam, op dezelfde wijs verhit en met hetzelfde stralend oppervlak, zou (door een grooter verlies aan donkere stralen) een lagere temperatuur aannemen en dus een veel geringere lichtopbrengst hebben.

En verder: Het rendement aan lichte stralen is in zekeren zin omgekeerd evenredig aan het emissievermogen. Is dit n.l. klein, dan moet het voorwerp een *hooge* temperatuur aannemen om de energie te kunnen kwijtraken, die het in aanraking met de verhitte gassen krijgt; en hoe hooger de temperatuur, des te grooter wordt in 't algemeen het percentage lichte stralen.

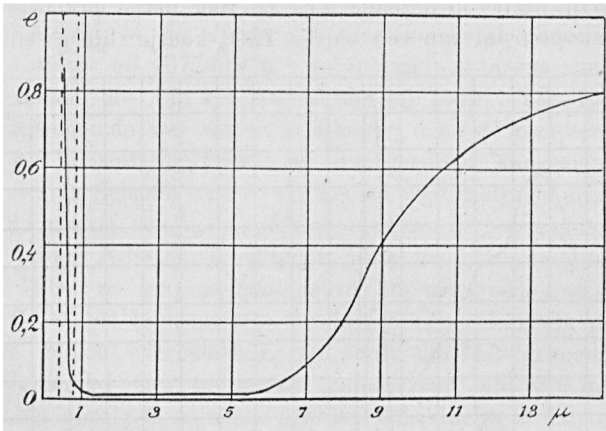
Door latere onderzoeken — ik noemde reeds die van RUBENS (1905—1906) — is deze theorie volkomen bevestigd.

RUBENS onderzocht het geheele zichtbare (van 0,4 tot 0,8  $\mu$ ) en ultrarode (van 0,8 tot 18  $\mu$ ) emissiespectrum van het sterkst stralende deel van een normaal gloeikousje. Daartoe mat hij, met behulp van spiegelspectrometer en lineaire thermozuil, voor verschillende golflengten  $\lambda$  de uitgestraalde energie  $E$ , en verkreeg aldus een kromme, die het verband ( $\lambda$ ,  $E$ ) aangeeft.

Om nu het betrekkelijk emissievermogen  $e$  — d.w.z. de *verhouding* tusschen de emissie van het gloeikousje en van een volkomen zwart lichaam met dezelfde structuur en bij dezelfde temperatuur — te vinden, wordt de temperatuur van het gloeikousje bepaald en de kromme ( $\lambda$ ,  $E$ ) voor het volkomen zwarte lichaam van die temperatuur, op gelijke schaal geteekend. Uit de verkregen figuur volgt dan  $e$ , als verhouding der beide  $E$ , voor elke bepaalde waarde van  $\lambda$ ; echter als gezamenlijke straling van het gloeikousje en de Bunsensche vlam, waarin het verhit wordt. De straling der Bunsensche vlam is n.l. wél in het lichte deel van 't spectrum, maar niet in het ultrarode, tegenover die van 't gloeikousje te verwaarloozen; op de plaats der voornaamste absorptie-bandens van  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$  is zij zelfs vrij aanzienlijk. Het bleek evenwel mogelijk uit de waarnemingen het betrekkelijk emissievermogen van het gloeikousje *afzonderlijk* bij benadering af te leiden.



Bijgaande figuur stelt het verband tusschen  $\lambda$  en  $e$  voor; daaruit blijkt hoe  $e$  van de waarde 0,86 in het blauw, snel daalt tot 0,06 in het rood, om in het ultrarood zeer gering te worden en eerst bij de golflengte  $5\mu$  weder langzaam te stijgen.

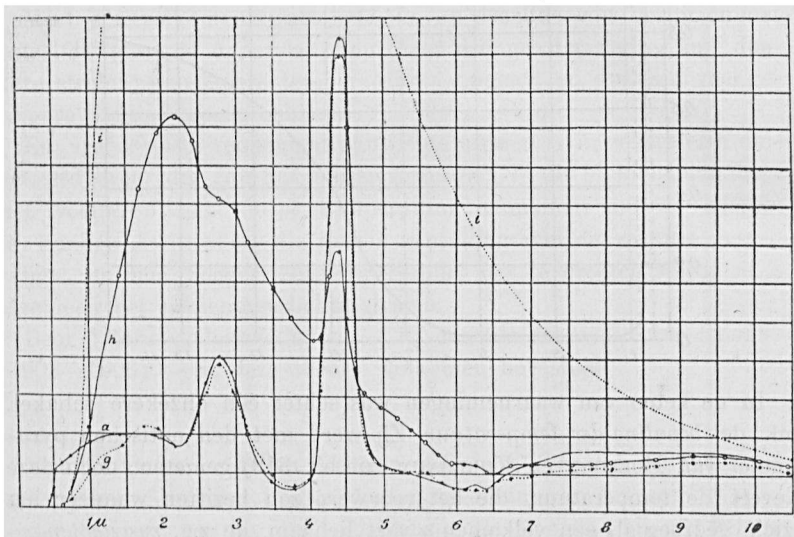


In de keten van waarnemingen was echter één onzekere schakel, nl. de *bepaling der temperatuur*. Zij werd met den optischen pyrometer van HOLBORN en KURLBAUM (zie blz. 319) gemeten; doch deze levert de temperatuur, die het voorwerp zou bezitten wanneer het zich gedroeg als een volkomen zwart lichaam, de z.g. *zwarte temperatuur*. Uit de zwarte temperatuur kan men alleen de ware temperatuur berekenen, als men het betrekkelijke emissie-vermogen kent; en de waarnemingen dienden juist om dit te bepalen. Hoe groot  $e$  is, hoe dichter dus het onderzochte lichaam nadert tot een volkomen zwart lichaam, des te minder verschillen beide temperaturen; het is dus niet te verwonderen, dat de zwarte temperatuur in het rood gemeten (waarneming door een rood glas) aanmerkelijk lager lag dan die in het blauw. RUBENS vond  $1319^\circ$  en  $1524^\circ$  bij de door hem onderzochte gloeikousjes. De *ware* temperatuur moet natuurlijk voor beide gevallen gelijk zijn; langs verschillende wegen kwam hij tot  $1560^\circ$ , ongeveer  $240^\circ$  lager dan de temperatuur van den buitenkegel der vlam (zie blz. 321).

Het gloeikousje, bij de gewone temperatuur zuiver wit, is dus bij  $1560^\circ$  een *gekleurd* lichaam; het straalt zeer selectief, het wordt bij verhitting — zooals RUBENS dit noemt — »zwarter in het blauw«. Dit gaat gepaard met een vermindering in het terugkaatsend vermogen voor blauwe stralen, hetwelk in kouden toestand vrij groot is. Immers alleen wanneer dit vermindert, kan het absorptievermogen (het-

welk, volgens de wet van KIRCHHOFF, gelijk is aan het betrekkelijk emissie-vermogen,) zoo sterk toenemen<sup>1</sup>.

De vraag is nu nog slechts, waarop de bijzondere eigenschappen van het *Auermengsel* berusten. Ook deze vraag is door RUBENS toegelicht. Hij heeft op dezelfde wijs als voor het Auerkousje (lijn a), het emissiespectrum van een zuiver ThO<sub>2</sub>-kousje (lijn g) en van een



zuiver Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-kousje (lijn h) gemeten.<sup>2</sup> Zij zijn in bijgaande figuur voorgesteld, echter *niet* gescheiden van dat der Bunschensche vlam; vandaar de beide hoge toppen in a en g, die afkomstig zijn van

1) Volgens RUBENS laat zich dit aldus aantoonen: men concentreert het licht van een sterke booglamp op een gloeikousje (met brander, doch zonder lampeglas). Met behulp van een lens of spiegel wordt het door 't kousje teruggekaatste licht geprojecteerd op een *fluoresceerend* scherm, nadat het licht door een oplossing van koperoxydammonia is gegaan (om zooveel mogelijk alleen de blauwe stralen tot waarneming te brengen). Brengt men nu 't kousje tot gloeien, door den brander aan te steken, dan overtreft de verzwakking van 't gereflecteerde licht zoozeer de toeneming van het eigen licht, dat het beeld op 't scherm veel lichtzwakker wordt (ongeveer  $\frac{1}{3}$  der oorspronkelijke waarde).

2) Ook bij een oppervlakkige vergelijking der hier genoemde kousjes valt het verschil onmiddellijk in 't oog. Dat van ThO<sub>2</sub> verschilt bij kamertemperatuur niet van een gewoon kousje, dat van Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> is lichtbruin en bros; doch beide hebben, in de vlam geplaatst, een zeer geringe lichtsterkte.

CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O. De lijnen a en g vertoonen ook overigens geen noemenswaard verschil, behalve in het lichte gedeelte; daar wint a het verre van g. Het Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-kousje straalt vooral in het gebied tusschen 1 en 4  $\mu$  veel sterker dan de beide andere. Juist daardoor echter daalt de temperatuur aanzienlijk, volgens RUBENS tot 1075°, zoodat de straling, hoewel in het lichte gedeelte bijna gelijk aan die van het zwarte lichaam bij 1075° (in i voorgesteld) eveneens aanmerkelijk blijft beneden die van het Auerkousje bij 1560°. Van 10—15  $\mu$  is het laatstgenoemde wel weder »zwarter«; doch de temperatuursverlaging, die hieruit voortvloeit, is veel geringer, aangezien het volkomen zwarte lichaam zelf in dit gebied weinig stralen uitzendt, zoodat uit de grootte van het oppervlak tusschen de (verlengde) lijn i en de  $\lambda$ -as blijkt. Alles samenvattende heeft dus het Auerkousje van 't zuivere ThO<sub>2</sub> de geringe emissie in het ultrarode gebied, van 't zuivere Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de bijna zwarte straling in een belangrijk deel van 't zichtbare gebied overgenomen; en heeft aan laatstgenoemde eigenschap, vereenigd met de hooge temperatuur, die van de eerstgenoemde het gevolg is, zijn aanzienlijke lichtkracht te danken.

#### VII. DE WERKINGSGRAAD.

De *werkingsgraad* (W) of het *rendement* eener vlam is de verhouding tusschen de *zichtbare* stralende energie, die in een bepaalden tijd door de vlam wordt geleverd en de chemische energie, die in denzelfden tijd aan de vlam wordt toegevoerd; terwijl kan worden verstaan onder:

*Optischen werkingsgraad* (O.W.) de verhouding  $\frac{\text{lichte straling}}{\text{totale straling}}$  in gelijken tijd.

Om den werkingsgraad te bepalen dient men te kennen:

Q, de verbrandingswarmte voor 1 Gram (of 1 Liter) brandstof,

p, de per tijdseenheid verbruikte hoeveelheid brandstof,

I, de lichtsterkte der vlam (in H. kaarsen),

c, de hoeveelheid energie die door de lichteenheid (de H. kaars)

naar alle zijden per tijdseenheid wordt uitgestraald,

dan is:

$$W = \frac{I \times c}{p \times Q}.$$

De grootheid c is een constante, waarvan de waarde door ÅNGSTRÖM (1904) is bepaald. Deze vond 0,109 Watt.

De drie eerstgenoemde kunnen voor elk bijzonder geval worden gemeten, doch dit is nog slechts in enkele gevallen geschied.

Wel zijn er gegevens over lichtkracht en brandstofverbruik van allerlei lampen, maar dan is gewoonlijk de verbrandingswarmte — tenzij het een zuivere stof geldt — niet bekend. De hieronder voorkomende getallen zijn dus slechts benaderd; zij gelden voor het daarbij opgegeven verbruik per kaars en zouden eigenlijk voor elk soort van lamp *afzonderlijk* dienen te worden vermeld.<sup>1</sup>

	Q calorieën	$\frac{P}{I}$ per uur	W in procenten	O.W. in procenten
Kaars	9430 p. gram	7,7 gram	0,13	
Hefnerlamp				0,96 (ÅNGSTRÖM; 1904)
Olie	9500 „	4,5 „	0,22	
Petroleum	11000 „	3,5 „	0,24	
Lichtgas Vleermuis		13 liter	0,13	1,3 (ROGERS; 1892)
„ Argand	5400 p. liter	9 „	0,19	1,6 (ROGERS; 1892)
„ Auer		2 „	0,86	
„ Lucaslamp		1 „	1,7	
Acetyleen		14040 p. liter	0,8 „	0,83

In de tabel vindt men ook enkele gegevens over den optischen werkingsgraad (het percentage der straling, dat voor ons zichtbaar is), hoewel het nog moeilijker is dienaangaande vertrouwbare waarden te vinden. Bepalingen dezer grootheid zijn namelijk reeds lang geleden en volgens verschillende methoden verricht, doch de uitkomsten stemmen niet overeen. De gebezigde methoden zijn in hoofdzaak de beide volgende:

*Methode van MELLONI en TYNDALL.* Om hetzij de lichte of de donkere stralen afzonderlijk te verkrijgen, maakten zij gebruik van een *stralenfilter*. Bij MELLONI (1835) was dit een aluinoplossing, welke geacht werd alleen *lichte* stralen door te laten; bij TYNDALL<sup>2</sup> een oplossing van jodidum in CS<sub>2</sub>, welke de lichte stralen tegenhield en alle *donkere* stralen zou doorlaten. TYNDALL ging als volgt te werk: Een bakje van klipzout werd gevuld met zwavelkoolstof en op den weg der stralen van de te onderzoeken vlam geplaatst. De straling werd daarna opgevangen op een thermoziil en gemeten. TYNDALL

1) Misschien is ook e eenigszins verschillend voor verschillende lichtsoorten.

2) Contributions to molecular physics in the domain of radiant heat. London, 1872.

toonde aan, dat hierbij geen noemenswaardige absorptie plaats had. In de  $CS_2$  werd nu zooveel jodium opgelost, dat de oplossing geheel ondoorschijnend was en nogmaals de straling gemeten. Ook het jodium bleek *diathermaan* te zijn, zoodat de stralen die het terughield, uitsluitend lichtstralen waren. Hij vond aldus voor den optischen werkingsgraad eener:

gasvlam 4 pCt.

olievlam 3 pCt.,

terwijl MELLONI voor de laatstgenoemde 10 pCt. had gevonden.

Volgens TYNDAL'S methode — meer of min gewijzigd — zijn later nog herhaaldelijk metingen verricht. die over 't algemeen iets lager waarden gaven. ÅNGSTRÖM acht hen evenwel nog 2 à 3 malen te hoog. Is dit juist, dan zal 't wel hieraan liggen, dat het jodium niet geheel diathermaan is.

*Methode van LANGLEY.* De grootte van het oppervlak tusschen de ( $\lambda, E$ ) krommen, zooals die op blz. 337 zijn afgebeeld, en de  $\lambda$ -as, is een maat voor de totale hoeveelheid energie, die door de daarbij behorende lichtbron wordt uitgezonden. Het deel van het oppervlak, dat tusschen de grenzen 0,4 en  $0,8 \mu$  (ongeveer) ligt, is het *zichtbare* deel dezer energie. De verhouding tusschen beide is dus de optische werkingsgraad. LANGLEY, die de eerste nauwkeurige metingen in het ultrarode spectrum verrichtte, heeft hem langs dezen weg voor enkele lichtbronnen bepaald (1897), LUMMER schat hem voor het volkomen zwarte lichaam op 0,1 pCt. bij roodgloei-hitte, en op 1 pCt. bij sterke witgloei-hitte, RUBENS op 2 pCt. bij gasgloeilicht.

Een nauwkeurige bepaling der energiekrommen juist in het zichtbare deel is echter zeer moeilijk.

Uit de tabel, hoe onvolledig ook, blijkt, dat de werkingsgraad alleen voor enkele lichtbronnen (acetyleen en gasgloeilicht) tot 1 pCt nadert of dit overschrijdt; en dat ook de optische werkingsgraad voor de meeste koolstofvlammen slechts 1—2 pCt bedraagt. Vlammen, als lichtbronnen gebezigd, zijn dus nog zeer onvolkomen werktuigen. Wanneer men lichtgas in eenen gasmotor verbrandt, daarmede een dynamo drijft en deze bezigt tot voortbrenging van electrisch licht, krijgt men een grooter rendement, dan wanneer men het gas rechtstreeks aansteekt. Om den werkingsgraad te vermeerderen, was het oudste en tot voor korten tijd

het eenige middel, verhooging der vlamtemperatuur — het acetyleenlicht staat in dit opzicht bovenaan: Het Auerlicht heeft ons echter geleerd, dat er nog een andere weg is; dat een lichaam, hetwelk in verband met zijn temperatuur het maximum van stralen uitzendt (volkomen zwart lichaam), *niet* het meest economische middel is tot voortbrenging van licht; en dat men hopen kan andere stoffen te vinden, welke, selectief stralende, een grootere hoeveelheid der beschikbare energie in *zichtbare* straling zullen omzetten.

*Erratum.* Op blz. 316, reg. 5 v. b., staat: *Berzelius*; lees: *Becquerel*.