



ROBERT BUNSEN.

ROBERT BUNSEN.

DOOR

Dr. R. S. T J A D E N M O D D E R M A N.

Na GEORG ERNST STAHL (1660—1734), de eerste die tal van belangrijke chemische verschijnselen door een algemeene theorie verklaarde, begint in Duitschland voor de chemie een periode van kwijning. Wel heeft hij nog eenige verdienstelijke opvolgers, zooals POTT, MARGGRAF en vooral KLAPROTH, maar geen hunner brengt de wetenschap in nieuwe banen en de eenige die dit beproefde vond geen gehoor.¹ In het laatst der 18^{de} en in 't begin der 19^{de} eeuw heeft men de koorvoerders der chemie niet in Duitschland te zoeken, maar in Frankrijk (LAVOISIER, BERTHOLLET, GAY-LUSSAC), in Engeland (BLACK, PRIESTLEY, CAVENDISH, DAVY) en in Zweden (SCHEELE, BERZELIUS).

Des te opmerkelijker is de hooge bloei, dien in onzen tijd de chemie in Duitschland bereikt heeft. Te beginnen met MITSCHERLICH, (1794—1863), WÖHLER (1800—1882) en vooral met LIEBIG, (1803—1873) kan genoemd land in onze eeuw op een steeds klimmend aantal uitnemende scheikundigen bogen, die schitterend de gallische grootspraak logenstraffen: »la chimie est une science française.”² De wetenschap,

¹ Bedoeld wordt J. B. RICHTER, die tusschen 1791—1802 den grond effende voor de stochiometrie, meer bepaald voor de kennis der gewichtsverhoudingen waarin zuren en bases elkander verzadigen. De door hem opgestelde wet steunde evenwel niet op voldeend nauwkeurige proeven en is later opnieuw moeten gevonden worden door BERZELIUS. Opmerkzaam geworden op oudere analyses, die zijn denkbeelden ondersteunden, kende BERZELIUS die door een vergissing aan WENZEL toe, tijdgenoot van RICHTER, totdat in 1841 HESS dezen laatsten de eer gaf, die hem toekwam.

² Bekend is, dat deze onvoorzichtige uitspraak van den beroemden Elzasser scheikundige WURTZ indertijd vele, vooral Duitsche, pennen in beweging heeft gebracht. Doch minder

het behoeft niet herinnerd te worden, is cosmopoliet, doch indien de hedendaagsche chemie in eenig land zich beter thuis schijnt te gevoelen dan in een ander, dan is het ontegenzeggelijk in Duitschland.

Onder de keurbende der duitsche chemici van onzen tijd heeft ROBERT BUNSEN, meer dan een halve eeuw lang, een voorname en zeer in het oog vallende plaats ingenomen. Zich doorgaans buiten de strijd-vragen van den dag houdend en zich zelden in algemeene beschouwingen verdiepend, ging hij, als oorspronkelijk denker en vindingrijk en handig onderzoeker, zelfstandig zijn eigen paden, die hem zelf tot belangrijke ontdekkingen voerden, terwijl hij ze tevens voor anderen effende.

BUNSEN is geboren te Göttingen, 31 Maart 1811, en overleed te Heidelberg in den hoogen ouderdom van ruim 88 jaren, 16 Aug. 1899. Boven een van zijn eerste verhandelingen (*Pogg. Ann.* Bd. 40, van 1837) is hij dr. G. genoemd; boven eenige volgende over 't zelfde onderwerp, (kakodyl-verbindingen) 1841, in *Liebig's Annalen*, wordt hem RUD. als voornaam gegeven, terwijl hij later gewoonlijk ROBERT heet. De laatste naam is de juiste. VICTOR MEYER, BUNSEN's opvolger te Heidelberg en daarna tot aan zijn dood diens stadgenoot, om opheldering over die naamsverwarring aangezocht, heeft medegedeeld, dat aan BUNSEN oorspronkelijk de voornamen ROBERT WILHELM gegeven waren, maar dat hij op ongeveer twintigjarigen leeftijd bovendien nog den naam EBERHARD had aangenomen, nadat gebleken was, dat de predikant in zijn verstrooidheid dien laatsten naam, in plaats van WILHELM, in de doopregisters had geschreven.

BUNSEN bezocht te Göttingen het gymnasium en begon daar ook zijn academische studiën, die hij vervolgens meer bepaald voor physica en chemie te Parijs en Berlijn voortzette. In eerstgenoemde hoofdstad waren destijds mannen werkzaam als GAY-LUSSAC, THÉNARD, CHEVREUL, DULONG, BIOT, AMPÈRE, SAVART en DUMAS, terwijl hij te Berlijn, behalve den reeds bejaarden HERMBSTÄDT (een der eersten in Duitschland, die het stelsel van LAVOISIER aannam) o. a. MITSCHERLICH, WEISS, GUSTAV en HEINRICH ROSE en MAGNUS vond. Ook Londen en Weenen

bekend is, dat de schrijver, die alleen bedoeld schijnt te hebben dat de chemie als wetenschap bij LAVOISIER aanvangt (wat overigens ook niet juist is; LAVOISIER was hervormer, niet stichter), later verklaard heeft den min gelukkigen vorm te betreuren, waarin hij zijn gedachte had gekleed. »Want — voegde hij er bij — niemand kan de Duitse wetenschap hooger stellen dan ik.»

werden door hem nog bezocht en zoo, veelzijdig voorbereid, begon hij in 1833 zijn wetenschappelijke loopbaan in zijn vaderstad als privaatsdocent.

't Eerste onderzoek, waardoor zijn naam meer algemeen bekend werd, ondernam hij gemeenschappelijk met A. BERTHOLD. Van de eigenschap van arsenigzuur uitgaande om onder bepaalde omstandigheden met ijzeroxyde een onoplosbare verbinding op te leveren, beproefden zij langs chemischen weg en door proefnemingen op dieren, of men hiervan geen gebruik kon maken om de giftige werking van rattenkruit door het toedienen van een onschadelijke stof op te heffen, voor zooverre althans als genoemd vergif nog niet van maag en ingewanden in het bloed is overgegaan. Zij bevonden, dat een oplossing van arsenigzuur volkomen kon worden neergeslagen en aldus onschadelijk gemaakt door schudden met vlokkig ijzeroxydehydraat (ferri-hydroxyde). Hun hierop gegrond tegengif voor arsenicum wordt sedert overal in de apotheken bereid gehouden, zij het dan ook met kleine wijzigingen door latere bevinding aan de hand gedaan.¹

In 1835 overleed FRIEDRICH STROMEYER, hoogleeraar in de chemie te Göttingen, bekend door de ontdekking van het metaal cadmium. BUNSEN werd nog te jong geacht zijn leermeester op te volgen, doch toen 't volgend jaar de keuze op WÖHLER gevallen was, werd de daardoor opengevallene plaats als leeraar aan de Nijverheidsschool (*Hohe Gewerbeschule") te Kassel hem aangeboden.

Inmiddels zijn studiën over 't arsenicum voortzettend, begon hij hier aan zijn vermaarde onderzoekingen over organische verbindingen van dit element, waarop ik later terugkom. In 1838 werd BUNSEN buitengewoon en in 1841 gewoon hoogleeraar aan de hoogeschool te Marburg. Hij bleef daar tot in 1851, toen hij aan een benoeming in Breslau gehoor gaf. Zijn eerste werk was daar plannen te ontwerpen voor een nieuw chemisch laboratorium, doch de uitvoering daarvan zag hij niet; want reeds het volgend jaar trok hij naar Heidelberg, om de chemische leerstoel in te nemen door den dood van LEOPOLD GMELIN opengevallen. Hij had aangenomen op de uitdrukkelijke voorwaarde, dat men de veel te bekrompene en geheel

¹ Naar FUCHS (1853) 't eerst voorstelde, schudt men even vóór 't gebruik een oplossing van ferri-sulphaat met gebrande magnesia. Er wordt daardoor ferri-hydroxyde in vlokkigen staat afgescheiden. Ook de in overmate toegevoegde magnesia gaat met arsenigzuur een onoplosbare verbinding aan. — Vrij ferri-hydroxyde, onder water bewaard, wordt langzamerhand dichter en minder werkzaam.

verouderde werkplaats van GMELIN door een nieuw, naar zijn plannen ingericht laboratorium vervangen zou. Doch toen hij te Heidelberg aangekomen was, had de minister, afgeschrikt door de groote kosten, allerlei bezwaren en eindigde met BUNSEN een verhooging zijner jaarwedde aan te bieden, mits hij van zijn al te hooge eischen afzag. Verontwaardigd over dit beleedigend aanbod, vroeg BUNSEN ontslag, onder bijvoeging dat hij de betrekking alleen had aangenomen na de ontvangen verzekering, dat men hem in staat zou stellen die ook naar eisch te vervullen. Op direct bevel van den groothertog gaf de minister eindelijk toe en kreeg BUNSEN zijn laboratorium, dat in 't voorjaar van 1855 betrokken werd.

Meer dan het derde van een eeuw bleef hij hier onvermoeid werkzaam, tal van leerlingen vormend, die hem niet alleen uit Duitschland, maar uit alle beschaafde landen toestroomden. Dat ik hier 't eerst van den leermeester gewaag, heeft zijn reden; want hoe groot hij ook was als onderzoeker, hoe veel luister hij ook aan 't Heidelberger laboratorium schonk door de gewichtige ontdekkingen, die later ter sprake zullen komen; volgens 't eenparige getuigenis zijner leerlingen was hij nog grooter als leeraar en leidsman. Steeds ongehuwd gebleven en geheel opgaande in zijn taak, was hij, hoezeer ook vervuld met eigen onderzoek, steeds beschikbaar voor zijn leerlingen, wier persoonlijke leiding hij als zijn eersten plicht beschouwde en waarvan hij de besten aan zijn proeven liet deelnemen en meer zelfstandige onderzoekingen onder zijn toezicht opdroeg.

Tot in 1889, toen hij reeds den hoogen ouderdom van 78 jaren bereikt had, bleef hij onvermoeid zijn ambt waarnemen. Hoewel ook toen nog levenslustig en in 't volle bezit zijner geestelijke vermogens, gevoelde hij toch zijn lichaamskrachten afnemen en de noodzakelijkheid om zijn geliefd laboratorium vaarwel te zeggen. Nog tien levensjaren waren hem bescheiden, waarin hij aanvankelijk nog vol belangstelling de vorderingen van natuur- en scheikunde bleef volgen en zelfs nog aan een experimenteel onderzoek over een vraagstuk uit de leer van 't licht begon, waartoe hij op zijn ouden vernuftigen trant van de primitiefste hulpmiddelen gebruik maakte. Doch ten einde brengen mocht hij dit onderzoek niet door de toenemende verzwaking van zijn linkeroog, (het rechter had hij reeds voor langen tijd ten gevolge van een ontploffing verloren) die hem ten slotte ook het lezen zeer moeilijk maakte. Toen nu ook nog zijn gehoor verminderde en hij hierdoor belemmerd werd in het geestelijk verkeer

met de hem nog geblevene vrienden, verviel de vroeger opgeruimde man in een diepe neerslachtigheid, waaruit hij slechts nu en dan gewekt werd door een aangenaam bezoek of door een vaak uren langen rit door bosch en gebergte. Langzaam werd zijn krachtig gestel gesloopt en ten slotte werd ook de kring zijner gedachten nauwer. Zoo eindigde hij, kalm en gelaten, een lang, voorbeeldig besteed leven.

Roem en eer zijn hem in ruime mate ten deel gevallen en meermalen heeft men getracht hem aan een grootere hoogeschool te verbinden. Doch het schoone Heidelberg was hem te lief geworden om het ooit weer te verlaten. Hier was de eenvoudige man door iedereen gekend en geëerd en had hij vele vrienden en hoog staande ambtgenooten, ten deele geestverwanten, die gedurende een reeks van jaren hem op waardige wijze aanvulden. Ik noem slechts: HELMHOLTZ, die van '58—'72 te Heidelberg hoogleeraar in de physiologie was en KIRCHHOFF en KOPP, beiden door BUNSEN's toedoen aldaar beroepen. De laatste was inzonderheid met hem bevriend: alleen reeds om BUNSEN-bedankte KOPP meermalen voor de hem te Berlijn en Leipzig aangeboden leerstoelen. De oudere BUNSEN overleefde ze allen: HELMHOLTZ overleed te Berlijn als hoogleeraar in de physica, 1894; KIRCHHOFF in 1887 en KOPP in 1892, beiden te Heidelberg.

Forsch gebouwd, verhief BUNSEN zich ook lichamelijk boven 't gros zijner medemenschen. Toch zou men het, gelijk iemand opmerkte die zijn portret zag bij een oud-leerling,¹ den gemoedelijk uit zijn oogen kijkenden man niet aanzien, dat hij de natuur zoo stevig de duimschroeven kon aanzetten.

BUNSEN was zeer bemind bij zijn leerlingen; door zijn groote toewijding en welwillendheid nam hij stormenderhand de harten in. Toch was hij, bij zijn rondgang in 't laboratorium, waarbij de praktikanten steeds een klein examen ondergingen, kariger met lof dan met aanmerkingen. Voor hen, in wie hij belang stelde, was hij als een vader voor zijn zoon en geen moeite was hem te veel om ze in de praktijk te onderrichten. Daarentegen liet hij de weinig belovenden weldra aan zijn adsistent over, geen acht slaande op hunne vragen. Volgens JAHN verschool hij zich daarbij achter zijn bekende hardhoorigheid, die, gelijk wij boven zagen, op hoogen leeftijd zeer verergerde.

Van zijn fijnen humor deelt JAHN het volgende staaltje mede. B.

¹ H. JAHN, aan wiens opstel ter herinnering aan zijn leermeeester, in de *Deutsche Revue* van Nov. '99, deze en eenige volgende bijzonderheden ontleend zijn.

had nooit een horloge op zak, maar ging voor het beginnen zijner lessen op dat van zijn adsistent af. De tijd om te eindigen werd hem aangegeven door een kleine klok, die in de collegekamer hing. Eenige minuten vóór acht kwam hij des morgens uit zijn woning in 't laboratorium en liep dan al rookend zijn kamer op en neer, totdat de adsistent op zijn herhaald vragen zeide, dat het tijd was. Op zekeren morgen kreeg hij een antwoord dat hem kennelijk niet beviel: het was wel is waar tijd, maar de prins was er nog niet.¹ Het werd later en later, totdat even vóór half negen de adsistent de komst van den prins berichtte. Snel trad BUNSEN de collegekamer binnen, liep regelrecht naar de klok, zette die een kwartier achteruit en begon vervolgens op de gewone wijze zijn les. De prins begreep den wenk en kwam sedert op tijd.

Zijn voordracht was rustig en zaakrijk, vol oorspronkelijke opmerkingen, die te denken gaven en tot onderzoek prikkelden. Even eenvoudig als zijn woorden, waren de proeven, die nooit op knaleffect berekend waren.

Bij gelegenheid van een ovatie, die hem op zijn 85^{sten} verjaardag gebracht werd, verhaalde een oud-leerling, toen 't gesprek op zijn bekende, bijna overdrevene bescheidenheid kwam, het volgende: »over zich zelf sprak hij nooit; hij vermeed elke toespeling op zijn ontdekkingen. Wie zijn lessen volgde, had kunnen gelooven, dat hij aan alle vorderingen onzer eeuw in chemie en physica zoo onschuldig was als een pasgeboren kind. Als de electrolyse, gas- en spectraalanalyse, de ontdekking van het caesium en rubidium, enz. ter sprake kwamen, had hij een bewonderenswaardigen slag om zijn naam ongenoemd te laten. »*Men* heeft gevonden, *men* heeft een gasbrander geconstrueerd, een calorimeter bedacht....» Op deze of dergelijke wijze gleed hij over zijn ontdekkingen heen. Doch zijn toehoorders vonden dit wel eens wat te erg en als hij zoo sprak, werd hij niet zelden door een langdurig getrappel onderbroken. Na een verlegene buiging ging hij dan voort. Ook in bijzondere gesprekken scheen het hem moeite te kosten voor een ontdekking uit te komen.

Lezen deed hij weinig; in de laatste jaren zijner werkzaamheid bijna niets. Door zijn ambtsplichten en zijn vele onderzoekingen, die hij

¹ Er studeerden herhaaldelijk prinszen te Heidelberg, waarvan sommigen ook de lessen van BUNSEN volgden. Een grootvorst zond hem later op zijn verzoek een aanzienlijke hoeveelheid platina-resten uit de munt van Petersburg, die hem dienden voor zijn uitvoerige studie over de scheiding der platina-metalen

steeds vlijtig voortzette, had hij daarvoor weinig tijd. Doch zijn vriend KOPP, die alles las en alles wist, hield hem op de hoogte van 't geen er belangrijks uitkwam. Op hun gemeenschappelijke wandelingen zag men beide mannen niet zelden in druk gesprek en onder levendige gesticulaties nu en dan stilstaan.

In verhouding tot zijn lang leven, is het aantal geschriften zijner hand minder groot dan men wellicht verwachten zou. Behalve de talrijke tijdschrift-artikelen, gaf hij afzonderlijk uit: *Descriptio hygrometrorum*, Göttingen 1830; *Eisenoxydhydrat, das Gegengift der Arsenigen-säure*, gemeenschappelijk met A. BERTHOLD, 2^{te} Aufl., Göttingen, 1837; *Schreiben an Berzelius ueber der Reise nach Island*, Marburg, 1846; *Ueber eine volumetrische Methode von sehr allgemeiner Anwendbarkeit*, Heidelberg, 1854; *Gasometrische Methoden*, Braunschweig, 1857 (2^{te} Aufl. 1877); *Anleitung zur Analyse der Aschen und Mineralwasser*, Heidelberg, 1874.

Deze aan BROCKHAUS ontleende lijst moge wellicht niet geheel volledig zijn, in elk geval heeft menig minder beteekenend man in korter leven meer boeken laten drukken. Doch zooals, naar de mededeeling van JAHN, de beroemde Belgische scheikundige STAS van BUNSEN zeide: »c'est le maître à nous tous; car tout ce qui est sorti des mains de cet homme, ce sont des chef-d'oeuvres."

Een volledige, voor elken beschaafde begrijpelijke uiteenzetting van zijn wetenschappelijken arbeid, zal men in een tijdschrift-artikel niet verwachten. 't Beste zal zijn slechts enkele zijner onderzoekingen uitvoeriger te behandelen, andere korter te bespreken en vele slechts met een enkel woord te gedenken of wel geheel met stilzwijgen voorbij te gaan.

BUNSEN's eerste groote arbeid is in de jaren 1837—'48 uitgevoerd en had de kakodyl-reeks tot onderwerp. Gelijk blijken zal was rattenkruit hierbij punt van uitgang en sluit het zich dus eenigermate aan bij zijn eerste onderzoek met BERTHOLD, boven reeds vermeld. Naar zijn eigen opgave, voelde hij zich tot dit onderwerp aangetrokken door de groote overeenstemming van arsenicum met stikstof in chemisch gedrag. Het pleit voor zijn doorzicht, dat hij die analogie inzag. Brengen wij thans stikstof, phosphorus, arsenicum, antimonium en bismuth tot dezelfde groep; destijds was men aan een natuurlijke indeeling der grondstoffen ter nauwernood begonnen. Alleen DÖBEREINER,

te Jena, had in een eerste proeve (1829), die BERZELIUS te onbeduidend vond om in zijn jaarboek te vermelden, phosphorus en arsenicum bij elkander gevoegd. Het antimonium of stibium voegde hij te recht bij het bismuth, doch scheidde dit tweetal van de beide eerstgenoemde grondstoffen, en wat de stikstof aangaat, daaraan kende hij (e.a. aan de drie andere zoogenoemde organische elementen) een afzonderlijke plaats toe.¹

BUNSEN zag derhalve overeenkomst tusschen arsenicum en stikstof en mitsdien werden voor hem — wegens 't groot aantal stikstofhoudende organische stoffen — de studie van overeenkomstige arsenikverbindingen belangrijk. Deze waren destijds zoo goed als onbekend, doch was er toch reeds een punt van uitgang gegeven in de reeds in 1760 beschrevene *Liqueur fumante de Cadet*, het distillatieproduct van rattenkruit met zijn eigen gewicht aan azijnzuurkalium. Dat die rookende vloeistof sedert niet nader onderzocht werd, kan niet al te zeer verwonderen. 't Onderzoek is buitengewoon moeilijk, niet zonder gevaar en uiterst onaangenaam. Bij de verhitte toch ontwikkelen licht-ontvlambare dampen, die heftig tot hoesten prikkelen, giftig zijn en een walgelijken stank verspreiden. Deze hecht zich aan lichaamsdeelen en kleederen en is haast onverdelgbaar. Een groot deel van het onderzoek kon dan ook alleen in de open lucht geschieden en BUNSEN moest allerlei inrichtingen bedenken (distillatie in een atmosfeer van koolzuur, enz.) om niet gewenschte ontleding door de dampkringslucht te voorkomen. Dat hij niettemin slaagde en dat in een tijd, toen inrichting en hulpmiddelen der chemische laboratoria nog hoogst gebrekkig waren, heeft zijn onderzoek terecht beroemd gemaakt. Gelijk AD. V. BAEYER heeft opgemerkt, werd daardoor het bewijs geleverd, dat zelfs de moeilijkste vraagstukken der chemische experimenteerkunst door een meesterhand konden worden opgelost.

Wat nu de uitkomsten betreft, BUNSEN slaagde in de bereiding van

¹ Geheel ten onrechte deed hij dit niet. Men weet thans, dat algemeen in elk eerste lid eener groep van elementen het gemeenschappelijk karakter zwakker voor den dag komt, dan in de volgende leden. Zoo ook komen phosphorus en arsenicum, enz. onderling meer overeen, dan een hunner met de stikstof. MENDELJEFF noemt die eerste elementen eener groep met het laagste atoomgewicht *typische*, wat kennelijk verkeerd is, want in hen is het gemeenschappelijke type juist het zwakst. Of neemt de vermaarde Rus de uitdrukking wellicht in denzelfden zin, als tegenwoordig de jongeren ten onzent doen, die van »typisch» spreken, als ze iets ongewoons, van niet alledaagschen slag bedoelen?

een geheele reeks verbindingen, die allen één of tweemaal dezelfde atoomgroep, zoogenoemd samengesteld radicaal, bevatten, namelijk C_2H_6As , d. i. 2 atomen of 24 gew. dln. koolstof, 6 at. of 6 gew. dln. waterstof en één atoom of 75 gew. dln. arsenicum. Hij noemde dit radicaal, naar de giftige eigenschappen zijner verbindingen, kakodyl ($\kappa\alpha\kappa\omicron\varsigma$ = slecht; $\psi\lambda\eta$ = stof) en schreef het ter verkorting: Kd. De door hem bereide en bestudeerde verbindingen zijn: vrij kakodyl (Kd_2); kakodyloxyde: Kd_2O ; kakodylzuur: KdO_3H ,¹ waarvan ook vele zouten bereid werden; kakodylsulfide en -disulfide: Kd_2S en Kd_2S_2 ; kakodylchloride, -bromide en jodide: $KdCl$, $KdBr$, KdI ; het kakodyloxychloride $Kd(OH)_2Cl$ en eindelijk het cyaankakodyl: $KdCN$.

BUNSEN's verdienstelijk onderzoek werd met vreugde begroet door den toenmaligen grootmeester der chemie BERZELIUS. De uitkomsten toeh gaven grooten steun aan diens opvatting der organische chemie, die zich volgens hem van de anorganische hierdoor zou onderscheiden, dat zij met samengestelde in plaats van met enkelvoudige radicalen (atomen) te rekenen had.² Kende men destijds reeds het cyaan, (CN) dat in weerwil van zijn samengesteldheid in verbindingen de functie vervulde van de atomen chloor, broom en jodium en het nog veel gecompliceerder zuurradicaal benzoyl ($C_6H_5.CO$) uit de bitteramandelolie en het benzoëzuur — in het kakodyl had men nu een samengesteld radicaal van een metalliek karakter, dat door zijn gemakkelijke ontvlambaarheid aan de lucht bepaaldelijk aan kalium en natrium deed denken.

Door de verruiming onzer theoretische opvattingen, (verkregeu doordien men dieper in den aard der samengestelde radicalen doordrong, wat tot de valentie-leer leidde) heeft het door BUNSEN aangegeven radicaal niets van zijn belangrijkheid verloren. Wat hij destijds voor ontijdig hield,³ heeft men later, ten deele althans, met goeden

¹ De rookende vloeistof van CADET is een mengsel van vrij kakodyl en de oxydatieproducten daarvan.

² Deze onderscheiding verviel, toen men — gedwongen het begrip van lieverlede ruimer op te vatten — er toe kwam ook in de anorganische chemie samengestelde radicalen aan te nemen. De organische chemie werd toen de chemie der koolhoudende, de anorganische die der koolstof-vrije radicalen; wat (door weglating van 't gemeenschappelijke begrip: radicaal) tot de tegenwoordige onderscheiding voerde in chemie van koolhoudende en kool-vrije verbindingen, die naar men weet gemakshalve aangehouden wordt.

³ In een van de verhandelingen over het kakodyl zegt hij: »Das Unternehmen, die »Natur der Kräfte welche die Atome in den Radicalen zusammenhalten, zu erforschen »sei verfrüht, weil“... etc.

uitslag beproefd en met name van het kakodyl aangetoond dat de kool- en waterstof daarin twee groepen methyl (CH_3) vormen, die door het atoom arsenicum samenhangen, zonder dat dit laatste 't vermogen verliest nog meer radicalen te binden. Voor ons is het kakodyl een één- en naar omstandigheden ook driewaardig radicaal, doordien het soms drie- soms vijfwaardig atoom arsenicum, na de binding van de twee éénwaardige methylgroepen, natuurlijk nog één of resp. drie bindingswaarden overhoudt. Leest men, met die wetenschap toegerust, de verhandelingen van BUNSEN, dan begrijpt men veel van zijn belangrijke waarnemingen, die hij onpartijdig meedeelt zonder nadere verklaringen, die destijds niemand geven kon.

Het is opmerkelijk dat BUNSEN, na het kakodyl-onderzoek, waar- door zijn naam als natuuronderzoeker gevestigd werd, het zoo gelukkig betreden pad der organische chemie verliet en andere wegen insloeg. Niet evenwel, dat men zich daarover te beklagen heeft, want ook zijn volgende onderzoekingen zijn de wetenschap van groot nut geweest.

In de eerste plaats zij hier aan zijn studiën op chemisch-minera- logisch en geologisch gebied herinnerd, waartoe verschillende reizen, vooral die in 1841 naar Italië en in 1846 naar IJsland, de aanlei- ding waren. Zoo bestudeerde hij de gassen die uit de vulcanen ont- wikkelen, maakte analyses van de fumarolen van den grooten krater van de Hecla en verklaarde de vorming van het daarin rijkelijk voor- komend zoutzuur uit de ontleding van chloornatrium door het kiezel- zuur der slakken; als ook het bij vulcanen veelvuldig voorkomend salmioniak uit de werking van zoutzuur en andere chloorverbindingen op organische stoffen.

Bij de geologen is de aannemelijke, ook op andere geysers toe- passelijke verklaring vermaard geworden, die hij van de periodieke werking van den geyser op IJsland gaf.

Het heete water heeft daar, uit de diepte opborrelend, in den loop der eeuwen door afzetting van kiezelzuur een vlak bekken op- gebouwd, dat zich kegelvormig boven de vlakke omgeving verheft en van onderen in een nauwe pijp, eveneens van kiezelzuur, over- gaat. Met deze zoogenoemde geyser-buis, die minstens 70 voet (22 M.) in de diepte afdaalt, zou nu naar men zich voorstelde een onder- aardsch reservoir in verband staan, dat ongeveer werkte op de wijze van den windketel in een brandspuit. Volgens BUNSEN nu is het periodieke springen der bron veel eenvoudiger verklaarbaar uit de

hooge temperatuur, die 't water door de onderaardsche verhitting moet aannemen. Uit de bekende physische wet, naar welke het kookpunt eener vloeistof stijgt met den druk, volgt toch dat het water beneden in de buis onder den last van een hooge waterzuil veel hooger temperatuur kon verkrijgen, dan aan 't normale kookpunt onder één atmosfeer beantwoordt. En dat het niet alleen kon, maar ook zoo was, constateerde BUNSEN door 't afdalen in de buis van thermometers, die een hitte tot 127°5 C. aanwezen. Komt nu dit overhitte water door de oppersing in de bovenstaande koudere lagen onder verminderden druk, dan zal dat door de snel op elkander volgende ontwikkeling en verdichting van stoom eerst ontploffingen als van kanonschoten en vervolgens het uitslingeren van waterstralen moeten veroorzaken, wat door een periode van rust gevolgd wordt, tot dat zich weer genoeg water in de buis heeft aangezameld.¹

Men zal opmerken, dat de verklaring al heel eenvoudig is. Inderdaad herinnert zij aan het vermaarde ei van COLUMBUS. Doch juist in dat ongezochte, in dat vermijden van onbewijsbare veronderstellingen en dat logisch nitgaan van het werkelijk waargenomene, ligt het verdienstelijke. Wat BUNSEN hier deed met betrekking tot de geologie, te weten het vernuftig toepassen van eenvoudige physische waarheden, heeft hij — gelijk in 't vervolg herhaaldelijk blijken zal — nog veel meer gedaan op 't gebied der chemie. Wellicht heeft, LAVOISIER uitgezonderd, geen scheikundige vóór hem op zulk een uitgebreide schaal zich van physische methoden en hulpmiddelen bediend om chemische vraagstukken op te lossen.

Het talent dat BUNSEN in hooge mate bezat om kennis op één gebied met gemak toe te passen op een ander, is minder algemeen dan men wellicht denkt. Naar 't schijnt, worden door velen de kundigheden, die zij in verschillende takken van kennis opdeden, in verschillende vakken hunner hersenen opgeborgen en hebben zij, uit één hokje puttend, niet tegelijkertijd de vrije beschikking over den inhoud van de andere. De reden hiervoor zal wel te zoeken zijn in een gemis aan combinatie-talent, in het onvermogen om in oogenschijnlijk heterogene dingen het gemeenschappelijke te ontdekken en voorts in de al te oppervlakkige kennis van de bijvakken, zoodat men daaraan niets heeft voor het hoofdvak.

¹ De volledige beschrijving van den geiser en de verklaring van de werking door B. is vroeger in dit tijdschrift gegeven: jaarg. 1872, blz. 334—343. Vgl. ook jaarg. 1887, blz. 435—440.

Door de hooge vlucht, die in onzen tijd de zoogenoemde physische of beter gezegd algemeene chemie genomen heeft, is men tegenwoordig veel meer dan vroeger overtuigd van 't groot belang van natuur- en wiskunde voor den scheikundige. In het midden dezer eeuw was dit anders, de eischen in dit opzicht althans minder hoog, en BUNSEN een schitterende uitzondering.

Hoezeer hij, ofschoon chemicus en altijd met een chemisch doel voor oogen het gebied der physica betredend, zich toch tevens voor die zuster-wetenschap verdienstelijk wist te maken, blijkt o. a. uit zijn calorimeter, die op 't beginsel berust, dat ijs van 0° C. een grootere ruimte inneemt, dan het daaruit gevormd water bij dezelfde temperatuur. Voorts uit het naar hem genoemd galvanisch element, waarin naar men weet een koolcilinder het dure platina uit het element van GROVE verving. Dit herinnert nog aan een ander algemeen bekend toestelletje, dat zijn naam draagt, en dat niet alleen den chemicus, maar ook den mineraloog, physicus, physioloog, kortom bijna iedereen, die lichtgas ter verwarming bezigt, dagelijks onschatbare diensten bewijst. Het thans overal verkrijgbare lichtgas wordt in den zoogenoemden Bunsenschen brander op even eenvoudige als vernuftige wijze automatisch met lucht vermengd en daardoor in een warmtegas veranderd, dat een hooge hitte geeft, geen roet afzet, spaarzaam brandt en toch in een ommezien door een kleine handbeweging weer een gewone lichtgevendende gaslamp worden kan. Door de invoering van het gasgloeilicht vindt gezegde brander thans ook in het dagelijksch leven uitgebreide toepassing, gelijk aan de lezers van dit tijdschrift bekend kan zijn.¹

Jarenlang, eerst alleen, daarna onder medewerking van MATTHIESSEN, heeft BUNSEN zich bezig gehouden met ontleding door den galvanischen stroom, waarbij het door hem uitgedachte, bovengenoemde kool-zink-element goede diensten bewees. Zoo gelukte hem de electrolytische afscheiding van magnesium uit gesmolten chloormagnesium, volgens een methode, die in hoofdzaak nog heden in eenige fabrieken gevolgd wordt, met dit verschil evenwel, dat men niet meer van chloormagnesium, waarvan de bereiding moeielijk en kostbaar is, maar van carnalliet uitgaat (chloorkalium-chloormagnesium)

¹ Zie mijn artikel over de theorie van het gasgloeilicht, jaarg. 1898, bladz. 257, waarin men tevens (bladz. 264) een beknopte beschrijving van den brander vindt.

dat sedert het ontstaan van de Stassfurter kali-industrie goedkoop te verkrijgen is.

Daarna kwamen de metalen aluminium, chromium, manganium, baryum, strontium, calcium en lithium aan de beurt, waarbij telkens weer veranderingen in de methode of nieuwe kunstgrepen noodig waren. Vooral de afscheiding der alkalische aardmetalen leverde groote moeilijkheden op. Zooals wel van zelf spreekt, werden de eigenschappen der genoemde elementen, die vroeger nog niet, of althans slechts in geringe hoeveelheden afgezonderd waren, in bijzonderheden bestudeerd. Tevens werden vele opmerkingen gemaakt over de werking van den galvanischen stroom die van blijvende waarde zijn. Eén daarvan, over den invloed van de zoogenoemde stroom-dichtheid, werd vroeger door mij in dit tijdschrift besproken.¹

Vooral niet minder gewichtig dan deze electrolytische onderzoeken, is de werkzaamheid van den onvermoeiden man op 't gebied der gas-analyse. De gronden voor dezen tak der analytische chemie waren gelegd door PRIESTLEY, CAVENDISH en LAVOISIER en in den aanvang dezer eeuw was hierop voortgebouwd door DALTON, GAY-LUSSAC, HENRY, SAUSSURE en eenige anderen. Toch ontbrak er nog veel aan de nauwkeurigheid der gevolgde methoden en deze vormden volstrekt geen afgerond geheel. Vooral leverde de kwantitieve analyse van gasmengsels vele moeilijkheden op. Bedenkt men hoe lastig het onderzoek van gassen zijn moet, die geen bepaalden vormen bezitten, zich onderling in alle verhoudingen mengen en ruimten beslaan die met de temperatuur en den druk sterk veranderen; dat ze voorts meerendeels onzichtbaar zijn en opgevangen boven vloeistoffen daarin dikwerf ten deele overgaan, in verhoudingen die met druk en temperatuur onophoudelijk wisselen — dan is er geen reden zich hierover te verbazen. Eerst na een langdurige ervaring, was de leer der gassen zoo ver gevorderd, dat een scherpzinnig en handig onderzoeker de taak ondernemen kon, om vaste methoden uit te werken voor de kwantitatieve bepaling. Aan deze taak, die niet minder volharding en geduld dan talent eischte, werd bereids in 1838 begonnen, onder medewerking van verschillende leerlingen (PAULI, SCHÖNFELD, CARIUS, ROSCOE, enz.) te Marburg en Heidelberg voortgezet en eindelijk afgesloten met zijn *Gasometrische Methoden*, welk boek in 1857 het licht zag. In weerwil dat later

¹ In het opstel over »Electrochemische Nijverheid», jaarg. 1897, bladz. 81.

gewijzigde methoden zijn ingevoerd, met name door WINKLER en HEMPEL, die sneller ten doel voeren, is deze in 1877 herdrukte handleiding toch nog altijd een gewaardeerde vraagbaak.

Bij de gasanalysen komt het vooral neer op absorptie en verbranding, terwijl ook de bepaling van 't soortelijk gewicht van nut kan zijn. Voor die bewerkingen verzoon BUNSEN zinrijke toestellen. Inzonderheid heeft hij uitvoerig de absorptie bestudeerd, m. a. w. de oplosbaarheid der gasen in vloeistoffen. Deze is behalve van den aard van 't gas en de temperatuur ook nog van den druk afhankelijk en wel is zij, volgens een in 1803 door HENRY opgestelde wet, rechtstreeks evenredig daaraan. Door DALTON werd in 1807 deze wet ook op gasmengsels van toepassing bevonden, met dien verstande, dat daarin voor elk bestanddeel alleen de druk in aanmerking komt, die het zelf uitoefent, zoodat daarvoor m. a. w. de dampspanning van de overige bestanddeelen niet meerekent.

De uitvoerige proeven in BUNSEN's laboratorium genomen, hebben nu het welkome bewijs geleverd, dat de beide genoemde wetten inderdaad bij benadering geldig zijn en wel in 't algemeen nauwkeuriger, naarmate de gasen een geringere oplosbaarheid bezitten en de door hen geoefende druk geringer is.¹ Op den regel, dat de oplosbaarheid der gasen met klimmende temperatuur regelmatig afneemt, werden enkele uitzonderingen gevonden.

Aan het bovengenoemde werk zijn tabellen toegevoegd, waarin voor de meest bekende gasen de waarden van de zoogenoemde absorptie-coëfficiënten zoowel voor water als voor alcohol zijn opgeteekend van 0°—20° C. Men moet natuuronderzoeker zijn om te beseffen hoeveel arbeid daarin is neergelegd.

BUNSEN heeft voorts door voorbeelden aangetoond welk nuttig gebruik men van absorptie kan maken voor de gas-analyse. Belangrijke chemische vraagstukken kunnen daardoor worden opgelost. Zoo b.v. of een te onderzoeken gas een mengsel of een homogene stof is. O.a. heeft hij daardoor het afdoend bewijs geleverd, dat de zuurstof

¹ Toch is voor het reeds in water vrij oplosbare koolzuur de wet van HENRY nog toepasselijk tot een druk van 4 atmosferen toe, waarbij de afwijking ± 1 pct. bedraagt. Dat de meer in water oplosbare gasen (z.a. zwaveldioxyde, ammonia, chloor) de wet niet volgen bij lagere temperaturen, schrijft men toe aan chemische werking tusschen gas en water. Bij hoogere temperaturen houdt die werking op en volgen de gasen weer de wet: het zwaveldioxyde reeds boven 40°, ammonia eerst boven 100°. Vg. over de door ROSCOE gevonden afwijking van 't chloor het Bijblad van dezen jaargang, bladz. 10.

en de stikstof in de atmosfeer gemengd, en niet geheel of gedeeltelijk verbonden zijn, omdat elk der genoemde gassen, in verhouding tot zijn oplosbaarheid en tot zijn aandeel in den atmosferischen druk, door water wordt opgeslorpt. Zelfs berekent hij uit het bekende gehalte van de lucht aan stikstof, zuurstof en koolzuur (waarvoor hij resp. 79.007, 20.951 en 0.042 volumprocenten stelt) nauwkeurig de verhouding waarin deze gassen bij verschillende temperaturen in de atmosferische neerslagen moeten overgaan (b.v. bij 10° C. moet die zijn: 63.49 pct. stikstof, 34.05 pct. zuurstof en 2.46 pct. koolzuur) en vindt dit door de analyse van uit water ontwikkelde lucht bevestigd. Hieraan worden vervolgens weer hoogst belangrijke beschouwingen vastgeknoopt over de beteekenis van de door het regenwater in den bodem aangevoerde luchtgassen voor den plantengroei.

Het medegedeelde moge volstaan om een denkbeeld te geven van BUNSEN's verdiensten voor de gas-analyse. Dat zijn voorschriften in de eerste plaats met vrucht in zijn eigen laboratorium zijn toegepast kan men denken. Zoo werd meermalen het lichtgas der Heidelberger fabriek geanalyseerd, en, wat vroeger nog nooit geschied was, de gassen onderzocht, die uit de hoogovens bij de bereiding van gietijzer vrij komen. In gemeenschap met SCHISCHKOFF werd door BUNSEN uitvoerig het buskruit bestudeerd, de producten geanalyseerd die daaruit bij de ontploffing meerendeels in gas-vorm ontstaan en daardoor een weg gebaad voor een algeheele theorie van de werking, die vrij ingewikkeld is, en door latere onderzoekers (NOBEL, ABEL, DEBUS. enz.) verder is uitgewerkt. Men heeft later de nauwkeurigheid, of liever de toepasselijkheid dezer analyses wel eens in twijfel getrokken, omdat B. en Sch. hun jachtkruit onder den gewonen druk deden ontploffen, terwijl die bij de praktische toepassingen doorgaans een hogere is. Door KAROLYI en anderen is bewezen, dat dit geen afbreuk doet aan de bruikbaarheid hunner uitkomsten. Op 't chemisch proces toch bij de ontploffing is de druk van weinig of geen invloed, wél daarentegen de samenstelling van 't kruit, dat naar men weet vrij veel wisselen kan. Terecht noemt dan ook DEBUS de buskruit-analysen van BUNSEN en SCHISCHKOFF een „klassische Arbeit”, wat trouwens in de literatuur de algemeen gebezigde uitdrukking geworden is, als men BUNSEN aanhaalt.

(Slot volgt.)