

# ONTPLOFBARE STOFFEN.

DOOR

Dr. J. E. ENKLAAR.

---

## I

De woorden nitroglycerine en dynamiet zijn sedert geruimen tijd op ieders lippen. De naam nitroglycerine — die van een vrij samengestelde stof uit het gebied der organische scheikunde — heeft voor den leek in de scheikunde een bekenden klank. In de verbeelding wordt hij onafscheidelijk verbonden met de voorstelling van vernieling en verwoesting. Bij het noemen van het woord dynamiet verrijzen voor de ontstelde verbeelding de Iersche Fenians, de Russische nihilisten en alle anarchisten, die de maatschappelijke orde bedreigen. Zulk een aaneenschakeling van denkbbeelden is inderdaad het noodzakelijk gevolg van de gebeurtenissen in de laatste tientallen van jaren. Nitroglycerine en dynamiet behooren met buskruit, schietkatoen en tal van verwante scheikundige verbindingen en mengsels tot de ontplofbare stoffen. De scheikunde heeft door haar snelle ontwikkeling in de laatste helft onzer eeuw het aantal dier stoffen belangrijk vermeerderd. Zij heeft daarmee aan den mensch de beschikking gegeven over ongemeen groote, plotseling optredende krachten, uitermate geschikt om in een korte spanne tijds een verwoesting te weeg te brengen, waarbij het werk van moker en breekijzer slechts kinderspel zijn. Wel zijn die krachten, eenmaal ontketend, geheel onttrokken aan de leidende en besturende hand van den mensch, doch het oogenblik, waarop haar werking begint, kan nauwkeurig bepaald worden; en dit is voldoende. Waar het om af-

breken te doen was, begreep men dan ook spoedig welke machtige bondgenooten in de ontplofbare stoffen verkregen waren. Op het congres der socialisten, dat in Juli van 1881 te Londen vergaderde, werden de leden er met nadruk op gewezen om bijzonder gewicht te hechten aan de studie der technische en chemische wetenschappen als middelen van verdediging en aanval. En wij weten, dat het niet bij woorden gebleven is. Vorstelijke tronen hebben den schok van het dynamiet gevoeld.

Voor militaire doeleinden zijn de ontplofbare stoffen van bijzonder belang. Met het buskruit begint een nieuw hoofdstuk in de geschiedenis der krijgswetenschap. Het buskruit gaf aan de Europeesche volken een meerderheid over de klewang voerende Aziatische stammen, waardoor de koloniën in het leven werden geroepen. Eeuwen lang heeft het zonder mededinger die rol op het wereldtooneel vervuld. In onze eeuw zijn dynamiet en schietkatoen van groote beteekenis geworden voor krijgskundige doeleinden. De genie in het bijzonder zou met die stoffen een groot gedeelte harer kracht verliezen. In den oorlogzuchtigen tijd dien wij beleven, worden — met name in Duitschland en Frankrijk — in militaire inrichtingen dagelijks proeven genomen met nieuwe ontplofbare stoffen. Zonder de grootste geldelijke opofferingen te schromen worden alle hulpmiddelen der wetenschap gebruikt om met behulp van zulke stoffen de aanvallende kracht der legers te verhoogen.

Ook als machtige hulpmiddelen bij de werken des vredes verdienen de ontplofbare stoffen in groote mate onze aandacht. Hoeveel bezwaarlijker zou het opruimen van rotsblokken, de arbeid in de mijnen, het boren van tunnels en zooveel meer niet zijn, als het dynamiet onbekend was.

Het voorafgaande zal meer dan voldoende zijn, om bij den leek op scheikundig gebied op belangstelling te mogen rekenen bij een behandeling van den aard en de werking der ontplofbare stoffen.

Wanneer in een zeer kort tijdsverloop in een ruimte, geheel of ten deele afgesloten, in den vorm van een sterk verhit gas een groote hoeveelheid arbeidsvermogen ontstaat, kunnen de voorwaarden voor een ontploffing vervuld zijn. Bezwijken de vaste wanden, die de ruimte begrenzen, voor de spanning van het opgesloten gas, zoodat zij onder een knal weggeslingerd worden, dan vertoont zich het verschijnsel, dat ontploffing heet. Dunne lagen buskruit en dynamiet, in de open lucht aangestoken, branden eenvoudig af, terwijl zij in een besloten ruimte onder deze omstandigheden ontploffen. In sommige gevallen kan

de lucht zelve de rol van een vasten wand vervullen. Arbeidsvermogen kan in den waren zin van het woord niet ontstaan; het kan slechts van den eenen vorm in den anderen worden overgebracht. De warmte, bij de ontploffing ontwikkeld, is een andere vorm van het scheikundig arbeidsvermogen, dat de stoffen voor de uitbarsting bezaten. De omzetting is het gevolg van de scheikundige werking.

Slechts die scheikundige processen kunnen aanleiding geven tot ontploffingen, welke veel warmte en veel gasvormige producten opleveren.

Het eenvoudigste geval is dat, waarbij de stoffen, voordat de werking geschiedt, in den gastoestand verkeerden. Dit geval is door BUNSEN met groote nauwkeurigheid proefondervindelijk nagegaan en in zijn klassiek werk »*Die Gazometrischen Methoden*» beschreven.

Brengen wij bij de opening van een cilinderglas, dat met een mengsel van twee volumens waterstof en één volume zuurstof gevuld is, een vlam — of laten wij er een electrische vonk door slaan — dan vereenigen beide gassen zich onder een hevigen knal tot water. Het getal van bekende ontplofbare gasmengsels is zeer groot. Wij noemen slechts kooloxyde, moerasgas, aethyleen en etherdamp in bepaalde verhoudingen met zuurstof gemengd en een mengsel van gelijke volumina chloor en waterstof. Het scheikundig arbeidsvermogen, dat deze mengsels vertegenwoordigen, is gelegen in de groote scheikundige aantrekkingskracht, die de elementen op elkander uitoefenen. De laatste zijn op bepaalde wijzen tot moleculen vereenigd, doch daarmede is aan de sterkste affiniteiten niet voldaan. In het mengsel van moerasgas en zuurstof b. v. zijn de koolstofatomen met de waterstofatomen vereenigd, terwijl de zuurstofatomen paarsgewijze tot moleculen samenhangen. De verwantschap van koolstof tot zuurstof en van waterstof tot zuurstof is veel sterker dan die van koolstof tot waterstof en die van de zuurstofatomen onderling. Dit blijkt uit de hoeveelheden warmte, die bij de vereeniging der genoemde elementen tot water en koolstofdioxyde en tot moerasgas vrij komen en die in het algemeen als maatstaf voor de sterkte der affiniteiten kunnen gebruikt worden.<sup>1</sup> Een gram koolstof en één gram waterstof leveren bij volkomen verbranding

<sup>1</sup> In dit opstel heb ik mij nog geheel op het standpunt van de thermische affiniteitsleer van BERTHELOT geplaatst. Hoewel aan de beginselen van de kinetische theorie der affiniteit, waaraan de namen WAAGE, GULDBERG, HORSTMANN, LOTHAR MEIJER, OSTWALD en VAN 'T HOFF verbonden zijn, waarschijnlijk de toekomst behoort, is zij nog niet voldoende ontwikkeld, om nu reeds als algemeene grondslag voor scheikundige beschouwingen te kunnen dienen.

in zuurstof respectievelijk ongeveer 8 en 34,5 warmte-eenheden op; d. w. z. zooveel warmte, dat respectievelijk 8 en 34,5 KG. water er van 0° op 1° mede gebracht kunnen worden; terwijl de vereeniging van 1 gr. koolstof met waterstof tot moerasgas slechts ongeveer 1,8 warmte-eenheid doet ontstaan.

Stellen wij ons voor — om het gezegde voor een enkel geval nader toe te lichten — dat een vat van 89,4 liter inhoud met 12 gram koolstof en een mengsel van gelijke volumina waterstof en zuurstof gevuld is. Nemen wij verder aan in staat te zijn op een gegeven oogenblik de koolstof zich met de waterstof tot moerasgas te doen verbinden, terwijl de zuurstof vrij blijft. Er zou dan een ontwikkeling van ongeveer 22 warmte-eenheden plaats vinden. Konden wij in het oorspronkelijke mengsel de koolstof en de waterstof met zuurstof in verbinding brengen, zoodat waterdamp en koolstofdioxyde ontstonden, dan zouden niet minder dan 214,8 warmte-eenheden<sup>1</sup> vrij komen; derhalve  $214,8 - 22 = 192,8$  meer dan in het eerste geval. Gaat dus de eerstgenoemde toestand in den tweeden over, dan worden 192,8 warmte-eenheden beschikbaar; d. i. zooveel warmte als vereischt wordt, om 2 KG. water van ongeveer 4° aan de kook te brengen. Dit nu geschiedt inderdaad, als een mengsel van 22,34 liter moerasgas en 44,68 liter zuurstof ontploft. Die warmte wordt door de gasvormige verbrandingsproducten opgenomen, welke daardoor in de besloten ruimte een groote spankracht verkrijgen. Berekent men, met behulp van de wetten van BOYLE en GAY-LUSSAC, het bedrag der temperatuursverhooging en van de spankracht, dan vindt men in het onderhavige geval voor de eerste bijna 7200° en voor de laatste ongeveer 27 atmosferen.<sup>2</sup> Deze cijfers geven echter slechts maximaal-waarden aan, die in de werkelijkheid op verre na niet bereikt worden. Het is niet mogelijk in één oogenblik alle zuurstof met de koolstof en de waterstof van het moerasgas in verbinding te doen treden. Slechts een gedeelte gaat in koolstofdioxyde en waterdamp over; de rest wordt door de hooge temperatuur ongeschikt om zich te vereenigen. Eerst wanneer de temperatuur door uitstraling tot

<sup>1</sup> Voor de vormingswarmte van 1 molecule *waterdamp* is 59,4 genomen.

<sup>2</sup> Bij de berekening is voor de gassen en den waterdamp de soortelijke warmte bij constante drukking gebruikt. Was de soortelijke warmte bij standvastig volume in rekening gebracht ( $\frac{C}{C_1} = 1,41$  aannemend), dan zou voor de temperatuur ongeveer 10 000° en voor de spanning bijna 40 atmosferen gevonden zijn.

een bepaald bedrag is gedaald, kan op nieuw eenig moerasgas verbranden. Dit verschijnsel herhaalt zich, totdat de verbranding volkomen heeft plaats gehad. BUNSEN vond, dat bij de ontploffing van waterstofknaalgas op de maximaal-temperatuur slechts  $\frac{1}{3}$  van de waterstof verbrandt. Klaarblijkelijk zal dit verschijnsel ten gevolge hebben, dat temperatuur en spanning van het gasmengsel ver beneden de uitkomsten der berekening blijven. Slechts daar, waar de temperatuur betrekkelijk laag blijft — b. v. bij gasmengsels, die met een groote hoeveelheid onwerkzaam gas gemengd zijn — stemmen de uitkomsten van proef en berekening overeen. Temperatuur en spanning van ontplofende gassen zijn echter nog aanzienlijk genoeg, om de mechanische uitwerking der ontploffing volkomen begrijpelijk te maken. BUNSEN vond voor de maximaal-temperaturen en spanningen bij de ontploffing van zuiver waterstof- en kooloxydeknaalgas van  $0^{\circ}$  respectievelijk  $2844^{\circ}$  en  $3033^{\circ}$  en 9,5 en 10,5 atmosfeer. Worden waterstof en moerasgas met lucht vermengd, die de hoeveelheid zuurstof bevat voor de volkomen verbranding vereischt, dan zijn temperaturen en spanningen bij de ontploffing weder veel lager; de eerste wordt dan voor het mengsel van waterstof en lucht  $2024^{\circ}$ , de laatste  $7,3$  atmosfeer. De verklaring ligt voor de hand. De stikstof — in het algemeen het werkeloze gas — neemt een gedeelte der warmte op zonder zelve iets voort te brengen. Daarenboven is de voortplantingssnelheid der ontploffing in zulk een mengsel veel geringer. Wordt de betrekkelijke hoeveelheid van het werkeloze gas te groot, dan houdt het mengsel op ontplofbaar te zijn. BUNSEN heeft langs proefondervindelijken weg scherp de grens bepaald, die voor mengsels van bepaalde samenstelling de ontplofbaarheid van de onontplofbaarheid scheidt.

Een sterke warmte-ontwikkeling is de hoofdvoorwaarde voor de ontploffing, omdat in de warmte het arbeidsvermogen gegeven wordt, dat den mechanischen arbeid moet verrichten. Met het oog op de drukking op de wanden van het vat kan de ontwikkeling van een groot volume gas de warmte tot zekere hoogte vervangen. Proeven hebben geleerd, dat het — vooral daar, waar het doel is om groote massa's van een vast lichaam te doen uiteenspringen — in het algemeen voordeelig is, om een weinig warmte op te offeren voor het verkrijgen van een groot volume ontplofings-gas. Ook voor buskruit voor vuurwapenen schijnt het voordeelig te zijn om het zoo in te richten, dat in hoofdzaak kooloxyde in plaats van koolstofdioxyde als verbrandingsproduct verkregen wordt. Dit brengt een verlies van

96—30 = 66 caloriën op 12 gr. koolstof te weeg, doch verdubbelt het volume van het verbrandingsproduct der koolstof.

In genoemd opzicht vertoonen de ontplofbare stoffen groote verschillen. Zoo geven — om ons voorloopig bij gassen te bepalen — mengsels van de onderstaande gassen de volgende hoeveelheden gasvormige ontledingsproducten, op 0° en 760 mM. spanning berekend.

	Totaal.		Totaal.
1 vol. waterstof en $\frac{1}{2}$ vol. zuurst. $1\frac{1}{2}$ vol. geven	1 vol. waterdamp	.....	1 vol.
1 » moerasgas en 2 » zuurst. 3 » » 1 » koolstofdioxyde en 2 vol. waterd. 3 »			
1 » waterstof en 1 » chloor. 2 » » 2 » chloorwaterstof. ....	2 »		2 »
1 » butaan en $6\frac{1}{2}$ » zuurst. $7\frac{1}{2}$ » » 4 » koolstofdioxyde en 5 vol. waterd. 9 »			

Bij vaste stoffen is het volume der gasvormige ontledingsproducten, vergeleken met dat der stoffen zelve, buitengewoon groot.

Er is behalve de temperatuur en het volume der ontledingsproducten nog op een omstandigheid van beteekenis te letten, zal de kracht der ontploffing tot een maximum opgevoerd worden. Het scheikundig proces moet in zeer korten tijd verlopen. M. a. w. de tijd, begrepen tusschen het oogenblik, waarop de ontleding van het eerste deeltje der ontplofbare stof begint en dat waarop het laatste deeltje van de geheele massa in gas is opgelost, moet zeer kort zijn. Alleen dan toch is het warmteverlies door uitstraling en contact tot een minimum beperkt en kan een groot gedeelte van het arbeidsvermogen nuttig gebruikt worden. BUNSEN heeft, met het oog op gassen, dit punt door scherpzinnig uitgedachte proeven in het licht gesteld. Hij vond, dat, terwijl de ontploffing, van één punt uitgaande, in waterstofknaalgas zich met een snelheid van 34 meter per seconde voortplant, deze snelheid in kooloxydeknaalgas nog geen meter per seconde bedraagt. Daarom is de ontploffing van zulk een mengsel veel heviger als het op verschillende punten te gelijk wordt aangestoken, dan wanneer de vonk er slechts op één punt doorslaat. Daarin vindt het merkwaardige verschijnsel zijn verklaring, dat kooloxydeknaalgas, van boven aangestoken, rustig afbrandt, terwijl het explodeert, als te gelijk op verschillende punten electrische vonken het doorkruisen.

BERTHELOT en VIEILLE hebben de proeven van BUNSEN herhaald. Zij brachten de gassen echter onder geheel andere omstandigheden en verkregen daardoor ook andere uitkomsten. Het ontplofbare gasmengsel bevond zich bij hunne proeven in lange dunne buizen van glas, ijzer, caoutchouc of lood. Onder deze omstandigheden geschiedde de voortplanting der ontploffing op geheel andere wijze. Zij kwam dan overeen

met die, waarop zij plaats vindt in dynamiet, dat door middel van een percussie-dop met knalkwik tot ontploffing gebracht wordt. Er vormden zich zoogenaamde ontploffings-golven, waarvan wij later het karakter in het licht zullen stellen. In buizen van 1,5 mM. middellijn en 43,34 M. lengte vonden de genoemde onderzoekers voortplantings-snelheden voor de ontploffing van niet minder dan 2279 en 2403 M. per seconde. In de zitting van 16 Januari 1882 van de Académie des Sciences werd over deze proeven een uitvoerig verslag uitgebracht.

De tijd, waarin een ontplofbare stof volledig ontleed wordt, is niet alleen afhankelijk van de snelheid, waarmede de reactie van het ééne deeltje op het andere door de massa voortschrijdt. Hij hangt ook van den duur der reactie af; d. i. van den tijd, dien elk deeltje op zich zelve behoeft, om aan den toestand, waarin het vóór de werking verkeert, volkomen over te gaan in dien, waarin het zich bevindt als de werking afgelopen is. De meest bekende scheikundige reactiën hebben zoo snel plaats, dat zij geen meetbaren tijd schijnen te vereischen. Toch is dit inderdaad wel het geval. Allengs is men tot het inzicht gekomen, dat de tijd een belangrijke factor is bij scheikundige werkingen, die bij samengestelde processen een belangrijken invloed op de uitkomst kan uitoefenen. In vele gevallen bedraagt hij zelfs eenige uren. BERTHELOT heeft o. a. nauwkeurig de snelheid nagegaan, waarmede de ethervorming in een gelijkslachtig mengsel van alkohol en zuur voortschrijdt. Hij vond b. v. dat de omzetting van een mengsel van azijn-zuur en aetylalkohol bij een temperatuur van  $154^{\circ}$  eerst na 96 uren geëindigd en dat dan ruim 80 pct. van den alkohol in ether veranderd was. In het algemeen is een grootere dichtheid der stof bevorderlijk aan een snel verloop der reactie. De laatste wordt vooral door verhooging van den warmtegraad in hooge mate bespoedigd. Overigens wordt zij door den aard der scheikundige werking bepaald.

Uit het laatste volgt, dat bij de ontplofbare stoffen de snelheid der reactie en die der voortplanting op elkander invloed zullen uitoefenen. Hoe grooter de laatste is, des te minder warmte gaat er verloren, des te hooger stijgt de temperatuur, des te dichter worden de gassen en des te sneller verloopt dus de reactie in elk deeltje der massa.

Zooals gezegd is wordt een ontploffing door een vonk of door middel van een percussie-dop met knalkwik of iets soortgelijks ingeleid. Wij moeten nog op de beteekenis van die vonk en van de hulpontploffing onze aandacht vestigen. Beide zijn wat men de aanleiding der ontploffing zou kunnen noemen. Wij wezen er reeds op, dat in een ontplofbaar

mengsel atomen met sterke onverzadigde affiniteiten in elkanders nabijheid zich bevinden. Er moet echter een tegenstand overwonnen, een arbeid verricht worden, vóórdat een beweging ontstaan kan, die de atomen met de sterkste affiniteiten naar elkander voert. Deze arbeid, welke gewoonlijk daarin bestaat, dat moleculen, samengesteld uit gelijknamige of ongelijknamige bestanddeelen, in vrije atomen of atoomgroepen gesplitst worden, wordt door den schok, door de vonk, zelfs door een lichtstraal verricht. De uitwerking der ontploffing is dus geenszins aequivalent met het arbeidsvermogen, hetwelk de schok, de vonk of de lichtstraal vertegenwoordigen, maar met het scheikundig arbeidsvermogen der atomen. Het is daarmede gesteld, als met een steen, die door een stoot van den rand van een afgrond naar beneden stort. De sterkte van den schok in de diepte en de warmte, dien hij voortbrengt, staan in geen verband met den stoot, die de aanleiding was voor den val. Het uitwerksel van den val is aequivalent met het arbeidsvermogen van plaats, dat de steen vóór den val bezat.

De voorbereidende arbeid kan zeer klein zijn. Een enkele lichtstraal brengt een mengsel van chloor- en waterstof tot ontploffing. De atomen chloor worden dan in de chloor-moleculen, de atomen waterstof in de waterstof-moleculen van elkander gescheiden.

## II

Wij willen thans de ontwikkelde theorie op bijzondere gevallen toepassen.

In de steenkolenmijnen ontwijkt uit spleten der steenkool voerende lagen een gasmengsel, dat de Fransche mijnwerkers »grisou", de Duitsche »schlagendes Wetter", de Engelsche »fire-damp" noemen. Uit een wetenschappelijk oogpunt beschouwd moet het een mengsel van moerassgas of methaan en lucht heeten. Dat mengsel is in hooge mate ontplofbaar. Bij de ontploffing verbrandt de koolwaterstof tot koolstofdioxyde en water. Methaan is een der hoofdbestanddeelen van het gas, dat door het proces der veenvorming ontstaat en in de veenplassen opborrelt. De steenkolen zijn, zooals bekend is, het product van een der laatste fasen van het omzettingsproces, dat plantaardige stoffen onder afsluiting der lucht in de natuur ondergaan. Dat er methaan optreedt op de plaatsen, waar steenkool in groote hoeveelheid voorhanden is, heeft dus op zich zelf niets, dat bevreemden kan. Toch is het ontstaan van methaan in steenkolenmijnen nog geenszins voldoende opge-



helderd. Het is bekend, dat steenkool methaan in meer of minder verdichten toestand kan bevatten, opgesloten in holten van het mineraal. Zulke steenkolen veroorzaken dikwijls ontploffingen op schepen. Op sommige plaatsen in de mijnen stroomt het mijngas onder zulk een spanning uit spleten en holten, dat het daar ter plaatse voor verlichting gebruikt wordt. De drukking der lucht heeft grooten invloed op het uitstroomen van het mijngas uit de steenkolenwanden. Dat er onder verschillende omstandigheden koolwaterstoffen onder groote drukking in de vaste gesteenten der aarde aanwezig kunnen zijn, bewijzen de ontzaglijke hoeveelheden natuurlijk gas, die bij het boren in de petroleum-districten met geweldig geraas zich een weg banen naar de oppervlakte. Het is bekend welk een nuttig gebruik de nijverheid in Amerika van dat gas weet te maken.

Groot was de weldaad die HUMPHRY DAVY aan de mijnwerkers bewees door de ontdekking van de veiligheidslamp, die zijn naam draagt. Zooals wij weten berust die lamp op het groote geleidingsvermogen van metalen voor de warmte. Het metaalgaas, dat de olievlam in die lamp omgeeft, koelt het binnendringende ontploffende mijngas in die mate af, dat het mengsel buiten de lamp in den mijngang niet op de ontbrandings-temperatuur gebracht wordt en de ontploffing dus beperkt blijft tot de ruimte binnen den cilinder van metaalgaas. De mijnwerker is onderwijl gewaarschuwd.

Geen land ter wereld heeft meer belang bij een ongestoorde exploitatie van steenkolenmijnen dan Engeland. Nergens zijn dan ook op grooter schaal in onze eeuw onderzoekingen verricht, die ten doel hadden de oorzaken van ontploffingen in steenkolenmijnen te leeren kennen. Meende men aanvankelijk, dat met de Davy-lamp bij nauwlettend toezicht het gevaar voor ontploffingen geweken was, het bleek spoedig, dat men te hooge verwachtingen gekoesterd had. In de jaren 1875 tot 1884 wisselde het aantal mijnwerkers, dat jaarlijks alleen in Engeland door ontploffingen van mijngas het leven verloor, van 65 in 1884 tot 586 in 1878 af. Deze ongevallen zijn ten deele toe te schrijven aan het feit, dat de mijnwerkers gaarne met onbedekte lichten werken, om door een betere verlichting hunner omgeving aan het gevaar te ontkomen, dat vallende stukken steenkool en steen opleveren. Dat dit gevaar niet denkbeeldig is, leeren ons de statische opgaven betreffende Engelsche steenkolenmijnen. De bedoelde cijfers brengen aan het licht, dat het aantal mijnwerkers, hetwelk jaarlijks door zulke vallende steenstukken gedood wordt, veel grooter is dan dat, hetwelk om het leven

komt door ontploffing van mijngas. In geenen deele kan echter onvoorzichtigheid als de uitsluitende oorzaak van al die rampen beschouwd worden. De Davy-lamp — in den nieuwsten zoowel als in den oudsten vorm — is slechts dan als voorbehoedmiddel van beproefde waarde, als zij dienst doet in een mijngang, die mijngas bevat, hetwelk niet te sterk met steenkoolstof bezwangerd is en in rust verkeert. Aan de laatste voorwaarde is tegenwoordig zelden voldaan. Het denkbeeld, dat door een krachtige ventilatie een zuivere lucht in de mijnen verkregen zou kunnen worden, heeft in den laatsten tijd meer en meer veld gewonnen. Met kracht heeft men de handen aan het werk geslagen, zoodat thans tal van groote mijnen door middel van stoom en samengeperste lucht op uitmuntende wijze geventileerd worden. Volgens de opgaven der dagbladen worden door de mijngangen van Kerkrade per man en per uur van 104 tot 125 M<sup>3</sup>. lucht gevoerd. De nieuwe toestanden vereischen evenwel nieuwe voorzorgsmaatregelen. De Davy-lamp verschaft hoegenaamd geen veiligheid meer, waar de mijnlucht door de ventilatie een snelheid van 5 M. per seconde bezit. Volgens sommigen zou een ventilatiesnelheid van 2 M. de vlam reeds buiten het gaas trekken. Te vergeefs heeft voor eenigen tijd de Engelschman, ELLIS LEVER, een premie van 500 £ uitgelooft voor een mijnlamp, die behoorlijk licht gaf en uit het oogpunt van veiligheid aan de tegenwoordige eischen voldeed. Wel werden niet minder dan 108 lampen ingezonden — waaronder 4 electrische — doch geen enkele voldeed in alle opzichten.

Een andere omstandigheid, die de werking der Davy-lamp benadeelt, is het voorkomen van steenkoolstof in de lucht der mijnen. Reeds in 1845 hebben FARADAY en LYELL de aandacht gevestigd op den invloed van steenkoolstof op de hevigheid der ontploffingen. In 1867 en later in 1875 toonden VERPILLEUX en VITAL in Frankrijk aan, dat lucht, met steenkoolstof bezwangerd, reeds ontploft, als de hoeveelheid moerasgas slechts een klein gedeelte bedraagt van die, welke voor een explosief mengsel noodig is. In Engeland hebben later prof. WOOD, MARRECCO, MEL en een commissie van ingenieurs de proeven herhaald en uitgebreid. Zij hadden voor dat doel eene kunstmatige mijn laten graven en voerden er met een blaastoestel steenkoolstof in, na er achtereenvolgens verschillende hoeveelheden moerasgas in gebracht te hebben. Door middel van een kanonnetje werd het mengsel aangestoken. Zij kwamen tot de uitkomst, dat lucht, die 4 à 4,5 pct. moerasgas bevat, ontplofbaar is, als er poeder van steenkool, magnesia, krijt. lei of een andere

fijne stof ingeblazen is. Een ongedekte Davy-lamp bracht onder zulke omstandigheden onmiddellijk ontploffing te weeg. Volgens anderen geschiedt dat reeds met 1 pct. moerasgas en steenkoolstof. De deeltjes der vaste stof, zoo verklaarden zij het verschijnsel, streken door de vlam en kwamen in gloeienden toestand met het ontplofbare mengsel in aanraking. Voor zulke ontploffingen beveiligt de Davy-lamp niet. Ook bleek het, dat door zulk fijn verdeeld gloeiend stof de ontploffing voortgeplant wordt naar mijngangen, die anders niet ontploft zouden zijn. De vraag, of de aanwezigheid van zulk stof zelfs bij het ontbreken van moerasgas in staat kan zijn, om lucht ontplofbaar te maken, beantwoordden zij ontkennend. Toch is ook dit gedeelte van het vraagstuk verre van opgelost. Er zijn voorbeelden van meel- en suikerfabrieken, waarin alleen ten gevolge van in de lucht hangende deeltjes suiker en meel ontploffing plaats vond. De vraag, hoever de invloed van steenkoolstof met het oog op ontploffingen zich uitstrekt, is in de laatste jaren in Engeland voortdurend aan de orde. Scheikundigen, opzichters en ingenieurs van mijnen nemen deel aan het onderzoek. De gevoelens loopen nog in groote mate uit een. Te dezen opzichte zijn allen het eens, dat steenkoolstof als een uiterst gevaarlijk element in de mijnen moet beschouwd worden. De toekomst moet leeren of de Davy-lamp een vorm zal aannemen, die alle gevaren, boven genoemd, doet verdwijnen; of dat de elektrische verlichting der mijnen de gewenschte oplossing zal geven. Ook met de laatste worden door groote maatschappijen reeds sedert geruimen tijd proeven genomen.

De mijnen van Meurchin (Pas de Calais) en Blanzey (Saone et Loire) worden reeds electrisch verlicht; de wijde buitengangen met booglicht, het nauwe binnenste gedeelte der werken met gloeilampen. De »Compagnie des Chemins de fer et du charbon» van Low Moors in Yorkshire is in denzelfden geest werkzaam.

Niet slechts moerasgas of methaan, ook de andere gas- en dampvormige koolwaterstoffen kunnen ontplofbare mengsels vormen. Daar die koolwaterstoffen overal, waar de electriciteit geen rol speelt, ons van kunstlicht voorzien, is onze dagelijksche omgeving niet geheel vrij van de gevaren der steenkolenmijnen. Het gewone steenkoolgas komt hier in de eerste plaats in aanmerking. Het bevat van 30 tot 50 pct. waterstof, van 33 tot 50 pct. moerasgas, van 4 tot 13 pct. aethyleen en zware koolwaterstoffen en van 4 tot 7 pct. kooloxydegas.

Het aethyleen, waarvan de waarde van het lichtgas voor een goed deel afhankelijk is, levert bij volkomen verbranding een grooter volume

aan verbrandingsproducten en meer warmte dan het moerasgas. Het ontploft dan ook met lucht veel heviger dan laatstgenoemd gas. Dat een mengsel van lichtgas en lucht uitermate gevaarlijk is, heeft de ervaring meermalen geleerd. In de geschiedenis van de gasverlichting staat menige ontploffing opgeteekend. Een lek in een gasbuis, in een afgesloten luchthoudende ruimte, is voldoende, om alles voor een ontploffing voor te bereiden. Het zoeken van lekken in gasbuizen met naakte vlammen maakt groote voorzichtigheid tot plicht. Het ongeval te Helmond, waar de ontploffing van een mengsel van gas en lucht in den fabrieksmeter den directeur der gasfabriek het leven kostte, ligt nog versch in ons geheugen.

Veel gevaarlijker dan lichtgas is petroleum. Deze vloeistof is een mengsel van koolwaterstoffen van dezelfde reeks, waartoe het moerasgas behoort. Die, welker samenstelling door de scheikundige formules  $C_5H_{10}$  en  $C_6H_{14}$ , wordt uitgedrukt, hebben een kookpunt, dat onder  $100^\circ$  gelegen is. Zij zijn slechts in de ruwe petroleum te vinden, die nog niet aan destillatie onderworpen is. Zulke petroleum ontwikkelt reeds bij de gewone temperatuur dampen van koolwaterstoffen. Aanvankelijk werd zij in houten vaten per scheepsgelegenheid uit Amerika naar Europa vervoerd. Menig schip, aldus bevracht, ging met man en muis verloren. Uit de genoemde dampen, die door de houten wanden der vaten drongen en zich met de lucht in het scheepsruim vermengden, werden de gevaarlijke gasmengsels gevormd, die slechts op een aanleiding wachten, om geweldig te ontploffen. Wetten hebben paal en perk gesteld aan dien roekeloozen handel. Elke lading petroleum, die Amerika verlaat, moet thans onderzocht worden. Ontwikkelt de olie onder  $38^\circ$  brandbare dampen, dan mag zij niet in den handel gebracht worden. Het kookpunt der petroleum moet tusschen  $120^\circ$  en  $150^\circ$  gelegen zijn. De laatste zinsneden bevatten bepalingen, die in de Engelsche Petroil-Bill te vinden zijn. Om petroleum aan die voorwaarden te laten voldoen wordt het ruw product vóór het vervoer aan een destillatie onderworpen, waardoor de vluchtigste bestanddeelen verwijderd worden. De laatsten worden onder den naam van petroleum-ether en petroleum-naphta afzonderlijk in den handel gebracht. Wat tusschen  $150^\circ$  en  $280^\circ$  overgaat heet, na zuivering, geraffineerde petroleum en deze alleen wordt tegenwoordig van de Nieuwe Wereld naar Europa vervoerd en als lichtstof gebruikt.

Hebben maatregelen en wetten van dien aard de gevaren, aan het branden van petroleum verbonden, in groote mate verminderd, ge-

heel weggenomen zijn zij niet. De peer van een petroleumlamp is dicht onder den brander gelegen. Als de brandende lamp weinig petroleum bevat kan zich in de ledige ruimte van den peer damp verzamelen, die door de warmte uit de petroleum gevormd is. Komt er nu door toevallige omstandigheden tevens lucht in die ruimte, dan is het ontplofbare mengsel voorhanden.

Eigen ervaring heeft mij geleerd, dat zulk een geval kan voorkomen en dat de vlam bij het neerdraaien der kous naar binnen kan slaan. Bij de petroleumlampen van de nieuwste constructie is de mogelijkheid voor zulk een samenloop van omstandigheden evenwel nagenoeg uitgesloten.

### III

Slechts vloeibare en vaste ontplofbare stoffen vinden in de praktijk toepassing. De reden hiervan is niet ver te zoeken. De dichtheid van gassen is in vergelijking met die van vloeibare en vaste stoffen zeer gering. Uit den aard der zaak is de uitwerking het grootst, als de stof de ruimte, waarin zij opgesloten is, geheel opvult. Het gewicht van de stof, in zulk een ruimte aanwezig, blijft altijd zeer klein, als het een gas is. Een spankracht van 10 atmosferen, door een ontploffend gasmengsel ontwikkeld, is reeds aanzienlijk te noemen, terwijl knalkwik, waarvan de dichtheid vijfmaal grooter is dan die van buskruit, bij de ontploffing een spanning geeft, die op 27000 atmosferen geschat wordt. Buskruit kan niet meer dan  $\frac{1}{3}$  van die spanning doen ontstaan. Dat is een der redenen, waarom schietkatoen eerst beteekenis verkreeg voor de praktijk, toen ABEL geleerd had, het in samengepersten vorm te gebruiken. Per kilogram berekend geven gassen als waterstof en methaan bij de verbranding veel meer warmte dan vaste stoffen. Op gelijke volumina uitgedrukt overtreft de verbrandingswarmte der laatste die der eerste echter ver.

Onder de vaste ontplofbare stoffen verdient het zwarte buskruit in de eerste plaats genoemd te worden. Het is, zooals bekend is, een innig mengsel van houtskool, zwavel en kalisalpeter en vertoont zich in den vorm van ronde of hoekige korrels. De overlevering schrijft de ontdekking toe aan den Benedictijner monnik SCHWARZ, die haar omstreeks het jaar 1330 zou bekend gemaakt hebben. Waarschijnlijk verstonden echter de Arabieren reeds lang vóór dien tijd de kunst, om soortgelijke ontplofbare mengsels te maken en te gebruiken. Het Grieksche

vuur en de brandbare stoffen aan de vuurpijlen der Sarracenen ten tijde der kruistochten waren waarschijnlijk mengsels van dien aard. Wij weten, dat de Arabische volkstammen de dragers der beschaving waren in de middel-eeuwen, toen in West-Europa wetenschap en kunst buiten de kloosters geen plaats hadden, om het hoofd neer te leggen. Het is ook bekend, dat juist alchimie en medische wetenschappen onder de Arabieren ijverige beoefenaars vonden. Geen wonder, dat een ontplofbare stof als het buskruit hun niet ten eenenmale onbekend was. De West-europeesche volken hebben de kunst wellicht van de Arabieren geleerd. Oude bescheiden maken het zeer waarschijnlijk, dat in Frankrijk en Italië reeds in de eerste helft der 14<sup>de</sup> eeuw buskruit gemaakt en kanonnen gegoten werden. Er zijn gronden om aan te nemen, dat de Arabieren in de kennis van het vervaardigen en gebruiken van buskruit in de Chineezzen nog voorgangers en leermeesters gevonden hebben.

Het bereiden van buskruit is een omslachtige en tijdroovende werkzaamheid, die groote zorgvuldigheid vereischt. Elk der bestanddeelen moet op zich zelve in zeer zuiveren staat worden gebracht. De zwavel, voor dit doel bestemd, moet geraffineerde Siciliaansche pijpzwavel zijn, die vrij is van arsenium en selenium. Bij het verbranden mag zij geen vaste rest achterlaten. Het salpeter moet door omkristallizeeren in die mate gezuiverd zijn, dat het nog slechts een zwakke reactie op chloor vertoont. In Frankrijk wordt hoogstens  $\frac{1}{3000}$  keukenzout in het salpeter toegelaten. Van de kool is de hoedanigheid van het kruit in hooge mate afhankelijk. Zij mag niet water-aantrekkend zijn (geen kaliumcarbonaat bevatten) en behoort een groote dichtheid te bezitten. Alleen weeke houtsoorten, vooral hout met veel bastvezels — zooals dat van'els, wilg en hazelaar — geven door verkoling bij hooge temperatuur een kool van de gewenschte hoedanigheid. Zij moeten geheel vrij zijn van droge-destillatie-producten. De verkoling heeft gewoonlijk door middel van oververhitten stoom in ijzeren cilinders plaats. De aard der kool is van grooten invloed op de temperatuur en het volume der verbrandingsproducten. BERTHELOT heeft door calorimetrische bepalingen aangetoond, dat koolsoorten, van verschillend hout en onder verschillende omstandigheden verkregen, belangrijk uiteenloopen in de hoeveelheid warmte, die zij bij verbranding ontwikkelen.

Het zou ons te ver van het doel van dit opstel verwijderen, als wij de bereiding van buskruit in bijzonderheden wilden beschrijven. Den belangstellenden lezer verwijzen wij te dezen opzichte naar werken

over chemische technologie. Het zij voldoende op te merken, dat de bestanddeelen in drogen toestand, tot een uiterst fijn poeder gewreven, zoo innig mogelijk vermengd en vervolgens, na bevochtigd te zijn, tusschen walsen aan groote drukking blootgesteld worden. Dientengevolge ontstaat de zoogenaamde kruitkoek, die zoo hard is als lei. De groote dichtheid der massa, voor een krachtige werking noodzakelijk, wordt op die wijze verkregen. Deze koek wordt vervolgens in korrelwerktuigen in kleine stukken gebroken, die door zeven gesorteerd worden. De korrels worden ten slotte gepolijst en gedroogd. Zij hebben een hoekige gedaante. Volgens de methode, in de vorige eeuw door CHAMPY uitgedacht, geschiedt het korrelen op geheel andere wijze. In een houten trommel, die om een holle as kan gewenteld worden, wordt het poedervormige mengsel gebracht. De holle as bevat tal van gaatjes, waaruit bij het rondwentelen van den trommel fijne waterstralen spuiten. Elk waterdruppeltje wordt een kern, waarom zich een kruitkorreltje vormt. De trommel wordt in rust gezet, zoodra de korrels de vereischte grootte bereikt hebben. Deze korrels zijn bolvormig van gedaante. Kruit met ronde korrels kan men in de geweerwinkels onder den naam van Zwitsersch kruit verkrijgen.

De beteekenis van elk der bestanddeelen van het buskruit valt in het oog. Het salpeter moet de zuurstof leveren voor de verbranding der kool en de zwavel maakt door haar verwantschap tot metalen de ontleding van het salpeter gemakkelijk. Het scheikundig proces, dat plaats grijpt bij de ontploffing van het kruit, is in hoofdzaken, doch niet in bijzonderheden bekend. Het verandert trouwens met de omstandigheden. Hetzelfde kruit geeft niet dezelfde verbrandingsproducten, als het in een afgesloten ruimte ontploft en in de open lucht afbrandt.

Dat ook de samenstelling te dezen opzichte invloed uitoefent, spreekt wel van zelf. Kruitsoorten, voor hetzelfde doel bestemd, wisselen in samenstelling niet veel af. De gewone gewichtsverhoudingen der bestanddeelen zijn 74—78 pct. salpeter, 10—13 pct. zwavel, en 12—16 pct. koolstof. Door vermeerdering der koolstof wordt de uitwerking versterkt, doch de gevoeligheid voor vochtigheid grooter. Kruit, bestemd om rotsen te laten springen, geeft men dikwijls een groot koolgehalte; men laat soms de zwavel daarin geheel achterwege. In kruit voor negervolken vermindert men het salpeter in niet geringe mate. Kruit, dat goed gedroogd is, bevat nog twee procent water. In vochtige lucht kan buskruit 14 pct. water opnemen.

Het scheikundig proces, dat bij de ontploffing van buskruit plaats

grijpt, bestaat uit oxydeerende en reduceerende werkingen. De kool en een gedeelte van de zwavel verbranden ten koste van de zuurstof van de salpeter, waarbij de stikstof van de laatste vrij komt en het alkali overblijft. Het laatste vormt met het verbrandingsproduct van de zwavel kaliumsulfaat, dat door een rest van de kool tot kaliumhyposulphiet en kaliumcarbonaat gereduceerd wordt. Bij de ontploffing in een besloten ruimte gaat de reductie nog verder. Er ontstaat dan ook zwavelkalium. De gassen, door de ontploffing gevormd, zijn dus hoofdzakelijk uit koolstofdioxyde en stikstof samengesteld, terwijl van de vaste rest, die terugblijft, kaliumsulphaat, kaliumsulphide en kaliumcarbonaat de hoofdbestanddeelen uitmaken. Dat er nog brandbare gassen en dampen ontwijken, bewijst de vlam, die onmiddellijk na het schot zich bij den mond van den loop van het vuurwapen pleegt te ver- toonen.

De ontbranding van buskruit brengt veel warmte voort. Een kilogram Fransch buskruit, voor den oorlog bestemd, ontwikkelt bij de verbranding volgens BERTHELOT niet minder dan 608 warmte-eenheden, waardoor de verbrandingsproducten op een temperatuur van ongeveer 2200° gebracht worden. Het volume der verbrandingsproducten, bij 0° en 760 m.M. spanning berekend, bedraagt per kilogram 225 liters. De voortplantingssnelheid der verbranding, die in de open lucht in groote prisma's van buskruit slechts 10 tot 13 m.M. per seconde bedraagt, klimt wegens den hoogen warmtegraad en de groote spanning der gassen in den loop van een kanon tot 230 m.M. Met het oog op dit alles begrijpt men de geweldige spanning en het groote arbeidsvermogen, die ontstaan, als buskruit ontploft in een ruimte, die het geheel opvult. Geen wonder, dat in een vuurwapen de beweegbare wand — de kogel — met zeer groote snelheid uit den loop wordt gestooten. Proeven hebben geleerd, dat een kanonskogel van 140 K.G. met een beginsnelheid van 490 meter uit het kanon wordt geschoten, als de lading uit 39 K.G. prismatisch buskruit bestaat en dat daarbij een drukking van ruim 2600 atmosferen op den kogel wordt uitgeoefend. Mijnskruit levert per kilogram ongeveer 510 warmte-eenheden en 173 liters gas van 0° en 760 m.M. spanning op.

Bij buskruit voor vuurwapenen is het echter geenszins het streven, om in de kleinste mogelijke tijdruimte de grootst mogelijke hoeveelheid levende kracht te voorschijn te roepen. Bij een al te snelle en heftige ontploffing van het kruit zou het vuurwapen springen. Het verloop van het proces behoort zoodanig te zijn, dat al het kruit niet oogen-



blikkelijk, doch wel zeer snel ontploft, dat de spanning geleidelijk, doch zeer snel klimt en de lading juist dan geheel verbrand is, als de kogel den loop verlaat. Dit is een ideale toestand, die men in de werkelijkheid slechts kan benaderen. Een belangrijk gedeelte van de lading heeft geen nuttig effect. Het is hoofdzakelijk in de grootte en den vorm van de korrels, dat men het in zijn macht heeft, om tot zekere hoogte het gewenschte verloop te verkrijgen. En juist in dit opzicht is het buskruit, dat in samenstelling nog dat is, wat het vóór eeuwen was, in de laatste tijden aanmerkelijk verbeterd. Vroeger slechts grof stuk gestooten en slecht gemengd wordt thans de grootste zorg aan het mengen en korrelen besteed. De snelheid, waarmede buskruit afbrandt, hangt onder overigens gelijke omstandigheden van de verhouding van den inhoud tot de oppervlakte der korrels af. Hoe grooter de laatste is in betrekking tot de eerste des te grooter is het oppervlak, dat op hetzelfde oogenblik ontbranden kan, des te sneller verloopt het proces. Een stuk geperste kruitkoek brandt slechts langzaam af. Snel is de werking afgeloopen, als men hem in korrels verdeelt. Elk wapen vereischt kruit van bepaalde korrelgrootte. Het jachtkruit is uitermate fijn. De artillerie gebruikt schier in alle landen het zoogenaamde prismatische kruit, waarvan de korrels den vorm van zeszijdige prisma's hebben, die gewoonlijk 40 mM. middellijn en 25 mM. lengte bezitten en die 40 gram wegen. Elke korrel is met zeven openingen doorboord, waardoor het oppervlak zooveel vergroot wordt, dat de ontbranding met de juiste snelheid geschiedt. Van een fijn stooten der kruitkoek langs werktuigelijken weg is hier geen sprake. Elke korrel wordt afzonderlijk gevormd. Kruit van aanmerkelijk fijner korrel zou afgebrand zijn, voordat de kogel het stuk had verlaten en een te groote drukking op een oogenblik te weeg brengen. Het chocoladebuskruit, dat tegenwoordig in Duitschland voor de artillerie in groote hoeveelheden gemaakt wordt, komt wat betreft den korrelvorm en de dichtheid der massa (die minstens 1,8 moet bedragen) met bovengenoemd prismatisch kruit overeen. Kruit met kleinere hoekige korrels wordt bij de Nederlandsche landmacht in twee soorten gebruikt.

Het vooraangaande heeft uitsluitend betrekking op den physischen toestand van het buskruit. De scheikundige samenstelling — het werd reeds opgemerkt — onderging weinig veranderingen in den loop der tijden. In onze dagen wordt echter de vraag gesteld, of ook in deze richting niet wat gedaan zou kunnen worden, om de uitwerking van het buskruit te vergrooten. Op kaliumchloraat viel het oog, ter ver-

vanging van kalisalpeter. Reeds BERTHOLLET had er aan gedacht. De ontploffing van kruit met kaliumchloraat bleek echter zoo snel en heftig plaats te grijpen, dat de vuurwapenen sprongen. In October 1870 verloren door een ontploffing van dit kruit dertien menschen het leven. Natrium-, lithium- en magnesiumnitraat zijn hygroskopisch en daardoor uitgesloten. Ammoniumnitraat is evenzeer hygroskopisch, doch zou overigens zeer geschikt voor het doel zijn. SPRENGEL heeft aangetoond, dat kruit, met dit zout in plaats van met het gewone salpeter bereid, onder gelijke omstandigheden een veel grooter beginsnelheid aan de projectielen mededeelt. De »Rheinische Pulver Fabrik» houdt zich bezig met proeven om uit te maken of het voordeelig is in chocolade-buskruit de kalisalpeter ten deele door ammoniumnitraat te vervangen.

Ook zouten van het pikrinzuur — de uiterst hevig ontploffende picraten — zijn aanbevolen als nieuwe bestanddeelen van buskruit voor vuurwapenen. Het schijnt evenwel, dat de ervaring reeds geleerd heeft, dat kruit met picraten, althans voor de artillerie, als geen belangrijke verbetering moet beschouwd worden, hoewel de kracht der ontploffing zeer groot is; voor het vullen van bommen en torpedo's schijnt het evenwel een toekomst te hebben.

Als stof, onder wier invloed het buskruit in de vuurwapenen ontploffen moet, wordt schier overal knalkwik gebruikt, dat zich in de bekende slaghoedjes bevindt. In de percussie-doppen, bij het Oostenrijksche leger in gebruik, is het een mengsel van geperst schietkatoen en nitroglycerine, dat de hulpontploffing moet te weeg brengen.

*(Wordt vervolgd.)*