

HET GEBRUIK VAN HET ARBEIDSVERMOGEN DER STEENKOOI

VOOR VERLICHTING, VERWARMING EN HET VERRICHTEN VAN ARBEID,

DOOR

Dr. J. E. ENKLAAR.

In de steenkool, het zwarte goud, bezit de menschheid een schat, die haar wel niet in den schoot geworpen wordt, doch bijna overal onder haar bereik is. Ten koste van wat inspanning en arbeid is zij uit de diepte naar de oppervlakte te brengen. Met die steenkool ontvangt men, in den vorm van scheikundig arbeidsvermogen, een gedeelte van de warmte en van het licht, die de zon naar de aarde uitstraalde in de lang vervlogen eeuwen, toen geen mensch, zelfs geen zoogdier nog op onze planeet was verschenen, toen groote wouden van varens, wolfsklauwen, paardestaarten en andere bedekt bloeiende gewassen er welig tierden. Het is bekend, dat de steenkool uit hout, takken en bladeren in die moerassige wouden gevormd is door een proces, dat in zijn eerste tijdperk veel overeenkomst vertoonde met het ontstaan van hoogveen in de bosschen gedurende de jongste periode van de geschiedenis der aarde. Als wij de steenkool verbranden, hebben wij de voorwereldlijke zonnearmte in den oorspronkelijken vorm terug.

Zoo heeft de natuur een kapitaal van arbeidsvermogen opgelegd en eeuwen lang diep onder de oppervlakte der aarde bewaard. Het duurde lang, voordat de mensch dien schat ontdekte en nog langer, voordat hij in voldoende mate ontwikkeling en kennis verkregen had,

om er op de rechte wijze gebruik van te maken. Eenmaal evenwel op dit hooge standpunt gekomen, delft en wroet hij naar het zwarte goud met alle kracht die in hem is, en verbruikt hij het zonder er zich om te bekommeren dat nog vele geslachten na hem komen, wier aanspraken niet minder zullen wezen dan de zijne. In 1882 werden, om slechts twee voornamen landen in ons werelddeel te noemen en van de bruinkool niet te spreken, in Duitschland ruim 50.000 millioen en in Engeland bijna 160.000 millioen tonnen (een ton = 1000 K.G.) steenkool uit de mijnen naar boven gebracht. Zulke cijfers stellen en de grootte van het opgelegde kapitaal en de snelheid, waarmede het verbruikt wordt, in het helderste licht.

Voor drieërlei doeleinden maken wij ons de energie der steenkool ten nutte. Zij dient voor verlichting, verwarming en voor het verrichten van arbeid. Op velerlei wijzen tracht men dit doel te bereiken. Wordt daarbij het arbeidsvermogen zoo oeconomisch en voordeelig gebruikt, dat het nageslacht ons niet van verkwisting zal kunnen beschuldigen? Welke methode moet uit dit oogpunt als de beste beschouwd worden? Dit zijn belangrijke vragen, waarop wij zoo goed mogelijk een antwoord zullen trachten te geven.

In de eerste plaats komen dan die methoden in aanmerking, waarbij de energie van de steenkool zoodanig vervormd wordt, dat vervoer er van uit een centraal punt gemakkelijk kan geschieden. Zulk een exploitatie past uitnemend in het kader van onzen tijd met zijn streven, om de productie en de verdeling van het voortgebrachte door de gemeenschap of door een maatschappij te doen geschieden.

De eenige weg, waarlangs men een verspreiding van de energie der steenkool voor de drie genoemde doeleinden reeds sedert het begin onzer eeuw tot stand bracht, bestond in het transformeeren der steenkool in gas en het vervoer van het laatste door een stelsel van onderaardsche buizen. De oudste en nog verreweg de meest gebruikelijke is die, waarbij het gas door droge distillatie verkregen wordt. Meer en meer komt echter het zoogenaamde generator- en het watergas in gebruik.

Voordat wij echter de verschillende methoden der transformatie in gas vergelijkend beschouwen, moeten wij de meer algemeene vraag trachten te beantwoorden, of het systeem zelf — het veranderen van steenkool in gas en het vervoer van het laatste naar de plaatsen van verbruik — doelmatig kan genoemd worden.

I

De zwakste zijde van het stelsel is zeker die, welke het meest op den voorgrond is gekomen, het voortbrengen van licht uit gas. Een kilogram goede gaskool levert bij droge distillatie hoogstens 0.32 M³ gas. De distillatie vereischt 750 calorïën, als men de verbrandingswarmte van 1 K.G. steenkool op 7500 cal. stelt. Neemt men voor de verbrandingswarmte van 1 M³ steenkoolgas 5380 cal. aan, dan leert een eenvoudige berekening, dat van de 8250 cal. er slechts 1722 d. i. omstreeks 20 proc. in het gas aanwezig zijn. Wordt het gas nu in een goeden Argandbrander tot verlichting gebruikt, dan worden niet meer dan $\frac{1}{2}$ proc. van de voortgebrachte calorïën als licht uitgestraald. Al bedenken wij nu ook, met het oog op de gloeilamp van AUER, dat de beste nieuwe branders dit bedrag vervijfvoudigen, dan blijft de uitkomst toch nog uitermate onbevredigend; te meer daar het niet waarschijnlijk is, dat het percentage der energie van het gas, hetwelk in licht wordt omgezet, nog belangrijk zal toenemen. Grooter is de kans, dat de gelijktijdig voortgebrachte, tot nu toe nuttelooze, warmte een doelmatig gebruik zal vinden, hoewel het nog ten eenenmale aan praktische inrichtingen voor zulk een doel ontbreekt. Nu moge men opmerken, dat men in het winterseizoen te dezen opzichte niet van verlies mag spreken, daar de gasvlammen dan met de kachel samenwerken tot verwarming van het vertrek, voor den zomer geldt dit argument zeker niet; de warmte der vlam is dan niet alleen verloren maar ook lastig.

Het aankleeden van een lichtende vlam met een metalen mantel, gelijk men met die van de petroleum doet, om ze dan onder den naam van kachel in de kamer te plaatsen, is geen oplossing van het vraagstuk. Uit een hygiënisch oogpunt wordt het meer dan tijd de verbrandingsproducten uit onze woonkamers te weren. Wellicht kan men den stroom dier producten op hun weg naar buiten zoo leiden, dat een gedeelte der warmte aan water of aan een andere stof afgestaan en zoo nuttig gemaakt wordt. Een gedeelte dier warmte zal echter noodig blijven voor het verkrijgen van trekking.

Het gas heeft als verlichter onaangenaamheden en nadeelen, die het electrisch licht ten eenenmale mist. Men heeft er wel wat voor over, om daarvan bevrijd te worden.

Prof. LEWES heeft in 1891, bij gelegenheid der Cantor Lectures

nog eens de aandacht op dit punt gevestigd en nieuwe feiten in het licht gesteld. De verontreiniging der lucht — het voornaamste — is het eenige, waaromtrent wij in enkele nadere bijzonderheden zullen treden. Prof. LEWES gaf o. a, de volgende cijfers:

Lichtbronnen :	Gasverbruik in Liters:	Zuurstof, verbruikt in Liters:	Water- damp voort- gebracht in Liters:	Koolzuur voort- gebracht in Liters:	Aantal volwassen per- sonen, die door de ademhaling dezelfde hoeveelheden koolzuur en waterdamp zouden voortbrengen :
Argand-branders..	272,5	323,7	359,7	143,9	8,5
Regenerator-br. . .	89,9	103,4	116,9	44,9	2,6

Hij gaat daarbij van de onderstelling uit, dat een gewone kamer (4.8 M. lang en even breed en hoog) alleen goed verlicht is, als het licht er 32 kaarsen sterkte heeft en dat dit in het bovenstaande geval zoo is.

Gasvlammen bedeele de lucht dus met aanmerkelijke hoeveelheden koolstofdioxyde en waterdamp. Zulke stoffen zouden voor het levende lichaam volkomen onschadelijk zijn, als zij niet juist de gasvormige eindproducten der stofwisseling waren en als zoodanig voortdurend uit het lichaam in de atmosfeer moeten overgaan; en deze overgang wordt belemmerd, zoodra de dampen in de lucht een bepaalde spanning verkrijgen. In een vochtige lucht gevoelen wij ons onaangenaam, vaak onwel, omdat de verdamping van het water door de huid gedeeltelijk gestoord is. Bevat de atmosfeer te veel koolstofdioxyde, dan kan het bloed in de longen deze stof niet gemakkelijk genoeg kwijt raken. Bij een gehalte van 100 vol. koolstofdioxyde op 10 duizend vol. lucht, wat in de Alpenstallen wel voorkomt, blijft het koolstofdioxyde aan de bloedlichaampjes gehecht en werkt de atmosfeer dus als een ademhalingsgift. Het is nuttig zulke feiten nog eens in de herinnering te brengen; daar men in het dagelijksch leven de verontreiniging der lucht niet veel telt, omdat het zelden tot het genoemde uiterste komt.

Gasvlammen zijn echter ook dan, als men de producten der volkomen verbranding buiten rekening laat, verre van onschuldig. De nieuwste uitkomsten der wetenschap hebben dit in het licht gesteld en het is de verdienste van prof. LEWES in de boven genoemde Cantor Lectures er met klem op gewezen te hebben.

Tot voor weinige jaren was men van meening, dat zuiver steenkoolengas, in een goeden brander ontstoken, volkomen verbrandde en

slechts waterdamp en koolstofdioxyde in de atmosfeer bracht. Thans weet men beter. Uit een lichtende gasvlam ontsnapt voortdurend het giftige kooloxyde en acetyleen, als half en in het geheel niet verbrande bestanddeelen van het gas. Dit is een verontreiniging der lucht van veel ernstiger aard. Prof. LEWES heeft deze feiten aan het licht gebracht en proefondervindelijk gestaafd. De buitenste zoom van een lichtende vlam is niet, zooals algemeen geleerd wordt, het tooneel van volkomen verbranding. Het lichtgevend vermogen verdwijnt daar op dezelfde wijze als in een Bunsenvlam door vermenging met lucht, die verdunnend en afkoelend werkt. De temperatuur daalt daar zoover, dat sommige stoffen, o. a. kooloxyde en acetyleen, niet meer kunnen verbranden en als zoodanig zich in de omgevende lucht verspreiden. Prof. LEWES verkreeg bij een zijner onderzoekingen de volgende uitkomsten, die in procenten uitgedrukt zijn.

Gassen, die uit den buitensten zoom der vlam ontsnappen.

	Lichtende vlam:	Bunsen vlam:
stikstof.....	76,612	80,242
waterdamp.....	14,702	13,345
koolstofdioxyde.....	2,201	4,966
kooloxyde.....	1,189	0,006
zuurstof.....	2,300	1,430
moerasgas.....	0,072	0,003
waterstof.....	2,388	0,008
acetyleen.....	0,036	niets

De cijfers spreken voor zich zelveu. Merkwaardig is het, dat zelfs een aanmerkelijke hoeveelheid van de zoo gemakkelijk ontvlambare waterstof aan de verbranding kan ontkomen, gelijk in de lichtende vlam geschiedt. In de Bunsenvlam is de verbranding nagenoeg volkomen, mits er geen afkoeling plaats vindt. Zoodra de vlam in onmiddellijke aanraking komt met een vaste stof, bijv. met asbest of ijzer in de open gaskachels, kan het laatste plaats vinden. Wij weten hoe dikwijls zulke gaskachels onaangenaam riekende stoffen verspreiden. Zulk een verschijnsel vertoont zich ook dikwijls bij Wenhamlampen onmiddellijk na het aansteken, als alle deelen der lamp nog koud zijn. De oorzaak ligt na het gezegde voor de hand. Het is de afkoeling, die producten van onvolkomen verbranding doet ontstaan, waaronder het acetyleen met zijn eigenaardigen en doordringenden reuk.

De praktijk behoort rekening te houden met de genoemde uitkomsten. In woonvertrekken en zalen mogen geen gasvlammen branden, die de verbrandingsproducten onbelemmerd in de atmosfeer

brengen. Er moeten ventilatie-inrichtingen aangebracht worden, welke dit voorkomen. Branders moeten uit slechte geleiders vervaardigd worden, die weinig warmte aan de grondvlakte der vlam onttrekken. Dit is met de Argand-branders van speksteen en porcelein goed in het oog gehouden.

II

Het gas wordt niet slechts voor verlichting maar ook voor verwarming en in het bijzonder voor koken gebruikt; voor laatstgenoemd doel is het in vrij wat voordeelijker conditie dan voor het eerste, daar de omzetting van het arbeidsvermogen van het gas in warmte gemakkelijk en volledig kan geschieden. Hier vindt het de vaste brandstoffen als concurrenten op zijn weg. Daar het steenkoolgas slechts 20 proc. der calorische waarde van de steenkool bezit, schijnt de concurrentie ook hier voor het eerste een hopelooze zaak. Stelt men met SCHILLING de verbrandingswarmte van 1 K.G. gewone steenkool (zoogenaamde Heizkohle) op 5000 cal. en die van 1 M³ steenkoolgas voor verwarming op 5000 cal., de prijs van het eerste op 1,2 tot 1,7 cts. en die van het laatste op 7,2 tot 10,8 cts., dan blijkt het, dat men voor een bepaald aantal calorïen, uit gas ontwikkeld, in Duitschland zesmaal zooveel betaalt als voor hetzelfde bedrag, door verbranding van steenkool voortgebracht. Voor cokes wordt dit bedrag 8 à 9 maal.

Voegen zich, waar het verlichting geldt, nog buitengewone na-deelen bij de geringe productie van het gevraagde, hier is het omgekeerde het geval. De voordeelen van een gasvormige brandstof boven een vaste zijn uit een praktisch oogpunt niet gering te schatten. De bovengenoemde beschikbare calorïen onderstellen een volkomen verbranding, die bij gas ten naastenbij, bij een vaste brandstof op verre na niet bereikt kan worden. De laatste is zelfs, getuige het roet in onze schoorsteenen, niet zonder rook te verbranden.

De warmte-ontwikkeling der vaste brandstof is dus feitelijk veel geringer dan de opgegeven waarden. Doch er is meer. Voor de verbranding eener vaste brandstof wordt veel zuurstof vereischt. 1 K.G. koolstof en 1 K.G. waterstof hebben daarvoor respectievelijk 1,97 en 5,90 M³ zuurstof van 15°, d. i. 9,40 en 28,15 M³ lucht van 15° noodig. (Hier en in het vervolg wordt het gas geacht een drukking van 760 mM. uit te oefenen.) Nemen wij als voorbeeld een soort van

steenkol met 75 pct. koolstof, 4 pct. waterstof en 5 pct. zuurstof, dan vereischt deze per K.G. voor volkomen verbranding van de koolstof $0,75 \times 9,4 = 7,05$ en voor die van de waterstof $0,04 \times 28,15 = 1,126$ M³ lucht van 15°. Daar 0,05 K.G. zuurstof bij 0° een ruimte van 0,035 M³ inneemt en 0,18 M³ lucht van 15° vertegenwoordigt, zouden er $7,05 + 1,126 - 0,18 =$ ongeveer 8 M³ lucht aangevoerd moeten worden. In de praktijk zou dit echter nog op verre na niet voldoende blijken te zijn. De vaste brandstoffen kunnen aan de lucht niet alle zuurstof onttrekken. De kern van de luchtkolommen, die door den rooster gaan, komen niet eens met de brandstof in aanraking. Proeven hebben geleerd, dat inderdaad 1,5 tot 2 maal de theoretische hoeveelheid lucht haar weg door den rooster neemt, d. i. in het onderhavige geval niet minder dan ruim 12 tot 16 M³ per K.G. steenkool. Men kan nagaan hoeveel warmte vooral door de groote hoeveelheid werkelooze stikstof aan de brandstof onttrokken en door den schoorsteen weggevoerd wordt.

Met het oog op dit alles zal niemand zich verwonderen, dat bij gewone kookkachels in de keuken de nuttig gebruikte warmte slechts 10 tot 15 proc. van de voortgebrachte bedraagt. Van open haarden, (die men N.B. in de open ruimte vlak onder den schoorsteen en dus feitelijk buiten de kamer plaatst) willen wij niet eens spreken. Ongetwijfeld is het veel beter gesteld met de nieuwe vul-reguleer-kachels. Op grond van eigen onderzoek weet de schrijver van dit opstel, dat met zulk een kachel, waarin tevens een goede circulatie der verbrandingsgassen plaats vindt, een kamer van ruim 100 M³ inhoud voor 0,6 cts per uur aan brandstof (anthraciet-kolen) dag en nacht verwarmd kan worden.

Wellicht zou men, door de nauwkeurige regeling van luchttoevoer en de voortreffelijke circulatie der verbrandingsgassen, met een goed trekkende schoorsteen op die wijze 80 proc. van de calorische waarde van een vaste brandstof nuttig kunnen gebruiken. Een kachel is echter geen wetenschappelijk instrument en de gewone stokers zijn geen proefnemers van beroep. Daarom zullen de uitkomsten in den regel minder gunstig zijn. Bij gewone kachels met vaste brandstof mag men op niet meer dan 20 proc. nuttig effect rekenen. Bij een gasvormige brandstof daarentegen is de verbranding, uit het onderhavige oogpunt beschouwd, volkomen en kan men gemakkelijk ongeveer de voor de verbranding theoretisch gevonden hoeveelheid zuurstof toevoeren zonder veel overmaat. Een nuttig effect van 80 proc. is daar dan ook zeer gewoon.

Brengen wij het voorafgaande in rekening, dan wordt de verhouding tusschen vaste brandstof en gas voor verwarming uit het oogpunt der kosten geheel anders. De prijzen van hetzelfde aantal calorïën, door steenkool en gas voortgebracht, verhouden zich dan als $1 \times \frac{100}{20} : 6 \times \frac{100}{80} = 5 : 7,5 = 1 : 1,5$.

De vul-reguleer-kachels worden echter zoo algemeen ingevoerd, dat zij spoedig de voorname concurrenten van het gas voor verwarming zullen zijn, zoodat zij bij de vergelijking van beide brandstoffen eigenlijk in het oog gevat moeten worden. Dr. SCHILLING heeft door een praktisch experiment de verhouding tusschen beide trachten uit te maken. Hij vergeleek een Meidinger vulkachel, die met cokes en een weinig hout gestookt werd, met een reflector-gaskachel. Daar cokes de goedkoopste brandstof is, moet de verkregen uitkomst beschouwd worden als de uitdrukking van de betrekkelijke kosten van verwarming met vaste brandstof op de voordeeligste wijze en met gas.

De vulkachel verbruikte in 12 uren :

8,75 Kg. cokes à 1,2 tot 1,8 cts. = 10,5 tot 15,7 cts. en
1 Kg. hout à 0,5 tot 0,8 cts. = 0,5 tot 0,8 cts.

De gaskachel gebruikte in 12 uren :

5,1 M³ gas à 7,2 tot 10,8 cts. = 36,72 tot 55,1 cts.

Uit deze cijfers is onmiddellijk af te leiden, dat de kosten van verwarming door cokes en gas zich in het onderhavige geval verhielden als 1 : 3,3. Met het oog op de lage cijfers der gasprijzen in sommige onzer groote gemeenten komt men zeker het naast bij de waarheid, door de kosten van verwarming met gas op het dubbele tot drievoudige te rekenen van die met cokes.

Ontegenzeggelijk geven dus de vul-reguleer-kachels de goedkoopste warmte, al schijnen de opgaven daaromtrent soms al te fraai, om onbepaald vertrouwen te verdienen. Zoo schreef de Association des Gaziers Belges in Januari 1888 een wedstrijd uit voor vervaardigers van kachels, waarin cokes op de meest voordeelige wijze verbrand werd. Een reeks vulkachels, grootendeels Fransch fabrikaat, werd bekroond na door een wetenschappelijke commissie onderzocht te zijn. De laatste constateerde een nuttig effect van de brandstof, dat van 90 tot 97 procent afwisselde.

Laten wij voor het laatste 80 procent als norm aannemen, dan blijkt het reeds voldoende, dat gas als brandstof voor de verwarming onzer woningen thans nog niet opgewassen is tegen de steenkool,

evenmin als het als lichtstof op dit oogenblik de concurrentie met de petroleum kan volhouden. En toch ligt er op het terrein der verwarming voor het gas evengoed een toekomst als voor de electriciteit op dat der verlichting. De omzetting van energie in warmte bij de verbranding van het gas is ruimschoots voldoende. Het komt er slechts op aan goedkoper gas te produceeren. Een prijsverlaging tot op de helft van den laagsten prijs, die er thans voor betaald wordt, dat is tot 2 à 3 cents per M^s, zal beslissend zijn. Met het oog op al de genoemde voordeelen zal men zelfs over kleine prijsverschillen heen-stappen. Ruimte voor het bergen van brandstof wordt uitgewonnen, veel stof en vuil uit onze woningen geweerd. De brandstof wordt slechts ontstoken op het oogenblik, dat zij noodig is, om door het omdraaien van een kraan terstond weder uit te dooven, als de behoefte aan warmte niet meer bestaat.

De gaskachels met lichtgevende vlammen en reflectors verzekeren een reukelooze verbranding en gaan uit van het beginsel, dat bij verwarming onzer woonvertrekken behoort gevolgd te worden en staan in dit opzicht gelijk met de haarden. Verwarming der lucht door strooming en convectie, zooals in hoofdzaak door onze kachels geschiedt, is af te keuren. De warmtebron zij het beeld van de zon. Zij verbreide de warmte door straling en brenge de wanden en de meubels onmiddellijk op de temperatuur van het lichaam. De lucht blijve koud, wat door een goede ventilatie gemakkelijk verkregen wordt. De soortelijke warmte der lucht is niet groot, zoodat er met de lucht niet veel calorïën verwijderd worden. De inademing van warme lucht geeft een gevoel van malaise, terwijl frissche koude lucht prikkelt en opwekt. Gelijkheid van temperatuur tusschen het lichaam en de vaste stoffen der omgeving brengt mede, dat door de uitwisseling der warmte voor geen van beiden verlies kan ontstaan. Dit is de meest gewenschte toestand.

Wordt gas ook in fabrieken en werkplaatsen algemeen in plaats van vaste brandstof gebruikt, dan hebben wij kans om niet alleen van rook en walm, maar ook van de zware misten bevrijd te worden, die in Londen gedurende de wintermaanden den dag in een nacht verkeerren en waarvan ook Amsterdam nog dezen winter zulk een proef gehad heeft. Het is zeer waarschijnlijk te achten, dat de kooldeeltjes in den dampkring de kernen zijn, waarom de waterdamp bij mist zich condenseert. In een donkeren rook is omstreeks 3 pct. van de koolstof der steenkool aanwezig. Neemt men nu aan, dat in

Londen dagelijks 20 000 tonnen kool verbrand worden, dan komen daarvan niet minder dan 600 tonnen koolstof als roet in den dampkring, wat alleen reeds voldoende is om het grootste gedeelte van het zonlicht in den winter tegen te houden. Het geldelijk verlies, door dien rook geleden, is blijkbaar niet gering. Praktische rookverbranding van steenkool is nog een onopgelost vraagstuk. Gas als brandstof in onze huizen en gaskrachtsmachines in plaats van stoommachines is de beste en volledige oplossing er van.

Kan men bij de verwarming van vertrekken van gesloten kachels met lichtgevende vlam gebruik maken en heeft daar goede afvoer der verbrandingsproducten plaats, waar het koken van spijzen en dranken geldt moet men om afzetting van roet te voorkomen wel tot de Bunsenvlam zijn toevlucht nemen en laat men de verbrandingsproducten vrij en onbelemmerd in de lucht ontsnappen. De Bunsenvlam levert groot gevaar op voor het zoogenaamde inslaan, een verschijnsel, dat ieder, die gas voor genoemd doel gebruikt, grondig moet bestudeeren, wil hij stank vermijden en geen schade lijden aan brander of leiding door de hooge temperatuur, welke het inslaan der vlam onder in den brander teweeg brengt.

Doch er is meer waarop hij te letten heeft. Zooals wij boven zagen is de verbranding in de Bunsenvlam nagenoeg volkomen. Dit verandert echter geheel, zoodra die vlam in onmiddellijke aanraking komt met ketels of vaten; dan heeft er afkoeling plaats en ontstaan de toestanden, die wij boven schetsten als het gevolg van de afkoeling, door de lucht op de lichtende vlam uitgeoefend. Het onderzoek van de laatste jaren heeft dit verschijnsel aan het licht gebracht.

In de onmiddellijke nabijheid van het koude lichaam, waar vlam en lichaam schijnbaar elkander aanraken, bestaat ten gevolge der gedaalde temperatuur de vlam inderdaad niet. In die ruimte, waar de vlam is uitgebluscht, verspreiden zich koolwaterstoffen en producten van onvolkomen verbranding en gaan van daar in de lucht over. In zeer verschillenden graad is dit het geval, naarmate men de punt of het binnenste gedeelte der vlam tegen het voorwerp laat spelen. Merkwaardig zijn de uitkomsten te dezen opzichte door een onderzoek verkregen, dat prof. LEWES in 1891 verrichtte. Hij maakte een ketel vol water met een gasvlam onder verschillende omstandigheden aan de kook. In één geval, in de tabel met A aangeduid, stond de bodem van den ketel een halve duim boven den binnensten kegel van de vlam; in het tweede, door B aangewezen, raakte de

bodem aan de hoogste gedeelte van de punt der vlam. De tabel geeft de hoeveelheid en de soort der ontsnappende gasen in procenten aan.

	Bunsenvlam:		Lichtende vlam:	
	A.	B.	A.	B.
stikstof.....	75,75	79,17	77,52	69,41
waterdamp.....	13,47	14,29	11,80	19,24
koolstofdioxyde.....	2,99	5,13	4,93	2,38
kooloxyde.....	3,64	niets	2,45	2,58
moerasgas.....	0,51	0,31	0,95	0,39
acetyleen.....	0,04	niets	0,27	niets
waterstof.....	3,55	0,47	2,08	niets

Er is dus bij het gebruik van kookgas slechts één geval, waarin de lucht vrij blijft van giftige stoffen en wel als alleen de punt van een Bunsenvlam den ketel aanraakt. Bij elke andere wijze van verhitten wordt de lucht met het giftige kooloxyde bezwangerd. Is dit feit in het dagelijksch leven wel bekend? Zeker niet, anders zou men niet voortgaan met te koken op zulk een wijze, dat de verontreiniging der lucht zoo groot mogelijk moet zijn. Men verhitte dus óf alleen met de punt der Bunsenvlam in aanraking met den ketel, óf zoodanig, dat alleen de heete verbrandingsgassen met den ketel in aanraking komen, óf zoo, dat de verbrandingsproducten volkomen in den schoorsteen worden afgevoerd. Het laatste zal wel het beste en meest praktische zijn. Het is meer dan tijd, dat het inderdaad in onze keukens en woonkamers ingevoerd wordt. Geisers en gas-komforen worden reeds op te groote schaal in het dagelijksch leven gebruikt, om het gevaar niet dringend te achten.

De kosten van het koken met gas zijn betrekkelijk gering, waar het gas voor dit doel voor lagere prijs wordt geleverd, wat reeds vrij algemeen het geval is. Volgens SCHILLING heeft men om één liter water in een blikken vat van 10° tot 100° te verhitten de volgende hoeveelheden gas van goede hoedanigheid en den volgenden tijd noodig:

Branders:	Hoeveelheid verbruikt	Tijd in
	gas in Liters:	minuten:
Champignon-brander.....	52	17
Fletcher-brander.....	44,1	11,1
Fransche-brander.....	42	7,6
Wobbe-brander.....	27,6	13
Regeneratief-brander.....	23,8	14,5

Het komt bij die branders of gaskomforen voornamelijk op een goede vermenging van gas en lucht aan en op een reukelooze verbranding. Een toevoeging van 220 liter lucht bij 100 liter gas is noodig en voldoende, om het lichtgevend vermogen te doen verdwijnen. De brander van LEGRAND, met zijn kring van kleine vlammen, verdeelt de warmte gelijkmatig over den bodem van het vat en geeft een gunstige verhouding van lucht en gas in het mengsel, dat naar de vlam gevoerd wordt. Ook de Wobbe-brander wordt zeer aanbevolen. Zij verbruikt volgens de tabel niet meer dan 27,6 liter gas, d. i. voor ongeveer 0,2 cts, om een liter water aan de kook te brengen. Het meest bekend zijn zeker de Fletcher-branders. Men behoeft slechts een blik te slaan in de rijk geïllustreerde catalogus van de firma THOS. FLETCHER EN CO. te Londen, om de overtuiging te verkrijgen, dat de techniek in dit opzicht reeds zeer ontwikkeld is en dat het gas voor koken en verwarmen reeds op tal van wijzen voor huiselijke doeleinden toepassing vindt.

III

Het derde doel, waarvoor gas wordt gebruikt, is het verrichten van arbeid, hetwelk in de zoogenaamde gaskrachtmachines plaats vindt. Een beschrijving van de laatste ligt niet op onzen weg. Het zij voldoende op te merken, dat zij berusten op de doelmatige aanwending van de kracht, door een ontploffend mengsel van gas en lucht verkregen. Reeds lang zijn zulke machines voor de klein-industrie in gebruik. Sedert de verbeteringen, in 1878 en later er in aangebracht, beginnen zij ook bij groote ondernemingen met het stoomwerktuig te concurreren. In Engeland worden reeds gasmotoren van 100 paardekrachten en meer in het werk gesteld. Ook in ons land dringen zij door. De couranten vermeldden nog onlangs, dat de heer ALBERT VIS te Wormerveer een gasmotor van 170 Ind. P.K. besteld heeft bij de firma CROSSLEY BROS. te Manchester, om daarmede zijn rijstpelmolen te drijven en dat de heer VIS bij de keuze tusschen stoom en gas hoofdzakelijk lette op zuinigheid van de exploitatie en gemak in de behandeling. Dit is de eerste gasmotor van die grootte, welke niet slechts in Nederland maar op het vasteland van Europa in gebruik komt. Eigenaardig is het, dat gaskrachtmachines van een vermogen, hetwelk 120 paardekracht bereikt, gebruikt worden voor de productie van elektrisch licht. Niet onwaarschijnlijk is dit de weg, waarop het

gas afstand zal doen van zijn taak om direct licht voort te brengen, zonder op te houden mede te werken tot het doel, waarvoor het bijna een eeuw schier uitsluitend was aangewezen.

Het gebruik van gas voor verwarming en het verrichten van arbeid neemt voortdurend toe. Te Tilsit was in 1890 40,3 proc. van het geheele gasverbruik voor dit doel bestemd, waarvan 18,2 proc. alleen voor motoren. Dit is echter nog een uitzondering. Berlijn, Keulen en Dresden geven ongeveer den norm aan. Onderstaande tabel drukt dit in cijfers uit.

	Gasverbruik in M ³ in 1890:	Gasverbruik in M ³ in 1890 alleen voor verwarming en arbeid:	Gas voor verwarming en arbeid in procenten van het geheele verbruik:				
			1890	1889	1888	1887	1886
Berlijn.	96 146 000	5 230 237	5,5	4,2	1,2	—	—
Keulen.	21 857 080	959 025	8,6	7,7	6,5	3,0	4,3
Dresden.	20 364 620	1 712 803	8,4	6,9	5,8	4,2	3,0

De gaskrachtsmachines kunnen met het oog op de omzetting van de energie der steenkool in arbeid de vergelijking met de beste stoommachines wel doorstaan. Hooren wij slechts wat prof. AYRTON dien-aangaande mededeelt in een voordracht, die hij in 1881 bij gelegenheid der Electriche Tentoonstelling te Parijs hield. In overeenstemming met prof. ARMSTRONG constateerde hij, dat een goede stoommachine met condensor $\frac{1}{10}$ van de energie der steenkool in nuttigen arbeid omzet en dat wij met volmaakte werktuigen van deze soort — dat zijn die, welke geen warmte door straling, geleiding of nutteloozen arbeid verliezen — dit bedrag hoogstens tot $\frac{2}{10}$ zouden kunnen opvoeren. Wij weten, dat — gegeven de temperaturen in stoomketel en condensor — deze uitkomst door theoretische beschouwingen uit de mechanische warmte-theorie voortvloeit.¹ Nu zou een nuttig effect

¹ De voorwaarde voor het verrichten van arbeid door de warmte is de overgang van een zekere hoeveelheid warmte van hogere temperatuur in warmte van lagere temperatuur. Als de temperatuur van den stoom in den ketel t° en zijn temperatuur in den condensor t'° bedraagt, kan van de geheele hoeveelheid warmte hoogstens het $\frac{t-t'}{273+t}$ gedeelte in mechanischen arbeid worden omgezet. Alleen een volmaakte machine en een standvastige temperatuur van -273° in den condensor zou dus een volledige omzetting van alle warmte in arbeid toelaten. Zulke voorwaarden zijn klaarblijkelijk in de praktijk niet te vervullen.

van 10 proc. overeenkomen met een verbruik van 0,8 K.G. steenkool per uur en per paardekracht. Immers $0,8 \times 7500 \times 425 = 2,550,000$ kilogrammeters arbeidsvermogen bezit die hoeveelheid steenkool en één paardekracht per uur is $75 \times 3600 = 270,000$ K.G.M. Dit is dus een omzetting in nuttigen arbeid van $270,000 : 2,550,000 \times 100 =$ omstreeks 10 proc.

Dit stemt overeen met opgaven uit andere bronnen. Zoo gebruikte volgens THURSTON¹ een uitnemende compound-machine volgens het systeem SULZER per uur en per paardekracht 0,8 K.G. beste Saarkool. Voor de compound-machines met triple expansie, die te Londen voor de hydraulische verspreiding van arbeidsvermogen dienst doen, vindt men een verbruik van 0,575 K.G. kool per uur en per paardekracht opgegeven, wat een nuttig effect van bijna 14 proc. zou uitmaken. In allen gevalle gelden zulke betrekkelijk gunstige cijfers alleen voor zeer groote stoommachines. De kleinere verplaatsbare vormen werken vrij wat minder voordeelig. Een machine van 30 paardekrachten vorderde per uur en per paardekracht 1,8 K.G. steenkool, een ander van 4 paardekracht vereischte voor dit doel 2,38 K.G.¹ Één K.G. gewone steenkool kost bij ons ongeveer 1 ct.; de kosten per uur en per paardekracht worden dus 0,575, 1,8 en 2,38 cts.

De gaskrachtmachines, die met het oog op ons onderwerp allereerst in aanmerking moeten komen, zijn die, welke voor de ontwikkeling van electrisch licht door middel van dynamo's moeten dienen en deze behooren in den regel tot de kleine soorten. Zeer groote machines, die een zeer groot aantal lampen bedienen, zijn niet gewenscht, omdat één defect alles in duisternis zou dompelen. Evenwel gebruikt men gasmotors van 120 P.K. voor dit doel.

Zeër gunstig zijn de uitkomsten van berekeningen als de bovenstaande voor de gaskrachtmachines. Volgens prof. AYRTON zou de theoretische nuttige uitwerking van een volmaakte gaskrachtmachine — waarbij geen warmte door geleiding, straling, convection of wrijving verloren ging — 56 tot 75 proc. bedragen in plaats van 20 proc., zooals bij de volmaakte stoommachines het geval zou kunnen zijn.

In het voorafgaande kwamen de kosten reeds ter sprake. Een verplaatsbare stoommachine en een gaskrachtmachine-Otto, beiden van 30 P.K., werden gedurende 300 dagen gebruikt, om 400 Swan-gloeii-

¹ *Die Dampfmaschine von Robert H. Thurston*, bearbeitet und mit Ergänzungen versehen von W. H. Uhland, 1880, Th. I, S. 329.

lampen te voeden. Er werd gewoon steenkolengas aangewend van 6 cts. per M^3 . De kosten der gaskrachtsmachine bleken hooger te zijn dan die van de stoommachine. Te Deventer, waar omstreeks 20 gaskrachtsmachines in werking zijn, kon schrijver dezes een van de kleinste — van 2 paardekrachten — en een van de grootste — van 20 paardekrachten — nagaan. De eerste gebruikte $0,75 M^3$ gas per uur en per paardekracht, hetwelk tegen 6 cts. per M^3 een waarde van 4 cts. vertegenwoordigt. Gaf prof. AYRTON een verbruik van 2,38 K.G. steenkool per uur en per paardekracht voor een stoommachine van 4 P.K., dan zullen wij niet ver van de waarheid verwijderd zijn door voor een stoomwerktuig van 2 P.K. per uur en per paardekracht een verbruik van 3 K.G. steenkool aan te nemen. De prijs van de laatste op 1 ct. per K.G. stellend kost bij het stoommachine dezelfde arbeid dan 3 cts.

WAGNER geeft in zijn *Handbuch der Chem. Technologie* van 1889¹ voor gaskrachtsmachines een gemiddeld gasverbruik van $1 M^3$ per uur en per paardekracht, hetwelk, met dezelfde eenheidsprijzen berekend, de kosten van het gas voor denzelfden arbeid dubbel zoo groot doet vinden als voor stoom.

(Slot volgt.)

¹ T. a. p. S. 162,