

DE EIGENSCHAPPEN VAN DEN STOOMSTRAAL.¹

DOOR

Dr. L. BLEEKRODE.

In het jaar 1681 verscheen te Amsterdam een werkje, dat tot titel voerde "*La manière d'amollir les os*" en door DIONYSIUS PAPIN was geschreven. Hierin werd een toestel behandeld, dat onder den naam van Papiniaanschen pot van algemeene bekendheid is geworden. De uitvinder zelf scheen niet terstond het volle gewigt van zijn denkbeeld, om namelijk water tot een hoogere temperatuur dan 100° te verhitten in een gesloten vat, in te zien, want het werd hoofdzakelijk aanbevolen voor de bereiding van huishoudelijke en pharmaceutische praeparaten, en is als zoodanig veel in Holland in gebruik gekomen. Toch lag hierin opgesloten de grondslag van den stoomketel en leerde het toestel het eerst den stoom kennen, d. i. waterdamp van een temperatuur van 100° en daarboven.

De oorspronkelijke inrichting was een stevig metalen vat, dat, als men water en de stoffen, die men aan de inwerking daarvan wilde blootstellen, er in geplaatst had, door een metalen deksel werd dichtgeschroefd. De damp drukte nu op het water en had geen uitweg meer; er verdween dus ook geen warmte, de temperatuur van het water moest dus gestadig boven het kookpunt stijgen.

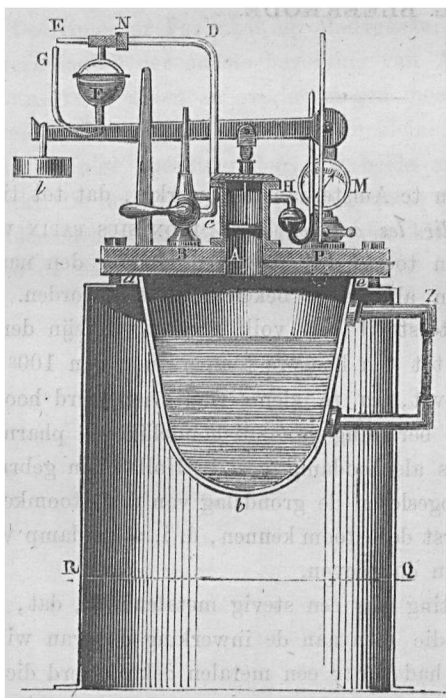
Maar dan neemt de temperatuur van den damp toe, en, gelijk latere onderzoekingen van REGNAULT hebben geleerd, daarmede ook zijn span-

¹ Uittreksel eener voordragt gehouden voor de maatschappij Diligentia te 's Gravenhage.

ning, en wel in veel sterkere mate dan die temperatuur, zoodat als de spanning van den damp bij 100° juist 1 atmosfeer bedraagt, deze bij 121° 2 atm. is, bij 133° 3 atm. enz.

De groote latente warmte en de groote spanning geven aan den stoomstraal, die zich vormt, als men den waterdamp laat ontsnappen, ook merkwaardige eigenschappen, die zich intusschen met den Papinaanschen pot niet laten aantoonen. Ik heb daarom de inrichting gewijzigd en met verscheidene hulptoestellen voorzien, waardoor van den oorspronkelijken vorm niet veel meer overblijft, maar daarentegen is het nu

Fig. 1.



een toestel geworden, dat vooral bij de leer der warmte, even gewichtige diensten bewijst als de luchtpomp, het inductie-toestel van RUHMKORFF, enz. in andere afdelingen der natuurkunde ¹.

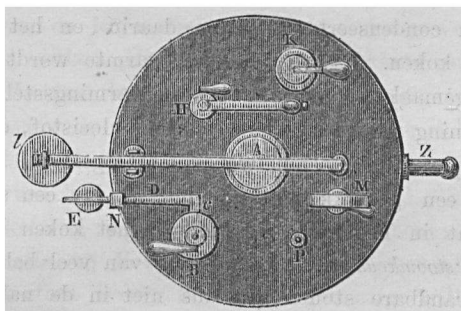
Ik zal beginnen met de beschrijving der afbeeldingen, waarvan Fig. 1 voorstelt een verticale doorsnede, en Fig. 2 een horizontale projectie. De ketel *abc* is ongeveer 22 c.m. hoog en is vervaardigd van rood koper; hij is van boven gesloten met een ijzeren plaat en eenen caoutchouc ring, met een diameter van 20 c.m. De ketel rust op den rand van een cilinder van plaatijzer, welke aldus

een geschikten standaard vormt en tevens tegen afkoeling beschut bij verwarming. Hiervoor wordt gebruikt een Bunsensche gasbrander met

¹ Het toestel, dat ik hier beschrijven zal, en door mij reeds geruimen tijd gebruikt wordt, heb ik door de firma P. J. KIPP en Zoon te Delft laten vervaardigen; het kost ongeveer f 120.

zeven pitten, welke er onmiddellijk onder geplaatst wordt. In het midden der bovenplaat in A, bevindt zich de veiligheidsklep met het hefboomstelsel, zooals dat door PAPIN reeds spoedig bij zijn toestel werd aangebracht, en sedert dien tijd bij de stoomketels is behouden gebleven; zooals bekend is, is zij *zelfwerkend* en zij kan bovendien geregeld worden door de belasting *l* te verplaatsen. De opening A kan tevens dienen voor het vullen van den ketel; het zijdelings aangebrachte peilglas Z zal den waterstand aanwijzen. In B bevindt zich een afvoerbuis voor den stoom; de kraan is dubbel doorboord, zoodat door twee standen, die 90° van elkaar verschillen, een horizontale of een verticale stoomstraal kan verkregen worden. Aan de omgebogen buis CD bevindt zich bij N een koppelstukje, waardoor enkele stukken nog aan den ketel kunnen verbonden worden; hierop kom ik straks nader terug.

Fig. 2.



In de eerste plaats overtuigt men zich nu gemakkelijk van het feit, dat het water en ook de damp ver boven 100° verhit wordt, door den thermometer die bij P in een kleine uitholling is geplaatst, welke ten deele met kwik is gevuld. Zooals boven gezegd is, moet nu ook de spankracht van den damp sterk toegenomen zijn; dit wordt aangewezen door de spankrachtmeters (*manometers*). Er zijn er twee aanwezig; de metaalmanometer van BOURDON in M en de manometer met zamengeperste lucht bij H; door gelijktijdige waarneming van manometers en thermometers laat zich dus het verband aantoonen tusschen temperatuur en spankracht van den stoom.¹

¹ Bij het gebruik is het niet noodig beide manometers er op te laten; de kwikmanometer H kan verwijderd worden, en aan de buis andere stukken, bijv. de stoommachine verbonden worden; het toestel kan een spanning van vijf atmosferen doorstaan.

Is de spankracht 2 à 3 atmosferen geworden, dan kunnen nu achtereenvolgens de verschillende eigenschappen van den stoomstraal worden nagegaan.

1°. Door het openen van de kraan B in verticale richting, krijgt men een stoomstraal van 2 meter lengte; hij heeft een betrekkelijk lage temperatuur; dit is opvallend, want hoewel hij in den ketel 130 à 140° bezat, kan men bij het uittreden de hand er straffeloos inhouden; dit is een gevolg van de uitzetting van het volume stoom en het wegdrijven der lucht; er wordt hier arbeid verricht, waarvoor warmte vereischt wordt.

2°. De stoomstraal bevat intusschen nog een groote latente warmte, die voor dampvorming gediend heeft; zij zal zich weder als voor het gevoel merkbare warmte voordoen en temperatuursverhooging kunnen te weeg brengen, als de damp den vloeistofvorm herneemt; leidt men dus den straal (nu in horizontale richting) door een omgebogen buis in water, dan condenseert de stoom daarin en het water geraakt snel aan het koken. Van de latente warmte wordt in de praktijk veel gebruik gemaakt, zoowel bij het verwarmingsstelsel met stoom, als bij verwarming van groote hoeveelheden vloeistof, die aan een regelmatige temperatuur moeten worden blootgesteld. Men heeft het voordeel van een gemakkelijke regeling en van een snelle werking; zelfs wordt dat in Frankrijk gebruikt bij het koken van spijzen, in zoogenaamde "*stoomkeukens*". Ook is het van veel belang bij de verhitting van brandbare stoffen, die dus niet in de nabijheid van het eigenlijke vuur komen.

3°. De groote spankracht van den stoomstraal maakt, dat hij bij het uittreden in de lucht een aanzienlijke hoeveelheid daarvan verplaatst; daarom zou hij gebezigd kunnen worden als blusmiddel in geval van brand, vooral in groote localen die afgesloten kunnen worden, bijv. schouwburgzalen, pakhuizen, en in 't bijzonder bij schepen. De brand wordt in den regel gevoed door zuurstof en verder voortgeplant door brandende gassen, terwijl het ingespoten water alleen plaatselijk kan werken en nog spoedig verdampt; een groote massa stoom snel aangevoerd zou daarentegen lucht en gassen verdrijven. Wellicht ware het eerste stoomschip der maatschappij Nederland, *Willem III*, nog behouden gebleven, indien men er spoedig toe overgegaan ware, om den stoomketel als *stoomgevende* spuit te gebruiken. Het denkbeeld verdient ten minste ernstige overweging; — bovendien

heeft de praktijk reeds in meer dan één geval een gunstige uitspraak gedaan¹. Met het toestel laat zich dit beginsel ophelcieren door op den weg van den horizontalen stoomstraal, bij N, een weinig aangestoken other te plaatsen, die snel wordt uitgebluscht.

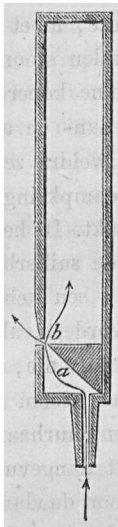
4°. Door het verdrijven der lucht uit eene gesloten ruimte, moet er dus een luchtverdunning ontstaan; laat men den horizontalen stoomstraal bij E eenigen tijd stroomen door een doos met dunne koperen wanden, en sluit men daarna de beide openingen (voor aan- en afvoer van den stoom) spoedig dicht, dan wordt de doos weldra zeer zicht- en hoorbaar ineen gedrukt door de werking van de dampkringsdrukking. Ook hiervan zijn belangrijke toepassingen gemaakt. Ik herinner aan de zoogenaamde "*vacuumpannen*", die men bij de suikerbereiding gebruikt en waarin op deze wijze zonder luchtpomp een luchtverdunde ruimte wordt verkregen, die de verdamping bevordert, alsmede aan de *locomotief blaaspipj*. Dit is de naam voor de buis die, in de rookkast van de locomotief geplaatst, den afgewerkten stoom in den schoorsteen ontlast. Hierdoor wordt de trekking van den vuurhaard sterk bevorderd, daar het voortgebrachte luchtledig wordt aangevuld door de gassen van de verbranding afkomstig, die zich door de vlampijpen naar de rookkast begeven; nieuwe toevoer van lucht door den rooster is daarvan het gevolg.

5°. Op den ketel is nog de stoomfluit aangebracht; zij is in de horizontale projectie bij K zichtbaar; door haar wordt bewezen dat de stoomstraal in staat is de lucht in regelmatige trilling te brengen; zoodra deze trillingen een zeker aantal (minstens 16 per seconde) bereikt hebben, ontstaat *gebuid*. Beschouwt men een open of gesloten orgelpijp (fig. 3), dan vindt men aan het onderende een kleine nagenoeg afgesloten ruimte, *a*, de windkamer, waar de lucht door een blaaswerk wordt ingedreven; deze kamer heeft gemeenschap met het overige deel van de pijp door een nauwe spleet. Hierboven bevindt zich de doorsneden en ringvormig toeloopende zijwand *b*, die men de lip noemt. De aangevoerde lucht verdcelt zich in twee stroomen, die de oorzaak worden van de schommelende beweging der moleculen in den omtrek der lip. — Denkt men zich nu de spleet cirkelvormig uitgestrekt over de buis, dan verkrijgt men de stoomfluit, die dus overeenstemt met de gesloten orgelpijp, terwijl stoom de aangevoerde lucht in de

¹ Zie o. a. Figuier, *Année scientifique* 1858, p. 148.

windkamer vervangt. Zeer duidelijk wordt dit dan merkbaar, als men stoom voert in een open orgelpijp, want dan krijgt men de beide

Fig. 3.



deelen van den gesplitsten stoomstraal te zien. De toon is zeer hoog; bij locomotieven is zij op twee mijlen afstands hoorbaar, — daarom is dit ook als een belangrijke toepassing te beschouwen. Men heeft eenige jaren geleden in Amerika getracht nog meer partij te trekken van dit beginsel, om geluid, of liever om muziek te verkrijgen, door het samenstellen van een stoomorgel "*Calliope*" genaamd. Men kan door de pijpen van behoorlijke lengte te nemen en den aanvoer van stoom daarin door kleppen te regelen, die met de hand bestuurd worden, een toonladder verkrijgen. Omtrent de kwaliteit der aldus voortgebrachte muziek, wil ik niets beslissen; zeker is het, dat zij het voordeel heeft van door een zeer groote menschenmassa te gelijk gehoord te kunnen worden, en allereigenaardigst is de opmerking, die men aantreft in het verslag der proeven in een kleine stad van Amerika genomen. In den geheelen omtrek kon het orgel gehoord worden,

de lucht scheen als het ware met toonen vervuld; er waren zelfs personen, die, niet op de proefneming voorbereid, meenden dat de jongste dag was aangebroken en de aartsengel GABRIEL op de bazuin blies!

Men verneemt tegenwoordig niets meer van stoomorgels; daarentegen wordt het voortbrengen van geluid op deze wijze hoe langer hoe meer toegepast om signalen te geven, die ver gehoord moeten worden. Zoo was op de jongste wereldtentoonstelling te Weenen in het Prater op een zekere hoogte een stoomtrompet, *Dampfnebelhorn*, geplaatst, waarvan het zware doffe geluid, elken namiddag tegen zes ure, den bezoekers aankondigde, dat de zalen moesten ontruimd worden.

Eveneens wordt er op verschillende zeeplaatsen, waar vele nevels heerschen, en het licht van den vuurtoren ontoereikend is om tot de schepen door te dringen, van dit middel gebruik gemaakt. Zoo is nog zeer kort geleden op de noordkust van Amerika, bij kaap Race, een stoomfluit opgericht; zij wordt gedurende de sneeuwstormen om de vijftig seconden in werking gesteld en fluit dan tien seconden achtereen. Men berekent, dat bij rustig weder de zeelieden het geluid op een afstand

van twintig Eng. mijlen van de kust kunnen hooren; met gunstigen wind op dertig mijlen, en met tegenwind op zeven mijlen.

6°. De genoemde verschijnselen en toepassingen berusten op de eigenschap van den stoomstraal, om *lucht* in beweging te brengen; hij is evenzeer in staat om water voort te slepen. Op zeer vernuftige wijze slaagde de fransche ingenieur GIFFARD in 1862 er in, om beide omstandigheden te gebruiken ten einde water in den stoomketel te kunnen voeren. Men kan door het toestel dit denkbeeld ophelderen; door een koppelstukje wordt met de buis D (fig. 1) het vat F verbonden, dat met een horizontale buis L en een verticale buis F voorzien is, die zich tegenover elkaar bevinden. Is het vat F met water gevuld en laat men den stoomstraal door E uit treden, dan sleept hij de lucht boven C weg; deze wordt vervangen door lucht uit de verticale buis, die zijdelings komt aanstroomen; de daardoor gevormde luchtverdunde ruimte wordt aangevuld door het water uit het vat, dat verder in zeer fijn verdeelden toestand met den stoomstraal mede intreedt; men verkrijgt bij de proef een waterstraal van 2 à 3 meters.

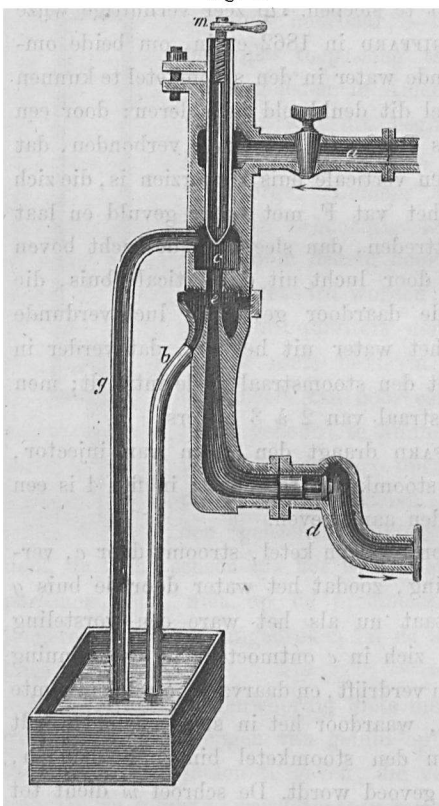
Het voedingstoestel van GIFFARD draagt den naam van injector, hij wordt tegenwoordig veel bij stoomketels toegepast; in fig. 4 is een doorsnede der voornaamste deelen aangegeven.

Door de buis *a* komt de stoom uit den ketel, stroomt door *c*, veroorzaakt daar een luchtverdunning, zoodat het water door de buis *g* wordt opgedreven, en er ontstaat nu als het ware een worsteling tusschen stoom en water, die zich in *e* ontmoeten; de overwinning blijft aan het water, dat de stoom verdrijft, en daarvan zoowel de warmte als de levende kracht overneemt, waardoor het in staat gesteld wordt de klep *d* open te drukken en den stoomketel binnen te dringen, welke aldus met warm water gevoed wordt. De schroef *m* dient tot regeling van den stoomtoevoer; de buis *b* voor afvoer van te veel water. De voordeelen dezer inrichting vallen terstond in het oog; men heeft hier een voedingspomp zonder zuigers en met minder wrijving; daardoor is er veel minder slijting; vooral is dit van belang bij locomotieven, waar de gewone voedingspompen bij het rijden twee honderd slagen per minuut moeten doen; hij werkt ook bovendien als de locomotief stil staat. Maar er wordt een nauwkeurige regeling van den injector vereischt ten einde zijn werking te verkrijgen, daarom is hij niet uitsluitend toegepast.

7°. Wordt op een geschikte wijze zand in den stoomstraal gebracht, dan

zal, even als dit het geval was met de lucht en het water, dit evenzeer medegevoerd worden, en er ontstaat de "stoom-zandstraal"; treft hij op zijn weg een vast lichaam aan, dan zal hij daartegen stuiten met

Fig. 4.



genoegzame kracht om een indruk achter te laten, indien dit bijv. een glazen of metalen plaat is. Wordt derhalve bij N een conisch buisje aangeschroefd, en daarboven een groote glazen trechter met wijde afvoerbuis, dan zal het drooge zand er in verticale richting uitvallen, maar horizontaal weggedreven worden, indien de stoomstraal uit-treedt. Men houdt nu een glazen plaat op korten afstand, bijv. met papier beplakt, waarin men eenige figuren heeft uitgesneden, en het zand zal de onbedekte deelen van het glas dof maken; men heeft als het ware met behulp van zand en stoom *geëtst*. Met een spanning van 3 à 4 atmosferen en een glasplaatje van 2 □ decim. gelukt deze proef in het klein zeer goed.

Zij geeft ons alzoo een denkbeeld van de methode om glas

en metalen door middel van zand te etsen, die in 1871 te Philadelphia door TILGHMAN het eerst werd in toepassing gebracht. Toen werd tevens herinnerd, dat vensterruiten, blootgesteld aan de zeelucht, spoedig dof worden, en die waarneming wordt hier op grootere schaal bevestigd. Deze handelwijze is voor veelzijdige toepassing vatbaar; zij heeft een gewicht, dat men niet gering mag schatten. Door aan den stoomstraal een behoorlijke spanning te geven, kan men namelijk niet alleen op glas etsen en daarop de fijnste figuren overbrengen, bijv. stengels en bladen van planten, met verschillende tinten, naarmate men de oppervlakte korteren of langeren tijd blootstelt, maar men kan ook steen

doorboren, zelfs staal; men kan in een stuk gehard staal in tien minuten tijds een gat maken van 1 c.m. diepte bij een breedte van $\frac{1}{4}$ c.m. Merkwaardig is het ook dat, bij het etsen, papier en veerkrachtige stoffen het meest geschikt zijn om aan de werking van den zandstraal weerstand te bieden, beter zelfs dan metaalplaten, zoodat fijn kantwerk kon gegraveerd worden. TILGHMAN heeft ook zeer goede resultaten verkregen door met behulp van gelatine en dubbel chroomzure potasch op glas een negatief beeld van een teekening photographisch te vormen, en daarna aan de werking van het zand bloot te stellen; het laagje gelatine beschermt het glas volkomen, en in 8 à 10 minuten is de teekening gegraveerd.

8°. Wordt nu nog met een der afvoerbuizen van het toestel [bij c, fig. 2, als de manometer wordt weggenomen] de stoommachine verbonden, dan blijkt het hoe de stoomstraal, den door de buizen voorgeschreven weg volgende, in den stoomcilinder treedt, op den stoomzuiger drukt en dezen verplaatst; daardoor onstaat een heen- en weergaande beweging, die door mechanische inrichtingen in een ronddraaijende wordt omgezet. Is de zuiger verplaatst, dan kan de stoomstraal weder in de lucht uitstroomen, maar zij doet dit met aanzienlijk veel minder spanning, dan dit het geval is vóór het toestel doorloopen te hebben. Hij is zelfs op het punt van te verdichten; waar is dan de warmte gebleven, die hem in staat stelde den damptoestand te handhaven en arbeid te verrichten? Juist om in de lucht te kunnen uitstroomen, moest de stoomstraal weerstand overwinnen, en, afgezien van verlies door geleiding en uitstraling, is daartoe zijn warmte besteed. Zoo wordt door deze proef een schoone bevestiging gegeven van het verkrijgen van arbeid als warmte verdwijnt; -- hieraan ontleent de stoommachine haar beweging ¹.

's HAGE, *November* 1873.

¹ Het zal wel nauwelijks vermeld behoeven te worden, dat, door op het toestel een lange buis met houten uitstrooingsopening te plaatsen, men in staat is aan te toonen, dat de stoomstraal elektrische eigenschappen bezit; men heeft dan de werking eener stoomelektriseer-machine.