

## Werkstukhulp “Van Snelkookpan tot Stoommachine”

### (Disclaimer)

Het Stoommachinemuseum kan geen enkele verantwoordelijkheid nemen voor ongelukken die ontstaan zijn door het uitvoeren van de in deze tekst genoemde proefjes.

### Lucht

We beginnen dit verhaal met lucht. Om de aarde zit een luchtlag. Die kun je op de foto uit de ruimte heel goed zien:



We noemen dat onze *atmosfeer*. Die atmosfeer is tientallen kilometers dik. Verkeersvliegtuigen komen tot 12 kilometer hoogte, maar er zijn vliegtuigen die nog veel hoger vliegen. Op 100 kilometer hoogte is helemaal geen lucht meer. Daar begint officieel de *ruimte*. Hoe hoger je in de atmosfeer komt, hoe dunner de lucht wordt. Als je de atmosfeer zou vergelijken met een oceaan, dan leven wij op de bodem van die oceaan van lucht. En net zoals als op de bodem van de echte oceaan de druk heel hoog is door het gewicht van al het water, is de druk van al die lucht op de aardbodem ook groot. Je zou het niet zeggen, maar op elke vierkante centimeter van bijvoorbeeld de vloer in de huiskamer, of op je bureau drukt één kilogram.

Oei! Dan kan mijn bureaublad zomaar naar beneden gedrukt worden!  
Gelukkig drukt de lucht ook aan de onderkant, dus er gebeurt niets.

### Wat zit erin?

De lucht bestaat uit een mengsel van *gassen*. De belangrijkste zijn:

zuurstof 21 % (dus een vijfde deel)

stikstof: 78 % (bijna vier vijfde deel)

kooldioxide of CO<sub>2</sub>: 0,038% (veel minder dan 1 %)

En dan nog allerlei heel kleine hoeveelheden van bijzondere gassen zoals xenon en neon.

Zuurstof is voor ons belangrijk. Daardoor kunnen wij leven. En in de stoomketel van het Stoommachinemuseum brandt het hout en de steenkool doordat er zuurstof is. En dat verbranden van hout en steenkool -we noemen dat *fossiele brandstoffen*- levert weer CO<sub>2</sub> op. Je hebt daar vast wel over gehoord op school. Er is maar weinig van nodig om de atmosfeer op te warmen.

Het is wel eens aardig om met een proefje te testen of die lucht inderdaad zoveel kracht heeft. (*Zie volgende pagina*).

Daarvoor is nodig:

- een drinkglas
- een stukje dun karton, bijvoorbeeld een ansichtkaart
- water



### Proef 1

1. Vul het glas tot de rand.
2. Leg het stukje karton op het glas.
3. Houd het karton met de hand tegen en keer het glas om.
4. Haal je hand van het karton.

Als je het goed hebt gedaan blijft het kartonnetje onder het glas hangen. De luchtdruk drukt het kartonnetje tegen het glas en zo kan het water niet uit het glas stromen.

In theorie zou het glas bijna 10 meter lang kunnen zijn. Zo sterk is de lucht.

De lucht drukt ook overal: van boven, van onderen, van opzij.

Dit kun je zelf testen.

Daarvoor is nodig:

- een lege bronwater fles (met dunne wand!)
- heet water uit de kraan (niet meer dan 60 graden)

### Proef 2

1. Doe een bodempje heet water in de bronwaterfles, zo'n 3 centimeter.
2. Doe de dop erop.
3. Schud het water goed rond in de fles.
4. Laat het water weglopen.
5. Draai de dop erop en wacht.



Wat gebeurt er? Juist, de fles wordt in elkaar gedrukt. Waarom? Omdat de lucht aan alle kanten drukt.

Wat wij gedaan hebben is de lucht in de fles verwarmen. Daarna is de lucht afgekoeld en is de druk in de fles lager geworden. De luchtdruk

buiten de fles heeft hem daardoor wat in elkaar gedrukt.

### Bar ingewikkeld...

Er is al gezegd dat de luchtdruk op aarde 1 kilogram per vierkante centimeter bedraagt. Tenminste, in een laag land als Nederland, dus op *zeeniveau*. Zwitserland heeft bergen en de luchtdruk is bij de Zwitsers dus lager, omdat ze zelf hoger in de atmosfeer wonen.

Die kilogram per vierkante centimeter ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) gebruiken we nog in het Stoommachinemuseum, omdat alle machines en de leerboeken uit een tijd stammen dat iedereen met kilo's werkte. Een  $\text{kg}/\text{cm}^2$  wordt ook wel "**atmosfeer**" genoemd. Wij schrijven

dan “at”. We gebruiken daar ook wel het woord “bar” voor. Maar tegenwoordig moet je zeggen dat:

1 kg/cm<sup>2</sup> eigenlijk 100.000 **Pascal** (Pa) is. Of 100 kilo Pascal (kPa).

Lastig he? Maar niet voor het Stoommachinemuseum. Daar zeggen we gewoon: “De ketel staat op 11 kilo”. En dan bedoelen we 11 kg/cm<sup>2</sup>.

## Stoom



Wat is stoom? Dat is eigenlijk water in een andere vorm. Water kan voorkomen in vaste vorm. Dat noemen we **ijs**. We kennen het vooral in de vloeibare vorm: het **water** dat uit de kraan stroomt. Als je water kookt, gaat het over in de vorm van **gas**. In een open pannetje of waterkoker gebeurt dat bij 100 graden Celsius.

Tenminste... op zeeniveau. Als je water verwarmt bovenop de Furkapas in Zwitserland, dan kookt het water al bij 92 graden C, want de luchtdruk is daar lager.

Omdat stoom een gas is, kun je er net als bij de lucht gewoon doorheen kijken. Dat lukt in het flesje, maar ook tot ruim een centimeter boven het pijpje. Zie de foto links. Daarboven zie je iets wat veel mensen stoom noemen, maar het is waterdamp. Als je in de winter in de koude lucht ademt, zie je ook zoiets. Jij bent zeker geen stoomketeltje en toch komt er ook een wolkje waterdamp uit je mond.

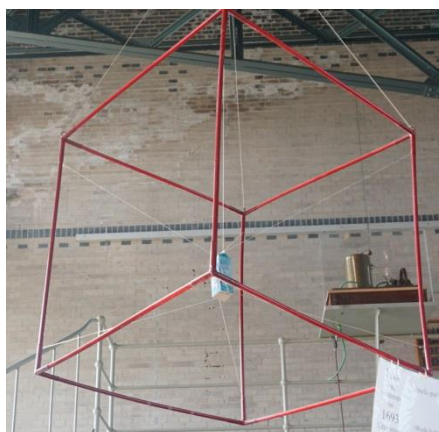
Dat komt omdat de atmosfeer behalve de gassen die we eerder hebben gezien ook waterdamp bevat. Soms veel, maar bij noordenwind weer minder. In een woestijn bevat de atmosfeer meestal nog minder waterdamp.

Stoom die afkoelt wordt ook weer waterdamp. Dus het gas dat wij stoom noemen wordt na afkoeling weer een vloeistof: water.

In het Stoommachinemuseum hangt een grote kubus met daarin een melkpak. Dat voorbeeld laat zien hoeveel liter stoom er uit 1 liter water (het melkpak) gemaakt kan worden. En dat is precies 1693 liter stoom. Voor het gemak ronden we dat af op 1700 liter stoom. Dat wordt voorgesteld door de rode buizen, die samen een kubus vormen met de inhoud van 1700 liter.

Als je die stoom gaat afkoelen krijg je weer 1 liter water. En de rest? Dat wordt NIETS. Ofwel een (gedeeltelijk) *vacuüm*. Je mag het ook *onderdruk* noemen.

In het Stoommachine doen we vaak een proefje met een colablikje. Dat zetten we op het pijpje van het flesje zoals dat hierboven staat. We laten er stoom in lopen en daarna dompelen we het met de open kant naar onder in een teiltje met koud water. Je kunt het zelf proberen.



Daarvoor is nodig:

- een fluitketeltje
- een leeg blikje
- een teiltje met koud water

### Proef 3

**Kijk uit, want de stoom heeft een temperatuur van 100 graden C. en kan brandwonden veroorzaken!!**

(Zie de disclaimer aan het begin van deze tekst).

- 1 Laat het water koken zonder fluit op de ketel. Je hoort aan het geluid dat het water kookt.
- 2 Trek twee dikke ovenhandschoenen aan.
- 3 Houd het blikje 30 tellen boven de stoom uit de ketel.
- 4 Druk het dan snel met de open kant in het teiltje met koud water.



Het blikje wordt gevuld met stoom



Na onderdompelen in koud water...

Wat is er gebeurd?

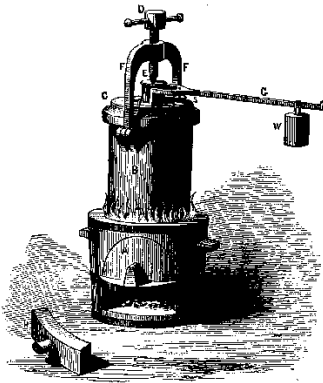
De stoom in het blikje is plotseling afgekoeld en weer water geworden. Misschien maar één druppeltje. Maar er is ook een onderdruk ontstaan, dus een lagere druk dan de luchtdruk om ons heen. Nou, die luchtdruk om ons heen heeft zijn kans gezien en het blikje in elkaar gedrukt. Want op elke vierkante centimeter drukt immers een kilogram.

“Ja”, hoor ik je nu zeggen, “er kwam veel meer dan een druppel water uit!” Dat klopt. Omdat er toch nog een flinke opening in het blikje zit, is er ook meteen wat water meegezogen.

### Denis Papin

De Fransman Papin leefde van 1647 tot 1712. Hij was natuurkundige en uitvinder. Hij vond een kookketel uit die hij kon afsluiten. In zo'n afgesloten ketel gaat het water bij een hogere temperatuur koken, dus het voedsel is sneller gaar.

In de ketel deed hij aardappelen of groenten en wat water. Dan stak hij het vuur onder zijn ketel aan. Daarna bracht hij de inhoud van de ketel aan de kook maar omdat hij de ketel had afgesloten, kon de druk flink oplopen. Om te voorkomen dat de ketel zou exploderen, maakte hij bovenop het deksel een klep die bij een te hoge druk de stoom liet weglopen. In de tekening op de volgende bladzijde wordt die klep dicht gehouden door een staaf met een gewichtje eraan.

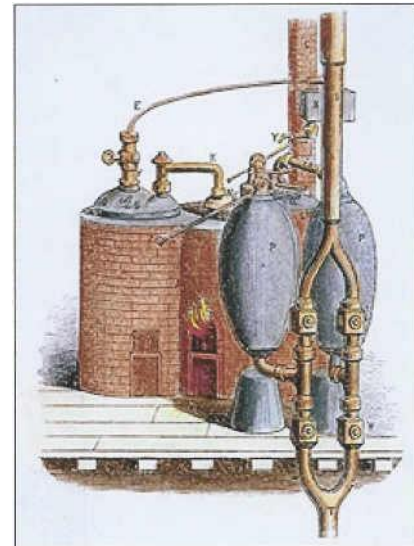


Papin heeft hiermee twee belangrijke zaken uitgevonden. Ten eerste de **snelkookpan** en ten tweede de **stoomketel**.

Die snelkookpan is erg handig als je hoog in de bergen woont. Omdat de temperatuur van kokend water daar normaal nooit de 100 graden haalt, kun je er bijvoorbeeld aardappelen ook nooit gaar krijgen, maar onder druk wel. Hier in het lage Nederland heb je ook plezier van een snelkookpan omdat voedsel bij een hogere temperatuur veel sneller gaar is. Vandaar de naam "snelkook"pan. En zijn stoomketel? Die werd bij alle latere stoommachines gebruikt. De meeste waren veel groter dan zijn snelkookpan.

### Thomas Savery

Deze Engelsman leefde van 1650 tot 1715 en was ingenieur en uitvinder. Hij kende ook het effect van het afkoelen van stoom, zoals we net gelezen hebben bij de proef met het blikje. Hij woonde in Zuidoost Engeland, een gebied waar veel steenkoolmijnen waren. Steenkool komt in lagen voor. Mijnwerkers groeven die lagen uit de grond en als die op zijn moest er dieper gegraven worden. Uiteindelijk werd er zo diep gegraven dat men last kreeg van grondwater. Gelukkig bestonden er al waterpompen die op de spierkracht van mensen en paarden werkten. Maar al snel was er iets nodig dat veel sterker was. Thomas Savery dacht de oplossing te hebben. Zijn pomp zie je hiernaast. Die werkt met ketels en kleppen. Zoals ons colablikje wat water naar binnen zoog omdat er bij het afkoelen een vacuüm ontstond, zo zogen de eivormige ketels van Savery water naar binnen. Vervolgens werd het water er weer met de stoomdruk van de ketel uitgeperst.



Deze pomp werkte echter langzaam en was ook niet geschikt om in de mijnen gebruikt te worden. Hij was echter wel geschikt voor de watervoorziening in Londen.

### Thomas Newcomen

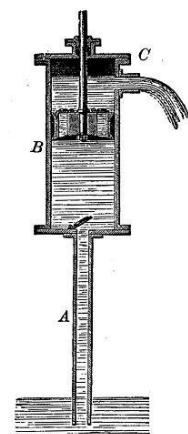


Deze uitvinder kwam ook uit Zuidoost Engeland en leefde van 1663 tot 1729. Zijn stoommachine, ook om mijnen leeg te pompen, werd de eerste machine waar je ook echt iets aan had.

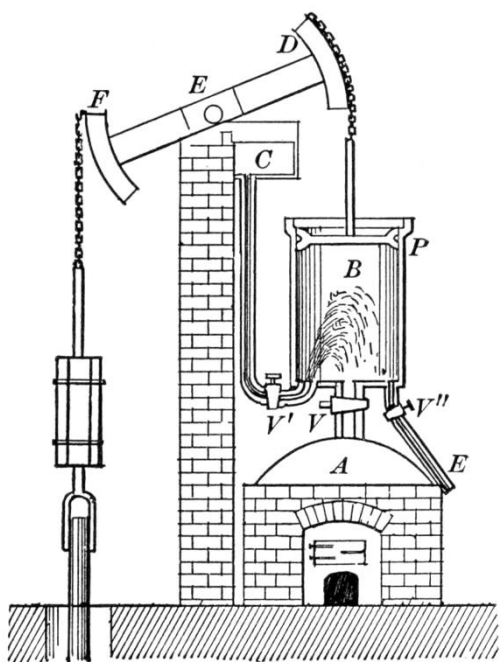
In het Stoommachinemuseum staat een mooi model van zijn stoommachine, beter bekend onder de naam **atmosferische** machine.

Waarom die naam gekozen werd kom je zo te weten.

De tekening van zijn machine staat op de volgende bladzijde. Links op die tekening zie je de pomp die het water uit de mijn moet pompen. Hiernaast zie je een tekening van zo'n pomp. Hij bestond toen uit een houten buis met daarin een zuiger. Verder zit er in



de onderkant van de pomp cilinder een klepje van leer en ook nog een in de zuiger . Als de zuiger in de pomp cilinder **B** omhoog getrokken wordt, duwt die het water naar boven, waar het kan weglopen bij **C**. Tegelijkertijd staat het klepje onderin **B** open, zodat er vers water aangezogen wordt. Als de zuiger weer naar beneden gaat, sluit dat klepje en gaat er een klepje in de zuiger open, zodat het water boven de zuiger kan stromen. Dit wordt steeds herhaald.



Als het water van diep uit de mijn moest komen kon het wel voorkomen dat er 60 meter water boven de zuiger van de pomp stond. Dat heeft een groot gewicht en er is dus ook een grote kracht voor nodig om het water naar boven te halen.

In de tekening hiernaast zie je de pomp links. Rechts zie je de stoommachine zelf en de beweging van de machine wordt door een soort “wip” of balans overgebracht op de ketting van de pomp (bij **F**). Je ziet dat Newcomen een deel van het gebouw gebruikt voor de constructie van zijn machine. De balans draait op het punt **E**. Het doet iets aan een ouderwetse weegschaal denken.

**A** is de stoomketel en **B** de cilinder. Die is van brons gemaakt en veel sterker dan ons blikje. Met kraan **V** laat men stoom uit de ketel in de cilinder komen. De zuiger (naast de letter **P**) zal graag omhoog gaan, want de pomp is d.m.v. de balans met de pomp ketting verbonden en er staat

een flink gewicht aan water op de pompzuiger.

Die kraan gaat dan weer dicht en dan laat men met kraan **V'** een straal koud water in de cilinder spuiten. De stoom koelt heel snel af en er ontstaat een vacuüm. De dikke cilinderwand wordt niet verkreukeld, maar de luchtdruk boven de zuiger, dus de atmosfeer, drukt die zuiger nu naar beneden en dat levert de pompslag (omhoog).

Het is dus eigenlijk de druk van de atmosfeer die de zuiger naar beneden drukt. Vandaar de naam “atmosferische machine”.

Met kraan **V''** laat men het koelwater en ook het condenswater weer wegstromen. Daarna kan alles opnieuw beginnen. Deze machine werkte al in het jaar 1712 en dit type is nog tientallen jaren gebruikt. In het begin moest een jongetje van een jaar of acht de kranen **V**, **V'** en **V''** bedienen, maar al snel kon men dit werk met drie stangen doen. Jammer voor het jongetje, want die mocht weer in de steenkoolmijn gaan werken...

Op deze website kun je een mooie animatie van de atmosferische machine van Newcomen zien:

<http://www.hansonline.eu/leerlink/stoomlinks.htm#newcomen>

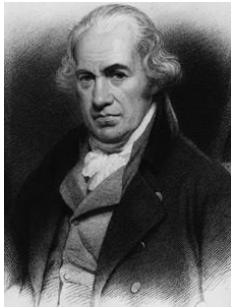
In het Stoommachinemuseum kun je zelf een mooi model van de Newcomen machine laten werken (zie rechts).

De ketel was van koperplaten gemaakt, net zoals de ketels van



de bierbrouwerijen. Daarom was de stoomdruk nog heel laag:  $0,33 \text{ kg/cm}^2$  of een derde  $\text{kg/cm}^2$ .

### James Watt, 1769



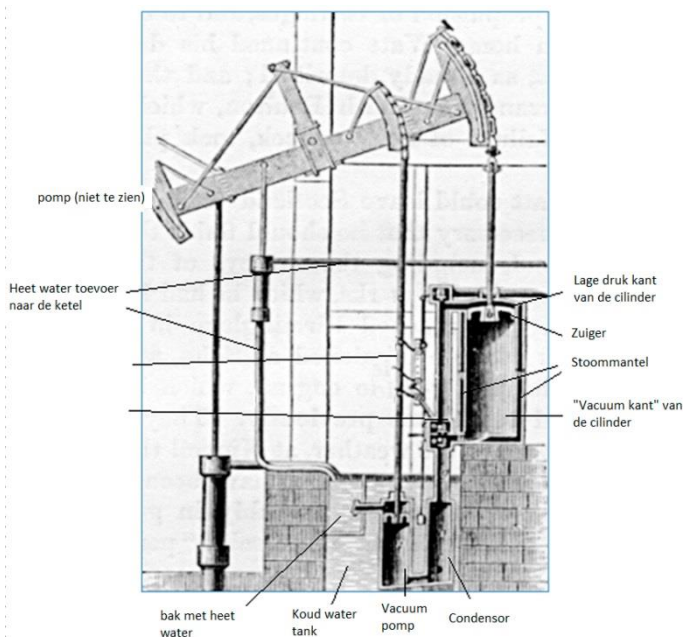
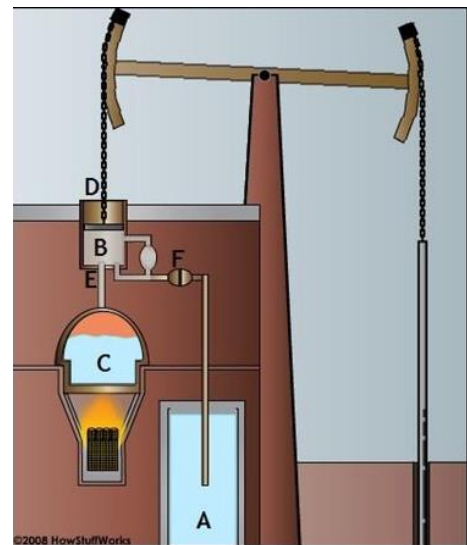
James Watt leefde van 1736 tot 1819 en was goed in het vak wiskunde. Na zijn studie in Londen ging hij terug naar Glasgow en begon daar een instrumentmakers bedrijf. Daar kreeg hij van alles in handen om te repareren; meetinstrumenten, telescopen, barometers, enz. Rond 1763 moest hij een model van de stoommachine van Newcomen repareren. Weet je trouwens dat men die machines toen “Vuur Machines” noemde? Het duurde nog heel lang voordat het woord Stoommachine gebruikt werd.

Na de reparatie van het model moest James het testen. Het viel hem op dat hij veel meer stoom onder de zuiger moest laten stromen dan nodig was. Wat zou dat toch zijn?

Hij ontdekte echter al heel snel dat de cilinder steeds afkoelde door de straal koud water. Het kostte heel wat stoom om de cilinder steeds weer op te warmen. Toen kwam Watt op het geniale idee om de stoom ergens anders te laten afkoelen.

In de tekening hiernaast zie je bij **C** de stoomketel en de ruimte **B** onder de zuiger is de ruimte die bij Newcomen steeds werd afgekoeld. James Watt wist natuurlijk ook wel dat als je stoom afkoelt, je een vacuüm krijgt. Maar hij deed dat nu in een apart “blik”, de *condensor*. Op de tekening is dat het vat **A** dat in koud water staat.

Als de klep **F** werd opengezet liep de stoom naar de



koude condensor en door het vacuüm dat ontstond bij het afkoelen ontstond niet alleen een vacuüm in **A** maar, via de buis naar de cilinder, ook in het cilinder gedeelte **B**.

Dit was een fantastische vinding, want nu had men minder stoom nodig en dat scheelde ook brandstof. Deze machine was maar liefst *driemaal zuiniger* dan die van Newcomen.

In 1769 kreeg James Watt *patent* op de machine en vooral op zijn uitvinding, de condensor.

Door dit patent was James Watt de enige die deze machine mocht maken. Hij had anderen wel een vergunning

(een licentie) kunnen geven om tegen betaling deze machine ook te mogen bouwen, maar

dat deed hij niet. Links zie je een tekening van de complete machine. Je ziet in de tekening ook het woord *vacuümpomp* staan. Die zuigt het condenswater uit de condensor en dat kan weer gebruikt worden in de stoomketel.

Deze machine is net als die van Newcomen een *enkelwerkende* machine. Dat betekent dat maar één slag de arbeid levert en dat gebeurt wanneer de zuiger door de atmosfeer naar beneden gaat. Ook deze stoommachine van James Watt is een atmosferische machine. Zie ook: <http://www.hansonline.eu/leerlink/stoomlinks.htm#watt1769>

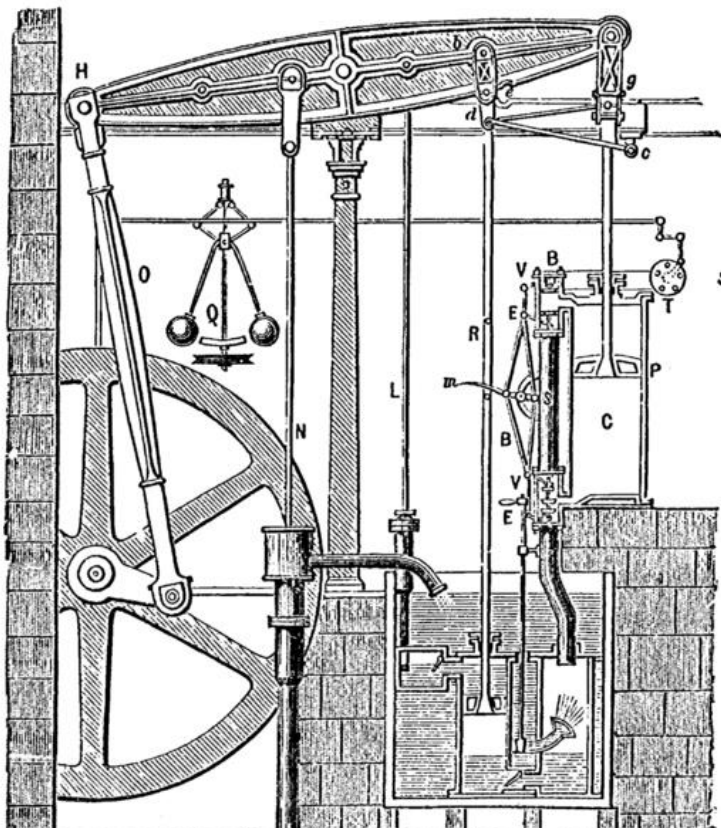
De bouw van de eerste machine op ware grootte kostte veel geld. Zoveel, dat Watt bij een rijke fabrikant aanklopte. Dit was *John Roebuck*, die een metaalfabriek bezat. Het geld zat nu dus wel goed, maar waar kon je mensen vinden die heel erg precies konden werken? De meeste deskundigen waren eigenlijk nog gewoon smid.

Dan gaat Roebuck failliet en *Matthew Boulton* neemt het over. Boulton bezit de *Soho Manufactory* bij de Engelse stad Birmingham. Deze fabriek maakt gespen, knopen, munten, medailles, sluitinkjes en ander klein spul. Het is de eerste fabriek die *massaproductie* levert. Boulton laat James Watt in 1775 een vernieuwd patent aanvragen, waarin nu behalve de enkelwerkende machine en de condensor ook de nieuwe *dubbelwerkende* machine wordt beschreven. Boulton weet het zelfs voor elkaar te krijgen dat dit patent maar liefst tot 1800 doorloopt. Hun machines worden gemaakt onder de naam *Boulton & Watt*.

### James Watt, 1784

Ondertussen is James Watt al aan het denken over de dubbelwerkende stoommachine. Hij vindt het zonde dat de atmosferische machine van 1769 maar bij één slag zijn arbeid levert. Maar het duurt een tijd voordat hij de eerste kan bouwen. Er is zoveel vraag naar de enkelwerkende machine met condensor, dat hij eigenlijk niet aan het bouwen toekomt. Maar

hij kan alvast wel veel denkwerk doen.



De machine hiernaast is zo'n dubbelwerkende machine. Maar wel van een latere periode, want hij heeft een krukas en een gietijzeren balk bovenaan. Ene meneer Pickard had namelijk patent op de krukas en daarom moest Watt eerst met tandwielen werken.

Bij de dubbelwerkende machine werd aan twee zijden van de zuiger stoom toegevoerd. Daarom leverde deze cilinder **C** kracht bij elke slag omhoog of omlaag. Watt moest nu een stang gebruiken in plaats van een ketting en moest ook een manier vinden om de stang bovenaan af te dichten, anders liep de stoom eruit. Ook de zuiger moest een



betere afdichting krijgen.

Net als de afbeelding op blz. 7 zie je hier ook de condensor (nu met de "douchekop") en de pomp om het condenswater weg te zuigen. Als je goed kijkt zie je ook nog een pomp voor het vliegwiel getekend (aan de stang **N**). Die zorgt voor het verse koelwater van de bak. Het bijzondere is dat deze machine een *draaiende beweging* kan maken. Daarmee kun je de rosmolen, de windmolen en watermolen vervangen. Zo kun je ook een fabriek beginnen op plaatsen waar weinig wind is of geen riviertjes stromen. Of waar te weinig stromend water is.

Je ziet dat er nog steeds - net als bij Newcomen- een gebouw nodig is als onderdeel van de stoommachine. Pas na 1800 gaat dat veranderen.

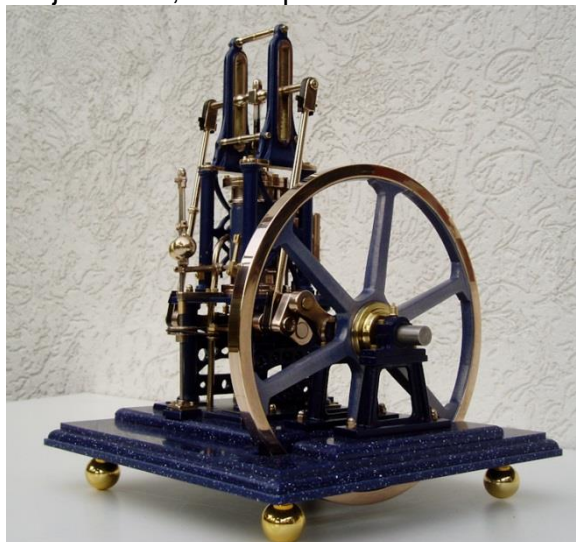
De foto rechts laat een vroege machine van Boulton & Watt zien met een tandwielstelsel in plaats van een krukas. En de machine is nog voor een groot deel van hout.



Het jaar 1784 wordt vaak aangehouden als geboortjaar van de dubbelwerkende stoommachine, maar in 1782 worden al de eerste geplaatst bij Boulton & Watt en de aardewerkfabriek van Wedgwood.

Zie ook: <http://www.hansonline.eu/leerlink/stoomlinks.htm#watt1784>

Door het verlengde patent op de stoommachines van James Watt kon eigenlijk niemand een zuinige stoommachine bouwen. Want als je een condensor gebruikte, kreeg je problemen met het patent van Watt. En zonder een condensor kon je een machine niet zuinig maken. Dus je ziet dan ook dat er eigenlijk weinig nieuwe machines worden bedacht door anderen. Na juni 1800, als het patent van Boulton & Watt afloopt, gaat dit sterk veranderen.



Hiernaast zie je bijvoorbeeld een model van een *tafelmachine* van de Engelsman Henry Maudslay. De oorspronkelijke bedenker hiervan was *James Sadler*, in 1803. Dit was de eerste machine die zelfstandig geplaatst kon worden en daarom geen speciaal gebouw nodig had. Deze machine kon ook dichter bij het werk in de fabriek opgesteld worden.

Hans Walrecht

opmerkingen s.v.p. naar:  
[stoom@hansonline.eu](mailto:stoom@hansonline.eu)