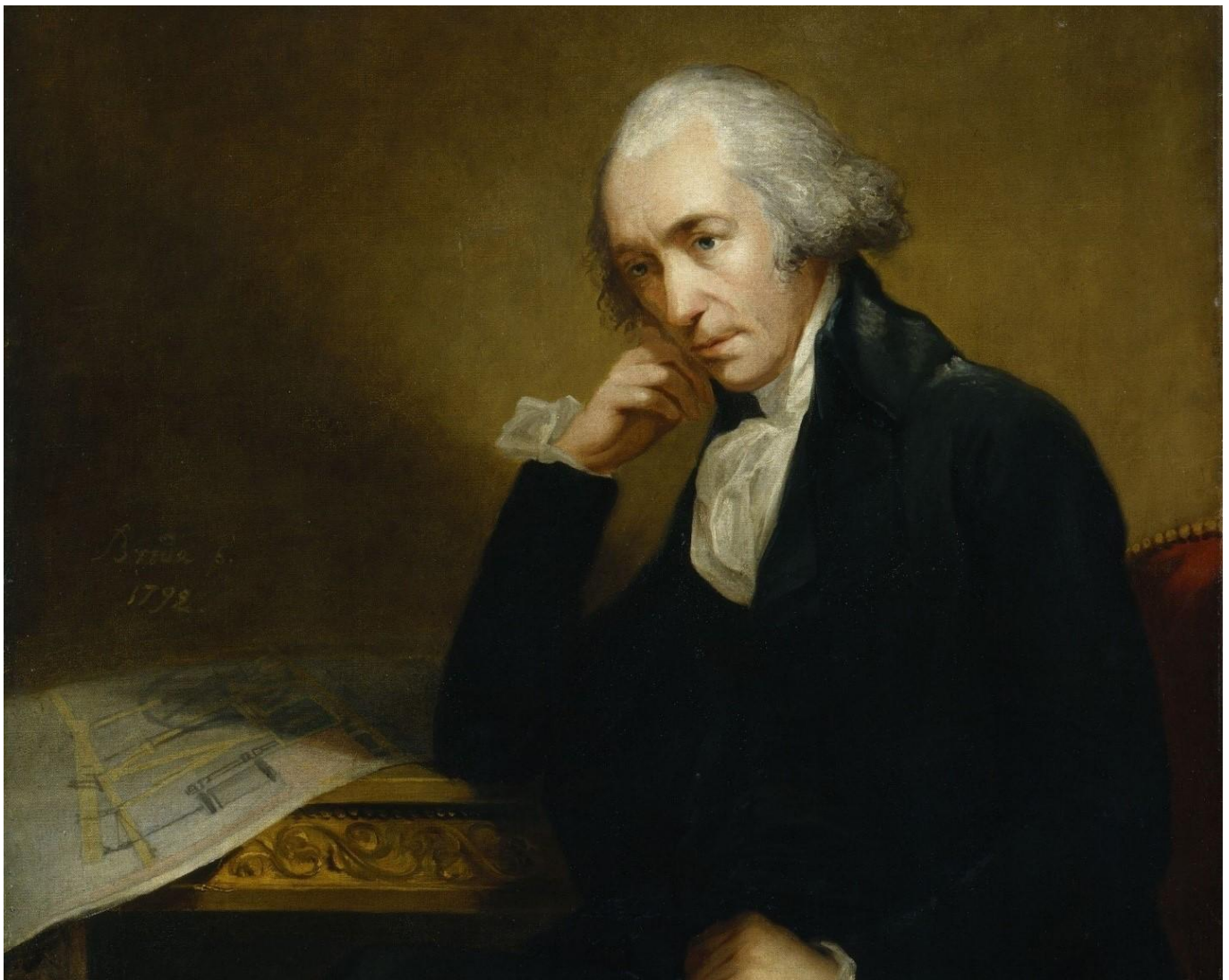


Watt's got the power

De naam Watt kennen veel mensen als de eenheid van vermogen. James Watt was een Schotse uitvinder, vandaag precies 282 jaar geleden geboren. Hij heeft weliswaar geen revolutionaire natuurkundige theorieën bedacht, maar zijn verbetering van de stoommachine zette de industriële revolutie op gang en heeft de wereld voor altijd veranderd.



Afbeelding 1. James Watt. Afbeelding van [Wikipedia](#).

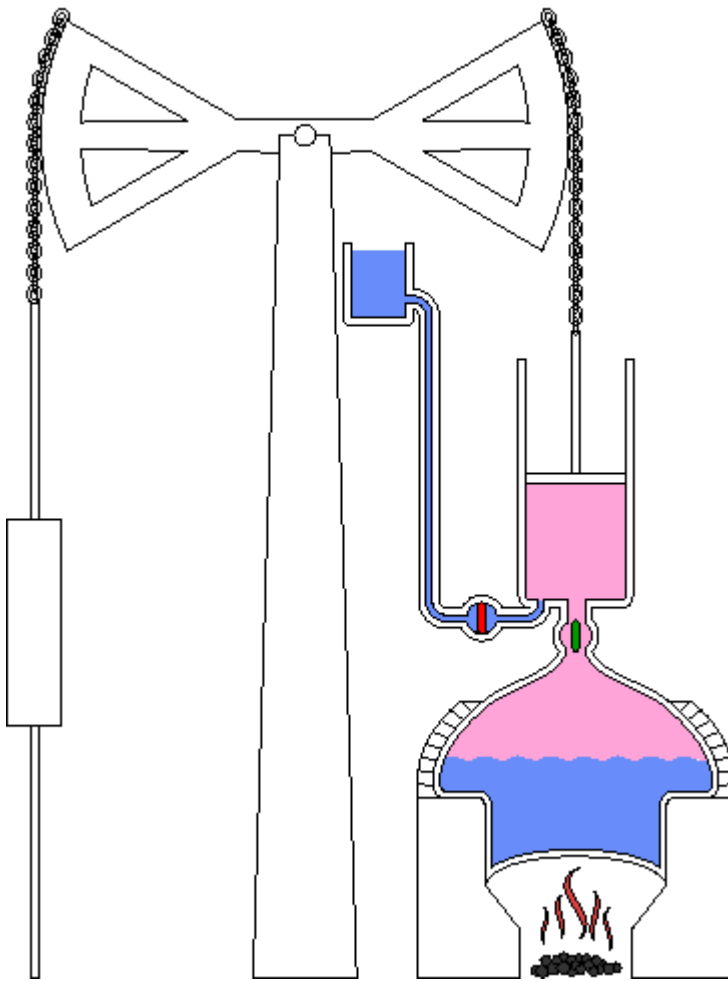
Op 19 januari, 1736, nog voordat de industriële revolutie was begonnen, werd James Watt geboren in Greenock, Schotland. Watt was praktisch ingesteld, en op school was hij goed in

wiskunde maar minder geïnteresseerd in Latijn en Grieks, de talen van de wetenschap en filosofie. Toen Watt achttien was, overleed zijn moeder en vertrok hij naar Londen om een jaar lange opleiding tot instrumentmaker te volgen. Hierna verhuisde hij naar Glasgow om zijn eigen instrumentmakerij op te richten, en 1756 kreeg hij zijn eigen werkplaats aan de universiteit van Glasgow. Hier repareerde Watt wetenschappelijke instrumenten, wat niet alleen vakmanschap, maar ook een begrip van de wetenschappelijke context achter de instrumenten vereiste.

Het verbeteren van de stoommachine

Watts grootste prestatie was zijn verbetering van de stoommachine. Hij had zelf nog nooit een werkende stoommachine gezien, totdat hij in 1763 door de universiteit gevraagd werd om een stoommachine van de uitvinder Thomas Newcomen te repareren. Deze stoommachines werden gebruikt in de mijnbouw om water uit mijnen te pompen, als vervanging voor een door paarden aangedreven pomp. Newcomens machine, zie afbeelding 2, werkte als volgt:

1. De stoomcilinder wordt gevuld met stoom via een kraan.
2. De zuiger in de stoomcilinder wordt door het gewicht van de via een hefboom gekoppelde pompzuiger omhooggetrokken.
3. De kraan om stoom binnen te laten wordt gesloten, en een kraan die water binnenlaat wordt eventjes geopend.
4. Het water dat de cilinder binnenstroomt koelt de stoom af, zodat het condenseert.
5. De onderdruk in de stoomcilinder trekt de zuiger naar beneden. Hierdoor wordt de pompzuiger weer omhooggetrokken.
6. Het proces wordt herhaald.



Afbeelding 2. De stoommachine van Newcomen. Animatie: [Wikipedia](#)

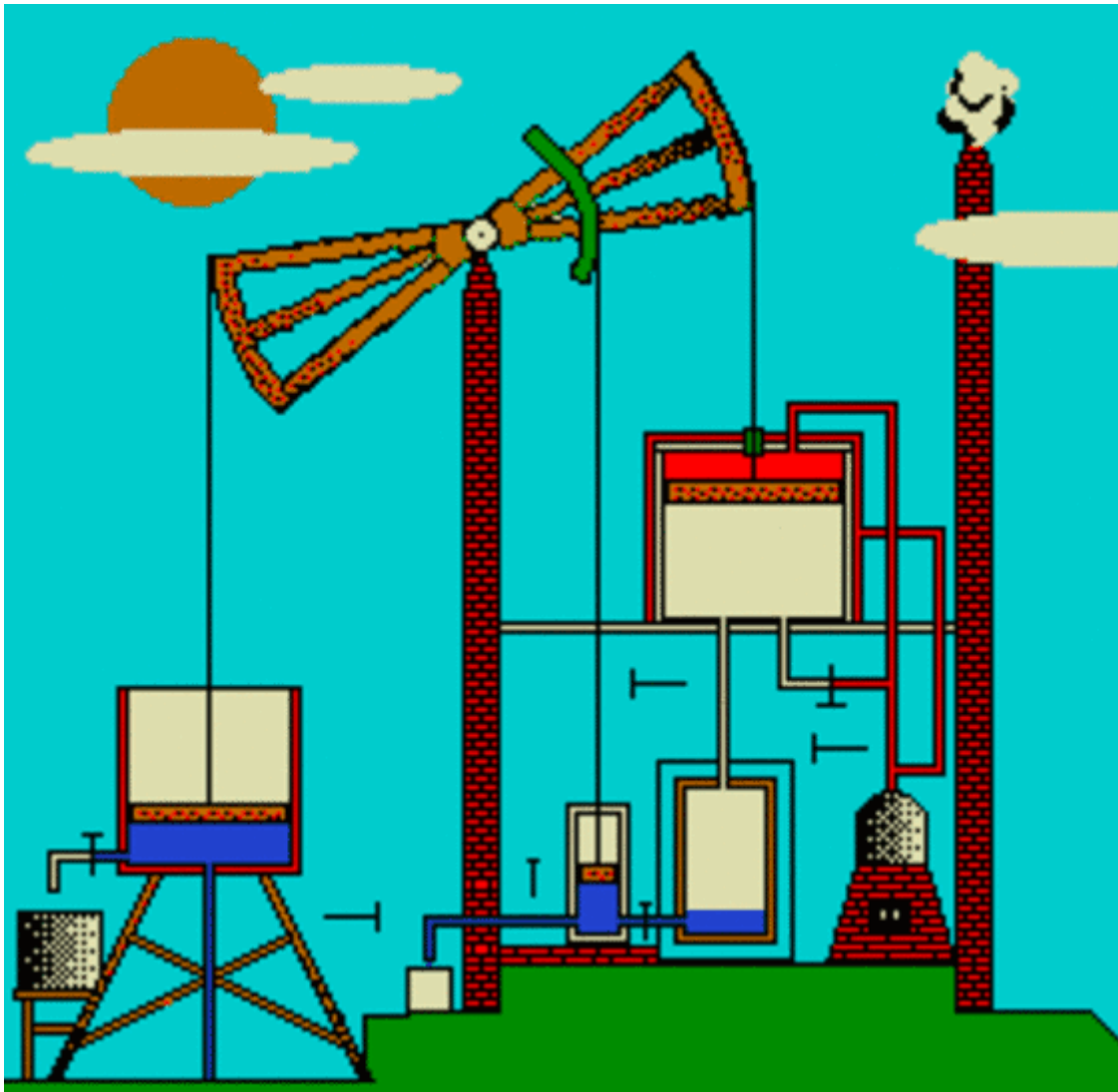
Newcomens stoommachines waren tot op zekere hoogte makkelijker om te verzorgen dan paarden, en de steenkool uit de mijnen waar ze stonden kon gebruikt worden als brandstof. Wel gebruikte zo'n machine zoveel steenkool, dat die *alleen* gebruikt kon worden bij mijnen, omdat het transporteren van de benodigde steenkool van elders te duur zou zijn. Ook waren er per machine twee personen nodig om haar werkend te houden: een stoker en een kranenbediener. Het ontwerp van deze stoommachines was al zo'n vijftig jaar onveranderd gebleven, maar met het repareren ervan realiseerde Watt waarom dat ontwerp zo inefficiënt was.

Watts idee

Zijn grote doorbraak was de realisatie dat het continu opwarmen en afkoelen van de stoomcilinder in Newcomens ontwerp heel veel energie verspilde. Watt bedacht dus, in 1765,

dat het veel slimmer zou zijn om het condensatieproces apart te houden (in een zogeheten *condensor*), zodat de stoomcilinder warm kan blijven. Om dit te doen, paste hij Newcomens model op een paar manieren aan. Zijn verbeterde stoommachine, zie afbeelding 3, werkt als volgt:

1. De zuiger wordt door het gewicht van de via een hefboom gekoppelde pompzuiger omhooggetrokken. Hierbij wordt er ook stoom de stoomcilinder ingelaten. Tegelijkertijd wordt de condensor leeggezogen door een luchtpomp, die ook met de hefboom verbonden is. (Het weggezogen warme water uit de condensor wordt weer teruggompt naar de boiler.)
2. Wanneer de zuiger helemaal boven is, sluit de kraan die stoom binnenlaat, en opent de kraan naar de condensor.
3. De stoommantel (boven de zuiger) staat onder atmosferische druk, en de condensor staat onder vacuüm, waardoor de stoom de condensor binnengezogen wordt, en de zuiger naar beneden getrokken wordt. De stoomcilinder blijft door de stoommantel warm, terwijl de stoom afkoelt in de koele condensor.
4. De neerwaartse beweging van de zuiger trekt meer stoom van de ketel de stoommantel in. De zuiger van de luchtpomp zakt tegelijkertijd ook weer.
5. Het proces wordt herhaald.



Afbeelding 3. De Watt-stoommachine. Animatie van [Giphy](#).

Watt had een goed ontwerp, en binnen een jaar had hij ook een werkend model gebouwd, maar de uitwerking op volle schaal bleek moeilijk. Het grootste probleem was dat de stoomcilinder en de zuiger precies in elkaar moesten passen – iets waar de smeden toentertijd moeite mee hadden. Ook was Watt veel geld kwijt aan het kopen van de patenten voor zijn ontwerp, en had hij weinig geld over voor het realiseren ervan. Pas elf jaar later, mede door de financiële steun van zijn zakenpartner Matthew Boulton, lukte het om de machine te commercialiseren. In 1776 werden de eerste werkende exemplaren geproduceerd.

Hoeveel is een paard waard?

Of, wat dat betreft, een stoommachine? De eerste versie van Watts ontwerp was ongeveer

vier keer zo efficiënt als het ontwerp van Newcomen, en latere verbeteringen verhoogden het rendement nog meer. Hiermee was het redelijk lucratief voor mijneigenaren die een Newcomen-stoommachine hadden om over te stappen naar een machine van Watt, omdat zij er veel steenkool mee bespaarden. Het was moeilijker om de mijnen die nog geen stoommachine hadden, en ouderwetse rosmolens gebruikten, ervan te overtuigen dat Watts machine de aanschaf waard was. Daarom bedacht Watt dat, als hij het vermogen van zijn stoommachines zou kunnen vergelijken met hoeveel paarden hetzelfde vermogen zouden hebben, meer mensen zijn uitvinding zouden willen aanschaffen. Om dit te doen, bedacht hij een nieuwe eenheid van vermogen: de *paardenkracht*.

Door paarden aan rosmolens te observeren, berekende Watt dat een paard de molen 144 keer per uur, of 2,4 keer per minuut, kon draaien. Het wiel van de molen had in dit geval een straal van 12 voet (3,7 meter), dus bewoog het paard $2,4 \times 2\pi \times 12$ voet per minuut. Watt schatte dat het paard ongeveer kon trekken met een kracht van 180 pond-kracht (180 lbf, ongeveer 800 N). Het vermogen van een paard is dus:

$$1 \text{ pk} = \frac{180 \text{ lbf} \times 2,4 \times 2\pi \times 12 \text{ ft}}{1 \text{ min}} = 32.527 \frac{\text{lbf} \cdot \text{ft}}{\text{min}} \approx 33.000 \frac{\text{lbf} \cdot \text{ft}}{\text{min}}$$

Deze laatste eenheid werd decennialang veelvuldig gebruikt. Jaren later, in de 19^e eeuw, werd James Watt vereerd door een nieuwe eenheid van vermogen naar hem te vernoemen: de watt, gelijk aan een vermogen van één joule per seconde. 1 paardenkracht is ongeveer gelijk aan 746 watt.

De industriële (stoom)revolutie

Met Watts stoommachine konden mijnen tot veel verder onder het grondwaterpeil gegraven worden, waardoor hun productie erg toenam. Binnen een paar decennia was de stoommachine al zodanig verbeterd dat hij ook in andere sectoren meer gebruikt kon worden, zoals in de textielnijverheid. Hierdoor daalden de productiekosten van vele goederen, mede door schaalvergroting van het industriële proces, enorm. In de 19^e eeuw kwam ook de stoomrevolutie in de transportsector, met de opkomst van de stoomtrein. Groot-Brittannië, en de rest van de wereld, waren voor altijd veranderd.