

Geschiedenis van stoom tot ca 1900

Door: Barend van Horssen

De uitvinding en eerste ontwikkelingen van stoomwerktuigen.

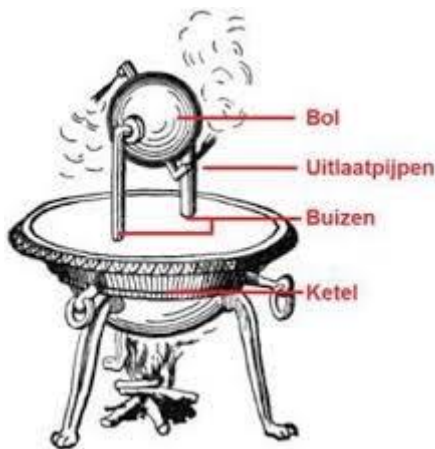
De geschiedenis van de stoomontwikkeling gaat terug naar het tijdperk van vóór onze jaartelling.

Archimedes was de eerste uitvinder. Reeds in de derde eeuw voor Christus bedacht deze Griekse ingenieur een praktische toepassing voor het feit dat water, bij het toevoeren van voldoende warmte energie, een faseovergang ondergaat. Het verdampt en gaat over in gasvorm. Hij paste dit toe in een zogenaamd Stoomkanon.

Archimedes heeft mogelijk een stoomkanon gebruikt om Romeinse schepen met brandende projectielen te vernietigen, stelde ingenieur Cesare Rossi van de Napolitaanse universiteit Federico II op een conferentie in Syracuse.

Rossi denkt dat de zon, via holle spiegels, water in het kanon zou hebben verhit tot stoom. Het apparaat verschoot heuse brandbommen van 6 kilogram, gevuld met zwavel, bitumen, pek en calciumoxide. Hij heeft berekend dat ze ongeveer 150 meter ver konden komen. Hij stelt als bewijs daarvoor dat in 2006 een team van het Amerikaanse Massachusetts Institute of Technology in Cambridge een dergelijk kanon heeft gebouwd en met succes heeft getest.

Het eerste daadwerkelijk functionerende apparaat dat als 'stoommachine' aangeduid kan worden werd al ontwikkeld door een zekere Heron, in 10-70 Anno Domini.



De Aeopile van Heron.

Een **Aeopile** is een soort panvormige ketel waarin water wordt verwarmd tot boven $100^{\circ}C$, waardoor uiteindelijk stoom wordt gevormd. Deze stoom wordt via twee staande buizen naar een bol vervoerd die op die buizen rond kan draaien.

De stoom ontsnapt uit deze bol via twee uitlaatpijpjes en botst op een haaks omgezet stukje van deze pijpjes.

De snel ontsnappende stoom geeft aan de metalen pijpjes een tegenovergestelde kracht, een reactiekracht, die de bol doet ronddraaien.

De naam werd afgeleid van het Griekse **Aeolis**. Dit is de Griekse god van de wind en *pila* betekent bal (omwille van de bolvormige drukkamer).

Het is een vroeg voorbeeld van de toepassing van de alom bekende derde wet van Newton:

actie = reactie.

Daarmee is het tevens het vroegst bekende voorbeeld van een stoommachine en een voorloper van de stoomturbine, de straalmotor en de raket.

Er kon echter geen praktische toepassing aan deze vinding gekoppeld worden omdat in die tijd de handarbeid meestal door slaven werd uitgevoerd, die in voldoende aantallen aanwezig waren.

Geschiedenis van stoom tot ca 1900

De Zuigerstoommachine.

De eerstvolgende in de geschiedenis die zich met stoommachines bezig hield was de Spanjaard Blasco de Garay in 1543. En, ruim 100 jaar later, een andere uitvinder de Fransman, Denis Papin. In 1690 vond hij de eerste zuigerstoommachine uit. Deze machine functioneerde als volgt:

Papin gebruikte een zuiger met een cilinder waarin hij onderin een beetje water aan de kook bracht. De stoomdruk liet de zuiger omhoog gaan. Dan haalde hij het vuur weg. De ruimte onder de zuiger koelde af, de stoom condenseerde en er ontstond een vacuüm. De atmosferische druk duwde dan de zuiger naar beneden en hees de gewichten op.

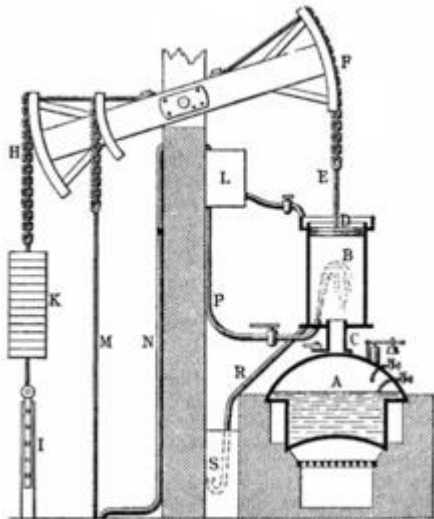
Stoom heeft nl een 1700 maal zo'n groot volume als het volume water wat er voor wordt gebruikt.

Helaas werkte zijn machine zeer inefficiënt en was daardoor economisch niet haalbaar.

In feite had hij hier alles gedemonstreerd waar anderen later op door konden gaan: de drukkracht van stoom en die van de atmosfeer.

Thomas Savery en Thomas Newcomen

De Engelse uitvinder Thomas Savery verkreeg als eerste patent op een stoommachine in 1698. Zijn machine was bedoeld om water uit mijnen te pompen en kreeg dan ook de naam van: *Engine to raise water by fire*. Zijn machine kon water, in twee stappen, eerst tot een hoogte van 9 meter oppompen door gebruik te maken van het drukverschil dat ontstond als stoom condenseerde en daarna met een stoompomp opvoeren tot 15 meter.



De stoommachine van Newcomen.

Een andere Britse uitvinder, Thomas Newcomen, combineerde de techniek van de machine van Savery met de zuigerstoommachine van Papin en bracht de kracht van de expanderende- en daarna condenserende stoom via kettingen en balansarmen over naar verticale pompen. In 1712 bouwde Newcomen zo een beter functionerende atmosferische stoommachine met de stoomcilinder bovenop de stoomketel, die daadwerkelijk in de 18^e eeuw veel Britse mijnen van water heeft ontdaan. Een nadeel was dat ook deze stoommachine nog niet erg efficiënt was mede door de omslachtige handbediening (door minimaal twee man), en het laten condenseren van de stoom in de stoomcilinder dmv het inspuiten van koud water. De eerste echte stoommachine was

dus een 'atmosferische' machine of onderdrukmachine. Men noemt ze een atmosferische machine omdat de atmosferische druk het werk doet. De machine werkt als volgt:

- Via een kraan laat men stoomdruk in de stoomcilinder.
- De zuiger gaat omhoog.
- Daarna sluit men de kraan en opent de ernaast gelegen waterkraan.
- Hierdoor stroomt een beetje water in de cilinder. Hierdoor condenseert de stoom in de cilinder.
- De zuiger heeft nu onderaan onderdruk en erboven staat atmosferische druk plus het gewicht van de onevenwichtige hefboom.
- De zuiger gaat omlaag. De machine werkt op de onderdruk die ontstaat door condensatie van stoom.

Geschiedenis van stoom tot ca 1900



Stoommachine van Watt-Boulton.

De Schotse uitvinder James Watt kreeg, in 1763 van de universiteit van Glasgow, de opdracht om een kapotte Newcomen-stoommachine te repareren. Hij kwam op de proppen met een aantal verbeteringen,

Watt constateerde dat de stoommachine veel energie verloor doordat de zuiger en de cilinder in de machine steeds werden afgekoeld en daarna weer verhit moesten worden.

Watt ging op zoek naar een oplossing en vond die een jaar later. Hij bouwde een stoommachine waarbij de stoom niet

in de cilinder zelf werd gecondenseerd, maar in een apart condensatievat. In 1769 patenteerde hij deze methode.

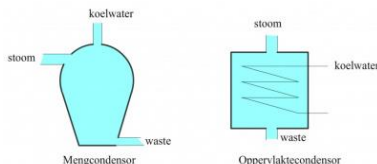
Mede met behulp van zakenman Matthew Boulton slaagde Watt er in 1784 in om zijn eerste dubbelwerkende stoommachine te bouwen, die in datzelfde jaar gepatenteerd werd en die maar liefst 75 procent minder kolen verbruikte dan de oude stoommachine.

Condensatie principe en algemene werking.

De condensor is de grote uitvinding van James Watt, en is cruciaal voor de werking van zijn stoommachine. Met behulp van een condensor kan stoom geforceerd teruggebracht worden tot de fase van water. Door de condensatie wordt het watervolume 1700 maal kleiner dan het stoomvolume. De overblijvende ruimte kan in een afgesloten condensor niet opgevuld worden waardoor alleen een vacuüm overblijft. Dit vacuüm veroorzaakt een kracht waardoor een beweging gecreëerd kan worden. Tot de dag van vandaag vormt de condensor een belangrijk onderdeel van vrijwel iedere stoomkrachtinstallatie.

Types condensor.

Er zijn twee soorten condensors in gebruik, de oppervlaktecondensor en de mengcondensor.



De oppervlaktecondensor bestaat uit een koude spiraalvormige koelwaterleiding waartegen de stoom condenseert. Er ontstaat

slechts weinig condensaat en dit condensaat heeft een kwaliteit die vrijwel gelijk is aan gedestilleerd water.

Dit condensaat wordt vaak gebruikt als ketelvoedingwater. En vooral op zeeschepen is dit een belangrijke toepassing. Als koelmedium wordt meestal water gebruikt.

In de mengcondensor wordt de afgewerkte stoom gemengd met water. Hierdoor ontstaat een grote hoeveelheid opgewarmd water. Dit water heeft een kwaliteit gelijk aan de kwaliteit van het koelwater. Bevat het koelwater veel kalk en/of slib dan bevat het condensaat dat ook. Het water uit een mengcondensor is dus slecht te gebruiken als ketelwater.

Bij een mengcondensor hoort een natte luchtpomp. Deze pomp handhaaft het vacuüm en verwijdert niet alleen het mengsel van koelwater (injectiewater) en gecondenseerde afgewerkte stoom, maar ook de lucht die door allerlei oorzaken in de condensor komt. Deze lucht komt uit het beetje lucht dat altijd in het koelwater aanwezig is en door lekjes in de condensor. Verder bevat de condensor ook altijd wat waterdamp. Waar water is daar is ook altijd waterdamp. Deze waterdamp moet ook weggepompt worden. Ten gevolge van de

Geschiedenis van stoom tot ca 1900

waterdamp is het niet mogelijk in een mengcondensator een volledig vacuüm te creëren, de resterende waterdamp laat altijd wat druk achter.

Machines, werkend met of zonder Condensatie.

Bij een stoommachine, werkende met condensatie, wordt de afgewerkte stoom naar een condensator geleid om hierin tot water te worden verdicht terwijl bij een machine, werkende zonder condensatie, de afgewerkte stoom in de buitenlucht ontwijkt.

Deze laatste soort machines noemde men soms wel hogedrukmachines, waarmee men zeggen wilde dat deze machines werkten met hoge, dit is atmosferische, tegendruk.

Deze afgewerkte stoom waarvan de spanning iets hoger is dan de dampkringdruk, bezit nog een grote hoeveelheid warmte energie waarvan, bij een doelmatige inrichting, nog een groot deel in mechanische arbeid kan worden omgezet.

Daartoe zou aan de installatie een uitbreiding moeten worden gegeven die in sommige gevallen op zulke ernstige praktische bezwaren stuitte, dat men met een minder gunstig stoomverbruik genoegen nam. (stoomlocomotieven, heimachines).

De voordelen, verbonden aan het werken met condensatie, zijn:

- * de tegendruk achter de zuiger kan ongeveer 1 atm. kleiner zijn, waardoor de nuttige zuigerdruk ongeveer 1 kg per vierkante centimeter groter is;
- * de ketel kan worden gevoed met warm water van ca 70°C, het geen een belangrijke brandstofbesparing met zich meebrengt
- * het voedingwater kan zuiver gedestilleerd water zijn en dit voordeel is van belang met het oog op de levensduur van de ketel en op de onderhoudskosten.

De machines, werkende met condensatie, worden weer gesplitst in twee soorten, namelijk: A. machines, werkende met oppervlakcondensatie; B. machines, werkende met injectiecondensatie.

A. Machines, werkende met oppervlakcondensatie.

Bij deze machines wordt de afgewerkte stoom in de condensator tot water verdicht, door hem in aanraking te brengen met gekoelde oppervlakken gevormd door een groot aantal nauwe dunwandige, metalen pijpjes waardoor afkoelingswater stroomt.

Het grote voordeel valt hier ogenblikkelijk op.

De afgewerkte stoom blijft gescheiden van het afkoelingsmiddel, zodat zuiver water voor ketelvoeding beschikbaar is.

Aan boord van schepen met stoomvermogen heeft men vrijwel zonder uitzonderingen oppervlakcondensatie.

B. Machines, werkende met injectiecondensatie of mengcondensators.

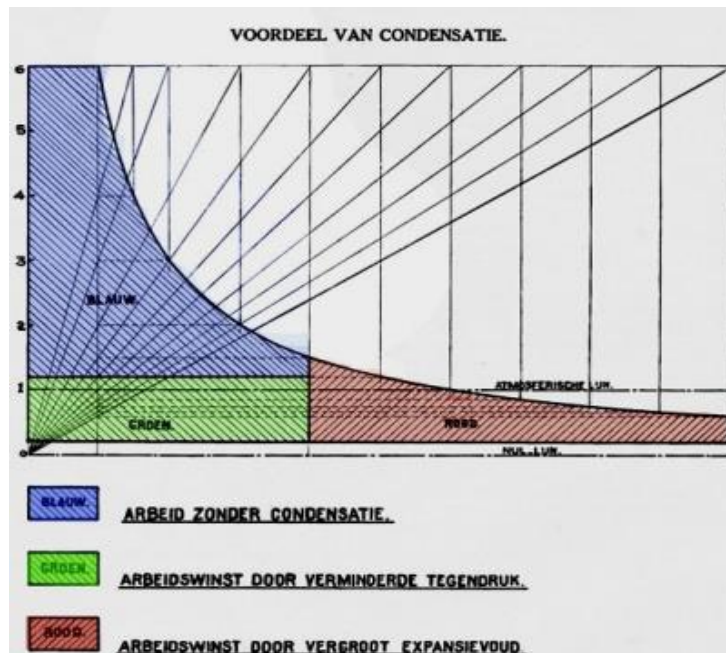
Bij deze machines wordt de afgewerkte stoom direct in aanraking gebracht met het afkoelingswater, dat nu injectiewater genoemd wordt. Hierbij wordt het condensaat, gemengd met het vreemde water, als voedingwater naar de ketel vervoerd, en zal ketelsteen op de vlampijpen van de ketel veroorzaken.

Deze wijze van condenseren noemt men ook wel mengcondensatie en wordt tegenwoordig niet meer toegepast.

Geschiedenis van stoom tot ca 1900

De energiewinst bij condensatie.

Een stoommachine staat altijd open en bloot opgesteld in de atmosfeer. Dat betekent dat op alle delen atmosferische druk staat. De afgewerkte stoom moet tegen deze druk in afgevoerd worden. Bij een stoomdruk van 6 atmosfeer kan dus zonder verdere voorzieningen maar 5 atmosfeer benut worden. Bij toepassing van condensatie, waarbij een vacuüm ontstaat, kan de stoom afgevoerd worden naar een condensor waarin een druk van ongeveer 0 atmosfeer heerst. Bij een stoomdruk van 6 atmosfeer kan dan ineens bijna de gehele 6 atmosfeer druk gebruikt worden. Dit levert dan een vermogenswinst op. Het exacte drukverloop binnen de cilinder kan bepaald worden mbv een diagram-compressiemeter.



In de jaren die volgden bracht Watt nog enkele verbeteringen aan, waarbij alleen gebruik werd gemaakt van stoomdruk als drijfkracht. De zuiger werd dus door zowel onder- als bovendruk voortbewogen. (Dubbel effect).

De stoommachine werd eind 18^e eeuw een groot succes in Groot-Brittannië, mede dank zij de toepassing van een volgende vinding nl. "De parallelle beweging van James Watt", waarbij een heen en weer gaande beweging wordt omgezet in een draaiende beweging. De stoommachine vond toepassing in de mijnbouw, in de industrie, alsmede bij gemalen en later bij de voortstuwing van schepen.

Watt is degene die de paardenkracht (pk) als eenheid van vermogen introduceerde voor het classificeren van de stoommachines. Later werden de indicaties van vermogens eenheid zoveel "Watt" of zoveel "kWatt". Nog later op 11 okt. 1960 werd de eenheid van vermogen in het SI-systeem naar hem genoemd: 1 watt = 1 joule/seconde. (joule: een eenheid van mechanische, elektrische of thermodynamische energie)

De stoommachine die Jan Blanken in 1801 liet inbouwen in het pomphuis van het Droogdok in Hellevoetsluis, was van het type Watt-Boulton "à Double effect"

De omzetting van een heen en weer gaande beweging in een draai beweging.

(Bewerkt naar de Bron: Vereniging Vrienden van het stoommachinemuseum Vier Noorder Koggen door Hans Walrecht)

De oorspronkelijk enkelvoudige machine van James Watt was van boven gesloten. De verse stoom kwam allereerst boven in de cilinder terecht, waardoor daar een geringe overdruk

Geschiedenis van stoom tot ca 1900

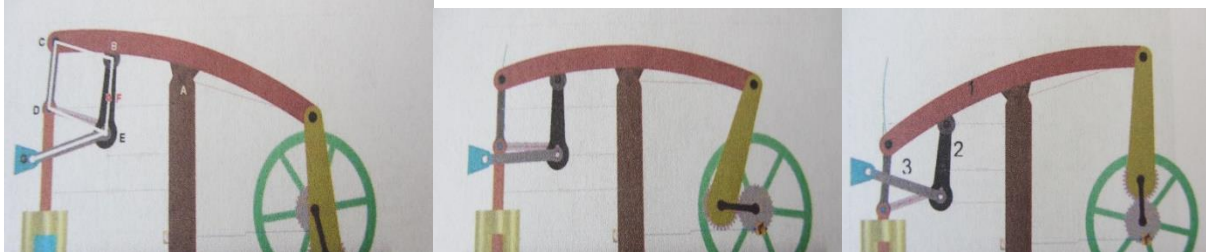
ontstond en vervolgens via een balansbuis onder in de cilinder gevoerd. Hier werd door afkoeling van de stoom onder de zuiger, een vacuüm gecreëerd en werd de zuiger omlaagedrukt. De zuigerstang trok bij iedere slag een ketting omlaag die met de balansarm was verbonden. Aan het andere eind van de balansarm zat de trekking van de pompzuiger.

In 1784 maakte James Watt zijn machine dubbelwerkend, met het doel een draaiende beweging te krijgen die in de industrie kon worden toegepast.

Hierdoor kon hij geen ketting meer gebruiken want nu trekt de zuiger niet alleen aan de balansarm maar moet de arm ook opduwen. De zuigerstang moet dan ook direct aan de balansarm worden gekoppeld. Maar de kop van de balansarm maakt, in een boog, ook geringe zijdelingse bewegingen tov de stoommachine.

De oplossing van dit probleem in die tijd was de parallelle beweging.

Dit is een systeem gebaseerd op een parallellogram, gevormd door 4 draaipunten en twee steunpunten welke zijn bevestigd aan twee horizontale balken, die in de muur zijn verankerd, en tevens draaibaar zijn.

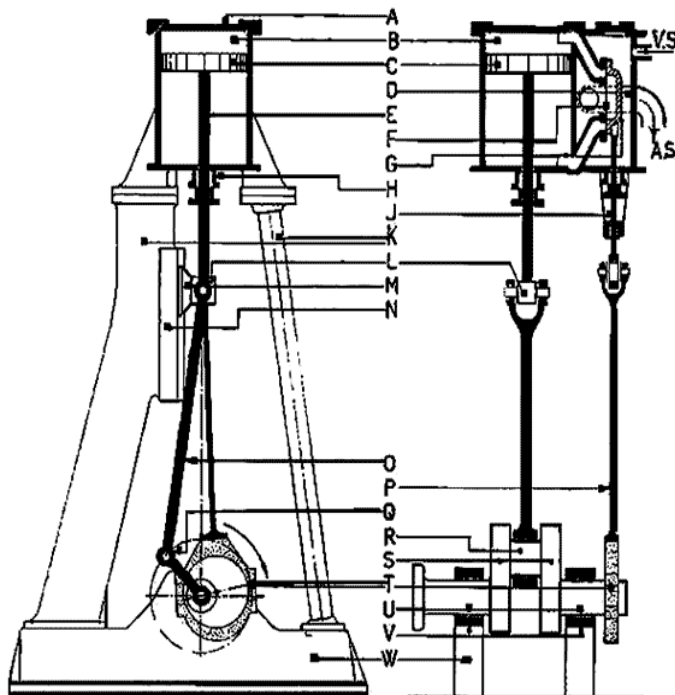


Na 1800 wordt deze beweging gevormd door een constructie van Kruishoofd-Leislof-Drijfstang en Krukas.

(Bewerkt naar de Bron Machinemuseum.nl)

De constructie van een stoommachine.

Deze tekening is een schematische afbeelding van een eenvoudige dubbelwerkende verticale



zuigerstoommachine waarin de hoofdonderdelen door een letter zijn aangegeven

A. Cilinderdeksel B. de cilinder C. De zuiger
D. Stoomschuifkast E. Zuigerstang.

De zuiger zit stevig verbonden aan de zuigerstang, die door middel van een pakkingbus H stoomdicht door de cilinderbodem naar buiten komt.

Aan de onderkant van de zuigerstang bevindt zich het kruishoofd L, dat de scharnierende verbinding vormt tussen de zuigerstang en de drijfstang O.

Onder aan de zuigerstang is namelijk een dobbelsteen bevestigd, die zoals de rechter figuur doet zien, aan weerszijden een kruispen draagt.

Geschiedenis van stoom tot ca 1900

Om deze pennen grijpen de kruispen metalen, die liggen in de vork aan het bovineinde van de drijfstang.

Het ondereinde van deze stang is met behulp van de krukpen metalen Q gekoppeld aan de krukpen R van de krukas.

Deze krukas bestaat uit de krukpen, de beide krukwingen S en de beide ashalzen U.

De ashalzen draaien elk in twee hoofdasmetalen, die rusten in kussenblokken V, welke de hoofdasblokken worden genoemd.

In de onderzijde van het hoofdasblok, ligt het ondermetaal. Dit is gemaakt van Babbith of Witmetaal wat een legering is van metalen: 45,6% zink; 40% lood; 13% antimoon en 1,5 % koper. Dit metaal wordt toegepast bij minder snel lopende assen, en is één geheel met de fundatie W van de machine. Het bovenmetaal, ook van Babbith, wordt aangedrukt door een kap met bouten.

De cilinder die van gegoten ijzer is vervaardigd rust, met twee er één geheel mee vormende voeten, op twee kolommen K, die aan de fundatie W zijn bevestigd.

In deze figuur is de linkerkolom van gegoten ijzer, de andere van smeedstaal gemaakt.

De gegoten kolom is voorzien van een breed glijvlak N, leibaan genaamd.

Langs deze leibaan loopt een leislof M, bevestigd aan de dobbelsteen van het kruishoofd en dus tegelijk met de zuiger op en neer bewegend.

De leibaan dient om de zijdelingse drukken, die ten gevolge van de schuine standen van de drijfstang in het kruishoofd optreden, op te vangen.

Bij grote machines zoals de Triple-expansiemachine zijn gewoonlijk beide kolommen van gegoten ijzer gemaakt.

Ze hebben dan dezelfde vorm en zijn ook beide van een leibaan voorzien, zodat het kruishoofd nu twee leisloffen heeft.

De stoomschuifkast D, aan de bovenzijde voorzien van een wegneembaar deksel, is met de stoomcilinder één geheel.

In deze kast bevindt zich een zuiver vlak gedeelte F, de stoomschuifspiegel genaamd waarin horizontaal geplaatste, rechthoekige openingen zijn aangebracht, die als stoomkanalen dienst doen. Het onder- en bovenkanaal zijn de stoompoorten, die onder en boven de zuiger in de cilinder uitmonden.

Het middenkanaal, de afvoerpoort, voert naar een ronde opening, waarop een pijp A.S.(Afvoer Stoom) is aangesloten.

Over het vlak van de spiegel beweegt de stoomschuif G. Deze heeft de vorm van een aan vijf zijden gesloten bak. Vandaar de naam bakschuif.

De open binnenzijde heeft vlakke randen, die zuiver op de spiegel passen.

De schuif wordt op en neer bewogen door middel van een op de krukas bevestigde excentriekschijf T, waaromheen een excentriekring grijpt; deze ring is door tussenkomst van een excentriekstang P scharnierend verbonden aan de stoomschuifstang J, die weer door een pakkingbus in de bodem van de stoom schuifkast gaat en hier binnen aan de stoomschuif is bevestigd.

Zowel de cilinder als de stoom schuifkast zijn aan de buitenzijde voorzien van een goed isolerende bekleding, om uitstraling van warmte te voorkomen.

Dit type machine, maar dan als driecilindermachine, de z.g. Triple-expansiemachine, werd tijdens WOII ingebouwd in de z.g. Libertyschepen die in konvooivaart voeren over de Noord Atlantic naar Moermansk.

Soorten stoommachines.

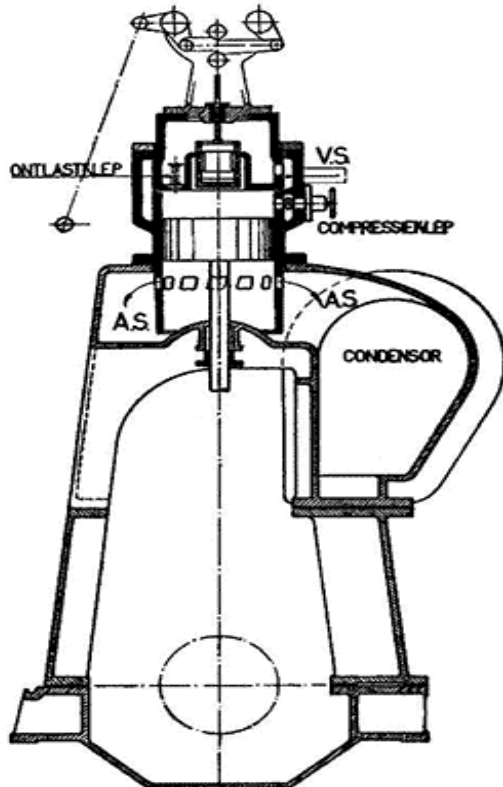
Watt en Boulton hadden hun ontwerpen gepatenteerd tot het jaar 1800, zodat andere ontwikkelaars van stoommachines aan deze patenten gebonden waren. Na 1800 barstte dan ook de

Geschiedenis van stoom tot ca 1900

industriële revolutie los, waarbij het één na het andere ontwerp het levenslicht aanschouwde met als basis de ideeën van James Watt.

(Bewerkt naar de Bron : *Geschiedenis van de techniek in Nederland. De wording van een moderne samenleving 1800-1890 deel V en tevens studieboeken Stoomwerktuigen voor Scheepswerktuigkunde van Moree*)

Enkel en dubbelwerkende machines.



4-cyl. enkelwerkende gelijkstroomstoommachine van „Jaffa“.

Een enkelwerkende stoommachine komt nog zelden voor. Alleen bij kleine hulpwerktuigen zoals voedingwaterpompen e.d. waarbij het rendement niet zo'n grote rol speelt.

De gelijkstroomstoommachine van Karl Schmid, uitgevoerd met trunk zuiger of kruishoofd, is enkelwerkend. Zie plaatje hiernaast.

Een dubbelwerkende stoommachine is een machine waarbij de stoom zowel boven als onder de stoomzuiger wordt toegelaten.

Bij gelijke cilinder inhoud en gelijke aantal omwentelingen, is het vermogen van een dubbelwerkende stoommachine ongeveer twee maal zo groot als van een enkelwerkende; bovendien is de gang van een dubbelwerkende machine rustiger.

De moeilijkheden die wegens de zeer hoge spanningen en temperaturen verbonden zijn aan de dubbelwerkende verbrandingsmotor, kent men bij de dubbelwerkende stoommachine niet. Wel dient vooral bij gebruik van oververhitte stoom extra zorg te worden besteed aan de pakkingbussen, stoomschuif, klepstangen en aan de zuigerveren.

Voldruk - en Expansiemachines.

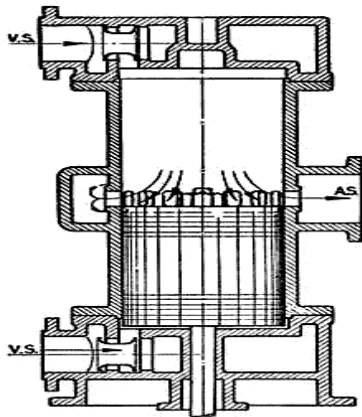
Bij een volle drukmachine wordt gedurende de gehele zuigerslag stoom in de cilinder toegelaten. Deze machines werken dus met volle toelaat en in overeenstemming hiermede zouden we deze machines misschien beter "volle toelaatmachines" kunnen noemen.

Erg zuinig werken deze machines niet, maar het zijn alweer praktische overwegingen, waardoor nog steeds enkele machines (stoomlieren, stoomstuur en stoom omzetmachines) met volle vulling worden uitgevoerd.

Direct werkende stoom voedingwaterpompen werken ook met volle toelaat.

Expansie machines werken met gedeeltelijke toelaat, de verse stoom wordt in de cilinder toegelaten voor slechts een gedeelte van de zuigerslag, waarna expansie van de stoom volgt. De stoomzuiger bereikt het einde van de slag door de uitzettende kracht van de stoom.

Geschiedenis van stoom tot ca 1900



Cilinder van een gelijkstroomstoommachine.

Gelijkstroom- en wisselstroommachines.

Bij een gelijkstroom stoommachine heeft toelaat van stoom plaats over een klein gedeelte van de slag; daarna volgt expansie van de stoom terwijl ongeveer 10% voor het einde van de slag deze stoom wordt afgevoerd door kanalen die zich bij een dubbelwerkende machine in het midden van de cilinder bevinden.

De uitlaat wordt niet geregeld door een schuif of klep, maar door beweging van de zuiger langs openingen in het loopvlak.

De afgewerkte stoom stroomt niet in dezelfde richting weg, als waar in de verse stoom in de cilinder is toegelaten.

Hierdoor vermijdt men dat gedurende de uitlaat een sterke afkoeling langs te voren verwarmde vlakken plaats vindt, zodat begincondensatie geringer zal zijn.

De uitlaatorganen aan de cilindereinden kunnen ontbreken en door dat de uitlaatopeningen zich bevinden over de gehele omtrek van de cilinder, stroomt de afgewerkte stoom gemakkelijk weg en behoeft de tegendruk praktisch niet veel te verschillen van de condensordruk.

Terwijl het opvoeren van het vacuüm boven 80% bij een wisselstroom stoommachine, wegens de grotere begincondensatie, praktisch geen nut heeft, kan bij een gelijkstroom stoommachine een vacuüm van 90% met succes worden toegepast.

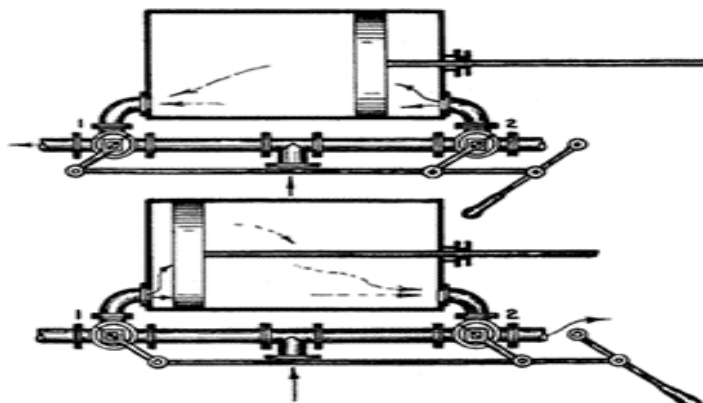
Bij een wisselstroom stoommachine stroomt de afgewerkte stoom door hetzelfde kanaal aan het einde van de cilinder terug, waardoor de verse stoom in de cilinder is toegelaten, om vervolgens via de holte in de stoomschuif, naar de afgewerkte stoom poort te ontsnappen.

Maar ook al bevindt zich aan dat einde van de cilinder, waar de verse stoom in de cilinder wordt toegelaten, een afzonderlijk kanaal voor afvoeren van de afgewerkte stoom dan nog noemt men de machine een wisselstroom stoommachine.

Kleppenmachines.

Men noemt de machine een kleppenmachine, indien de toelaat van de verse stoom en de afvoer van de afgewerkte stoom geregeld wordt door kleppen. (bv een Lentz kleppen machine). Op de Buffel in Hellevoetsluis, staat een Lentz kleppenmachine van 510 Ipk afkomstig uit de havensleepboot Dockyard VIII. Dit is een z.g. Dubbele Compoundmachine wat wil zeggen twee gelijke sets van een Hoge en Lage druk, waarvan de cilinders 180° tov elkaar werken en de sets onderling 90° . Zodat men de machine vanuit iedere stand kan starten.

Bij de meeste zuigerstoommachines aan boord van schepen wordt de stoom toelaat door schuiven verricht.



Hiernaast een machine met draaikleppen.

Stationaire en niet stationaire machines

Stationaire machines zijn machines welke, solide op hun fundatie bevestigd, steeds aan dezelfde plaats gebonden zijn.

De andere soort machines noemt men algemeen landmachines.

De niet stationaire machines zijn weer in

Geschiedenis van stoom tot ca 1900

twee groepen te verdelen, namelijk:

A. machines, speciaal ingericht om te kunnen worden vervoerd, ten einde op een willekeurige plaats in werking te worden gesteld (locomobiel, heimachines).

B. machines, werkend in de inrichting waarvan zij deel uitmaken en hiermede zich verplaatsen (scheepmachines locomotieven, automobielmotoren).

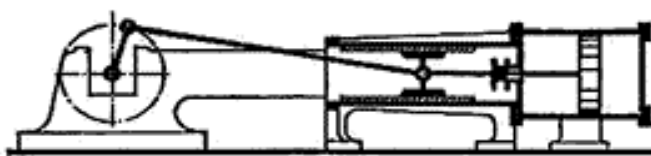
(De hulpwerktuigen aan boord van een schip dient men te rangschikken onder de stationaire machines.)

Direct en indirect werkende machines.

Onder indirect werkende machines verstaan we nog slechts de balansmachine.

Onder een direct werkende machine verstaat men een machine, waarvan de zuigerstang direct verbonden is aan de krukpen, aan het arbeidswerktuig, of waarbij de ronddraaiende beweging van de as verkregen is door een drijfstang en krukmechanisme.

Van de direct werkende machines zullen alleen de zuigerstoomwerktuigen worden beschouwd. Men onderscheidt naar de stand van de hartlijnen van cilinders:



Horizontale machine.

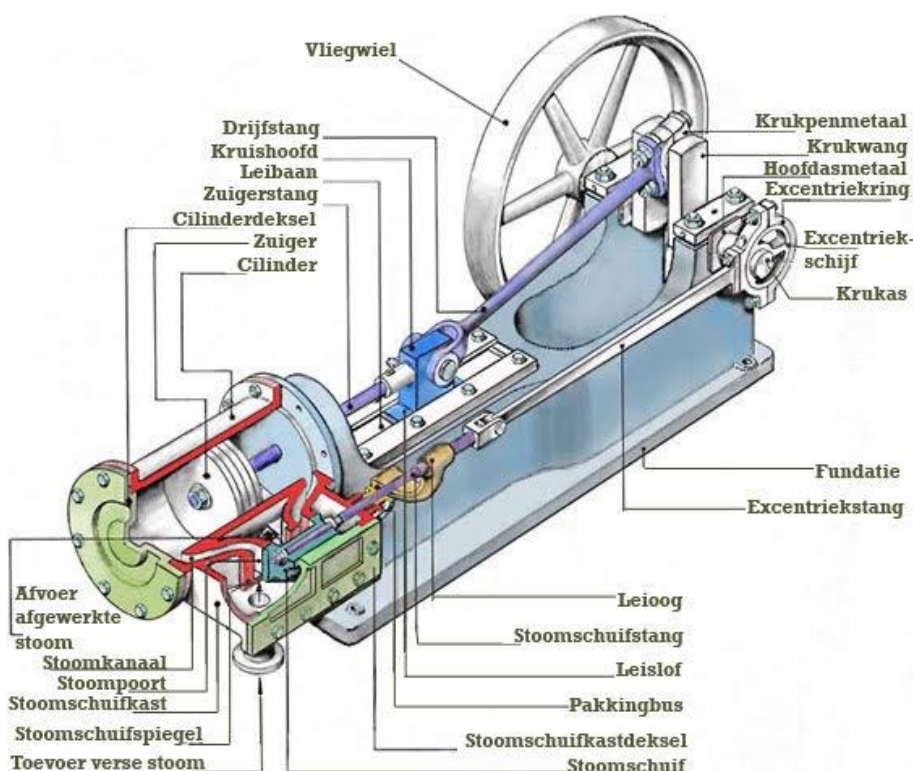
Horizontale machines.

De hartlijnen van de cilinders liggen in een horizontaal vlak.

Deze machines vinden als voortstuwingswerktuig vrijwel geen toepassing meer. Echter aan boord van marineschepen zoals de Buffel en

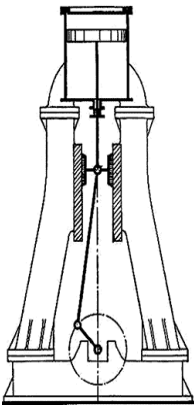
Schorpioen waren ze gebruikelijk. Dit in verband met het verkrijgen van een lager zwaartepunt vanwege het gewicht van de geschutstoren en het verminderen van machineschade bij een eventuele vijandelijke treffer.

Aan boord van koopvaardijsschepen komen deze machines voor als hulpwerktuigen (koel- en stuurmachine, voedingwaterpompen, lenspompen en lieren).



Opengewerkt model van een horizontale één cilinder stoommachine

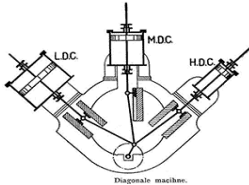
Geschiedenis van stoom tot ca 1900



Verticale machines.

De hartlijnen van de cilinders liggen in een verticaal vlak, gaande door de as. In de meeste gevallen is het hoofdwerktuig aan boord van schepen een verticale machine.

De as ligt in de lengterichting van het schip en onder de cilinders, terwijl op het verlengde van de as, dat bij het schip uitsteekt, de schroefas is bevestigd.



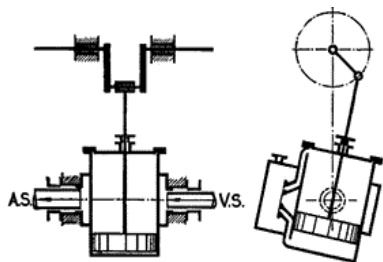
Diagonale machines.

De hartlijnen van de cilinders liggen in vlakken, die loodrecht staan op de as. De as ligt langsscheeps en onder de cilinders (schroefschip)

De grote koppen van de drijfstangen omvatten een gemeenschappelijke krukpen en de stoomschuiven ontleen hun beweging aan een

gemeenschappelijk excentriek.

Deze machines vinden wegens hun beknoptheid soms toepassing aan boord van rivierschepen en sleepboten.

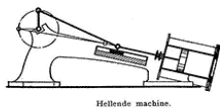


Oscillerende machines.

Deze werden als voortstuwingswerktuig voor raderboten gebruikt, waarvan de cilinders om holle assen schommelen.

De holle as-tappen rusten in kussenblokken. Eén van de tappen wordt gebruikt als toevoerkanal voor de verse stoom naar de stoomschuifkast, terwijl de andere tap dienst doet als afvoerkanal voor de afgewerkte stoom.

De machine is kort, daar de zuigerstang direct aan de krukpen is verbonden.



Hellende machines.

De hartlijnen van de cilinders liggen in één vlak dat, gaande door de as, een bepaalde scherpe hoek maakt met het horizontale vlak.

De as ligt dwarsscheeps, boven de cilinders en heeft twee krukpen, die een hoek van 90 graden met elkaar vormen.

Aan weerszijden van het schip zijn op de as, waar deze buiten het schip uitsteekt, raderwielen bevestigd (raderboot)

De Maudsley stoommachines van de Buffel.

De twee stoommachines van de Buffel waren compoundmachines. Dit betekent dat zij twee cilinders hadden die in een tandem systeem samenwerkten. Dit kunnen een hogedruk- en een lagedruk cilinder zijn maar ook, zoals bij de Buffel, twee cilinders van dezelfde druk. Zij hadden een teruggekoppelde drijfstang om zo compact mogelijk te zijn. Het waren horizontale machines om het zwaartepunt van het schip te verlagen en om, bij een evt. treffer van vijandelijk geschut, de schade beneden de waterlijn zo klein mogelijk te houden. De machines waren geschikt voor middelbare stoomdruk van ca 25 tot 30 psi.

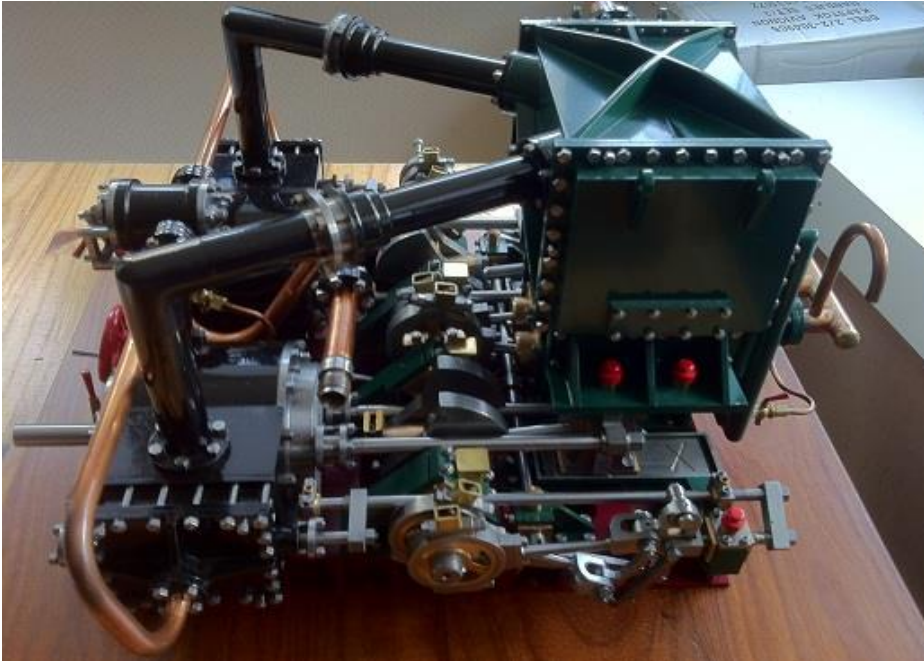
(PSI betekent "Pounds per Square Inch". 14,2 psi is gelijk aan 1 atmosfeer, tegenwoordig bar).

Geschiedenis van stoom tot ca 1900

Uit veiligheidsoverweging voor het machinekamerpersoneel wilde de Marine nog niet met hoge stoomdruk werken welke, in die tijd 1868, reeds 12 bar of 170 psi bedroeg. De machines ontwikkelden elk een vermogen van 1100 Ipk. De term Ipk staat voor Indicateur paardenkracht. De machine verbruikt zelf ook vermogen. Wat over blijft voor de voortstuwing is het asvermogen de Apk.

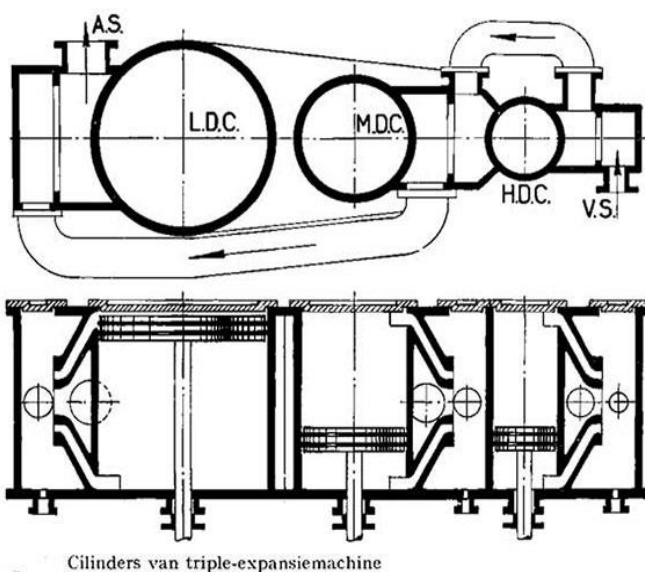
De vierkante kast, boven de machines, is een oppervlakte condensor waar de afgewerkte stoom, aangevoerd via de dikke pijpen, afgekoeld werd en tot condensaat verdicht. Dit condensaat werd weer als voedingswater aan de stoomketels gevoed.

De Buffel had een kolenvoorraad van 200 ton aan boord, waarmee zij 10 dagen op zee kon blijven met een gemiddelde snelheid van 10 knopen.



Model van de Maudsley machine gemaakt door modelbouwer

P.G. 't Hart



De Triple Expansie machine.

De triple expansie machine is één van de meest gebruikte stoommachines. Zij werden met name veel ingebouwd in de Liberty schepen in WO II, die in konvooi naar Moermansk voeren.

De triple expansie machine bezit een hoge, middel, en een lage drukcilinder zodat elke cilinder 1/3 van de arbeid moet verrichten.

De stoom stroomt eerst in de hogedrukcilinder, dan in de middeldruk cilinder en daarna in de lage drukcilinder.

Men laat stoom toe van 12 atm. in de hogedrukcilinder, die daar dan expandeert naar een druk van 8 atm. en de energie afgeeft aan de zuiger.

Geschiedenis van stoom tot ca 1900

Daarna stroomt de stoom vervolgens naar de middeldruk cilinder, die een grotere inhoud heeft dan de vorige (wet van Boyle/Gay-Lussac $P_1 \times V_1/T_1 = P_2 \times V_2/T_2$) en daar, naar een druk van vier atm. expandeert, waarbij energie wordt afgegeven.

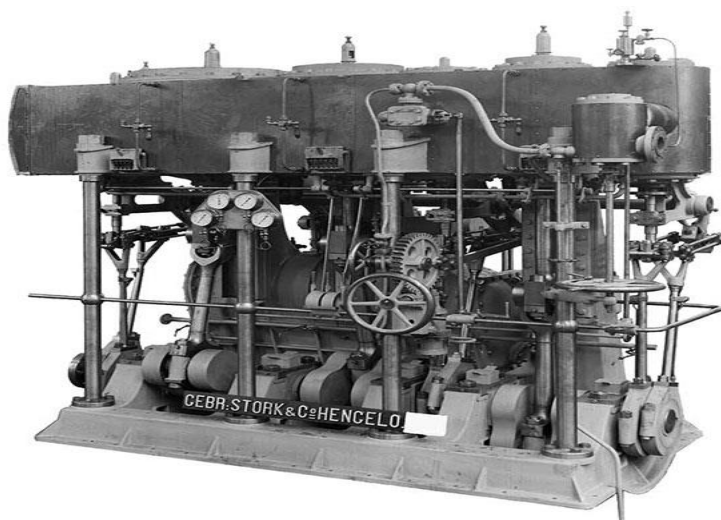
Tenslotte vervolgt de stoom zijn weg naar een nog grotere cilinder, en heeft dan nog genoeg druk over om arbeid te verrichten, met als rest druk 0,2 atm.

De afgewerkte stoom stroomt nu naar een met koud water gekoelde oppervlakte (pijpen) condensor om daar volledig over te gaan in water, door verdere expansie en condensatie, waarbij een grote onderdruk ontstaat.

De excentriek laat de stoomschuif bewegen, om stoom toe te laten naar de cilinder via een bepaalde stand van de schaarbeweging, de z.g. Stephenson's schaar.

Deze is bedoelt om een andere voorloophoek van de stoomschuiven te verkrijgen, en de machine de andere kant op te laten draaien. Daarom zijn er telkens bij iedere cilinder twee, één voor vóóruit en de ander voor achteruit. Al deze scharen worden tegelijkertijd, dmv een as, door één hendel bij de manoeuvreerstand bedient. Wanneer dit hendel in middenstand wordt gezet, stopt de machine.

Deze machines worden zowel staand als liggend uitgevoerd, wat geheel van het gebruiksdoel afhangt, waarvoor ze gebruikt zullen worden. In de expositie op de Buffel in Hellevoetsluis staat een Triple-expansiemachine van 180 Ipk afkomstig uit een havensleepboot



Triple-Expansiemachine

De stoomschuif

De stoomtoevoer naar de desbetreffende cilinders wordt geregeld door een z.g. bakschuif die wordt aangedreven door een excentriek die door de krukas wordt bewogen.

Men onderscheidt buiten- en binnenladende stoomschuiven.

Onder een buitenladende schuif verstaat men een schuif, waarbij de verse stoom in de schuifkast om het schuiflichaam staat en dus een drukbelasting geeft op het lichaam van de schuif.

Bij een binnenladende schuif wordt de stoom aangevoerd in de holte van de schuif en staat de afgewerkte stoom rondom de schuif, waarbij een set veren de schuif op de spiegel gedrukt blijft houden.

Een gewone bakschuif is buitenladend en niet ontlastend.

De verse stoom buiten om de stoomschuif houdt haar op de spiegel gedrukt.

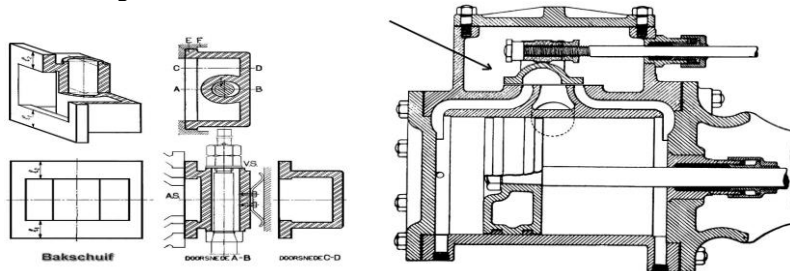
Soms heeft men extra op de rug van de stoomschuif een of twee platte stalen veren bevestigd met het doel, de stoomschuif op haar spiegel gedrukt te houden, wanneer er geen stoom in de stoomschuif staat.

Geschiedenis van stoom tot ca 1900

De afgewerkte stoom kan door de holte in de stoomschuif naar het afgewerkte stoomkanaal in de spiegel ontwijken.

Deze (onderstaande) stoomschuif heeft een enkelvoudige poort opening voor toevoer en afvoer.

(Dit is een z.g. niet ontlastende Buitenladende Bakschuif.)



Met zijn loopvlakken glijdt de schuif op en neer (of heen en weer bij een liggende stoommachine) over de spiegel, waaruit de stoompoorten als rechthoekige openingen te voorschijn treden. Een schuif met een meervoudige poortopening laat de verse stoom in de cilinder toe, door twee of meer kanalen tegelijkertijd. Dit noemt men kanaalschuiven.

Stoomschuiven werden steeds gemaakt van hard, fijnkorrelig gegoten ijzer.

Hoge druk en oververhitte stoom stellen hoge eisen aan bepaalde delen van de stoommachine.

Een bakschuif bijvoorbeeld, heeft een grote wrijvingsoppervlakte.

Dat is niet alles want de stoomdruk drukt er ook nog eens tegen aan waardoor er nog meer kans bestaat dat de delen op elkaar gaan invreten.

Daarom wordt er nooit oververhitte stoom gebruikt bij bak schuiven.

De stoomschuif wordt bewogen door een excentriek, dat is een ronde schijf, die excentrisch of uitmiddelpuntig op de krukas is bevestigd.

Op de foto hier onder is een excentriek van een triple expansie machine te zien.

De ronddraaiende beweging van de as wordt door het excentriek, de excentriekstang en de stoomschuifstang veranderd in een rechtlijnige, heen en weergaande beweging van de stoomschuif.

De werking van een excentriek is te vergelijken met die van een kruk, (krukas)



Geschiedenis van stoom tot ca 1900

Het ketelvoedingwater

Zuiverheid van het ketelvoedingwater in relatie tot de stoomdruk.

Het destillaat van een oppervlakte condensor heeft een vrij hoge zuiverheid.

Helaas is het condensaat wel vervuild met smeerolie uit de cilinder. Het condensaat loopt dan eerst af naar een zogenaamde warmwaterbak waar de watermassa tot rust komt. De olie komt dan als een film bovendrijven en kan met papier worden afgeroomd. Vandaar uit wordt het naar de ketel gepompt.

De zuiverheid van het ketelvoedingwater is van invloed op de te behalen stoomdruk. De ketelwatertemperatuur bepaalt nl. wanneer aanwezige zouten als ketelsteen neer gaan slaan op de verwarmde delen van de ketel zoals bv de vlampijpen.

Bij verontreinigd condensaat als ketelwatervoeding, wat bv Natrium- en Calciumzouten bevat, kun je maar tot ca 130°C ketelwatertemperatuur stoken. Hierbij hoort, volgens de verzadigde stoomtabel, een stoomdruk van 1,2 kg/cm². Bij zuiverder ketelvoedingwater, dus waar geen zouten in zitten, kun je al verder opstoken naar 180°C waarbij een stoomdruk hoort van 12 kg/cm².

Gedemineraliseerd ketelvoedingwater.

In latere jaren, na ca 1950, kon de stoomdruk verder worden opgevoerd doordat het ketelvoedingwater eerst wordt gedemineraliseerd. Dus ontdaan van alle mineraalzouten. Dit gebeurt in een installatie die drie soorten filters bevat waar materiaal in zit wat zoutzuur of natronloog aan zich kan binden. Deze materialen worden eerst voorzien van een positieve lading (HCl zoutzuur) H⁺ ionen of negatieve lading (NaOH natronloog) OH⁻ ionen. In het eerste filter, het Kationfilter, worden de positieve kationen Na⁺ van bv Natriumzout (NaCl) er mbv een zure omgeving (Zoutzuur HCl) uitgevangen en vervangen door H⁺ ionen. Vervolgens in het tweede filter, het Anionfilter, worden de negatieve anionen het Cl⁻ er mbv een basische omgeving (Natronloog NaOH) uitgevangen en vervangen door OH⁻ ionen. Het chemisch resultaat is dan H₂O water.

Vervolgens gaat de waterstroom nog door een z.g. Mengbedfilter heen waar een nabehandeling plaats vindt en ook het silicium-di-oxide (SiO₂) er uit wordt gehaald. Dit heeft nl de eigenschap dat het bij gebruik van oververhitte hogedruk stoom van bv 105 kg/cm², wanneer deze in een turbine expandeert naar een lagere druk, als een harde laag op de schoepen van een turbine neerslaat en deze in onbalans kan brengen.

Wanneer het materiaal in de filters is verzadigd moeten zij worden geregenereerd.