### 4.14.5 Stoomverdeling

Bij de inleiding van de stoommachine hebben we al gezien dat een stoomschuif dient om regelmatig de verse stoom boven en onder de zuiger in de cilinder toe te voeren en de afgewerkte stoom af te voeren. Ook hebben we gezien dat de schuif door de machine zelf wordt bewogen. De stoommachine zorgt dus voor haar eigen stoomverdeling. Hier hoort bij iedere stand van de kruk een bepaalde stand van de stoomschuif.

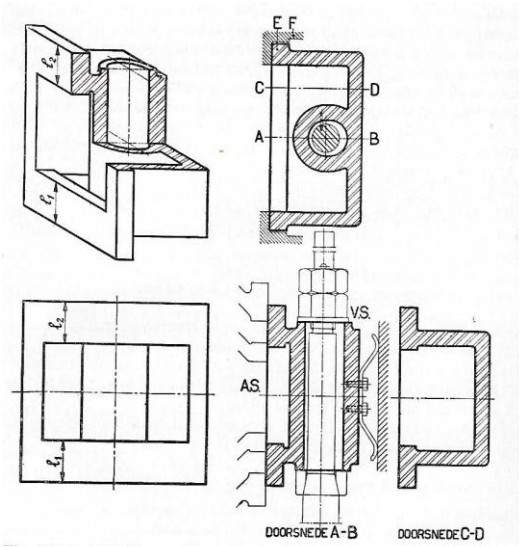
Stoomschuiven onderscheidt men in:

- Vlakke en cilindrische schuiven
- Buiten- en binnenladende schuiven
- Ontlaste- en niet ontlaste schuiven
- Gebalanceerde- en niet gebalanceerde schuiven
- Schuiven met enkelvoudige- en meervoudige toe- en afvoer

Een variant op de cilindrische schuif is de klep waarmee de stoom naar de machine wordt toe- en afgevoerd. Daarnaast kennen we een methode waarbij de stoom wordt afgevoerd via openingen, de zogenoemde poorten, in de wand van de cilinder. Bij deze manier van afvoer die onder andere bij gelijkstroomstoommachines wordt toegepast worden het moment van afvoer en de tijd geregeld door de stand van zuiger van de machine zelf.

**Bakschuiven**

In de onderstaande figuur zien we een vlakke schuif, de bakschuif ,zo genoemd omdat zij de vorm heeft van een aan één zijde open bak. Aan deze open binnenkant heeft de schuif vlak geschaafde sluitranden waarmee hij over de zogenoemde spiegel heen en weer glijdt. De hoogte en de afstanden van de beide sluitvlakken bepalen de wijze van stoomverdeling. De zijranden passen met enige speling in de sponning van de spiegel zodat de schuif bij zijn beweging niet zijdelings kan uitwijken.

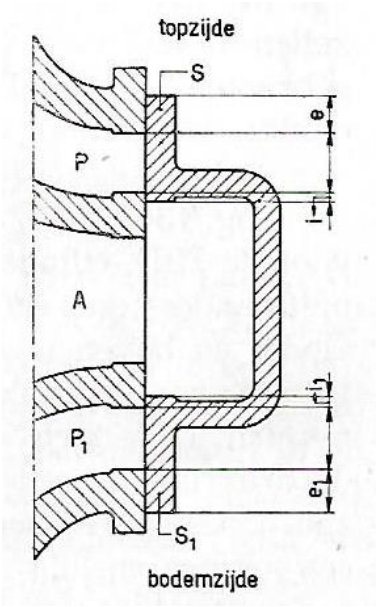



De schuif heeft in het midden een koker die er een geheel mee vormt en waardoor de stoomschuif-stang loopt, waarmee de schuif heen en weer wordt bewogen. Het gat in de schuif maakt men ovaal met de lange as naar de spiegel gericht zodat de stang een flinke speling heeft in het gat. Ter bevestiging van de schuif op de stang heeft deze laatste een kort taps gedeelte, waarop een losse, aan de bovenkant vlakke ring past.

**Bakschuif**

Aan de bovenzijde heeft de stang een gedeelte met schroefdraad waarop een moer en een contramoer zijn geschroefd. Men draait de moer met de vlak gedraaide ring zo vast dat zij juist niet tegen de koker van de schuif aanligt en fixeert deze vervolgens met de contramoer.

De schuif kan zich daardoor van en naar de spiegel toe bewegen Komt er bijvoorbeeld water in de cilinder dat op een bepaald moment niet via de poorten kan ontwijken dan zal de schuif tegen de veerdruk in, van de spiegel worden gedrukt waardoor het water weg kan lopen en schade aan de machine wordt voorkomen. De schuif wordt tijdens bedrijf door de stoomdruk tegen de spiegel aangedrukt gehouden en bij stilstand door de bladveer op de rug van de schuif. De veer glijdt tijdens bedrijf langs de binnenkant van de schuifkastdeksel . Men gebruikt voor de bevestiging van de schuifstang onder de schuif een losse ring zodat deze bij demontage de pakking bus kan passeren. De schuif beweegt voortdurend tussen zijn beide uiterste standen heen en weer. Bij het heen en weergaan in het geval van een liggende stoommachine, passeert hij telkens de middenstand. In deze stand wordt de schuif meestal getekend, omdat we dan precies de afmetingen van de sluitvlakken in relatie met de stoompoorten kunnen zien. Zo toont de hierna afgebeelde figuur een bakschuif in de middenstand. We onderscheiden aan iedere schuif een top- en een bodemzijde, bij een verticaal opgestelde machine, of een deksel- en een aszijde als er sprake is van een horizontaal opgestelde machine. Gewoonlijk zijn de sluitvlakken S en S1 groter dan de poorten P en P1.
We zullen later zien waarom dat is. De afstanden e en i die de sluitvlakken bij de middenstand van de schuif buiten de poorten uitsteken noemen we de overlappen of lappen van de schuif. De verse stoom staat hier aan de buitenzijde van schuif. De schuif moet dus een afstand e verplaatsen voordat de stoomaanvoer begint. Daarom noemen we e de toevoerlap. Hetzelfde geldt voor de afvoer. Als hier de schuif een afstand i verplaatst uit de middenstand dan begint de stoomafvoer. De afstand i noemen we de afvoerlap.

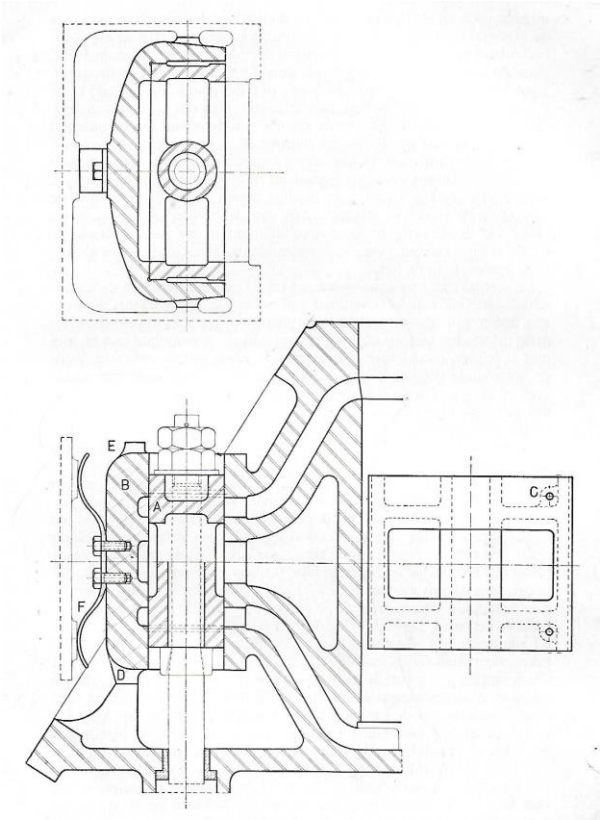



**Toe- en afvoerlap bakschuif**

De spiegel en de schuif zijn van fijnkorrelig gietijzer gemaakt. Bij een nieuwe machine worden de spiegel en de schuif eerst afgeschaafd en daarna met een schraapstaal zuiver vlak afgewerkt. Door de druk van de veer en de stoom op de rug van de schuif wordt deze tijdens bedrijf vast op de spiegel gedrukt, waardoor een voldoende stoomdichte afdichting is gewaarborgd. Ontstaan er op de duur door slijtagegroeven in de schuif of de spiegel, dan gaat het sluitvlak lekken en moeten beide vlakken worden opgezuiverd. Dit gebeurt door ze te vlakken met behulp van een schrapstaal of bij ernstige defecten door opnieuw schaven en schrappen. Het zuiver vlakken van een stoomschuif is, zo laat zich aanzien, een omvangrijk en tijdrovende ingreep, waarbij tevens het nodige vakmanschap wordt vereist.

Bij de vlakke schuif staat buiten op de schuif de druk van de verse stoom en binnenin die van de afgewerkte stoom. We hebben hier te maken met drukverschillen tussen de verse stoom en de afgewerkte stoom. Het gevolg hiervan is dat de schuif met grote kracht op de spiegel wordt gedrukt.

Laten we aannemen dat de H.D. cilinder van een kleine compoundmachine voorzien is van een gewone bakschuif. Is de breedte van de cilinder 35 cm, dan is de breedte van de schuif ongeveer 25 cm en de lengte 20 cm en het binnen oppervlak 500 cm2. Is de druk van de verse stoom 11 en die van de afgewerkte 2 kg/cm². Er heerst dus een drukverschil van 9 kg per kg/cm² die er voor zorgt dat de schuif met een kracht van 9 x 500 = 4500 kg tegen de spiegel wordt gedrukt. We zien dat die kracht, zelfs bij een kleine machine, zeer groot is en een aanzienlijke wrijving en daardoor slijtage zal veroorzaken.




Daarom gebruikt men bij een enigszins groot drukverschil tussen verse- en afgewerkte stoom geen gewone bakschuif maar een bosschuif of een zuigerschuif of een klep, of een ander type schuif die ontlast is; bijvoorbeeld de mantel schuif. De spiegel hiervan heeft de normale gedaante, maar de stoomschuif is van twee geheel identieke glijvlakken voorzien. Het ene vlak loopt langs de spiegel en het vlak op de rug van de schuif beweegt langs het binnenvlak van de mantel of de bak.

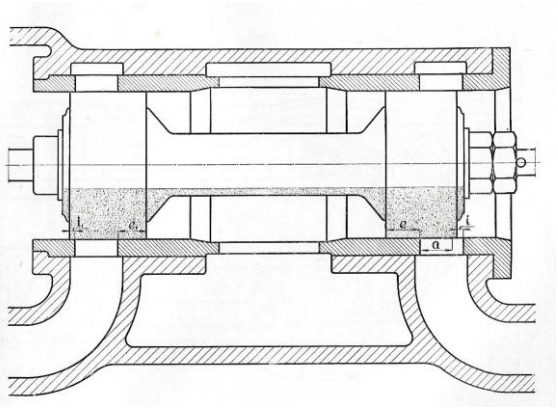
**Mantelschuif**

De mantel omhult de schuif aan de zijkanten. Deze zijkanten, ook wel poten genoemd, rusten op de spiegel. Ook is de mantel aan de omtrek voorzien van nokken. Deze nokken en de bladveer op de rug van de mantel zorgen voor de nodige bewegingsvrijheid van de bak in geval van waterslag. Daar de schuif in het midden open is, staat tegen het binnenvlak van de mantel de druk van de afgewerkte stoom. Wel staat de druk van de verse stoom nu op de buitenkant van de bak, echter die wordt via de poten afgevoerd naar de spiegel, en niet op de schuif. De schuif heeft afhankelijk van de grootte een speling van 01, 02 mm binnen de mantel en kan daardoor gemakkelijk heen en weer bewegen. De stoomschuif wordt dus niet op de spiegel gedrukt en is bijgevolg geheel ontlast. In de schuif zijn kanaaltjes (zie C) aangebracht om er voor te zorgen dat de stoomdruk aan beide zijden even groot is en zodoende tijdens bedrijf de schuif als het ware zweeft tussen de twee glijvlakken.

Het pasmaken van een mantelschuif vereist veel zorg en vakmanschap, veel meer dan bij een gewone bakschuif of ronde schuif. Het pasmaken gebeurt evenals bij de bakschuif door middel van schaven en schrappen met dien verstande dat men veel meer vlakken, vaak op tienden van millimeters, nauwkeurig moet pasmaken.

**Bosschuiven**

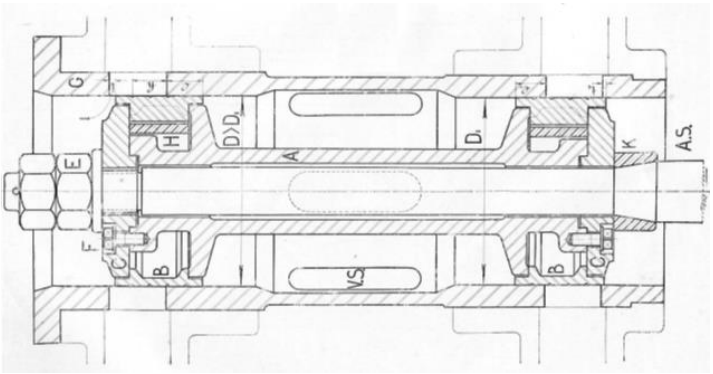
In de onderstaande figuur zien een cilindrische schuif de zogenoemde bosschuif. Het verschil in vorm met de eerder beschreven schuiven is dat deze rond is en de cilinder waarin de schuif beweegt een afzonderlijke voering heeft. In de figuur zien we de schuif in de middenstand getekend evenals bij de vlakke schuif, zodat we de toe- en afvoerlappen e en i kunnen waarnemen. Deze schuif is binnenladend, dat wil zeggen de verse stoom staat tussen de beide bossen (zuigers) in en de afgewerkte stoom aan de buitenkant van de linker- en de rechter bos. De toevoerlappen moeten uiteraard weer zijn aangebracht aan de zijde van de verse stoom en de afvoerlappen aan de zijde van de afgewerkte stoom, vandaar dat we die lappen in dit geval aan de andere zijde van de sluitvlakken aantreffen dan bij een vlakke schuif



**Bosschuif**

De krachten als gevolg van de stoomdruk op de bossen zijn tegengesteld en heffen elkaar op waardoor de bosschuif volledig ontlast is. De bewerking van de sluitvlakken kunnen op een draaibank worden uitgevoerd. Een vlakke schuif kan niet binnenladend zijn omdat deze door de verse stoom van de spiegel zou worden gedrukt.

De uitvoering van een bosschuif zoals hier na is afgebeeld, bestaat uit een ronde koker waardoor de stoomschuifstang gaat. Links en rechts is de koker verbreed tot een dikke schotel die dient als ligplaats voor ringen die voor de sluitvlakken van de schuif de afdichting vormen. De ringen worden weer opgesloten door deksels die met boutjes aan het schuiflichaam zijn bevestigd. De naar binnen gerichte pasranden hebben een geringe speling in hun ligplaats zodat de ringen binnen een bepaalde marge vrij kunnen bewegen. Een en ander is te vergelijken met een zuigerveer in zijn sponning. De ringen zijn aan de buitenzijde voorzien van een vijftal groefjes, die een labyrintvormen en zodoende voor een betere afdichting van de schuifvlakken zorgen. De schuif loopt in een voering die, evenals de ringen en de deksels, van gegoten ijzer is gemaakt,

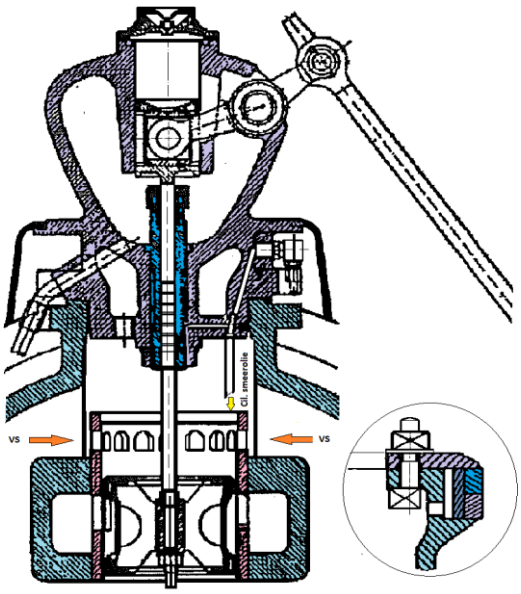



**Doorsnede Bosschuif**

De schuifringen bij de kleinere stoommachines zijn meestal gesloten uitgevoerd, dus niet doorgesneden of verend. Bij grote machines maakt men de ringen verend op de wijze zoals gebruikelijk bij zuigerveren. Afhankelijk van de stoomsoort maakt men de ringen meer of minder passend in de voering. Bij oververhitte stoom hebben zij dus in koude toestand de grootste speling. Hebben de ringen ten gevolge van slijtage te veel ruimte gekregen in de bussen, zodat zij niet meer goed afsluiten dan kunnen zij gemakkelijk door nieuwe worden vervangen. De bevestiging van de schuif op de stang gebeurt op nagenoeg dezelfde wijze als besproken bij de bakschuif met dien verstande dat de stang stijf verbonden is met de schuif. De schuif kan immers niet van de spiegel wijken. De voering, afhankelijk van het fabricaat stoommachine kan uit een of twee delen bestaan en wordt in de kast geperst zoals bij het voorbeeld of hiermee met een flensverbinding verbonden zijn. De stoompoorten worden gevormd door ruitvormige kanalen om slijtsporen in langsrichting te voorkomen.
Bij een bosschuif staat de stoom rondom de koker en, door de poortopeningen, ook rondom de sluitvlakken. De stoom drukt dus in alle richtingen met dezelfde kracht op de zijkanten van de schuif, met andere woorden de schuif wordt nergens tegen de spiegel gedrukt, zodat deze schuif geheel is ontlast. Dit is een belangrijke eigenschap, want daardoor zal het loopvlak van de schuif weinig slijtgage vertonen en hoeft de schuif nagenoeg geen wrijving te overwinnen.

**Zuigerschuiven**

Bosschuiven en zuigerschuiven worden met betrekking tot de benaming vaak door elkaar gehaald. Niet geheel onbegrijpelijk omdat de werking van een zuigerschuif te vergelijken is met die van de bosschuif met dien verstande dat de zuigerschuif maar één bos heeft en daardoor niet geschikt is voor gelijktijdige toevoer en afvoer van de stoom. Elke schuif heeft dan ook een aparte excentriek die de zuiger van de schuif bedient. Dit heeft als voordeel dat bij het verstellen van de toevoer voor expansie het tijdstip van de afvoer niet wordt beinvloed.




**Zuigerschuif**

De hiernaast afgebeelde zuigerschuif is zoals die door Jaffa uit Utrecht werd toegepast bij haar stoommachines. De holle zuiger is aan de boven- en de onderzijde voorzien van twee paketten zuigerveren. Elk pakket bestaat uit drie veren die vrij in de daarvoor ingerichte sponning kunnen bewegen. De veren worden door de stoomdruk achter de binnenveer enigszins naar buiten gedrukt. De zuiger beweegt in een uitneembare bus die is voorzien van twee rijen poorten.

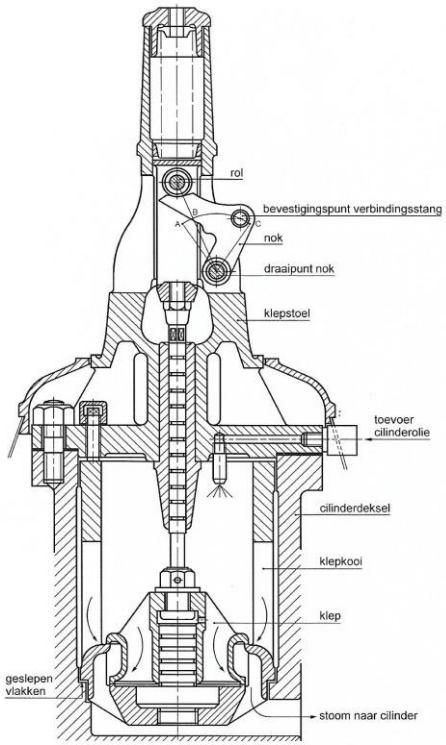
Als de bovenste en de onderste rij poorten worden vrijgemaakt door de beweging van de zuiger dan stroomt de verse stoom via de ringvormige ruime tussen het bovenste en het onderste pakket veren naar de desbetreffende cilinder.
De zuiger is volledig uitgebalanceerd. De schuif en het bewegingsmechanisme van de schuif zijn tot één geheel samengebouwd die voor revisie en onderhoud in zijn geheel uit de machine kan worden genomen. Het pasmaken van de zuiger en de voering gebeurt door middel van afdraaien.

**Kleppen**
Het gebruik van schuiven voor de stoomverdeling heeft verschillende nadelen waarvan hierna de belangrijkste worden genoemd.

- Schuiven hebben een groot oppervlak dat gemakkelijk kan beschadigen. Vooral als de schuif niet is ontlast, zullen de langs elkaar glijdende vlakken spoedig groeven kunnen gaan vertonen, waardoor er ernstige lekken ontstaan.
- Door de optredende wrijving komen er op de stoomschuifbeweging grote krachten en ontstaat een belangrijk arbeidsverlies dat wil zeggen het mechanisch rendement daalt.
- Het zuiver pasmaken van de sluitvlakken is een lastig en tijdrovend werk.
- Het openen en sluiten van de stoompoorten gebeurt betrekkelijk langzaam waardoor in het bijzonder aan het einde van de toevoer de stoom sterk wordt geknepen; dit betekent een aanzienlijke verkleining van het diagram oppervlak en dus van het vermogen.
- Bij gebruik van oververhitte stoom is het gehele schuifoppervlak moeilijk afdoende te smeren en kan de schuif gemakkelijk krom trekken en gaan lekken.
- Schuiven, zuigerschuiven uitgezonderd, regelen in het algemeen zowel de toe- als de afvoer van de stoom, met als gevolg dat de verschillende schuifwanden voortdurend aan de ene kant met de verse en aan de andere kant met de afgewerkte stoom in aanraking zijn, wat een nutteloze warmte- overdracht geeft. Bovendien worden nu ook de stoompoorten beurtelings met verse en afgewerkte stoom doorstroomd wat de ongewenste begincondensatie in de hand werkt.
- Door de aanwezigheid van de relatief grote vlakke spiegel op enige afstand van de cilinder zijn ook de stoompoorten groot wat weer van invloed is op de schadelijke ruimte.
- Men kan zonder speciale voorzienigen aan de schuif de toevoerfunctie niet wijzigen zonder ook de afvoerfunktie te beinvloeden en omgekeerd.

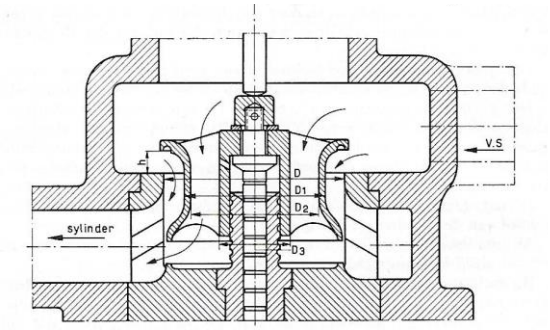
Met het gebruik van kleppen voor de stoomverdeling vervalt een groot deel van de bovengenoemde nadelen . Bij kleppen hebben we geen langs elkaar glijdende dichtingsvlakken zodat door slijtage hier geen lekkage kan optreden. Kleppen zijn nagenoeg geheel ontlast zodat er geen grote krachten nodig zijn om ze te bewegen. Een goede afdichting van de relatief kleine dichtingsvlakken van de kleppen kan door schuren worden bereikt. Kleppen worden in het algemeen geopend en gesloten met behulp van nokken op een nokkenas of zoals in de figuur hiernaast is aangegeven door een via een excentriek bewogen stang. Door de nok een geschikte vorm te geven , kan het openen en sluiten snel gebeuren zodat het onnodig knijpen van de stoom vervalt. Het toepassen van (sterk)oververhitte stoom geeft bij kleppen geen moeilijkheden: alleen de klepstangen hoeven te worden gesmeerd. Ook de klep bij een stoommachine is evenals de zuigerschuif slechts geschikt

om stoom toe of af te voeren. Het voordeel is dat de verse en de afgewerkte stoom niet door dezelfde opening stromen waardoor de begincondensatie vermindert. Bovendien kan de toevoer onafhankelijk van de afvoer worden geregeld en omgekeerd. De kleppen kunnen dicht bij de cilinders worden geplaatst zodat de schadelijke ruimte gering is. Deze voordelen maken dat bij het gebruik van oververhitte stoom vaak kleppen worden toegepast.




**Stoomklep (dubbele zitting)**

Kleppen bij stoommachines ziet men vooral toegepast bij snellopende machines omdat hiermee in beperkte tijd snel de juiste hoeveelheid stoom kan worden toe- en afgevoerd.




**Klepdoortocht met dubbele zitting**

Bij de later dan de stoommachine ontwikkelde verbrandingsmotoren past men kleppen toe met een enkele sluitrand; bij stoommachines bezigt men kleppen met een dubbele sluitrand. Het gevolg daarvan is dat de klep zo goed als geheel is ontlast, zodat voor de beweging ervan weinig kracht nodig is. Volledig kan de klep echter niet worden ontlast omdat de binnenste klep een kleinere diameter moet hebben voor het aanbrengen en het uitnemen ervan.

In de hieronder afgebeelde figuur is de doorsnede van een dubbele klep afgebeeld en is het verschil in diameter te zien. De verse stoom staat aan buiten- zijde van de klep waardoor de klep niet alleen door de drukveer, hier niet getekend, maar ook door de stoom op de zitting wordt gedrukt. Teneinde vervorming ten gevolge van ongelijkmatige uitzetting zoveel mogelijk te voorkomen geeft men dit soort kleppen een dunne wand, en maakt men ze van fijnkorrelig gegoten ijzer met een hoge treksterkte, het zogenoemde perlitisch gietijzer. Het kromtrekken van de kleppen als gevolg van grote temperatuursverschillen wordt zoveel als mogelijk voorkomen door de verbindingsruggen tangentieel te plaatsen. De sluitvlakken van de kleppen en de zitting worden eerst door afdraaien of met een speciale klepfrees vlak gemaakt en vervolgens geschuurd. Het schuren gebeurt in zo warm mogelijke toestand. Schuurt men de kleppen in koude toestand dan zullen ze tijdens gebruik onherroepelijk lekken.
De hoeveelheid stoom, die de cilinder moet vullen, of er uit moet worden afgevoerd moet door de klepopening stromen met een snelheid die een bepaalde waarde niet mag overschrijden. De stoomsnelheid door de klep waarbij de smoring binnen redelijke grenzen blijft, bedraagt hier, evenals bij een schuif, voor hoge drukken (14 kg/cm²) 60 en voor stoom van lage drukken (6 kg/cm²) 100 m/sec.
De maximum zuigersnelheid van een stoommachine is circa 1,6-keer zo groot als de gemiddelde zuigersnelheid zodat men bij de berekening van de vereiste doortochten evenals bij een stoomschuif weer uitgaat van stoomsnelheden van 30 m/sec voor de verse stoom en 40 m/sec voor de afgewerkte stoom. Voor de L.D.-cilinders van expansie-machines en voor oververhitte stoom kiest men deze snelheden 25 % groter.
Wegens de ruimte die door het kleplichaam wordt ingenomen blijft er ongeveer 0,7 deel van het klepoppervlak beschikbaar voor het doorlaten van de stoom. Stelt men de gemiddelde klepdiameter D en de lichthoogte h, dan zal de horizontale klepdoorsnede een doortocht hebben van:

$$A = 0{,}7 \,.\, \frac{\pi}{4} D^2$$

De beide klepopeningen leveren bij een geopende klep tezamen een cilindervormig oppervlak voor de doorlaat van:

$$A = 2\pi \,.\, D.\, h$$

Beide oppervlakken zijn aan elkaar gelijk dus is de lichthoogte:

$$0{,}7 \,.\, \frac{\pi}{4} D^2 = 2\pi \,.\, D.\, h$$

Of:

$$h = \frac{7}{80} \,.\, D = \frac{D}{11{,}4}$$

De maximale lichthoogte van kleppen wordt tussen 1/8 tot 1/12 van de gemiddelde klepdiameter gehouden.
De noodzakelijke klep middellijn berekent men nu op geheel dezelfde wijze als de poorthoogte bij een stoomschuif door uit te gaan van de betrekking:

zuigeroppervlak x gem. zuigersnelheid = klepdoortocht x gem. stoomsnelheid

Is hierin $D_c$ de cilinderdiameter in mm, L de slaglengte in m, D de klepdiameter in mm , $c_z$ de gemiddelde zuigersnelheid in m/ sec, c de stoomsnelheid en n het aantal omwentelingen per minuut dan is dus

$$\frac{\pi}{4} D_c^2 . c_z = 0{,}7 . \frac{\pi}{4} D^2 . c$$

Of ook:

$$D_c^2 . \frac{2 . L . n}{60} = 0{,}7\, D^2 . c$$

Waaruit volgt

$$D = D_c \sqrt{\frac{L . n}{21 . c}}$$

Van een kleppen machine heeft bijvoorbeeld de cilinder een diameter van 420 mm. De slaglengte is 900 mm. Als verder nog gegeven is dat het toerental van de machine 100 omw./min is en men een gemiddelde stoomsnelheid van 35 m/sec. wil hanteren. dan bedraagt de diameter van de klep:

$$D = 420 \sqrt{\frac{0{,}9 . 100}{21 . 35}} = 147\ [\mathrm{mm}]$$

De lichthoogte bedraagt dan

$$h = \frac{7}{80} . 147 = 13\ [\mathrm{mm}]$$

Dit is maar een kleine waarde ten opzichte van wat in de regel nodig is bij een vlakke schuif.

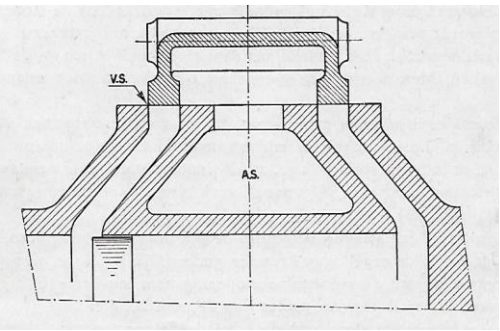
**De stoomschuif en de stand van de excentriek**

Met behulp van de stoomschuif en het excentriek zijn we in staat steeds op het juiste moment de machine van verse stoom te voorzien en de afgewerkte stoom af te voeren. Ook kunnen we hiermee het vermogen en het toerental regelen en hebben we invloed op het zuinige gebruik van de stoom. Voor de relatief jongere stoommachines uitgerust met kleppen en nokken die voor de beweging van kleppen zorgdragen geldt het zelfde.

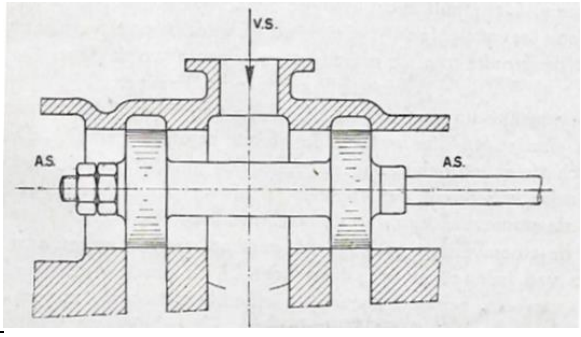
**Volledruk-machine**

In de linker figuur hierna is een bakschuif getekend voor een volledruk-machine. De schuif is getekend in de middenstand dat wil zeggen dat deze evenveel naar links als naar rechts kan uitwijken.

Bij een dergelijke machine moeten de schuif en de schuifbeweging zodanig ingericht zijn dat de toe- en afvoer over de gehele slag van de machine plaatsvinden. Staat de zuiger nu in zijn uiterste stand dan moet de toevoer aan de ene zijde beginnen en aan de andere zijde moet hij juist gesloten zijn en moet de afvoer beginnen. De enige mogelijkheid hiertoe is dat de schuif in de midden stand staat terwijl de zuiger in één van de uiterste standen staat. Zal de schuif de poort juist vol openen dan moet de excentriciteit gelijk zijn aan de poort hoogte. Omdat de V.S. (verse stoom) aan de buitenkant van de schuif staat noemt men deze buitenladend. In de rechter figuur afgebeelde bosschuif voor een voldruk-machine staat de stoom aan de binnenkant van de schuif. In dat geval spreken we van een binnenladende schuif. Binnenladende bakschuiven worden niet toegepast zoals we eerder hebben aangegeven omdat dan de bak van de spiegel wordt gedrukt.

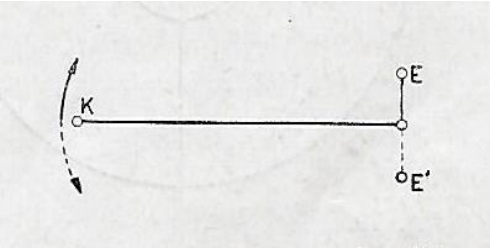


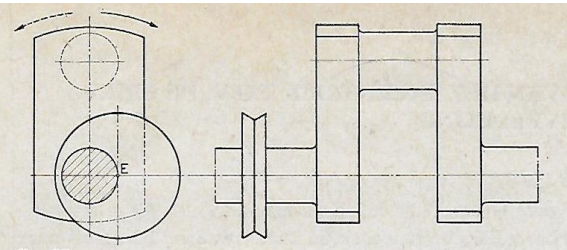

**Buitenladende bakschuif (volledruk-machine)**




**Binnenladende bosschuif (volledruk-machine)**

Voor de eenvoud denken we ons het bijbehorende excentriek vervangen door een krukje met een krukstraal gelijk aan de excentriciteit r. Uit het voorgaande volgt dat dit krukje loodrecht op de kruk van de stoommachine moet staan; immers dan staat de schuif in de middenstand als de zuiger in een van de zogenoemde dode punten staat.
Op de linker afbeelding van de volgende figuren is door enkele lijnen de kruk K van de machine en het kleinere krukje E weergegeven. Tevens zijn de draairichtingen en de bijbehorende stand van het excentriek daarbij aangegeven. Stel we hebben te maken met een horizontale machine en de zuiger bevindt zich in de figuur in de uiterste stand aan de dekselzijde.



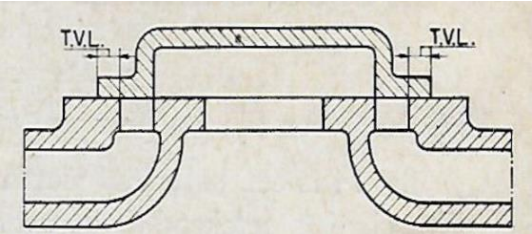

**Kruk- en excentriekstand volledruk-machine**

Om de machine te kunnen laten draaien moet de schuif zodanig worden bewogen dat er aan D.Z. (deksel- zijde) stoom wordt aangevoerd en aan A.Z. (as-zijde) stoom wordt afgevoerd De schuif van de machine moet zich daarbij naar rechts bewegen. Staat het excentriek dus in E dan kan de

machine alleen draaien in de richting van de getrokken pijl. Staat de excentriek daarentegen in E' dan is alleen een draairichting mogelijk volgens de gestippelde pijl.
Resumerend komen we hiermee tot de conclusie dat bij een volle druk-machine met buiten ladende schuif de kruk 90º (booggraden) in de draairichting voor de kruk moet staan. Bij een volle druk machine met een binnen ladende schuif ijlt daarentegen de excentriek 90º booggraden achter op de kruk. De excentriekstand E' moet hier worden gecombineerd met de draairichting die door de getrokken pijl wordt weergegeven.

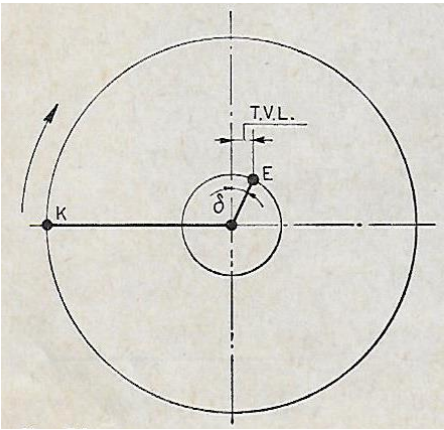
**Expansiemachine**

Bij een expansiemachine moet de schuif zodanig zij ingericht dat de stoom slechts over een gedeelte van de zuigerslag wordt toegelaten. De figuur hieronder laat een bakschuif zien van een expansiemachine.
Het verschil met de vorige schuif van de volledruk-machine is dat de sluitvlakken nu een stuk over de toevoerpoorten vallen. Men noemt deze stukken de toevoerlappen die kortheidshalve worden aanduid met T.V.L. De toelaat moet beginnen als de zuiger in zijn uiterste stand staat.
Bij de volledruk-machine stond het excentriek 90º voor de kruk, dus de kruk in de het dode punt en de schuif in de middenstand. Heeft de schuif nu toevoerlappen, dan moet, bij de kruk in het dode punt de schuif een stuk ter grootte van de toevoerlap uit de middenstand zijn verplaatst. Het excentriek moet daartoe in de draairichting meer dan 90º voor de kruk staan. De hoek meer dan de 90º noemt men de voorloophoek δ; spreek uit als delta.




**Buitenladende bakschuif (expansie machine)**

Omdat het volume van de afgewerkte stoom groter is dan dat van de verse stoom moet de poortopening voor de afvoer groter zijn dan die voor de toevoer. De poort wordt in de regel voor de toevoer gedeeltelijk en voor de afvoer geheel geopend. In verband hiermee spreekt men van de grootste poortopening voor toevoer, die meestal ¾ van is van de effectieve poorthoogte.



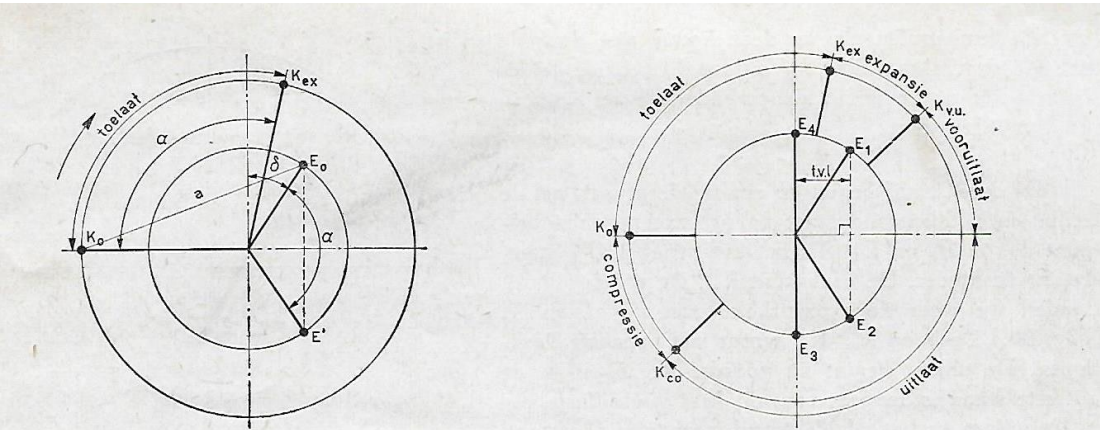

**Schema kruk- en excentriekstand (expansiemachine)**

De poortopening voor afvoer is meestal groter dan de poorthoogte. In de uiterste stand van de schuif is dus de poortopening voor toevoer maximaal. De schuif moet dan de toevoerlap plus de grootste poort-opening voor toevoer uit de middenstand verplaatst zijn. Zodat de grootte van de excentriciteit bepaald wordt door:

Excentriciteit = toevoerlap + grootste poortopening voor toevoer

De belangrijkste standen van de schuif zijn die waarbij de toevoer maar ook de afvoer begint en eindigt. De bij deze schuifstanden behorende zuigerstanden geven dan aan over welkgedeelte van de slag er toe- en afvoer plaats heeft. Men noemt dit de stoomverdeling van de machine.
Van de stoomverdeling hangt de goede werking van de machine af. Het is dus van belang dat men die goed kent voor het kunnen uitvoeren van inspecties, bediening en onderhoudswerkzaamheden.

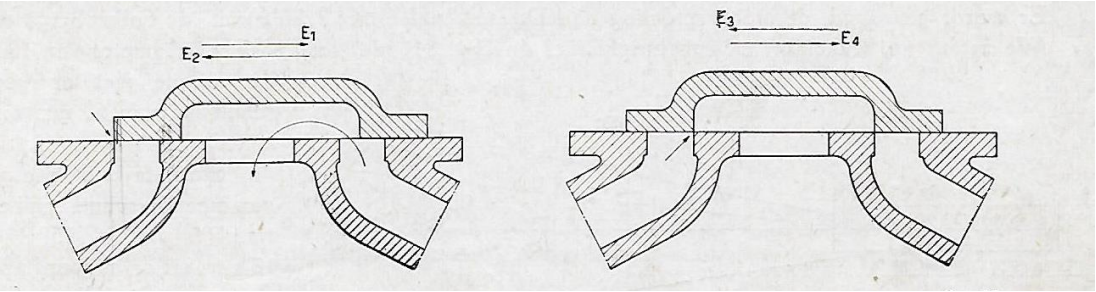
**Falkenberg-diagram**
In de praktijk gaat men bij het ontwerp van een stoommachine uit van een gewenste stoomverdeling en construeert daar een schuif voor. Men doet dit met behulp van schuifdiagrammen. Een dergelijk diagram is ook van belang bij het afstellen van de machine na reparaties.




**Schuifdiagram (zonder voortoelaat)**

Een dergelijk diagram is ook van belang bij het opnieuw afstellen van de machine na reparaties. Het diagram bestaat uit twee cirkels: de excentriekcirkel en de krukcirkel. De excentriekcirkel tekent men op ware grootte dan wel op schaal. De krukcirkel kan men willekeurig nemen omdat vooralsnog geen rekening wordt gehouden met de invloed van de eindigheid van de drijfstang. De reden dat we hier de kruk-cirkel willekeurig nemen is dat de verplaatsing van de schuif in mm wordt uitgedrukt en we de zuigerverplaatsing slechts willen weten in procenten van de slag. Voor het gemak stellen we de diameter van de krukcirkel op 100 mm. De diameter van de krukcirkel is gelijk aan twee keer de excentriciteit. We stellen ons nu voor dat het excentriek- middelpunt de excentriekcirkel en het middelpunt van de krukpen de krukcirkel doorloopt en het dode punt van de dekselzijde zich links van het diagram bevindt. Staat de kruk nu in dit dode punt, dan moet de schuif een afstand gelijk aan de toevoerlap naar rechts zijn verschoven. Om de bijbehorende excentriekstang te vinden moet we de toevoerlap uit het hart van de cirkel naar rechts uitzetten en dit projecteren op de

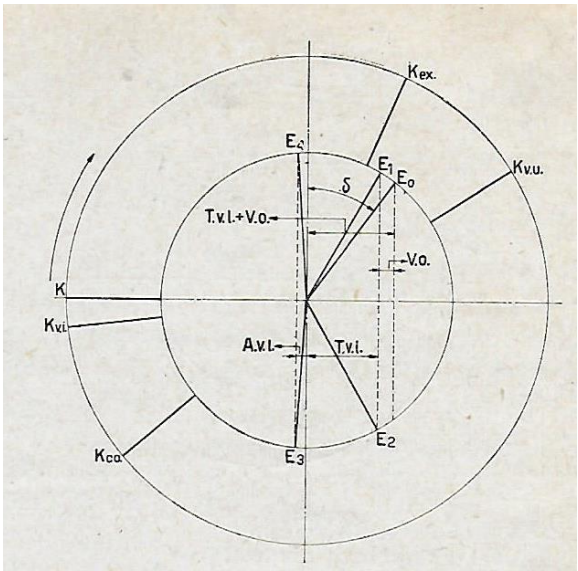
excentriekcirkel. We vinden dan de twee standen $E_0$ en E' voor het excentriek. Het hang nu van de draairichting af welke stand bij de krukstand $K_0$ hoort. Is de draairichting zoals de pijl aangeeft dan moet het excentriek-middelpunt in $E_0$ staan. Denken we ons de machine draaiend dan zien we de schuif toevoer geven aan de deksel zijde totdat zij in E' is aangekomen want dan staat de schuif weer in dezelfde stand als waarbij de toevoer begon. De machine heeft dus toevoer gekregen in de tijd dat zij de cirkelboog $E_0$ - E' (hoek α) doorliep. We kunnen de krukstand waarover dus toevoer plaatsvond vinden door deze vanuit $K_0$ uit te zetten. Dit geeft ons $K_{ex}$ de krukstand bij het einde van de toevoer. Bij die krukstand begint dus de expansie. De kruk heeft gedurende de toelaat de boog $K_0$ - $K_{ex}$ doorlopen.
Het volledige diagram ontstaat, als we hierin het begin en het einde van de uitlaat aangeven. Dit is gedaan voor de onderstaande buiten ladende bakschuif waarvan de resultaten in de rechter figuur zijn weergegeven.




**Schuifstanden behorende bij schuifdiagram op de voorgaande bladzijde**

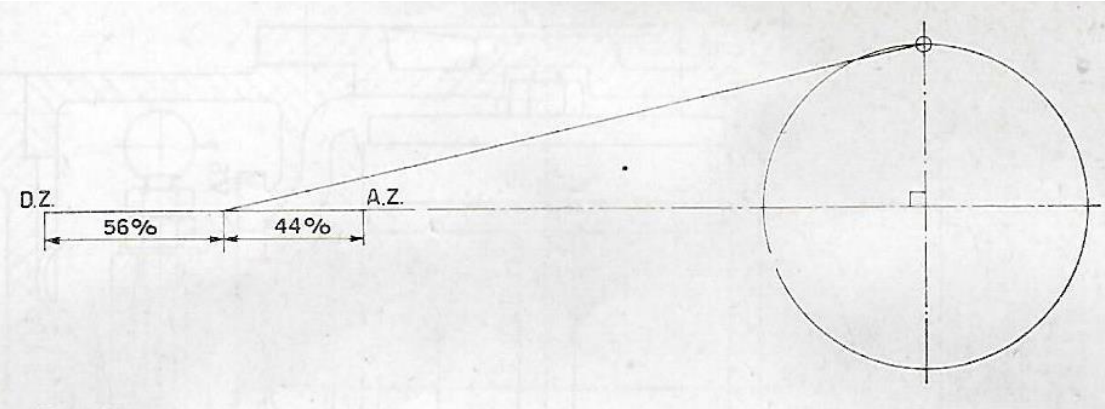
Bij deze schuif begint en eindigt de afvoer als de schuif in de middenstand staat en het excentriek middelpunt in $E_3$ en $E_4$. Als het excentriek in E3 staat begint dus de afvoer. De bijbehorende krukstand $K_{vu}$ vinden we door omcirkelen van afstand a uit de linker schuifdiagram figuur. De boog $K_{ex}$ – $K_{vu}$ wordt met expansie doorlopen. De uitlaat begint nu voordat de zuiger in zijn uiterste stand is aangekomen; dit heet vooruitlaat. De uitlaat eindigt weer als de zuiger in de middenstand staat. Het excentriek staat dan in $E_4$ en de kruk in $K_{co}$ **.** De boog vanaf het dode punt tot $K_{co}$ wordt met uitlaat doorlopen. We zien dat de afvoer wordt gesloten voordat de zuiger in de uiterste stand is aangekomen. De voortbewegende zuiger begint nu de zich nog in de cilinder bevindende stoom te comprimeren. We zeggen daarom dat, als de kruk in $K_{co}$ staat de compressie begint. De boog $K_{co}$ **-** $K_0$ wordt met compressie doorlopen. Door de schuif toevoerlappen te geven hebben we niet alleen expansie gekregen maar ook vooruitlaat en compressie. Wil men de vooruitlaat en de compressie nog wijzigen zonder de expansie te beïnvloeden dan moet de schuif ook een lap hebben aan de afvoerzijde, een zogenoemde afvoerlap.
Het optreden van vooruitlaat en compressie is geen nadeel van expansie. We hebben ze beide namelijk nodig. De vooruitlaat zorgt er namelijk voor dat de druk in de cilinder als de zuiger op de terugweg is reeds tot de tegendruk is gedaald. Verder zorgt de compressie ervoor dat de zuiger op het einde van de slag wordt afgeremd en dat de schadelijke ruimte wordt opgevuld.
Wanneer de schuif juist snijdend staat voor toevoer als de zuiger in het dode punt staat begint de zuiger niet met de volle inlaatdruk; daarvoor gaat de schuif te langzaam open. Om deze reden geeft men de machine in de regel een voorinlaat en de schuif een vooropening.

Dit wil zeggen dat als de zuiger in de uiterste stand staat, de poort reeds een kleinstukje voor toevoer is geopend. Men bereikt dit door de voorloophoek iets groter te maken. Bij de kruk in de uiterste stand is de schuif een afstand ter grootte van de toevoerlap vermeerderd met de vooropening uit de middenstand verplaatst. Het schuifdiagram ziet er dan uit zoals in de figuur hiernaast is weergegeven



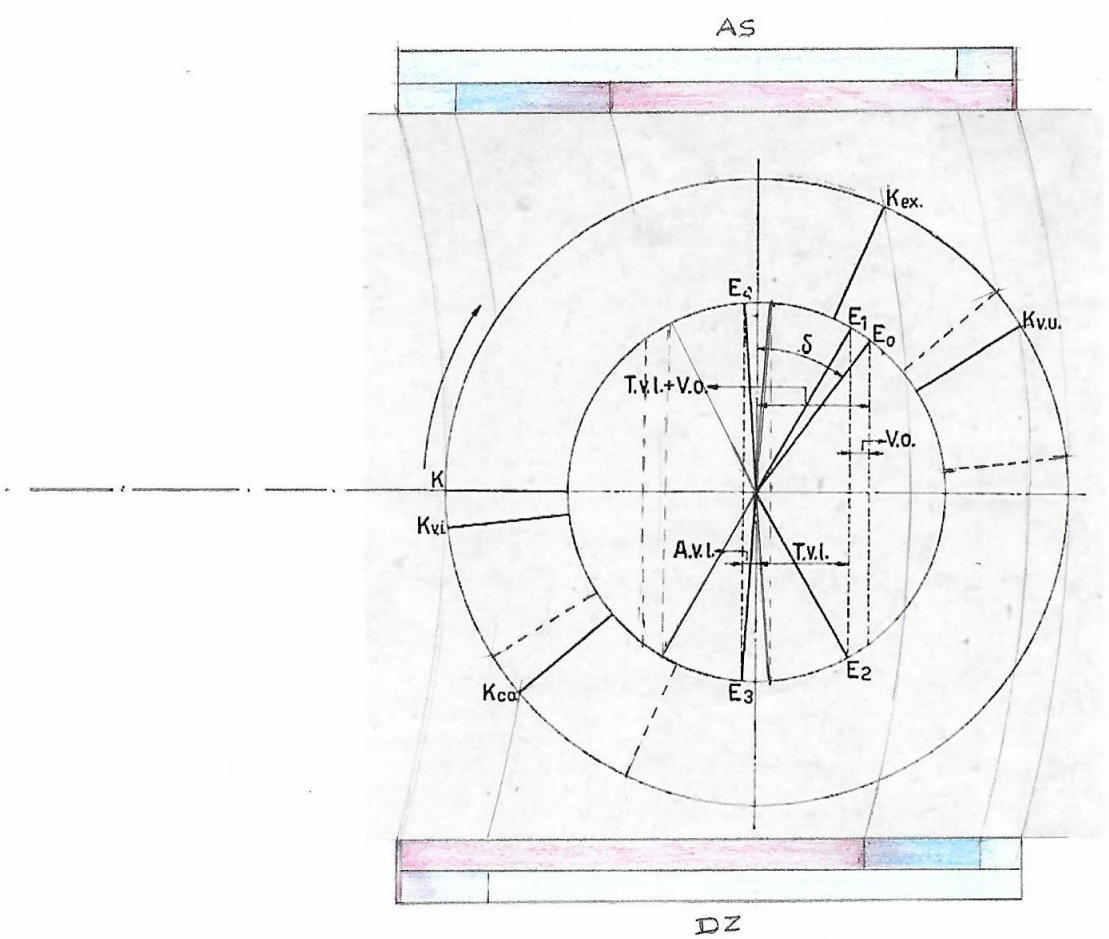

**Schuifdiagram (met voortoelaat)**

Het is de gewoonte om de zuigerverplaatsing uit te drukken in procenten van de slag. Beschouwen we de hierna gegeven figuur dan zien we, dat wanneer de kruk van de machine 90° uit het dode punt van de deksel DZ (deksel zijde) staat de zuiger ongeveer 56 %, dus meer dan de helft van zijn slag heeft afgelegd en bij een krukstand 90° door het dode punt aan AZ minder dan de helft. Dit wordt veroorzaakt door de schuine stand van de drijfstang van de machine. We noemen dit de drijfstangfout. Bij de behandeling van het kruk- drijfstang mechanisme komen we hierop terug. Deze afwijking is des te groter naarmate de drijfstang in verhouding tot de kruklengte korter is, vandaar dat men de drijfstang zelden korter maakt dan 4½ keer de kruklengte.




**Schema zuigerverplaatsing (in procenten van de slag)**

Het stoomschuifdiagram van Falkenberg wat we hiervoor besproken hebben geeft wel een juist beeld van de onderlinge standen van het excentriek en de kruk tijdens de stoomverdeling, maar bij een meer nauwkeuriger beschouwing, zoals hier voor, is het niet veroorloofd om de projectie van het hart van de krukpen op de middellijn als de plaats van de zuiger langs de zuigerweg te nemen. Om de juiste zuiger verplaatsing te vinden zullen we daarom gebruik maken van de zogenoemde boogprojectie van Brix. Met deze methode worden met de drijfstanglengte als straal vanaf de doorgetrokken hartlijn de verschillende krukstanden aan de zijkant van het diagram geprojecteerd.




**Falkenberg diagram (buitenladende bakschuif)**

In de bovenstaande figuur zijn volgens deze methode de schuif- en krukstanden voor D.Z. en AZ getekend voor een buiten ladende bakschuif met de volgende schuifgegevens.

| | |
|---|---|
| Schuifslag : | 60 mm |
| Toevoerlap : | 15 mm |
| Vooropening : | 03 mm |
| Afvoerlap : | 02 mm |

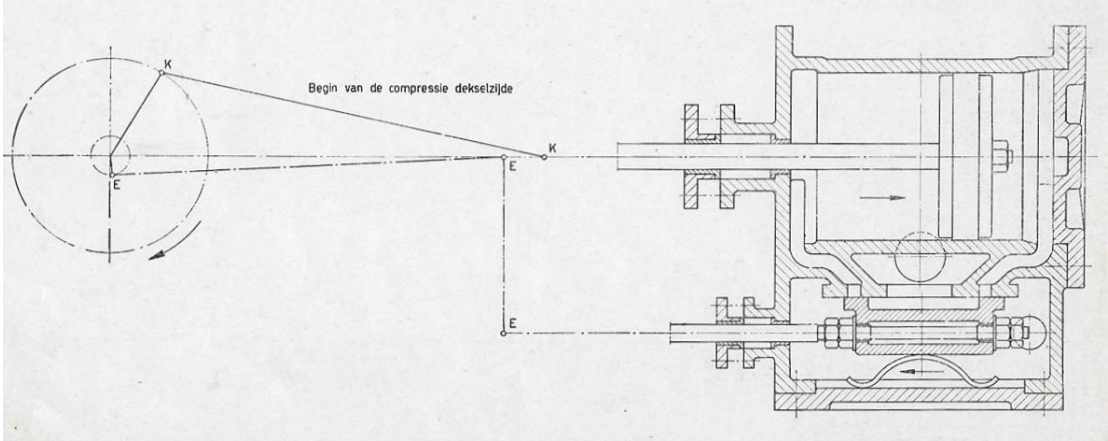
De stoomverdeling die met de gevolgde grafische methode is bepaald wordt in de volgende tabel weergegeven.

| | **Dekselzijde** | | **Aszijde** | |
|---|---|---|---|---|
| Voorinlaat | 7 | % | 7 | % |
| Toelaat | 73,5 | % | 64,5 | % |
| Expansie | 19,5 | % | 25,5 | % |
| Vooruitlaat | 7 | % | 10 | % |
| Uitlaat | 85 | % | 90 | % |
| Compressie | 15 | % | 10 | % |

**Tabel stoomverdeling**

Het verschil als gevolg van de eindige lengte van de drijfstang is opmerkelijk. Om dit verschil te verkleinen, maken we de toe- en afvoerlap aan A.Z. verschillend van die aan D.Z. Aan A.Z wordt de toevoerlap kleiner en de afvoerlap groter dan aan D.Z.
Men zal opmerken, dat we bij de beweging van de schuif geen rekening hebben gehouden met de invloed van de eindige lengte van de excentriek stang. We kunnen hier namelijk de afwijkingen verwaarlozen, aangezien de excentriek stang 20 tot 30 keer langer is dan de excentriciteit. Daarom zijn de verplaatsingen van de schuif door middel van een rechte lijn op de excentriek cirkel geprojecteerd.

In de figuur hieronder is schematisch de werking van het excentriek weergegeven. De krukas en de excentriekschijf zijn 90° verdraaid getekend om de tekening beter leesbaar te maken.




**Werking kruk en excentriek**

Het betreft hier een zeer eenvoudige dubbel werkende stoommachine met een buitenladende niet ontlaste bakschuif. De schuif staat snijdend voor het begin van de compressie aan de dekselzijde getekend. Dit is nagenoeg de middenstand van de schuif.