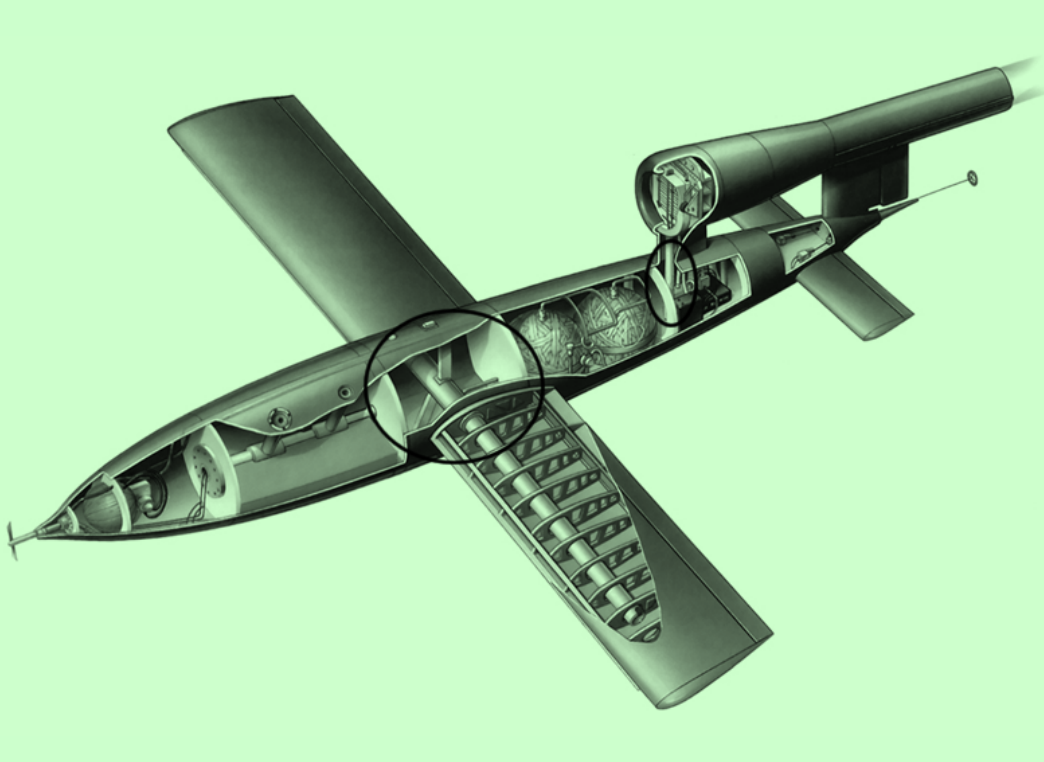
BRANDSTOF

Deze verhandeling past in een project waarin de Fieseler Fi 103 of V1 vliegende bom centraal staat. De bedoeling is om ieder onderdeel van de V1 in een brede context te behandelen. Eens de V1 was gelanceerd werd de pulsejet motor automatisch voorzien van brandstof. Enige toelichting volgt hieronder.

Bij de constructie van de V1 was één van de voorwaarden dat alle gebruikte middelen zo goedkoop mogelijk moesten zijn en gemakkelijk te construeren. Dit gold ook voor de brandstof en de brandstoftoevoer. Bij veel ontwerpen verbetert men en/of voegt men al bestaande uitvindingen samen tot een nieuw geheel. Het brandstofsysteem van de V1 was een dergelijk voorbeeld en bij sommige onderdelen wordt bijkomende uitleg verschaft.

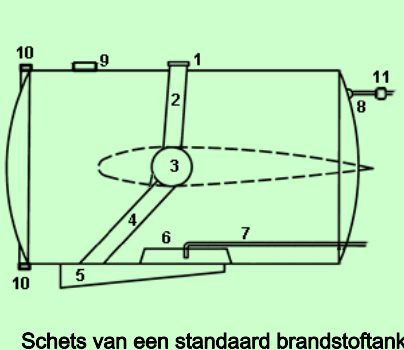


Info : benzine

Abroham Schreiner

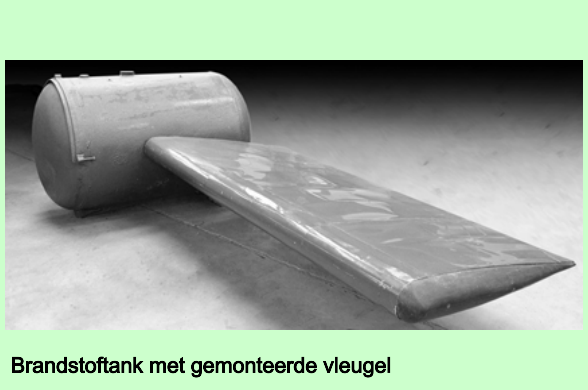
In de streek het Poolse dorp Boryslaw werd op het eind van de jaren 1700 ruwe olie uit de grond gewonnen. De boeren van het dorp hadden al lange tijd ondekt dat gegraven putten zich vulden met een bruingrijze tot geelgrijze vloeistof. Het was een vettig goedje die moeilijk van kleren kon worden gewassen. De stof werd al gauw gebruikt om smeermiddel aan te maken voor de wielen van hun wagens. Het proces was rudimentair. Men vulde een koperen pot tot twee derde met de smurrie, een deksel ging erop en men kookte de inhoud tot een bepaalde temperatuur. Vervolgens liet men de pot drie dagen afkoelen en de inhoud was gescheiden in twee vijfden olie die kon worden gebruikt voor verlichting en drie vijfden zwarte vettige massa die kon worden gebruikt voor smeermiddel. Ook werd in de gegraven putten een minerale was gevonden. Deze stof, ozokeriet genaamd, gebruikte men vanaf midden jaren 1800 voor het aanmaken van kaarsen. In 1885 ontdekte één van die kaarsenmakers, Abraham Schreiner, dat men de olie verder kon raffineren door ze te koken in een pot op het fornuis. Bij één van die proeven ontplofte de ketel en werd Schreiner ernstig verbrand. Toch werkte hij verder aan zijn destillaat en verkocht het resultaat, een stinkende groene vloeistof, aan apotheken. Een paar van die apothekers, Ignacy Lukasiewicz en Johann Zeh, distilleerden de vloeistof verder en het resultaat was een zuivere olie die ze nafta noemden. Deze vloeistof zou de basis vormen in de ontwikkeling van verbrandingsmotoren.

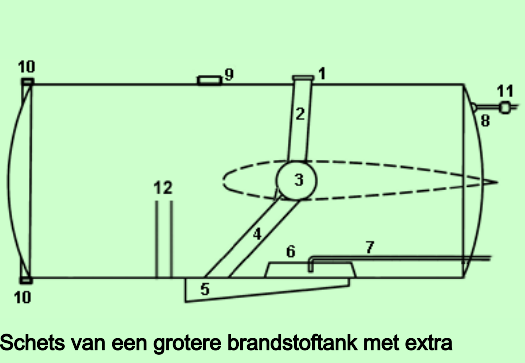
V1 brandstoftank : bouw



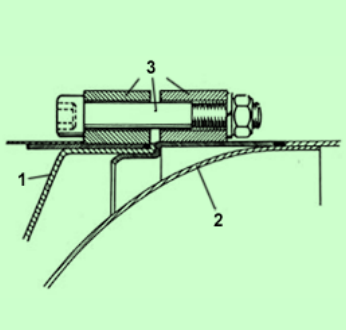
Schets van een standaard brandstoftank

1 takelpunt
2 versteviging
3 holte voor vleugelbalk
4 versteviging
5 meenemer
6 filter
7 brandstofleiding
8 persluchtaansluiting
9 vulopening brandstof
10 Frydag Kupplung
11 terugslagklep
12 sikkelvormige versterkingen


Brandstoftank met gemonteerde vleugel



Schets van een grotere brandstoftank met extra versterkingen



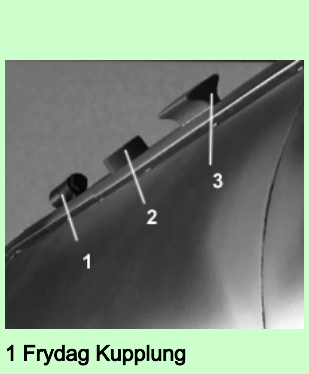
1 mantel explosieve lading
2 mantel brandstoftank
3 Frydag Kupplung

Detail van de Frydag Kupplung

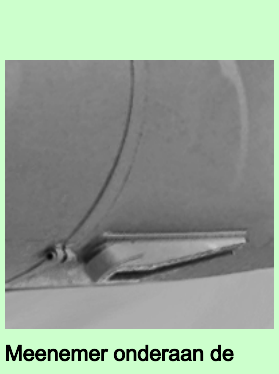
Een V1 was zo gebouwd dat hij bij het lanceren vanaf een lanceerkatapult een kracht van meer dan 15G kon ondergaan (= 15 x gewicht van een V1). De zwaarste onderdelen van een V1 waren een gevulde brandstoftank van 610 kg (680 liter) en 830 kg explosieve lading. Bij het ontwerp koos men één van de zwaarste onderdelen als centraal gedeelte, de brandstoftank. De stalen tank bestond uit een cilinder waarop langs beide zijden een koepelvormig deksel was gelast. De tank moest een aantal krachten opvangen: vooraan het gewicht van de explosieve lading bij lancering, binnenin een druk van 6 atm. die zorgde voor de brandstofvoorziening en in het midden de belasting op de vleugels tijdens de vlucht en vooral tijdens de lancering vanaf een katapult. Om die krachten te kunnen opvangen was de brandstoftank uit een plaatdikte van 2.77 mm dik geconstrueerd en was achter de explosieve lading vastgemaakt met vier bouten die 90 graden over de cilinderomtrek van de tank waren verdeeld: de zogenaamde Frydag Kupplung (10). Bovenaan was een vulopening (9) voor de brandstof en langs de onderzijde was een meenemer (5) gelast die bij lancering ingreep op een haak die bovenop een lanceerpiston was gelast. Dwars doorheen de brandstoftank was een buis (3) gelast waardoor een cilindervormige balk werd geschoven om er vervolgens de vleugels op te monteren. Een zwaluwstaartvormige takelhaak (1), die bovenaan de brandstoftank was gelast, bevond zich in het zwaartepunt van de V1 en diende onder andere om een V1 op te hangen aan een takel in een 'Richthaus'. Voor de lancering van een V1 werd daar het kompas van een V1 afgeregeld. Om het geheel te verstevigen waren meenemer, takelhaak en buis voor de vleugeldraagbalk onderling met stangen (2 en 4) aan elkaar gelast. Om de brandstof naar de motor te stuwen werd de tank via een persluchtleiding (8) onder druk gezet. Om terugvloeien van brandstof in de luchtleiding te voorkomen was een terugslagklep (11) gemonteerd. Onderaan de tank was een grof filter (6) aangebracht, een fijner filter bevond zich verder in de brandstoftoevoerleiding (7) die naar een brandstofklep leidde. Met een inhoud van 680 liter brandstof werd voor de Fi 103 type A1 een actieradius van ongeveer 270km bereikt wat voldoende was voor de afstand Noord-Frankrijk naar Engeland. Later moest men vanuit Nederland lanceren en was een groter bereik nodig. Op de Fi 103 type E1 werd een langere brandstoftank van 810 liter voorzien en later op de Fi 103 type F1 een tank van 1025 liter waardoor respectievelijk een actieradius van ongeveer 345 km en 370 km mogelijk werd. De plaatdikte van de nieuwe tanks werd gewijzigd naar 3 mm en er werden 2 sikkelvormige versterkingen in de tank aangebracht.

Lasconstructie van de takelhaak op centrale buis van neergestorte V1

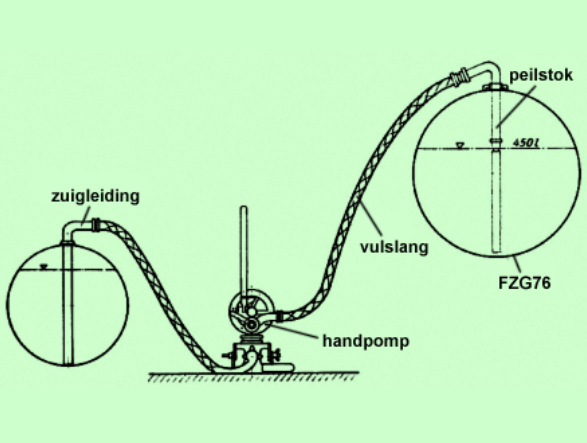
Voorkant brandstoftank



1 Frydag Kupplung
2 vulopening brandstof
3 takelhaak


Meenemer onderaan de brandstoftank voor lancering vanaf catapult

V1 brandstoftank : vullen en peilen



Schets van een PFE pomp opstelling

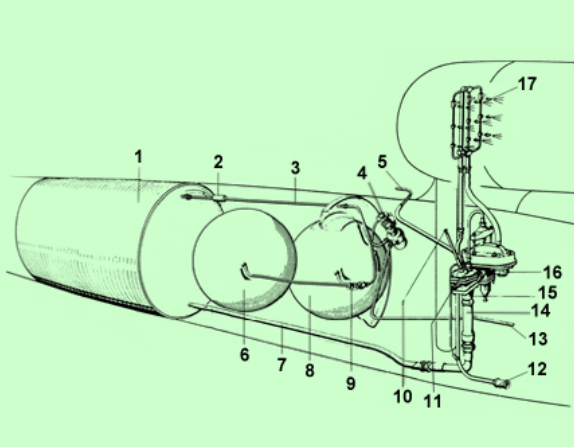
Ongeveer 680 liter brandstof, type E1 octaangehalte 75, werd met behulp van een manueel bediende brandstofpomp (PFE Gerät) van uit een brandstofreservoir naar de brandstoftank van de V1 gepompt. De tank werd gevuld tot aan de rand waarna 20 liter werd uitgepompt om een luchtbel te creëren in de V1 brandstoftank. Dit was nodig om de brandstof in de brandstoftank van de V1 met perslucht onder te kunnen zetten. De vulopening van de brandstoftank werd met een schroefdop afgesloten.
Het PFE Gerät diende voor het vullen, aftappen en peilen van de brandstof. Voor het meten van het brandstofpeil in de brandstoftank van een V1 waren op de pijlstok streepjes aangebracht waarop men na het peilen de hoeveelheid brandstof kon aflezen.
Na het vullen van de brandstof moest de brandstoftank en het staartgedeelte van de V1 tegen het directe zonlicht worden beschermd. Men spande een zeil op een bepaalde afstand boven de V1 zodat er lucht kon wervelen tussen het zeil en de V1. Op die manier werd voorkomen dat de brandstof zou opwarmen of dat de druk in de persluchtbollen zou oplopen.

Info : wet van Pascal

Blaise Pascal

Voor toevoer van brandstof vanuit de tank naar de Argus As104 pulsejet motor van de V1 werd niet gekozen voor een dure brandstofpomp maar werd een druk in de brandstoftank gecreëerd. Hierdoor werd de brandstof door de leiding onderaan de tank naar de brandstofregelaar gestuwd. Het uitgangspunt voor deze oplossing was een toepassing van de wet van Pascal: een druk, uitgeoefend op een deel van een vloeistof, plant zich in alle richtingen met dezelfde grootte voort. Blaise Pascal was een Franse mathematicus, fysicus en filosoof die leefde van 19 juni 1923 tot 19 augustus 1662.

V1 brandstoftoevoer

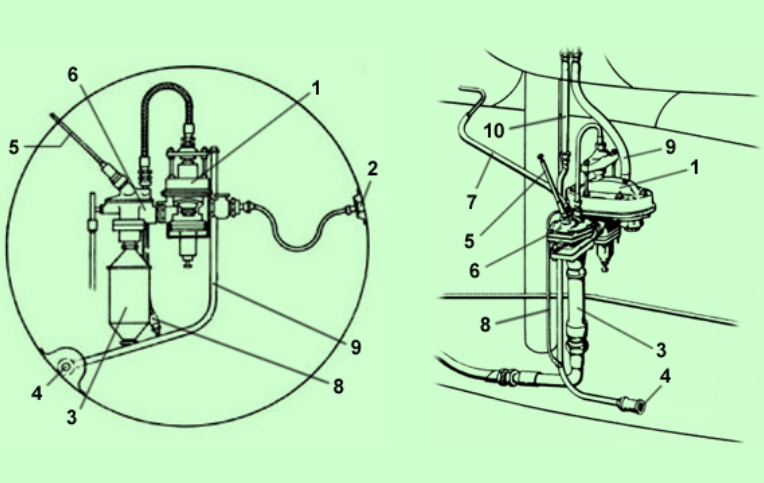


1 brandstoftank
2 terugslagklep
3 luchtleiding
4 drukregelaar
5 pitot buis
6 persluchtreservoir 1
7 brandstofleiding
8 persluchtreservoir 2
9 vulopening voor perslucht
10 uitschakelbediening
11 brandstofklep
12 aansluiting externe luchtaanvoer voor het starten van de motor
13 luchtleiding naar automatische piloot
14 filter
15 aansluiting brandstofklep
16 brandstofregelaar
17 verstuivers (3 voor de start, 9 voor tijdens de vlucht)

Schets van het brandstofsyteem

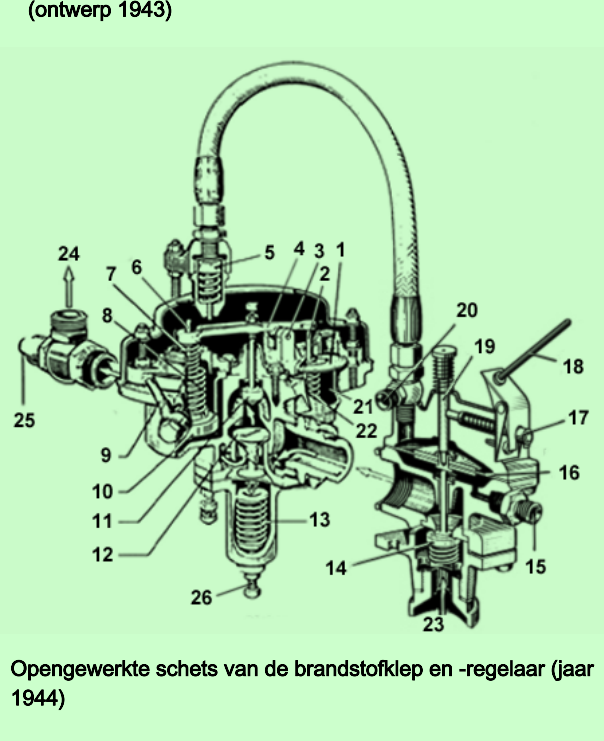
Tijdens de vlucht van een V1 werd de brandstoftank (1) door perslucht vanuit persluchtbollen (6) en (8) via leiding (3) onder druk gebracht. Op die leiding was een terugslagventiel (2) gemonteerd om te voorkomen dat brandstof zou terugvloeien naar de persluchtbollen en vervolgens de sturing zou ontregelen. Door druk in de brandstoftank werd benzine van 75 octaan (type E1) door een brandstofleiding (7) via een filter (14) naar een brandstofregelaar (16) gestuwd. Afhankelijk van wijzigingen in vlieghoogte en snelheid werd in deze regelaar (16) de stand van de smoorklep automatisch gewijzigd waardoor meer of minder brandstof naar de naar verstuivers (17) in de pulsejet motor werd gestuwd. Om de pulsejet motor op te starten was aan de onderkant van een V1 een aansluiting (12) voorzien waardoor een mengsel van lucht, olie en brandstof onder druk rechtsreeks naar drie verstuivers in de pulsejet motor werd geperst.

V1 brandstofsysteem



1 brandstofregelaar
2 aansluiting manometer
3 filter (type 1 en 2)
4 aansluiting start unit (Anlassgerät)
5 stang uitschakelen brandstoftoevoer
6 brandstofklep
7 pitot buis
8 leiding naar brandstofklep
9 leiding naar 9 verstuivers in pulsejet motor
10 leiding naar 3 verstuivers in pulsejet motor (start)

Schets van de gemonteerde brandstofklep en -regelaar (ontwerp 1943)

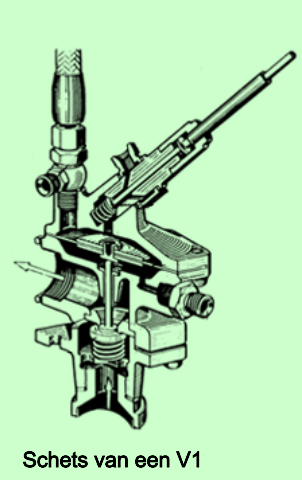


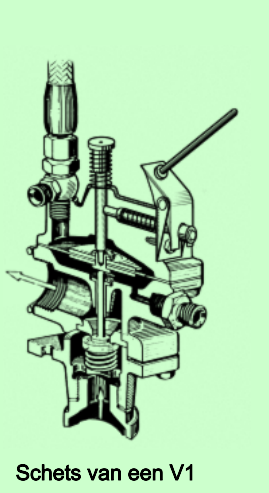
1 hoogtedoos membraan
2 stang hoogtedoos
3 draaipunt hefboomsysteem
4 hefboom
5 cilinder met zuiger
6 stang snelheidsregeling
7 veer op stang snelheidsregeling
8 veer op zuiger snelheidsregeling
9 aansluiting voor pitot buis
10 zuiger van druksysteem op pitot buis
11 smoorklep
12 constante drukklep
13 veer van constante drukregelaar
14 brandstofklep
15 ontluchtingsopening
16 membraan
17 kop van de vergrendelingsstang
18 schakelstang voor afsluiten brandstoftoevoer
19 trekstang voor sluiten brandstofklep
20 aansluiting voor aanvoer extern startmengsel onder druk
21 ruimte onder hoogtedoos
22 veer die hoogtedoos op zijn plaats houd
23 gefilterde brandstof vanuit brandstoftank
24 brandstofaansluiting naar verstuivers
25 leiding naar externe manometer aansluiting
26 bout voor instellen constante drukregelaar

Opengewerkte schets van de brandstofklep en -regelaar (jaar 1944)

De brandstoftoevoer van de Fieseler Fi 103 werd geheel automatisch geregeld tijdens de vlucht. De druk in de brandstoftank stuwde de brandstof via aansluiting (23) van een brandstofklep (14) naar een automatische brandstofregelaar. Tijdens de opstartfase van de pulsejet motor werd brandstofklep (14) door een mechanisme geopend. Indien de motor niet startte of er zich andere problemen manifesteerden kon men door indrukken van een stang (18) de brandstoftoevoer afsluiten. Het automatische brandstofregelsysteem werd gestuurd door de startdruk (bij opstarten pulsejet motor), de brandstofdruk, de vlieghoogte en de vliegsnelheid. Onder de luchtingang van de pulsejet motor was een pitot buisje geplaatst die de snelheid registreerde tijdens de vlucht van een V1. Dit buisje was verbonden (9) met een drukcilinder waarin een zuiger (8) kon bewegen. Een zuigerstang (6) was door de ene kant van een hefboomsysteem (4) geschoven. Onder het andere uiteinde van de hefboom bevond zich de stang (2) van een hoogtemeterdoos. Het draaipunt (3) van de hefboom lag op ongeveer op één derde van zijn lengte gemeten vanaf de positie van de hoogtemeterdoos. In het midden van de hefboom was een stang naar een smoorklep (11) bevestigd. Onderaan de brandstofregelaar was drukklep (12) aangebracht die de brandstofdruk vanuit de brandstoftank op een constante druk reduceerde vóór de smoorklep (11). De constante druk werd vooraf ingesteld met een bout (26). De doorstroomopening voor de brandstof werd geregeld door de smoorklep (11) die via de hefboom (4) werd bewogen door de positie van de stang in de hoogtemeterdoos (2) en de snelheidsregeling (6). De brandstof werd vervolgens door aansluiting (24) via een leiding naar negen verstuivers in de pulsejet motor gestuwd.

V1 brandstofsysteem : brandstofklep

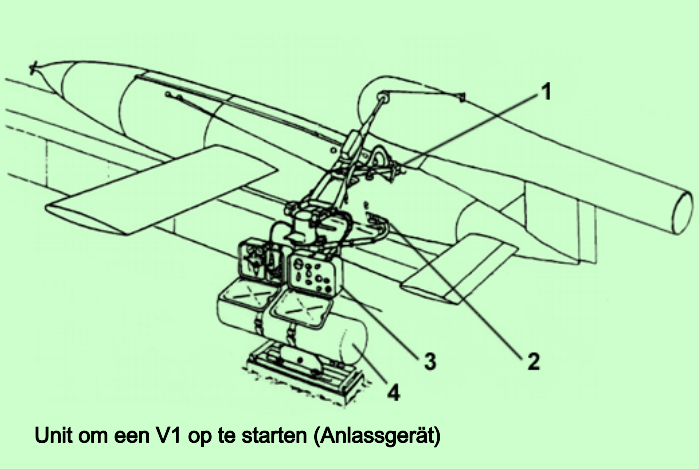

Schets van een V1 opengewerkte brandstofklep versie jaar1943


Schets van een V1 opengewerkte brandstofklep versie jaar 1944

Bovenkant brandstofklep voor een Amerikaanse JB-2 (V1 copy)

De V1 die tijdens WO2 werd ontwikkeld was een nieuw gevaarlijk oorlogstuig die men met de nodige voorzichtigheid diende te behandelen. Vooral bij een lancering kon het soms mislopen en om die reden werd de pulsejet motor van op afstand opgestart. Om de brandstoftoevoer te activeren werd een ingewikkeld ontwerp gemaakt die de mogelijkheid bood om de brandstoftoevoer van op afstand in te schakelen en af te sluiten indien iets fout liep. Het uitschakelsysteem werd na 1943 vereenvoudigd en het systeem van 1944 werd zelfs door de Amerikanen nagebouwd voor hun JB-2 Loon.

V1 brandstofsysteem : start unit

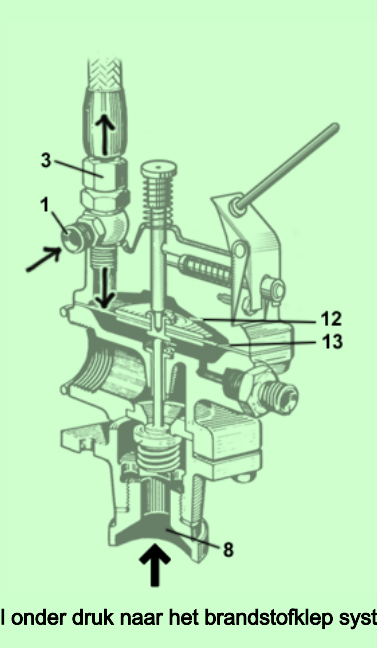


1 - elektrische aansluitingen en uitschakelsysteem brandstof
2 - trekkoppeling voor ontstekingsmengsel
3 - bedieningskasten
4 - drukreservoir lucht/benzine/olie

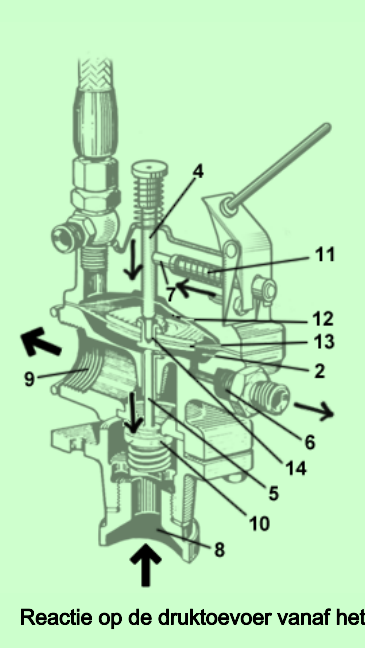
Unit om een V1 op te starten (Anlassgerät)

De pulsejet motor van een V1 werkte alleen als er een continue stroom van lucht en brandstof werd toegevoerd. Om die reden werd de pulsejet motor opgestart en voor de lancering draaiende gehouden met behulp van een start unit (Anlassgerät). Op het Anlassgerät was een reservoir (4) voorzien die een mengeling bevatte van perslucht, benzine en olie onder een druk van 16 -18 bar. Dit reservoir was met een slang aan een trekkoppeling (2) (Trennkupplung) verbonden aan de buitenkant van een V1. Binnen in de V1 leidde die aansluiting naar een brandstofklep, een cilinder boven een brandstofregelaar en drie verstuivers in pulsejet motor. Deze verstuivers waren speciaal voorzien om de pulsejet motor op te starten. Boven het reservoir van het Anlassgerät waren twee controlekasten (3) gemonteerd: links voor de perslucht en rechts voor de elektrische schakelingen. Helemaal bovenaan was een scharnierende arm op het Anlassgerät geplaatst. Op deze arm was onder andere een voorziening geplaatst om de brandstoftoevoer van op afstand af te sluiten.

V1 brandstofsysteem : werking brandstofklep openen (type 1944)



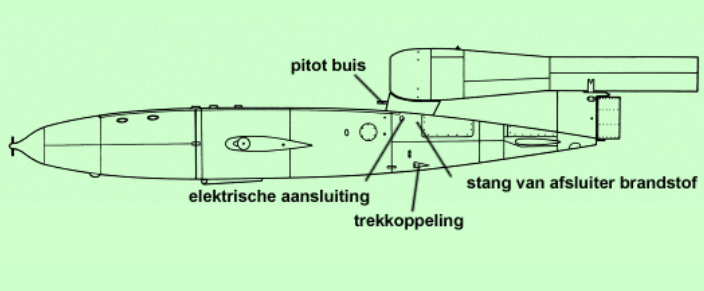
Mengsel onder druk naar het brandstofklep systeem

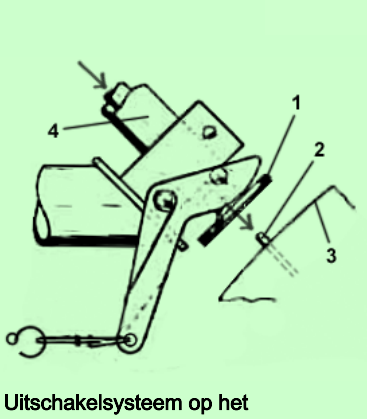


Reactie op de druktoevoer vanaf het Anlassgerät

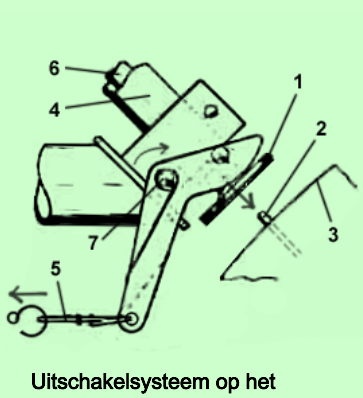
Om de pulsejet motor van een V1 te starten was een kleine explosie nodig in de verbrandingskamer van de pulsejet motor. Deze werd veroorzaakt door een mengsel van lucht/benzine/olie naar de motor te stuwen en met vonken van een bougie te laten ontbranden. Eens de pulsejet gestart werd brandstof vanuit de brandstoftank onder druk naar negen verstuivers in de pulsejet motor van de V1 geperst. De regeling van de brandstoftoevoer werd vervuld door de brandstofregelaar. Aan de regelaar was een brandstofklep unit bevestigd die bij de start automatisch moest worden geopend. De klep werd geactiveerd met behulp van een Anlassgerät die met een aantal leidingen op de zijkant van V1 werd aangesloten, onder andere een drukslang met trekkoppeling. Binnenin de V1 liep een leiding van aan die trekkoppeling naar de brandstofklep unit. Bij activeren van het Anlassgerät werd een mengsel van lucht/benzine/olie onder druk door een T-koppeling (1) geperst door een leiding (3) die was verbonden met een drukcilinder op de brandstofregelaar en naar de bovenste kamer (12) van de brandstofklep unit. Hierdoor werd het membraan (13) ingedrukt die een stang (4) naar beneden trok (14) en gelijktijdig de stang (5) van brandstofklep (10) naar beneden duwde. Door de spanning in een veer (11) werd een stang (7) in een uitsparing van de stang (4) geduwd waardoor stang (4) werd vergrendeld. De druk die onder het membraan (13) in de kamer (2) was ontstaan werd afgevoerd via opening (6). Door de geopende brandstofklep (10) kon de brandstof nu vanuit de brandstoftank (8) naar de brandstofregelaar (9) stromen.

V1 brandstofsysteem : werking brandstofklep sluiten (type 1944)

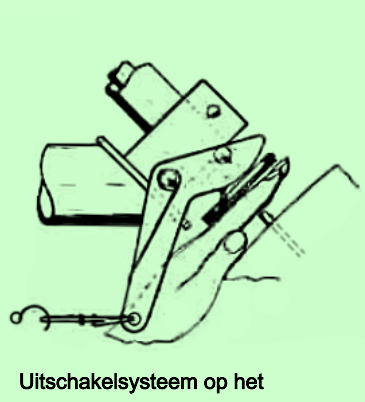




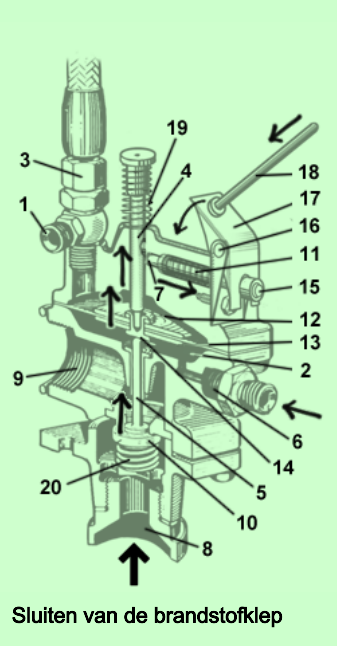
Uitschakelsysteem op het Anlassgerät:
bediening met perslucht



Uitschakelsysteem op het Anlassgerät:
manuele bediening


Uitschakelsysteem op het Anlassgerät:
regeling van de afstand

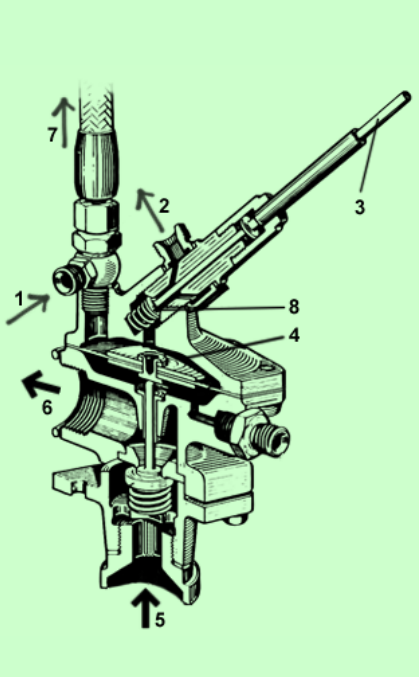
Op de romp van een V1 was ter hoogte van de voorste steun van de pulsejet motor het uiteinde van de uitschakelstang (2) van de brandstofklep zichtbaar. Deze voorziening was ingebouwd om de brandstoftoevoer in een V1 van op afstand af te sluiten. Bij het opstellen van het Anlassgerät moest een arm van dit toestel op een bepaalde afstand boven de schakelstang (2) worden gepositioneerd. Men moest gestrekte vingers tussen de drukplaat (1) en de top van de schakelstang (2) kunnen schuiven. Deze ruimte was bepaald door de slag van de zuigerstang (6) in de cilinder (4) en de bewegingsafstand van de manuele bediening (5). Als men vanuit de lanceerbunker of het controlepaneel van het Anlassgerät het uitschakelsysteem activeerde werd perslucht naar de cilinder (4) gestuwd waardoor de zuiger (6) het plaatje (1) naar beneden drukte. Het plaatje (1) duwde op het uiteinde van de schakelstang (2) waardoor het afsluitmechanisme in de brandstofklep unit in werking trad, de brandstoftoevoer afsloot en de pulsejet motor werd uitgeschakeld.



Sluiten van de brandstofklep

Een schets van het opengewerkte afsluitsysteem voor de brandstoftoevoer verduidelijkt de werking. Een afsluitsysteem op de arm van het Anlassgerät kon manueel, vanaf het controlepaneel op het Anlassgerät of vanuit de lanceerbunker worden geactiveerd. Bij het indrukken van de stop knop viel de druk van lucht/benzine/olie mengsel weg (1) waardoor geen druk meer op het membraan (13) stond en geen mengsel meer werd gestuwd (3) naar een cilinder boven de brandstofregelaar. Gelijktijdig werd de schakelstang (18) van buitenaf de V1 ingedrukt waardoor de hefboom (17) om het draaipunt (16) wentelde en een duwbeweging uitvoerde tegen de kop (15) van een stang (7). De stang (7) werd achteruit getrokken waardoor de vergrendeling met de stang (4) op het membraan werd verbroken. De spiraalveer (11) werd bij deze actie samengedrukt. De stang (4) werd omhoog getrokken door de spanning van een spiraalveer (19). Doordat het membraan (13) nu bovenaan niet meer werd ingedrukt kwam het terug in zijn oorspronkelijke vlakke toestand. Door de onderdruk die was ontstaan in de kamer (2) onder het membraan (13) werd lucht aangezogen via de opening (6). De druk die zich in de kamer (12) boven het membraan (13) bevond werd via de leiding (1) afgevoerd. Het membraan (13) bevond zich nu in rusttoestand waardoor ruimte was vrijgekomen boven de stang (5) van de brandstofklep. De druk in de aansluiting van de brandstofleiding (8) en de spanning in spiraalveer (20) duwden de brandstofklep (10) omhoog en sloten brandstoftoevoer af. Er kon geen brandstof meer vloeien naar de pulsejet motor (9). Al deze bewegingen gebeurden zeer snel na elkaar.

V1 brandstofsysteem : werking brandstofklep sluiten (type 1943)



Brandstofklep sluiten (ontwerp 1943)

Het ontwerp van de brandstofklep jaar 1943 toont een afwijkende bouw voor het sluiten van de brandstoftoevoer. Het openen van de klep zou ook gebeuren door het onder druk toevoeren van een perslucht/benzine/olie mengsel vanaf het Anlassgerät via aansluiting (1) naar een cilinder (7) op de brandstofregelaar en kamer (4) van de brandstofklep unit. Hierdoor zou het membraan in die kamer naar beneden worden gedrukt en de brandstofklep openen waardoor brandstof vanuit de brandstoftank via aansluiting (5) naar de brandstofregelaar (6) kon vloeien. Blijkbaar zou de druk in kamer (4) het membraan blijvend naar beneden drukken en de brandstofklep open houden. Doordat de aansluitingleiding van het Anlassgerät voor perslucht/benzine/olie mengsel bij de lancering van de V1 werd losgerukt zou de druk in kamer (4), leiding (1) en leiding (7) de brandstofklep moeten open houden tijdens de vlucht. Deze denkpiste is zeer ongeloofwaardig omdat de druk vanaf het aansluitstuk (1) bij een lancering volledig wegvalt. Een mogelijkheid om de brandstofklep open te houden is perslucht via opening (2) toe te voeren waardoor klep (8) zou openen en kamer (4) onder constante druk zou komen te staan. Deze veronderstelling is ook niet mogelijk daar de lucht via aansluiting (1) zou ontsnappen. De schakelstang (3) diende om de druk in kamer (4) te laten ontsnappen door klep (8) te openen en de druk via de aansluiting (2) te laten ontsnappen. De schets is misschien niet volledig of de werking was misschien niet betrouwbaar en werd waarschijnlijk om die reden gewijzigd naar een naar een nieuw mechanisch systeem (type 1944). De vraag betreffende de werking van dit systeem blijft open.

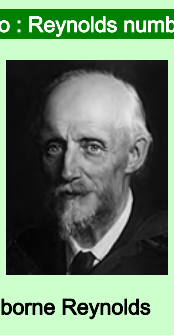
Bij de lancering vanaf een stoomcatapult was een V1 onderhevig aan een versnelling van meer dan 15 G. De onderdelen van een V1 waren na testen op die kracht berekend en vooral de brandstofregelaar moest bij die versnelling feilloos functioneren. In de praktijk liep het toch soms mis bij de lancering.

Info : inertie of traagheid

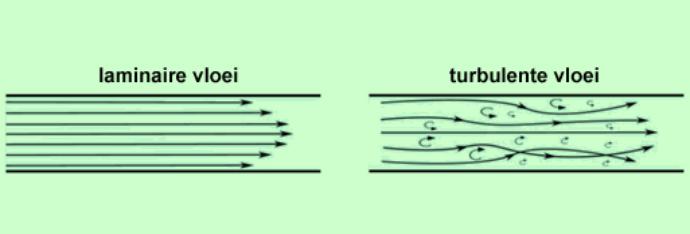
Isaac Newton

De Engelse Isaac Newton werd geboren op 25 december 1642 in Woolsthorpe-by-Colsterworth en ontwikkelde zich in de theologie, wiskunde, astronomie, alchemie en natuurkunde. Door het definiëren van onder andere de 3 wetten van Newton wordt hij beschouwd als de grondlegger van de klassieke mechanica. De eerste wet beschrijft het fenomeen 'traagheid' of 'inertie'. Een voorwerp is in toestand van rust als er geen kracht op wordt uitgeoefend. Het voorwerp bevindt zich dan in een toestand van stilstand of in beweging met een constante snelheid. De tweede wet stelt dat een verandering van een beweging evenredig is met de kracht die op dit voorwerp wordt uitgeoefend. De derde wet: actie is gelijk aan reactie. De kracht die een voorwerp uitoefent op een ander voorwerp resulteert in een gelijke maar tegengestelde reactie.
Deze wetten waren zeker van toepassing op de V1, vooral tijdens de lancering vanaf een katapult op het gehele toestel en al zijn onderdelen, zelfs bij brandstofvoorziening.

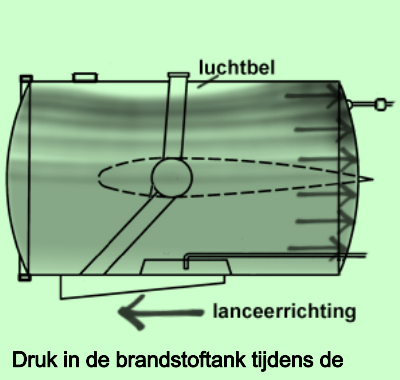
Info : Reynolds number


Osborne Reynolds

Bij het lanceren van een V1 vanaf een katapult deed zich mede door de hoge versnelling van meer dan 15 G ook nog een ander fenomeen voor. Doordat de brandstof tijdens die fase aan de traagheidswet onderhevig was kreeg men een storing van de laminaire flow in de brandstofleidingen. Dit verschijnsel noemt men het Reynolds nummer. Het getal wordt berekend als volgt: (dichtheid vloeistof (kg/m3) X snelheid stroming (m/s) X diameter buis (m)) / viscositeit (μ). Als het getal μ kleiner is dan 2300 is de stroming laminair, de waarde tussen 2300 en 4000 is een overgangsfase (mengsel van laminair en turbulent), groter dan 4000 resulteert in een turbulente of verstoorde stroming. De versnelling op de katapult was een heel korte fase maar het moment van de lancering was wel cruciaal om een V1 in de lucht te krijgen.



V1 brandstofsysteem : info



Druk in de brandstoftank tijdens de lancering

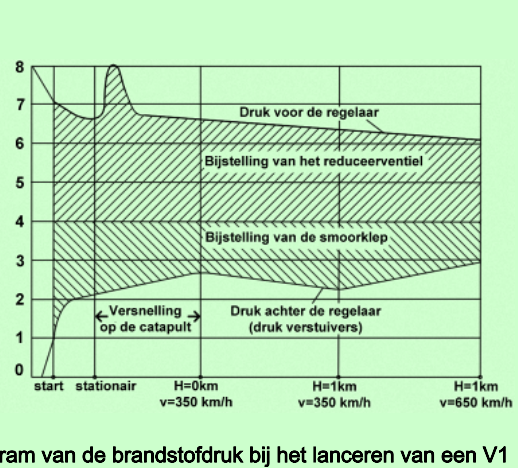
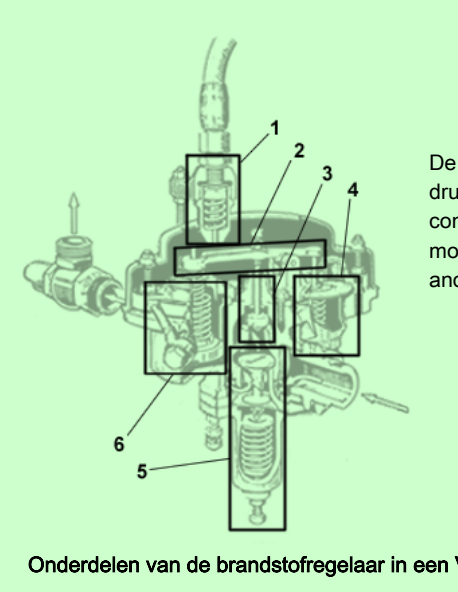


Diagram van de brandstofdruk bij het lanceren van een V1

Bij de lancering van een V1 vanaf een katapult werd de brandstof in de tank door het traagheidseffect tegen de achterwand van de brandstoftank gedrukt waardoor de brandstof richting luchtleiding en brandstofleiding werd geperst. Om indringen van brandstof in de luchtleiding te vermijden was een terugslagklep op deze leiding gemonteerd. Wel werd bij de lancering een drukverhoging tot bijna 9 atm vastgesteld in de brandstofleidingen. Het was het brandstofregelsysteem die naast zijn andere functies ook deze piek moest opvangen.

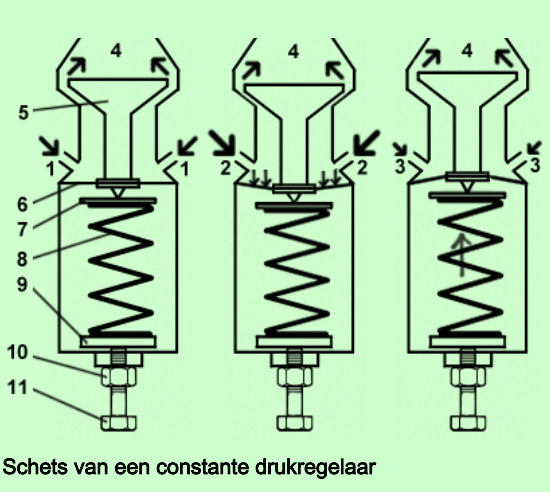
V1 brandstofsysteem : onderdelen brandstofregelaar



De smoorklep (gasklep) (3) van de V1 brandstofregelaar werd bediend door vier systemen: een drukcilinder (1), het snelheidsregeling systeem (6), het hoogteregeling systeem (4) en de constante drukregelaar (5). Drukcilinder (1) had alleen een functie bij de start van een V1 pulsejet motor. Tijdens de vlucht van een V1 werd de gasklep (3) via een hefboom (2) geregeld door de andere drie systemen (4,5,6).

Onderdelen van de brandstofregelaar in een V1

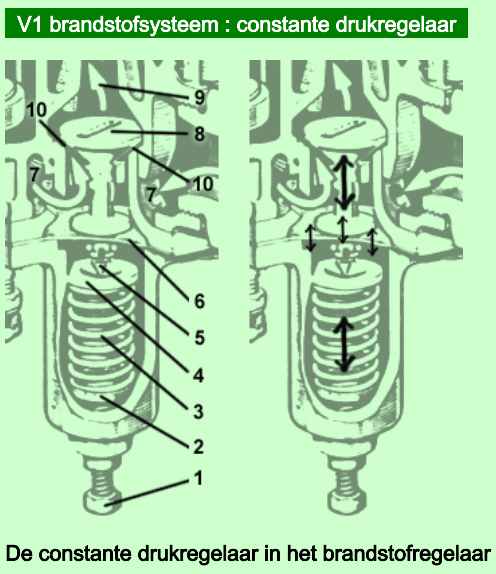
Info : constante drukregelaar



Schets van een constante drukregelaar

Een constante drukregelaar dient om schommelingen in druk op te vangen. In bijgaande schetsen wordt van links naar rechts een drukregelaar voorgesteld bij normale, hoge en lage druk. De gewenste druk wordt ingesteld door het membraan (6) en veer (8) onder spanning te zetten door bout (11) in of uit te schroeven en op de ingestelde positie vast te zetten met moer (10). De veer zit gevangen tussen twee schotels (7 en 9). In veerschotel (7) is een putje geperst waarin een pin onderaan klep (5) past. De klep (5) is vastgemaakt op membraan (6) en zit met een pin op veerschotel (7) waarin een putje is voorzien. Als er een normale druk (1) aan de regelaar wordt toegevoerd dan staat de klep (5) in een positie dat men de gewenste druk (4) aan de uitgang verkrijgt. Indien de ingangsdruk verhoogd (2) wordt het membraan (6) naar beneden gedrukt. Daardoor wordt de veer (8) naar beneden gedrukt en de klep (5) naar beneden getrokken. De opening aan de klep wordt kleiner waardoor minder gas of vloeistof langs de klep kan stromen en wordt de gewenste druk bekomen boven de klep (5). Als de ingangsdruk verlaagt (3) drukt de veer (8) tegen de pin onderaan klep (5) en duwt deze omhoog. Hierdoor vergroot de opening aan de klep en kan meer gas of vloeistof langs de klep stromen. Men verkrijgt boven de klep de gewenste druk (4).

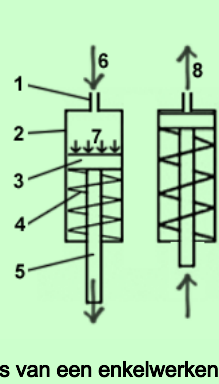
V1 brandstofsysteem : constante drukregelaar



De constante drukregelaar in het brandstofregelaar van een V1

De druk van de brandstof naar de verstuivers van de pulsejet motor werd geregeld in het brandstofregelsysteem. De eerste taak van dit systeem was de druk van de aangevoerde brandstof van 6 atm. à 7 atm. te stabiliseren naar 4 atm. Om dit te realiseren was in de brandstofregelaar een constante drukregelaar voorzien. De gewenste druk werd ingesteld met regelbout (1) die tegen de veerschotel (2) drukte. Door het aandraaien of uitschroeven van de regelbout werd een bepaalde spanning op de veer (3) gezet. Een veerschotel (4) die tegen pin (5) duwde bracht de druk over naar het membraan (6). De klep (8) werd hierdoor op een bepaalde hoogte in de drukregelaar gepositioneerd. De brandstof die vanuit de brandstofklep aansluiting kwam werd door de openingen (7) naar een kamer tussen membraan (6) en klep (8) gestuwd. De brandstof die door de opening (10) werd geperst kreeg hierdoor de gewenste druk. Bij schommelende druk in openingen (7) werd membraan (6) door een verhoogde brandstofdruk naar beneden geduwd en bij een dalende druk door veer (3) naar boven gedrukt waardoor klep (8) respectievelijk naar beneden werd getrokken of naar boven werd geduwd. De opening (10) werd daardoor smaller bij verhoogde toegevoerde druk en wijder bij lagere druk. Dit resulteerde in de gewenste druk (9) boven klep (8).

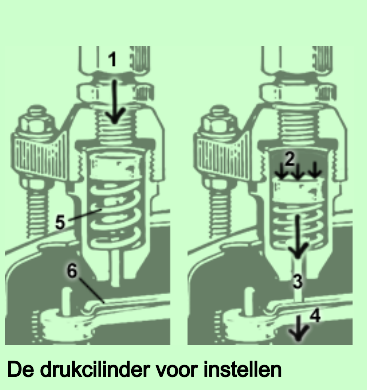
Info : enkelwerkende drukcilinder



Schets van een enkelwerkende drukcilinder

De belangrijkste onderdelen van een enkelwerkende drukcilinder zijn de cilinder (2) en de zuiger. De zuiger bestaat uit een schijf (3) met een stang (5) er op vastgemaakt. De cilinder heeft langs de ene kant een opening voor de zuigerstang (5) en langs de andere zijde een aansluiting voor vloeistof of lucht (1). De zuiger wordt in de ruststand gehouden door een spiraalveer (4). Wanneer er lucht of vloeistof onder druk (6) door opening (1) wordt geperst, dan wordt druk (7) op schijf (3) uitgeoefend verschuift die in de cilinder. De spiraalveer (4) wordt onder schijf (3) samengedrukt en de zuigerstang (5) wordt uit de cilinder geduwd. Wanneer de druk op aansluiting (1) wegvalt, dan wordt de zuiger door de spanning in de spiraalveer terug gedrukt en ontsnapt de lucht of vloeistof uit de cilinder (8). De kracht op zuigerstang (5) die ontstaat na druk (6) toe te voeren door opening (1) kan worden berekend met de wet van Pascal: kracht is de toegevoerde druk vermenigvuldigd met de oppervlakte van de zuigerschijf. Er bestaan ook enkelwerkende cilinders die langs beide kanten van de cilinder een opening hebben omdat op de zuiger langs beide kanten een zuigerstang is gemonteerd.

V1 brandstofsysteem : drukcilinder



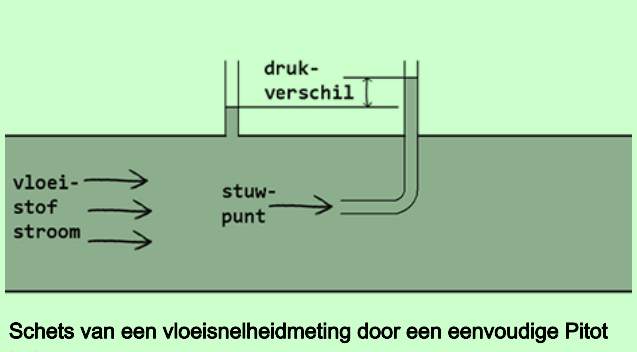
De drukcilinder voor instellen brandstofdruk bij starten en stationair draaien van de pulsejet motor

Om de pulsejet motor van een V1 op te starten werd een mengsel van lucht, benzine en olie onder een druk van 10 à 18 atm. vanaf het Anlassgerät via een aansluiting op de trekkoppeling naar drie verstuivers in de motor gestuurd. Daar werd het mengsel ontstoken door een bougie en veroorzaakte een kleine explosie. Uit testen was gebleken dat het de beste methode was om de pulsejet motor op te starten. Via een aftakking op deze leiding werd het mengsel ook naar een enkelwerkende drukcilinder (1) bovenop de brandstofregelaar gestuwd. De druk van het mengsel duwde de zuiger (2) en zuigerstang (3) in de cilinder naar beneden. Het uiteinde van de zuigerstang (3) schoof uit de cilinder en duwde hefboom (4) aan de kant van het snelheidsregelsysteem naar beneden. Om de plotse slag van het uiteinde van de zuigerstang (3) op te vangen was bovenop de hefboom bladveer (6) bevestigd. Eigenlijk was het blokkeren van het snelheidsregelsysteem logisch gekozen want de V1 maakt bij het opstarten van de pulsejet motor nog geen snelheid waardoor geen druk kwam door de pitot buis. Het snelheidsregel systeem had in deze fase van de lancering nog geen invloed op de smoorklep. De drukcilinder was boven de langste zijde van de hefboom gemonteerd waardoor hij een nauwkeuriger invloed had op de gasklep. Tijdens de start moest de brandstofregelaar een de brandstof onder een druk van 1.2 atm. naar de verstuivers stuwen. Dit was de taak van de drukcilinder. Bij de lancering van de V1 werd de toevoerslang van het Anlassgerät uit de trekkoppeling gerukt waardoor de zuiger samen met de zuigerstang door een spiraalveer (5) terug naar zijn originele stand bovenin de cilinder geduwd. De lucht boven de zuiger kon ontsnappen via de leiding (1) naar de drie verstuivers in de pulsejet motor.

Info : Pitot buis

Henri Pitot

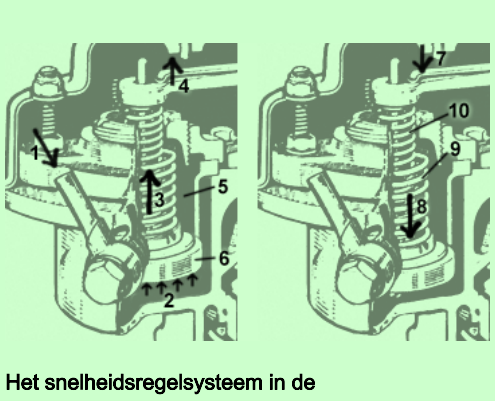
Henri Pitot werd in Frankrijk geboren op 3 mei 1695 en na zijn studie wiskunde en sterrenkunde werd hij in 1724 assistent technicus in de Academie van de Wetenschappen. Hij zocht een systeem om de vloeisnelheid van water in rivieren en kanalen op een betrouwbare manier te meten. Hij kwam tot de vaststelling dat een buis tegen de stroom in geplaatst een andere druk had dan een buis rechtop in het water. De statische druk (buis rechtop) en de dynamische druk (buis tegen de stroom in) gaven twee verschillende resultaten. Met het verschil van deze waarden kon hij het debiet in een kanaal of rivier berekenen. De buis werd naar zijn naam genoemd, de Pitotbuis, en werd nadien nog veelvuldig gebruikt in vloeistofmeting en luchtvaart. De vliegsnelheid van een V1 werd gemeten door een pitotbuis die aan de brandstofregeling was aangesloten.



Schets van een vloeisnelheidmeting door een eenvoudige Pitot buis

Pitot buisje van een V1 zichtbaar onder de pulsejet motor

V1 brandstofsysteem : snelheidsregeling



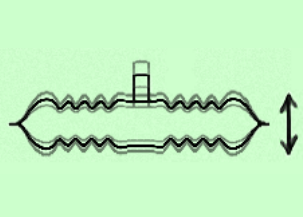
Het snelheidsregelsysteem in de brandstofregelaar van een V1

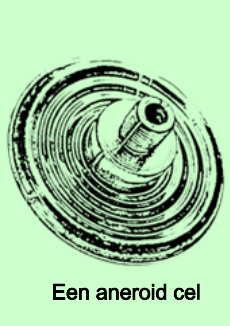
Tijdens de vlucht van een V1 werd de snelheid gemeten door een enkelvoudige pitot buis die onder de ingang van de pulsejet motor was bevestigd. Deze buis was verbonden (1) met drukcilinder (5) waarin een statische druk heerste. Op de zuiger (6) in de cilinder was een stang bevestigd waarvan het uiteinde door de hefboom (4) stak. Lucht die door de pitot buis stroomde bouwde een druk (2) op onder de zuiger (6). Een grotere snelheid resulteerde in een hogere druk onder de zuiger waardoor deze naar boven (2) werd geduwd. De spiraalveer boven de zuiger drukte de hefboom (4) naar boven. De brandstofklep werd daardoor iets meer geopend met als gevolg een verhoogde brandstoftoevoer naar de verstuivers in de pulsejet motor. Hierdoor produceerde de motor meer stuwkracht en de V1 steeg. Deze actie werd teruggedrongen door de hoogtemeterdoos die door de dalende atmosferische druk de hefboom aan de andere zijde naar boven duwde waardoor de hefboom aan de kant van drukcilinder (5) naar beneden werd geduwd. Dit samenspel van snelheidsmeter en hoogtemeter resulteerde in een redelijk stabiele vlucht van een V1. De zuiger (6) werd op spanning gehouden door de spiraalveer (9) in de cilinder (5) samen met de spiraalveer (10) onder de hefboom.

Info : hoogtemeter doos

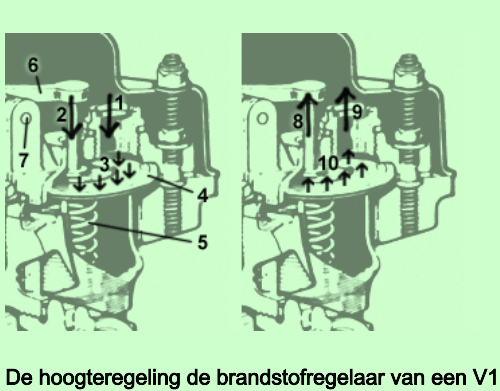
Lucien Vidi

Een aneroid cel wordt gebruikt in barometers en hoogtemeters (bvb. Kollsman window in vliegtuigen). De cel werd in 1844 gepatenteerd door de Franse wetenschapper Lucien Vidi (1805 - 1866). Het betreft een luchtdichte capsule gemaakt uit een legering van beryllium en koper. De aneroid cel bestaat uit twee gelijkvormige ronde geribde schelpen met een dunne wanddikte die luchtdicht worden samengevoegd. Bij wijziging van uitwendige luchtdruk is een drukverschil met de lucht in de doos waardoor deze uitzet of krimpt. Meestal word in het midden een staafje gesoldeerd waaraan een mechanisme met wijzerplaat en naald word gemonteerd. Hiermee kan men dan de momentele luchtdruk meten. In de V1 werd in de brandstofregelaar een aneroid cel gebruikt.


Uitzetten en krimpen van een aneroid cel in doorsnede


Een aneroid cel

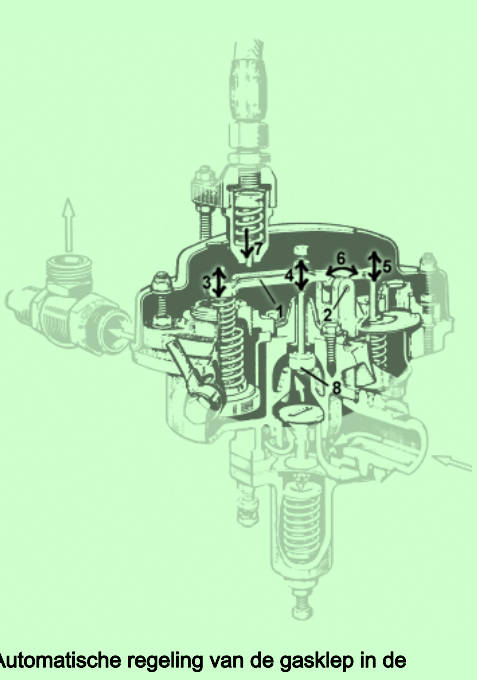
V1 brandstofsysteem : hoogteregeling



De hoogteregeling de brandstofregelaar van een V1

De hoogtemeter in de V1 was een aneroid cel (4) die door een spiraalveer (5) op haar plaats werd gehouden. Indien een V1 daalde en in hogere atmosferische druk (1) vloog werd de cel (4) samengedrukt (3). Als een V1 steeg tijdens de vlucht en in een luchtlaag met lagere atmosferische druk (9) terechtkwam bolde cel op (10). De beweging van de cel werd door een stang (2,8) overgebracht naar hefboom (6) die rond draaipunt (7) scharnierde. Bij lagere druk duwde de stang van de aneroid cel (8) de hefboom naar boven waardoor hefboom kantelde rond het draaipunt (7) en de gasklep iets dichtdrukte. Bij hogere druk bewoog de stang (2) van de aneroid cel naar beneden waardoor ruimte onder de hefboom vrij kwam. De hefboom langs de kant van de snelheidsmeter stond onder opwaartse druk van een spiraalveer waardoor de hefboom aan de kant van de atmosferische druk naar beneden scharnierde. De gasklep werd iets meer geopend waardoor de pulsjet motor meer brandstof kreeg. Omdat hefboom (6) aan de andere kant was verbonden met het snelheidssysteem oefenden beide tijdens een vlucht invloed uit op de gasklep.
Tijdens de ontwikkelingsfase van de V1 kreeg men plots af te rekenen met een gemiddelde snelheid die van meer dan 600 km/u zakte naar 450 km/u. Het euvel was redelijk snel ontdekt: de aneroid cel was normaal bedekt met plastic en de fabriek die de brandstofregelaar leverde had dit plastic zonder overleg vervangen door een ander materiaal. Daardoor gebeurde het dat brandstof over de cel werd gemorst en zich verspreidde in de cel. Als gevolg van dit euvel werkte de aneroid cel niet meer correct en werd te veel brandstof verbruikt op lage hoogte wat resulteerde in een kleinere snelheid.

V1 brandstofsysteem : hefboom met brandstofklep

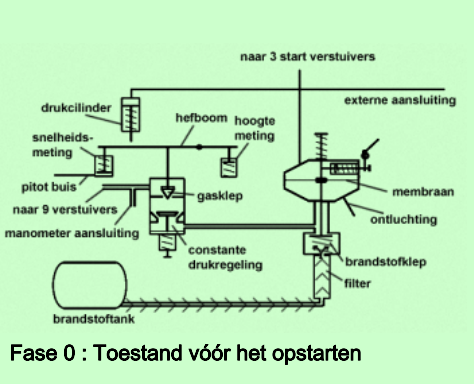


Automatische regeling van de gasklep in de brandstofregelaar van een V1

De brandstofregelaar had de taak om de Argus As 104 pulsejet motor van een V1 in alle omstandigheden draaiende te houden. Afhankelijk van snelheid en atmosferische druk regelde hij de brandstoftoevoer tussen de brandstoftank en de negen verstuivers vooraan in de pulsejet motor. Bij het opstarten van de pulsejet motor was de druk in de brandstoftank 7 atm. en moest worden gereduceerd tot 1.2 atm aan de verstuivers. Deze taak werd vervuld het constante drukregelsysteem en de drukcilinder die tijdens de startprocedure onder druk werd gezet waardoor een stang (7) de hefboom (1) naar beneden duwde. Deze stang was zo afgeregeld dat de hefboom (1) de gasklep (3) tot een vooraf ingestelde afstand dicht duwde waardoor brandstofdruk naar de negen verstuivers tot 1.2 atm. werd gereduceerd. Na de opstartfase moest de pulsejet motor stationair draaien om op bedrijfstemperatuur te komen en steeg de druk naar de negen verstuivers naar 2.2 atm. en daalde de druk in de brandstoftank tot 6.8 atm. Bij de lancering van een V1 steeg de druk in de brandstofleidingen tot piek van bijna 9 atm. als gevolg van het traagheidseffect (versnelling van 15 G bij lancering vanaf een katapult). Tijdens het lanceren van een V1 moest de brandstofdruk aan de verstuivers van de pulsejet motor ongeveer 2.6 atm. bedragen. De brandstofdruk moest nadien iets dalen tijdens de opstijgfase en eens in horizontale vlucht moest de brandstofdruk terug stijgen waardoor een hogere snelheid werd bereikt. Tijdens de vlucht zakte de druk in de brandstoftank langzaam naar 6 atm. Al die drukschommelingen opvangen en stabiliseren was de taak van de brandstofregelaar. Tijdens de vlucht en het stationair draaien bracht de constante drukklep de brandstofdruk voor de gasklep (8) op 4 atm. De gasklep (8) werd geregeld onder invloed van het snelheidsdruksysteem (3) en het hoogtedruksysteem (5). Beide deden de hefboom (1) balanceren (6) om het draaipunt (2) waardoor de stang (4) de gasklep (8) meer opende of sloot.

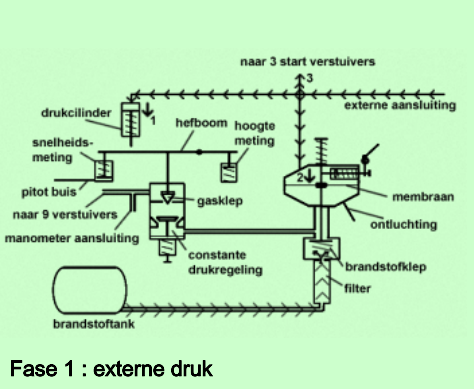
V1 brandstofsysteem : schematische voorstelling van de werking

Om een indruk te geven hoe de verschillende componenten van de brandstofklep en brandstofregelaar reageerden tijdens het opstarten van een V1 wordt dit verduidelijkt door een schematische voorstelling van de systemen. Tijdens de start werkt alles razendsnel na elkaar en de verschillende fasen geven een momentopname weer van het proces.

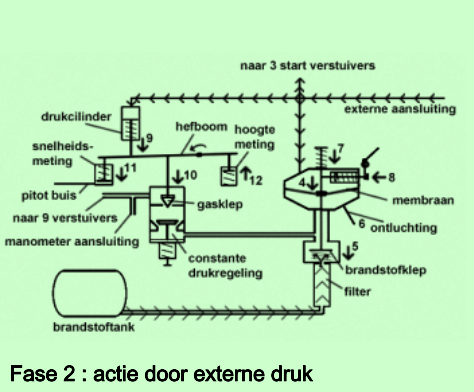


Fase 0 : Toestand vóór het opstarten

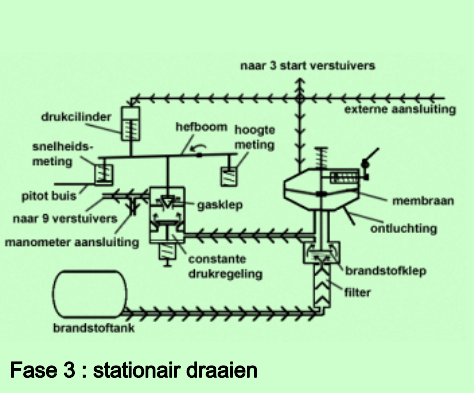
Fase 0: In de brandstoftank werd de brandstof onder druk gezet. Hierdoor kwamen de brandstofleiding, filter en ruimte voor de brandstofklep ook onder druk. De brandstofklep was gesloten door de brandstofdruk en de druk van een spiraalveer onder de klep.


Fase 1 : externe druk

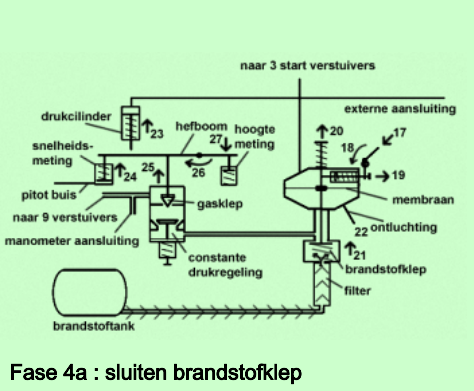
Fase 1: Een mengsel van lucht, benzine en olie werd onder druk via een externe aansluiting toegevoerd en verspreidde zich in drie richtingen: drie verstuivers in de pulsjet motor (3), een drukcilinder (1) en een kamer boven de brandstofklep (2).


Fase 2 : actie door externe druk

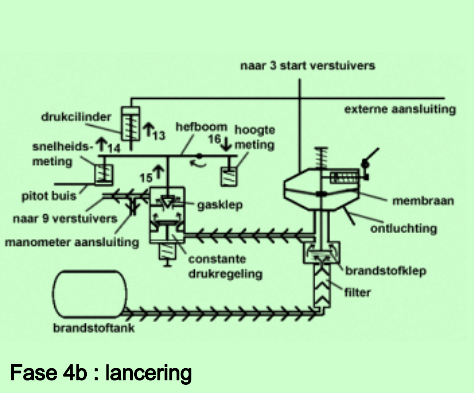
Fase 2: In deze fase werd het brandstofmengsel naar drie verstuivers in de pulsejet motor geleid en dit mengsel werd ontstoken met behulp van een bougie. Het mengsel werd ook naar de brandstofunit gestuwd waar het door zijn druk een membraan naar beneden (4) duwde. Bovenop dit membraan was een stang (7) vastgemaakt en eronder bevond zich de stang van de brandstofklep (5). Door de neerwaartse beweging van het membraan werd de stang op de brandstofklep (5) naar beneden geduwd en de membraanstang naar beneden getrokken (7). Die laatste werd vergrendeld in zijn positie door een stang (8) die met behulp van een spiraalveer in een holte in de membraanstang werd geduwd. De druk die ontstond onder het membraan werd afgevoerd via een ontluchtingsleiding (6). Het mengsel van lucht, benzine en olie werd ook naar een drukcilinder gestuwd waar het door een zuigerstang (9) een hefboom tot op een bepaalde positie naar beneden drukte. Langs de kant van de snelheidsmeting werd de hefboom naar beneden gedrukt (11) en aan de ander zijde van het draaipunt werd de hefboom boven de stang van de hoogtemeting naar omhoog geduwd (12). Daar een V1 op dit moment nog niet in beweging was hadden de hoogtemeter en de snelheidsmeter op dat moment geen functie en waren in die positie die op non actief gezet. De belangrijkste actie die de hefboom in deze fase uitvoerde was het naar beneden duwen van de gasklep (10). In die stand werd de brandstofdruk naar de verstuivers in de pulsjet motor van de juiste dosis brandstof voorzien om stationair te draaien.


Fase 3 : stationair draaien

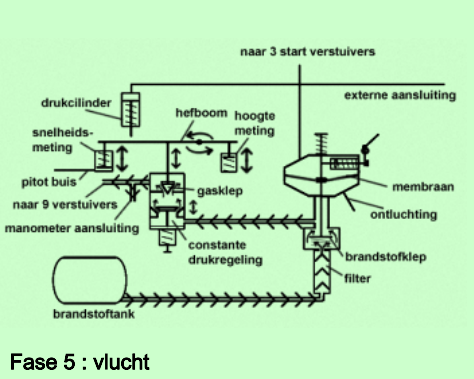
Fase 3: Nu de brandstofklep was geopend werd brandstof door de druk in de brandstoftank via een filter naar een constante drukregelaar gestuwd. Daar werd de brandstofdruk gereduceerd tot een vooraf ingestelde waarde en werd richting gasklep gestuwd. De gasklep werd op dat moment in een vaste positie geduwd voor waardoor een ideale druk werd bereikt voor het stationair draaien van de pulsejet motor.


Fase 4a : sluiten brandstofklep

Fase 4a: Eigenlijk bevond een V1 zich nog men of meer in een ontwikkelingsfase en konden tijdens een lancering allerhande problemen opduiken. Daarom werd in de V1 een mechanische brandstofonderbreker gemonteerd die men van op afstand kon bedienen. Bij actieveren van het systeem werd de toevoer van brandstofmengsel via de externe aansluiting afgesloten en drukte een klep extern tegen een stang (17) die op een hefboom was gemonteerd. De hefboom kantelde rondom een draaipunt (18) waardoor de vergrendelstang (17) achteruit werd getrokken(19). Hierdoor was de stang boven het membraan van de brandstofklep unit ontgrendeld. Door een spiraalveer bovenop deze stang (20) werd hij samen met het membraan omhoog getrokken (21). Een spiraalveer duwde de brandstofklep (21) omhoog. De onderdruk die onder het membraan was ontstaan werd via de ontluchting genormaliseerd (22). De brandstofklep was nu dicht waardoor geen brandstof meer naar de pulsejet motor werd gestuwd en deze tot stilstand kwam. Door het wegvallen van de druk uit de externe aansluiting duwde een spiraalveer de zuiger in de drukcilinder naar omhoog (23). De hefboom kwam vrij te staan en een spiraalveer in de snelheidsmeting (24) duwde de hefboom (27) in zijn rustpositie en de gasklep werd naar boven getrokken (25). De hefboom scharnierde rond een draaipunt (27) waardoor hij aan de kant van de hoogtemeting naar beneden werd verdraaid (26).


Fase 4b : lancering

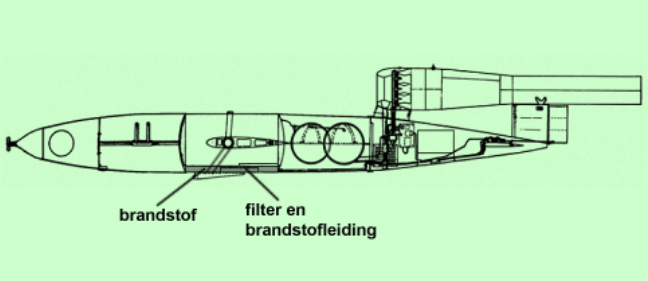
Fase 4b: Indien alles in orde was werd de V1 gelanceerd. (in dit voorbeeld een lancering vanaf een katapult). Bij de lancering werden de externe verbindingen losgetrokken zodat er geen mengsel van lucht, benzine en olie naar de drie verstuivers van de pulsejet motor stroomde. De druk op de drukcilinder boven de hefboom viel weg en de zuiger van de drukcilinder werd teruggetrokken (13). De hefboom werd door een spiraalveer op de snelheidsmeting naar boven geduwd (14) waardoor de gasklep naar boven werd getrokken (15) en de hefboom aan de andere zijde naar beneden werd gedraaid (16). Door het wegvallen van de druk boven het membraan boven de brandstofklep bleef deze toch open daar deze in haar positie was vergrendeld.


Fase 5 : vlucht

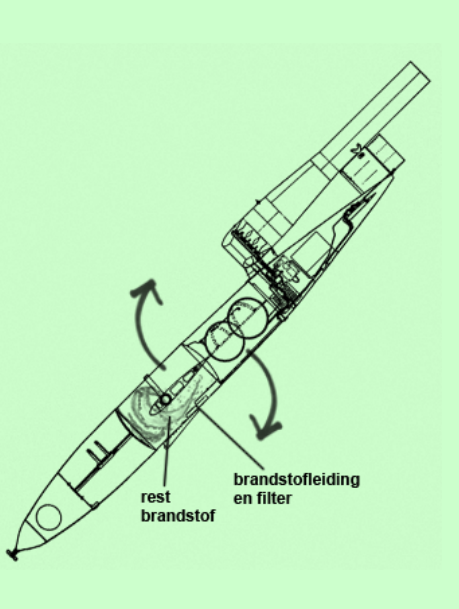
Fase 5: De V1 was nu in horizontale vlucht en de brandstoftoevoer naar de negen verstuivers in de pulsejetmotor werd geregeld door de constante drukregeling, hoogtemeting en snelheidsmeting.

V1 brandstofsysteem : duikvlucht

Een aantal bronnen vermelden dat de motor van een V1 werd uitgeschakeld bij het bereiken van zijn doel. Men beweerde dat dit kwam omdat de benzine was opgebruikt was. Dit was een mogelijkheid als men voor de lancering te weinig brandstof in de tank had gepompt. Een andere versie was dat de brandstoftoevoer werd afgesloten waardoor de motor werd uitgeschakeld. De uitleg was eigenlijk zeer eenvoudig. Als een V1 zijn doel had bereikt werd de sturing op de hoogteroeren geblokkeerd en werden twee kleine roeren van verschillende grootte uitgeklapt waardoor een V1 in rollende duikvlucht kwam. De normale brandstoftoevoer was door die rollende duikbeweging van de V1 niet meer stabiel waardoor de pulsejet motor stopte. Tijdens de rollende duikvlucht werd de rest van de brandstof in de tank rondgezwierd door de centrifugaal krachten en via de brandstofleidingen naar de verstuivers in de pulsejet motor naar buiten geperst. Dit verklaart ook waarom verschillende mensen een gesis hoorden bij het neerstorten van een V1 die niet explodeerde, er ontsnapte nog lucht en brandstof door de verstuivers van de pulsejet. Eigenlijk was het de bedoeling om een V1 met werkende pulsejet motor op zijn doel te laten neerstorten. Daarom werd het ontwerp van de brandstofleiding in de brandstoftank aangepast tijdens WW2.

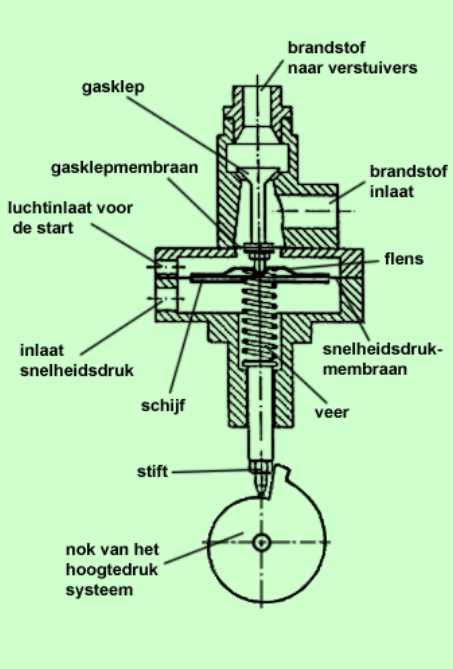


Brandstof onderaan de brandstoftank net voor een V1 zijn duikvlucht begon naar het doel



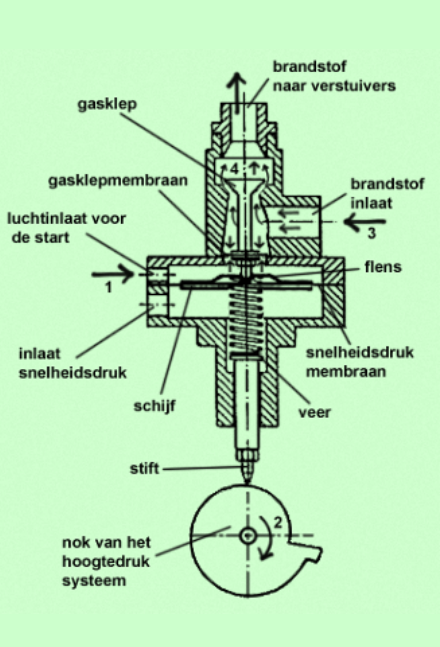
Rest van de brandstof wervelend in de brandstoftank nadat een V1 zijn rollende duikvlucht naar het doel had ingezet

V1 brandstofsysteem : laatste optimalisatie eind 1944

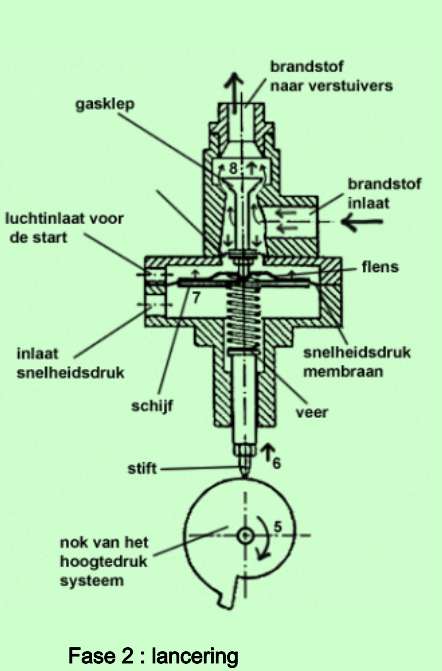


Brandstofregelaar type eind 1944

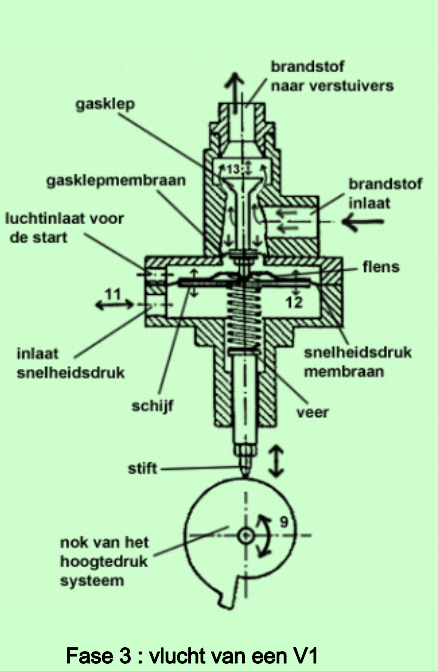
De gemiddelde snelheid van een V1 was ongeveer 645 km/u. Tijdens WO2 werden testen uitgevoerd om te onderzoeken of er met de Argus As 104 pulsje motor geen hogere snelheid haalbaar was. Door het monteren van een cilinder met grotere diameter op het snelheidsmeetsysteem (pitot buis) van de brandstofregelaar bereikte men een snelheidswinst van 50 km/u. Verder werd de constante drukregelaar aangepast wat resulteerde in een snelheidswinst van 75 km/u. Tenslotte werd in februari 1945 een vereenvoudigde brandstofregelaar getest waarmee een V1 in een snelheid haalde van 800 km/u. In dit nieuw systeem werd de functie van de constante drukregelaar overgenomen door de gasklep. Deze werd rechtsreeks gestuurd door de combinatie van hoogtedruk, snelheidsdruk en de druk van de brandstof. Er werd niets gewijzigd aan het ontwerp van de Argus As104 pulsejet motor, de snelheidswinst was het resultaat van de betere brandstofregelaar die zorgde voor een gunstiger druk aan de verstuivers in de pulsejet motor. De wijzigingen in hoogtedruk werden door een nok doorgegeven aan de brandstofklep. Op de nok was een aneroid cel gemonteerd die de nok aandreef. Het nok systeem werd ook gebruikt om de gasklep tot een bepaalde positie te openen tijdens de start en stationair draaien van de pulsejet motor. Boven de nok bevond zich een stift die de bewegingen van de nok via een veer op een flens doorgaf. Door de druk van de veer op de flens schoof de gasklep naar boven en kon de brandstof naar de verstuivers van de pulsejet stromen. Het snelheidsdruk membraan was tussen de flens en een schijf in het huis van de brandstofregelaar bevestigd. De stand van het membraan was afhankelijk van de druk die van het Anlassgerät kwam tijdens de startprocedure, de stand van de nok, snelheidsdruk en de brandstofdruk. Onder de gasklep was de benzineruimte afgesloten met het gasklepmembraan. Bij een wijziging van brandstofdruk bewoog dit membraan naar boven of onder waardoor de gasklep hoger of lager kwam te staan waardoor de druk van de brandstof naar de verstuivers steeg of daalde.



Fase 1 : pulsejet wordt gestart



Fase 2 : lancering



Fase 3 : vlucht van een V1

De werking van de brandstofregelaar die eind 1944 werd ontwikkeld was afgeleid van het eerder gebruikte type. De oorspronkelijke brandstofklep bleef waarschijnlijk ongewijzigd. Bij het opstarten van de V1 pulsejet motor werd door een extern aangesloten Anlassgerät een mengsel van lucht, benzine en olie gestuwd naar de brandstofklep, drie verstuivers in de pulsejet motor en de brandstofregelaar (1). De gasklep werd geopend door de druk op het gasklepmembraan en de verdraaiing van een nok (2). De vonken van een bougie ontstoken gelijktijdig het mengsel in de pulsejet motor. Door de geopende gasklep werd brandstof van uit de brandstoftank via de brandstofklep en brandstofregelaar (4) naar negen verstuivers in de pulsejet motor gestuwd en draaide de pulsejet motor stationair. Bij de lancering werd de nok (5) iets verdraaid waardoor een stift (6) omhoog werd geduwd. De stift drukte tegen een spiraalveer die op zijn beurt een flens op het snelheidsdrukmembraan (7) duwde. Een stang boven de flens drukte de gasklep (8) verder omhoog waardoor meer brandstof stroomde naar de negen verstuivers in pulsejet motor. Tijdens de vlucht van werd de gasklep (13) geregeld door de snelheidsdruk (11) die via een pitotbuis druk opbouwde onder het membraan (12), de hoogtedruk (9 en 10) en de brandstofdruk.

Informatiebronnen

Flying bombs over England - H.E. Bates
Les sites V1 en Flandres et en Artois - Laurent Bailleul
Les sites V1 en Picardie - Laurent Bailleul
Hitler's miracle weapons - Friedrich Georg
De Duitse V-wapens in Nederland - Peter R. Tolsma
Bombes et V1 sur le Pas-de-Calais - Hugues Chevalier
The flying bomb - Richard Anthony Young
The secret war - Brian Johnson
V1 Eifelschreck - Wolfgang Gückelhorn/Detlev Paul
Constructions speciales - Roland Hautefeuille
Air-launched doodlebugs - Peter J.C Smith
Impact - Benjamin King & Timothy Kutta
T-force the race for nazi war secrets - Sean Longden
Die V1 - Wilhelm Hellmold
Target London - Christy Campbell
Disarming Hitler's V Weapons - Chris Ransted
Kriegestagebuch des Flakregiments 155(W)1943 1945 - Günter Neliba
Building Hitler's missiles - Volkhard Bode / Gerhard Kaiser
Onbekend Frans Vlaanderen Eperlecques Wizernes - Philippe Despriet
Onbekend Frans Vlaanderen de V1 vliegende bom - Philippe Despriet
De V1 en de V2 in Frans-Vlaanderen - Philippe Despriet
Liège sous les V1 et V2 - Lambert Grailet
Première mondiale pour le V-2 sur Paris - Lambert Grailet
Le V-3 Harcèle Luxembourg - Lambert Grailet
Le général US Clare H. Armstrong et sa part dans la victoire en Ardenne - Lambert Grailet
Gemarteld Antwerpen/Sinjorenstad onder de V bommen - Jan de Schuijter
V1 arme du désespoir - Yannick Delefosse
V missiles of the third reich the V1 and V2 - Dieter Hölsken
Geheime oorlog - Tjerk van Duinen / drs. Kees Hagendijk
Beroemde luchtvaartpioniers - Anthony Robinson
FZG 76 Gerate Handbuch april 1943
Forum NPdCP Les Hauts-de-France dans la Seconde Guerre
Forum secretprojects.co.uk
Forum hbpbunkerforum.nl
Forum geschichtsspuren.de
Wikipedia
Gazette des armes nr45 janvier 1977
The military utility of German rocketry during WW2 March 1997 - Major Kirk M. Kloeppel
Technical notes national advisory committee for aeronautics - W.G. Brombacher / W.C. Trent
Valveless pulsejet engines 1.5 - Bruno Ogorelec
Project Squid technical memorandum no Pr4 Aero resonator power of the V1 flying bomb - Guenther Diedrich
History of German guided missiles development april 1956 - TH. Benecke / A.W. Quick
Demonstration der Lageregelung eines Flügkörpers april 1970 - Dr. Ing Schweitzer
Gyroscopic instruments for instrument flying - WG Brombacher/WC Trent
Het bouwen van een pulsejet motor - Rob Bierbooms/Joris Goudsmits
Demonstration der Lageregelung eines Flugkörpers - Karlheinz Steffek
Museum / Lanceerbasis V2 "La Coupole" - Frankrijk
Museum / Bunker Eperlecques - Frankrijk
Bunker Siracourt - Frankrijk
Bezoek aan verschillende V1 sites in Frankrijk (Nord Pas de Calais / Picardië) en in België (West Vlaanderen)
Elke dag angst - Pieter Serrien
Raketten over Steenbergen - Robert W. Catsburg
Armes secrètes et ouvrages mystérieux de Dunkerque à Cherbourg : Les V1 et les V2 - Myrone-N Cuich
Les armes secrètes allemandes Les V1 Normandie 1944 - Grenneville Régis
L'enfer des V1 en Seine-Maritime durant la Seconde Guerre Mondiale - Norbert Dufour
Sites V1 en Belgique - Luc Vanacker, Johan Vanbeselaere, e.a. (vertaling Laurent Bailleul)
Hitler's Terror Weapons: The Price of Vengeance – Roy Irons
Wunderwaffen - The secret weapons of World War II – Mantelli - Brown - Kittel - Graf
History of German Guided Missiles development - Th. Benecke and A.W. Quick
V weapons hunt - Roy M. Stanley
Informatie van Jean Dillen