

# Expansie uitlaten

*Verzameld en bewerkt door Arno Koch*

De tweetact motor is op het eerste gezicht een eenvoudig systeem, maar inwendig spelen zich ingewikkelde thermodynamisch processen af. Hierbij spelen zoveel facturen een rol, dat het berekenen van een uitlaat nooit meer kan zijn dan een intelligente gok. De definitieve, optimale afmetingen zullen in de praktijk door experimenten bepaald moeten worden.

## 1. Hoe expansieuitlaten werken.

Ik ga er van uit, dat iedereen de basisprincipes van de tweetact kent. Als je ook al weet hoe expansieuitlaten werken, sla dan dit deel over en ga naar het gevorderden stuk.

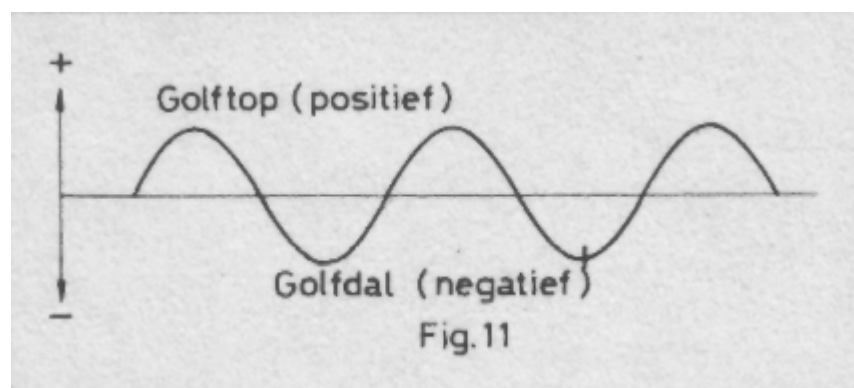
De uitlaat is van groot belang voor de werking van de tweetact motor. De 2-takt steunt op druk veranderingen in het uitlaatsysteem om lucht door de cilinder te zuigen – eerst de uitlaatgassen uit de cilinder te zuigen en het verse mengsel erin, en dan een fractie later al het ontsnapte brandstofmengsel terug te persen door de uitlaatpoort, net voor dat de zuiger deze sluit.

Een goed ontworpen expansieuitlaat geeft bij een tweetact minstens 50% vermogenswinst ten opzichte van een gewone rechte pijp. Wat je aan de rest van de motor ook doet, de uitlaat maakt of breekt het geheel en deze kan gebruikt worden om de karakteristiek van de motor tot in hoge mate af te stemmen op het doel.

Er zijn een paar basisprincipes:

### 1.1. Golven en reflecties

Voordat we het pulsatieeffect bespreken, zullen we eerst nagaan wat hieronder verstaan wordt. Iedereen heeft weleens een steen in het water gegooid. Om de plaats waar de steen in het water is gekomen ontstaan dan cirkels die steeds wijder worden, bekijken we een aantal van deze cirkels in doorsnede, dan zien we een aantal golven. De golftoppen noemen we positief, de dalen negatief.



Ook in de lucht bestaan dergelijke golven al kunnen we ze niet zien; de bekendste zijn geluidsgolven. Dit zijn luchtverdichtingen en verdunningen, waarbij de verdichtingen (hogere druk) positief zijn en de verdunningen (lagere druk) negatief.

We kunnen ons dit het beste als volgt voorstellen: hang een lange slappe veer aan een aantal draadjes vrij op en tik nu een uiteinde in lengterichting aan. Een aantal windingen zal hierdoor samengedrukt worden om direct daarna uit elkaar te veren, Hierdoor worden ernaast gelegen windingen samengedrukt ook weer gevolgd door een ontspanning, enz. we zien dus verdichting gevolgd door verdunning zich door de veer voortplanten.

Het afwisselend positief en negatief worden noemen we pulsatie-effect. De snelheid waarmee de golven zich voortplanten noemen we de loopsnelheid: voor de golven in het uitlaatsysteem waar het ons tenslotte om gaat is dit de geluidssnelheid.

Geluidsgolven zijn dus gewoon drukgolven, die door zich door de lucht voortplanten. De voortplantingssnelheid is afhankelijk van de dichtheid en de temperatuur van het medium. (het materiaal waar ze doorheen bewegen)

Nu hebben deze golven nog een andere eigenschap; ze kunnen terugkaatsen. Dit is afhankelijk van het medium waar de golven tegen aan botsen. Golven, die door een buis lopen worden aan het uiteinde in dezelfde golfvorm teruggekaatst. Als het einde van de buis gesloten is, is er een positieve terugkaatsing. Als het uiteinde van de buis open is, krijg je een negatieve terugkaatsing en wordt de waarde van de drukgolf omgekeerd teruggekaatst. Iedere keer als de pijp versmalt, wordt een deel van de golf als positief teruggekaatst en iedere keer als deze wijder wordt een deel van de golf negatief teruggekaatst.

*Een voorbeeld ( kan je overslaan als je het al snapt):*

Stel dat we een holle buis hebben en aan een kant maken we een 0,35 Bar (positieve) drukgolf (pop!). Laten we zeggen dat de golf kort is, zo'n 2,25 mm lengte... Op kamertemperatuur zal de golf door de buis lopen met een snelheid van ongeveer 335 m/s.

Als de ander kant van de buis afgesloten is met een vlakke dop, zal de golf deze raken en terugkeren als een 0,35 Bar reflectiegolf, die ook 2,25 mm lang is. (pop!) Nu gaan we dat nog een keer doen, maar aan het uiteinde halen we de vlakke dop weg en plaatsen we een conisch eindstuk van 100 mm lengte. Dit nieuwe eindstuk loopt in een punt uit.

Weer laten we een 2,25 mm lange druk puls los in de buis (plop!). Deze loopt door de pijp en raakt het begin van de conus...terwijl de pijp steeds kleiner wordt, wordt een langere maar zwakkere + golf terug de pijp in gekeatst.. De terugkaatsing begint zodra de (plop!) het conische deel raakt, waarbij de oorspronkelijke drukgolf nog verder de pijp in loopt, terwijl een gedeeltelijke reflectie al terug aan het gaan is. Tegen de tijd dat onze (plop!) bij de punt van de conus is, loopt er een 100 mm lange golf terug naar het begin van de pijp. ( dat is de halve lengte van onze terugkerende golf)

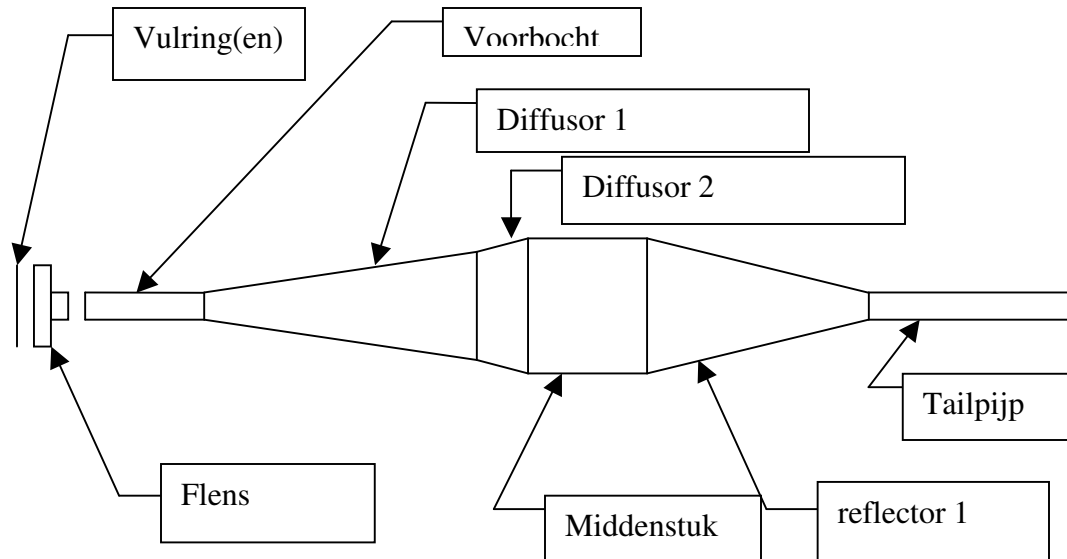
Terug aan het begin van de buis, waar alles begonnen is, worden we begroet door een zwakke pooooooooooooop golf van ongeveer 200 mm lengte. Deze heeft alle energie van de oorspronkelijke golf, maar deze is nu gespreid over de 200 mm lengte en is dus lager van amplitude (druk).

De les is dus: We kunnen de amplitude (sterkte) van de teruggekaatste golf uitwisselen voor tijdsduur; sterke en korte reflectie, of zwakkere, maar langer durende reflectie. Dit is het grote compromis bij het ontwerpen van expansie uitlaten.

*Terug naar de uitlaat*

Een expansie uitlaat bestaat uit een paar basis elementen. De (voor-) bocht, die een kleine hoek van zo'n 1,7° (3,4° tophoek) heeft, de diffusor (expansiedeel) met een hoek van zo'n 7° (14° tophoek), het middenstuk met een gelijkblijvende diameter, de reflector (convergerende deel) die ca. 12° (24° tophoek), de tailpijp en het dempergedeelte.

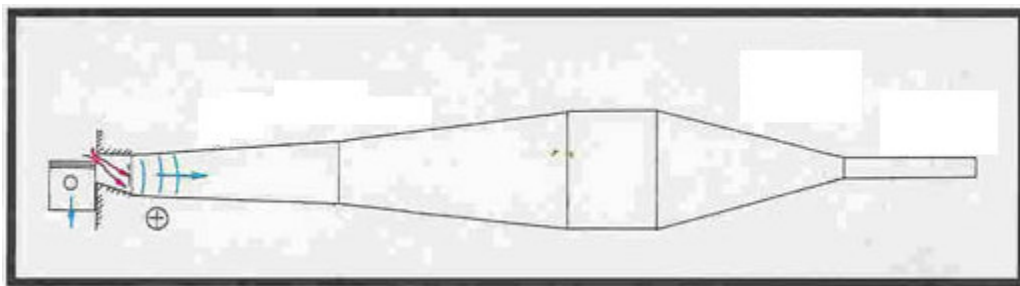
Dit is een nogal ruwe omschrijving, omdat uitlaatspecificaties afhankelijk van de gewenste toepassing nogal kunnen verschillen.



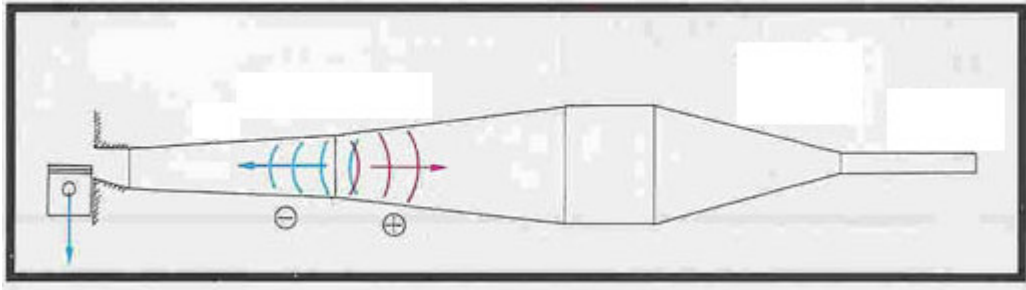
*Benamingen*

### **1.2. De uitlaatcyclus**

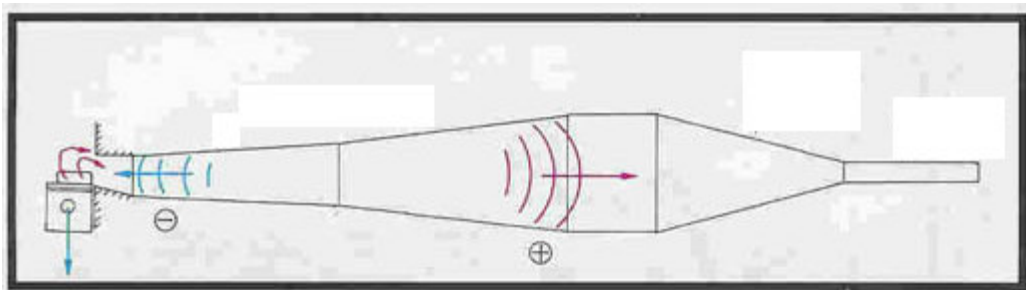
De uitlaat opent ca. 85° na het BDP. Op dat moment schiet een hogedruk golf de voorbocht in. Deze drukgolf loopt door de hoge druk en temperatuur in de uitlaatpijp met een gemiddelde snelheid van zo'n 500 m/s



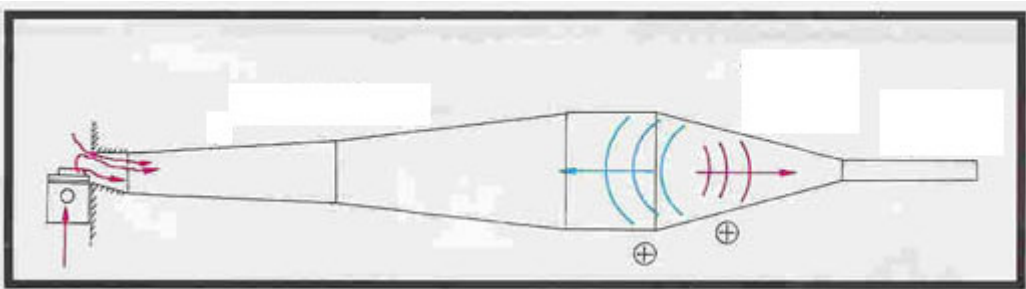
De drukgolf loopt door de pijp tot deze bij de diffusor komt, het eerste grote expansie gedeelte van het uitlaatsysteem. Een gedeelte van de golfenergie wordt in negatieve vorm weer naar de uitlaatpoort teruggekaatst, terwijl het grootste deel van de oorspronkelijke golf verder de pijp in gaat.



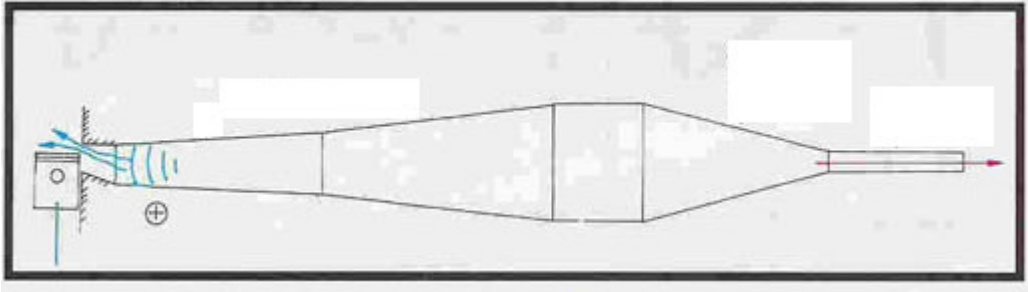
De negatief gereflecteerde golf bereikt de uitlaatpoort, juist op tijd om een grote hoeveelheid vers mengsel uit de spoelpoorten in de cilinder te zuigen. In feite kan deze zo veel mengsel trekken, dat dit niet alleen de cilinder vult, maar het verse mengsel ook nog door de uitlaatpoort de uitlaatpijp in trekt. ( Al lijkt dit op het eerste gezicht verlies)



De oorspronkelijke golf is inmiddels in energie verminderd, maar loopt nog steeds verder de uitlaat in. Deze bereikt de reflector (convergerende) conus en begint dan als een + golf terug te lopen naar de uitlaatpoort. De reflectorhoek is meestal 2x zo groot als de diffusorhoek en geeft zo een behoorlijk sterke, maar korte puls. Dit wordt wel de vulpuls genoemd, omdat juist als de zuiger de uitlaatpoort gat sluiten en hierbij overtollig vers mengsel buitensluit, de vulpuls arriveert en een flink deel hiervan terug de cilinder in perst.



Met een beetje geluk blijft de vulpuls aan totdat de uitlaatpoort gesloten is. Hierdoor krijgen we veel meer mengsel in de cilinder, dan de motor uit zich zelf zou kunnen hebben verpompt. Het uitlaatsysteem van een tweetact werkt hierbij als een turbo-compressor vanaf de uitlaatkant en dit maakt het mogelijk, dat deze motoren zoveel vermogen geven.



### **1.3 Golf timing**

Nu we weten hoe de uitlaat werkt, kunnen we wat exacter worden in wanneer al dit gezuig en gepers plaats vindt.

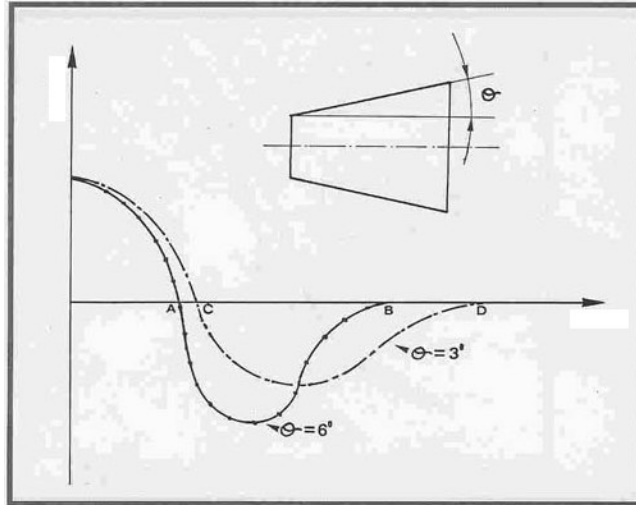
Helaas komen nadat de uitlaatpoort opent de vacuum- en perspulsen bij de uitlaatpoort aan op vaste tijdstippen. Dit betekent dat de timing bij bepaalde toerentallen goed en bij andere toerentallen helemaal verkeerd is. Hierdoor wordt het nerveuze alles of niets karakter veroorzaakt, dat velen van een tweetact motor kennen en verwachten.

#### *Timing van de puls*

De diffusor wekt een vacuumpuls op, die helpt om het mengsel uit de spoelpoorten te zuigen. Wanneer deze golf precies moet arriveren, hangt af van wat we er mee willen doen. Als de zuiger naar beneden gaat, perst deze het verse mengsel uit het carter door de spoelpoorten omhoog. Echter, na het ODP wil de omhooggaande zuiger een deel van het mengsel weer terug de spoelpoorten inzuigen.

Het mengsel blijft alleen nog door zijn massastraagheid nog de cilinder instromen..., behalve dan dat deze een handje geholpen kan worden als de vacuumpuls op tijd bij de uitlaatpoort aankomt. De vacuumpuls kan een waarde bereiken van  $-0,5$  Bar en kan hiermee het verse mengsel vanuit het carter de cilinder in zuigen.

Een minder aggresieve diffusorconus zal een zwakkere maar langer durende vacuumpulsgeven, die over een breder toerenbereik zal blijven werken. Bij lagere toerentallen arriveert de vacuumpuls veel eerder dan het ODP en de hoeveelheid mengsel, dat via de spoelpoorten de cilinder instroomt, zal minder zijn. Als het toerental nog lager is, zal er helemaal geen vacuum in het ODP beschikbaar zijn. Als de uitlaatpijp in fase komt, is de vacuumpuls precies op tijd om het brandstofmengsel voor en na het ODP aan te zuigen en helpen de cilinder te overvullen.



*Het effect van de diffusorhoek; horizontaal de tijd, vertikaal de druk van de puls*

Als het toerental te veel toeneemt, zal de puls niet voor het ODP arriveren en als het toerental hoog genoeg is, zullen de spoelpoorten al sluiten voordat het vacuum uitgewerkt is, waardoor een deel van de puls verspild wordt.

In het ideale geval zal het verse mengsel de cilinder vullen en zelfs, als de cilinder helemaal gevuld is, de uitlaat in stromen.

De vulpuls moet zo getimed worden, dat deze net aankomt voordat de uitlaatpoort sluit. Bij lagere toerentallen komt deze puls te vroeg, voordat de cilinder helemaal gevuld is. Als het toerental nog lager is, kunnen niet alleen de uitlaatgassen de cilinder ingeperst worden, maar kan ook het verse mengsel weerhouden worden de spoelpoorten uit te stromen.

Als het toerental stijgt en de uitlaatpijp in fase met de motor komt, is de vulpuls precies op tijd om het uit de cilinder ontsnapte verse mengsel terug te persen voordat de zuiger de uitlaatpoort sluit en het vermogen stijgt gigantisch. Als het toerental verder toeneemt, sluit de zuiger de uitlaatpoort voordat de de vulpuls er is en het turbocompressor effect is weg. Op dat moment valt het vermogen scherp af.

#### *De staande golf*

In de uitlaatpijp kaatst de oorspronkelijke puls tegen de reflectorconus en loopt weer terug naar de uitlaatpoort. Maar wat gebeurt er als deze weer in het diffusorgedeelte terugkomt? Voor een puls, die weer terug de pijp inloopt, is de diffusor een vermindering in pijpdiameter....en zal dus een deel van deze golf als een + golf teruggekaatst worden de pijp weer in. Deze golf komt weer tegen de reflectorconus en gaat weer terug naar de uitlaatpoort, enzovoorts, enzovoorts. Het resultaat is een serie van in sterkte verminderende golven, resonerend in het centrum van de uitlaat. Dit heet de staande golf

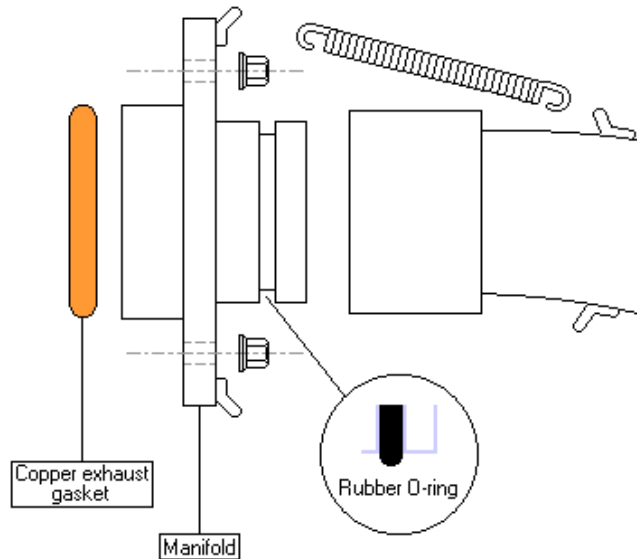
De staande golf wordt iedere cyclus gevoed door een verse uitlaatpuls. Bij een bepaald toerental is de staande golf synchron met de uitlaatpuls van de motor en versterkt deze. Dit kan leiden tot een nog hogere "super" piek in het motorkoppel. Bij andere toerentallen, het meest merkbaar voordat de powerband begint, is de staande golf uit fase met de motor en kan hiermee een enorme dip in koppel veroorzaken. Dit vaak het geval bij het "pre-powerband gat", waar motoren zonder uitlaatsturing last van hebben. Wijziging van de lengte van het middendeel van de uitlaat beïnvloed de staande golf en kan daarmee gebruikt worden om pieken en dalen in de powerband weg te regelen.

***Een expansieuitlaat is een soort uitlaatgas-compressor. Hoe meer warmte en energie je er in stopt, hoe meer je er voor terug krijgt ( in de vorm van sterkere pulsen)***

## 2. Uitlaat onderdelen

### 2.1. Aansluitflens

De flens moet zorgen voor een goede dichting tussen cilinder en pijp. Het belang van een goede lekvrije verbinding wordt gauw over het hoofd gezien, ondanks dat anders druk- en temperatuurverlies optreedt.



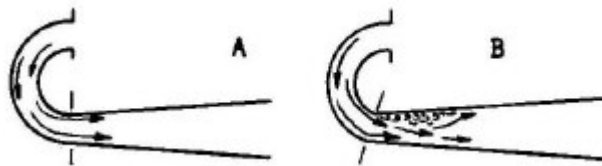
*Voorbeeld van een goed uitgevoerde flensaansluiting*

### 2.2. Voorbocht

Normaal gesproken is de eerste 150-200 mm van de pijp recht of met een flauwe hoek om de uitlaatgasstroom te stabiliseren en om turbulentie te verminderen tot een enigszins laminaire stroom. Dit stabiliseert de dichtheid en snelheid, wat een efficiënter gebruik van de geluidsgolven geeft. De kleine hoek van de voorbocht is om minder gasweerstand te krijgen.

Verder helpt de voorbocht mee om door middel van de massastraagheid van de gassen de cilinder te helpen legen. De kleine hoek van de voorbocht heeft geen invloed op de rol van de diffusorconus

Belangrijk is de overgang tussen voorbocht en conus. Te scherpe hoeken of obstakels kunnen verstoringen in de pulsen en gasstroom veroorzaken, waardoor het vermogen sterk terugloopt.



*Een gelijkmatige, gladde instroom in de diffusor geeft een goede stroming(A), maar een knik(B) geeft turbulentie.*



### 2.3. Diffusor

Net zoals bij een megafoon geeft de diffusorconus een bovenstroomse drukverlaging door het sturen van een geluidsgolf in de richting van de bron van de druk. Nadat de gasstroming is gestabiliseerd in de voorbocht, bereikt deze het expanderende gedeelte van de eerste diffusor en de druk zakt. Deze drukverlaging geeft een geluidsgolf in de richting van de uitlaatpoort, waar de druk ook lager wordt. Iedere verandering in conushoek geeft een eigen geluidsgolf.

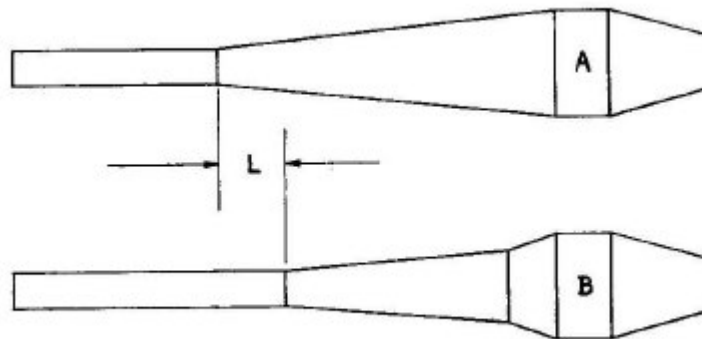
De diffusor in de afbeelding laat twee verschillende conushoeken zien. De verandering van hoek van de eerste naar de tweede conus bepaalt de amplitude(grootte) van de geluidsgolf met de bijbehorende druk. Deze hoeken bepalen ook de tijdsduur van de geluidsgolf. Meer drukverandering gaat altijd ten koste van een kortere periode. De diffusor kan voldoende negatieve druk geven om mengsel uit de spoelpoorten te trekken omdat deze een lagere druk kan geven dan de atmosfeer.

Het carter staat onder druk en heeft in het eerste deel van de spoelperiode geen hulp nodig van de negatieve puls. Voor het ODP komt de eerste negatieve golf aan, terwijl de tweede net na het ODP aankomt. Omdat het sinusgolven zijn, komt amplitude van de piek uit het midden van het pijpstuk.

De piek van de tweede zuigpuls, op ca. 72-75% van de spoelpoortopeningsperiode, is het meest effectief om het brandstofmengsel helemaal vanuit de carburateur aan te kunnen zuigen. Bij sommige motoren hebben de pulsen zo'n kracht (0,5-0,55 Bar absoluut) dat ze meer mengsel door de carburateur aanzuigen dan de zuiger zelf zou kunnen verplaatsen. Maar niet al het mengsel dat het carter ingezogen wordt door de zuigpuls haalt de cilinder bij de eerste haal, omdat de zuiger de spoelpoorten afsluit. Dat is het carter boost vuleffect

Er zijn grenzen hoe steil je de conussen kan maken, vooral bij de diffusor. Een te steile diffusorhoek kan de uitlaatpuls tot stilstand brengen, als deze niet in staat is de snel wijder wordende wand van de pijp te volgen.

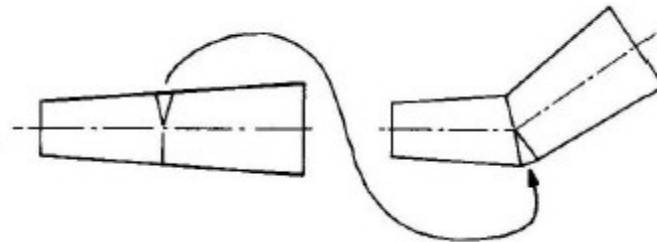
Om toch een grote diameter en om de pijp naar de steile hoek te leiden is het toepassen van van een serie van in hoek toenemende conussen. In feite zijn 2-, meestal 3-traps diffusorconussen normaal.



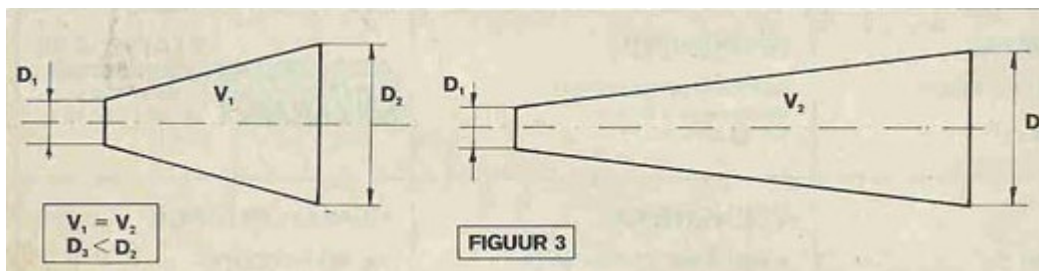
*De getrapte diffusor(B) is korter dan de enkele conus van (A), waardoor extra lengte mogelijk is voor de voorbocht om een grotere powerband te geven of om het volume te vergroten voor meer topvermogen.*

Een diffusor met  $7\frac{1}{2}^\circ$ , 70%/30 % is wat korter dan een diffusor met een rechte  $8^\circ$  diffusor, als beide de zelfde diameter verhouding hebben. Dit lengteverschil kan toegevoegd worden aan de voorbocht of aan het middenstuk. In beide gevallen is het effect, dat het vermogen beneden het piekvermogen toeneemt. Hierbij heeft vergroten van het volume het meeste effect.

Lengte toevoegen aan de voorbocht geeft een grotere vermindering van het maximum vermogen, maar geeft ook een merkbare vergroting van het koppel bij lagere toerentallen. Deze effecten neigen er toe de keuze van diffusor conussen te wijzigen; omdat een korte, steile diffusorconus ruimte geeft voor een langere voorbocht of extra kamervolume, welke beide de smallere powerband van dergelijke diffusors verminderen.



*Scherpe bochten in de diffusor hebben weinig effect op het vermogen en kunnen makkelijk gemaakt worden met de getoonde taartpunt methode*

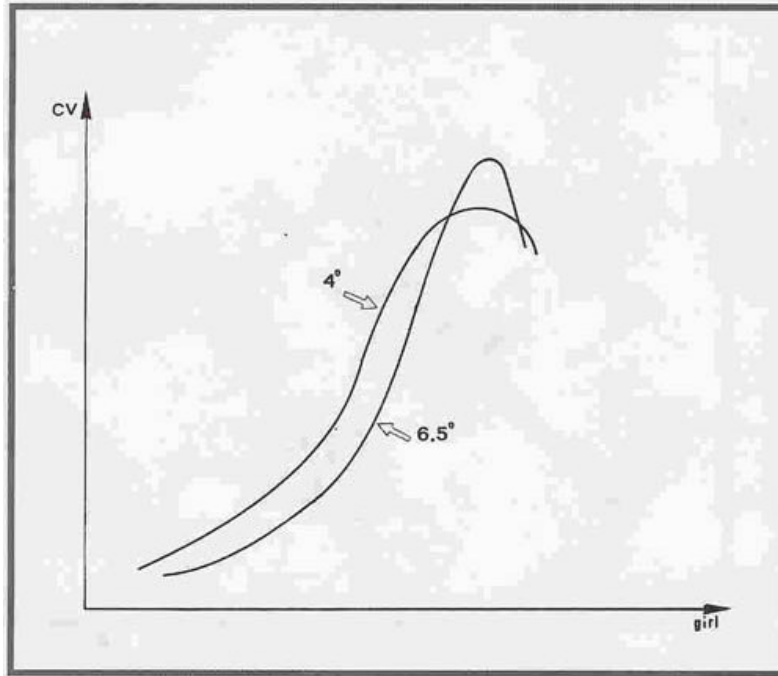


*De diffusor, andere vorm met de zelfde inhoud geeft opmerkelijke resultaten*

De inhoud van de diffusor is een maat voor de hoeveelheid vacuum dat je kan (wilt) opwekken. Als je van vorm V1 naar V2 gaat, spreid je niet alleen de energie van de de vacuumpuls, maar verleg je ook eens het zwaartepunt van deze puls en zal ook de resonantie op een ander toerental liggen.

Met een slankere voorconus verplaatst het vermogen zich naar het midden-gebied en het max. koppel gaat iets omlaag. Het vermogen komt rustiger in. Het steiler maken van de voorconus heeft een groter maximum vermogen tot gevolg en het maximum koppel verplaatst naar hogere regionen. Op het maximum toerental hebben dergelijke veranderingen, mit de kubieke inhoud gelijk blijft, nagenoeg geen invloed.

Verder geeft een slanke pijp meer overrev, omdat deze minder kritisch is wat betreft de staande golf.



*Met een slankere diffusor verplaatst het vermogen zich naar het middengebied en het max. koppel gaat iets omlaag. Een steilere diffusor geeft een groter maximum vermogen*

#### **2.4. Het middenstuk**

Het middenstuk dient om de diverse drukgolven, die in de pijp lopen, op elkaar af te stemmen. Het is zinvol om voor tests het middenstuk verstelbaar te maken en dan met millimeters tegelijk op de testbank metingen te doen.

Op een gegeven moment komt dan de afstelling van de pijp volledig tot zijn recht door het ontstaan van de staande golf. Het vermogen stijgt aanzienlijk en de motor gaat er thermisch ook op vooruit. Een stijging van het vermogen van 4% over het gehele gebied is zeker geen uitzondering.

Het is makkelijk werken om het middenstuk in de uitlaat verschuifbaar te maken en dan op de testbank de uitlaat steeds een beetje korter of langer te maken. Je zult dan ook zien dat het vermogen bij een bepaalde maat enorm stijgt t.o.v. de vorige metingen. Dan heb je voor deze conushoeken de ideale lengte gevonden en kun je een goede uitlaat maken voor onder de motor scooter enz.

Wijziging van het middenstuk brengt nagenoeg geen temperatuursverschillen in de pijp, totdat de juiste lengte wordt gevonden, dan volgt onmiddellijk een lagere uitlaatgastemperatuur en hogere verbrandingstemperatuur.

Opvallend is, dat het verkorten of verlengen van de pijp nagenoeg geen invloed heeft op het maximale toerental. Pas als de preciese afstemming bereikt is, kan dit een paar honderd toeren uitmaken, waarbij het niet vaststaat hoe korter de pijp, des te minder de motor toeren maakt.

Las het het instelbare middenstuk pas definitief vast als je de optimale lengte hebt gevonden.

### *Maximale diameter middenstuk*

Op jacht naar vermogen, hebben tuners uitlaten gemaakt met steeds grotere diffusors. In de 70-er jaren was het gebruikelijk dat de oppervlakteverhouding tussen de voorbocht en het middenstuk in het gebied van 6-7:1 lag.

Als de voorbocht 40mm was, dan was het middenstuk zo'n 100 mm. Toen tuners ontdekten dat een sterker vacuum van de uitlaat samen met grotere cartervolumes meer vermogen gaf, vergrootten ze deze verhouding tot 10:1 en deze verhouding groeit nog steeds. Dat betekent dat een 40 mm voorbocht nu uitkomt in een dik middenstuk van meer dan 125 mm in diameter.

Het uitgangsprincipe is dat hoe dikker de uitlaat hoe meer vermogen deze maakt in de powerband. Grote diffusorhoeken geven veel vermogen, maar over een kleiner toereengebied, boven en beneden dit toerental is de motor futloos.

Kleinere diffusorhoeken geven minder vermogen, maar over een breder toereengebied. De hamvraag is om de uitlaat het meeste vermogen te geven over het toereengebied dat je nodig hebt.

### **2.5. Reflectorconus**

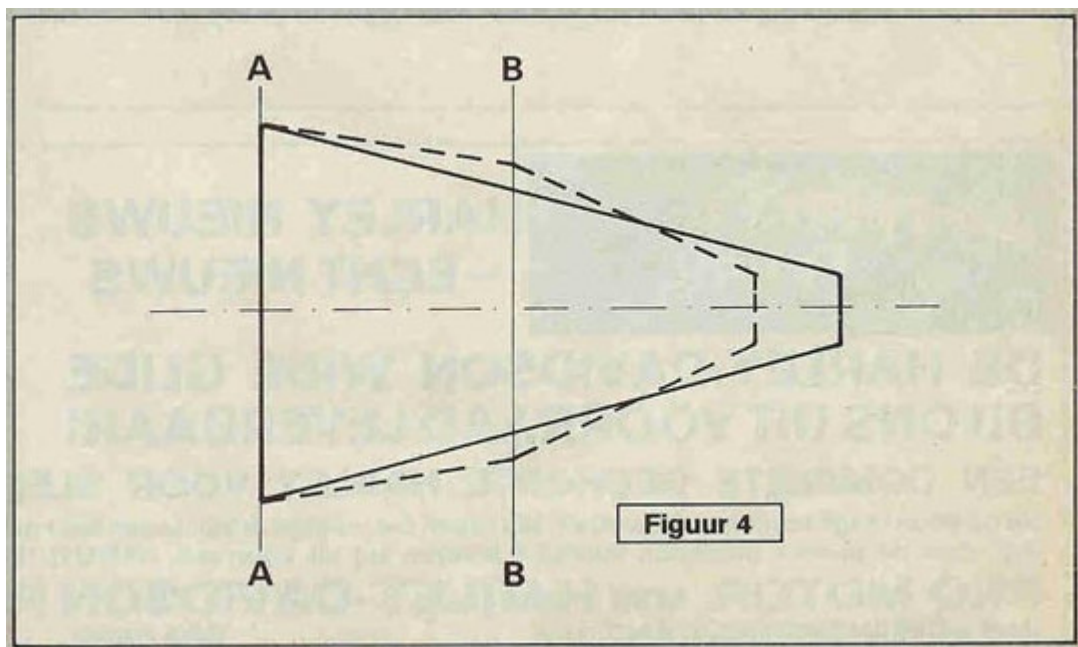
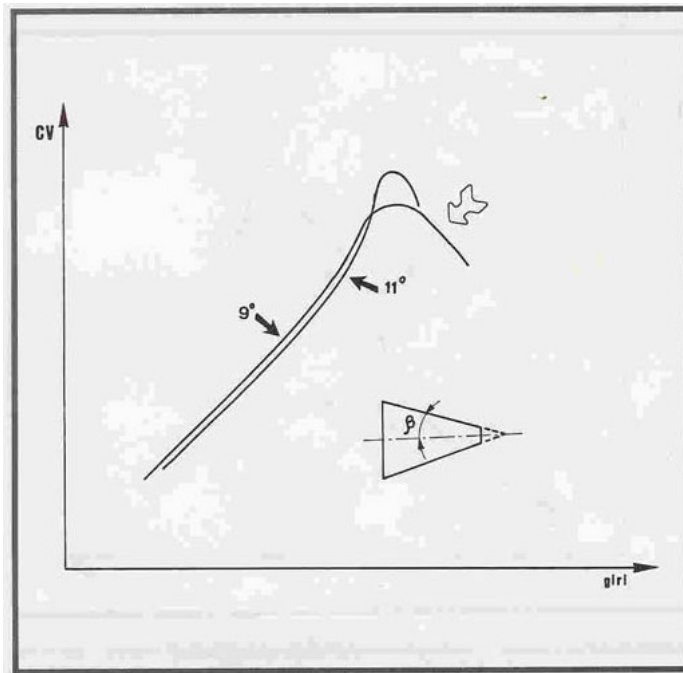
Deze zijn meestal 2x zo scherp als de diffusorconus. De grootste hoek die je kan gebruiken is ongeveer 20° en de kleinste 14°. Een 20° reflector geeft een goede, sterke vermogenspiek, maar het vermogen valt bij hogere rpms snel af. Een 15° conus geeft een wat lagere topvermogen, maar zal het vermogen tot een flink stuk voorbij het piektoerental vasthouden. Conclusie: motorcross motoren kunnen flexibiliteit winnen door een lange reflector conus met een kleine hoek.

Voor de reflectorconussen gelden bij kleine motoren andere regels dan bv bij een 125cc. Omdat bij kleine motoren de gassen sneller afkoelen, kan je bij deze een steilere reflectorconus toepassen. Door de lagere gastemperatuur bij lagere toerentallen wordt de tuned lengte langer en blijft de powerband groot genoeg.

Bij standaard tweetact wegmotoren wordt zelfs een reflectorhoek van 180° toegepast, m.a.w. een vlak achterschot. Door de lagere uitlaatpoort en de grote temperatuursvariatie van het uitlaatgas bij de verschillende toerentallen, wordt er toch een brede powerband verkregen.

Een van de redenen voor een hoek 180° is om een complete uitlaat met demper te maken, die kort genoeg is om netjes te passen en er ook nog goed uitziet. Zo wordt bv de uitlaat van de Kreidler RS gemaakt, die standaard zo'n 7,5 pk heeft met een brede powerband.

In de meeste goed getunedede motors wordt het max toerental bereikt op het moment dat de positieve puls niet langer een effectieve hoeveelheid gas terug de cilinder in kan persen, voordat de zuiger de uitlaatpoort sluit.



Verandering in diameter van vlak A-A betekent verandering van de hele pijp. Verandering in vlak B-B kan wel. Hierbij verschuift het centrale reflectiepunt.

Of de reflectorconus uit een of meerdere conussen bestaat is wel van belang, maar bij het veranderen is weer het centrale reflectiepunt erg belangrijk en de totale lengte omdat dit de spreiding van de hoeveelheid energie van de teruggekaatste puls bepaalt.

Het wijzigen van de conus bij punt B, zoals met de stippellijn aangegeven, heeft onmiddellijk een tweeledig effect. Doordat de eerste conus flauwer is geworden en het tweede scherper, verplaatst je ten opzichte van de oorspronkelijke conus het centrale reflectiepunt. Hierdoor stijgt het vermogen in de lagere toerentallen, maar het toptoerental loopt terug, d.w.z. de motor zal minder hoog draaien dan bij de standaard pijpen. Een goede maatstaf voor de plaats van het reflectiepunt is hierbij de inhoud van de conus

Met de reflectorconus is dus veel te bereiken. Het is mogelijk het hoogste koppel van de motor verplaatsen van een hoger naar een lager toerental en zo aan te passen aan de wensen van de rijder. Samen met het koppel is ook het vermogen sterk te beïnvloeden.

In het algemeen kan gezegd worden hoe kleiner de kubieke inhoud van de conus, hoe meer topvermogen, zeker als de conus ook nog kort is. Daar tegenover staat: Hoe groter de inhoud van die conus, desto meer vermogen onderin. Ook hieraan helpt een langere achterconus mee.

Voor een motor die nogal kwetsbaar is bij toerentallen boven de rode streep, kan je de expansieuitlaat uitrusten met een 20° reflector of een korte, dikke, gebroken achterconus zal de rijder beletten het maximaal toerental te overschrijden. Dat kan weer helpen de betrouwbaarheid van de motor te verbeteren. De korte dikke achterconus met de zelfde inhoud als een iets langere zal tevens verschil van het max. toerental te weeg brengen.

Bij een te grote hoek van de reflector neemt de motortemperatuur sterk toe.

## **2.6. De tailpijp**

De tailpijp is een eenvoudig afvoerweerstand, die het vrij ontsnappen van uitlaatgassen uit de expansiepijp voorkomt. De tailpijp geeft hierbij een weerstand die de drukgolf van de reflector versterkt. De tailpijp is veel gevoeliger voor de diameter dan voor de lengte. Als de diameter te klein is, neemt de motortemperatuur sterk toe. Dit effect is het sterkst bij de zuigerbodem. Dit is zowiezo het onderdeel, dat het maximaal toelaatbare vermogen van de tweetaktmotor mechanisch begrenst.

Hogere tegendruk verhoogt zowel de dichtheid van het gas in de pijp als de temperatuur, (beide verhogen de Vs), en daarmee het max. toerental.

Meer weerstand maakt het makkelijker voor de vulpuls om zijn taak te doen en verhoogt over het algemeen het topvermogen, maar deze verhoogt ook de uitlaattertemperatuur en zorgt er ook voor dat de zuigertemperatuur huizenhoog oploopt.

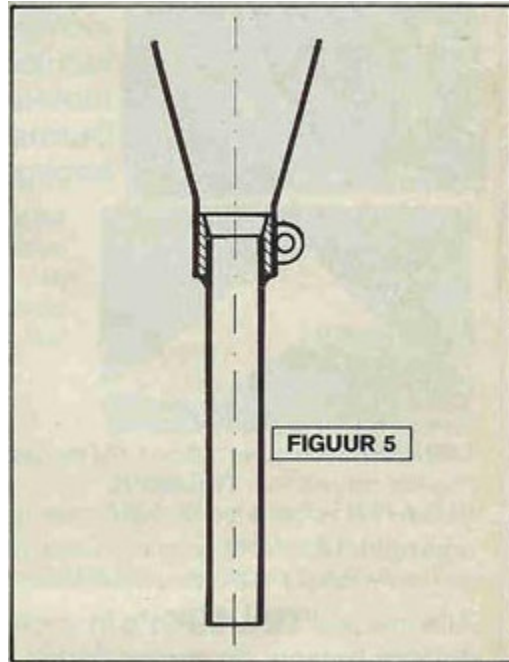
Het probleem van het zoeken van de juiste tailpijp is, dat terwijl het vermogen sterk stijgt als je van een te grote diameter naar beneden werkt en er maar een kleine vermindering in vermogen optreedt als je een te kleine diameter kiest. Blijf daarom aan de ruime kant zitten, behalve als je een testbank en temperatuurmeetapparatuur hebt.

Te veel weerstand maakt de motor slomer en zorgt ervoor dat hij langzamer op toeren komt. In eerste instantie geeft het soms meer low-down-power, maar metingen over een langere tijdsduur geven aan, dat het vermogen dan weer sterk terugloopt. Het gemiddelde vermogen over 20 minuten gaat dan weer sterk achteruit.

Een motor, die gebruikt wordt voor hoge snelheden, topsnelheid trajecten zou een tailpijp kunnen gebruiken met minder weerstand om de motor onder die condities heel te houden. Bij een motor,

die gebruikt wordt op een racebaan met periodes gas open en dicht, kunnen soms de zaken wat scherper gesteld worden, omdat er in dat geval niet veel tijd is om warmte op te bouwen.

Hitte is een moordenaar voor tweetactzuigers en te veel tegendruk laat zuiger smelten. Hou daarom goed de onderkant van de zuigerbodem in de gaten. De temperatuur is hier hoog genoeg om de aangeplakte olie bruin te laten bakken. Pas als de olie op die plaats begint te verbranden is het opletten geblazen, want het volgende wat je ziet nadat je as van verbrande olie gezien hebt, is een gat in je zuiger.



*Tailpipeconstructie waarbij door een vulbusje elke diameter in de uitlaat past. Belangrijk is dat de tailpipe een schuin inloopstukje krijgt om een vloeiend verloop mogelijk te maken.*

Het veranderen van de tailpijp is het makkelijkst, zeker als er een losse einddemper wordt gebruikt. Tailpijpen gemaakt volgens fig 5 kunnen de zaak eenvoudig maken.

### 3. GASTEMPERATUUR

Omdat een van de belangrijkste factoren in de berekeningen de gastemperatuur is, gaan we hier wat dieper op in. Een van de hoofdwaarden bij het ontwerpen van een expansieuitlaat is de geluidssnelheid, omdat deze de snelheid bepaalt van de drukpulsen die we in de kamer gebruiken

Als de uitlaatpoort opent, heeft het uitlaatgas nog steeds een hoge druk en temperatuur, die de geluidssnelheid beïnvloeden. Omdat de zuig- en perspulsen in de pijp door sonische golven worden veroorzaakt, is het van groot belang om dit goed te begrijpen. Om inzicht in de geluidssnelheden bij verschillende temperaturen, dichtheden en samenstelling te krijgen, geeft de tabel een aantal waarden weer.

Gas	Druk[Bar]	Temp [°C]	Snelheid (m/s)
lucht	1	0	330
lucht	25	0	330
lucht	100	0	350
lucht	1	20	345
lucht	1	100	385
lucht	1	500	550
lucht	1	1000	700
koolmonoxide	1	0	340
kooldioxide	1	0	260
uitlaatgas	2	650	510

#### *Geluidssnelheid in verschillende gassen*

Uit de tabel blijkt dat de geluidssnelheid voornamelijk door de temperatuur en samenstelling van het gas wordt bepaald. Verrijken van het mengsel koelt niet alleen de uitlaat (lagere snelheid), maar verandert ook de samenstelling van minder CO<sub>2</sub> naar meer CO (hogere snelheid). Later zetten van het onstekingstijdstip voegt warmte toe aan de uitlaat, zonder dat de gassen samenstelling veel verandert. De druk is veel minder van belang, omdat deze de snelheid nauwelijks beïnvloed.

We praten hier niet over kleine verschillen. Wanneer de uitlaat opent, is de gemiddelde temperatuur ruim boven 980 °C en kan de geluidssnelheid wel 760 m/s zijn i.p.v. de 330 m/s onder huiskamer omstandigheden.

Omdat het uitlaatgas een lage warmte-inhoud heeft, koelt de grenslaag van het gas snel af door het contact met de metaal van de uitlaatpijp. In het koelste deel van de uitlaat, waar de gassen behoorlijk zijn geëxpandeerd zijn zakt de temperatuur daardoor tot zo'n 425 °C. Hier kan de geluidssnelheid nog boven de 450 m/s zijn.

Houdt wel in gedachten dat we het hebben over de uitlaattemperatuur en niet uitlaatgastemperatuur of EGT. Deze laatste wordt met een opnemer zo dicht mogelijk bij de uitlaatpoort in de voorbocht gemeten. EGT geeft belangrijke info over de verbranding.

#### *Geluidssnelheid in een gas(druk golf snelheid)*

$$a_0 = \sqrt{\gamma R T_k}$$

Waarbij:-  
T<sub>k</sub> is uitlaatgas temperatuur in °K ;  
R is 287; γ is 1.4; a<sub>0</sub> is in m/s



### *Gemiddelde uitlaatgastemperatuur*

Als de BMEP van de motor is bepaald, kan de gemiddelde uitlaatgastemperatuur berekend worden met de onderstaande formule. Dit is een empirische (proefondervindelijke) waarde gebaseerd op metingen bij dyno testruns

$$T_k = 534.67e^{0.0485BMEP}$$

Waarbij:-

$T_k$  is gem. uitlaatgastemperatuur in °K

BMEP is in Bar

De gemiddelde uitlaatgas temperatuur gebruiken we om de totale lengte van de uitlaat te bepalen.

Voor onze berekeningen gebruiken we 510 m/s als gemiddelde geluidssnelheid in de pijp en 360 m/s voor het brandstofmengsel .

Als uitlaatgastemperatuur kun je een gemiddelde aanhouden van 520°C. Maak je de uitlaat temperatuur hoger, dan wordt de uitlaat langer.

### 3. Belangrijke invloedsfactoren

Een aantal verschillende zaken, zoals b.v. het onstekingstijdstip beïnvloeden de temperatuur in de uitlaat. De uitlaattemperatuur kan b.v. ook gewijzigd worden door de uitlaat te omwikkelen met isolatie-materiaal of door een isolerende laag op het metaal zelf.

#### *3.1. Cartervolume/ max. uitlaatdiameter*

Het cartervolume is, samen met alle andere zaken in het uitlaatontwerp, ook een parameter om mee te puzzelen. In vroeger tijd vertrouwden 2 takt tuners op de neergaande zuiger om het meeste verse mengsel de cilinder in te drukken. Zonder hulp van een sterke vacuumpuls van de uitlaat steunde de tuner alleen op de kinetische energie van het mengsel in de spoelpoorten om de stroming na het ODP op gang te houden.

Om dit te bereiken en om zoveel mogelijk mengsel vanuit het carter de cilinder in te krijgen, werden motoren ontworpen met zeer hoge cartercompressieverhoudingen, zoals 1,7 : 1. Het opvullen van het carter was een gebruikelijke methode, waarbij, om alle dode ruimte op te vullen, ieder gaatje en kiertje opgevuld werd met epoxy of plamuur.

Op deze wijze werd het mengsel, als de zuiger naar beneden ging, als een raket omhoog gelanceerd en met een enorme snelheid door de spoelpoorten geperst. Vaak had de stroom zo'n snelheid, dat het snel in de cilinder stroomde, de cilinder omspoelde en daarna direct de uitlaatpoort weer uitschoot.

Langzamerhand veranderden echter de ideeën en spoelpoorten werden vlakker bij de aansluiting op de cilinder. Het idee was om de binnenstromende mengselstromen rustig te laten samenstromen in het centrum van de boring, deze dan naar boven te laten stromen en langzaam en volledig de cilinder te laten vullen. De cartercompressieverhouding werd lager, omdat dit de stroomsnelheid in de spoelpoorten verlaagde.

Dit ging wel weer ten koste van de flow na het ODP en daarom begonnen we meer te steunen op de uitlaatpijp om het mengsel na het ODP aan te zuigen. Tegelijkertijd bleek, dat het makkelijker is om een flinke teug uit een grote ruimte te nemen dan uit een kleintje. Het cartervolume werd daarom groter, waardoor de uitlaatpijp makkelijker het mengsel door de spoelpoorten kan aanzuigen. Moderne motoren hebben daarom grote carters met een lage cartercompressies, zoals 1,2 : 1. Hierbij is de "dode" ruimte in het krukasdeel zo klein mogelijk gemaakt en bevindt het volume zich onder de zuiger en de spoelpoorten. Deze zijn ruim uitgevoerd om het mengsel zo dicht en zo snel mogelijk bij de cilinder te krijgen

Een dikkere pijp kan meer energie uit de uitlaotpuls halen en een sterker vacuüm opwekken om mengsel aan te zuigen. Dit werkt echter maar tot een zekere hoogte, omdat een klein carter dit beperkt. Je kan gewoonweg geen grote ademteug uit een klein flesje halen. Dikke, sterk zuigende pijpen zullen ook meer mengsel de uitlaatpoort uittrekken, maar bij oude stijl spoelpoorten (naar boven gerichte spoelpoorten), zal een grote hoeveelheid mengsel de door de uitlaatpoort ontsnappen. Meer dan de vulpuls ooit weer terug kan persen.

#### *Compressieverhouding*

Het is algemeen bekend, dat een hogere compressie een sterker middentoereengebied geeft, terwijl een motor meer toeren maakt bij een lagere compressie. Vergroting van de compressieverhouding verhoogt tot een bepaalde grens de energieafgifte bij de verbranding. Bij een hogere compressieverhouding komt er meer energie vrijkomt bij de zuiger en gaat er minder energie de uitlaat in. Minder energie de pijp in = zwakkere pulsen. Zwakkere pulsen = minder effectieve beweging van het mengsel door de poorten. Dus uiteindelijk minder vermogen.

Zo is hogere compressie is een tweesnijdend mes. Een minder hoge compressie laat de pijpen beter werken.

### Onstekingsstijdstip

Vervroeging van het onstekingsstijdstip beïnvloedt de werking van de expansieuitlaat voornamelijk door verandering van de uitlaatgastemperatuur. Meer voorontsteking verlaagt tot een zeker punt de uitlaatgastemperatuur. Later zetten van het onstekingspunt laat het mengsel later ontbranden waardoor er meer warmte de uitlaat in ontsnapt. Hogere EGT's verhogen de Vs en de berekening van Lt, het piektoertal van de motor, staat in direct verband met Vs.

Door het onstekingsstijdstip na het eigenlijke maximale toerental later te zetten kan je meer overrev krijgen. Door het latere onstekingsstijdstip worden de uitlaatgassen heter, wordt de geluidssnelheid in de pijp hoger en wordt de pijp daardoor relatief korter.

### Blowdown

De blowdown is de periode tussen de opening van de uitlaatpoort en de spoelpoorten. Normaal gesproken is dit 31-35 krukasgraden. De blowdown is belangrijk omdat de hoge druk in de cilinder afgevoerd moet worden, voordat het verse mengsel via de spoelpoorten naar binnen kan stromen.

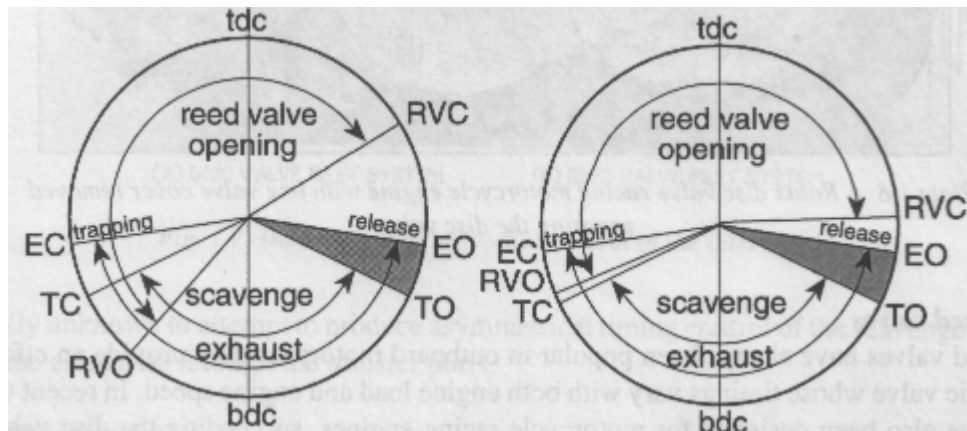
Een cilinder met een grote blowdown reageert door de sterkere uitlaatpulsen extremer op een uitlaat dan een cilinder met een kleine blowdown. Als de blowdown groter wordt, dan wordt het daarom steeds belangrijker om de uitlaat exact op het gewenste toerental af te stemmen. Natuurlijk geldt dit ook voor een lage blowdowntijd, maar hier merk je minder van als het een beetje fout zit.

Ook de bovenkant van de uitlaatpoort speelt hierbij een belangrijke rol. Door de radius hiervan te wijzigen krijg je een sterkere of zwakkere uitlaatpuls.

### Membraamsturing.

De openings- en sluitingstijden van een membraaminlaat zijn afhankelijk van het toerental. Bij lage toerentallen gedraagt hij zich als een roterende inlaat met opening globaal bij 160° voor het BDP en sluit bij 86° na het BDP. Bij hogere toerentallen lijkt de membraaminlaat juist weer op een zuigergestuurde inlaat en opent deze bij 140° voor het BDP en sluit deze 122° na het BDP.

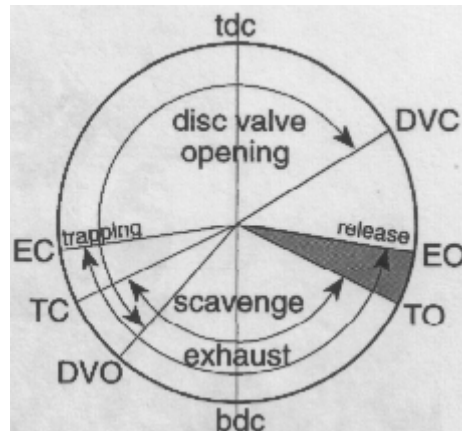
Bij lage toerentallen zou het mogelijk kunnen zijn het mengsel vanuit de uitlaat door de carburateur en carter heen de cilinder in te trekken, alhoewel de vacuumpuls van de uitlaat dan nog zwak is.



membraam opening; links bij lage toerentallen en rechts bij hoge toerentallen

### *Roterende inlaat.*

Op motoren met roterende inlaat, kan de schijftiming een wisselwerking hebben met de uitlaatpijp. Al eerder zijn de problemen genoemd met een klein carterinhoud, de grote spoelsnelheid en ook het beperkte volume om uit te putten voor de uitlaat. Welnu, het laatste is hier niet geheel juist, want er is een manier om een beetje meer mengsel vanuit het carter te krijgen.



*Timing bij roterende inlaat*

Bij een RG500 (Suzuki's klassieke 500 cc viercilinder tweetaktmotor met roterende inlaten) opent de schijf ongeveer bij  $147^\circ$  voor het BDP. De spoelpoorten sluiten in de tussentijd (wanneer de zuiger omhoog gaat) niet eerder dan ongeveer  $119^\circ$  voor het BDP. Dit geeft  $28^\circ$  krukasgraden waar de motor helemaal openstaat vanaf de uitlaatpoort tot de carburateur. Een uitlaat met een goed vacuüm op het moment, laat in de spoelperiode, kan hierbij het mengsel helemaal vanaf de carburateur aanzuigen – en daardoor in principe vanuit een carter zonder volumelimiet.

## REKENMETHODES/ PROGRAMMA'S

### *De klassiekers*

In het verleden hebben een aantal knappe koppen zich met de berekeningen van expansie uitlaten bezig gehouden:

1. Blairs formules geven de slechtste uitlaten.
2. Jennings. Als je zijn richtlijnen volgt, krijg je een uitlaat die niet veel vermogen geeft maar wel een brede powerband en overrev. Gordon Jennings heeft 21 pagina's aan de tweetakt uitlaten gewijd. Zoals te zien op tekening twee heeft deze schrijver een ander mening over de lengte bepaling. Deze manier komt dichter bij de werkelijkheid als overmars. De dikteberekeningen zijn inmiddels ook al weer achterhaald
3. Bell goed topvermogen en overtoeren. In de praktijk vaak te lang.
4. Overmars heeft als enige in Nederland regelmatig gepubliceerd over tuning van tweetactmotoren. Zijn berekeningen zijn met een Pe van ca. 9 Bar afgeleid van complexere berekeningen. Je kan er niet echt een optimale uitlaat mee berekenen, maar er wel een leuke vermogenswinst mee halen t.o.v. een standaard uitlaat. Je komt op erg nauwe diameters van tailpipes uit, welke toegepast op de huidige 2 tacters al snel een veel te hoge verbrandingstemperatuur tot gevolg zouden hebben. De tailpijfactor staat hier op 0,55 Jennings hanteerde 0,65 en blair 0,6-0,7.

### *Programma's*

Er zijn allerlei rekenmethodes en softwareprogramma's voorhanden om je te helpen met het ontwerpen van expansie-uitlaat. De meeste maken zich niet druk over ontstekingsstijdstip, compressieverhouding, carterinhoud, poorttiming, uitlaatpoort afmetingen, uitlaattemperaturen, enz., hoewel al deze zaken uiteindelijk bepalen hoe de combinatie van uitlaat en motor zal werken.

Bovendien is de relatie van de uitlaat tot carter, carburateur en poorten zo belangrijk dat je je eerst daarin moet verdiepen voordat je een bepaald theoretisch model kunt kiezen. Uitgebreide, moderne 2-tact simulatie programma's voor het ontwerpen van uitlaten doen dit vrij aardig.

Maar vergeet niet dat deze programma's alleen kunnen simuleren, het is nog steeds de mens die de informatie moet analyseren. Het is met gebruik van een computerprogramma mogelijk de vermogenskarakteristiek van een motor nauwkeurig te voorspellen. Dit geeft aanzienlijke besparingen in het budget en voorkomt onnodig slijtage van de motor en dyno.

Dyno testen is erg duur. Met gebruik van een computerprogramma kan je iedere verandering aan de motor analyseren. Als het resultaat bevredigend is, kan je dit onderzoeken met de dyno en met de volgende stap verder gaan.

De programma's, die je op internet vindt, geven een goede start. Hun nadeel is, dat je niet precies een uitlaat voor een bepaalde toepassing kunt berekenen (maar ook de programma's van TSR vergen een hoop kennis van de praktijk om in 1 keer tot een goed ontwerp te komen).

## **ONTWERPEN VAN EEN UITLAAT**

### *Algemeen*

Toch kan je behoorlijke resultaten bereiken met handmatige berekeningen, zolang de andere componenten redelijkerwijs overeenkomen met het gewenste vermogen. Je hoeft dan niet precies alles te meten of te weten. Bij een bepaald vermogen komt er gewoon een bepaalde hoeveelheid energie uit de uitlaatgassen bij een bepaalde temperatuur. Er is langzamerhand zoveel bekend over tweetacten dat je de vuistregels wel kent.

De uitlaatpuls bevat niet meer dan een bepaalde hoeveelheid energie. Deze energie moet verdeeld worden tussen de zuig en perspuls. De hoeveelheid energie, die door de zuigpuls wordt gebruikt wordt bepaald door de maximale diameter van de uitlaatpijp, het middenstuk.

Een uitlaat met een relatief grote diameter werkt alleen als er een uitlaatpuls groot genoeg is om de pijp goed te laten werken. Dit zal alleen in een smalle powerband zijn en nauwelijks overrev geven.

Voor een gegeven BMEP en rijdbaarheid is er een optimale pijpdiameter voor zowel de pulsen als de gasstroom. Binnen dit optimum kan je spelen met de hoeken van de diffusorconus. Een grote hoek geeft een korte en sterke zuigpuls (maakt het middenstuk langer). Een kleine hoek geeft een langere maar zwakkere zuigpuls ( maakt het middenstuk korter).

### *Uitgangspunten*

De uitlaat moet ontworpen worden in overeenstemming met de timing van de poorten. Een super hoge toeren pijp aan een motor met een milde poorttiming schroeven, resulteert in een motor die niet weet of hij moeten komen of gaan. Alles moet in overeenstemming met elkaar zijn om een tweetakt dat geweldige vermogen te geven.

Verder zal de uitlaatpoort tenminste een openingsperiode van 192 moeten hebben, wil er een staande golf ontstaan, die voor het turbo effect moet zorgen.

Als eerste bepaal je waarvoor je de motor wil gebruiken en welke karakteristiek daar bij hoort. Stel dan vast welke TA en poorttiming daarbij horen. De TA geeft hierbij weer welk volumestroom en vermogen de poorten kunnen leveren en de timing geeft aan hoeveel tijd bij het gewenste toerental beschikbaar is.

Globaal is de TA samen met de compressieverhouding de maat voor diameter van de diverse delen van de uitlaat. De timing geeft samen met de gewenste karakteristiek de maat voor de lengte van de diverse delen van de uitlaat.

Je rekent de uitlaat uit voor het toerental waar het maximum koppel moet optreden. Het maximum koppel is de maximale kracht(druk) die op de zuiger wordt uitgeoefend als de gaswisseling optimaal is. De vulling wordt bij hogere toerentallen weliswaar minder, maar omdat het toerental hoger is wordt er toch meer vermogen geleverd.

Als je over een breed gebied vermogen wilt hebben, gaat dit altijd ten koste van het maximum koppel en vermogen. Je moet dan de verschillende gaswisselingen en pulsen uitsmeren over een breder toereengebied, waardoor ze minder krachtig zijn.

### **Gemiddelde geluidssnelheid**

#### **afgestemde lengte**

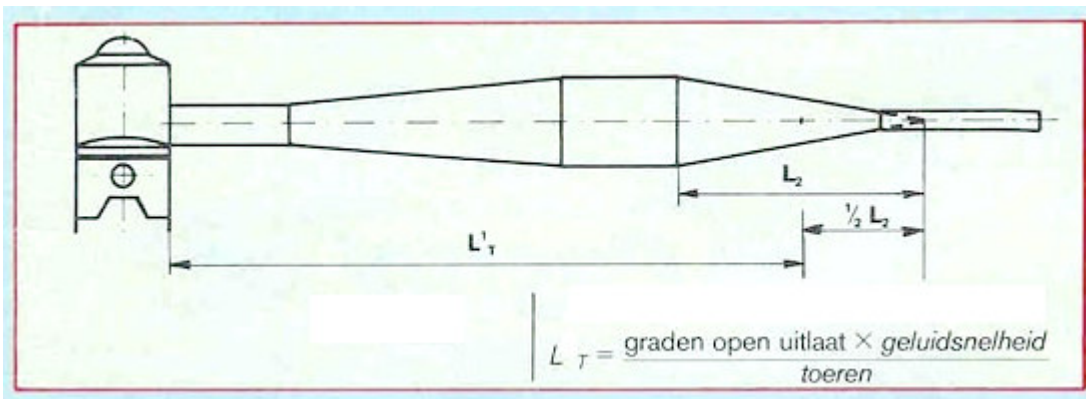
Je begint met het uitrekenen van de afgestemde lengte. Dit is de lengte van de totale uitlaat, berekend bij het gewenste toerental van het maximum koppel.

De belangrijkste factor is hierbij de positie van de reflectorconus. Het op tijd aankomen van de perspul bij de uitlaatpoort is van groot belang om vermogen te krijgen. Om deze reden werken de meeste eenvoudige rekenmethoden voor analyse van expansiekamers alleen met de afgestemde lengte van de pijp.

Je kan afgestemde lengte berekenen met:

$$\text{Afgestemde lengte } L_t = \frac{\text{Uitlaatopening periode in graden} \times \text{gemiddelde geluidssnelheid}}{\text{RPM}}$$

$L_t$  is de afstand van de rand van de zuiger tot een punt halverwege de reflectorconus, als we ons voorstellen dat de reflectorconus tot in een punt uitloopt.



#### **voorbocht**

Dan volgt de voorbocht. De diameter van de voorbocht is op theoretische basis erg moeilijk te bepalen. Voor motoren met uitlaatpoorttiming en breedte afgestemd op racen, moet de voorbochtdiameter 10-15% groter zijn dan de uitlaatpoort. Blair adviseert om een flensoppervlak van 1.05 – 1.10 maal de poortoppervlak toe te passen, gebaseerd op de berekende TA-waarde.

Ook de compressieverhouding speelt mee, vooral voor kleine motoren 50 en 60cc. Hoe hoger de compressie, hoe dunner de uitlaat, omdat er minder energie in de uitlaatgassen zit.

De blowdown bepaalt de lengteverhouding tussen voorbocht en diffusor. Om de lengte van de voorbocht te berekenen kan je de volgende formule toepassen:

$$\text{Voorbocht lengte} = \frac{\text{blowdownperiode in graden} \times \text{geluidssnelheid}}{\text{RPM}}$$

De geluidssnelheid hierbij is 920 m/s

Gemeten van het zuigerhemd tot het einde van de voorbocht( voorbocht – diffusor verbinding)

Voor de kleine motoren tot ongeveer 80cc gelden andere factoren dan bij grotere motoren. Zo is b.v. de header voor een kleine motor veel langer dan voor een 125cc of grotere motor door de grotere afkoeling van de kleinere hoeveelheid uitlaatgas door het relatief grote uitlaattooppervlak.

Kies de lengte van de voorbocht vooral niet te klein. Met een te korte voorbocht loopt de motor nooit lekker, terwijl een te lange voorbocht de motor juist een lekker koppel geeft.

### **Het middenstuk**

Het meest vergeten en verwaarlooste deel van de uitlaat, maar toch zo vreselijk belangrijk. Met de diameter bepaal je het te bereiken vermogen en powerband, terwijl de lengte belangrijk is voor het fijnafstellen van de staande golf en als pauze tussen zuig- en perspuls.

Dr Frits stelt voor de lengte minimaal 0,14 L en voor de diameter 2,9 d1. Dit is voor een Bmep van ca 9 Bar, dus ga voor de diameter gerust een stukje verder.

### **De diffusor**

Je kan de diffusor verschillende verlopen (vormen) geven:

- De enkele rechte conus;
- De exponentiële conus;
- De hyperbolische conus.

De conussen onderscheiden zich in de verschillen in oppervlakte ratio. Dit is de verhouding tussen de toename van het oppervlak en de lengte van de conus. Anders gezegd:

**Oppervlakte ratios:** de verhouding tussen het begin- en eindoppervlak van delen met dezelfde lengte

Met een rechte conus verkleint deze ratio deel na deel. Dit kan geïnterpreteerd worden als verzwakking van de gereflecteerde golf.

De exponentiële hoorn heeft een constant oppervlakte ratio: delen met dezelfde lengte hebben dezelfde verhouding tussen hun begin- en eindoppervlak.

Dus als we een 500 mm diffusor in 10 stukken delen, is ieder deel 50 mm lang. Dan zal deel 1 dezelfde ratio hebben tussen het begin- en eindoppervlak als deel 10. De gereflecteerde golf zal in kracht constant blijven. Diameters kunnen berekend worden met de n:th wortel.

Met een hyperbolische hoorn, worden deze ratios naar het einde toe van de diffusor groter en de mate van toename wordt bepaald door de hoorncoëfficiënt.

Een hyperbolisch hoorn werkt beter dan een eenvoudige exponentiële hoorn.



1. Exponentieel,

$$R(x) = R_0 e^{mx}$$



$R_0$  is de radius van de kleine zijde van de hoorn

$m$  is de hoorn constante, de maat voor de toename van de radius van de hoorn

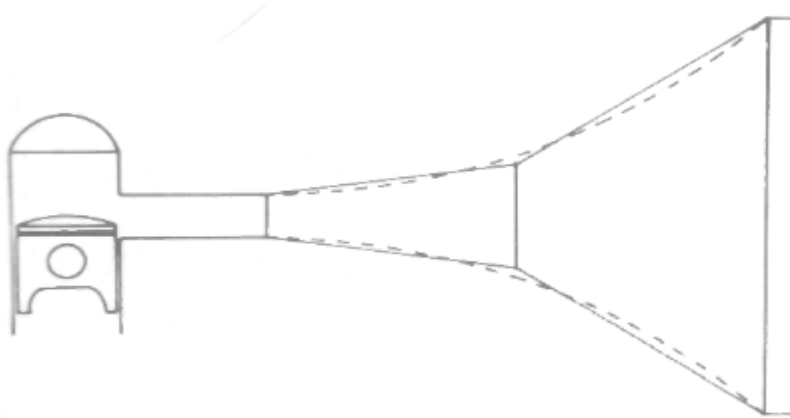
2. Hyperbolisch,

$$R(x) = R_0 \cosh(mx)$$



$R_0$  is de radius van de kleine zijde van de hoorn

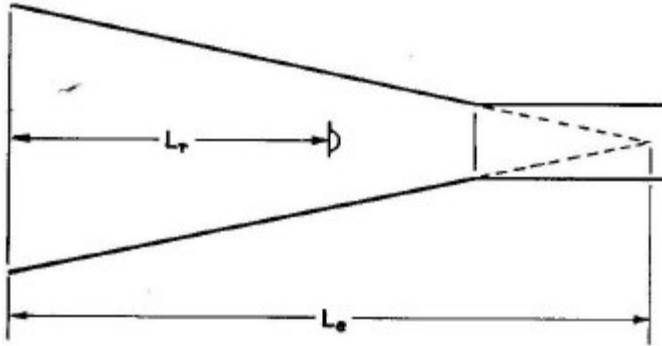
$m$  is de hoorn constante, de maat voor de toename van de radius van de hoorn



*Hier is het ideale (gestippelde) verloop van de megafoon overdreven om beter te laten zien hoe met trechters een gekozen ideale vorm kan worden benaderd.*

## Reflectorconus

Reflectorconussen reflecteren elke golf over hun volle lengte, maar er is geen gelijkmatige reflectie. Er is een centraal reflectiepunt, waar de maximale amplitude optreedt, die iets verder ligt dan halverwege de lengte van de reflectorconus. De afstand van de uitlaatpoort tot dit punt is de afgestemde lengte. Dit punt ligt ongeveer halverwege de lengte van de complete conus.



The mean point of reflection inside the baffle-cone is  $L_r = \frac{L_e}{2}$

$$L_r = \frac{\left(\frac{D_2}{2}\right) \times \cot A_2}{2}$$

Waarbij

$L_r$  de afstand is van de intrede tot het centrale reflectiepunt is

$D_2$  is de diameter van de intrede

$A_2$  is de halve tophoek van de reflectie conus

## Tailpijp

*Richtwaarde:* Tailpijp diameter. 0,58 – 0,62 x diameter voorbocht. Lengte ca 12 x eigen diameter.

Er is wellicht een betere regel om deze diameter te bepalen, omdat deze gekoppeld is aan de diameter van de voorbocht, die op theoretische basis erg moeilijk te bepalen is.

## VUISTREGELS

Voor kleine motoren gelden hier en daar wat andere regels dan voor de b.v. 125 cc motoren. Om tot een goede diameter van de uitlaatpoort te komen kun je de volgende vuistregels gebruiken. Let wel dit is alleen voor de 50, 60 en 80cc geschakelde motoren.

Uitlaatpoort diameter = (boring\*3)/factor

de factor welke hier geldt ligt tussen de 4,3...4,7

4,3 wordt gebruikt voor een hoog vermogen

4,7 wordt gebruikt voor een hoge koppel.

Met de uitlaat poortdiameter wordt de binnen diameter bedoelt van het eerste stuk pijp van de uitlaat bocht.

Voor wat betreft de poort lengte van de headerpipe geldt:

poortlengte = (boring\*3)/factor2

Factor 2 ligt tussen de 1,6...2,6

1,6 voor een hoog koppel

2,6 voor een hoog vermogen.

De poort lengte is de lengte van het "rechte" stuk bocht vanaf de zuiger tot de eerste conus, dus ook de conus van 1..3° van de uitlaat bocht.

## VERBETEREN IN DE PRAKTIJK

Voor alle duidelijkheid: tijdens het testen van een uitlaat is het uit den boze wat dan ook aan de motor te wijzigen, hogere compressie, ander sproeier, verstelde ontsteking, alles heeft invloed op de uitlaat, dan moet het spel opnieuw beginnen.

Onderstaand een aantal mogelijke, verborgen problemen die er voor kunnen zorgen voor minder motorvermogen.

Het is ook mogelijk gedeeltes van een bestaand uitlaatsysteem aan te passen.

### Probleem

Koppel en tpm te laag  
Koppel en tpm te hoog  
Vermogen is te zwak  
Vermogen komt te hard in  
Powerband te smal  
Powerband te breed  
Topvermogen is te soft  
Vermogen is te abrupt  
Gebrek aan vermogen  
Gebrek aan midrange vermogen  
Gebrek aan top en bottom end  
Een flat-spot voordat het vermogen inkomt

### Oorzaak

Totale pijplengte te lang  
Totale pijplengte te kort  
headerpijp te lang  
Diffusor of headerpijp is te kort  
Diffusor en poort te kort  
Diffusorconus en poort te lang  
Diffusor lengte fout  
reflectorhoek te steil  
Reflectorhoek te flauw  
Max. diameter te klein  
Max. diameter te groot  
Reflector of positie middensectie fout

Verder:

- Verkorten van het middendeel geeft een kleine toename in vermogen en koppel
- Verlengen van het middendeel geeft een lager vermogen maar een kleine verhoging in koppel
- Verkorten van de headerpijp en diffusorconus( waardoor het middendeel langer wordt) verhoogt het koppel
- De diameter van de tailpijp regelt de uitlaatdruk. Als deze te klein is, kan de zuiger smelten; te groot en je kan vermogen kwijt raken.

Als je gaat testen onthoud dan de volgende regels:

- verandering van de hoek van de reflector, verandert het gedeelte van de vermogenskromme voorbij het topvermogen
- Verandering in de voorbocht lengte heeft invloed op het lage toereengebied van de curve
- Vergroting van het volume is het meest effectief in het toevoegen van oppervlakte onder de vermogenscurve bij het topvermogen
- Verkleining van de tailpijp als deze te groot was, vergroot het vermogen over het hele bereik. Maar houdt de temperatuur van de zuigerbodem scherp in de gaten

Er zijn ook nog andere subtielere zaken, die aanpassing nodig kunnen hebben: b.v. de zo nuttige geluidsgolven beperken zich niet alleen tot het keurig heen en weer lopen in de totale lengte van de expansiekamer.

In feite heeft ieder deel van de uitlaat op zich de neiging zijn eigen resonantie te ontwikkelen en hebben de voorbocht, diffusor, reflector en tailpijp hun eigen kleine golfsysteempjes, die heen en weer kleppen met andere resonanties of met resonanties met lagere frequenties, die op kunnen treden in gekoppelde delen van van de kamer.

In de meeste gevallen vallen deze incidentele golfpatronen niet op, maar soms versterken ze bij bepaalde toerentallen elkaars activiteiten en veroorzaken ze pieken en dalen in wat anders een mooie gelijkmatige vermogenscurve zou zijn.

Wanneer dit optreedt is vaak een kleine wijziging van lengtes voldoende om te voorkomen dat ze in resonantie komen en hiermee het werk verstoren dat je met de primaire golfbewegingen wil doen.

### **Dyno-resultaten op het circuit**

Uitlaattemperatuur effecten kunnen verschillen veroorzaken tussen dynotesten en de resultaten op de weg en daarmee de dyno-resultaten nutteloos maken.

Negen jaar geleden verschenen 500 cc GP motoren met carbonfiber omhullingen rond de uitlaten. Het doel hiervan was om de dyno en circuit resultaten dicht bij elkaar te krijgen en te voorkomen dat de uitlaten zodanig afkoelden in de gedeeltes van het circuit met gas dicht, dat de acceleratie verminderde.

De uitlaatgasstroom is zeer turbulent en turbulentie is een heel effectieve manier om warmte uit te wisselen tussen een vloeistof en zijn omgevende wanden. Daarom koelt alles wat de buitenkant van de uitlaat afkoelt ook de gassen aan de binnenkant koelt..

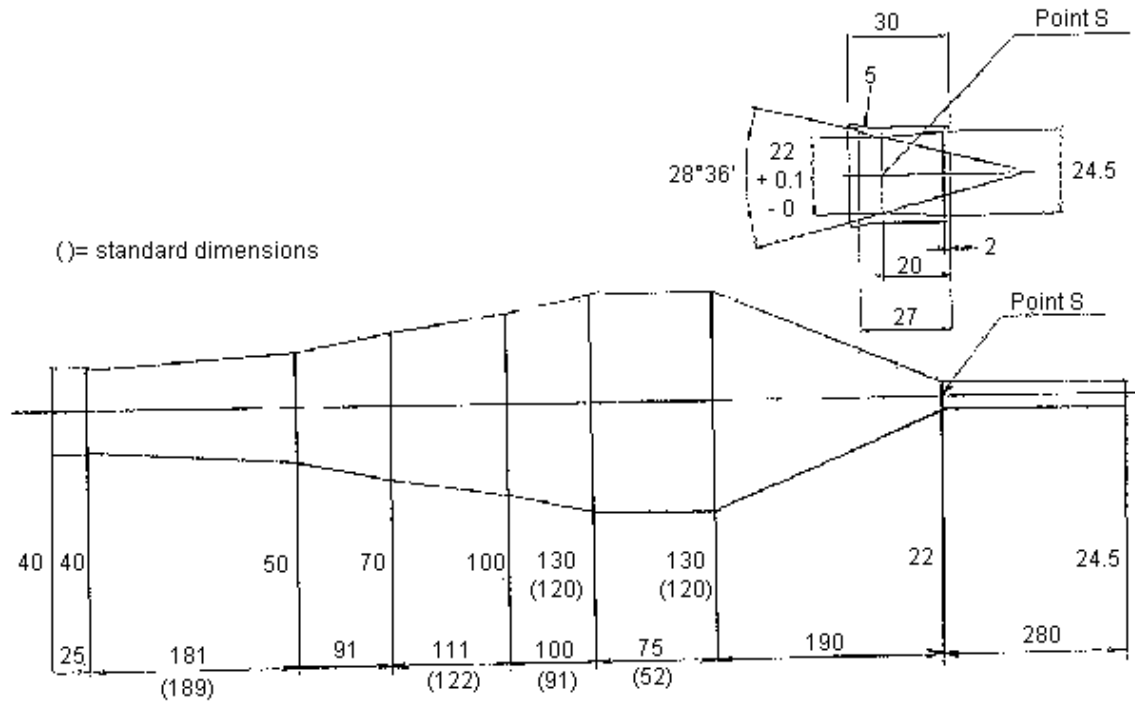
We hebben allemaal wel eens dyno-setups gezien, waarbij de uitlaat op een willekeurige manier uit de motor steekt- de ene recht voor een koelingsventilator, de andere weer ergens anders. In de tijd van de uitlaten met een kleine diameter maakte dit nog niet zoveel uit, maar omdat de dikke uitlaten van tegenwoordig zo snel afkoelen en zoveel tijd nodig hebben om op warmen, moeten bij dynotesten voorzieningen gemaakt worden ten opzichte van de uitlaattemperatuur en/of het koeleffect.

Als je geen maatregelen neemt, kunnen verbeteringen op de dyno niet vertaald worden in resultaten op de weg. Degene met ervaring met dyno's weet dat koude uitlaat en warme uitlaat dyno runs verschillende vermogens geven bij een beduidend ander toerental. En denk dan eens na of het de omstandigheden rond je uitlaat hetzelfde op het circuit is als in de hete dyno ruimte. Hetzelfde? Of misschien heel anders?

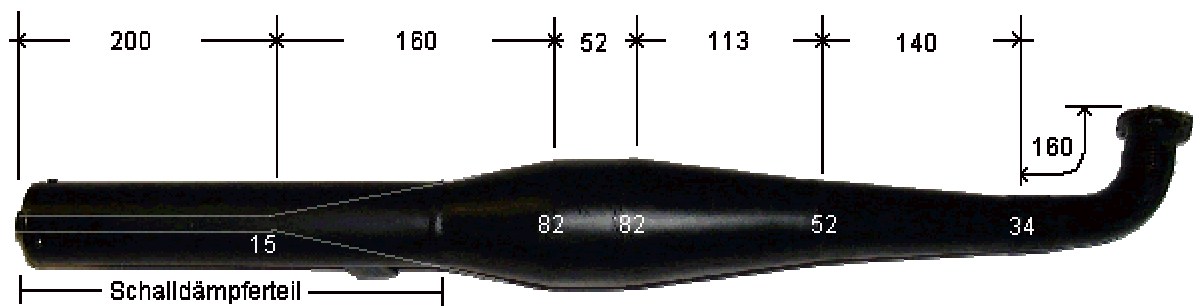
Waarom zou je je zorgen maken over een paar honderd toeren onder het maximale toerental? Ieder deel van de motor is afgestemd op een bepaald toerental – de inlaat, de airbox resonantie, de poorten en de koppeling(scoot). Als de motor niet het toerental haalt waar deze systemen voor ontworpen zijn, kan je niet verwachten dat deze optimaal werken. Je wil een symfonie in je motor, geen dixylandbandje.

# VOORBEELDEN

*Honda RS125 '93*



*Kreidler 12,5 pk*



**Homoet 6P**

bocht d= 28mm lengte 130 mm  
eerste conus 28 tot 42 mm lengte 180 mm  
tweede conus 42 tot 85 mm lengte 190 mm  
middenstuk 85 mm lengte 60 mm  
eindconus 85 tot 16 mm lengte 180 mm  
tailpijp 16 mm lengte 160 mm  
tailpijp is geperforeerd en wordt gedempt met glas of steenwol  
plaatdikte van homoet is 1mm

**Samba Minarelli Horizontaal:**

Diameter buitenkant:  
10,00 cm Samba Racing 50cc  
12,25 cm Samba Racing World Champion 70cc

Lengte dikste gedeelte (tussen de conussen):  
6,20 cm Samba Racing 50cc  
7,50 cm Samba Racing World Champion 70cc