

## Dieselmotor versus Ottomotor

Nikolaus Otto kon in 1876 nauwelijks vermoeden dat zijn uitvinding een dergelijke vlucht zou nemen. De Otto motor, die wij in de populairste zin kennen als "benzinemotor", is niet meer uit het dagelijks leven weg te denken.

Rudolf Diesel verging het echter niet anders met zijn uitvinding van een motor waarvan het principe berustte op de zelfontbranding van brandstof. Zijn uitvinding zou (anders dan het Nikolaus Otto vergaan was) wel gepatenteerd worden, en wel met het patentnummer 67207.

Nikolaus Otto wilde ook een patent op zijn uitvinding.

Het bleek echter dat iemand het viertakt principe van een mengsel aanzuigende motor al eens beschreven had waardoor het patent niet aan Otto verleend werd.....

Evenwel is de Otto motor razend populair geworden. De zoon van Nikolaus Otto zou de medeoprichter worden van het latere BMW.

Rudolf Diesel verging het minder florissant omdat hij tijdens een overtocht naar Engeland van het schip verdween. Zelfmoord lijkt dusver het meest voor de hand liggend, al doen theorieën over moord ook de ronde. Een Nederlandse loodsboot zou zijn lichaam vinden, doch volgens het gebruik van toen ontdeed men het lichaam van de bezittingen en gaf het terug aan de zee. Aan zijn bezittingen heeft zijn familie hem geïdentificeerd als Rudolf Diesel.

Rudolf Diesel was wel profetisch door zijn uitspraak: "Ich bin mir sicher das der Dieselmotor eines Tages als schnell laufender Motor den Einsatz in Personenfahrzeugen erringen wird". Hij bleek het gelijk aan zijn zijde te hebben. Ook Dieselmotoren zijn inderdaad niet meer weg te denken uit het dagelijks leven.

Laten wij nu eens kijken naar de overeenkomsten en verschillen tussen de tegenwoordige viertakt Diesel- en Benzine motoren.

### **De overeenkomsten:**

Ze hebben beide een krukas, drijfstangen, zuigers, cilinderkoppen, kleppen, een nokkenas en een smeersysteem. Dan houdt het wel zo'n beetje op.

### **De verschillen:**

- 1) De Benzinemotor zuigt een mengsel aan van lucht en brandstof.  
De Dieselmotor zuigt slechts lucht aan.
- 2) De Benzinemotor comprimeert dit mengsel tot ruim onder de zelfontbrandingsgrens.  
De Dieselmotor comprimeert de lucht tot roodgloeïing, tot ver boven de zelfontbrandingsgrens aldus.
- 3) De Benzinemotor ontsteekt het mengsel d.m.v. een elektrische vonk.  
De Dieselmotor spuit in de tot roodgloeïing gecomprimeerde lucht de brandstof welke spontaan ontbrandt zonder hulp van buitenaf.
- 4) De Dieselmotor comprimeert hoger dan de benzine motor en heeft daardoor een hoger rendement. (Verderop meer hierover)
- 5) De Dieselmotor is stabielere dan een Benzine motor, ....Later ook meer dáárover.
- 6) De Dieselmotor heeft meer neiging tot roeten dan een Benzinemotor. Waarom?
- 7) De brandstof van een Benzinemotor heeft een hoog "Octaangetal" en een Diesel heeft een hoog "Cetaangetal".
- 8) De Dieselmotor "nagelt" en is lawaaiig, een benzinemotor niet. Hoe kan dat nu weer??

In dit verhaaltje zal ik de thermodynamica niet te zwaar te belichten omdat veel tijd zou vergen. Laat ik voor vandaag volstaan met de visie van Rudolf Diesel op de verbrandingsprocessen. Wederom duidende een verschil tussen de verbrandingsprocessen tussen de Benzinemotor en de Dieselmotor. Daar waar de benzinemotor een polytropische afloop kent wilde Rudolf Diesel een adiabatisch proces realiseren waarbij er geen warmte-uitwisseling tussen systeem en de periferie zou zijn.

Dit streven bleek niet haalbaar want Dieselmotoren ontwikkelen ook hoge temperaturen die zorgvuldig in goede banen geleid moeten worden. Toch heeft de Diesel hier een streepje voor....

De Dieselmotor heeft een (noodzakelijk) hogere compressieverhouding dan een benzinemotor waardoor de verbrandingsgassen meer kunnen expanderen vanuit hun verbrandingstoestand waardoor ze relatief meer warmte afstaan aan het mechanisch systeem dan bij een Benzinemotor het geval is. Zo haalt de Dieselmotor een (veel) hoger rendement dan een benzinemotor.

Daar waar de benzinemotor ongeveer 30% rendement scoort is dat bij een Diesel toch al 45 – 55% !! Een aanmerkelijk verschil. Daar heeft Diesel een economisch uitermate belangrijk voordeel. Grote scheepsmotoren vormen daarin de beste categorie.

Realiseer je dat hoe groter de cilinder- en verbrandingsruimte, hoe kleiner het oppervlak van cilinder, zuiger en verbrandingsruimte relatief is t.o.v. het volume!

Hierdoor kan er minder warmte verloren gaan. Dit geldt voor beide motortypen.

Benzine of gas. Dit is de intrinsieke reden waarom men in de 80er jaren begonnen is om slagvolumen vaak over drie cilinders te verdelen i.p.v. vier cilinders. We hebben het dan nog niet eens gehad over het belang van de vorm van de verbrandingskamer.

Ook niet te vergeten het feit dat een Diesel voornamelijk met lucht overschot draait.

De relatief geringe hoeveelheid aan verbrandingsgas kan zodoende optimaal expanderen en energie afgeven aan het mechanisch systeem. Dit zien wij bij Benzinemotoren terug in pogingen met “lean-burn” systemen met directe brandstofinspuiting. Ook hier boekt men indrukwekkende resultaten.

Je zou zeggen dat een Dieselmotor alleen maar voordelen heeft. Ook is hij stabielere gebouwd. Het hebben van slechts voordelen klopt helaas niet, en de stabiliteit heeft een grote noodzaak. Daar waar een reguliere benzinemotor een compressiedruk van  $\pm 14$  bar heeft en een verbrandingsdruk van rond de 30 bar, ziet dat bij een Diesel anders uit. Compressiedrukken van 35 bar en verbrandingsdrukken van 140 bar zijn niet zelden het geval. De stabielere bouw van de Dieselmotor is niet zozeer de luxe dan wel een dwingende noodzaak. Immens hoge krachten moeten betrouwbaar opgevangen kunnen worden. Ook aan de smeermiddelen stelt dit hoge eisen. Olie is dus geen “vulhoeveelheid” maar een serieus onderdeel van de motor!

De genoemde stabiliteit is ook een onderdeel van het “rumoer” van de Diesel t.o.v. de Benzinemotor. Niet als veroorzaker doch als opvanger van de mechanische klappen die ontstaan door het fenomeen “incubatielijktijd” (Duits: Zündverzug). Dit is het verschil tussen het begin van de inspuiting en de daadwerkelijke ontbranding. Deze vertraging is bij een benzine motor zeer kort, naderend naar 0 waardoor de verbranding zeer klein begint en geleidelijk voortschrijdt.

Bij de Dieselmotor begint de inspuiting maar ontsteekt de brandstof niet direct terwijl de inspuiting wél doorgaat. Uiteindelijk ontbrandt de brandstof alsnog en schrijdt de verbranding voort met nog immer voortdurende inspuiting. De verzamelde brandstof vóór ontbranding ontbrandt dan in één keer met waarbij het vlamfront als drukgolf met geluidsnelheid door de verbrandingsruimte raast en een heel steile druk piek veroorzaakt. Deze horen wij als de kenmerkende “dieselklop”. Bij koude motor is de verzamelde hoeveel brandstof voor de ontbranding nog groter waardoor er ook meer brandstof in één keer verbrandt met een sterkere druk piek als gevolg en...een luidere klop. Het loopgedrag van de dieselmotor is door de jaren heen sterk onderwerp van ontwikkeling van verbrandingskamervormen geweest. Zo kennen wij inmiddels:

- Direct inspueters
- Voorkamers
- Wervelkamers.
- De gloeikopdiesel

=>Direct inspueters zijn het rumoerigst maar ook het zuinigst.

=>Voorkamer motoren zijn het rustigst doch ook het minst zuinig.

=>Wervelkamer motoren bevinden zich met hun gedraging in het midden van de hiervoor genoemde varianten.

Door de sterke werveling van de roodgloeiende lucht in wervelkamer van de wervelkamer motor wordt de incubatietijd bekort waardoor het rumoer vermindert. De hoge temperatuur en de wervelingen in de voorkamer motor geven een nog rustigere motorloop. Voorkamer- en wervelkamer motoren hebben echter zgn. pompverliezen met een hoger gebruik tot gevolg! De direct inspuiter heeft hier dus geen last van... De “Gloeikop Diesel” zorgt voor een nog kortere incubatietijd en is het rustigst. Luister maar eens naar de oude 10Liter tweetakt Lanz Bulldog. Deze “klopt” absoluut niet! De gloeikopdiesel heeft echter wat hanteerbaarheidsproblemen waardoor deze nu niet meer toegepast wordt. Daarbij hebben de hedendaagse inspuitechnieken zeer grote verbeteringen gebracht in de loopcultuur van de Dieselmotor.

Ik heb nog niets verteld over de klopvastheid van Benzinebrandstof (Het octaangetal) en de brandbaarheid van Dieselbrandstof (het Cetaangetal) Welnu.....

Daar waar de brandstof bij de Benzinemotor beslist niet zelf mag ontbranden en moet wachten op de elektrische vonk dient de Dieselbrandstof zo mogelijk direct te ontbranden. Weet dat Rudolf Diesel ook experimenteerde met benzine als brandstof. Hij maakt het drukverloop met een indicator zichtbaar. Door de grotere klopvastheid edoch lagere zelfontbrandbaarheid van benzine ontstak de brandstof veel te laat, was al in grotere hoeveelheid verdampend aanwezig voordat zelfontbranding volgde en gaf daarom een zodanig grote drukpiek dat de indicator aan stukken vloog!! Ons aller Rudolf had er weer wat bij geleerd.....

Deze anekdote maakt het verschil tussen gedragingen van benzinebrandstof en Dieselbrandstof goed duidelijk. Petroleum maar vooral de huidige Diesel en GTL brandstoffen voldoen prima.

De eerste Dieselmotor werkte met een luchtinblaas inspuitsysteem. Voor een snellopende Diesel absoluut ongeschikt en zo is dit systeem al snel in onbruik geraakt. De overbekende inspuitsystemen deden hun intrede en het probleem was voorlopig beteugeld. De steeds stijgende vermogens en toerentallen van de motoren deden ook de grenzen naderen van deze beproefde techniek.

Daar waar de benzinemotor gedurende de inlaatslag + compressieslag de tijd heeft om de brandstof te verdampen ( $\pm 0,01$ Sec) moet de Dieselmotor dit zien te fixen binnen soms 2 milliseconden, incl. Verbranding!! Mengselvorming bij de Dieselmotor is dus een cruciaal punt. Hét breekpunt zowaar. Dit is dé reden van vermogens- en toerental begrenzing van de Diesel zoals wij hem al heel lang kennen. Meer inspuiten en hogere toerentallen deden de vorige generatie Dieselmotoren zeer zwaar roeten. Zowaar een milieuvergriep!

Meer vermogen betekende dus al gauw een grotere motor.

Om nu tóch meer vermogen uit een kleinere motor te halen werd er voortaan een uitlaatgas compressor op gezet. Dit apparaat kennen wij beter als de (jawel) "Turbo"! uitlaatgassen drijven deze turbinecompressor aan welke de lucht onder overdruk in de verbrandingskamers perst. Meer luchtmassa in de motor betekent dat er meer brandstof verbrand kan worden en dat betekent meer vermogen. Een veelbelovende techniek die breed onderzocht zou worden. Mercedes liet al doende in de zeventiger jaren zijn de overbekende 2 liter dieselmotor op de testbank draaien met een turbo gemonteerd. Deze motor leverde toen reeds 130 pk met een voor die tijd eveneens ongehoord motorkoppel. Dit was een van de "startschoten" voor het turbotijdperk.

Ook de benzinemotor deed (en dat deed hij in de personenauto's al eerder dan de Diesels) goede zaken met een turbo. Toch was de grens praktisch al gauw bereikt. Door het samenpersen van het mengsel door de turbo en de daardoor hogere compressie eind druk begonnen de benzinevarianten al gauw te detoneren. Tegen dit fenomeen zijn benzinemotoren in constructie niet opgewassen en slaan daarom onherroepelijk aan gort. De compressieverhouding móest omlaag om dit te vermijden waardoor ze een noodgedwongen lager thermisch rendement en dito hoger brandstofverbruik vertoonden én bovendien temperatuurproblemen kregen. De Diesel had hier weer een voordeel. "Overvoeding" met lucht deerde hem niet echt. Toch traden er temperatuurproblemen op door de compressiewarmte van de samengedrukte lucht achter de compressor. Een intercooler of waterinjectie losten dit probleem dan weer op.

Nu zijn wij nog steeds niet helemaal verlost van het roeten van de Diesel omdat wij ook hier steeds weer de roetgrens opzoeken en...er steeds te vroeg aan zaten.

De Diesel "inspuitwet" zegt dat de hoeveelheid geïnjecteerde brandstof de maximaal te verwerken hoeveelheid brandstof nooit overschrijden mag. Wellicht een open deur die ingetrapt wordt maar wel een onwrikbare leidraad.

De turbo verhoogde de verwerkbare hoeveelheid brandstof al fors. Maar toch....

Een fijnere en beter gedoseerde hoeveelheid brandstof was nu toch onontbeerlijk geworden. Dat vergde hogere inspuitdrukken. De common rail systemen deden hun intrede!

Daar waar een reguliere inspuitpomp drukken tot 200bar moest "ophoesten" doen common rail systemen dit moeiteloos met 1500bar.

Hoe hoger de druk, hoe fijner de verneveling van de brandstof, hoe te groter verbrandingsoppervlakte van de brandstofdruppeltjes, en....des te minder roet.

Ook kunnen de elektrisch bediende pompverstuivers met hun aansturing inspuitcurves realiseren die met een mechaniek als voorheen niet eens haalbaar waren. Dit bleek een sprong in het rendement van de tegenwoordige Diesel alsmede het gevecht tegen de schadelijke roet. Tegenwoordige inspuitdrukken stegen intussen naar  $\pm 2500$ bar.

De alsnog grote lucht overmaat van de Diesel veroorzaakt ook een grotere productie van stikstofoxiden. Toepassing van katalysatoren en roetfilters transformeren de Diesel tegenwoordig tot gelukkig een veel schonere motor.

Hoe zit het dan nu met starten van de motoren?

Welnu, daar waar een Ottomotor met een zeer laag toerental nog gestart kan worden (zolang hij maar over het BDP heen komt en een volgende arbeidsslag hem over het volgende dode punt heen zal helpen), is dat voor een Diesel niet voldoende.

De Diesel moet voldoende snel comprimeren (en dus snel genoeg rond draaien) zodat ondanks het warmteverlies de gecomprimeerde lucht in het BDP roodgloeiend zal zijn om ontsteking mogelijk te maken. Voor de autorijder betekent dit dat de accu en startmotor in puike conditie moeten zijn!!!

De Ottomotor is daar vergeeflijker.

Bij een direct ingespoten Diesel betekent starten dat de startmotor wordt ingeschakeld waarna bij bereiken van voldoende starttoerental de motor aanslaat.

Bij de wervelkamer- en voorkamer motoren dient eerst een in de verbrandingskamer reikend gloei-element tot oranje gloed verwarmd te zijn alvorens de motor gestart kan worden. Zonder deze "gloeibougies" zal de koude motor anders niet aanslaan omdat er teveel warmte aan voor- of wervelkamer verloren gaat. Evenwel.....als ze door aanslepen gestart worden slaan ze nog aan zonder te gloeien omdat de warmteverliestijd door het hoge toerental drastisch vermindert.

Bij noodaggregaten is het van belang om in zeer korte tijd de motor te starten waarna meteen vol vermogen geleverd moet kunnen worden.

Vroeger was dit een probleem omdat smeermiddelen en materialen deze zeer zware belasting bij koude motor vaak niet konden weerstaan. Olie plakte niet langdurig genoeg en was na langere stilstand uit de lagers en van de zuigers verdwenen. Vol gas na starten liet lagers en zuigers vreten. Ook de zuigervormen waren niet optimaal stabiel genoeg om goede aanligging en dito loopveiligheid te waarborgen tijdens het opwarmproces. Dikke oliën van vroeger "vercooksten" (verkolen) vaak en lieten turbo's niet zelden hierdoor met oliegebrek en lagerschade achter.

Tegenwoordig zijn de oliën vaak veel dunner smeren beter, zijn (veel) beter temperatuurbestendig en verbranden dus niet meer zo vlug. Motorconstructies zijn verbeterd waarmee het samenstel een betrouwbare koudstarter en sprinter van hen maakt. Dit geldt overigens voor zowel Diesel- als benzinemotoren.

Beroemd zijn de koud vreettesten van Opel met hun vroegere 2,5 V6 motoren.

Toen al een moderne generatie van constructie. Koud starten en meteen vol gas naar 6000 rpm op vol vermogen. Ze bleven heel....

Tegenwoordig is het eigenlijk geen groot thema meer.

De ontwikkeling die de Dieselmotor de laatste 100 jaren heeft ondergaan is zo gezien veel omvangrijker dan bij de Benzinemotor en heeft hem intussen van rokende underdog gepromoveerd tot een superlatief met de kracht van een beul.

Dit konden Zowel Rudolf Diesel als Nikolaus Otto nooit voorzien.

EINDE

## Addendum

In voorgaande uiteenzetting wordt gesproken over het zogenaamde “octaangetal” en ook over het “cetaangetal”. Wat betekenen deze getallen in de praktijk?

### Octaangetal:

Dit getal geeft de klopvastheid van de brandstof aan.

Klopvastheid is de mate waarin een lucht-/benzine mengsel kan worden samengeperst (met de bijkomende temperatuurverhoging) zonder dat dit mengsel zelf ontbrandt.

Men kent meerdere soorten benzine's. Twee van deze soorten zijn n-heptaan en iso-octaan. Van n-heptaan is het octaangetal 0 (omdat het geen iso-octaan bevat) en van iso-octaan is het octaangetal logischerwijze 100 omdat het uit 100% iso-octaan bestaat.

Het octaangetal van een benzine geeft aan dat betreffende brandstof zich inzake klopvastheid gedraagt als een mengsel van n-heptaan en iso-octaan waarbij het getal het aantal procenten iso-octaan in het referentiemengsel weergeeft. Een benzine met een octaangetal van 95 gedraagt zich als een mengsel van 5% n-heptaan en 95% iso-octaan. Hoe hoger het octaangetal hoe hoger de klopvastheid. Een hardnekkige aanduidingsfout is het spreken over “octaangehalte”. Dit is tegenwoordig niet meer van toepassing. Enkel de aanduiding octaangetal is juist. Men spreekt in de meeste gevallen over de term “Ron”, aanduidende het “Research octane number”.

### Cetaangetal:

Het cetaangetal geeft de mate van zelfontbrandbaarheid van een brandstof weer.

Het getal refereert aan cetaan (hexadecaan). Deze stof is uiterst gemakkelijk zelfontbrandbaar. Het cetaangetal weerspiegelt het brandstofgedrag als ware het een mengsel dat het door het getal weergegeven percentage cetaan bevat. De brandstof hoeft dus niet eens cetaan te bevatten! Alleen het gedrag van de brandstof wordt aangeduid met dit getal. Reguliere Dieselbrandstoffen hebben een cetaangetal van tussen 45 en 50. Hoe hoger het cetaangetal, hoe rustiger de Dieselmotor en hoe beter de emissiewaarden.

Bij een te laag cetaangetal wordt de motor lawaaiig door overmatig kloppen, zal hij meer schadelijke stoffen uitstoten en zal hij slechter koud starten bovendien.

**Naschrift:**

Verbrandingsmotoren zijn fascinerende machines waarin chemische energie omgezet wordt in mechanische energie. Het zijn thermisch complexe apparaten waarin ik mij jaren lang heb mogen verdiepen na motivatie door mijn vader Leo, die als groot kennisdrager, kennisbron en kennisoverdrager dezer warmtekrachtwerktuigen mij van jongs af aan de mogelijkheid bood om mij te verdiepen in deze materie. Meerdere tuningsprojecten waren hiervan o.a. een praktisch gevolg.

Maurice Hünen  
PA9H

**Colofon**

“Wege zum Hochleistungs Viertakt motor”  
Ludwig von Apfelbeck  
ISBN: 3-87943-578-2

“Alles über Dieselauto’s”  
Dipl. Ing. Gert Hack  
ISBN: 3-87943-746-7

Internet, diverse kennisbronnen.