



TECHNISCH TALENT  
KRIJGT TOEKOMST  
mechanica/elektriciteit - hout - auto

VERY

TECHNICAL

INDEED

# INDUSTRIËLE WETENSCHAPPEN

## Motortestbank

Leerling(en) :  
Korneel Vandoorn  
Dieter Carrettet

Mentor:  
Verhaeghe Dirk

2004 - 2005

VTI Torhout Sint-Aloysius | Papebrugstraat 8a, 8820 Torhout  
Telefoon: 050 23 15 15 | Fax: 050 23 15 25  
E-mail: [vti@sint-rembert.be](mailto:vti@sint-rembert.be) | Site: <http://vtiweb.sint-rembert.be/>  
Site GIP'S 6IW: [www.gip6iw.be](http://www.gip6iw.be)

## Woord vooraf

Vanwege onze grote interesse voor de werking van een motor, gaat onze geïntegreerde proef over een motortestbank met een waterrem. We hebben een testbank voor automotoren geïnitieerd en geoptimaliseerd. Eerst zijn we begonnen met het opstellen van de testbank, het aansluiten van waterleidingen en de benodigde opvoerpompen, het uitdenken van een afzuigstelsel en een brandstofvoerinstallatie, en het voorzien van een koelinstallatie (verbinding met radiator). In een later stadium zullen we een motor op de testbank plaatsen en enkele hechtingspunten voorzien om verschillende motoren te kunnen plaatsen, de sturing van de waterrem beheersen en via sensoren informatie binnenlezen (toerental, druk, temperatuur koelwater, temperatuur water in rem). Via deze informatie kun je dan verbeteringen aan de motor aanbrengen om meer vermogen te krijgen. Dit vond in de firma D'Haene te Roeselare plaats en gebeurde in samenwerking met Pieter Damman, ingenieur, student.

## Inhoudstafel

Woord vooraf .....	1
Inleiding .....	5
1 Verbrandingsmotoren .....	6
1.1 Indeling van de verbrandingsmotoren .....	6
1.1.1 Inleiding .....	6
1.1.2 Soorten verbrandingsmotoren volgens de werking .....	6
1.1.2.1 De vierslagbenzinemotor .....	6
1.1.2.2 De tweeslagbenzinemotor .....	13
1.1.2.3 De vierslagdieselmotor .....	17
1.1.2.4 De tweeslagdieselmotor .....	19
1.1.2.5 De wankel- of draaizuigmotor .....	20
1.1.3 Soorten verbrandingsmotoren volgens de vorm .....	23
1.1.3.1 De lijnmotoren .....	23
1.1.3.2 De V-motoren .....	24
1.1.3.3 De boxermotoren .....	26
1.2.1 Bespreking van de algemene werking van een vierslagbenzinemotor .....	26
1.2.2 De carburatie .....	31
1.2.2.1 Het begrip carburatie en mengverhouding .....	31
1.2.2.2 Benzine-inspuiting .....	31
1.2.3 De ontstekingsinstallatie bij een benzinemotor .....	32
1.2.3.1 De spanning tussen de elektroden .....	32
1.2.3.2 Voorstelling van de werking van de ontstekingsinstallatie .....	32
1.2.3.3 Ontstekingstijdstip, verbranding en octaangehalte .....	35
1.2.3.4 Het begrip detonatie .....	36
1.2.3.5 De centrifugaalregelaar en de onderdrukregelaar .....	36
1.2.3.6 De ontstekingskaars of bougie .....	37
1.3.1 Bespreking van de werking van de dieselpomp .....	39
1.3.1.1 De plunjerpomp .....	39
1.3.1.2 De verdelerpomp van Bosch .....	41
1.3.2 De directe en indirecte inspuiting .....	43
1.3.2.1 De directe inspuiting .....	43
1.3.2.2 De indirecte inspuiting .....	43
1.3.3 De verstuivers .....	45
1.3.3.1 Doel .....	45
1.3.3.2 De tapverstuivers .....	45
1.3.4 De drukvulling .....	46
1.3.4.1 Inleiding .....	46
1.3.4.2 Principe .....	47
2 De waterrem .....	49
2.1 Inleiding .....	49
2.2 De Zöllner waterrem .....	49
2.3 De regenwaterput .....	51
2.4 Veiligheid .....	51
2.4.1 Afscherming .....	51
2.4.2 Rolbrug .....	51
2.4.3 Loopkat .....	52
2.5 Silentblokken .....	53
2.5.1 Bepalen van steunflens .....	53

2.6	Componenten waterinstallatie bedrijf D’Haene .....	54
2.6.1	De waterput .....	54
2.6.2	Toe- en afvoerleidingen .....	55
2.6.3	Elektrische aansluitingen.....	55
2.6.3.1	De sterschakeling .....	55
2.6.3.1.1	Definitie.....	55
2.6.3.1.2	Schema .....	55
2.6.3.1.3	Verband tussen de spanningen .....	55
2.6.3.1.4	Verband tussen de stromen .....	56
2.6.3.2	De driehoekschakeling .....	56
2.6.3.2.1	Definitie.....	56
2.6.3.2.2	Schema .....	56
2.6.3.2.3	Verband tussen de stromen .....	57
2.6.4	Drukleiding vanaf de pomp.....	57
2.6.5	Drukleiding op de rem.....	57
2.7	Watersysteem .....	57
2.7.1	Probleemstelling.....	57
2.7.2	Berekeningen.....	58
2.7.3	Berekenen van een 3-wegventiel .....	59
2.8	Radiator en 3-wegventiel .....	60
2.9	De probleemstellingen.....	61
2.9.1	Het koelwatersysteem .....	61
2.9.2	Derde citerne als extra koeling.....	62
2.9.3	Capaciteit van koelwater voor de rem .....	64
2.9.4	Positie van de bank.....	64
2.9.5	Exacte plaatsing van het frame van de bank .....	66
2.9.6	Universeel koelsysteem voor de motoren .....	68
3	De dynorun.....	70
4	Werking van een dynamische vermogentestbank .....	72
5	Vertalingen .....	73
5.1	Vertaling Duits naar Nederlands .....	73
5.2	Vertaling Frans naar Nederlands.....	74
6	Besluit.....	75
7	Bijlagen .....	76
8	Bronnen .....	77
9	Dankwoord.....	78

## Inleiding

Onze geïntegreerde proef gaat over een motor testbank. Het is een interessant onderwerp omdat er een grote diversiteit is aan testbanken. Er zijn testbanken die het vermogen van de auto meten op de wielen. Andere testbanken meten het vermogen op de krukas. Er zijn ook computers die beschikken over een speciaal programma en die het vermogen halen uit het computermanagement van de auto en die dit doen aan de hand van acceleratie testen.

Het eerste deel van de geïntegreerde proef gaat over de motor, omdat dit de machine is die de arbeid levert. We komen met heel wat vakken in aanraking. Chemie is een eerste, want het verbranden van benzine of diesel is een chemisch proces. Fysica komt ook aan bod met onder andere de druktoename en de -afname, volumetoename en -afname in de verbrandingskamer van de motor. Mechanica komt ook aan bod met de materialen die worden gebruikt in de motoren, enkele voorbeelden zijn gietijzer, aluminium, enz.

In het tweede deel zullen we de testbank van het bedrijf d'Haene bespreken. Het is een Zöllnerwaterrem en die werkt met schuiven om het remkoppel te laten variëren. Een ander systeem is de Shenkrem. We hebben de rem besproken in samenwerking met een student industrieel ingenieur. Bij de rem zelf kwamen we opnieuw in aanraking met mechanica en ook met elektriciteit voor de aansluiting van de pomp die mogelijk was in driehoek of in ster. De rem is van het jaar 1986 en zou gebruikt worden om de motoren te testen, nadat ze gereviseerd waren in de firma d'Haene.

Het derde deel van de geïntegreerde proef geeft wat meer uitleg over het programma *Road dyno* en bij dit stukje uitleg is ook een voorbeeld verwerkt.

Het vierde deel legt de werking van een dynamische vermogentestbank uit. Dit systeem probeert via sensoren snel inzicht te krijgen in het functioneren van carburatie- en injectiesystemen, luchtinlaat- en uitlaatsystemen.

Het vijfde deel is een stukje met een aantal technische vertalingen van de waterrem van het Frans en het Duits naar het Nederlands omdat zo ook de vakken Frans, Duits en Nederlands verwerkt worden in de geïntegreerde proef.

# 1 Verbrandingsmotoren

## 1.1 *Indeling van de verbrandingsmotoren*

### 1.1.1 Inleiding

Een motor is een zuigermachine die energie in latente vorm omzet in mechanische energie. De verbrandingsmotor zet scheikundige energie om in mechanische energie. De scheikundige energie van de motorbrandstof vormt door verbranding met zuurstof uit de lucht gas op hoge druk en temperatuur. De thermische energie die in dit gas opgehoopt zit, brengt bij de zuigermotor een zuiger in beweging (mechanische energie) die op zijn beurt de krukas doet draaien d.m.v. de drijfstang.

De mechanische energie van deze roterende as kan allerlei machines aandrijven: compressoren, pompen, gereedschapsmachines, enz. De meeste verbrandingsmotoren vind je echter terug in allerlei soorten voertuigen (bromfietsen, moto's, auto's, vliegtuigen, schepen, enz.) en in landbouw- en tuingereedschappen (grasmachines, boomzagen, enz.). In onze GIP zullen we ons echter beperken tot de verbrandingsmotoren die gebruikt worden bij voertuigen.

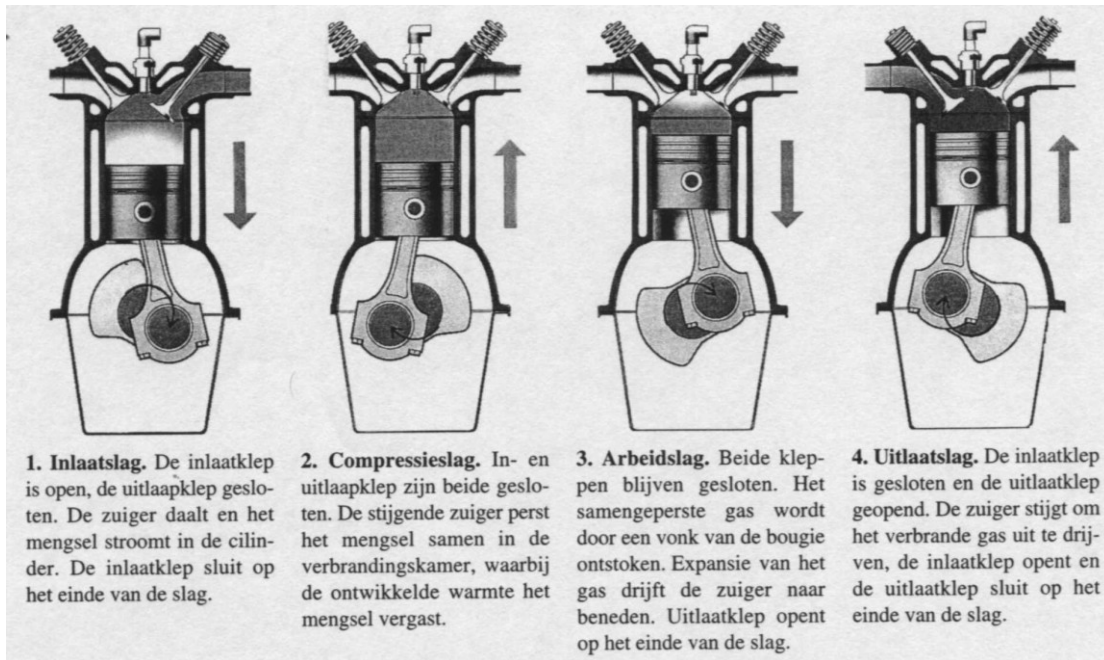
### 1.1.2 Soorten verbrandingsmotoren volgens de werking

#### 1.1.2.1 De vierslagbenzinemotor

a Theoretische werking

a1 Werkingsprincipe

Deze benzinemotor is een ottomotor met *vreemde ontsteking* die de energie in de brandstof omzet in bewegingsenergie. Bij de benzinemotor vormt de carburator (een toestel dat buiten de verbrandingsmotor ligt) een luchtbrandstofmengsel. Het mengsel stroomt, aangezogen door de neerwaarts gaande zuiger, in de verbrandingsruimte of cilinder (fig. 1). Dit noemen we de **aanzuig-** of **inlaatslag**. Dan volgt het comprimeren van het gasmengsel of de **compressieslag**. Een in de tijd gestuurd ontstekingsstelsel leidt via de ontstekingskaars of bougie de verbranding van het mengsel in. De vrijkomende verbrandingswarmte verhoogt de druk van het voorgecomprimeerde gas. Deze hogere verbrandingsdruk levert aan de zuiger mechanische arbeid, waardoor de zuiger naar beneden wordt gedrukt en mechanische arbeid levert aan de krukas. We noemen dit de **arbeidsslag**. Tenslotte zal na iedere arbeidsslag de zuiger de verbrandende gassen uitstoten via de uitlaat van de wagen. Dit noemen we de **uitlaatslag**. Daarna wordt een vers luchtbrandstofmengsel in de verbrandingsruimte aangezogen en begint het proces opnieuw.



**Figuur 1**

Deze gaswisseling vindt dus plaats in vier slagen (of takten); vandaar de benaming: viertaktmotor of vierslagmotor. Eén arbeidscyclus gaat gepaard met twee krukasomwentelingen.

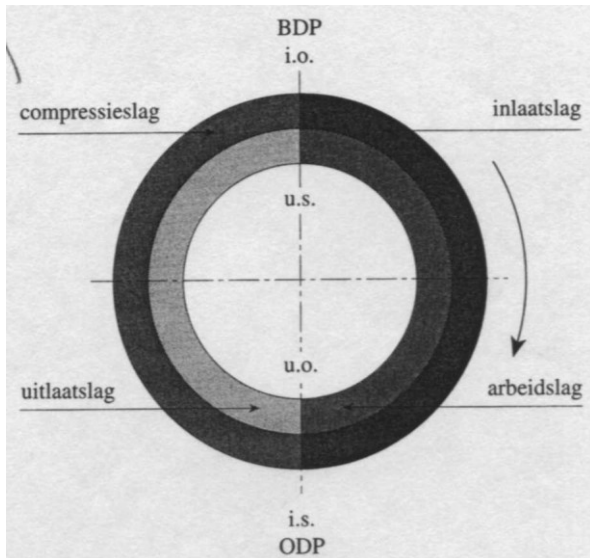
#### a2 Het theoretische kleppendiagram

Om de gasstroom in goede banen te leiden gebruik je minimum twee kleppen: een inlaat- en een uitlaatklep. Deze worden geopend door een nokkenas en gesloten door een veer.

Theoretisch zou men terzelfdertijd de:

- inlaat kunnen openen (i.o.) en de uitlaat sluiten (u.s.) in het BDP (bovenste dove punt) en
- inlaat kunnen sluiten (i.s.) en de uitlaat openen (u.o.) in het ODP (onderste dove punt).

Dit kan men voorstellen in het theoretische kleppendiagram van fig. 2.



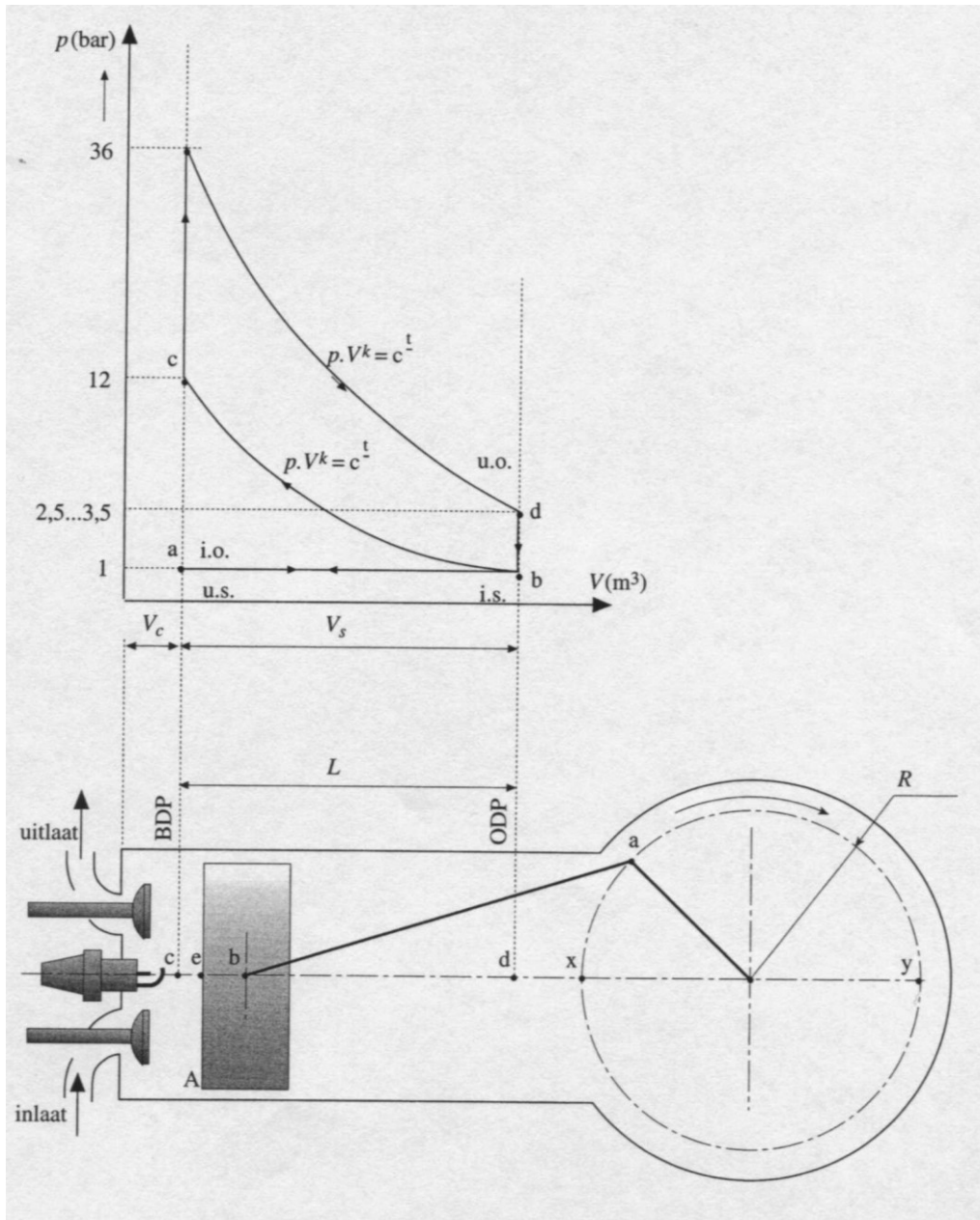
**Figuur 2**

Uit fig. 2 kan men besluiten dat elke slag of fase  $180^\circ$  krukasgraden duurt.

### a3 Het (p,V)-diagram

Wanneer je de vier slagen voorstelt in een diagram met als ordinaat de p-as en als abscis de V-as, ontstaat het theoretische (p,V)-diagram van een vierslagbenzinemotor. Een dergelijk diagram staat in fig. 3.





**Figuur 3**

b Praktische werking of de werking met aangenomen regeling

b1 Het praktische (p,V)-diagram

Aan de hand van het praktische (p,V)-diagram van zo'n vierslagbenzinemotor (fig.4), gaan we de cyclus nu van dichtbij bekijken en het *echte* moment van openen en sluiten van de kleppen bespreken.

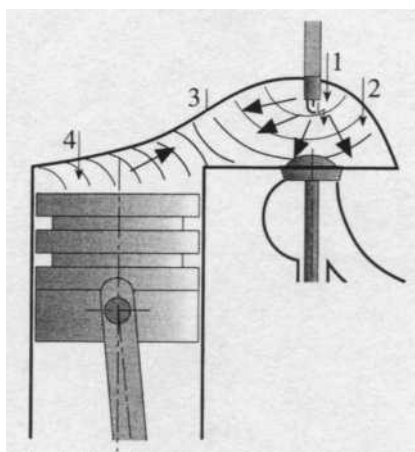


mengsel. In de praktijk duid je dit vervroegde openen van de inlaatklep aan door de hoek aan te geven die de krukas maakt ten opzichte van het BDP: hier opent de inlaatklep 5 tot 15° vroeger t.o.v. het BDP. Het praktische kleppendiagram van fig. 5 maakt dit duidelijk. De inlaatklep sluit (i.s.) ook voorbij het ODP. Zo kan het gasmengsel dat de cilinder vult tijdens het omkeren van de zuigerbeweging, doorstromen. Het bezit kinetische energie (de aanzuiggassen zijn namelijk trager dan de zuiger). Hier sluit de inlaatklep 35 tot 55° na het ODP (zie het praktische kleppendiagram in fig. 5).

## 2 De compressieslag

De opwaarts bewegende zuiger (van het ODP naar het BDP) verkleint nu het volume in de cilinder (fig. 4 – lijn bc) en comprimeert het luchtbrandstofmengsel, terwijl de beide kleppen van inlaat en uitlaat gesloten zijn. De compressieverhouding  $\epsilon$  bedraagt ongeveer 1:7 tot 1:12, afhankelijk van de bouw van de motor. Deze compressieverhouding bepaalt het thermische rendement.

Tijdens dit proces stijgt ook de temperatuur in de cilinder. Je moet ervoor zorgen dat je de kloprens van de brandstof niet overschrijdt anders zal bij een grote compressieverhouding  $\epsilon$  de brandstof ontbranden, vooraleer de vonk getrokken wordt tussen de twee elektroden van de ontstekingskaars. Dit verschijnsel heet **zelfontsteking**. Wanneer je nu de compressieverhouding verhoogt, bekom je vanaf een zekere compressiedruk het **kloppen of detoneren**. Bij ontsteking van de vonk aan de ontstekingskaars, zet de verbrandingsvlam zich over van de ontstekingskaars naar de verst gelegen punten in de verbrandingskamer met een snelheid van ongeveer 10m/s. Voor het vlamfront (de scheiding tussen de reeds verbrande en onverbrande gassen) is er een drukgolf die het onverbrande gasmengsel samendrukt en de temperatuur boven de zelfontstekingstemperatuur brengt. Daardoor gaat dit laatste deel (de onverbrande gassen) ontbranden en de druk zal plaatselijk stijgen. Als de twee verbrandingsgolven elkaar ontmoeten, is er een sterke **metaalklank** te horen. Kloppen of detoneren volgt dus op de normale verbranding en is het gevolg van een te hoog samendrukken.



Figuur 4a

Het kloppen leidt steeds tot schade aan de motor. Dit verschijnsel wordt afzonderlijk voorgesteld in fig. 4a.

Dit kloppen kan je vermijden door:

- een aangepaste brandstof te gebruiken in functie van de bouw van de motor

- het optimaliseren van de stromingseffecten in de aanzuigweg naar de cilinder toe
- de verbrandingsruimte een geschikte vorm te geven.

Kloppen of detoneren kan bijgevolg voorkomen worden door bijvoorbeeld benzine met een laag octaangetal te gebruiken bij motoren met een hoge compressieverhouding.

Wanneer de zuiger bijna volledig in het BDP is aangekomen, laten we via een ontstekingskaars of bougie een vonk ontspringen die dan het mengsel ontsteekt. De ontsteking gebeurt dus niet op het moment dat de zuiger zijn BDP bereikt heeft, maar iets ervoor. Daardoor zal het verbrandingsfront tijdig op het bovenste gedeelte van de zuiger botsen, namelijk op het moment dat de zuiger begint aan zijn beweging naar het ODP. Bovendien zal het ontstekingsmoment ook afhangen van het toerental van de krukas.

### 3 De arbeidsslag of expansieslag

Omdat het mengsel na het ontsteken zeer snel explodeert, heeft de zuiger in deze tijd het BDP nog niet verlaten. De enorme druk die ontstaat in dit kleine volume, duwt de zuiger naar beneden, levert arbeid en geeft een draaiende beweging aan de krukas.

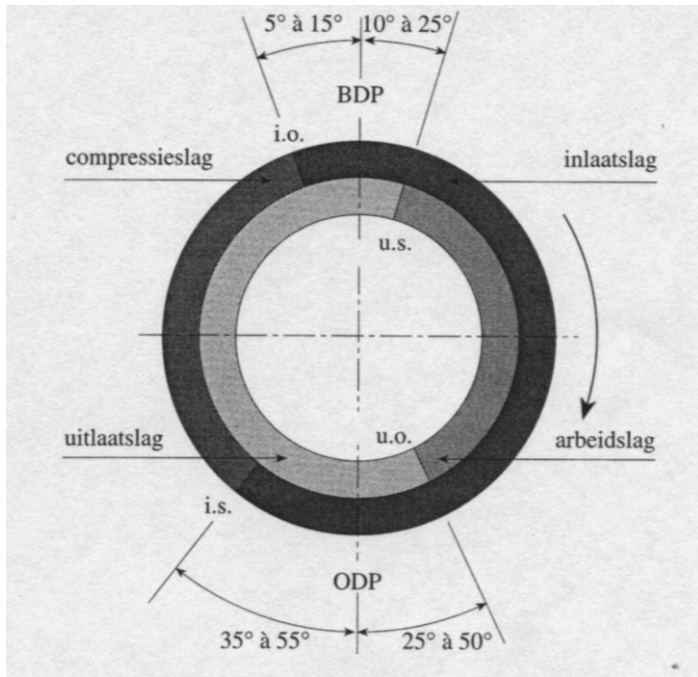
Ongeveer 25 tot 50° voor het ODP (zie fig. 5) opent plots de uitlaatklep (u.o.). De druk van 2,5 à 3,5 bar in de cilinder valt plots terug tot ongeveer 1 bar. In de praktijk spreken we van de zelfstandige uitlaat. Moest de uitlaatklep pas openen op het ODP zelf, dan zou de zuiger bij het begin van de uitlaatslag een zekere tegendruk ondervinden van de nog heersende druk in de cilinder, omdat de gassen opnieuw trager zijn dan de bewegende zuiger.

### 4 De uitlaatslag

Tenslotte beweegt de zuiger van het ODP terug naar het BDP om de verbrande gassen naar buiten te jagen via de uitlaat van de wagen. De uitlaatklep staat zelf al open. De zuiger beweegt in de cilinder en creëert daar een overdruk van ongeveer 0,05 bar. Even voor het BDP gaat de inlaatklep open (i.o.), terwijl de uitlaatklep na het BDP sluit (u.s.). Dit laat een betere vulling van de cilinder toe. Het verse luchtbrandstofmengsel zal dus de verbrande gassen naar buiten drijven. De uitlaat sluit 10 tot 25° na het ODP (zie fig. 5).

### b3 Het werkelijke kleppendiagram

De aangenomen regeling van de in- en uitlaatklep staat in het werkelijke kleppendiagram van fig. 5.



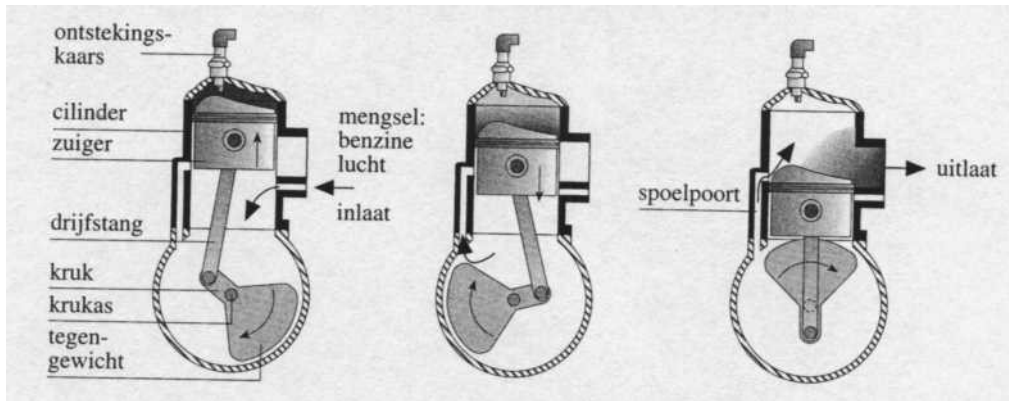
**Figuur 5**

Vermeldenswaardig is tenslotte dat alleen tijdens de arbeidslag arbeid wordt geleverd; de andere slagen kosten arbeid. De arbeid wordt tijdens de arbeidslag aan het vliegwiel gegeven (verhoogde hoeksnelheid) en tijdens de andere slagen door het vliegwiel weer geleidelijk aan de krukas afgestaan, waarbij de hoeksnelheid daalt. Bij een éencilindermotor zal het toerental derhalve niet constant zijn. Door meerdere cilinders te gebruiken probeer je een zo eenparig mogelijk toerental te verkrijgen, evenals een zo constant mogelijk draaimoment met zo weinig mogelijk trillingen.

### 1.1.2.2 De tweeslagbenzinemotor

#### a Werkingsprincipe

Bij de vierslagbenzinemotor wordt slechts gedurende een van de vier achtereenvolgende slagen arbeid geleverd. Je kan echter ook de uit- en inlaatslag vervangen door een spoelproces vanaf het einde van de arbeidslag tot aan het begin van de compressieslag. Dit gebeurt in een tweeslagbenzinemotor voorgesteld in fig. 6.



Figuur 6

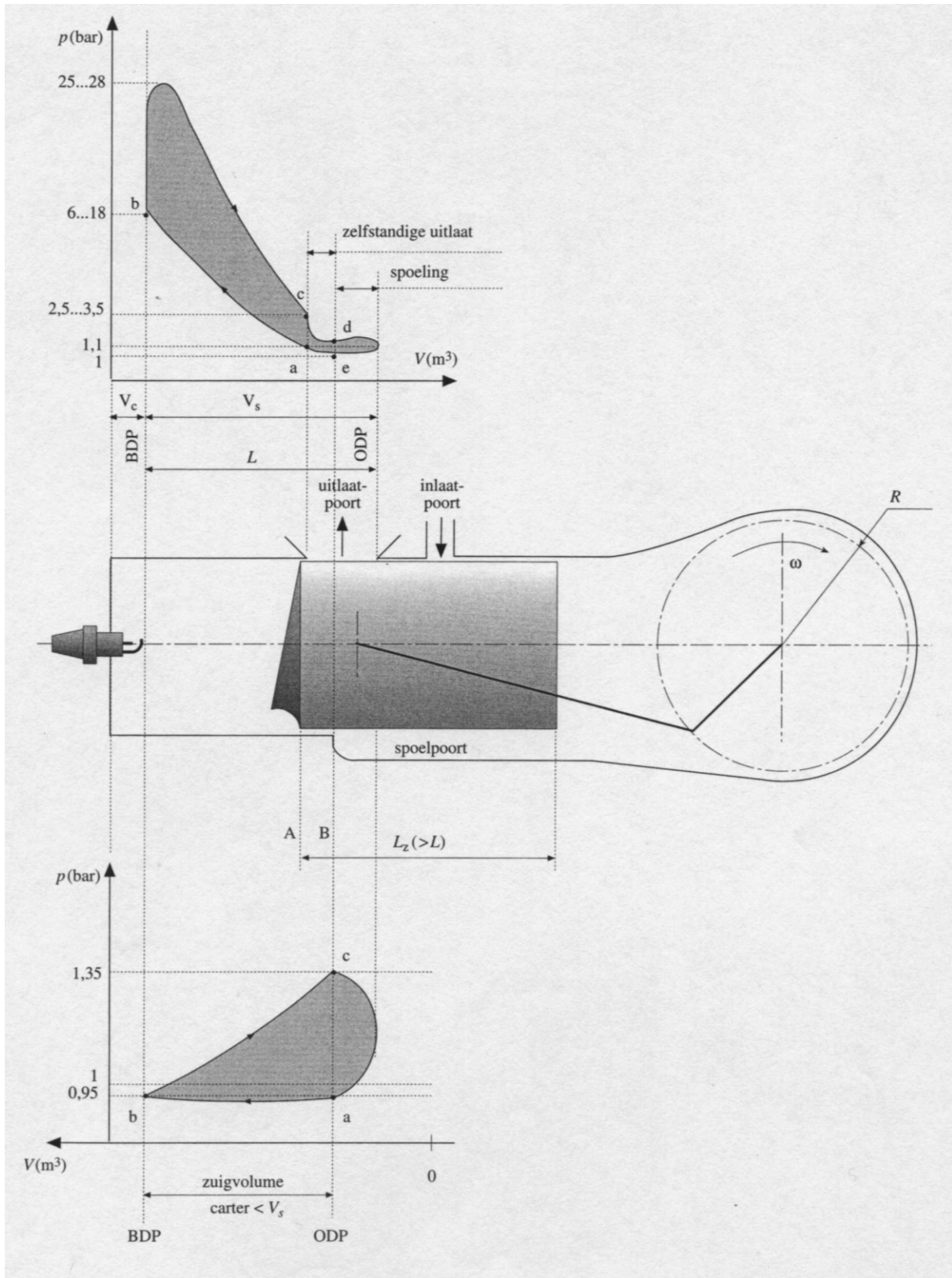
Hierbij wordt gasmengsel aangezogen in het motorcarter (het onderste gedeelte van de motor) als de zuiger zich naar boven beweegt. Als de zuiger daarna zijn neerwaartse slag beëindigd heeft, wordt het in het carter samengeperste gas via een overstroomkanaal boven de gebracht. Bij de volgende opwaartse zuigerbeweging wordt tegelijkertijd boven de zuiger het verse gasmengsel samengeperst en onder de zuiger nieuw gas aangezogen. Een complete cyclus bestaat dus uit twee zuigerbewegingen of twee takten:

- één neergaande beweging (gecombineerde aanzuig- en compressieslag) en
- één opgaande beweging (gecombineerde arbeid- en uitlaatslag).

b Het (p,V)-diagram

We beschouwen nu deze cyclus in het (p,V)-diagram van fig. 7.

Start je in het diagram in punt a, dan is de uitlaatpoort juist afgesloten (dit wil zeggen dat de kop van de zuiger op niveau A staat in de figuur). Het brandstofmengsel boven de zuiger wordt dan **gecomprimeerd** tot in punt b. Ondertussen wordt even voor het BDP het mengsel ontstoken met een ontstekingskaars, zoals bij een vierslagbenzinemotor. De druk en temperatuur lopen dan opnieuw op, zodat de zuiger via de drijfstang terug **arbeid** levert aan de onderliggende krukas. In punt c komt de kop van de zuiger terug op niveau A. **De uitlaatpoort wordt vrijgegeven**, waardoor de verbrande gassen nu vrij naar buiten kunnen stromen. Het gevolg is ook dat de dan heersende druk van 2,5 à 3,5 bar plots daalt tot ongeveer 1,5 bar. Ondertussen bereikt de zuiger nu ook punt d op het diagram. Nu komt de kop van de zuiger gelijk te liggen met niveau B, waar de **omloopleiding** of **spoelpoort wordt vrijgegeven**. Gezien de zuiger naar beneden beweegt, stroomt het gas uit het carter onder druk de cilinder binnen en drijft het de verbrandingsgassen uit. Dit proces wordt het **spoelen** van de cilinderruimte genoemd.



**Figuur 7**

Dit spoelen blijft duren tot in punt e. Gaat de zuiger na het ODP in opgaande beweging terug in punt e, dan wordt de **spoelport** op niveau B als eerste **afgesloten**. De uitlaatpoort blijft nog open tot in a, zodat de laatste verbrandingsgassen en helaas ook een deel van het verse

mengsel kunnen ontsnappen. Dan wordt de **uitlaatpoort** op niveau A weer **afgesloten** en herbegint er een compressie. Gaat de zuiger verder naar boven, dan wordt ook de **inlaatpoort geopend** en zuigt de zuiger aan zijn onderzijde - wegens de heersende onderdruk aldaar - een **vers mengsel in het carter** aan. Hierna herhaalt de cyclus zich.

c Voor- en nadelen ten opzichte van de vierslagbenzinemotor

Bij deze constructie ontbreekt dus het gehele kleppenmechanisme. De enige delen die bewegen zijn de krukas, de drijfstang en de zuiger. De bouw van de motor is daarom eenvoudiger. Naast zijn normale taak verricht de zuiger door het vrijgeven of sluiten van poorten in de cilinderwand ook de taak van de kleppen, die bij een viertaktmotor noodzakelijk waren. Aangezien het motorcarter gebruikt wordt om vers gasmengsel aan te zuigen, kan het niet dienen als oliereservoir voor het smeren van de vitale delen van het systeem. Daarom moet je **olie in de benzine mengen** volgens een welbepaalde verhouding en de richtlijnen van de constructeur van tweeslagbenzinemotoren. Dit kan manueel, maar in moderne systemen gebeurt dit automatisch (door een gescheiden brandstof- en olietank). Bij een tweetaktmotor is het olieverbruik bijgevolg hoog, terwijl vervuiling van de cilinder, de ontstekingskaars en de uitlaatleiding een bezwaarlijk nadeel is.

Wat zijn de voor- en nadelen van een tweeslagbenzinemotor t.o.v. een vierslagbenzinemotor?

Nadelen:

- een spoelproces waarbij veel vers mengsel verdwijnt via de uitlaat, en waarbij voor lage toerentallen nogal wat verbrande gassen in de cilinder achterblijven, zodat je bij lage toerentallen een slechte vulling krijgt,
- de smering die vervuilt (en dikwijls haperingen bij de ontsteking creëert) door de olie in de benzine

Voordelen:

- minder bewegende delen en geen kleppen (dus ook geen klepspeling te regelen), zodat het mechanische rendement verhoogt,
- goedkoper te construeren en kleiner van afmetingen,
- 1 arbeidsslag per toer, draait dus gelijkmatiger en kan het stellen met een kleiner vliegwiel,
- vergt weinig onderhoud.

d Besluit

Is de tweetaktmotor goed gebouwd, dan kan hij even goed presteren als de viertaktmotor. Vanwege de compactere bouw, het betere mechanische rendement en kleiner onderhoud wordt dit type motor veel toegepast:

- 1 bij lichte verbrandingsmotoren (brom- en motorfietsen),
- 2 in de land-, tuin- en bosbouw (gras-, houtzaag-, motorcultuurmachines),
- 3 bij stationaire motoren (groepen om elektriciteit op te wekken of stoomgeneratoren).

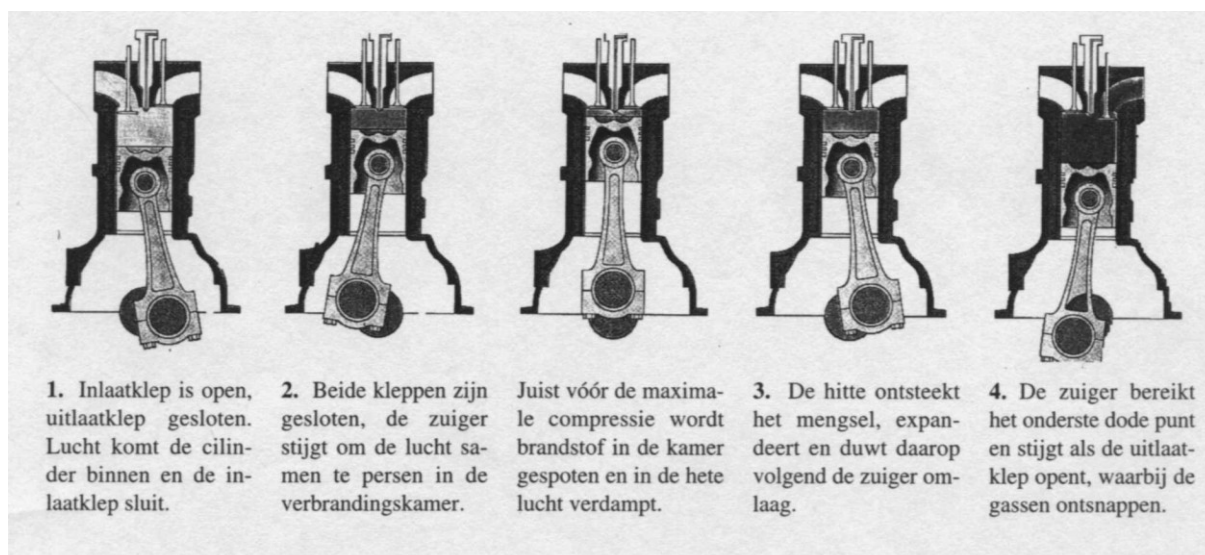


### 1.1.2.3 De vierslagdieselmotor

#### a Werkingsprincipe

Bij een luchtcomprimerende motor wordt de lucht, zoals bij een vierslagdieselmotor, in de cilinder zodanig gecomprimeerd dat de eindcompressietemperatuur hoog genoeg is om de ingespoten brandstof te ontsteken door zelfontbranding. Deze motoren worden dan ook inspuitmotoren genoemd en gebruikt in vrachtwagens, autobussen, maar ook in personenwagens. De brandstof hierbij is dieselolie (blauwachtige kleur, in tegenstelling met de huisbrandolie die rooskleurig is). Een aparte pomp (dieselpomp) spuit de olie onder zeer hoge druk in de verbrandingsruimte (of meer specifiek in een wervelkamer) via een verstuiver die de straal zeer fijn verdeelt.

In de dieselmotor van fig. 8 wordt alleen lucht aangezogen gedurende de aanzuigslag. Tijdens de compressieslag wordt die lucht zeer warm (door de hoge compressie-einddruk van 30 tot 40 bar krijg je een temperatuur van 500 tot 600°C). Een gedoseerde hoeveelheid dieselolie wordt op het juiste moment ingespoten en ontbrandt spontaan, waardoor de arbeidsslag van de zuiger volgt. Tot slot heb je terug de uitlaatslag, die de verbrandingsgassen naar buiten drijft.

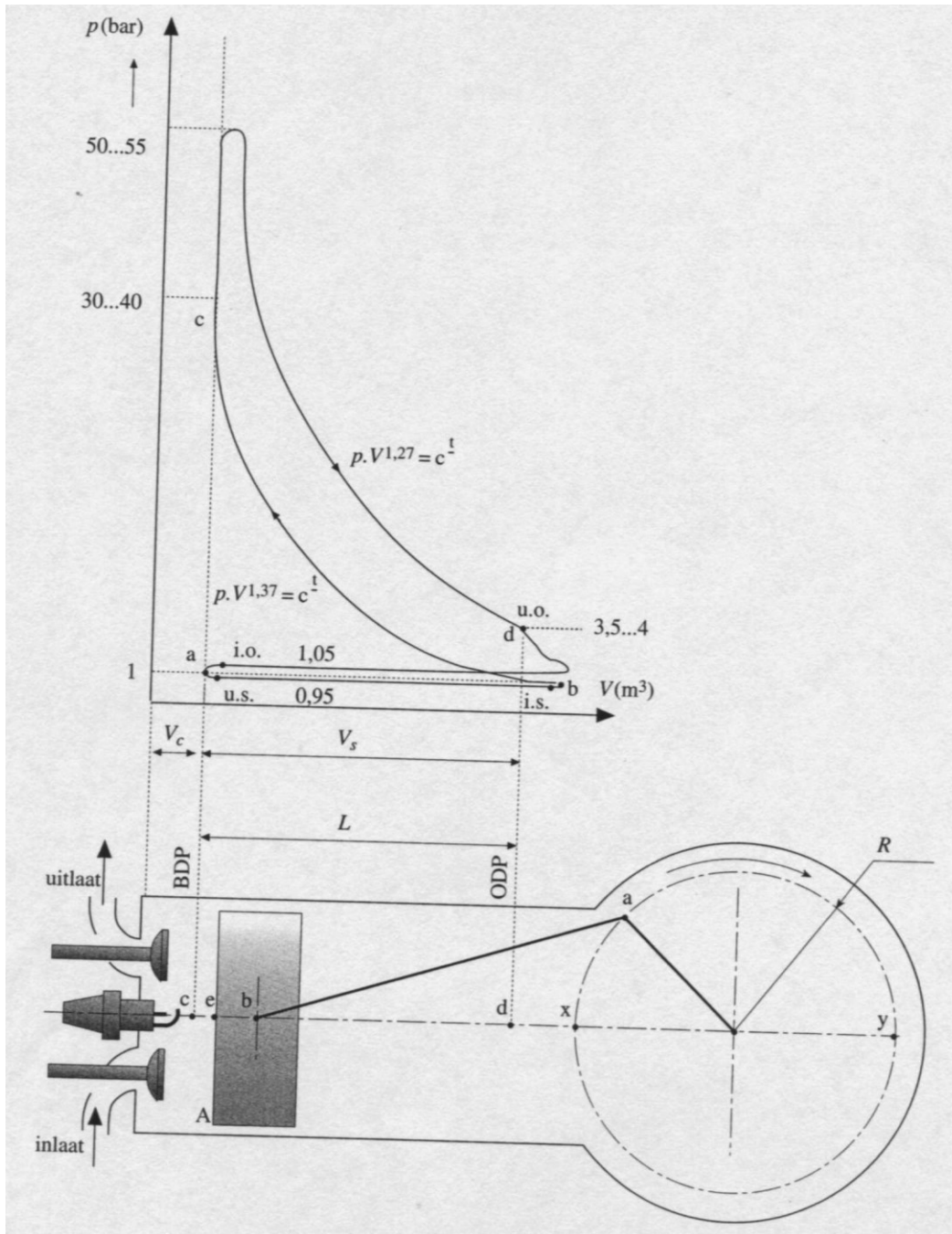


**Figuur 8**

De ontstekingsapparatuur van de benzinemotor is hier volledig overbodig. De dieselmotor heeft dan wel een gecompliceerd inspuitsysteem nodig. Wanneer de brandstof indirect ingespoten wordt (in een wervelkamer), is een speciaal opwarmstartmechanisme nodig voor de koude start.

#### b Het (p,V)-diagram

Wanneer je de vier slagen voorstelt in een diagram met als ordinaat de p-as en als abscis de V-as, ontstaat het (p,V)-diagram van een vierslagdieselmotor. Een dergelijk diagram vind je in fig. 9.



Figuur 9

### c Voor- en nadelen

Een dieselmotor heeft naast de hogere aankoopprijs ook de volgende nadelen:

- de compressie-einddruk ligt veel hoger dan bij een benzinemotor, wat aanleiding geeft tot een mechanisch zwaarder uitgevoerde motor,
- de dieselmotor draait minder snel en ontwikkelt minder vermogen bij eenzelfde cilinderinhoud.

De dieselmotor is goedkoper in verbruik vooral wanneer je veel kilometers moet afleggen.

We kunnen bijgevolg stellen dat:

\* een vierslagdieselmotor de volgende **nadelen** heeft:

- hogere aankoopprijs,
- zwaardere mechanisch uitgevoerde motor,
- minder vermogen bij eenzelfde cilinderinhoud,
- bij indirecte inspuiting een speciale voorgloeistartinstallatie,
- de dieselminuut om de motor te starten (bij indirecte inspuiting) die door de hedendaagse technologie herleid is tot enkele seconden.

\* een vierslagdieselmotor heeft ook **voordelen**:

- geen ontstekingsinstallatie nodig,
- goedkopere brandstof,
- minder milieubelastende uitlaatgassen,
- sterk motorisch koppel (en ongeveer constant bij lage snelheden),
- grotere gemiddelde kracht op de zuiger.

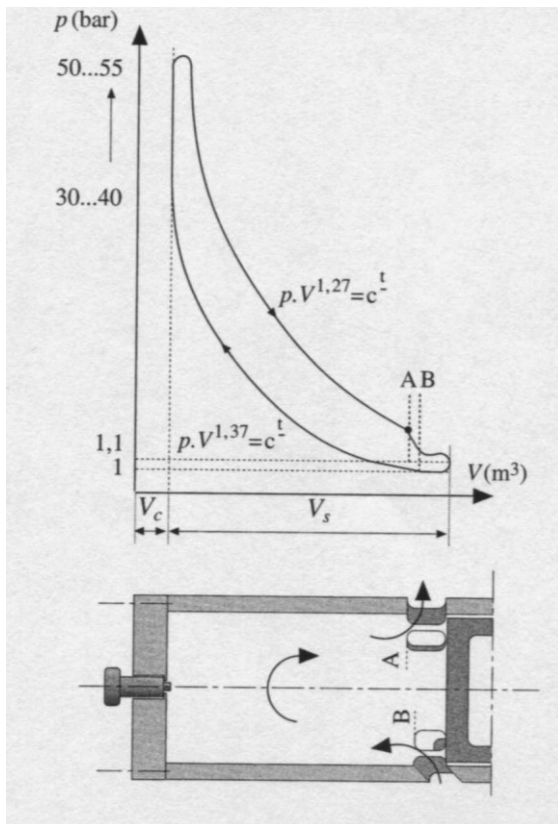
#### 1.1.2.4 De tweeslagdieselmotor

##### a Werkingsprincipe

De tweeslagdieselmotor (o.a. gebruikt bij scheepsmotoren omwille van zijn compacte bouw in functie van zijn vermogen) heeft dezelfde constructie als een tweeslagbenzinemotor. Het verschil is dat je de dieselbrandstof inspuit volgens het principe van de vierslagdieselmotor. Er gaat geen brandstof langs de uitlaat verloren omdat bij de dieselmotor met lucht kan gespoeld worden.

b Het (p,V)-diagram

In fig. 10 vind je het praktische (p,V)-diagram van een tweeslagdieselmotor.



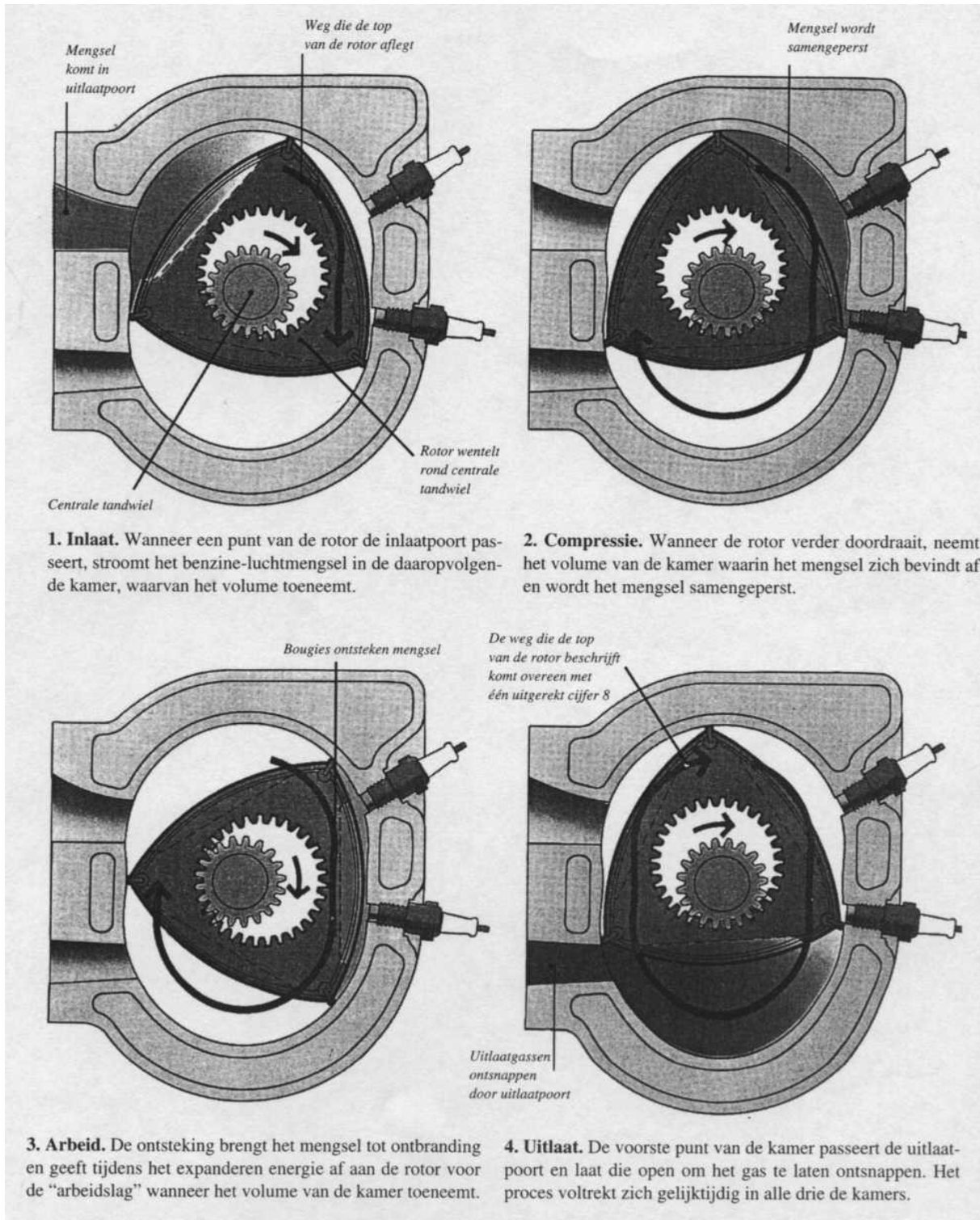
**Figuur 10**

### 1.1.2.5 De wankel- of draaizuigmotor

a Werkingsprincipe

Hoewel sommige motorenfabrikanten reeds zijn gestopt met dit type, zijn er toch nog enkelen die zich wagen aan een verdere ontwikkeling. Het waarom zal verder duidelijk worden.

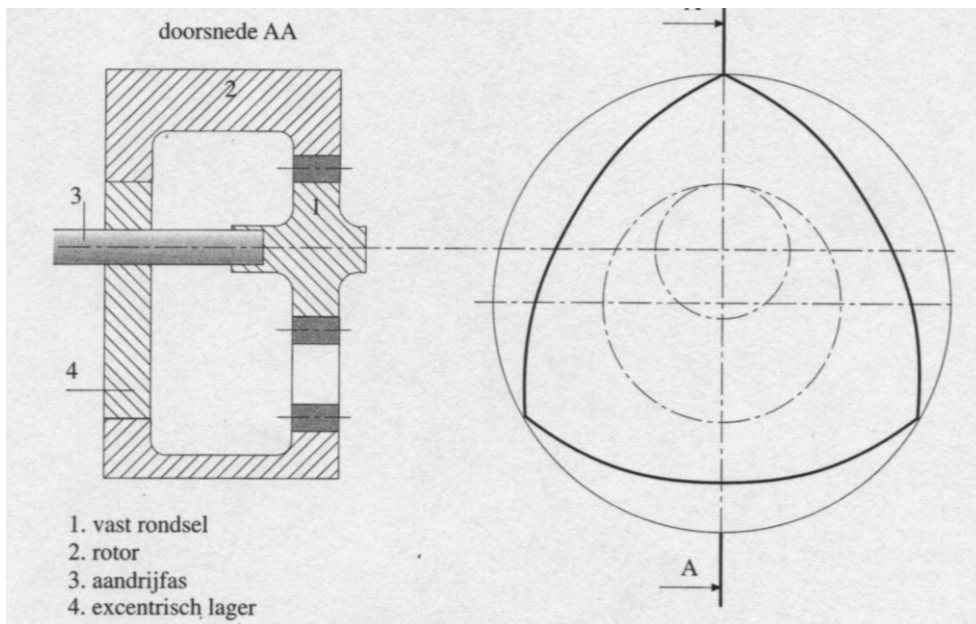
Fig. 11 toont de werkwijze van deze wankelmotor.



**Figuur 11**

In plaats van een heen- en weergaande zuiger heeft een wankelmotor een driehoekige zuiger, die een nagenoeg cirkelvormige baan beschrijft in een afgesloten ruimte. De zuiger heeft langs de ene kant een ring met binnenvetanding, waarin een vast rondsel aangrijpt en langs de andere kant een lager om op de excenteras te schuiven (zie fig. 12). De excenteras is de aandrijfas en deze wordt langs de ene kant gelagerd in het vaste tandwiel en langs de andere kant in het center van het huis. Op de aandrijfas zit een excentriek met als afstand van center

naar aandrijfjas het verschil van center tussen het vast- en kroontandwiel. De rotor *hoelahoept* rond het vaste tandwiel. Door de draaiing wordt de excentriek meegetrokken en die zal dus de aandrijfjas waarop hij gemonteerd staat, aandrijven. De motoras draait driemaal sneller dan de zuiger. De zuigerhoekpunten en de zijvlakken sluiten af tegen het huis, dat inwendig de vorm heeft van bijna cirkelvormige ellipsen. Als een hoeklijn de inlaatopening voorbij is, wordt het gasmengsel meegenomen en samengeperst. Het bereikt dan de ontstekingskaars en wordt tot ontbranding gebracht. Bij verdere verdraaiing van de zuiger kan het gasmengsel nu expanderen en bereikt het na enige tijd de uitlaatpoort. Aangezien de zuiger min of meer driehoekig is, heb je per omwenteling van de rotor drie arbeidsslagen.



**Figuur 12**

#### b Voor- en nadelen

Vanwege onoverkomelijke problemen bij de constructie wordt de wankelmotor nauwelijks in voertuigen gebruikt.

#### **Nadelen** zijn:

- de afdichting van de zuiger ten opzichte van het huis,
- de vlakke ontploffingsruimte (laag en langgerekt) en de verplaatsing van het verbrandingsfront ten opzichte van de draaiende zuiger die opgelost kunnen worden door een paar ontstekingskaarsen te plaatsen,
- de moeilijk te koelen zuiger.

#### Het **voordeel** van deze motor is:

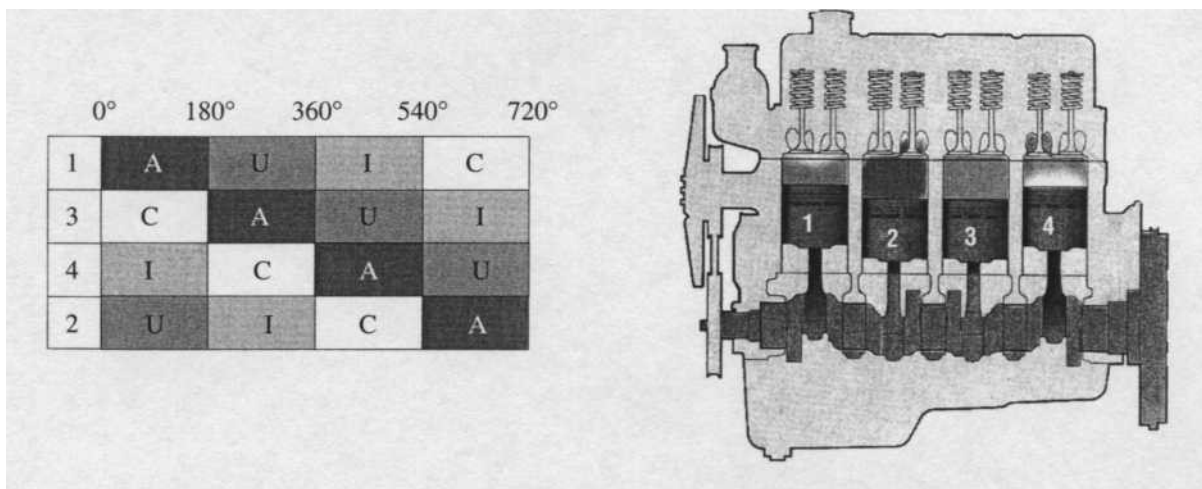
- dat er per omwenteling drie arbeidsslagen worden geleverd
- dat er geen vliegwiel noodzakelijk is.

### 1.1.3 Soorten verbrandingsmotoren volgens de vorm

De eenvoudigste vierslagbenzine- of vierslagdieselmotor is deze met één cilinder. Voor personenwagens en vrachtwagens is deze uitvoering echter niet mogelijk door de ongelijkmatige arbeid en het ongelijke moment op de krukas. Dit zou je kunnen opvangen met een zwaarder vliegwiel en een zwaardere motor, maar voor een viertaktmotor is dat onvoldoende om soepel te draaien bij een laag toerental. Om een behoorlijke en soepele loop te verkrijgen zijn tenminste twee cilinders nodig die beurtelings een arbeidsslag leveren bij iedere krukasomwenteling. Daardoor verbetert de uitbalancering van de motor aanzienlijk, maar een onregelmatig verloop van het draaimoment blijft nog duidelijk merkbaar.

#### 1.1.3.1 De lijnmotoren

De cilinders worden in één lijn opgesteld aan dezelfde zijde van de krukas. De eenvoudigste en meest gebruikte is de **viencilinder in lijn** van fig. 13. Je plaatst hierbij wel wangen op de krukas, zodat de beste balancering ontstaat. Verder moet je ook een bepaalde ontstekingsvolgorde aanhouden. Indien je de **ontstekingsvolgorde** 1,2,3,4 zou aanhouden, dan zouden de krukas en de motorophanging aan aanzienlijke spanningen en trillingen worden blootgesteld. Deze spanningen worden tot een minimum teruggebracht, als je de ontstekingsvolgorde 1,3,4,2 of 1,2,4,3 aanhoudt.

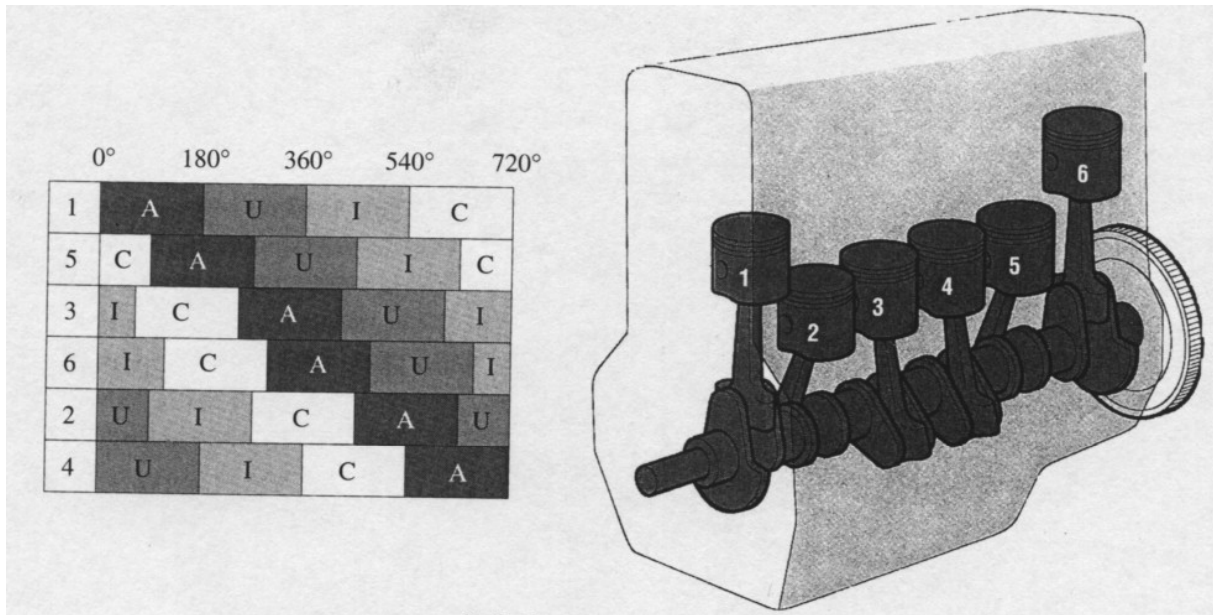


Figuur 13

De **zescilinder in lijn** van fig. 14 is zwaarder en langer dan de viencilindertegenhanger. Toch heeft deze motor twee belangrijke voordelen:

- koppelverloop is regelmatigier omdat de arbeidsslagen elkaar overlappen (zie ook de ontstekingsvolgorde),
- de mechanische uitbalancering is beter, zodat trillingen te verwaarlozen zijn.

Bij een zescilinder neem je best de volgende ontstekingsvolgorde: 1,5,3,6,2,4.



**Figuur 14**

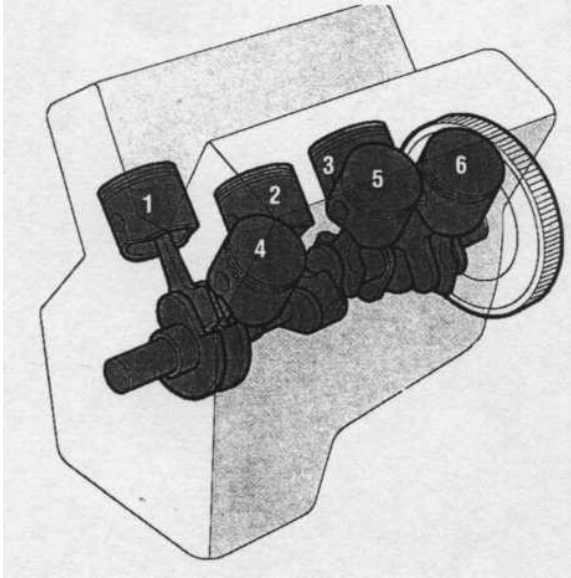
Een **achtcilinder in lijn** neemt te veel plaats in in een personenwagen en komt dan ook zelden voor. Je opteert het best voor de volgende constructievorm.

### 1.1.3.2 De V-motoren

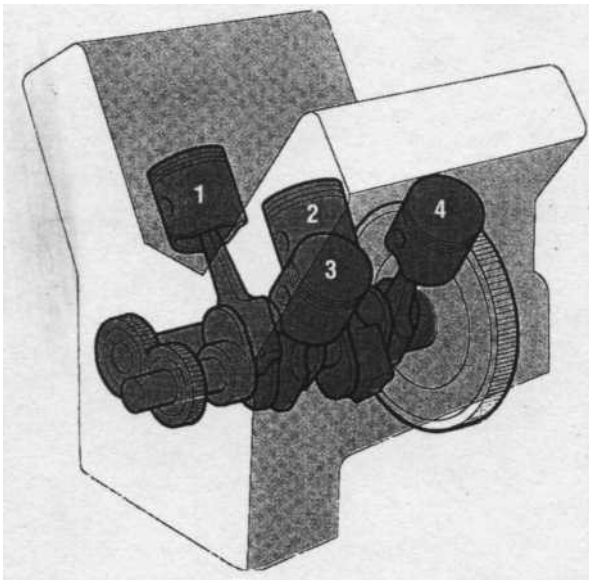
De cilinders staan ten opzichte van elkaar in een V-vorm. Deze constructie laat een kortere krukas toe, omdat je in de lengte plaats wint. De uitvoering is dan ook compacter en stabiel. Bij een **V6-motor** (fig. 15 a) zijn de cilinderblokken meestal onder een hoek van  $60^\circ$  geplaatst en op ieder deel van één omwenteling is er een arbeidsslag. Hierdoor heeft de motor een soepele loop en een behoorlijke uitbalancing. De ontstekingsvolgorde is hier 1,4,2,5,3,6. De **V8-motor** (fig. 15 b) heeft twee cilinderblokken onder een hoek van  $90^\circ$  en bij elke omwenteling zijn er vier arbeidsslagen. Deze motor is geschikt voor grotere vermogens en heeft een perfecte uitbalancing.

De **V4-motor** (fig. 16) tenslotte levert een even goed koppel als een viercilinder in lijn, maar de uitbalancing is minder goed, welke ook de hoek tussen de cilinderblokken is. Vandaar dat de V4-motor mank loopt door trillingen, die je evenwel tot een aanvaardbaar niveau kunt terugbrengen met een extra as die met de krukas meedraait en waarop tegengewichten worden aangebracht om deze trillingen zoveel mogelijk te nivelleren. Daardoor kan de hoek tussen de cilinderblokken beperkt worden tot ongeveer  $10^\circ$ .

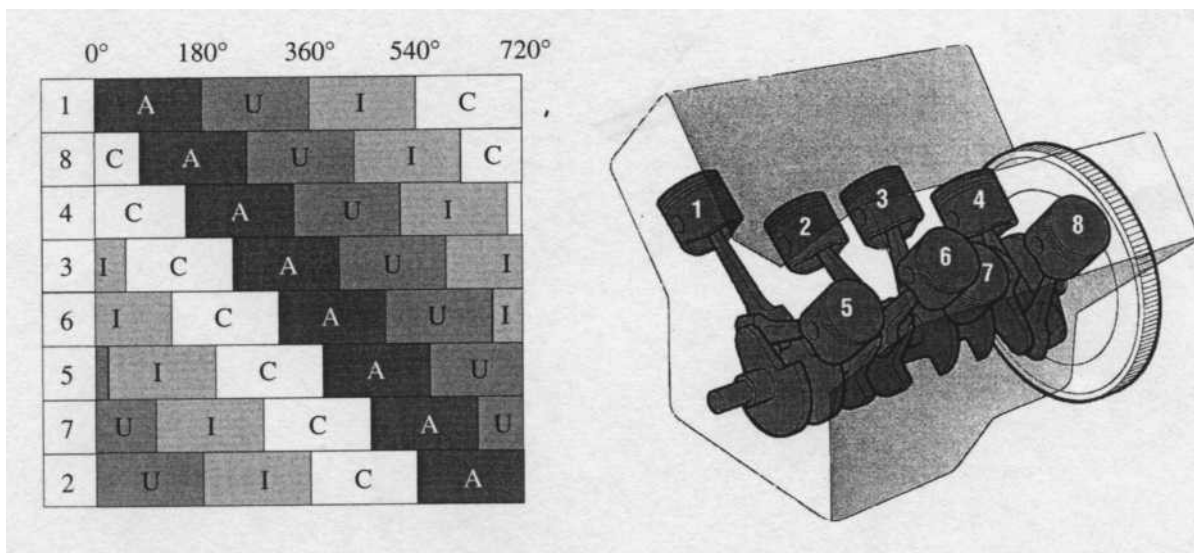




**Figuur 15a**



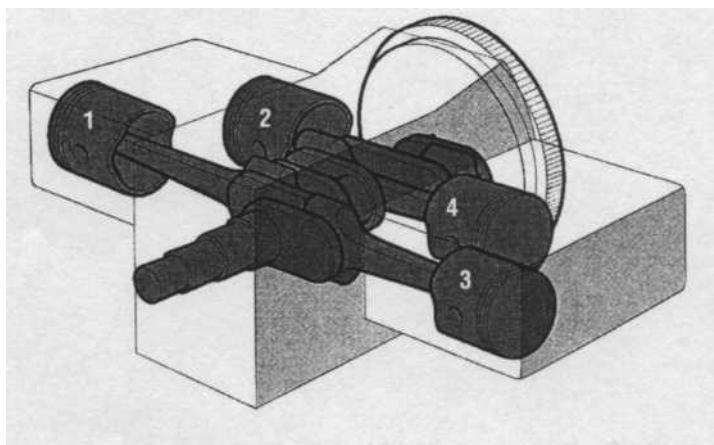
**Figuur 16**



Figuur 15b

### 1.1.3.3 De boxermotoren

De cilinders worden aan beide zijden van de krukas in elkaars verlengde geplaatst. De uitvoering met vier cilinders in boxervorm vind je terug in fig. 17. Naar vorm en afmeting is deze motor meer geschikt voor montage achter dan voorin de wagen. De horizontale vlakke viercilinder is zeer goed uitgebalanceerd: een zuiger met drijfstang die in een bepaalde richting beweegt, wordt door een zelfde zuiger en drijfstang in tegengestelde richting uitgebalanceerd. De ontstekingsvolgorde is 1,4,3,2.



Figuur 17

### 1.2.1 Bespreking van de algemene werking van een vierslagbenzinemotor

Aan de hand van de dwarsdoorsnede (fig. 18), de langsdoorsnede (fig. 19) en de aanzichten (fig. 20) bespreken we de algemene werking van een vierslagbenzinemotor.

Benzine en lucht worden in een **carburator** gemengd en naar de verbrandingskamer aan de bovenzijde van iedere cilinder gevoerd. **Zuigers** in de cilinders persen het mengsel samen en dit wordt dan door de **ontstekingskaars** of bougie ontstoken. Wanneer het mengsel brandt en uitzet, wordt de zuiger naar beneden gedreven. De op- en neergaande beweging van de zuigers wordt in een roterende beweging omgezet door de krukas, die op haar beurt de kracht via de **koppeling**, de **versnellingsbak** en de **differentieel** naar de wielen overbrengt. **Drijfstangen** verbinden de zuigers met de krukas. De **nokkenas**, aangedreven door de krukas, bedient de **in- en uitlaatkleppen** van iedere cilinder.

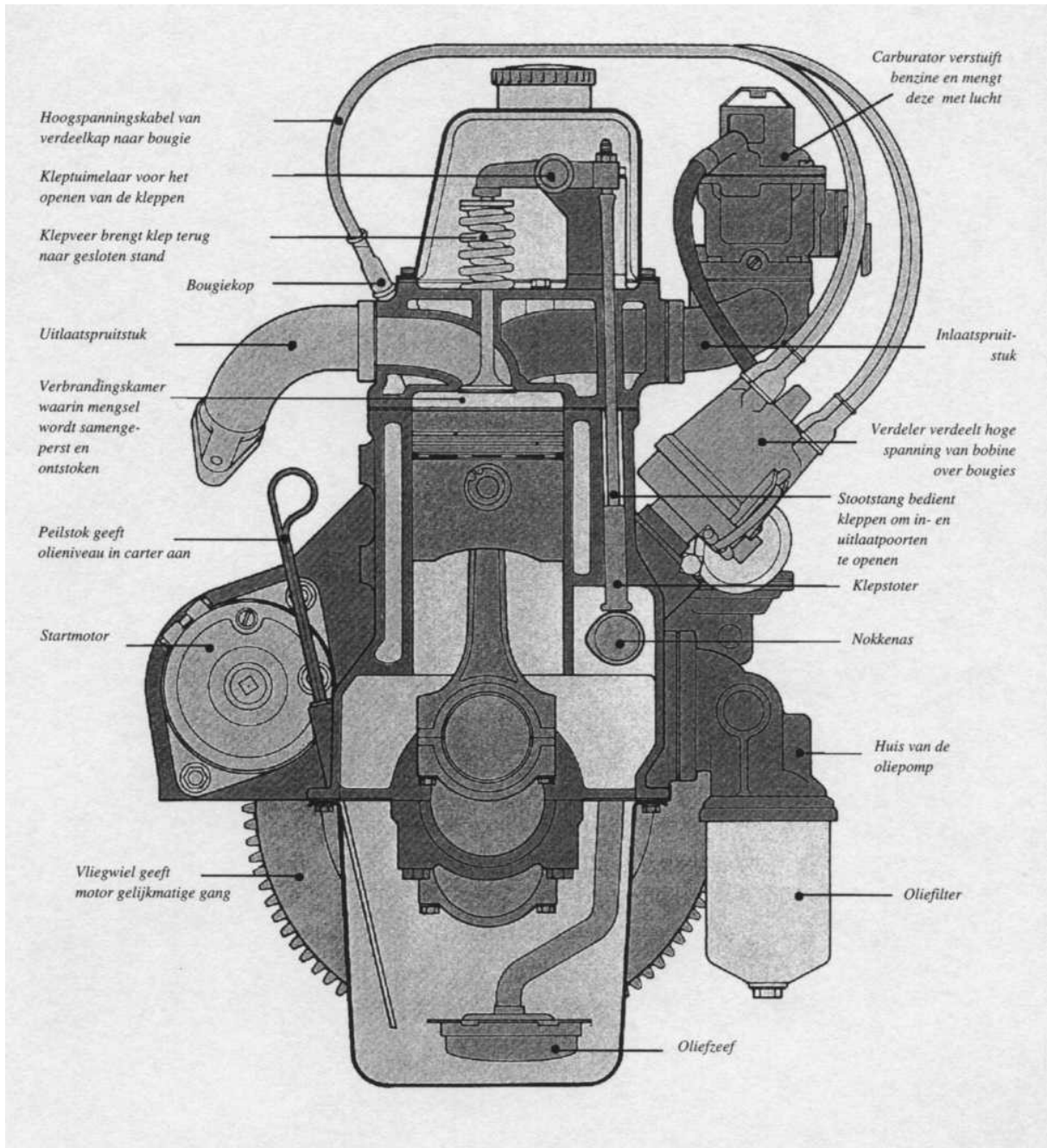
De eerste aandrijvende kracht die de motor in beweging brengt, komt van de **startmotor** (een elektrische seriemotor met hoog aanloopkoppel). Die kan met een startkrans op de buitenomtrek van het **vlieg wiel** gekoppeld worden. De startmotor grijpt met dit tandwiel in en drijft vlieg wiel en krukas aan, waardoor de zuigers en drijfstangen op en neer bewegen. Je start de startmotor door het **contacts lot** om te draaien, zodat de ontsteking en de draaiende beweging van de krukas op gang worden gebracht.

Indien er geen koelsysteem zou aanwezig zijn, dan zouden door de hitte die zich in de motor ontwikkelt, de metalen onderdelen gaan vreten (uitzetten en ingrijpen met andere delen). Bij de meeste wagens circuleert water door het cilinderblok: dit is de **watermantel**. Het warme water gaat vanuit het cilinderblok door de **radiator**, waarin de warmte aan de buitenlucht wordt overgedragen.

Een ventilator bevordert deze warmteoverdracht nog (doordat er lucht over deze radiator wordt gejaagd). Er bestaan ook types voertuigen die enkel met lucht worden gekoeld (zoals bij bromfietsen en de meeste moto's): hierbij blaast een ventilator lucht over een met **koelribben** uitgeruste motor.

Bij watergekoelde wagens zal je merken dat de ventilator samen met de **dynamo** door de krukas wordt aangedreven door middel van een riem (tegenwoordig meestal een platte, getande riem om slip te voorkomen). De as van deze ventilator drijft dan ook een **waterpomp** in het koelcircuit aan, die de natuurlijke circulatie van het koude/warme water tussen motorblok en radiator ondersteunt. Thans wordt de ventilator met behulp van een afzonderlijke elektromotor aangedreven en de **alternator**, samen met de waterpomp, door middel van een riem.

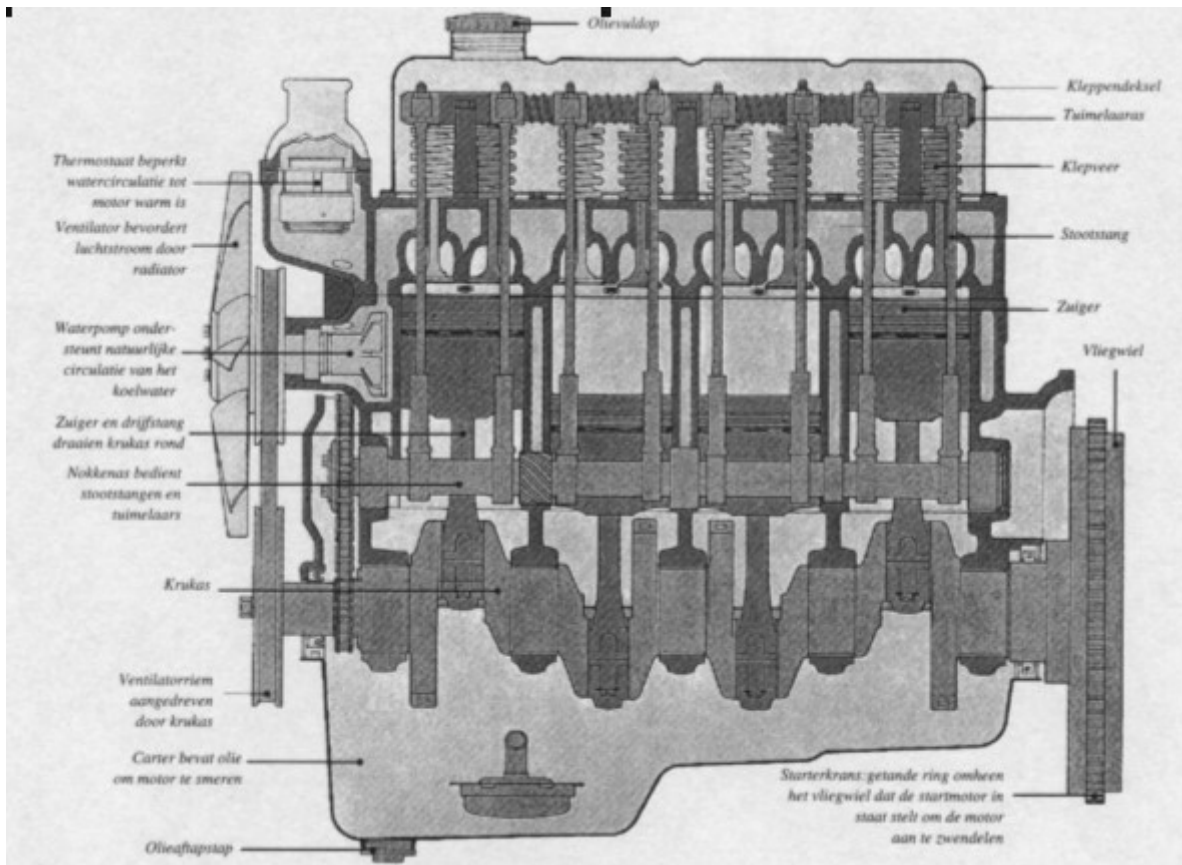
Om slijtage en oververhitting te voorkomen, wordt de motor gesmeerd met **olie** uit het **carter**. Het carter is zo uitgevoerd at je de olie op regelmatige tijdstippen kan aftappen en vervangen door verse olie. De olie wordt ontdaan van allerlei metaaldeeltjes door de **oliefilter**. De **peilstok** geeft het olieniveau in het carter aan.



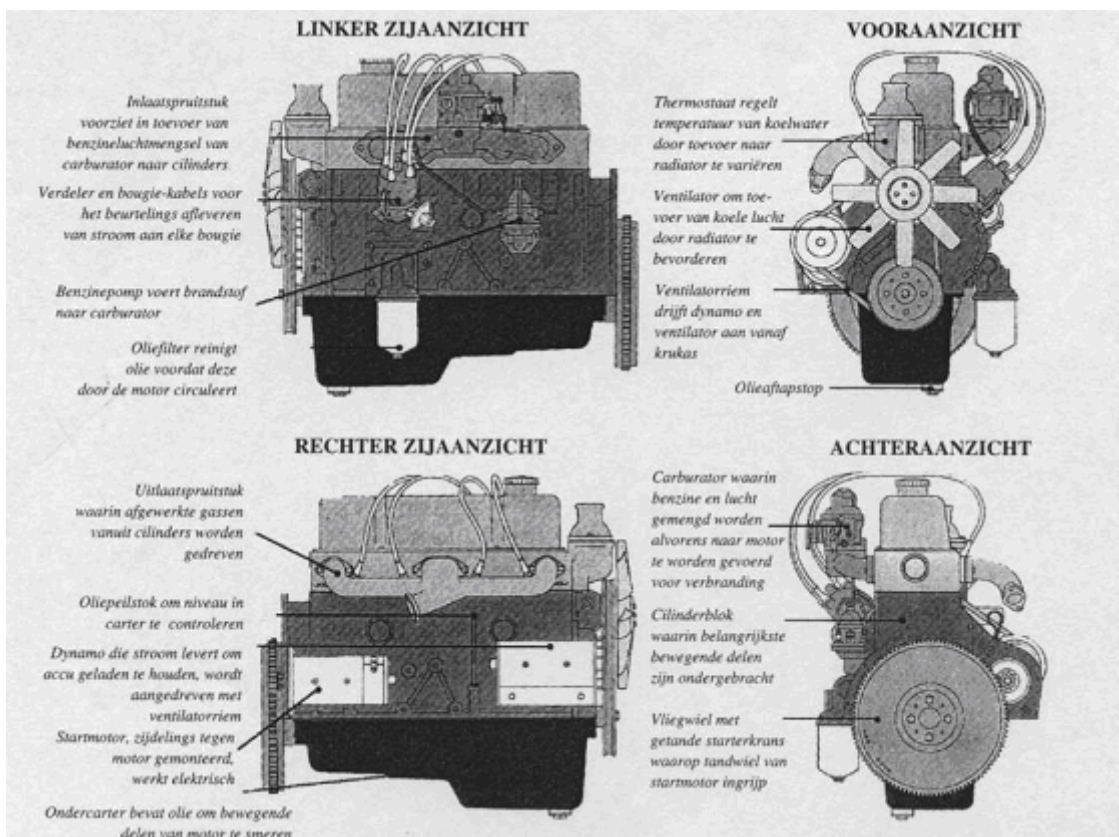
Figuur 18

In de zijaanzichten van de motor tref je nog enkele hulpstukken aan:

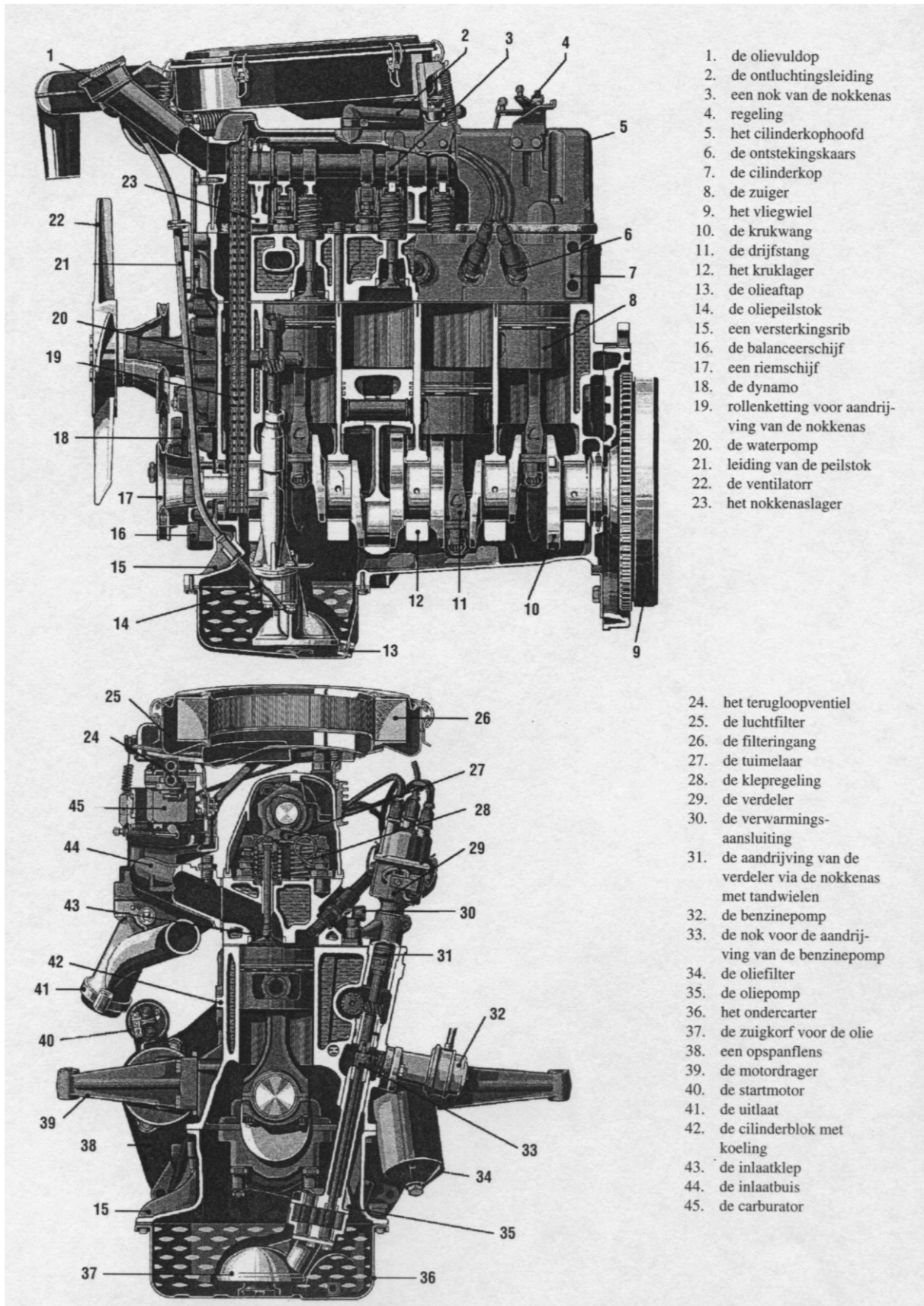
- de **verdeler**, met vier aansluitkabels naar elke ontstekingskaars, verdeelt het beurtelings afleveren van hoogspanningen, dus van ontsteking naar elke verbrandingskamer,
- De **benzinepomp** voert de brandstof vanuit de brandstoftank naar de carburator,
- De **dynamo** (thans de **alternator** of **driefasendynamo**) die tevens wordt aangedreven door de krukas, laadt de accu bij tijdens het rijden. De dynamo, ventilator en waterpomp worden door één riem aangedreven,
- het **uitlaatspruitstuk** leidt de verbrande gassen naar de uitlaat.



Figuur 19



Figuur 20



Figuur 21

## 1.2.2 De carburatie

### 1.2.2.1 Het begrip carburatie en mengverhouding

Om een krachtige ontploffing in de verbrandingsmotor te bekomen moet je een mengsel maken van benzine (vloeistof) en lucht (gas). Je moet dus de benzine verstuiven, zodat ze in fijne deeltjes in de lucht kan overgaan. Deze fijne deeltjes benzine verdampen en mengen zich met de aanwezige lucht. Het ontstane mengsel wordt dan een gasmengsel genoemd. Onder carburatie versta je de regeling van het benzine-luchtmengsel. Voor het snel en volkomen verbranden van het benzine-luchtmengsel moet er een juiste verhouding bestaan tussen de hoeveelheid lucht en de hoeveelheid benzine. Wanneer het gasmengsel een verhouding heeft van 11500 liter lucht op 1 kg benzine, dan is het van goede kwaliteit. Met het begrip mengverhouding wordt een massaverhouding bedoeld. Zo wordt de mengverhouding m gedefinieerd als:

$$m = \text{massahoeveelheid lucht} / \text{massahoeveelheid benzine}$$

Omdat lucht een soortelijke massa heeft van  $1,3 \text{ g/dm}^3$ , komt 11500 liter lucht ongeveer overeen met een massa van 15000 g of 15 kg. Je stelt vast dat  $m = 15$  een goede mengverhouding is. Laat je te veel lucht toe, dan ontstaat er een zogenaamd arm mengsel. Wordt er te weinig lucht aan het mengsel gegeven, dan ontstaat een zogenaamd rijk mengsel. De woorden *arm* en *rijk* duiden dus aan dat het benzine-luchtmengsel te weinig of te veel benzine bevat. Een arm mengsel bevat weinig benzine en veel lucht, zodat de mengverhouding verhoogt tot b.v. 17. Een rijk mengsel bevat veel benzine en weinig lucht, zodat de mengverhouding verlaagt tot b.v. 12.

### 1.2.2.2 Benzine-inspuiting

In een verbrandingsmotor wordt lucht en benzine gemengd door een carburator of door middel van inspuiting. De laatste jaren wordt echter meer en meer gekozen voor een menging door zuigbuisinspuiting. Deze trend is ontstaan door de voordelen die het inspuiten van de brandstof in samenhang met de eisen ten aanzien van de economie, prestaties en last but not least van emissie van schadelijke stoffen in het milieu kan bieden.

De voordelen van dit systeem zijn:

- de zeer nauwkeurige werking, waardoor de hoeveelheid schadelijke stoffen in de uitlaatgassen aanzienlijk vermindert,
- het wegvallen van de carburator waardoor de aanzuigwegen optimaal geconstrueerd kunnen worden en een betere vulling van de cilinder bereikt wordt die leidt tot een gunstiger koppelverloop.

Er zijn mechanische en elektronisch gestuurde installaties. De K-Jetronic is een mechanisch, niet-aangedreven, continu inspuitend systeem. Hier wordt constant brandstof ingespoten. De hoeveelheid in te spuiten brandstof wordt bepaald door een luchtdebietmeter die mechanisch met een doseerverdeelenheid verbonden wordt. De L-Jetronic is een niet-aangedreven, elektronisch gestuurd inspuitsysteem met intermitterende brandstofinspuiting. Bij dit systeem wordt de hoeveelheid aangezogen lucht gemeten. Dit gegeven wordt onmiddellijk omgezet in een signaal dat de hoeveelheid in te spuiten brandstof bepaalt. Dit laatste systeem wordt het meest gebruikt.

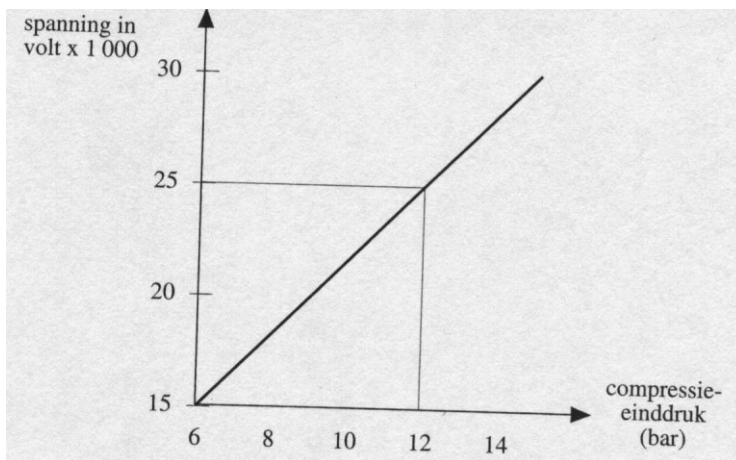
### 1.2.3 De ontstekingsinstallatie bij een benzinemotor

#### 1.2.3.1 De spanning tussen de elektroden

Om het brandbare gasmengsel aan te steken is er een vonk nodig op het einde van de compressieslag. De afstand tussen de elektroden van de bougie vormt een grote weerstand.

- Is de afstand tussen de elektroden 1mm (bij barometerdruk), dan is er een spanning van 2500 volt nodig.
- Wordt de druk groter (zoals in de verbrandingsmotor), dan wordt die spanning groter.

Fig. 22 geeft de relatie tussen de spanning en druk weer.



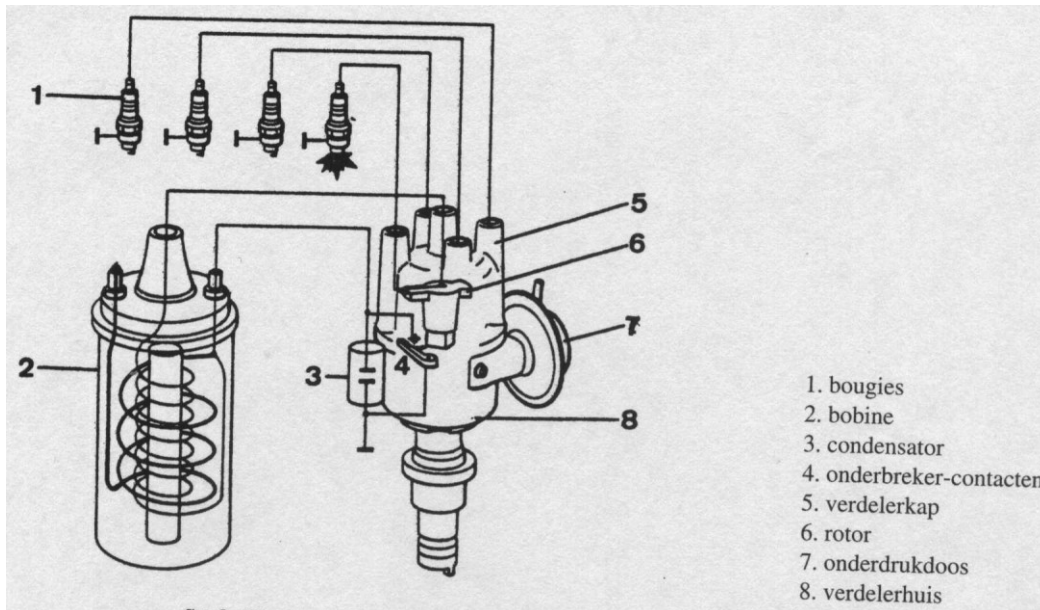
Figuur 22

#### 1.2.3.2 Voorstelling van de werking van de ontstekingsinstallatie

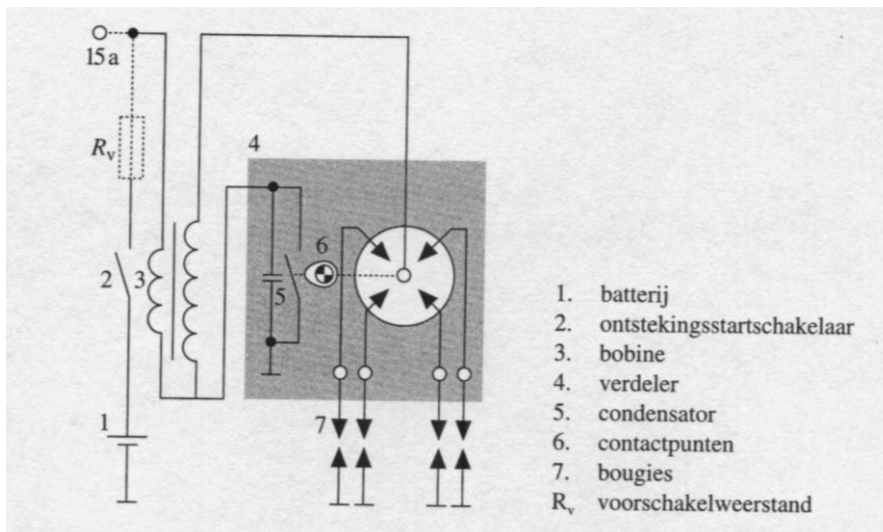
Fig. 23 geeft de verschillende onderdelen met hun elektrische verbindingen weer.

Fig. 24 stelt het elektrische schema van een 4-cilindermotor voor.





Figuur 23



Figuur 24

De werking wordt uitgelegd aan de hand van fig. 24

\* Veronderstel dat het contactslot en de contactpunten van de onderbreker gesloten zijn; dan vloeit door de onderbreker een stroom. Daardoor wordt in de kern van de bobine een magnetisch veld opgebouwd.

\* Wanneer de onderbrekercontactpunten geopend worden, wordt de stroom in primaire keten (te herkennen aan de dikke wikkelingen) onderbroken. Hierdoor valt het magnetische veld weg. De secundaire keten (te herkennen aan de vele dunne wikkelingen) wil dit tegenwerken (de wet van Lenz). Er ontstaat een inductiespanning en –stroom die naar de verdeler gaan.

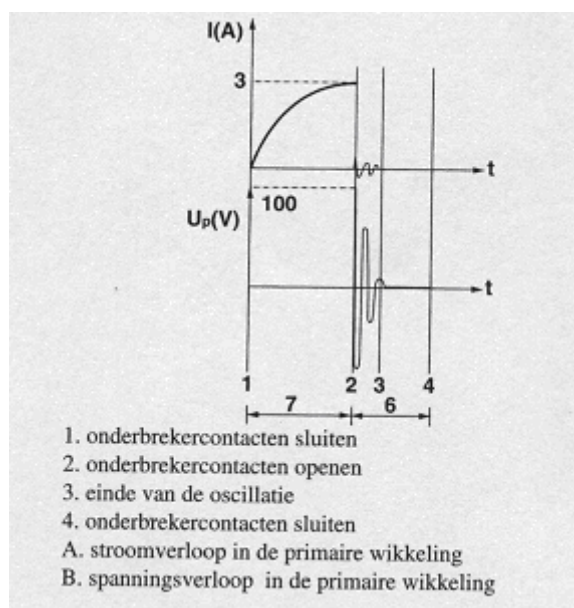
\* Ook de primaire winding komt in een veranderlijk magnetisch veld. Hierdoor wordt ook in deze spoel door zelfinductie 250 tot 300 volt opgewekt.

Deze zelfinductie heeft nadelige eigenschappen: ze wil namelijk de oorzaak van haar bestaan tegenwerken, vandaar dat tussen de contactpunten van de onderbreker een sterke vonkvorming ontstaat.

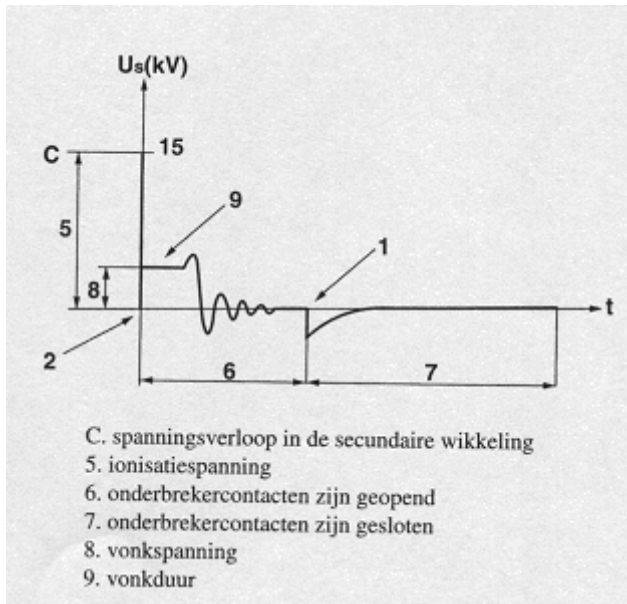
\* Aangezien de zelfinductie de stroomkring via de geopende contactpunten tracht in stand te houden, zal de stroom door de primaire wikkeling maar langzaam verminderen. Daardoor valt ook het magnetische veld niet snel genoeg weg. Omdat de inductiespanning in de secundaire wikkeling onder andere een functie is van de verandering van het magnetische veld per tijdseenheid, blijft ook de inductiespanning in de secundaire wikkeling te laag.

\* De condensator, die bevestigd is aan de buitenkant van het onderbrekershuis, moet inbranding van de contactpunten voorkomen. Op het moment dat de contactpunten openen, wordt de condensator opgeladen door zelfinductie. De condensator gaat zich onmiddellijk weer ontladen en geeft een tegenstroom door de primaire wikkeling, waardoor het magnetische veld zeer snel verdwijnt. De ontlading gebeurt via de primaire wikkeling, het contactslot, de batterij en de massa. Het gevolg hiervan is een hoge inductiespanning in de secundaire wikkeling en een sterke vonkvorming tussen de ontstekingskaarsen.

Fig. 25 en fig. 26 stellen het verloop van de stroom en de spanning in functie van de tijd voor, wanneer de vonk tot stand komt.



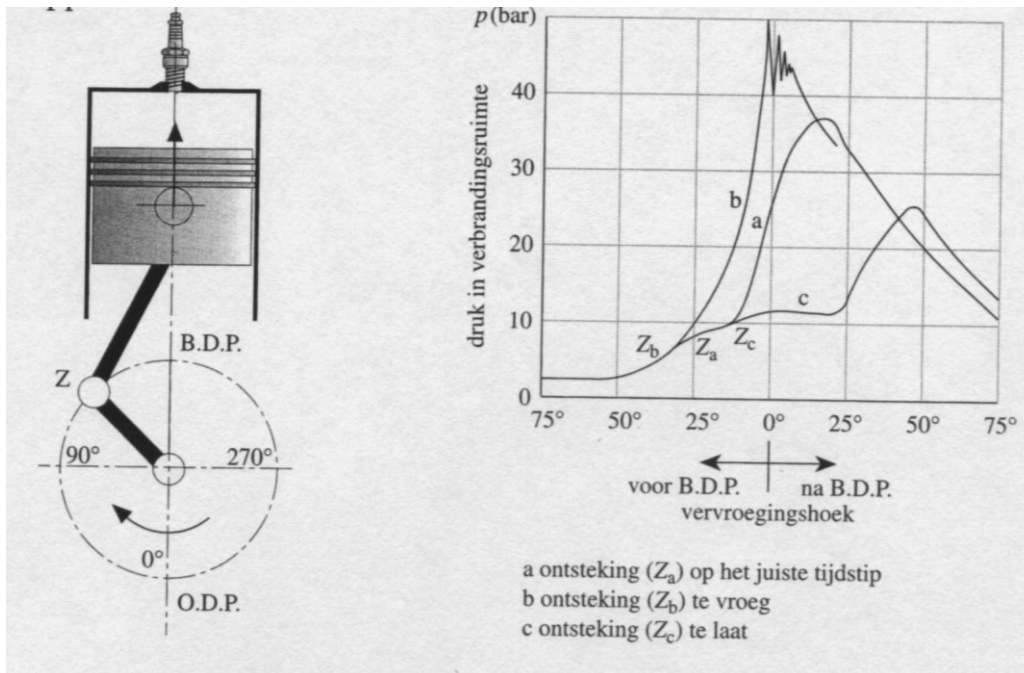
Figuur 25



Figuur 26

### 1.2.3.3 Ontstekingstijdstip, verbranding en octaangehalte

De tijd tussen de ontsteking en de verbranding bedraagt, afhankelijk van de soort brandstof ongeveer twee milliseconden. De ontstekingsvonk moet daarom zo vroeg overspringen dat de verbrandingsdruk even na het BDP van de krukas zijn maximale waarde bereikt. De ontsteking gebeurt dus voor het BDP: deze voorontsteking (of beter: ontstekingsvervroeging) wordt in de praktijk steeds uitgedrukt in een aantal krukasgraden ten opzichte van het BDP. Fig. 27 stelt het drukverloop in de verbrandingsruimte voor bij verschillende voorontstekingstijdstippen.



Figuur 27

Hoe sneller de benzine ontbrandt, hoe kleiner de voorontstekingshoek. Het octaangehalte van de benzine is een maat voor deze verbrandingssnelheid: hoe hoger het octaangehalte, hoe trager de benzine ontbrandt en hoe groter de voorontstekingshoek wordt.

In een tankstation kan je:

- superbenezine kopen met een octaangehalte 98 en
- loodvrije benzine met een octaangehalte van 95.

Je moet de voorontsteking instellen volgens de gebruikte brandstof door het onderbrekershuis ten opzichte van de onderbrekersas te verdraaien.

### **1.2.3.4 Het begrip detonatie**

Het gebruik van superbenezine of normale benzine is ook afhankelijk van de compressieverhouding  $\epsilon$ . Is  $\epsilon$  hoog, dan heeft het mengsel op het einde van de compressieslag een hogere temperatuur. De ontstekingskaars zet de vonk in, maar verdergelegen delen van het brandstofmengsel zouden bij een snelbrandende brandstof het mengsel vanzelf kunnen ontsteken (bijvoorbeeld bij normale benzine). Daardoor ontstaat echter:

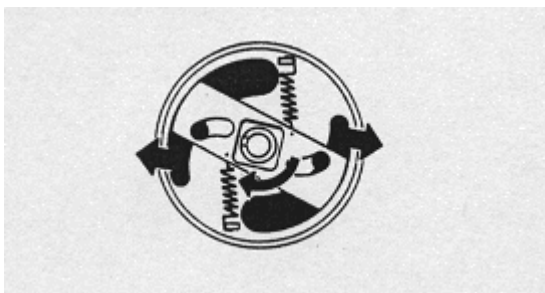
- stoten tegen de zuiger (ontbranding vooraleer de zuiger zijn BDP bereikt),
- geconcentreerde verhitting met als gevolg dat er een gat in de zuigerkop kan branden,
- verlies van vermogen.

Dit verschijnsel wordt detonatie, pingelen of kloppen van de motor genoemd. Fig. 4a stelt dit verschijnsel voor. Dit probleem kan je oplossen door aan de benzine een katalysator (een stof die de reactie versnelt of vertraagt) toe te voegen die de verbranding onder controle houdt. Zo bekom je benzine met een hogere klopvastheid (hoger octaangehalte). Tot voor enkele jaren was tetra-ethyllood de enige katalysator, maar dit is giftig voor het milieu. De laatste jaren zijn er ook loodvrije benzines op de markt. Ze zijn goedkoper dan de loodhoudende benzine, maar betekenen voor de meeste motoren een verlaging van de compressieverhouding en dus ook van het rendement.

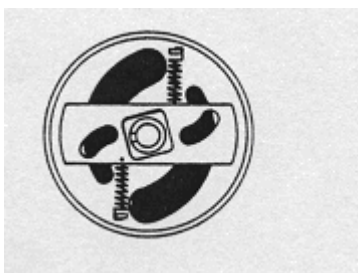
### **1.2.3.5 De centrifugaalregelaar en de onderdrukregelaar**

a De centrifugaalregelaar

Wanneer het toerental van de motor stijgt, wordt de verbrandingstijd korter. De tijd die nodig is voor een volledige verbranding blijft echter gelijk. Om ervoor te zorgen dat de ontbranding volledig gebeurd is voor het BDP van de zuiger, moet de voorontsteking groter worden bij een stijgend toerental. Hiervoor zorgen centrifugaalgewichtjes, die door de toenemende centrifugaalkracht meer en meer naar buiten bewegen tegen de veerkracht in. Daardoor verdraait de onderbrekersnok in dezelfde zin, zodat de ontsteking vervroegt. Wanneer het toerental van de motor opnieuw daalt, zorgen de veertjes ervoor dat de gewichtjes terug naar binnen komen, zodat de onderbrekersnok in tegengestelde draaizin verdraait en de ontsteking weer verlaat. Dit alles vind je in de fig. 28 en fig. 29.



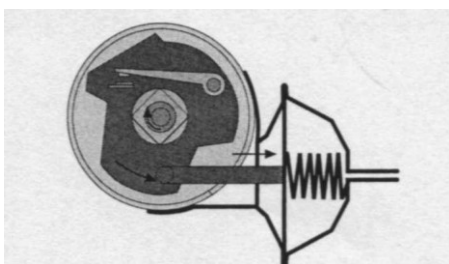
**Figuur 28**



**Figuur 29**

#### b De onderdrukregelaar

Als je de motor zwaar belast, zal de gasklep bijna volledig openstaan. De vulling van de cilinders is goed. Het ontstekingsstijdstip mag iets later vallen (dus minder voorontsteking), omdat het mengsel gemakkelijk verbrandt. Bij een geringere belasting van de motor zal de gasklep minder openstaan. De vulling van de cilinder is minder goed en de verbranding verloopt moeizamer. Daarom wordt de ontsteking het best vervroegd. Dergelijke wijzigingen gebeuren door middel van de onderdruk- of de vacuümregelaar, die zijn onderdruk meet juist onder de gasklep van de carburator. Als de gasklep volledig openstaat, is er praktisch geen onderdruk en werkt de vacuümregelaar niet. Is daarentegen de gasklep bijna gesloten, dan is de onderdruk groot en wordt de plaat waarop de onderbrekercontacten bevestigd zijn, verdraaid in tegengestelde zin ten opzichte van de verdraaiing van de onderbrekeras. Hierdoor gaan de onderbrekercontacten vroeger openen, wat resulteert in een vervroegde ontsteking van het brandstofmengsel. Fig. 30 stelt dit alles voor.



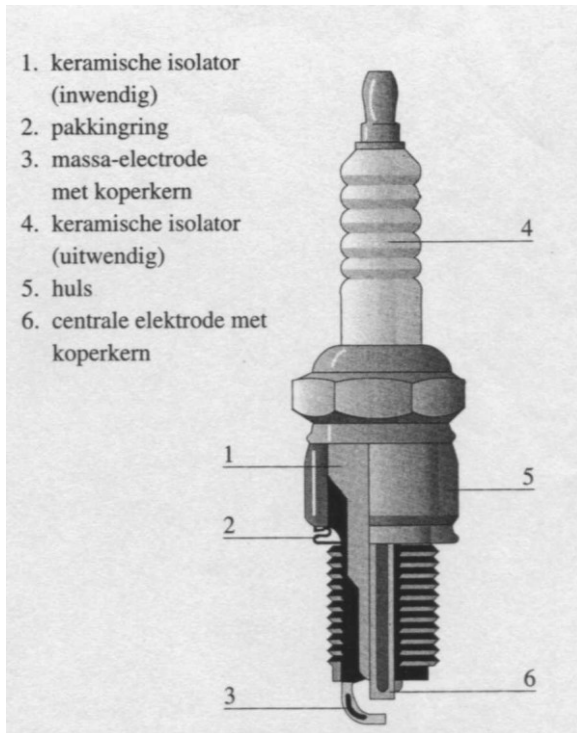
**Figuur 30**

### 1.2.3.6 De ontstekingskaars of bougie

Aan de bougie worden zeer extreme elektrische, mechanische, chemische en thermische eisen gesteld. De voornaamste worden hieronder samengevat.

- Temperatuurbelasting : tot 2800 °C
- Drukbelasting: tot 50 bar
- De isolatie van de bougie moet blijven isoleren tot spanningen van 15 kV.
- De materialen waaruit de elektroden vervaardigd worden, moeten een hoge weerstand bezitten tegen het wegbranden.

In fig. 31 vindt u de onderdelen van de bougie.



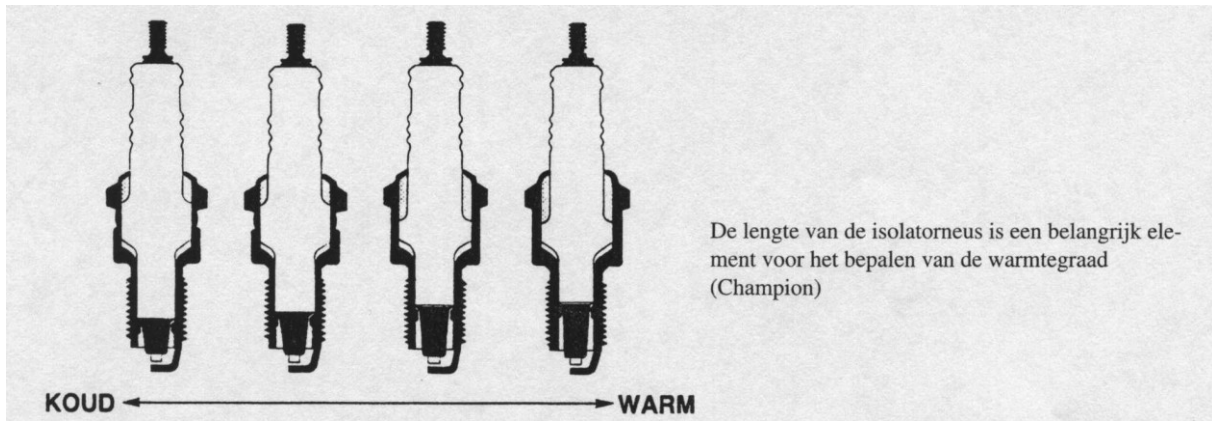
**Figuur 31**

Om te voorkomen dat een bougie zeer vlug vuil wordt (afzetten van olie- of roetdeeltjes op de isolator van de bougie) moet de gemiddelde temperatuur van de bougie net iets boven de zelfreinigingstemperatuur van de bougie (meer dan 600 °C) liggen. Deze temperatuur is o.a. een functie van de warmtegraad van de bougie.

- Een warme bougie is een bougie met een lange isolatorvoet, zodat er een hoge warmteopname is en de warmte niet snel wordt afgevoerd. Zij wordt gebruikt in motoren met een gering vermogen.

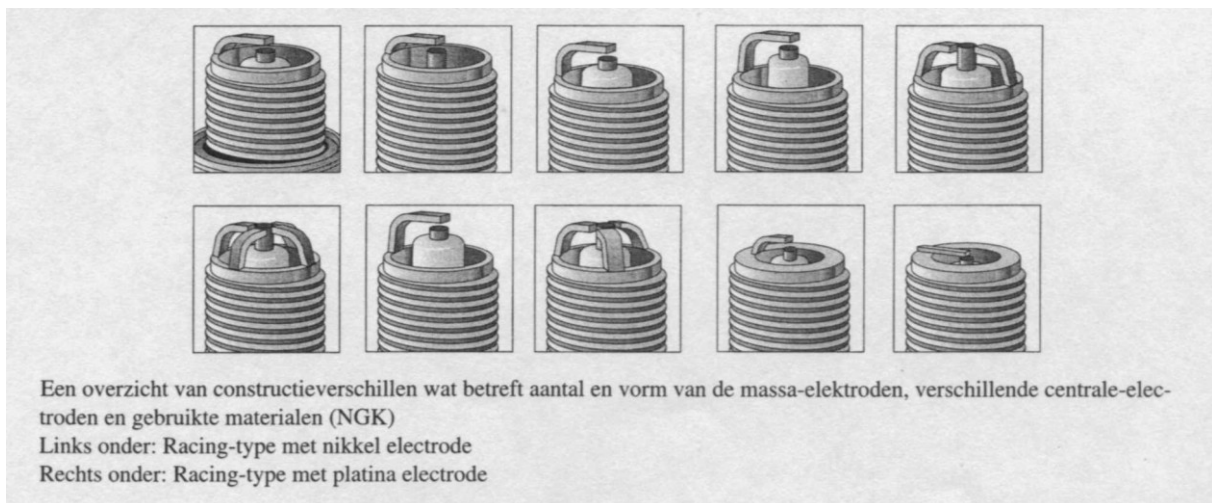
- Een koude bougie is een bougie met een korte isolatorvoet zodat er een geringe warmteopname is en de warmte vrij snel wordt afgevoerd. Zij wordt gebruikt in motoren met een grote compressieverhouding en grote vermogens.

In werkelijkheid ziet dit er uit zoals op fig. 32.



Figuur 32

Er bestaan ook verschillende uitvoeringsmogelijkheden, hiervan krijgt u een overzicht in fig. 33.



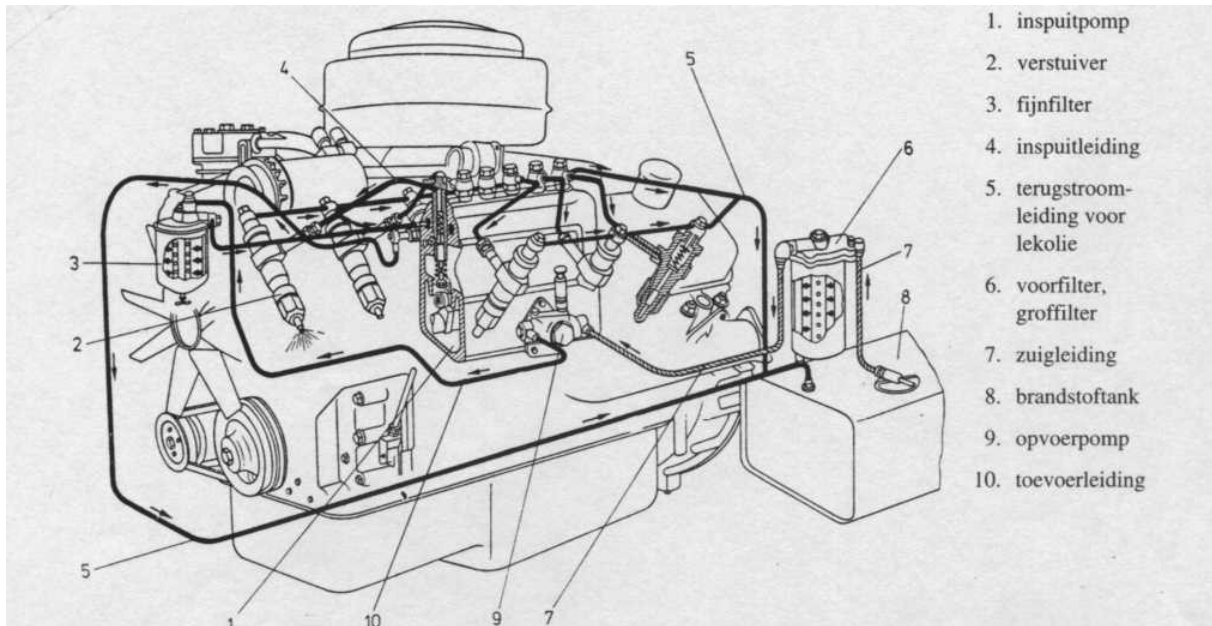
Figuur 33

## 1.3.1 Bespreking van de werking van de dieselpomp

### 1.3.1.1 De plunjerpomp

a Overzicht van de installatie

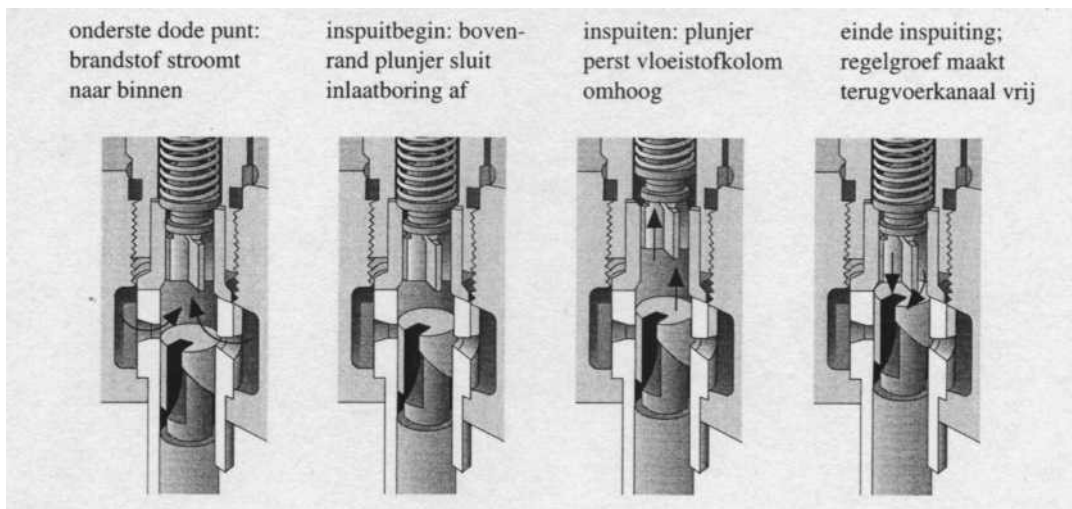
Op het algemene schema van fig. 34 kunt u de weg van de dieselolie volgen vanaf de tank tot aan de verstuivers.



Figuur 34

b De werking van de dieselpomp

De verschillende plunjerslagfasen vindt u terug in fig. 35.

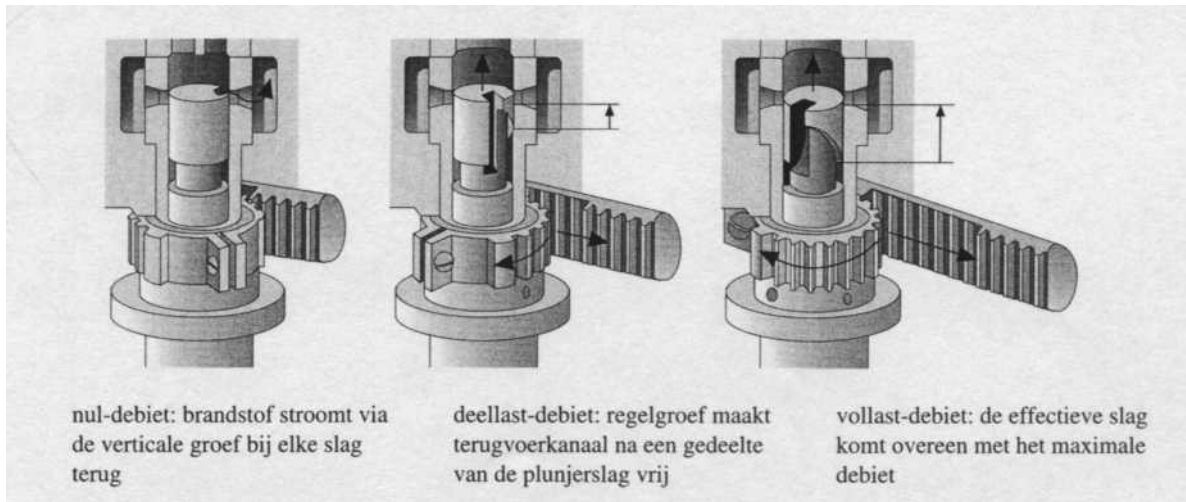


Figuur 35

Bij dalende slag ontstaat er boven de plunjerkop een onderdruk omdat deze ruimte volledig afgesloten wordt. Als beide toevoergaatjes vrijkomen, stroomt er gasolie in de pompcilinder. De gasolie kan beter binnenstromen, doordat de gasolie rond de pompplunjer onder een kleine overdruk staat (afkomstig van de opvoerpomp).

Bij stijgende slag begint de persslag, als de plunjerkop beide toevoergaatjes afsluit. De persslag duurt, zolang de spiraalvormige groef de onderkant van het rechtergaatje voorbijgaat. De stand van de schroefvormige groef bepaalt de hoeveelheid weggeperste gasolie. Wanneer de plunjer van boven gezien in wijzerzin gedraaid wordt, dan stijgt het debiet per slag. Dit laatste wordt verduidelijkt in fig. 36.



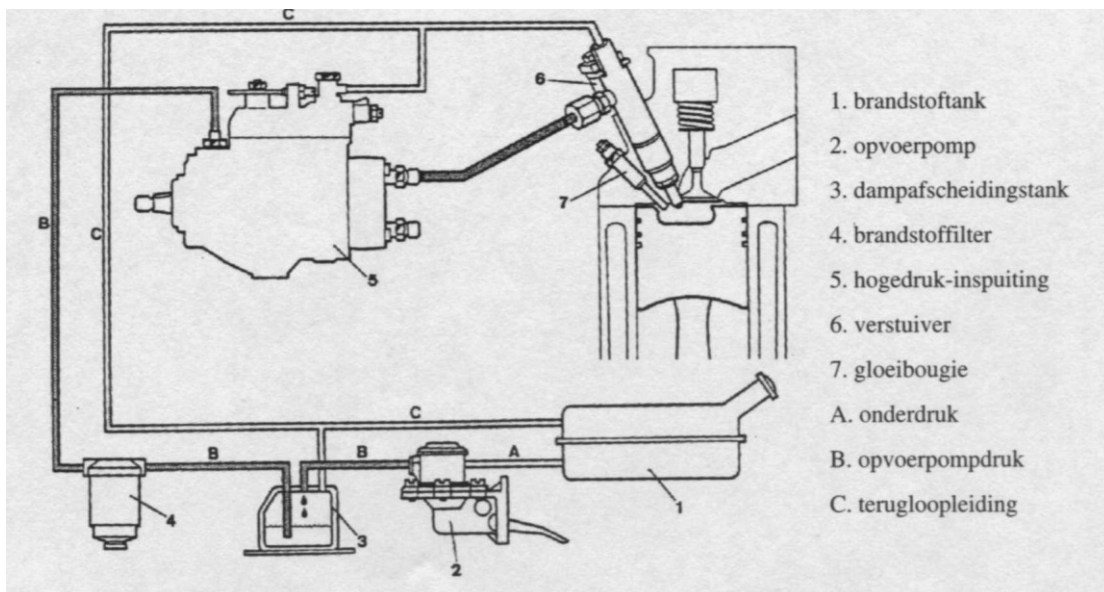


Figuur 36

### 1.3.1.2 De verdelerpomp van Bosch

a Overzicht van de installatie

In fig. 37 vindt u een overzicht van een inspuitinstallatie met een verdelerinspuitpomp.



Figuur 37

Kleine, snellopende dieselmotoren in personenauto's en lichte vrachtwagens eisen een inspuitinstallatie met een gering gewicht en een klein volume. De verdelerpomp voldoet aan deze eisen omdat de toevoerpomp, toerentalregelaar en inspuitmomentversteller in een klein, compact aggregaat worden ondergebracht.

- Tot het lagedrukgedeelte van de inspuitinstallatie behoren de brandstoftank, de brandstoffilter, de bladceltoevoerpomp, de overstroomklep en de brandstoeftoevoerleidingen.

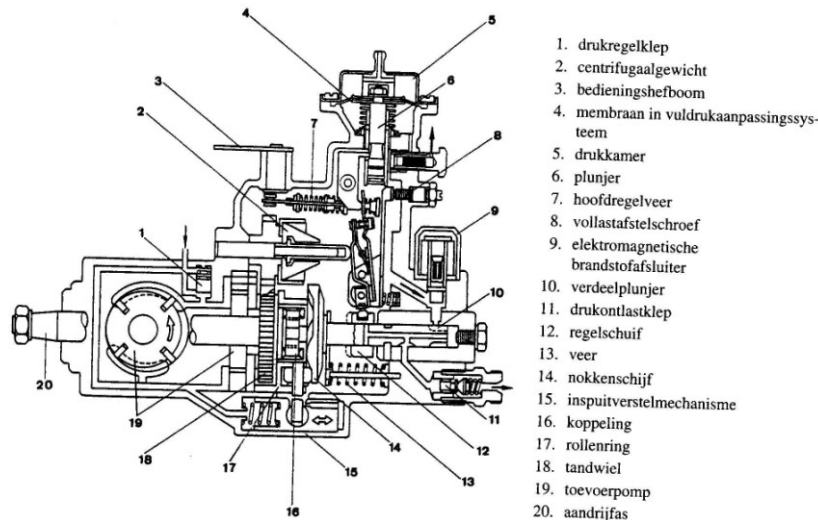
- In het hogedrukgedeelte van de inspuitpomp wordt de druk voor het inspuiten van de brandstof opgewekt. De brandstof wordt via de persklep in de drukleiding en verstuiverhouder aan de verstuiver toegevoerd.

- Het leidingsysteem. Opdat de inspuitpomp goed zou werken, moet de brandstof naar het hogedrukgedeelte van de inspuitpomp continu, zonder luchtbellen en onder druk worden toegevoerd. Bij personenauto's en lichte vrachtwagens is het hoogteverschil tussen de brandstoftank en de inspuitpomp gewoonlijk zeer gering, de lengte van de leidingen gunstig en is de leidingsdoorsnede zo ontworpen dat het zuigvermogen van de bladceltoevoerpomp die in de verdelingspuitpomp ingebouwd zit, voldoende is. In voertuigen met een groter hoogteverschil en/of langere leidingen tussen de brandstoftank en de inspuitpomp wordt een voortoevoerpomp geïnstalleerd die de leidings- en filterweerstand overbrugt.

- De brandstoffilter. Het hogedrukgedeelte van de inspuitpomp en de verstuivers worden met de nauwkeurigheid van enkele microns vervaardigd. Dit wil zeggen dat verontreiniging in de brandstof invloed kan hebben op de werking van de inspuitpomp. Een slechte filtering van de gasolie kan schade veroorzaken aan de pompcomponenten, de perskleppen en de verstuivers. In de gasolie kan water zitten (eventueel ook condenswatervorming door temperatuurwisselingen). Wanneer dit water in de inspuitpomp komt, ontstaat er schade aan de pomp door corrosie. Daarom hebben de brandstoffilters een waterreservoir. Je moet dan het water af en toe afdalen.

#### b De werking van de dieselpomp

De bladceltoevoerpomp links (in feite niets anders dan een schottenpomp), voorgesteld in fig. 38 (maar 90 ° verdraaid), zuigt de gasolie aan en brengt ze op druk. De drukregelklep is een schuifklep, tegengehouden door een veer, waarmee de inwendige pompdruk afhankelijk van de toegevoerde brandstofhoeveelheid kan veranderd worden. Wanneer de brandstofdruk boven een bepaalde waarde stijgt, opent de klepplunjer de terugvoerpoort, die de overtollige brandstofhoeveelheid via een kanaal naar de aanzuigkant van de bladceltoevoerpomp doet terugvloeien. Is daarentegen de brandstofdruk te laag, dan blijft de terugvoerpoort ten gevolge van de veerkracht gesloten. De overstrom-smoorklep staat in verbinding met het inwendige van de pomp en laat via kleine boringen een variabele hoeveelheid gasolie terugvloeien.



Figuur 38

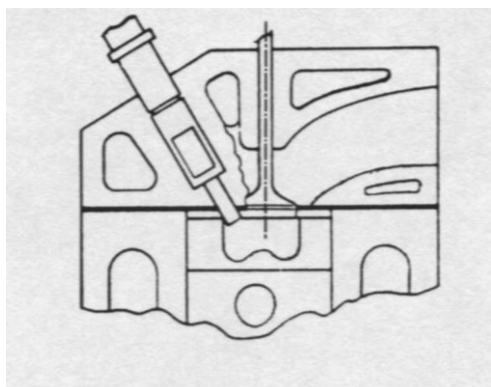
## 1.3.2 De directe en indirecte inspuiting

### 1.3.2.1 De directe inspuiting

#### a Kenmerken

- 1 De verstuiver staat rechtstreeks met de verbrandingskamer in verbinding.
- 2 De verbrandingskamer heeft zo een klein mogelijke wandoppervlakte, zodat de warmteverliezen gering zijn. De zuiger of de cilinderkop is uitgehold, omdat deze vorm de werveling van de samengeperste lucht bevordert, waardoor de verbranding vollediger is.
- 3 De verstuuving gebeurt door een meergatsverstuiver en de verstuuivingsdruk is hoog (150 - 300 bar). Zo wordt de gasolie zeer fijn verstoven.

De voorstelling van de directe inspuiting vindt u in fig. 39.



**Figuur 39**

#### b Voor- en nadelen ten opzichte van de indirecte inspuiting

##### Voordelen:

- 1 De uitlaat van de verbrande gassen is vollediger
- 2 Door de kleine wandoppervlakte zijn de warmteverliezen kleiner. Daardoor volstaat een lagere compressieverhouding en is het brandstofverbruik bijzonder laag.
- 3 De motor kan starten in koude toestand zonder voorverwarmen.

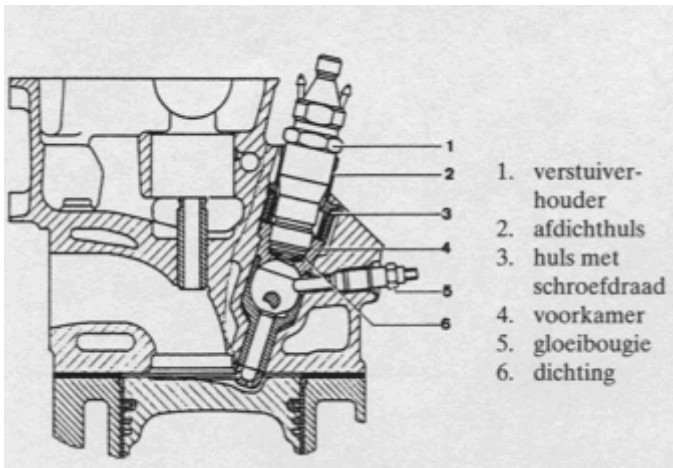
##### Nadelen:

- 1 De hoge inspuitdruk stelt hoge eisen aan de brandstofpomp en de verstuiver.
- 2 De meergatsverstuiver raakt vlugger verstopt dan de eengatsverstuiver.

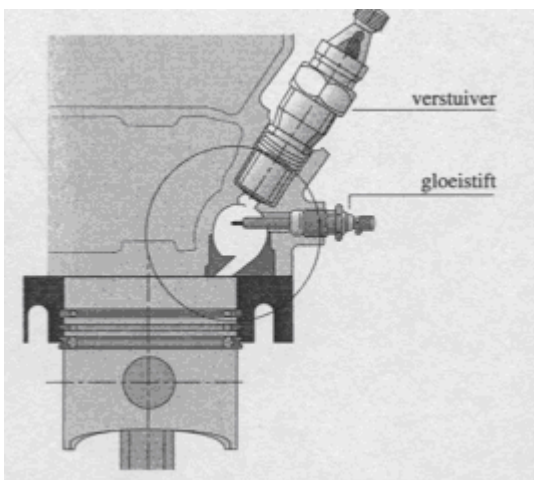
### 1.3.2.2 De indirecte inspuiting

#### a Met voorkamer

Kenmerken: de verbrandingsruimte bestaat uit twee delen. Eén deel wordt door de voorkamer ingenomen. Deze staat via enkele gaatjes in verbinding met de cilinderruimte. De voorstelling hiervan vindt u in fig. 40.



**Figuur 40**



**Figuur 41**

Werking: tijdens de compressie wordt de lucht tot in de voorkamer geperst. De eengatsverstuiver spuit alle brandstof hierin. Wegens de beperkte hoeveelheid lucht in de voorkamer kan er slechts een gedeelte van de gasolie ontbranden. Intussen verdampt een deel van de gasolie. De eerste ontbranding veroorzaakt een drukverhoging in de voorkamer, zodat de rest van de brandstof met hoge snelheid naar de cilinder verstoven wordt en daar verder verbrandt. De verbranding gebeurt dus in twee fasen en de voorkamer helpt de verstuiver bij het verstuiven van de gasolie.

#### b Met wervelkamer

Kenmerken: de wervelkamer wordt in de cilinderkop aangebracht en beslaat bijna de gehele verbrandingsruimte. Hij is bolvormig en staat met een tangentiaal kanaal in verbinding met de cilinder. Alle ingespoten brandstof komt in de wervelkamer terecht. Een voorstelling hiervan staat in fig. 41.

Werking: tijdens de compressie wordt de lucht tangentieel in de wervelkamer geperst, waardoor hij een snel ronddraaiende beweging maakt. Bij de ontbranding van de eerste brandstofstraal stijgt de druk in de wervelkamer boven deze van de cilinderruimte. De zuiger is intussen aan het dalen. De draaiing van de lucht in de wervelkamer keert om, zodat de lucht

vermengd met de brandstof, met hoge snelheid door het verbindingskanaal naar de cilinder wordt gestuwd.

c Voor- en nadelen van de indirecte inspuiting

Voordelen:

- 1 een lagere verstuiwingsdruk wordt bekomen (ongeveer 100 bar)
- 2 hogere toerentallen van de motor zijn mogelijk
- 3 een onderverdeling van de verbrandingsruimte in een hoofdverbrandingskamer en een voor- of wervelkamer zorgt voor een rustig verbrandingsproces

Nadelen:

- 1 er is voor het starten bijna altijd een hulpmiddel nodig wegens de warmteverliezen (een gloeibougie of een gloeiweerstand in de inlaat)
- 2 het rendement ligt lager, het brandstofverbruik dus hoger
- 3 de verbrandingsgassen blijven in de kamer achter, hierdoor krijgen we een minder goede vulling
- 4 een hogere compressieverhouding eist een zwaardere startmotor

### **1.3.3 De verstuivers**

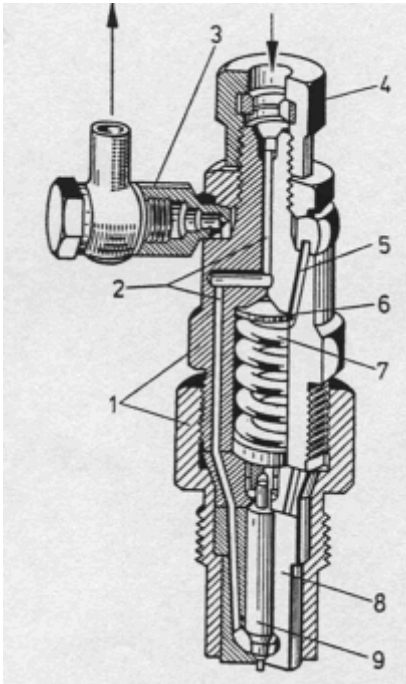
#### **1.3.3.1 Doel**

- 1 De gasolie onder de juiste inspuitedruk verstuiwen.
- 2 De gasolie in een fijne nevel verstuiwen.
- 3 De gasolie over de gehele verbrandingsruimte verdelen.

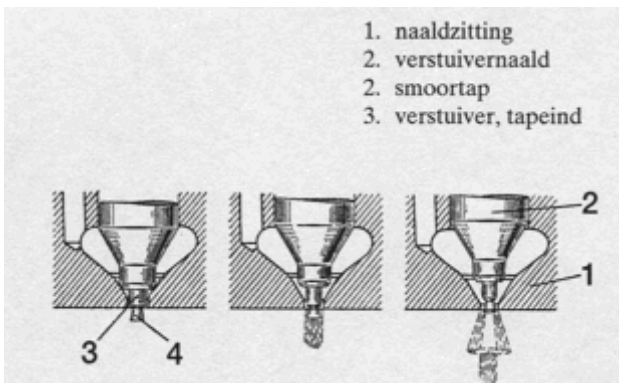
In de praktijk gebruik je drukverstuivers waarbij een naald door de druk op de gasolie omhooggelicht wordt. Naar de vorm van de naald maken we een onderscheid tussen tapverstuivers en gatverstuivers.

#### **1.3.3.2 De tapverstuivers**

De naald eindigt op een kegelvormige tap die door het verstuivergaatje steekt (zie fig. 42). Door de vorm van de inspuitedap wordt een voorinspuiting gerealiseerd. De verstuivernaald maakt bij het openen eerst een zeer smalle, ringvormige spleet vrij die slechts weinig brandstof doorlaat. Bij het verder openen (veroorzaakt door het stijgen van de druk) wordt de doorstroombdoorsnede groter en pas op het einde van de naaldslag wordt de grootste hoeveelheid gasolie ingespoten. Deze verstuivers gebruikt men in motoren met indirecte inspuiting.



Figuur 42a



Figuur 43b

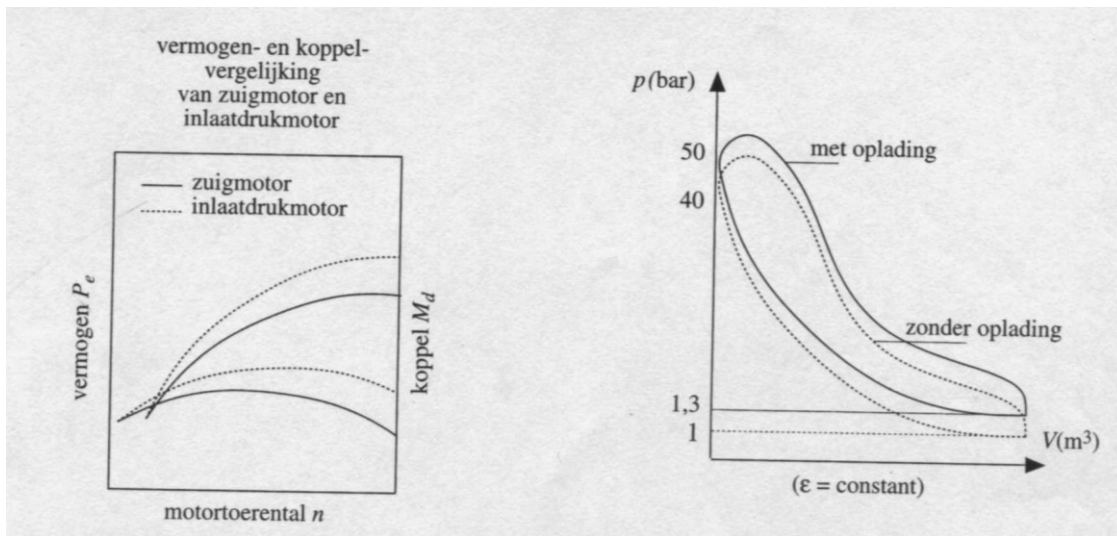
De naald heeft een scherpe, kegelvormige top, maar het aantal en de richting van de gaatjes kunnen zeer verschillend zijn afhankelijk van de vorm van de verbrandingskamer. Men spreekt in de praktijk van eengatsverstuivers (bij indirecte inspuiting) en meergatsverstuivers (bij directe inspuiting).

### 1.3.4 De drukvulling

#### 1.3.4.1 Inleiding

Indien je bij een viertaktmotor lucht onder een overdruk in de cilinder blaast, spreek je van opladen (vuldruk tot 1,3 bar). Op die manier kan je een grotere massahoeveelheid lucht in de cilinder brengen en dus een grotere hoeveelheid dieselolie rookvrij verbranden. Het vermogen en het koppel van die motor kunnen zo opgedreven worden (zie fig. 43). Het (p,V)-diagram van de dieselmotor met oplading ligt hoger en de oppervlakte is groter dan bij een motor zonder oplading. Omdat nu de druk in de cilinder groter is, krijg je daarin een verhoogde

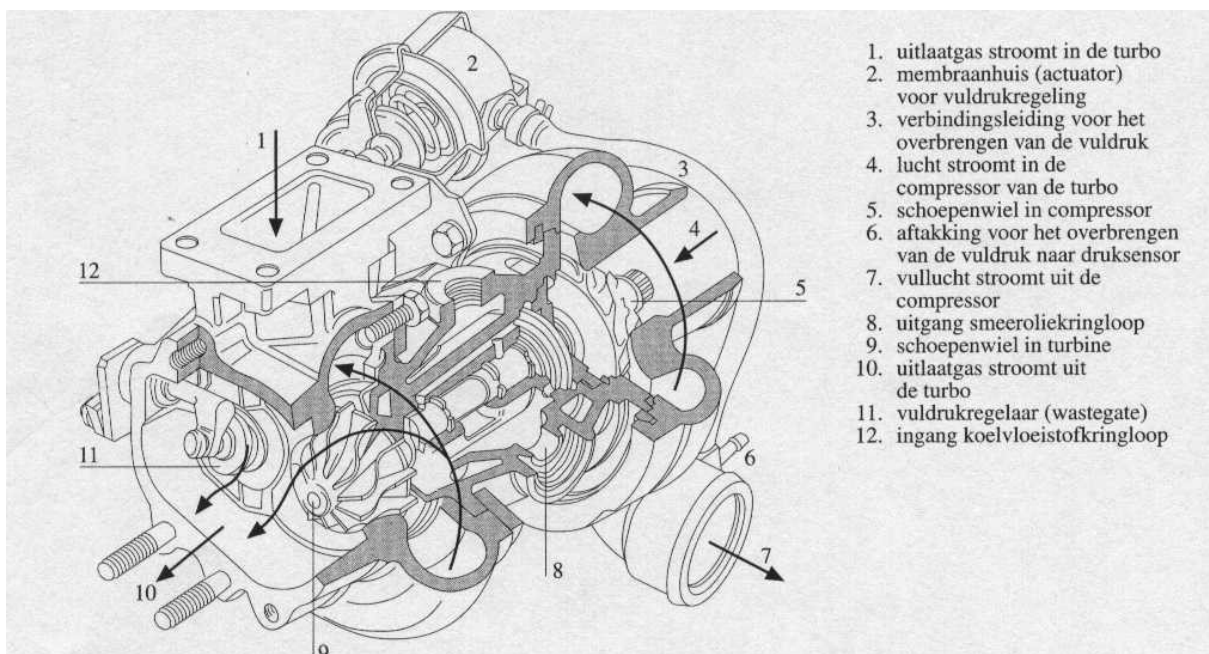
temperatuur. Je laat dan zowel de in- en uitlaatklep gedurende een bepaalde tijd openstaan, zodat de cilinder goed gespoeld en gekoeld wordt. Voor de oplading gebruik je een turbocompressor.



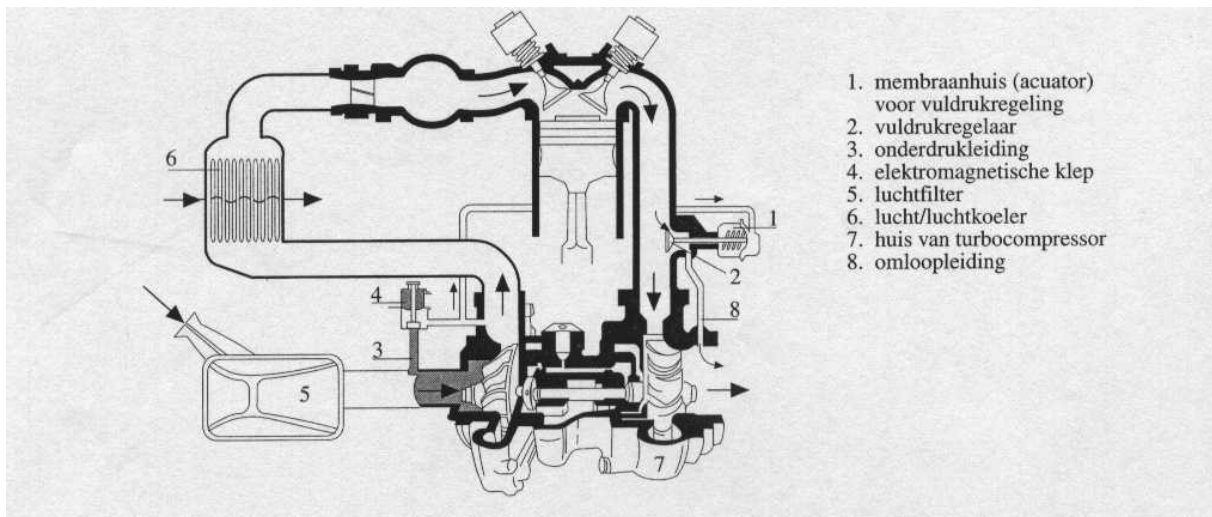
Figuur 43

### 1.3.4.2 Principe

De turbocompressor wordt voorgesteld in fig. 44 en het principe van de turbo-inlaatregeling vind je in fig. 45.



Figuur 44



1. membraanhuis (acuator) voor vuldrukregeling
2. vuldrukregelaar
3. onderdrukleiding
4. elektromagnetische klep
5. luchtfilter
6. lucht/luchtcooler
7. huis van turbocompressor
8. omloopleiding

**Figuur 45**

Je laat door de uitlaatgassen een schoepenwiel (9) (turbinerad) draaien. Op dezelfde as van de turbine zit er een tweede schoepenwiel (5) (verdichterrad) dat de aangezogen lucht in de cilinders jaagt. Deze turbocompressor kan in bepaalde gevallen zeer snel draaien (bv 100000 t/min). Omdat het lucht-compressievermogen van de turbo-inlaatregelaar niet parallel met de luchtbehoefte van de motor verloopt, is een regelinrichting vereist. Deze regelinrichting sluit overladen bij hogere toerentallen uit. Van zodra de maximale inlaatdruk overschreden wordt, leidt een afblaasklep (11) die in de verkorte leiding tussen aanzuig- en uitlaatbuis ingebouwd zit, een deel van de uitlaatgasstroom direct in de uitlaatpijp. De druk stijgt niet meer. Wanneer de temperatuur van de inlaatlucht te hoog oploopt, wordt de lucht tussen inlaatuimte en motorinlaat ((6) in fig. 45) gekoeld. Hierdoor verhoogt de soortelijke massa van de voorgecomprimeerde lucht en kan je een zo groot mogelijke massa lucht in de cilinder krijgen. Dit laatste wordt in de praktijk ook interkoeling genoemd.



## 2 De waterrem

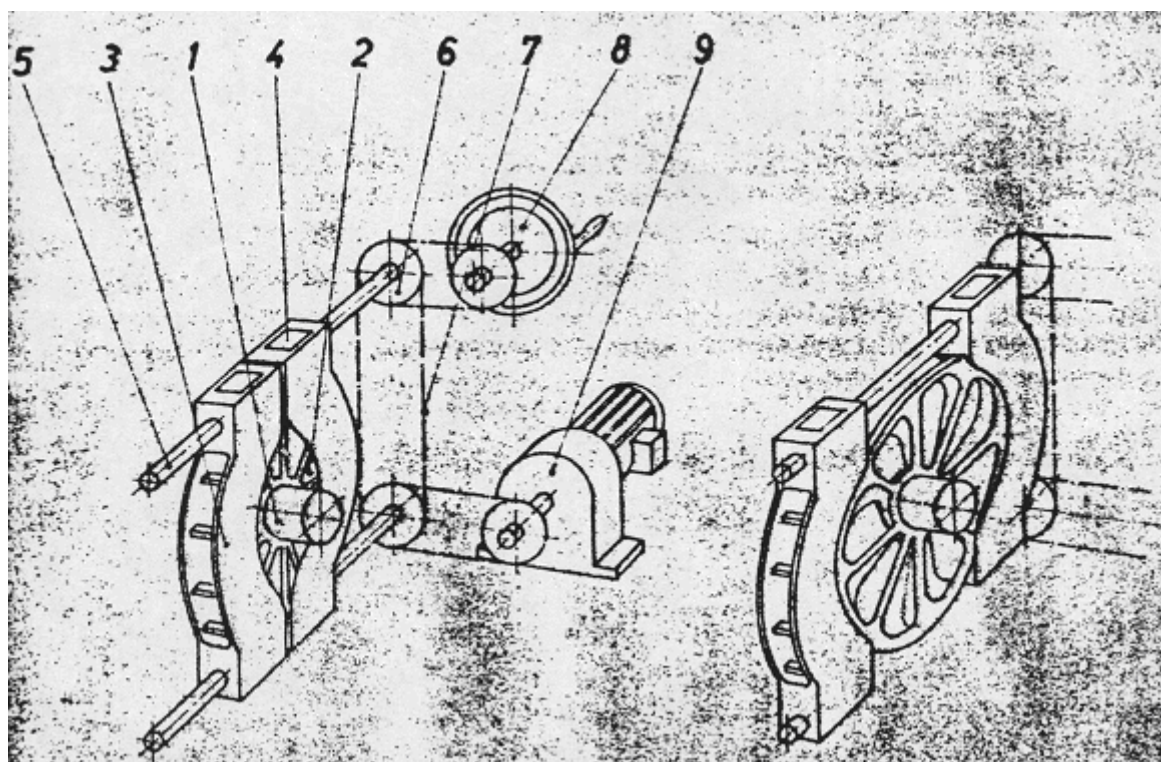
### 2.1 Inleiding

D'Haene is een bedrijf gespecialiseerd in het hardchromen van assen en het reviseren van motoren. De firma heeft acht werknemers in dienst en er staan verschillende machines. Er staan twee CNC-gestuurde en evenveel conventionele slijpmachines en een hoop draibanken. Het bedrijf heeft een chemische afdeling waar de assen gechromeerd worden. In het andere deel worden de motoren gereviseerd. Het grote probleem is dat men nu, nadat er een motor is gereviseerd, die niet kan laten draaien om lekken en andere problemen op te sporen.

### 2.2 De Zöllner waterrem

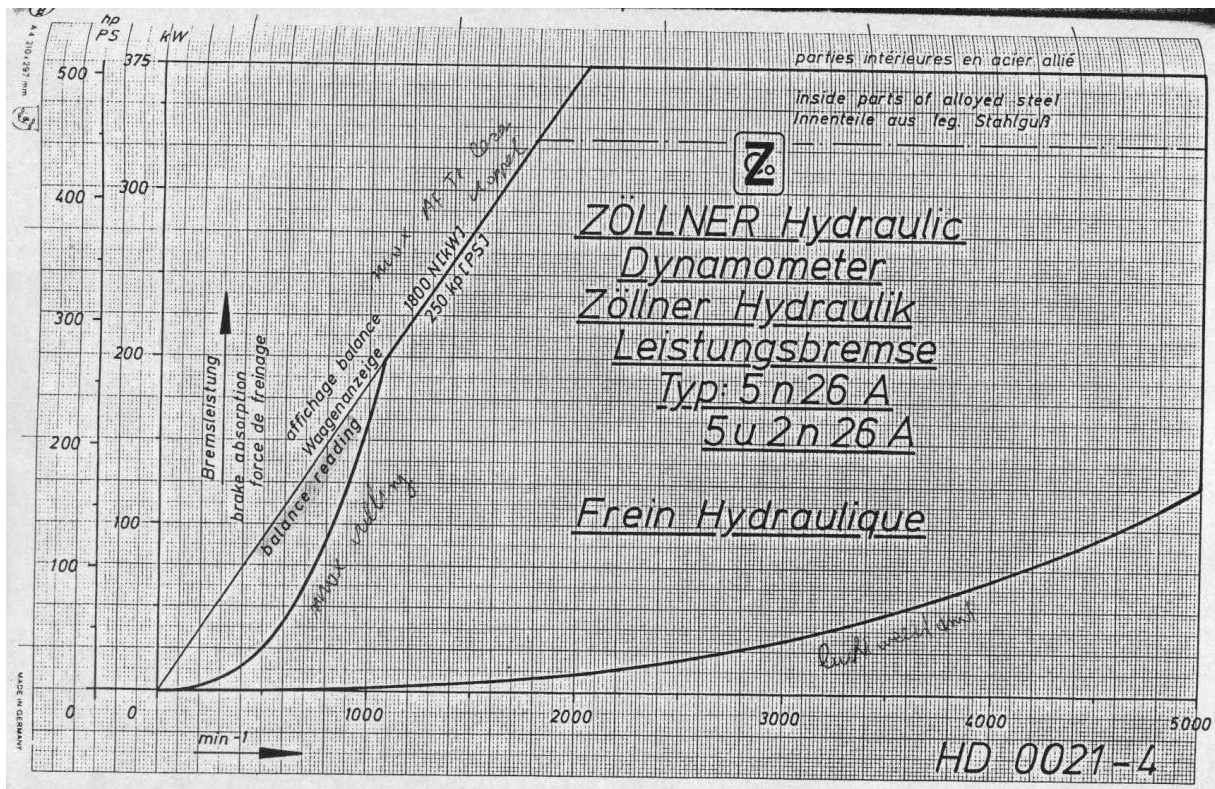
In het bedrijf D'Haene staat een Zöllner waterrem die een maximaal vermogen van 375 kW (500 pk) kan afremmen. Deze rem werd gebouwd in het jaar '86 en er werden reeds wat verbeteringen aangebracht: zo werd er een servomotor geplaatst, waarmee men de schijven op een afstand kan bedienen en aldus de remming (belasting) van de motor kan regelen.

Een Zöllner rem werkt anders dan zijn concurrent schenk. Schenk remmen zijn debietremmen. Door het doorstroomdebiet te veranderen regel je de hoeveelheid water tussen rotor en stator, waardoor de belasting varieert. Een Zöllner rem is altijd volledig met water gevuld, maar door de schuiven te veranderen kunnen we het remkoppel laten variëren. Het nummer 3 geeft zo'n schuif weer.



De bedoeling van de waterrem is de motor te kunnen belasten op verschillende manieren. Men kan door de belasting te laten toenemen een constant toerental behouden, als men de gashendel opendraait. Deze methode is manueel instelbaar. Als je via een computer de rem kan sturen, kan je verschillende belastingsconcepten beschouwen. Je kan ervoor zorgen dat het koppel constant blijft ongeacht het gas geven. Dan moet automatisch de remkracht mee aangepast worden.

Elke rem heeft een bepaald werkingsgebied. Dit gebied wordt bepaald door maximum koppel, maximum toerental en de luchtweerstand van de ongevolde rem en het maximum afleesbaar koppel dat de rem kan afbeelden. Het is belangrijk op voorhand te weten welke motoren getest worden. Sommige benzinemotoren zullen niet getest worden op vol vermogen, omdat bij lage vermogens en hoge toeren het werkinggebied niet toereikend is.



## **2.3 De regenwaterput**

Het koelwater zit in een gesloten circuit. We opteren ervoor om een waterput met inhoud van 20 000 liter te plaatsen, waarvan de overloop in verbinding staat met de twee andere reeds aanwezige citernes.

## **2.4 Veiligheid**

### **2.4.1 Afscherming**

Eerst en vooral moet de cabine geluidsisolerend zijn. Het is de bedoeling om tijdens het testen de poort open te zetten, waardoor we voldoende zuurstof en ventilatie hebben. We opteren ervoor om de sturing van de rem buiten de cabine te plaatsen. Er komt een ruit in de cabine die het zicht over de bank waarborgt. In een later stadium zullen een computer en printer naast de cabine geplaatst worden. Het is de bedoeling om via analoge, digitale data acquisitiekaart informatie van sensoren te kunnen binnenlezen en via relais de nodige sturing te veranderen.

We moeten nu reeds weten hoe we de cabine zullen bouwen, omdat er twee mogelijkheden zijn om motoren te plaatsen. We kunnen motoren plaatsen via de rolbrug, in dit geval moet het dak van de cabine open kunnen. De andere mogelijkheid bestaat erin de motoren via de clark tot juist voor de bank te voeren. Dan zou er in de cabine een manueel verduwbare loopkat moeten komen.

### **2.4.2 Rolbrug**

Enkele voorbeelden van rolbruggen.





### 2.4.3 Loopkat

Hier een voorbeeld van een loopkat.



Het is wel belangrijk om te weten of we met een rolbrug of een loopkat zullen werken: als we met de rolbrug zouden werken, mag de bank niet helemaal tegen de muur geplaatst worden,

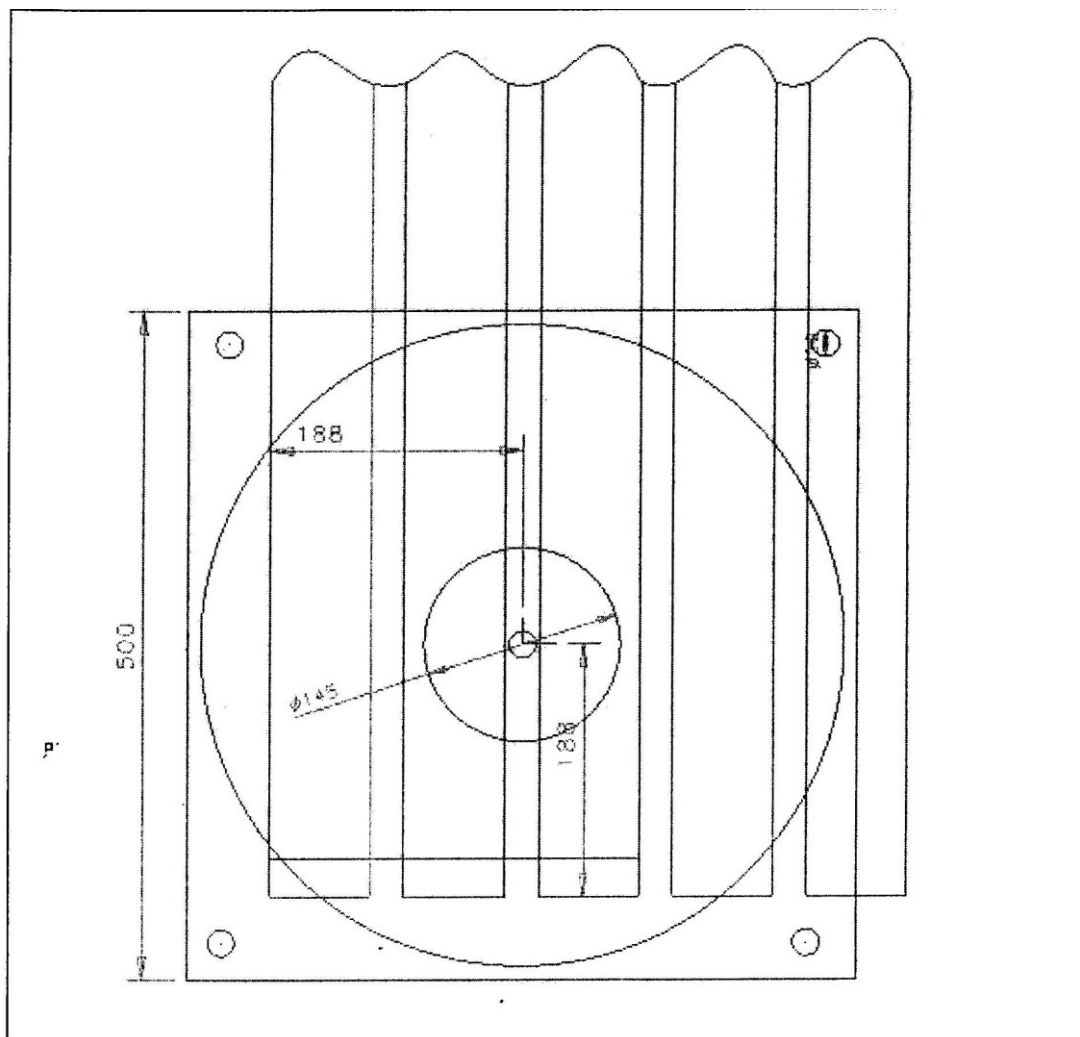
omdat het bereik van de rolbrug beperkt is tot 1,5 m van de muur. Indien we met een loopkat zouden werken, kan de bank veel verder naar achteren geplaatst worden. De voorziening van benzine en diesel moet ook berekend worden. Wij verkiezen om twee vaten naast de cabine te plaatsen en de nodige leidingen naar de bank te voorzien. Voor de koeling opteren wij voor een grote vrachtwagenradiator.

## 2.5 Silentblokken

Silentblokken is een materiaal (rubber, etc..) dat ervoor zorgt dat de trillingen minder worden doorgegeven aan de oppervlakte of vloer waarop de motortestbank staat.

### 2.5.1 Bepalen van steunflens

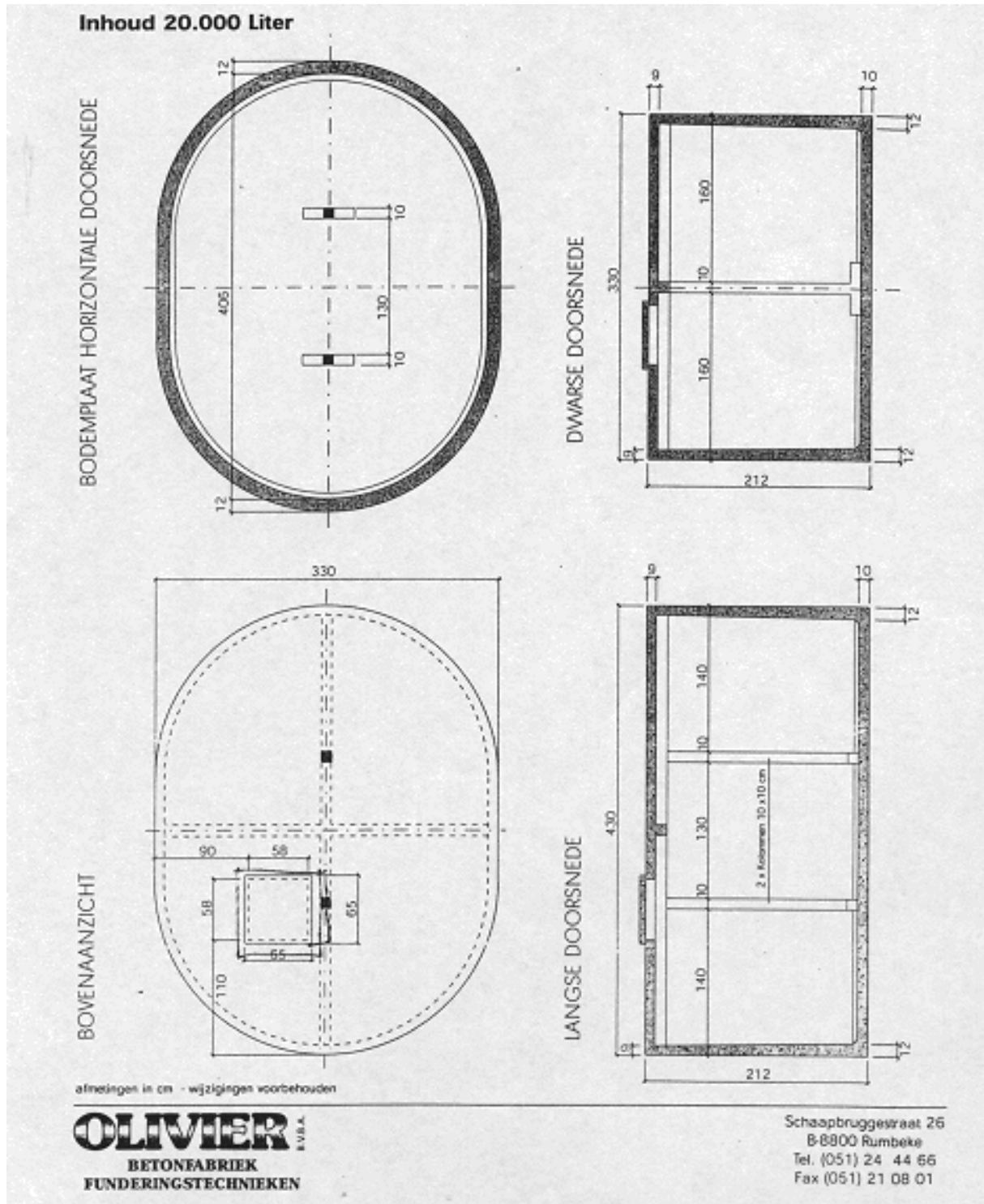
De silentblokken worden onder de bank geplaatst op een afstand van 180 mm van de uiteinden van de bank. Zo blijft er genoeg ruimte over om de blok vast te maken aan de grond of kan er eventueel gewerkt worden met een antislipmat. De blokken moeten voorzien zijn van perslucht op een druk van 5 bar.



## 2.6 Componenten waterinstallatie bedrijf D'Haene

### 2.6.1 De waterput

De waterput heeft een inhoud van 20 000 liter en kost 1 389 euro.



## 2.6.2 Toe- en afvoerleidingen

## 2.6.3 Elektrische aansluitingen

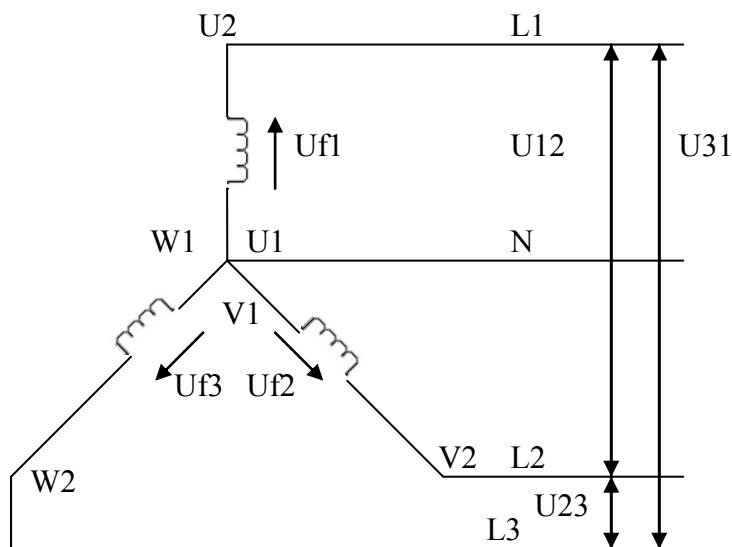
Elektrische aansluiting van een 3-fasige 3 kW pomp, die zowel in driehoek als in ster kan worden geschakeld.

### 2.6.3.1 De sterschakeling

#### 2.6.3.1.1 Definitie

Bij een sterschakeling moet men alle beginpunten aan elkaar verbinden ofwel alle eindpunten aan elkaar verbinden.

#### 2.6.3.1.2 Schema



Een lijn is een draad die de bron met de gebruiker verbindt.

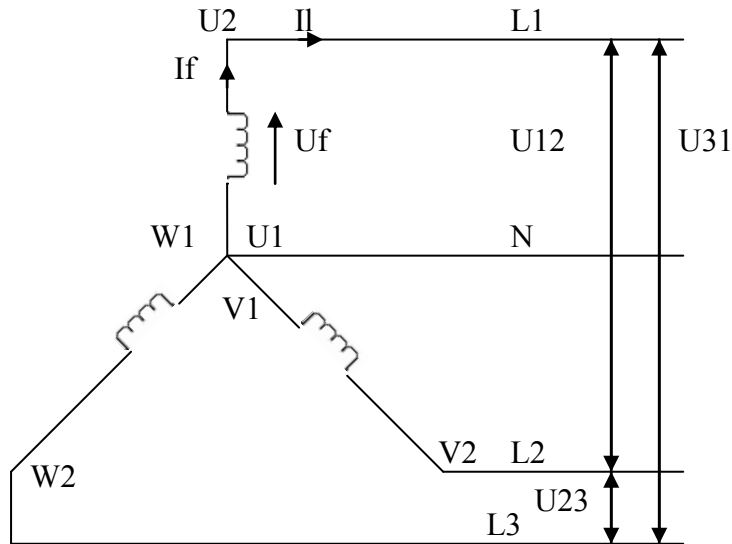
#### 2.6.3.1.3 Verband tussen de spanningen

$U_{f1}, U_{f2}, U_{f3}, U_f$  = een fasespanning

$U_{12}, U_{23}, U_{31}, U_l$  = een lijnspanning

$$U_1 = \sqrt{3} \cdot U_f$$

### 2.6.3.1.4 Verband tussen de stromen



$$I_1 = I_f$$

$Z$  = aan de impedantie

$$Z_1 = Z_2 = Z_3$$

$$\begin{aligned} I_n &= I_1 + I_2 + I_3 \\ &= (U_1/Z) + (U_2/Z) + (U_3/Z) \\ &= (1/Z) \cdot (U_1 + U_2 + U_3) \end{aligned}$$

$$I_n = 0$$

Bij een evenwichtige belasting is  $I_n$  gelijk aan 0, want  $(U_1 + U_2 + U_3 = 0)$

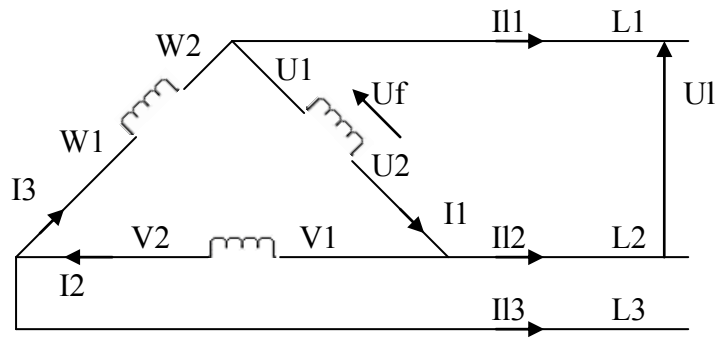
## 2.6.3.2 De driehoekschakeling

### 2.6.3.2.1 Definitie

Het eindpunt van een fase wordt verbonden met het beginpunt van een andere fase.

### 2.6.3.2.2 Schema





$$U_1 = U_f$$

### 2.6.3.2.3 Verband tussen de stromen

$$\begin{aligned} I_3 &= I_1 + I_{11} \Rightarrow I_{11} = I_3 - I_1 \\ I_1 &= I_2 + I_{12} \Rightarrow I_{12} = I_1 - I_2 \\ I_2 &= I_3 + I_{13} \Rightarrow I_{13} = I_2 - I_3 \end{aligned}$$

Bij een evenwichtige belasting is  $I_1 = \sqrt{3} \cdot I_f$

## 2.6.4 Drukleiding vanaf de pomp

## 2.6.5 Drukleiding op de rem

## 2.7 Watersysteem

### 2.7.1 Probleemstelling

Na het plaatsen van de bank en de elektrische stuurkast moet nu de aansluiting van de watertoevoer en -afvoer worden bekeken. Er wordt een horizontale meertrapscentrifugaalpomp bijgeleverd en die pomp gebruiken we als startwaarde voor het debiet, met als gevolg een temperatuursstijging.

Er zijn verschillende mogelijkheden voor het koelsysteem. We kunnen werken met een waterbak die op een bepaalde hoogte staat, maar omdat we 3 bar toevoerdruk nodig hebben, is deze mogelijkheid uitgesloten. Een andere mogelijkheid is werken met een warmtewisselaar en een klein gesloten circuit. In het bedrijf zijn er reeds twee citernes aanwezig die gebruikt worden voor koelwater van de gelijkstroomrichters en het chroombad. Omdat in de hete zomer van het jaar 2003 de koeltemperatuur boven de 50 °C was geklommen, opteert D'Haene voor een extra waterput waaruit men in nood koelwater kan halen.

Voor de testbank zal er dus een put geplaatst worden met een capaciteit van 20 000 liter water. De bestaande pomp zal het water via een pvc of socarex toevoerleiding opzuigen met een debiet van 7 m<sup>3</sup> / uur bij 2 850 r/min. In de put zal op de toevoerleiding een waterslagklep worden geplaatst, omdat de pomp niet zelfaanzuigend werkt. Daarnaast komt ook een drukregelaar of drukventiel die de toevoerdruk van de pomp zal reduceren tot 3 bar. De druk moet manueel regelbaar zijn tussen de 2,5 en de 3,5 bar. De nodige toevoerdruk varieert immers met de temperatuur van het koelwater.

### 2.7.2 Berekeningen

Gegeven:  $q = m \cdot c \cdot \Delta T$   
C water : 4,2 10<sup>3</sup> Kj / Kg k  
 $M = \rho \cdot V$

Het volledige geleverde vermogen van de motor wordt volledig in warmte omgezet. Voor onze bank is het maximum toe te voeren vermogen: 375 kW. 1 kg water = 1 liter

Gevraagd: Bepalen van debiet vertrekkend van maximale opwarming in de rem.

Oplossing: Toegestane  $\Delta T$  van 40 °C:                      Toegestane  $\Delta T$  van 30 °C:

$$Q = m c \Delta T$$

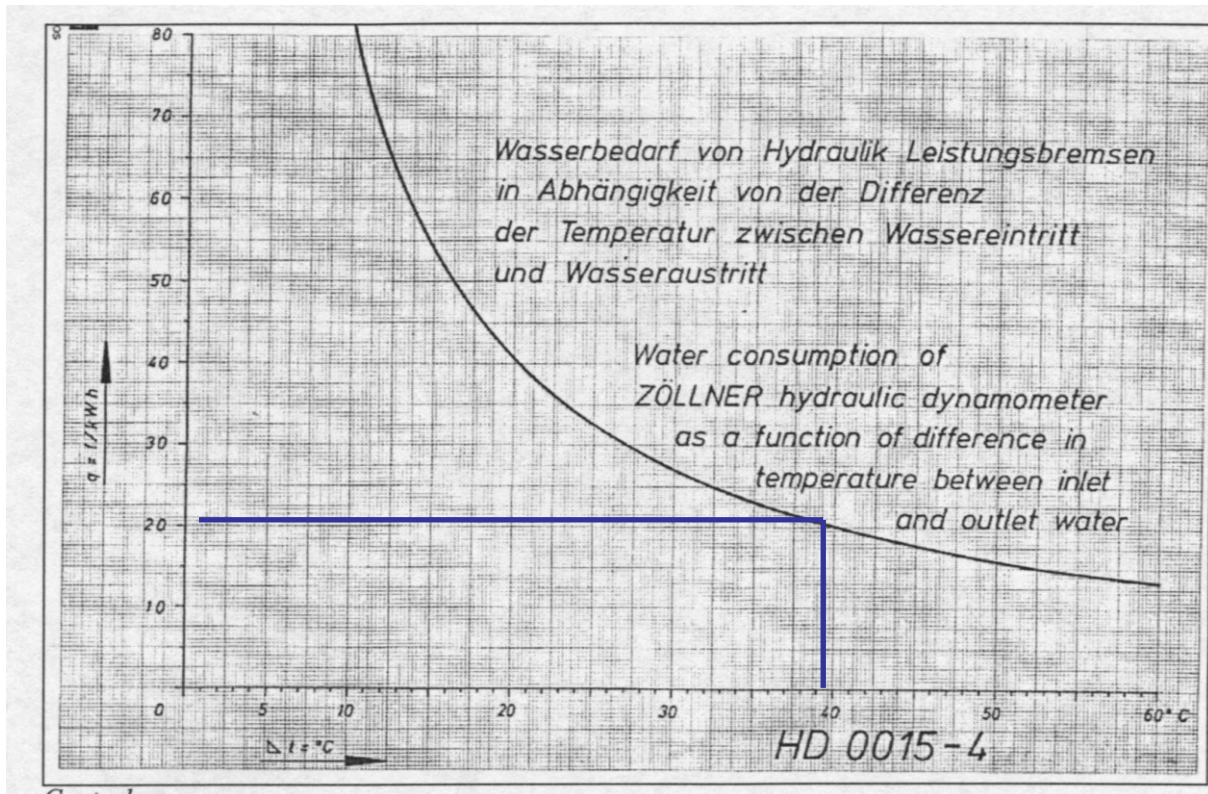
$$375 \cdot 10^3 = 4,2 \cdot 10^3 \cdot M \cdot 40 \qquad 375 \cdot 10^3 = 4,2 \cdot 10^3 \cdot M \cdot 30$$

kg / s = l/s

$$M = 2,2 \text{ l/s} \qquad M = 2,97 \text{ l/s}$$

(7,92 m<sup>3</sup> / u)                      (10,714 m<sup>3</sup>/u)

M = de hoeveelheid water die per seconde door de rem moet passeren.



Controle:

$$\Delta T \text{ van } 40 \text{ }^\circ\text{C}: 20 \text{ l/kWh} : 375 \text{ kW} = 7500 \text{ l/u}$$

Omdat de pomp maar net die 8 m<sup>3</sup> kan halen, zullen we verder rekenen met een debiet van

$$\Rightarrow 7 \text{ m}^3 / \text{uur} = 2 \text{ l/s}$$

Opwarming van het koelwater bij put van 20 m<sup>3</sup> zonder warmtewisselaar:

$P = 375 \text{ kW}$ . Er wordt dus per seconde 375 kJ arbeid verricht, vermits alle arbeid in warmte wordt omgezet: 375 kJ warmte per seconde.

$$Q = P \cdot T$$

$$Q = 375 \text{ kJ} \cdot 3600 \text{ s} \quad Q = 1,35 \cdot 10^6 \text{ kJ per uur}$$

Vol vermogen om 20 000 liter te verwarmen:

$$375 \cdot 10^3 \cdot 3600 = 20000 \cdot 4200 \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = 16,07 \text{ }^\circ\text{C/ uur}$$

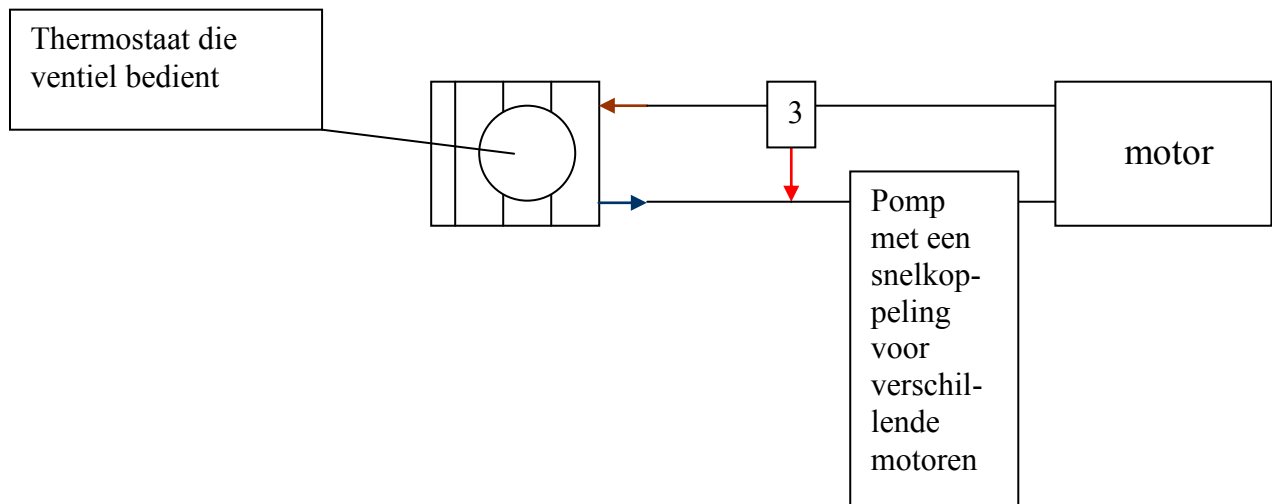
### 2.7.3 Berekenen van een 3-wegventiel

Om een universeel koelsysteem te ontwerpen kunnen we gebruik maken van een 3-wegventiel. Dit ventiel kan motorisch of pneumatisch aangedreven worden. Er bestaan twee

grote karakteristieken van de afsluiters: lineaire en logaritmische. Bij de logaritmische afsluiters hebben we nog eens de verdeling tussen theoretisch en aangepast.

## 2.8 Radiator en 3-wegventiel

Er komt een klein en een groot koelcircuit. Het kleine koelcircuit dient om de motor snel op bedrijfstemperatuur te krijgen. Voor kleinere motoren is dit noodzakelijk, omdat het (indien de motor rechtstreeks aan de radiator gekoppeld zou zijn) veel te lang zou duren vooraleer de motor warm krijgt. Door middel van een 3-wegventiel zal de toevoer naar het tweede circuit meer opengezet worden en zodoende meer water gekoeld worden via de externe radiator. Het ventiel wordt aangestuurd door een temperatuursonde met regeleenheid. Voor de externe radiator wordt er een ventilator geplaatst met een schoepdoorsnede van 80 cm. De radiator zou juist voor een poort komen te staan die opengaat bij het testen. Positie van de bank in bedrijf is voor een poort.



- **Voordelen**

- Zowel kleine als grote motoren kunnen met eenzelfde systeem gekoeld worden. Als er meer koeling gevraagd wordt, dan zal het 3-wegventiel meer en meer opengezet worden.
- Betrekkelijk goedkoop. Een F90 radiator tweedehands kost +/- € 250. Een extra koeling voor de intercooler kost nieuw € 500. De multivan ventilator kost € 300 met bijgeleverde asynchrone motor.

- **Nadelen**

- De radiator kan verkalken.
- Er zijn waarschijnlijk twee radiatoren nodig omdat één enkele maar voldoende is voor 360 PK tot 420 PK.
- Verschillende diameters zullen nodig zijn om koppelingen naar de motor te maken.
- Het 3-wegventiel kost € 1 800 en de servomotor kost € 800 voor een diameter van 80 mm.

- **Totale kosten:**

- $250 + 300 + 1\,800 + 800 = €\,3\,150$

## 2.9 De probleemstellingen

### 2.9.1 Het koelwatersysteem

➤ **Probleemstelling:**

- De rem heeft een vermogen van 375 kW en moet van water worden voorzien. Omdat dit water niet boven de 60 °C mag oplopen, moet er een koelinstallatie worden berekend. Het water warmt ongeveer 40 °C per uur op bij vol vermogen en een debiet van 7 m<sup>3</sup>/u (max. debiet van bijgeleverde pomp).

➤ **Oplossing 1:**

- We gebruiken een beperkte hoeveelheid water en laten dit via een radiator of warmtewisselaar afkoelen. Zo bekomen we een gesloten systeem dat onderhoudsarm is.
  - **Voordelen**
    - onderhoudsarm
    - neemt weinig ruimte in
    - De opvoerpomp heeft minder vermogen nodig en de drukval is geringer, omdat de aanzuigleiding korter is.
  - **Nadelen**
    - duur
    - De inbouwruimte binnen het bedrijf is beperkt om een watertank van min. 6 000 liter te plaatsen.
    - Het water wordt niet verversd en men moet dan speciaal water aanschaffen om bacteriën tegen te gaan.

➤ **Oplossing 2:**

- Er kan een regenwaterput geplaatst worden die genoeg capaciteit heeft om zonder extra koeling de rem met water die tussen de ( 10 tot 30 °C ) heeft te kunnen voeden. De regenwaterput wordt voorzien van een overloop die in verbinding staat met de twee reeds aanwezige citernes.

- **Voordelen**

- Regenwater is gratis
- De starttemperatuur is laag rond 10 °C
- Het water wordt ververst door nieuw regenwater
- Het systeem is onderhoudsarm
- Er zijn al twee citernes aanwezig, waardoor het geen probleem vormt om de overloop via de bestaande afvoer aan te koppelen

- **Nadelen**

- Er is scheurgevaar door het graven van een put naast een bestaand atelier. De grond bestaat vanaf één meter diepte voornamelijk uit blauwe klei en dit is een goed teken.
- De plaatsingskosten zijn duur : de aarde moet afgevoerd worden. De put moet aangeschaft en geplaatst worden. Er moet een mangat gemetst worden en koppelingen voorzien worden voor de toevoer- en afvoerbuizen van en naar de rem. Tevens moet de overloop verbonden worden met de vorige citernes.

➤ ***Uiteindelijke keuze D'Haene :***

D'Haene opteerde al vroeg om een citerne aan te schaffen. Men had daarvoor een reden. De twee andere citernes worden als koelwater voor de chromage-afdeling gebruikt. Omdat tijdens de hete zomer van 2003 de koeltemperatuur te hoog opliep, opteert men om die derde citerne als reservekoelwater te voorzien. In geval van een te hoge temperatuur zou men via een dompelpomp koelwater daaruit pompen en zo de eerste twee laten afkoelen. Zo bespaart men kosten op water en is er steeds een grote hoeveelheid koel water aanwezig.

## **2.9.2 Derde citerne als extra koeling**

➤ **Oplossing 1:**

De eerste twee citernes worden aan elkaar gekoppeld door een overheveling. Door een buis van de ene citerne naar de andere te laten vloeien en die te voorzien van een elleboog bekomt men een gevelsysteem. Door de wet van de communicerende vaten

blijft het niveau in elke citerne even hoog en worden ze gelijkmatig gevuld, als ze zouden worden leeggezogen.

○ **Voordelen**

- De citernes staan met elkaar in verbinding : ze staan altijd op dezelfde hoogte en vullen gelijkmatig
- Bij leegzuigen worden ze allebei opnieuw gevuld
- De koelcapaciteit wordt verdubbeld

○ **Nadelen**

- Mocht de derde citerne ook verbonden worden via een overheveling, dan zou de temperatuur stijgen

➤ **Oplossing 2:**

De derde citerne zou geplaatst worden naast de bestaande twee . De overloop zou met de riool verbonden worden, zodat alle citernes een gemeenschappelijke overloop hebben. Er zou geen overheveling worden voorzien met de vorige.

○ **Voordelen**

- De derde citerne warmt niet op door de vorige
- We hebben een apart circuit voor de rem
- Bij gebruik van de rem warmen de eerste twee ook niet op, waardoor er geen temperatuurstijging van het koelwater voor de chromage wordt veroorzaakt door gebruik te maken van de testbank.

○ **Nadelen**

- De niveauregeling wordt niet gewaarborgd
- Indien er extra koelwater nodig is voor de chromage, dan moet men via een dompelpomp water van de derde naar de eerste twee pompen.

➤ **Uiteindelijke keuze van D'Haene:**

D'Haene opteert om de derde citerne te plaatsen en de overloop gemeenschappelijk met de andere te verbinden. Er wordt een mangat van 80 op 80 gemetst en voorzieningen gestoken voor een 1/ ½ duim buis en een afvoer van 160 in pvc. Er wordt geen overheveling gestoken.

### 2.9.3 Capaciteit van koelwater voor de rem

➤ **Probleemstelling:**

Omdat we nu opteerden voor een gesloten koelsysteem moet de capaciteit van het koelwater ruim voldoende zijn zodat we niet aan een uittredende temperatuur van 80 °C zouden komen. De redenen om dit te vermijden zijn : kalkafzettingen en het gebruik van pvc afvoerleidingen.

➤ **Oplossing 1:**

Uit de berekeningen kunnen we afleiden dat hoe groter het debiet naar de rem is hoe minder het water zal opwarmen. Bij een debiet van 7 m<sup>3</sup>/u op vol vermogen (375 kW) mag je rekenen dat het water 40 °C zal opwarmen. Als je het debiet opdrijft naar 15 m<sup>3</sup>/u, dan warmt het water nog 20 °C op. Als we rekenen met een capaciteit van 20 000 liter, dan warmt het water 16 °C per uur op bij vol vermogen. Bij twee uur op vol vermogen draaien, wordt de eindtemperatuur van het water 50 °C.

○ **Voordelen**

- Met 20 000 liter zitten we aan de veilige kant en hebben we een grote reserve voor de chromage

○ **Nadelen**

- De put is iets duurder
- De put die gegraven moet worden, is groter en zal bijgevolg dichter bij de bestaande muur moeten gegraven worden. Het gevaar op scheurvorming vergroot.

➤ **Uiteindelijke keuze van D'Haene:**

D'Haene opteerde om een citerne van 20 m<sup>3</sup> aan te schaffen en te laten plaatsen naast de reeds bestaande twee. Het gehele werk (put graven, aarde wegvoeren, plaatsing van de citerne, verstevigingen met stabilise aan de muurkant, plaatsing van het mangat en aansluitingen voor de buizen), zal uitbesteed worden.

### 2.9.4 Positie van de bank

➤ **Probleemstelling:**

De bank moet geplaatst worden op een goed bereikbare plaats die voorzien kan worden van een kraansysteem. De motoren kunnen tot 1 000 kg wegen. Omdat een testruimte zeer snel warm wordt, moet er ook een ventilatievoorziening zijn.



➤ **Oplossing 1 : voor de poort**

De bank wordt geplaatst voor een poort achteraan in het bedrijf. Er bestaat een mogelijkheid om gebruik te maken van de rolbrug.

○ **Voordelen**

- Huidige positie
- Centrale ruimte binnen bedrijf
- Perslucht en watervoorziening
- Geringe koeling van de testruimte zelf
- Indien we met een radiator werken, dan kan die precies voor de poort staan. Dan staat die als het ware *buiten* maar na de test - als de poort wordt gesloten - staat hij weer *binnen* en wordt corrosie verminderd.
- Er moeten geen gaten in de muur worden geboord. Daardoor zullen de kosten bij de plaatsing gedrukt worden.

○ **Nadelen**

- Geluidsoverlast voor de burens
- Als het regent, moeten de uitlaatgassen altijd afgezogen worden. Men moet dan een constructie maken, waarop de ventilator op een bepaalde hoogte komt te staan, maar net voor de poort. Indien de poort gesloten wordt, mogen er geen leidingen onder zitten. De uitlaattemperaturen kunnen oplopen tot 700 °C. Er bestaat daardoor een mogelijkheid dat de poort smelt door de stralingswarmte.
- Alle aanzuigleidingen moeten onder de poort door lopen. Er moeten dus gleuven in de betonnen vloer worden gemaakt.
- De muren van de afschermingcabine zijn behoorlijk dik (tot 30 cm) voor geluidsisolatie. Door de aanstaande machine is er maar een vrije ruimte van 13 cm en zal er een opening moeten worden voorzien om nog aan die bestaande machine te kunnen.
- Er kan niets meer binnenkomen via de achterpoort
- Deze poort wordt vaak opengezet voor frisse lucht binnen de werkplaats.

➤ **Oplossing 2 : voor een bestaande muur**

De bank wordt geplaatst tegen een vaste muur.

○ **Voordelen**

- Perfecte aansluiting van de afschermingmuren tegen de achterwand.
- De poort blijft bereikbaar voor andere toepassingen, zoals de ventilatie van het atelier.
- Veel bevestigingsmogelijkheden voor de afzuigventilator via boutverbindingen in de muur.

○ **Nadelen**

- Er moeten in de muur gaten worden gemaakt voor de ventilator die de uitlaatgassen moet afzuigen.
- De radiator met asynchrone motor die de ventilator aandrijft staat buiten en moet worden beschermd tegen corrosie.
- Plaatsing in het atelier zelf. Door de verschillende machines wordt het wellicht moeilijk om een vrije wand te vinden om de bank te plaatsen.

➤ **Uiteindelijke keuze D'Haene:**

D'Haene opteert om de huidige positie van de bank te behouden: de bank blijft voor de poort staan.

## **2.9.5 Exacte plaatsing van het frame van de bank**

➤ **Probleemstelling:**

Het frame van de bank bestaat uit aan elkaar gelaste I 160-profielen. Het grote probleem is de exacte plaats waar de bank moet komen. De bank komt voor een poort te staan die opengezet zal worden als er getest wordt. De uitlaatgassen kunnen dan rechtstreeks naar buiten geblazen worden. Nu is de grote vraag of we de motoren met de bestaande rolbrug zullen plaatsen, dan wel of er een extra kraansysteem moet voorzien worden bij de bank zelf.

➤ **Oplossing 1 : Rolbrug**

Als we de motoren via de rolbrug zouden laten plaatsen, moet er een mogelijkheid bestaan om het dak van de afschermingcabine open te maken, zodat de hijsketting vrij over de bank kan bewegen.

○ **Voordelen**

- Enorm gebruiksgemak bij plaatsing van zware motoren. De zwaarste motoren kunnen 1 000 kg wegen.
- Positionering gebeurt via de afstandsbediening van de loopbrug.
- De motoren moeten niet eerst op de clark tot aan de bank worden gevoerd.
- De kosten om het dak te kunnen openen zijn minder dan het bouwen van een loopkat.

○ **Nadelen**

- Gedurende de plaatsing kan de rolbrug niet door anderen worden gebruikt.
- Er moet een extra constructie worden voorzien om het dak te kunnen openen.
- De plaats van de bank is minstens 1,30 m van de muur, omdat het bereik van de rolbrug beperkt is.
- De afschermingcabine wordt iets groter. Kostprijs stijgt.

➤ **Oplossing 2 : Kraansysteem**

Indien er niet met de rolbrug wordt gewerkt, dan moet er gezocht worden naar een kraansysteem waarmee de motoren geplaatst kunnen worden. Er zijn verschillende opties mogelijk. Nu kan de afschermingcabine worden voorzien van een gesloten dak. Er moet wel opgelet worden, dat de deuren groot genoeg zijn. Dan kan men met de clark binnen rijden om via de clark de motoren aan de loopkat te bevestigen. Als er met een giraf zou gewerkt worden, moet de bank hoog genoeg staan, zodat we met de kraan onder de bank kunnen rijden. Een andere mogelijkheid is dat de kraan minimum 1 300 mm breed moet zijn, zodat ze langs de bank kan rijden.

○ **Voordelen**

- De rolbrug wordt niet bezet
- De motor blijft aan de kraan tot ze geplaatst is. Er kan dus rustig gewerkt worden aan een goede plaatsing van de motor aan de rem.
- De motor kan doorheen het bedrijf verplaatst worden met de giraf .
- De bank kan ver naar achteren, naar de muur toe worden geplaatst. Het bereik van de rolbrug speelt geen rol meer.

- **Nadelen**

- Bij zware motoren kan de manuele plaatsing problemen geven.
- Exacte positionering wordt zeer moeilijk bij grote motoren.
- Kostprijs van een kraansysteem.
- Inbouwruimte binnen de cabine.
- Schuifdeuren of grote draaideuren vereist.

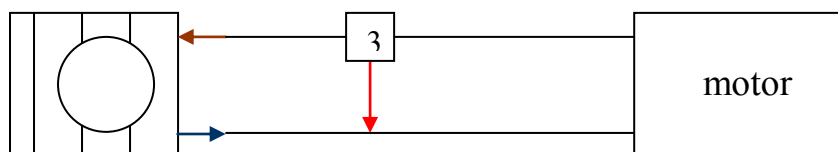
## 2.9.6 Universeel koelsysteem voor de motoren

➤ **Probleemstelling:**

Er moet een universeel koelsysteem komen om verschillende motoren te koelen. We moeten het systeem berekenen op zijn maximumcapaciteit van 375 kW aan vermogen dat om zijn maximum vermogen van 375 kW effectief moet gekoeld worden. Er moeten verschillende koppelingen mogelijk zijn van de radiator naar de waterpomp van de motor.

➤ **Oplossing 1 : Radiator en 3-wegventiel**

Er komt een klein en een groot koelcircuit. Het kleine koelcircuit dient om de motor snel op bedrijfstemperatuur te krijgen. Voor kleinere motoren is dit noodzakelijk omdat het (indien de motor rechtstreeks aan de radiator gekoppeld zou zijn) veel te lang zou duren, vooraleer de motor warm krijgt. Door middel van een 3-wegventiel zal de toevoer naar het tweede circuit meer open gezet worden en zodoende meer water gekoeld worden via de externe radiator. Het ventiel wordt aangestuurd door een temperatuursonde met regeleenheid. Voor de externe radiator wordt er een ventilator geplaatst met een schoepdoorsnede van 80 cm.



- **Voordelen**

- Zowel kleine als grote motoren kunnen met hetzelfde systeem gekoeld worden. Als er meer koeling gevraagd wordt dan zal het driewegventiel meer en meer open gezet worden.
- Betrekkelijk goedkoop. Een F90 radiator tweede hands kost +/- € 250. Een extra koeling voor de interkoeler kost nieuw € 500. De multivan ventilator kost € 300 met bijgeleverde asynchrone motor.

○ **Nadelen**

- De radiator kan verkalken.
- Er zijn waarschijnlijk twee radiatoren nodig omdat een enkele maar voldoende is voor 360 tot 420 pk.
- Verschillende diameters zullen nodig zijn om koppelingen te maken naar de motor.
- Het 3-wegventiel kost € 1800 en de servomotor kost € 800 voor een diameter van 80 mm.

○ **Totale kosten:**

- $250 + 300 + 1800 + 800 = € 3 150$

➤ **Oplossing 2 : Gebruik maken van het koelwater uit de citerne**

We kunnen het koelwater van de rem ook gebruiken om de motoren zelf te koelen. Door middel van een extra leidingsysteem en centrifugaalpomp kan water worden opgepompt naar de motor zelf. Om de temperatuur constant te kunnen houden moeten we ook werken met een klein en een groot koelsysteem. Het kleine koelsysteem moet ook via een 3-wegventiel vergroot worden, als de temperatuur te hoog wordt. Men gaat de capaciteit van de citerne gebruiken om de warmte energie te verplaatsen.

○ **Voordelen**

- Zowel kleine als grote motoren kunnen met eenzelfde systeem gekoeld worden. Als er meer koeling gevraagd wordt, dan zal het 3-wegventiel meer en meer opengezet worden.
- Geen dure warmtewisselaar nodig
- Ruimtebesparing in de testruimte

○ **Nadelen**

- Een extra centrifugaalpomp
- Extra leidingnetwerk
- Kans op minder regelwerking, niet werkelijkheidsgetrouw systeem
- Bij zware belasting kan de opwarming van het koelwater voor problemen zorgen, omdat er nu twee warmtebronnen worden aangesloten. Zowel de rem als de motor worden door de citerne gekoeld.

➤ **Oplossing 3 : Radiator en motorthermostaat**

We werken enkel met een radiator die voldoende gedimensioneerd is om grote vermogens te kunnen koelen. De werking van het thermostatische ventiel moet het warmdraaien van de motoren verzekeren.

○ **Voordelen**

- Een goedkoop systeem dat snel uitbreidbaar is door een extra radiator te plaatsen
- Betrouwbare werking
- Eenvoudige aansluiting via snelkoppelingen

○ **Nadelen**

- Kans dat kleine motoren koelproblemen krijgen door de overgedimensioneerde radiator: de waterpomp zou eventuele drukverliezen niet kunnen overwinnen. Maar omdat de leidingsdiameter groter is dan normaal, is de snelheid laag en zal dat wel meevallen.

➤ **Uiteindelijke keuze D'Haene:**

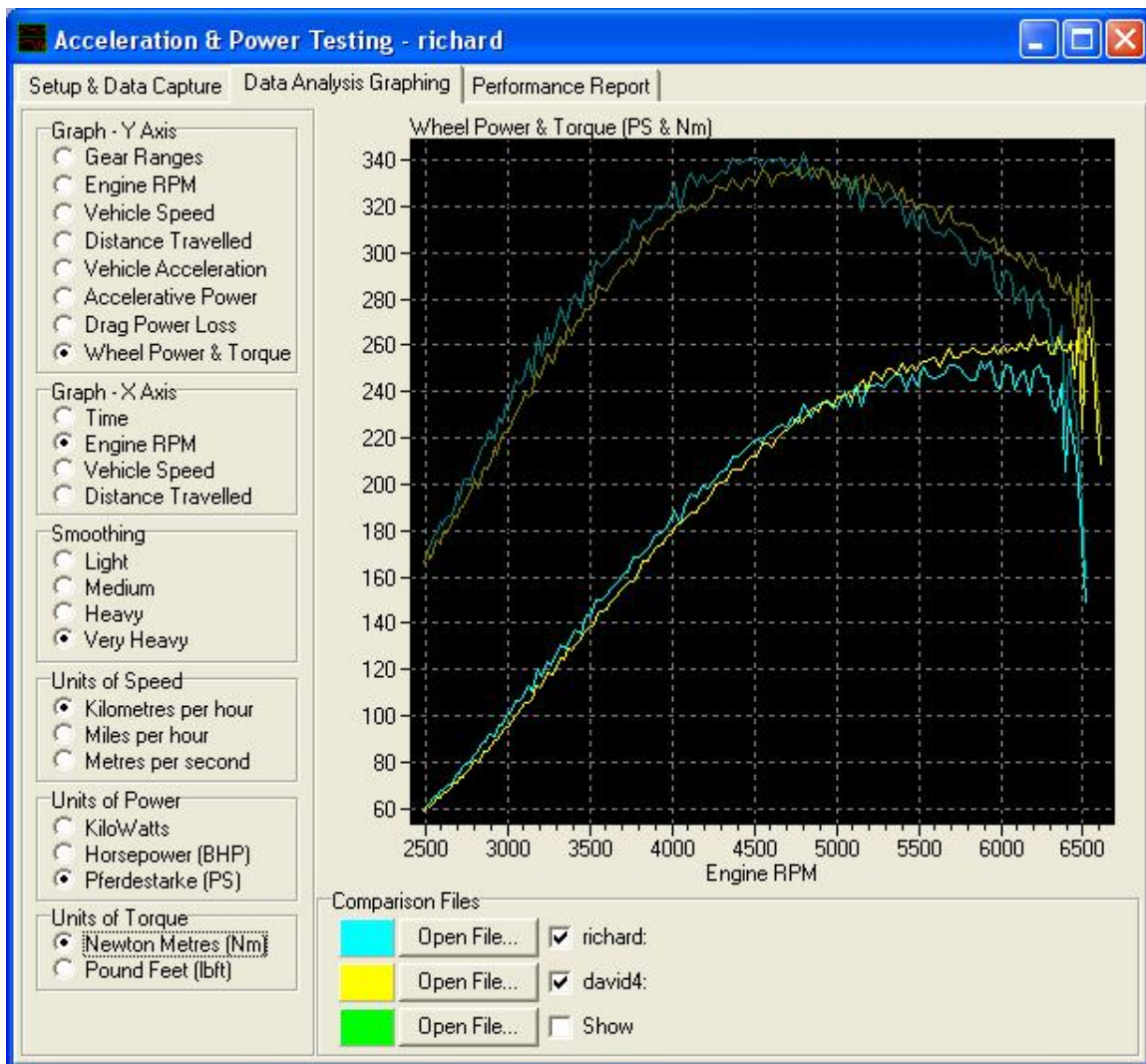
D'Haene opteert om een tweedehandse FC 90 radiator aan te schaffen bij Braem te Handzame. Deze radiator kan motoren tot 400 pk koelen. Door middel van flexibele snelkoppelingen kan men een verbinding maken met de verschillende types motoren.

### **3 De dynorun**

Road Dyno is een interessant programma om verschillen te laten zien bij één en dezelfde auto onder exact dezelfde omstandigheden, maar vergelijk er geen auto's onderling mee. Het is op zich niet zo vreemd als je de rekenmethode van de Road Dyno niet kent. Deze neemt namelijk samples van het motortoerental gedurende een acceleratie in een bepaalde versnelling. De afrolomtrek is een bepalende factor om de voertuigsnelheid te berekenen. Zit er in de aanname van de afrolomtrek van een bepaalde bandenmaat een fout, dan komt deze er in het eindresultaat uit. Verder heeft het gemiddelde 18" wiel een grotere massa draagbaarheid dan het gemiddelde 17" wiel, waardoor je met een gelijk vermogen een tragere acceleratie hebt. Delta Dash Road Dyno berekent het vermogen uit de acceleratie, maar houdt geen rekening met de massa draagbaarheid van de verschillende wielen. Met lichte wielen *meet* je dus automatisch een hoger vermogen. Dit is echter niet correct. Hetzelfde geldt voor een auto met een lichter vliegwiel! Al met al zijn dit zinloze vergelijkingen. Het geeft een indicatie, meer niet! Vergelijkingsmetingen met dezelfde auto (met dezelfde wielen en bandenmaat!) en onder dezelfde klimatologische omstandigheden zijn echter perfect mogelijk en geven een goed beeld van de veranderingen. In theorie heb je in een lagere versnelling iets meer verlies. Als je dezelfde auto ook in derde versnelling meet, levert dat nagenoeg hetzelfde vermogen aan de wielen op! (Het koppel komt echter iets later door de lagere belasting.) Een vaste vermenigvuldigingsfactor is op zich niet zo'n goed idee voor het omrekenen van wielvermogen naar krukasvermogen. Het verliesvermogen is nagenoeg onafhankelijk van het geleverde vermogen en is gelijk per auto. Wel is het verliesvermogen bij een laag toerental lager dan bij een hoog toerental. Manipulatie van vermogen/koppel is gemakkelijk door meer autogewicht in te voeren, dan waarbij de dynotest is uitgevoerd.

Het is zinloos om over tienden van pk's te praten als de methode van meten VEEL grotere onnauwkeurigheden biedt! Als men volgens een Road Dyno meting bijv. 323,4 pk uitkomt, dan spreken we beter over een vermogen van 315 - 320 pk. We zitten dan dichterbij de waarheid! Alle metingen geven overigens ongecorrigeerde waarden, waarbij je natuurlijk auto's die gemeten werden met 25 °C buitentemperatuur helemaal NIET kan vergelijken met auto's die gemeten werden bij 0 °C buitentemperatuur. Allemaal erg lastig, maar vergelijk gewoon het wielvermogen met elkaar. Dit wordt bij alle auto's op dezelfde manier gemeten. Als er een temperatuurverschil is tussen de twee metingen van rond de 15 °C, kan dat de meting nogal beïnvloeden! Door al die grafieken goed af te lezen kan je zelf al haast uitpuzzelen welke opties voor je auto nuttig zijn om nog meer vermogen te krijgen. Helaas zie je hier nergens de acceleratiecijfers van 0-100 km/h of 100-200 km/h. Bij een temperatuurstijging van 10 graden krijg je een vermogensverlies van ongeveer 4% en een koppelverlies van 3%! Hieronder ziet u een grafiek die gemeten werd door een computer.

De y-as geeft het vermogen en het koppel weer.  
De x-as geeft het aantal toeren aan.



## 4 Werking van een dynamische vermogentestbank

De dynamische vermogentestbank geeft tijdens de testruns via diverse sensoren snel inzicht in het functioneren van carburatie- en injectiesystemen, luchtinlaat- en uitlaatsystemen, maar ook bijvoorbeeld in de werking van de nokkenassen. Aan de hand van deze meetresultaten wordt de beste modificatie / afstelling voor uw klassieker of racewagen gevonden, een perfecte manier om snel oorzaken van problemen te vinden en uit de wereld te helpen en om de motor van uw klassieker, sportauto of circuitwagen tot het optimum af te stellen.

Op zoek naar pk's?

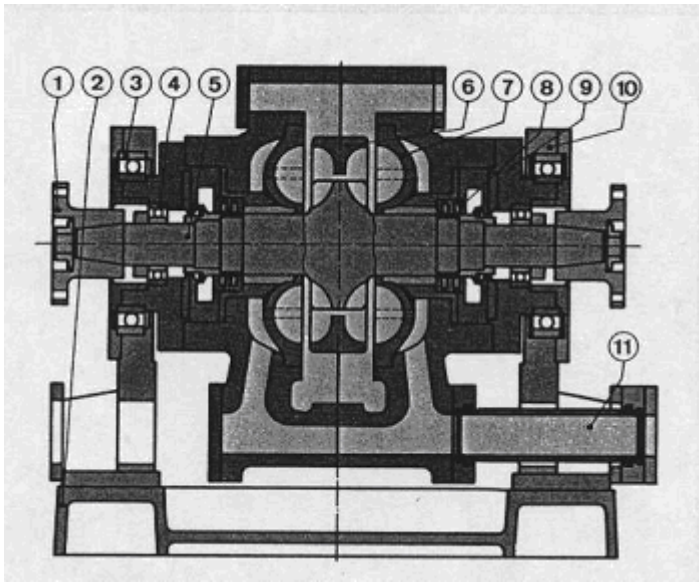
Niet alleen klassiekers kunnen jarenlang met een foutieve afstelling rijden; ook auto's die zo uit de showroom komen, blijken nog wel eens te beschikken over *verborgen vermogen*. Door de snelle testresultaten van de testbankcomputer (binnen 15 seconden) zorgt de perfecte afstelling van ondermeer injectie- en carburatiesystemen en de timing van het motorblok ervoor dat de auto optimaal en in de meeste gevallen ook fors beter presteert.





## 5 Vertalingen

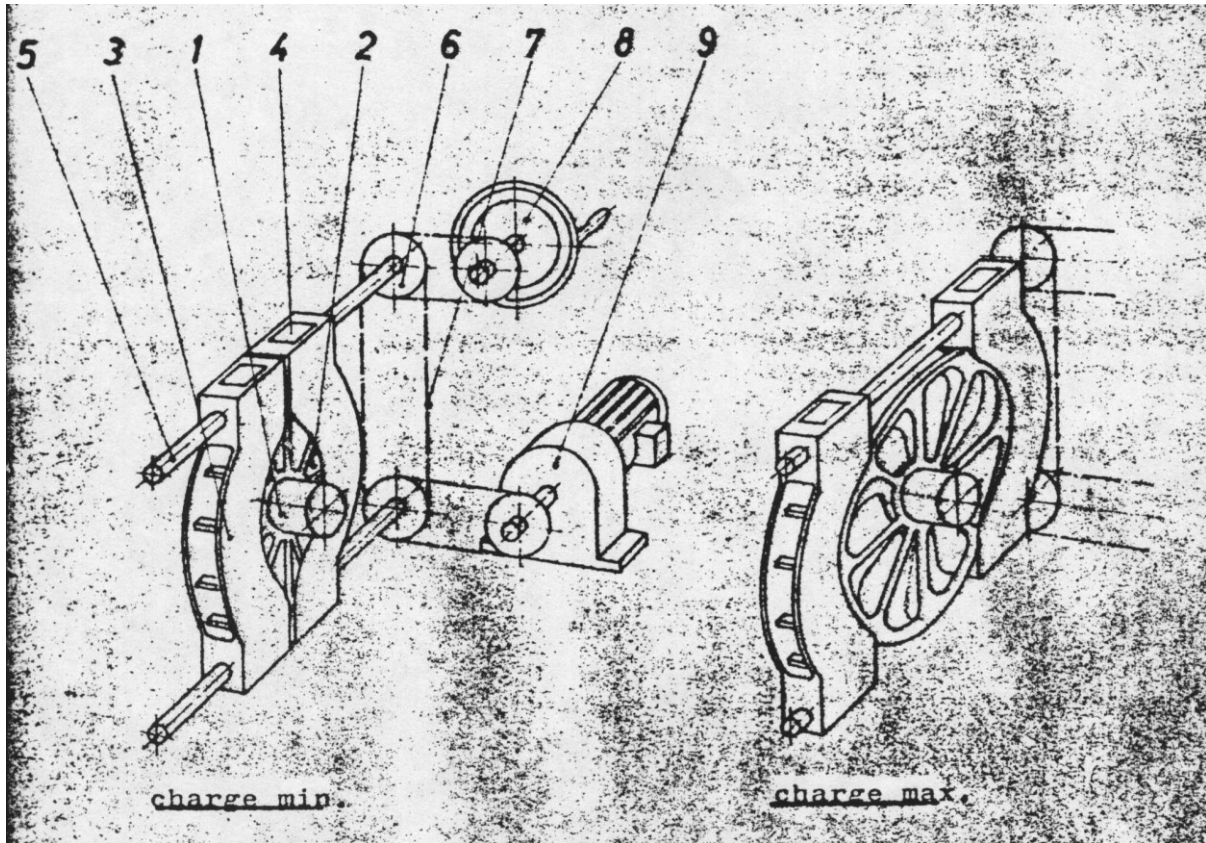
### 5.1 Vertaling Duits naar Nederlands



- 1) Kupplung
- 2) Grundplatte
- 3) Pendellagerung
- 4) Lauflagerung
- 5) Rotor mit Laufrad und Kupplungen
- 6) Leitring
- 7) Stator mit auswechselbaren Gehäuseeinsätzen
- 8) Berührungslose Wellendichtung
- 9) Gehäuselagerung des Pendelkörpers
- 10) Lagerbock
- 11) Wasserzulauf mit Pendelrohr

- 1) koppeling
- 2) grondplaat
- 3) slingerkogellager
- 4) loopkogellager
- 5) rotor met loopwiel en koppelingen
- 6) geleidingsring
- 7) stator met verwisselbare schroefasafdichtingen
- 8) niet-beweegbare golfafdichting
- 9) mantelpijler van het pendellichaam
- 10) lagerblok
- 11) watertoevoer met pendelbuis

## 5.2 Vertaling Frans naar Nederlands



- 1) arbre
- 2) rouet
- 3) demi-tiroir
- 4) bosse de guidage
- 5) broche
- 6) pignon
- 7) chaine
- 8) volant
- 9) motoréducteur pour la télécommande de tiroirs
- 10) charge min
- 11) charge max

- 1) as
- 2) spinnenwiel
- 3) halve schuiflade
- 4) oneffen geleiding
- 5) pin
- 6) kettingwiel
- 7) ketting
- 8) vliegwiel

- 9) motor verminderaar voor de afstandbediening van de schuifladen
- 10) minimum belasting
- 11) maximum belasting

## **6 Besluit**

Uit de geïntegreerde proef hebben we geleerd dat niet altijd alles vlotjes verloopt. Zo hebben we ons praktische gedeelte niet kunnen uitvoeren, omdat het bedrijf niet meer wilde meewerken. Het was de bedoeling om de testbank die er nu staat en die niet meer werkt, opnieuw te laten functioneren. Doordat het bedrijf niet wilde meewerken, hebben we een uitvoerige theoretische bespreking gemaakt van motoren. We hebben ook een motor opengelegd en zo konden we de theorie over motoren aan de praktijk koppelen. Wel hebben we een test gedaan met een motor in het KHBO in Oostende en de meetwaarden genomen om zo de eicurve op te meten en op te stellen. Er is ook een theoretische bespreking van de Zöllnerwaterrem. We hebben veel bijgeleerd over motoren, testbanken en ook is onze kennis van Word vergroot, aangezien we een groot werk moesten maken.

Via de motoren hebben we er eigenlijk nog een ander vak bij betrokken, dat is motorenleer die wordt gegeven in de richting elektromechanica.

We zijn zeer tevreden dat we de opdracht kregen om een geïntegreerde proef te maken, omdat we zo het domein van de motoren konden opzoeken en via deze opdracht hebben we een heel jaar bijgeleerd.

## **7 Bijlagen**

1. Vergadering over de testbank
2. Opdrachten i.v.m. geïntegreerde proef
3. Prijs offerte Glaverbel Mirvital
4. Takels
5. Tarieven om een motortestbank te gebruiken
6. Verslag: bedrijf D'Haene te Roeselare
7. Verslag: demonteren van een motor
8. Verslag: bedrijf Verplancke te Torhout
9. Meetwaarden eicurve
10. Logboek

## 8 Bronnen

DE MEYER, W., SAUWAERT, F. en VAN HOOFF, S., *Toegepaste Mechanica Deel 2*, Wolters Plantyn, Deurne, 2001, 269 pagina's.

VANDOORN, K., ([vandoorn.korneel@belgacom.net](mailto:vandoorn.korneel@belgacom.net)), *Veiligheidsglas*, e-mail aan BOUWGLAS, ([bouwglas@soliver.be](mailto:bouwglas@soliver.be)), 2004-11-11.

VANDOORN, K., ([vandoorn.korneel@belgacom.net](mailto:vandoorn.korneel@belgacom.net)), *Veiligheidsglas*, e-mail aan INFO, ([info@lauryssens.be](mailto:info@lauryssens.be)), 2004-11-13.

VANDOORN, K., ([vandoorn.korneel@belgacom.net](mailto:vandoorn.korneel@belgacom.net)), *Veiligheidsglas*, e-mail aan INFO, ([info@mirvital.be](mailto:info@mirvital.be)), 2004-11-13.

VANDOORN, K., ([vandoorn.korneel@belgacom.net](mailto:vandoorn.korneel@belgacom.net)), Saint-Gobain Glass, e-mail aan FABRY, G., ([georges.fabry@saint-gobain.com](mailto:georges.fabry@saint-gobain.com)), 2004-11-15.

*Polypane glasindustrie*, internet, 2004-11-11, (<http://www.polypane.be/belgium/index.html>).

*Ghmontage*, internet, 2004-11-11, (<http://www.ghmontage.com>).

*Dyno*, internet, 2005-1-10, (<http://www.dyno.be>).

*Extreme-machines*, internet, 2005-1-12, (<http://www.extreme-machines.nl>).

*Speedcentre*, internet, 2005-1-12, (<http://www.speedcentre.nl/testbank/testbankrapport.htm>).

*Inter-tuning*, internet, 2005-1-12, (<http://www.inter-tuning.com/00000195470e4dd19/00000195470e7912a/>).

## 9 Dankwoord

Deze geïntegreerde proef zou niet geslaagd zijn zonder deze personen:

onze mentor Dirk Verhaeghe,

Pieter Damman, die ons hulp bood i.v.m. de waterrem,

het bedrijf D'Haene, waar de waterrem nu staat,

Luc Boone, die ons de garage en het gereedschap ter beschikking stelde en uitleg gaf over de benzine- en dieselmotor,

Peter d'Hulster, die ons een boeiende uitleg gaf over het eidiagram en de praktische toepassing ervan (KHBO Oostende),

het bedrijf Verplancke, waar we met onze eigen ogen mochten zien hoe ze een krukas testen op barsten,

Sabine Deprez, die zorgde voor enkele vertalingen van technische woorden en die ons ook taaladvies gaf,

Kris Werbrouck gaf ons enkele nuttige tips over Word,

Fabry Georges, die ons een prijsofferte van glas gaf,

Mathias Devos, die ons uitleg gaf over verschillende soorten glas,

Mark Verhoeven gaf ons uitleg over dynorun,

Kris Duchesne gaf ons uitleg over dynamometers.

We mogen onze ouders ook niet vergeten, die ons heel het jaar in onze opdracht steunden en soms een handje toestaken.

