

Het basisprincipe

De motor van een auto lijkt op het eerste gezicht een ingewikkeld stuk machinerie, maar dat valt eigenlijk best mee. Het principe is namelijk heel simpel en als dat u eenmaal duidelijk is, kunt u zonder moeite hoofd- en bijzaken van elkaar onderscheiden.

Wat er in de motor in grote lijnen gebeurt is het volgende: er wordt brandstof verbrand en de warmte, die daardoor ontstaat wordt omgezet in de energie, die nodig is om de auto voort te bewegen.

Als brandstof wordt, zoals u weet, in de meeste automotoren benzine gebruikt, één van de vele produkten, die uit aardolie worden verkregen. De voornaamste eigenschap van benzine is, dat het bijzonder brandbaar is, als het maar met de juiste hoeveelheid lucht wordt gemengd. Een klein vonkje is al voldoende om zo'n mengsel razendsnel te laten verbranden.

In de automotor wordt een mengsel van lucht en benzine in een afgesloten ruimte samengeperst en ontstoken. Door de hitte van de verbranding zetten de aanwezige gassen sterk uit, zodat de druk in de ruimte enorm stijgt. De druk zorgt voor een „rechtlijnige” beweging, die dan volgens hetzelfde principe als bij een ouderwetse trapnaaimachine wordt omgezet in de draaiende beweging, die uiteindelijk de wielen van de auto aandrijft.

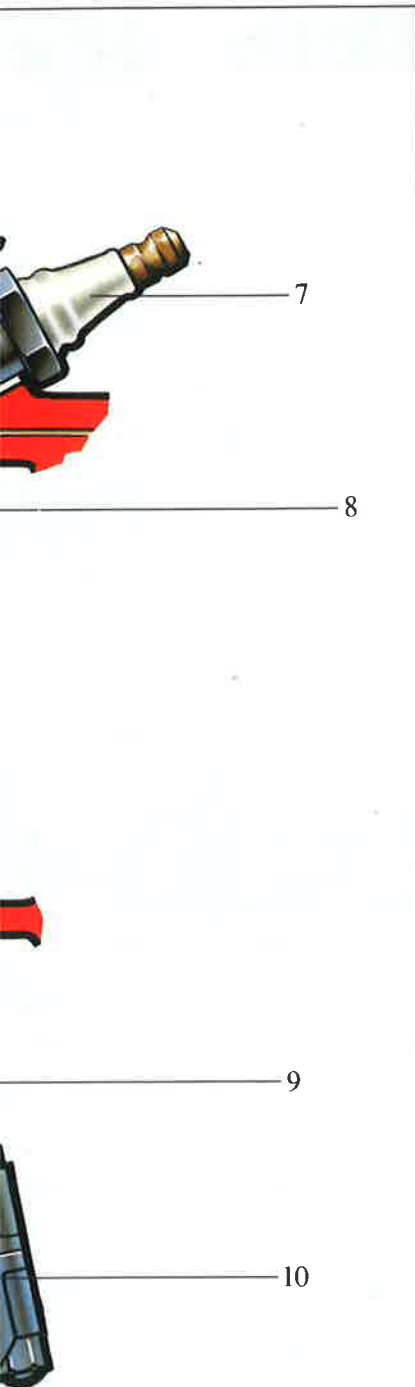
Vanzelfsprekend laten we het verbrandingsproces niet zomaar spontaan verlopen. Dankzij een aantal ingenieuze voorzieningen kunnen we de verbranding

worden gebruikt. Op de tekening hiernaast kunt u zien uit welke essentiële onderdelen de motor bestaat.

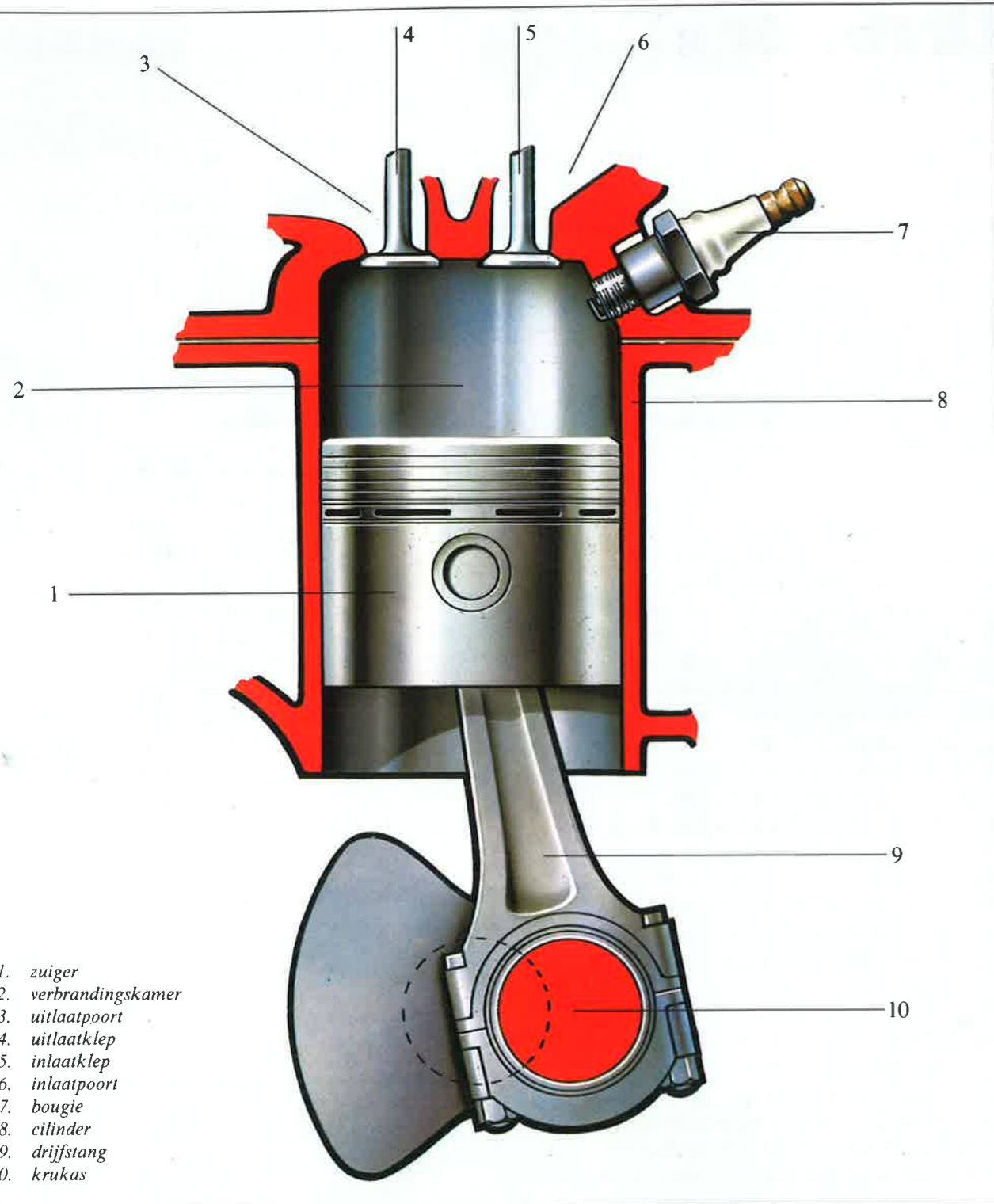
Allereerst is er de cilinder, een aan de bovenkant afgesloten buis, waarin de zuiger vrij op en neer kan bewegen. Het gedeelte van de cilinder boven de zuiger heet de verbrandingskamer en daarin bevindt zich het brandbare mengsel van lucht en benzine. Wanneer de zuiger omhooggaat wordt het mengsel samengeperst, waarna het door een elektrische vonk van de bougie ontstoken wordt.

Door de verbrandingsdruk wordt de zuiger weer naar beneden geduwd en om die op en neer gaande beweging om te zetten in een draaiende, is de zuiger via de drijf-stang verbonden met de kruk of krukas.

Vanzelfsprekend zijn er ook openingen nodig om de verbrande gassen weg te laten stromen en vers mengsel naar binnen te laten. Dat gaat via de uitlaatpoort en de inlaatpoort, die beide kunnen worden afgesloten door kleppen.



Het basisprincipe



1. zuiger
2. verbrandingskamer
3. uitlaatpoort
4. uitlaatklep
5. inlaatklep
6. inlaatpoort
7. bougie
8. cilinder
9. drijfstang
10. krukas

De motor van een auto lijkt op het eerste gezicht een ingewikkeld stuk machinerie, maar dat valt eigenlijk best mee. Het principe is namelijk heel simpel en als dat u eenmaal duidelijk is, kunt u zonder moeite hoofd- en bijzaken van elkaar onderscheiden.

Wat er in de motor in grote lijnen gebeurt is het volgende: er wordt brandstof verbrand en de warmte, die daardoor ontstaat wordt omgezet in de energie, die nodig is om de auto voort te bewegen.

Als brandstof wordt, zoals u weet, in de meeste automotoren benzine gebruikt, één van de vele producten, die uit aardolie worden verkregen. De voornaamste eigenschap van benzine is, dat het bijzonder brandbaar is, als het maar met de juiste hoeveelheid lucht wordt gemengd. Een klein vonkje is al voldoende om zo'n mengsel razendsnel te laten verbranden.

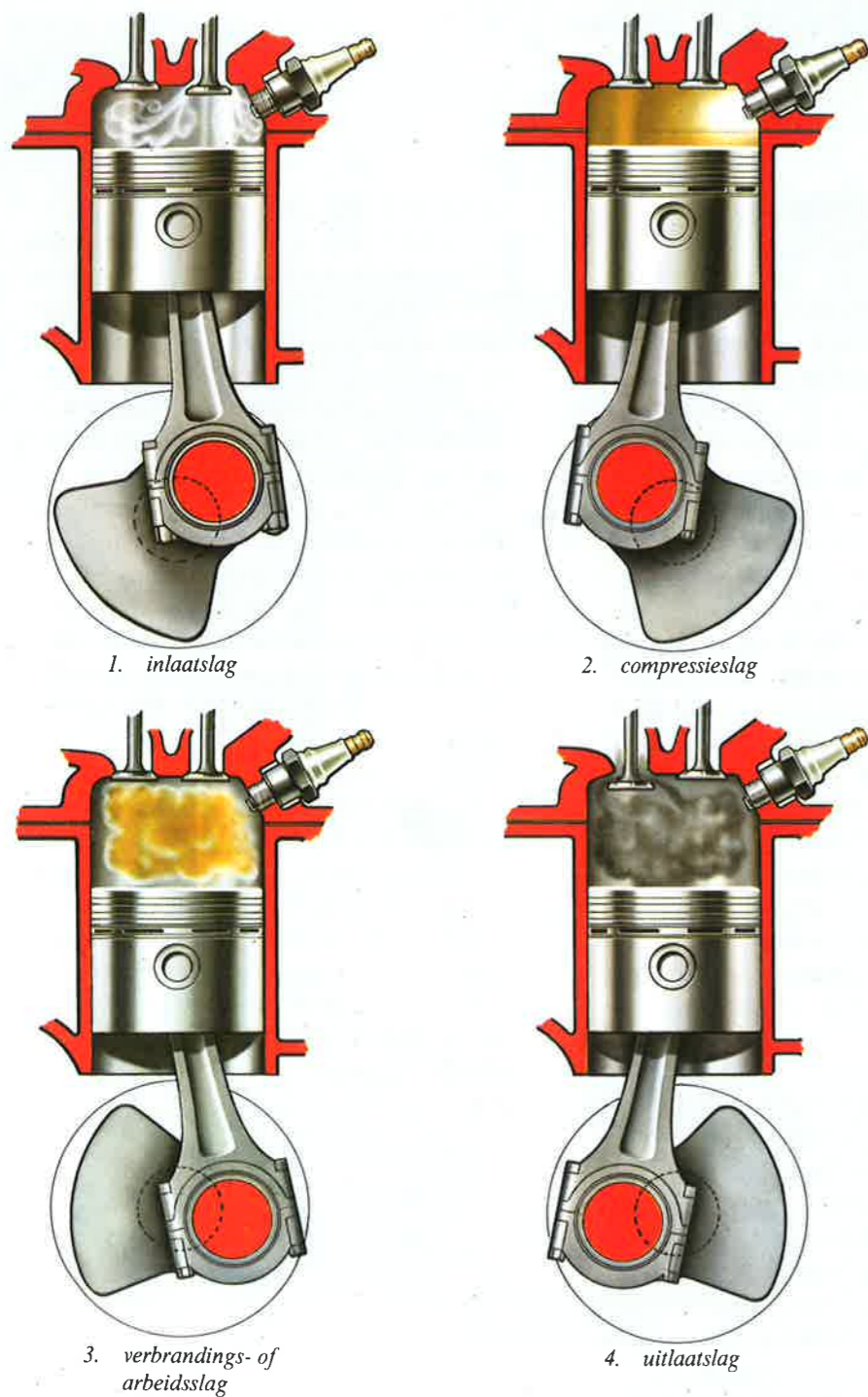
In de automotor wordt een mengsel van lucht en benzine in een afgesloten ruimte samengeperst en ontstoken. Door de hitte van de verbranding zetten de aanwezige gassen sterk uit, zodat de druk in de ruimte enorm stijgt. De druk zorgt voor een „rechtlijnige” beweging, die dan volgens hetzelfde principe als bij een ouderwetse trapnaaimachine wordt omgezet in de draaiende beweging, die uiteindelijk de wielen van de auto aandrijft.

Vanzelfsprekend laten we het verbrandingsproces niet zomaar spontaan verlopen. Dankzij een aantal ingenieuze voorzieningen kunnen we de verbranding goed in de hand houden, zodat de vrijkomende energie zo nuttig mogelijk kan

worden gebruikt. Op de tekening hiernaast kunt u zien uit welke essentiële onderdelen de motor bestaat.

Allereerst is er de cilinder, een aan de bovenkant afgesloten buis, waarin de zuiger vrij op en neer kan bewegen. Het gedeelte van de cilinder boven de zuiger heet de verbrandingskamer en daarin bevindt zich het brandbare mengsel van lucht en benzine. Wanneer de zuiger omhooggaat wordt het mengsel samengeperst, waarna het door een elektrische vonk van de bougie ontstoken wordt. Door de verbrandingsdruk wordt de zuiger weer naar beneden geduwd en om die op en neer gaande beweging om te zetten in een draaiende, is de zuiger via de drijfstaag verbonden met de kruk of krukas.

Vanzelfsprekend zijn er ook openingen nodig om de verbrande gassen weg te laten stromen en vers mengsel naar binnen te laten. Dat gaat via de uitlaatpoort en de inlaatpoort, die beide kunnen worden afgesloten door kleppen.



Een verbrandingsslag per vier slagen

Bij de doorsnee-automotor moet de zuiger vier slagen (twee maal op en neer) maken om één keer een verbranding van het benzine/lucht-mengsel mogelijk te maken. De andere slagen zijn namelijk nodig voor het vullen en leegmaken van de cilinder en voor het samendrukken van het mengsel, zoals we zullen zien.

Laten we beginnen als de zuiger in z'n bovenste stand staat. Wanneer de startmotor de krukas ronddraait gaat de zuiger naar beneden. Via een mechaniek, waar we later nog op terugkomen, wordt de inlaatklep geopend, zodat het mengsel van lucht en benzine naar binnen wordt gezogen (fig. 1). Als de zuiger onderaan is gekomen is deze inlaatslag voltooid en gaat de inlaatklep weer dicht.

Door de draaiing van de krukas wordt de zuiger weer naar boven geduwd, zodat het mengsel wordt samengeperst of zeggend „gecomprimeerd” - reden waarom deze slag de compressieslag wordt genoemd (fig. 2).

Tegen het einde van de compressieslag geeft de bougie een vonk, zodat het mengsel wordt ontstoken. De verbranding zorgt voor een enorme temperatuurstijging, waardoor het gas uitzet en de zuiger omhoog wordt gedrukt. Dankzij deze verbrandings- of arbeidsslag wordt de krukas rondgedraaid en de motor loopt nu op eigen kracht (fig. 3).

Als de zuiger onderaan is wordt de uitlaatklep geopend en de zuiger begint aan

z'n vierde en laatste slag, de uitlaatslag (fig. 4). Door de omhooggaande beweging duwt de zuiger de verbrande gassen uit de cilinder, waarna de uitlaatklep weer gesloten wordt en we in de uitgangspositie terugzijn. De hele cyclus kan dan weer van voren af aan beginnen en zal zich vanzelf eindelijk herhalen zolang er maar verse lucht en benzine worden aangevoerd.

Omdat de cyclus bestaat uit vier slagen noemen we dit het viertaktprincipe en heet een motor, die zo werkt, een viertaktmotor. Er zijn ook motoren, die werken volgens een tweetaktprincipe, maar deze worden tegenwoordig niet meer in auto's toegepast, alleen bij motorfietsen, brommers en kleine bootmotoren.

Tot nog toe hebben we het steeds gehad over de werking van één cilinder, maar de moderne motoren hebben er altijd minimaal twee, soms zelfs zes of acht. De doorsnee-motor heeft er echter vier, en in het volgende hoofdstuk zullen we daar steeds van uitgaan. De werking van al die vier cilinders is precies als de ene, die we beschreven, zij het dat ze niet op hetzelfde ogenblik aan dezelfde slag bezig zijn.

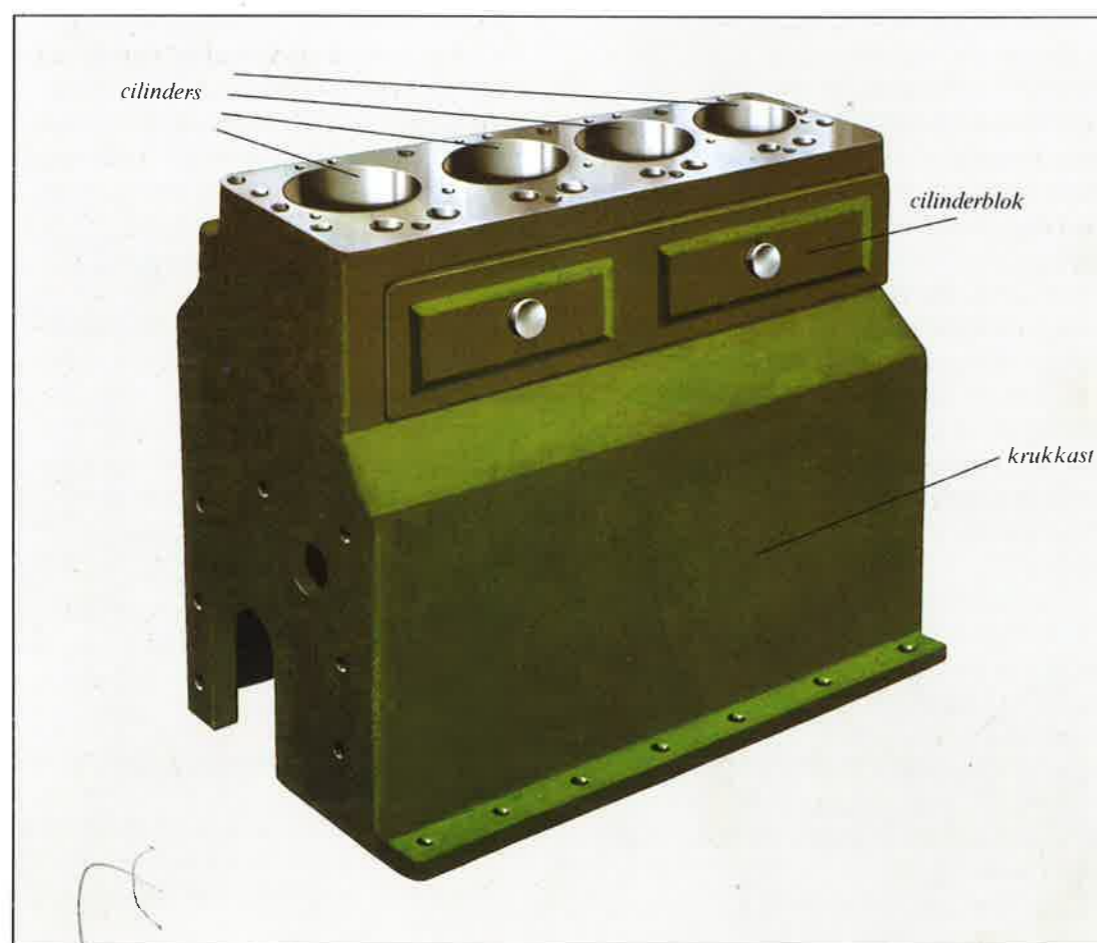
De motor

Gewoonlijk bedoelen we met de motor zo'n beetje alles wat er onder de motorkap van een auto zit. Eigenlijk hebben we het dan over vier onderdelen, namelijk:

- de motor zelf, met inbegrip van het smeersysteem
- het brandstofsysteem

- het ontstekingsysteem
- het koelsysteem

Laten we eens kijken uit welke onderdelen de motor zelf bestaat, en waar die voor dienen. We gaan daarbij uit van het type motor, dat het meeste voorkomt, de „viencilinder“.



Het cilinderblok en de krukkast

Het grootste onderdeel van de motor, het motorblok, bestaat uit twee delen: het cilinderblok en de krukkast, ook wel carter genoemd. Bij de meeste motoren vormen die twee één geheel, maar bij sommige motoren zijn het losse delen, die met bouten aan elkaar worden bevestigd.

De cilinders zijn uiterst nauwkeurig geboorde en bewerkte gaten in het cilinderblok. De zuigers passen er precies in, terwijl ze toch gemakkelijk op en neer kunnen bewegen. Om zo min mogelijk verbrandingsdruk te laten ontsnappen moet de zuiger de cilinder zo goed mogelijk afsluiten.

Vandaar dat de zuiger is voorzien van een aantal groeven met daarin verende ringen, die tegen de cilinderwand drukken. De bovenste ringen heten de compressieveren en de ringen daaronder de olie-schraapveren, omdat die ook tot taak hebben de olietoevoer naar het bovenste deel van de cilinder te regelen.



Elke zuiger is door middel van de zuigerveren bevestigd aan een drijfstaang, op zo'n manier, dat de drijfstaang in één richting kan scharnieren. Aan het andere einde is elke drijfstaang via een lager verbonden met de centrale krukas. Dit lager, het big-endlager, bestaat uit twee delen, die door bouten samengehouden worden.

De krukas is één van de belangrijkste onderdelen van de motor. Deze as zorgt

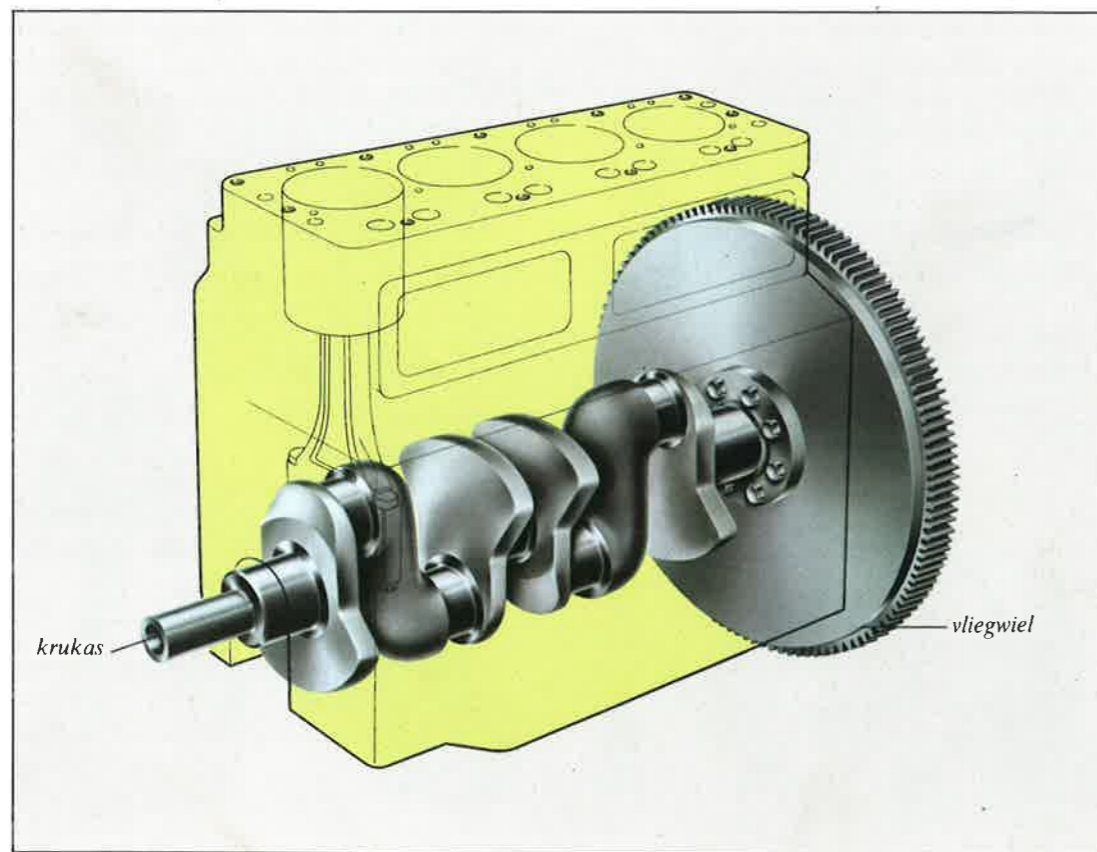


namelijk voor de draaiende beweging, die nodig is om de wielen aan te drijven. De taak van de krukas is zwaar. Niet alleen zijn de krachten die er op uitgeoefend worden vrij groot, ook de snelheid waarmee hij ronddraait is hoog: bij een doorsnee-auto enige duizenden malen per minuut. Vandaar dat de krukas voorzien is van contragewichten, zodat hij ondanks z'n bijzondere vorm toch kan draaien zonder trillingen.

Ook is de krukas meerdere malen in

het motorblok „gelagerd”, d.w.z. hij ligt in een aantal hoofdagers. Aan de stand van de krukken in de krukas is goed te zien, dat de zuigers hun slagen niet allemaal gelijktijdig maken. Terwijl de buitenste zuigers in hun bovenste stand staan zijn de middelste zuigers helemaal onder in de cilinder.

Aan het eind van de krukas vinden we een zwaar wiel, het vliegwiel, dat er door z'n gewicht voor zorgt dat de zuiger na de omlaag gaande slag ook weer omhoog

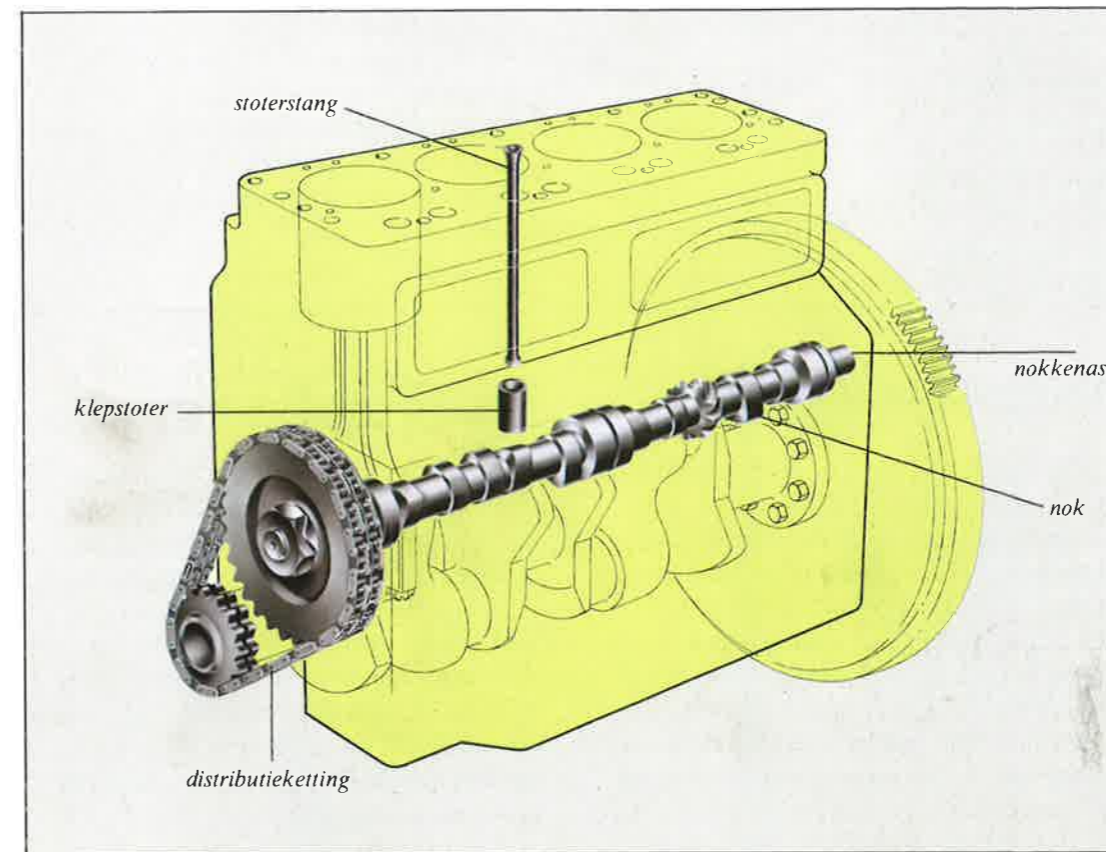


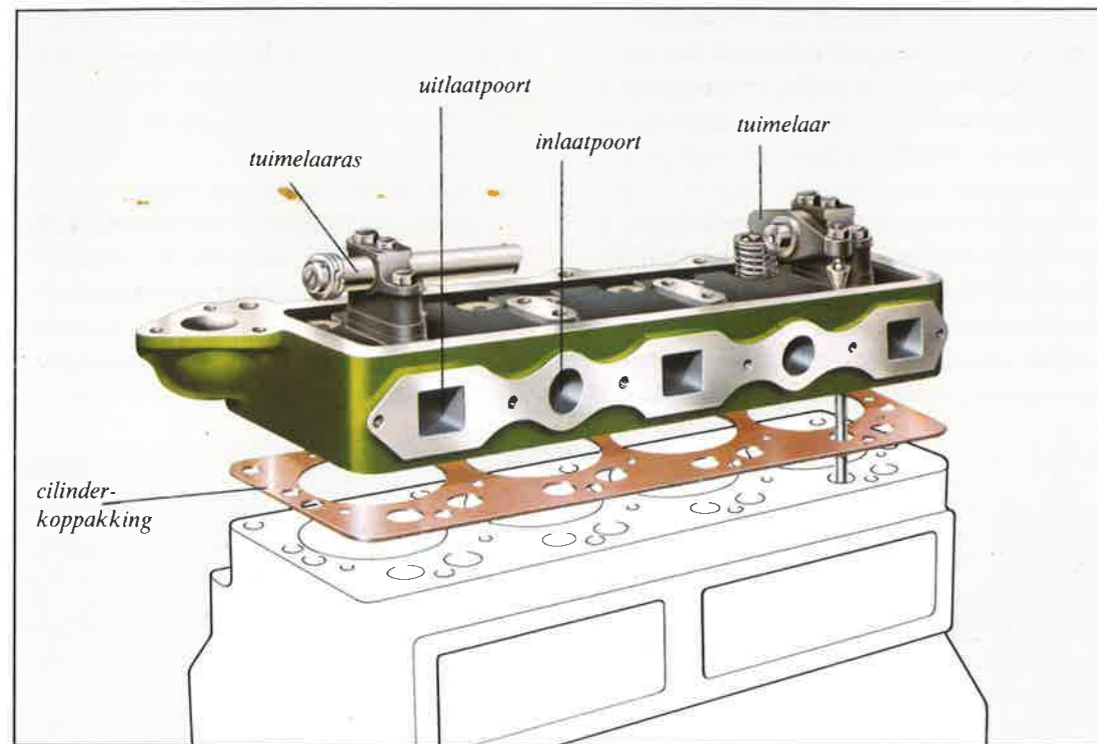
wordt bewogen en dat de motor rustig loopt. Om het vliegwiel zitten tanden die de starterkrans vormen. Bij het starten komt een klein tandwiel van de startmotor hiermee in „ingrijping”, zodat de krukas in beweging komt.

Op de krukas zit ook een wiel met daarop een ketting, de distributieketting, die de nokkenas aandrijft. Deze nokkenas, die ook in het motorblok is gelagerd, zorgt ervoor dat de in- en uitlaatkleppen in beweging komt.

ronddraaien stoot de nok – één voor elke klep – tegen een cilindervormig metalen blokje, de klepstoter, die de beweging weer doorgeeft aan de stoterstangen. Zo komt het klepmechanisme in beweging en daar komen we straks op terug.

Aan de onderzijde wordt de krukast afgesloten door een metalen bak, de Carterpan. Daarin bevindt zich de olie, waarmee de motor wordt gesmeerd. Via een aftapplug kan de gebruikte olie worden afgetapt.





De cilinderkop

Op het cilinderblok zit de cilinderkop met daarin de in- en uitlaatpoorten, het kleppenmechanisme en de bougies. De cilinderkop is met bouten op het blok bevestigd en om te voorkomen dat er gas vanuit de cilinder naar buiten lekt is er tussen de kop en het blok een pakking (de cilinderkoppakking) aangebracht.

De inlaatpoorten in de cilinderkop sluiten aan op het inlaatspruitstuk, dat op zich weer aansluit op de carburateur. Voor de uitlaatpoorten is er een uitlaat-

spruitstuk, dat uitmondt in het uitlaatsysteem.

Voor elke cilinder zijn er twee kleppen: een inlaatklep, die de toevoer van het benzine/lucht-mengsel verzorgt en een uitlaatklep, waardoor de gassen na de verbranding weer worden afgevoerd.

In de rusttoestand wordt elke klep door een sterke veer tegen de klepzitting in de in- en uitlaatpoort aangedrukt, zodat toe- of afvoer onmogelijk is. Voor het openen van de kleppen dienen de tuimelaaras en de tuimelaar.

Door deze constructie ontstaat de vol-

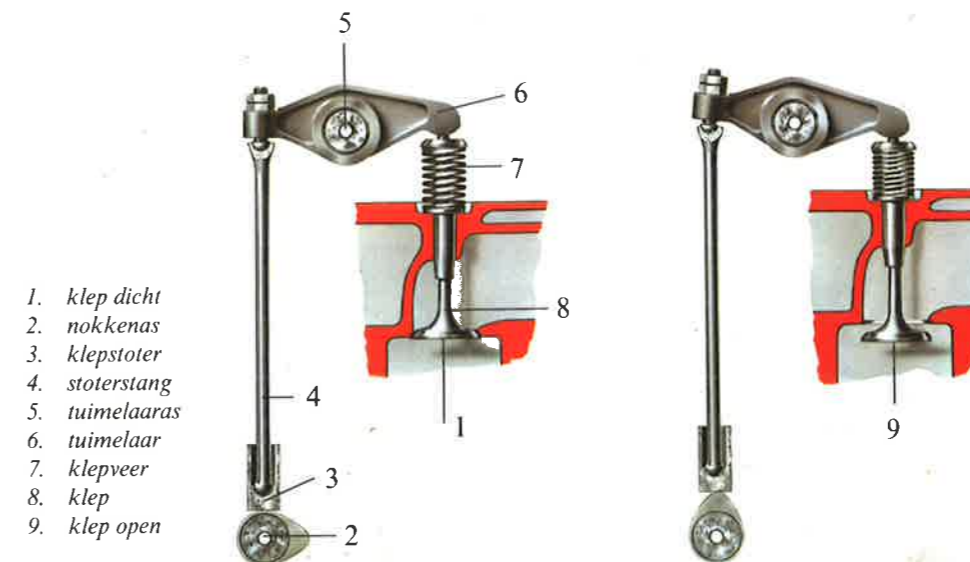
gende beweging. Bij het ronddraaien van de nokkenas stoot een nok tegen een klepstoter, waardoor de stoterstang omhoog gaat. De tuimelaar wordt daardoor aan een kant omhoog gestoten, zodat de andere kant de steel van de klep naar beneden duwt, waardoor de klep open gaat.

Tussen de klepsteel en de tuimelaar zit een kleine ruimte, de zogenaamde klepspeling. Als die er niet zou zijn zou de klep bij het uitzetten door de warmte niet geheel sluiten, waardoor verbrandingsgassen kunnen ontsnappen en de motor dus vermogen zou verliezen.

Het kleppenmechanisme wordt afgesloten met een deksel (het kleppendeksel), dat op de cilinderkop is vastgeschroefd. Het mechanisme wordt voortdurend van olie voorzien en om te voorkomen dat de-

ze olie weg zou lekken is er tussen de kop en het deksel weer een pakking aangebracht.

N.B. De plaats van de nokkenas verschilt nogal eens; bij sommige motoren zit deze niet in het cilinderblok, maar op de cilinderkop. Bij een dergelijke motor met, zoals dat heet, een „bovenliggende nokkenas” zijn geen klepstoters nodig omdat de nokkenas direct de tuimelaars in beweging brengt.



Het brandstofsysteem

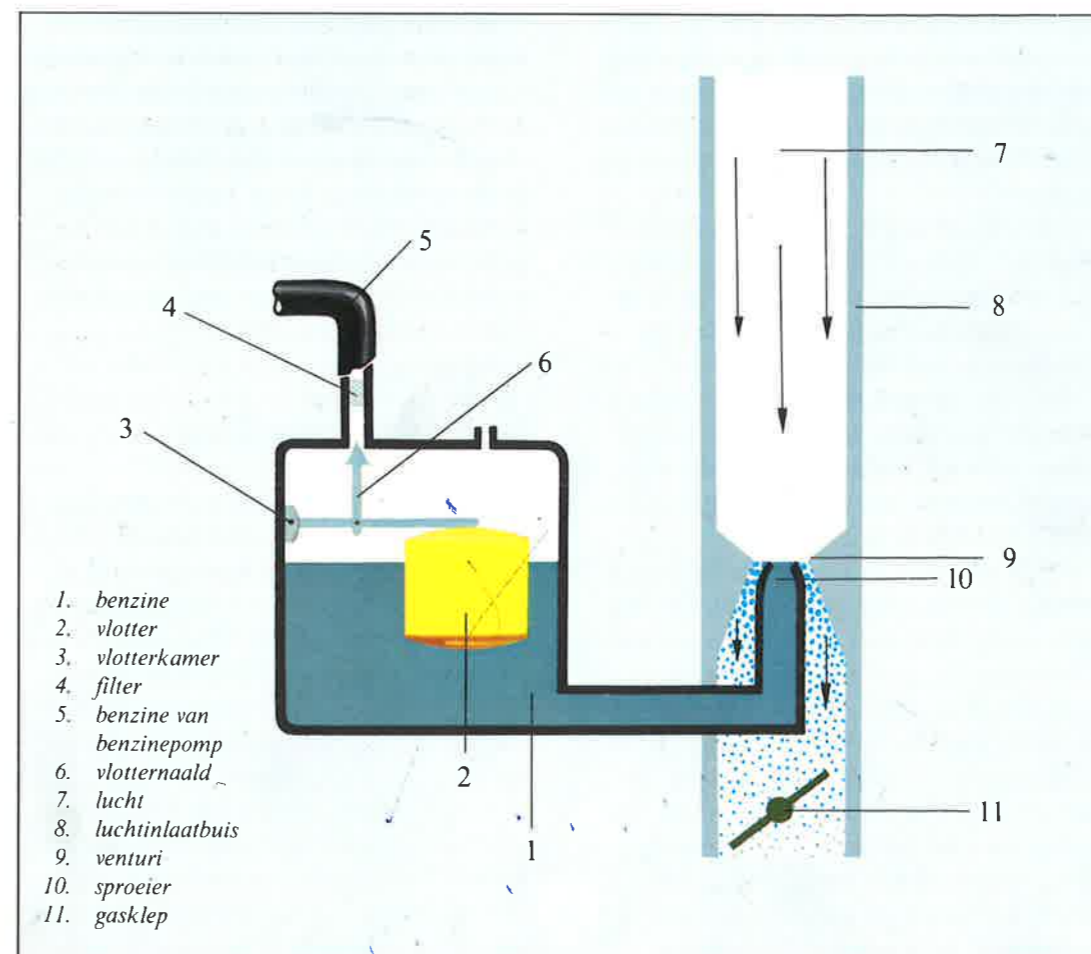
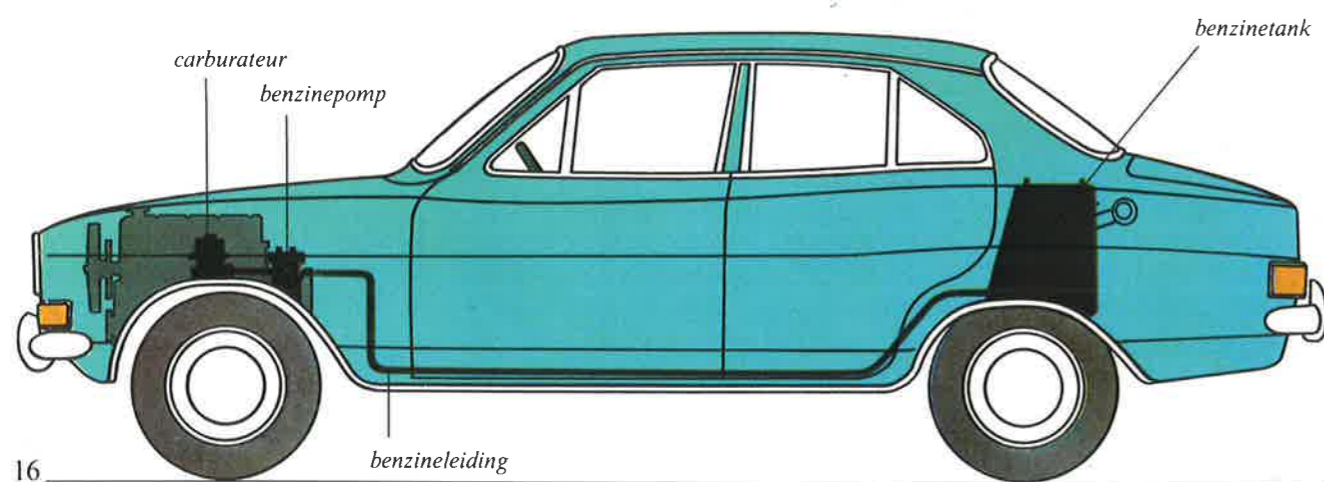
Voor de toevoer van het benzine/lucht-mengsel, dat de motor nodig heeft, zorgt het brandstofsysteem, dat bestaat uit de benzinetank, de benzinepomp en de carburateur.

De benzinepomp zorgt voor de toevoer van benzine naar de carburateur en kan zowel bij de benzinetank zitten als - zoals op de tekening - vlak bij de motor. In het laatste geval wordt de pomp meestal mechanisch aangedreven door de nokkenas, in het eerste geval is het doorgaans een elektrische pomp.

Onafhankelijk van het type is elke benzinepomp voorzien van een fijn filter om te voorkomen, dat roest- en vuildeeltjes, die in de tank zijn terechtgekomen, de motor bereiken.

Minstens even belangrijk als de toevoer van benzine is de aanvoer van lucht. Voor de verbranding van een liter benzine is gemiddeld 8000 liter lucht nodig en voor het mengen van die twee in de juiste verhouding zorgt de carburateur. Bovendien geeft de carburateur ons de mogelijkheid om de hoeveelheid brandbaar mengsel te regelen, zodat we controle hebben over het toerental en het vermogen van de motor. De carburateur is gemonteerd op het inlaatspruitstuk, een buizenstelsel, dat het benzine/lucht-mengsel naar de inlaatpoorten van de cilinders voert.

Carburateurs zijn er in een rijke verscheidenheid en ze zitten meestal bijzonder gecompliceerd in elkaar. We zullen ons daarom beperken tot de basisprinci-



pes, uitgaande van een denkbeeldige, uiterst simpele carburateur.

In de carburateur bevindt zich een benzinereservoir, de vlotterkamer, die voortdurend door de benzinepomp wordt gevuld. Het niveau van de benzine wordt op peil gehouden door een drijver, de vlotter, die de toevoer van benzine afsluit

(met behulp van de vlotternaald) als het juiste niveau is bereikt.

Vanuit de vlotterkamer stroomt de benzine naar een sproeier, die geplaatst is in de vernauwing van de luchtinlaatbuis, die de venturi wordt genoemd. Wanneer de motor loopt en de cilinders om beurten hun inlaatslagen maken, wordt er lucht

door de venturi naar binnen gezogen. In de venturi wordt deze lucht dan gemengd met de benzine, die eerst nog de vorm van kleine druppeltjes heeft, maar later dankzij de warmte in de motor in damp wordt omgezet.

De hoeveelheid brandbaar mengsel, die in de cilinders komt, wordt geregeld door de gasklep, die zich bevindt in de inlaatbuis voor het inlaatspruitstuk en bediend wordt door het gaspedaal.

Bovenop de carburateur zit het luchtfilter, dat voorkomt dat er met de aangezogen lucht ook stof en vuildeeltjes meekomen, die in de motor onnodige slijtage zouden veroorzaken.

Zoals gezegd is er voor de verbranding van een liter benzine gemiddeld 8000 liter lucht nodig. Gemiddeld, want de precieze verhouding hangt af van de rij-omstandigheden. Wanneer b.v. het gaspedaal plotseling diep wordt ingetrapd ontstaat er in de venturi een sterke luchtstroom, die niet onmiddellijk wordt gevolgd door een grotere toevoer van benzine. Omdat de motor daardoor zou inhouden, zijn de meeste carburateurs uitgerust met een extra sproeier, de zogenaamde acceleratie-sproeier, die als dat nodig is even bijspringt.

Een andere omstandigheid, waarbij het benzine/lucht-mengsel anders van samenstelling moet zijn, is het starten. Een koude motor heeft bij het starten een „rijker” mengsel nodig, d.w.z. een mengsel met een hoger percentage benzine dan normaal.

Bij sommige motoren wordt dit bereikt

door een afzonderlijke kleine startcarburateur, die tijdens het starten extra benzine toevoert. Bij andere modellen is er in de luchtinlaat een klep gemonteerd, de choke-klep, die de hoeveelheid lucht, die in de carburateur komt, vermindert. Bij sommige auto's wordt de choke met de hand bediend, maar bij steeds meer auto's werkt de choke automatisch, afhankelijk van de motortemperatuur.

Benzine-inspuiting

Bij een motor met één carburateur is het nogal moeilijk om elke cilinder te voorzien van een goed samengesteld mengsel van lucht en benzine. Omdat de benzinedruppeltjes meer dan lucht de neiging hebben om de makkelijkste weg te kiezen, krijgen de middelste cilinders soms een te rijk mengsel en de buitenste een te arm mengsel.

Een oplossing hiervoor is het gebruik van twee of meer carburateurs, maar dan doet zich het probleem voor om deze gelijk af te stellen en afgesteld te houden. Bij sommige auto's wordt daarom wel een systeem toegepast, waarbij aan elke cilinder een even grote hoeveelheid benzine wordt toegevoerd: het zogenaamde benzine-inspuiting of injectie-systeem.

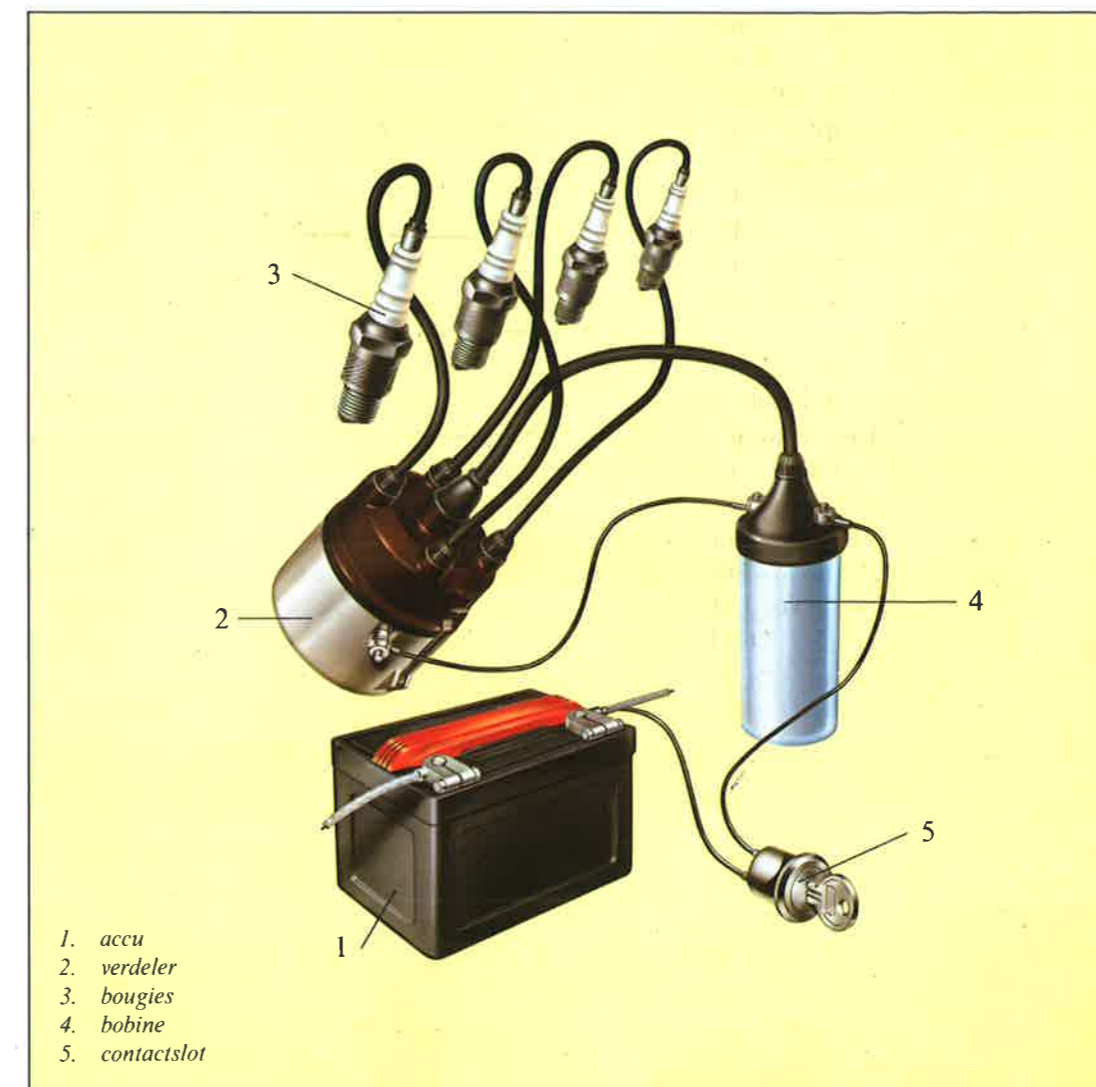
In principe bestaat zo'n systeem uit een injectie-pomp en één zogenaamde verstuiver per cilinder. De benzine kan rechtstreeks in de cilinder, in de inlaatpoort of in het inlaatspruitstuk worden gespoten.

Het ontstekingsysteem

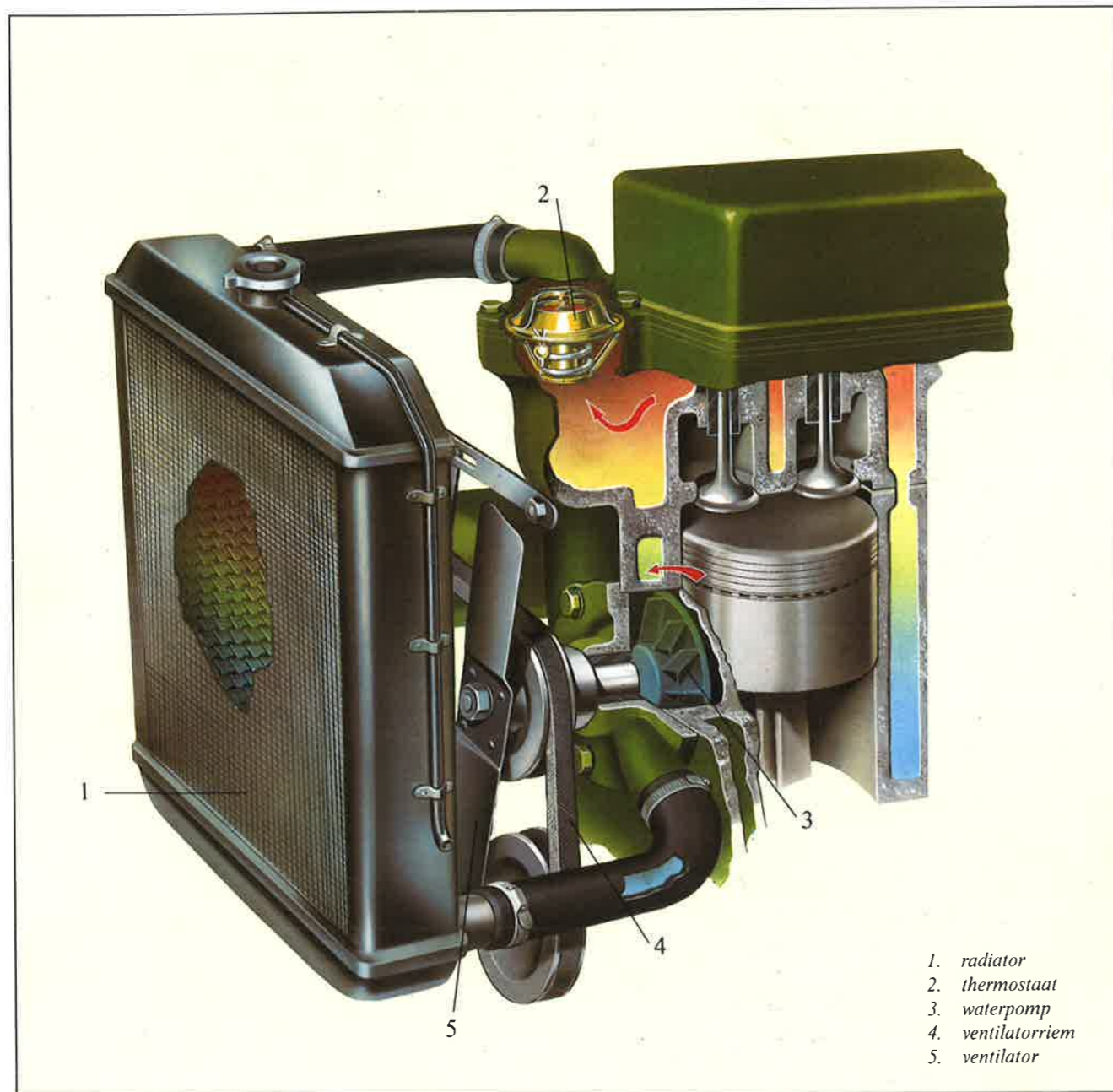
Het ontstekingsysteem zorgt ervoor dat in elke cilinder op het juiste moment een vonk overspringt, zodat het benzine/lucht-mengsel kan ontbranden. Doorgaans bestaat het systeem uit drie onder-

delen: de bobine, de verdeler en de bougies.

De stroom voor het ontstekingsysteem wordt bij het starten geleverd door de accu, die als de motor eenmaal loopt wordt



Het koelsysteem



Bij het verbrandingsproces in de motor komt vanzelfsprekend veel warmte vrij, zelfs meer dan ons lief is. Een doorsnee benzinemotor zet max. 24% van de in de brandstof beschikbare energie om in bewegingsenergie en de rest verdwijnt in de vorm van nutteloze warmte door het koelsysteem en de uitlaat.

Het koelsysteem is derhalve nodig om te voorkomen, dat de motor oververhit raakt. Motoren kunnen zowel door water als door lucht gekoeld worden; de grote meerderheid heeft echter waterkoeling.

Om de cilinders zitten ruimten, waardoor water stroomt, dat de overtollige warmte opneemt. Het warmere water is volgens een simpele natuurwet lichter dan koud water, zodat het opstijgt en in de radiator terechtkomt. De circulatie wordt bovendien nog geholpen door de waterpomp.

De radiator bestaat uit een groot aantal kleine buisjes, waar de rijwind tussendoor waait, zodat het water weer wordt afgekoeld. Om ook bij lage rijnsnelheden voldoende lucht door de radiator te laten stromen, is er nog een ventilator aangebracht, die meestal vanaf de krukas wordt aangedreven door dezelfde V-snaar (de ventilatorriem) die ook de waterpomp en de dynamo aandrijft. Tegenwoordig wordt ook wel een elektrisch aangedreven ventilator toegepast, die alleen wordt ingeschakeld als dat nodig is.

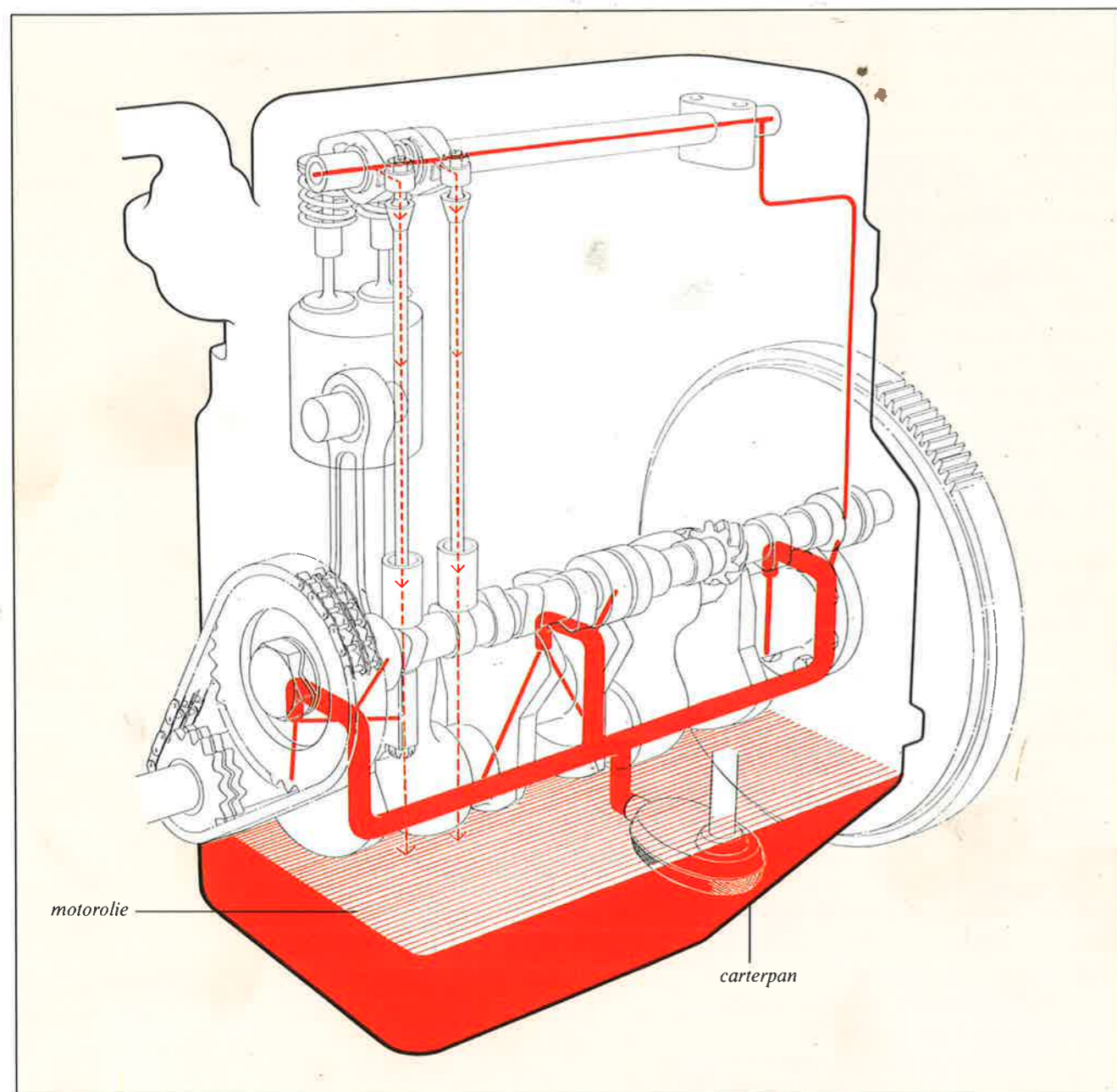
Het koelsysteem zorgt niet alleen voor de koeling van de motor, het zorgt, hoe vreemd dat ook mag klinken, ook voor de verwarming. Een deel van het warme

koelwater stroomt namelijk door de kachelradiator, die in het interieur van de wagen is gemonteerd.

De ideale bedrijfstemperatuur van een motor ligt zo rond de 85 °C en een thermostaat zorgt ervoor dat de koelwater-temperatuur daar niet te veel onder komt. Na het starten van een koude motor sluit de thermostaat de circulatie grotendeels af, waardoor de motor snel op temperatuur komt.

Om te voorkomen dat het koelwater 's winters bevriest, wat grote schade kan veroorzaken, zit er in het koelwater meestal een anti-vriesmiddel. Dat middel heeft ook een anti-corrosieve werking, zodat het noodzakelijk is de anti-vries ook 's zomers in het systeem te laten zitten.

Het smeersysteem



Een gedeelte van de motor, waarvan het belang wel eens wordt onderschat, is het smeersysteem.

Smeling is om verschillende redenen noodzakelijk. Ten eerste vermindert het de wrijving en slijtage van de bewegende onderdelen en ten tweede „koelt” de olie de lagers, zuigers en andere onderdelen. Bovendien verbetert het smeermiddel de afdichting tussen de zuigers en de cilinderwanden, zodat het „doorblazen” van verbrandingsgassen langs de zuigerveren wordt tegengegaan. En tenslotte wordt het inwendige van de motor door de olie schoongehouden. Verbrandingsresten worden met het olie verversen verwijderd.

De meeste motoren zijn voorzien van een smeersysteem onder druk, waarbij de olie door het inwendige van de motor circuleert. Een pomp zuigt de olie op uit de carterpan en perst die via een filter door de oliekanalen naar de lagers van de krukas, de nokkenas en het kleppenmechanisme. De olie, die door de draaiende beweging uit de lagers wegspat, zorgt voor een olienevel, waarmee de cilinderwanden worden gesmeerd.

Het belang van een goede smering is groot: als de oliedruk wegvalt, loopt de motor binnen enkele minuten vast. Daarom zijn vrijwel alle auto's voorzien van een controlelampje of oliedrukmeter, die aangeven of het smeersysteem goed werkt.



De complete motor

Nu we uitgebreid hebben gezien hoe de motor en de hulpsystemen afzonderlijk in elkaar zitten, wordt het tijd om eens te kijken naar de complete motorinstallatie.

Daarbij zijn ook enige onderdelen, die tot nog toe niet ter sprake kwamen.

De „maten” van een motor

Auto's hebben niet allemaal een even „grote” motor. De ene auto is tenslotte zwaarder of groter dan de andere en zal dus ook een krachtiger motor nodig hebben.

Het probleem is echter, dat er een vrij groot aantal benamingen voor de „maten” van een motor zijn, die veel door elkaar heen worden gebruikt. Nog verwarrender is het gebruik van allerlei soorten eenheden, waarin die maten worden opgegeven. Daarom volgt hierna een aantal veel voorkomende maten met daarbij de eenheden, waarin ze worden opgegeven.

Cilinderinhoud

Hoe krachtig een motor is hangt vanzelfsprekend mede af van de cilinderinhoud van de motor. Immers, hoe groter de cilinders zijn, hoe meer mengsel er kan verbranden en hoe groter dus ook de kracht is die er op de zuigers wordt uitgeoefend.

De cilinderinhoud van de huidige personenauto's varieert van zo'n 600 tot meer

dan 5 000 cm³ (1 cm³ = 1 kubieke centimeter; 1 000 cm³ = 1 liter). Vandaar dat een motor met een cilinderinhoud van 2 000 cm³ ook wel eens een „2-liter motor” wordt genoemd.

De cilinderinhoud wordt ook wel als het slagvolume betiteld en die uitdrukking wordt duidelijk als we de inhoud per cilinder bekijken. Het slagvolume is namelijk het stuk van de cilinder dat de zuiger in één slag bestrijkt en wordt berekend uit de boring, de diameter van de cilinder, en de slag, de afstand die de zuiger van het bovenste naar het onderste punt in de cilinder aflegt. Het bovenste stuk van de cilinder, de verbrandingskamer, wordt dus niet meegeteld.

Compressieverhouding

Bepalend voor het vermogen van de motor is ook de compressieverhouding, die aangeeft hoe sterk het mengsel in de cilinder door de zuiger wordt samengeperst (gecomprimeerd).

In de tekening op de volgende pagina is te zien hoe de compressieverhouding wordt berekend. Als de inhoud (V1) van de cilinder plus verbrandingsruimte b.v. 400 cm³ is en de inhoud van de verbrandingsruimte alleen (V2) 50 cm³, dan is de compressieverhouding 400:50 of 8:1. (Het zal overigens duidelijk zijn dat het slagvolume in het gegeven voorbeeld 350 cm³ is, want bij de bepaling daarvan telt de verbrandingskamer niet mee).



Dat het motorvermogen in de laatste jaren zo is toegenomen is voornamelijk te danken aan het opvoeren van de compressieverhouding. Wanneer de compressieverhouding stijgt, wordt het mengsel van benzine en lucht in de cilinder verder samengeperst, waardoor een grotere verbrandingsdruk ontstaat. De compressieverhouding kan echter niet ongestraft nog verder worden opgevoerd, zoals in het hoofdstuk „Benzine” zal blijken.

Koppel

De prestaties van een motor hangen vanzelfsprekend ook af van de kracht, die door de verbrandingsdruk op de zuigers wordt uitgeoefend. Een maatstaf voor die kracht is het koppel, een uitdrukking die veel wordt gebruikt in folders en testverslagen, maar toch nogal eens verwarring wekt.

Het koppel is, simpel gesteld, de kracht waarmee een as wordt rondgedraaid.

Een goed voorbeeld daarvan is het vastdraaien van de wielmoeren met een kruissleutel. Twee armen van de sleutel worden dan als hefboom gebruikt en de andere twee fungeren als as. De kracht die op de „as” wordt uitgeoefend noemt men het koppel.

Duidelijk is dat het koppel op twee manieren groter gemaakt kan worden: of door meer kracht uit te oefenen op de hefbomen of door dezelfde kracht uit te oefenen op langere hefbomen.

Het koppel kan worden uitgerekend door de kracht op de hefboom te ver-

nigvuldigen met de arm (de lengte van de hefboom). Het koppel wordt tegenwoordig gemeten in newton meter, afgekort N·m, al zult u ook de vroegere eenheid van kilogramkracht meter (kgf·m) nog wel eens tegenkomen.

(1 N·m = ca. 0,1 kgf·m).

Het motorkoppel, dat meestal in folders wordt opgegeven, is dus de kracht, waarmee de krukas ronddraait. Het koppel kan dan ook dienen als vergelijkingsmaatstaf voor de trekkracht van verschillende auto's.

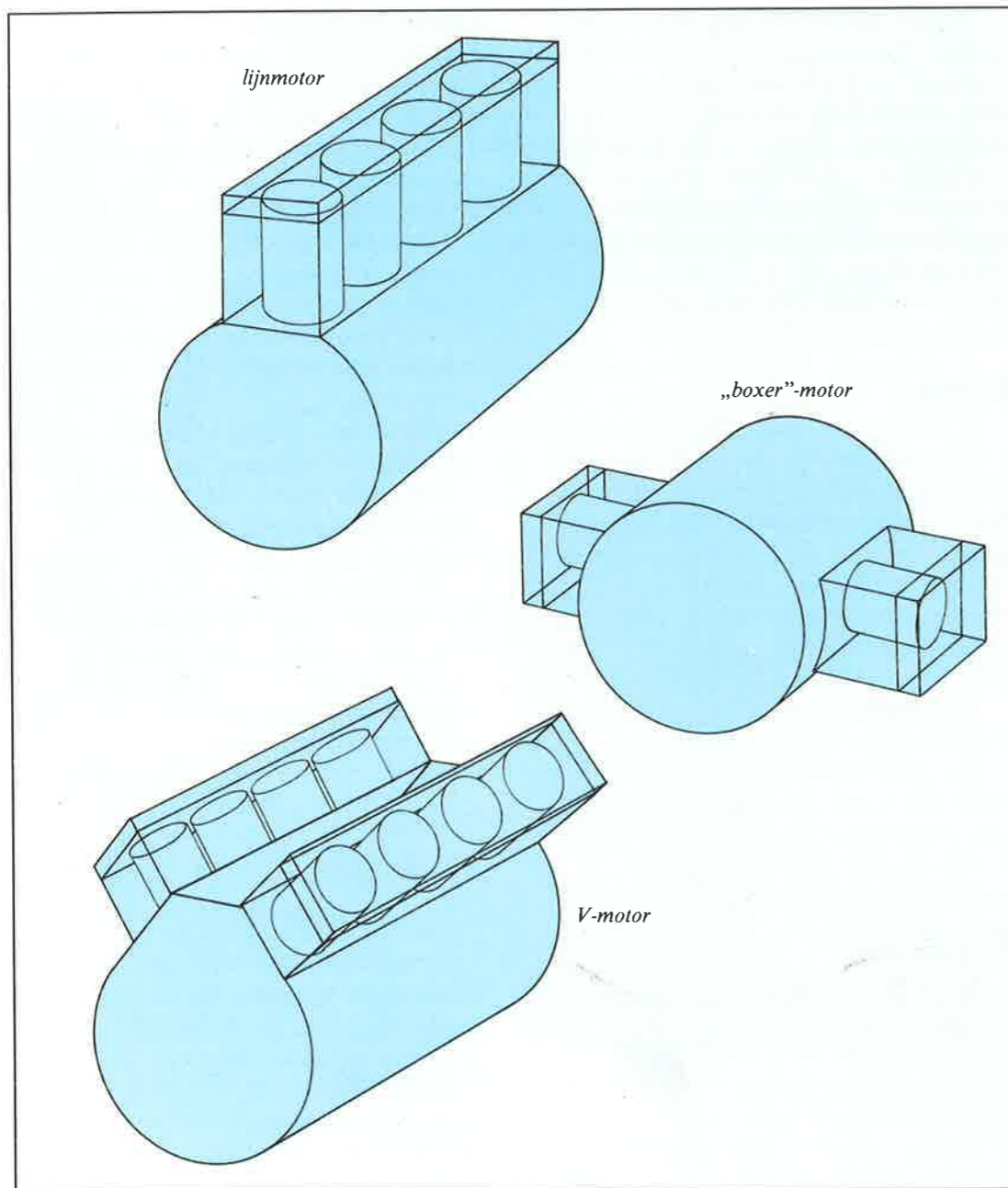
Nu zou het in theorie zo zijn, dat als de motor meer toeren gaat maken, dus als de krukas sneller draait, het koppel gelijk blijft, omdat tenslotte ook de verbrandingsdruk gelijk blijft.

De werkelijkheid is echter anders. Naarmate de zuigers sneller gaan bewegen krijgt de cilinder minder tijd om zich met vers mengsel te vullen. Daardoor wordt de verbrandingsdruk minder en wordt dus ook het koppel kleiner. Meestal bereikt de motor z'n grootste koppel bij ca. $\frac{3}{4}$ van het maximumtoerental.

Vermogen

Met het vermogen van de motor bedoelen we de hoeveelheid werk, die de motor in een bepaalde tijd kan verrichten.

Het vermogen is dan ook mede afhankelijk van het aantal malen per tijdseenheid, dat de kracht op de zuigers wordt ontwikkeld. Het maakt tenslotte een groot verschil of het koppel 1000 of 5000 maal per minuut kan worden benut.



Vandaar dat het vermogen van een motor wel toeneemt als de krukas sneller gaat draaien. Ook hier zien we weer, dat het vermogen bij zeer hoge toerentallen afneemt om dezelfde reden als het koppel terugloopt.

De fabrikant geeft daarom een maximum-toerental op dat op of net onder het punt ligt, waarop het vermogen begint terug te lopen. Hogere toerentallen zouden immers geen zin hebben.

Het vermogen werd vroeger opgegeven in pk (paardekracht), maar sinds de invoering van het nieuwe internationale stelsel van eenheden (SI) gebeurt dit in kW (kilowatt). In het tabelletje is te zien hoe de verschillende eenheden zich ongeveer verhouden.

Tabel

1 pk = 75 kgf·m/s

1 kW = 1,36 pk

Het vermogen van een motor wordt in bepaalde landen verschillend gemeten. Meestal wordt aangegeven volgens welk systeem dit is gebeurd.

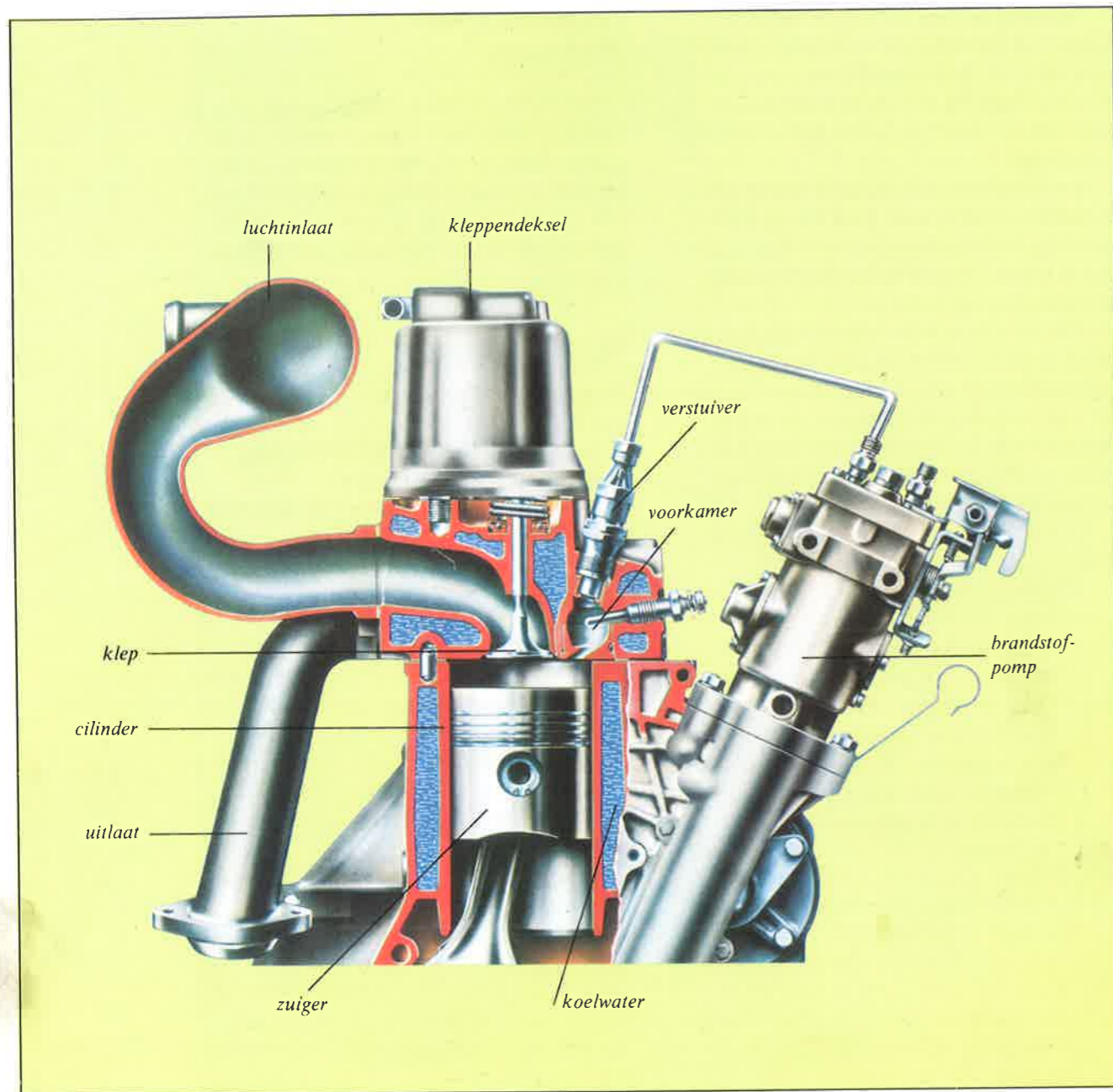
Andere typen motoren

Tot nu toe hebben we het steeds gehad over een motor met 4 achter elkaar opgestelde cilinders, omdat dit type motor het meest voorkomt. Daarnaast zijn er echter nog een groot aantal andere typen motoren, waarbij zowel het aantal als de plaatsing van de cilinders nogal verschillen.

Wat het aantal cilinders betreft loopt het aanbod sterk uiteen. Er zijn motoren met 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 en 12 cilinder(s). Qua plaatsing van de cilinders is de variatie wat beperkter en zijn er maar drie typen:

1. de „lijn“-motor, waarbij de cilinders achter elkaar zijn geplaatst.
2. de „boxer“-motor, waarbij de cilinders tegenover elkaar liggen.
3. de V-motor, waarbij twee rijen cilinders in een V-vorm tegenover elkaar zijn opgesteld.

De dieselmotor



Behalve de benzinemotor is er nog een ander type motor, dat wel in auto's wordt toegepast: de dieselmotor.

Een dieselmotor lijkt uiterlijk veel op een benzinemotor, maar verschilt daarvan op essentiële punten, door het gebruik van een ander soort brandstof: de dieselbrandstof, waarvan de specifieke eigenschappen later worden behandeld.

Een dieselmotor heeft ook cilinders, zuigers en kleppen, maar onderscheidt zich van de benzinemotor door de manier waarop de brandstof tot ontbranding wordt gebracht.

Werd bij een benzinemotor een mengsel van lucht en benzinedamp samengeperst en door een vonk tot ontbranding gebracht; bij een dieselmotor wordt alleen maar lucht in de cilinder samengeperst.

De druk wordt echter veel hoger opgevoerd en daardoor loopt ook de temperatuur van de samengeperste lucht enorm op. Als de zuiger dan bijna op z'n bovenste punt is, wordt in de cilinder een dosis dieselbrandstof gespoten, die door de hoge temperatuur spontaan ontbrandt. Vanaf dat moment verloopt het proces weer net als bij een benzinemotor: door de verbranding zet het gas zich uit, zodat de zuiger naar beneden wordt geduwd.

Een ontstekingsysteem met bobine, verdeler en bougies om een vonk te geven is bij de dieselmotor dus niet nodig. Ook de carburateur kan ontbreken, omdat brandstof en lucht pas in de cilinder bij elkaar komen en derhalve niet eerst gemengd hoeven te worden.

Daarvoor in de plaats heeft de dieselmotor een ingenieus brandstof-inspuitstelsel, dat de cilinders op het juiste moment van een dosis brandstof voorziet. De voornaamste onderdelen van dat systeem zijn de verstuivers, die de brandstof in de cilinder spuiten en de brandstofpomp, die steeds een afgemete hoeveelheid brandstof naar de verstuiver pompt.

Verstuiver en brandstofpomp

In de cilinder van de dieselmotor wordt tijdens de inlaatslag door de geopende inlaatklep alleen lucht aangezogen. Dan gaat de inlaatklep dicht en wordt de lucht sterk samengeperst, waardoor ook de temperatuur enorm stijgt.

Dat de druk dan veel hoger wordt dan bij een benzinemotor blijkt wel uit de compressieverhouding, die bij een dieselmotor rond 20:1 ligt tegen ca. 8 à 10:1 bij een benzinemotor. Als de zuiger bijna bovenaan is wordt er via de verstuiver in de cilinder een dosis dieselbrandstof gespoten, die door de hoge temperatuur spontaan ontbrandt.

Waar de brandstof wordt ingespoten verschilt van motor tot motor. Bij de meeste motoren komt de brandstof rechtstreeks in de cilinder (directe inspuiting), maar bij andere is de verstuiver geplaatst in een aparte voorkamer of wervelkamer. De ontbranding begint dan in die voorkamer, waarna door de drukstijging de nog

onverbrande brandstof naar de cilinder wordt gestuwd om daar volledig te verbranden.

De verstuivers zijn uiterst nauwkeurige instrumenten, die per keer een uiterst geringe, maar keurig afgemeten hoeveelheid brandstof in de cilinder spuiten. De brandstof moet bovendien met grote kracht ingespoten worden, omdat de hoge druk in de cilinder moet worden overwonnen, en bovendien ook omdat er nog geen honderdste van een seconde beschikbaar is voor inspuiting en verbranding.

Voor het afpassen en aanvoeren onder druk van die dosis brandstof zorgt de brandstofpomp, die meestal opzij van de motor is gemonteerd. De brandstofpomp bestaat uit even veel pompelementen als er cilinders zijn en wordt doorgaans aangedreven via de nokkenas.

De brandstofpomp is het meest kwetsbare onderdeel van de dieselmotor. Omdat de pomp enorme drukken opwekt met zeer geringe hoeveelheden brandstof wordt elk onderdeel met grote nauwkeurigheid vervaardigd. Voordat de brandstof de pomp bereikt, wordt deze dan ook een aantal malen gefilterd, want zelfs het kleinste vuildeeltje zou de pomp kunnen beschadigen.

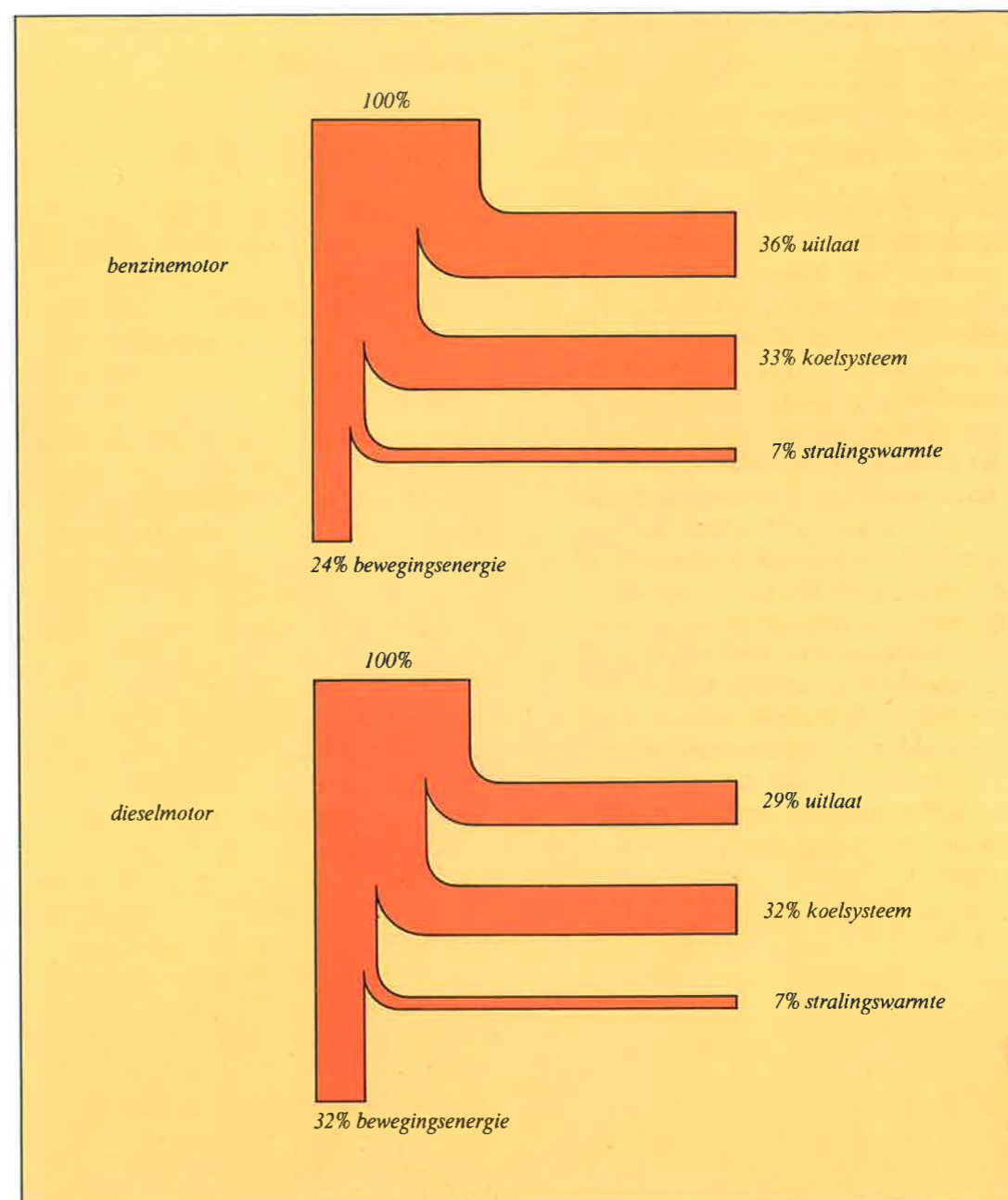
De diesel versus de benzinemotor

Het vergelijken van een dieselmotor met een benzinemotor als de meeste geschikte krachtbron voor een personenauto is een hachelijke zaak. Elk type motor heeft z'n eigen specifieke voor- en nadelen, die afhankelijk van de omstandigheden van de autogebruiker soms zeer zwaar en soms helemaal niet meetellen. Een aantal voor- en nadelen mag echter niet over het hoofd worden gezien.

Zo is de dieselmotor qua energieverbruik duidelijk in het voordeel. Zoals uit de schema's blijkt zet de dieselmotor ca. 32% van de via de brandstof toegevoerde energie om in bewegingsenergie, terwijl de benzinemotor een rendement van max. 24% bereikt. De rest van de potentiële energie verdwijnt als nutteloze warmte via de uitlaat en het koelsysteem en als stralingswarmte-verlies. (Daarmee samenhangend: een diesel is ook milieuvriendelijker, zoals in hoofdstuk „Brandstof en het milieu” zal blijken.)

Daartegenover staat, dat een dieselmotor meer produktiekosten vraagt. Als vuistregel geldt, dat een dieselmotor twee maal zo duur is als een benzinemotor met hetzelfde vermogen. De reden daarvan is dat de hogere druk in de dieselmotor een robuustere constructie vraagt, terwijl er bovendien fijngevoelige, dus dure inspuit-apparatuur noodzakelijk is.

Qua prestaties ligt de dieselmotor duidelijk iets achter op de benzinemotor. Om



een bepaald vermogen te bereiken moet een dieselmotor altijd een grotere cilinderinhoud hebben dan een benzinemotor, omdat de diesel — door z'n robuuste constructie — niet zo geschikt is voor hoge toerentallen.

Wat betreft de onderhoudskosten ontlopen de diesel- en de benzinemotor elkaar niet zo veel. Weliswaar is de dieselmotor, alweer door de solide constructie, iets betrouwbaarder, maar als er reparaties noodzakelijk zijn, zijn die bij een dieselmotor doorgaans duurder.

Het belangrijkste praktische verschil tussen de twee typen motoren zit hem in de brandstofkosten. Dieselbrandstof is relatief goedkoop en autobezitters die jaarlijks veel kilometers maken kunnen daardoor ondanks de extra kosten van aanschaf en hogere wegenbelasting besparen op de kosten van het autorijden. Daarbij moet echter wel opgemerkt worden, dat het verschil in de brandstofprijzen nogal eens verandert en dat berekeningen van welk motortype het meest economisch is altijd sterk afhankelijk zijn van de persoonlijke omstandigheden.

Transmissie, vering, stuurinrichting en remmen

De transmissie

De koppeling

Tandwieloverbrengingen

De versnellingsbak

De automatische versnellingsbak

De traploze overbrenging

De cardanas

Eindoverbrenging, differentieel en achteras

Het veersysteem

De stuurinrichting

De remmen

Motorolie

Vrijwel alle auto-motoren worden gesmeerd door een systeem van zogenaamde „druksmering”. De olie in het carter wordt opgezogen door een oliepomp en door oliekanalen geperst, die uitmonden in de krukaslagers, de lagers van de nokkenas en het kleppenmechanisme.

De olie, die uit de krukaslagers wegspat vormt een olienevel, waarmee o.a. de cilinderwanden worden gesmeerd. Ook de zuiger krijgt op deze manier zijn koelolie. De olie zakt daarna weer terug in het carter en wordt dan opnieuw opgezogen na eerst geheel of gedeeltelijk een filter te passeren, waarin vuil en verbrandingsresten worden opgevangen, waarna de cyclus wordt herhaald.

Aan de olie voor een motor worden hoge eisen gesteld.

De olie moet zijn werk doen bij sterk wisselende temperaturen, wordt vervuild door de gassen, die bij de verbranding vrijkomen en verdund door brandstof, die bij een koude start in het carter terecht komt.

Een aantal eigenschappen van een motorolie kan men aflezen aan een tweetal classificatie-systemen.

1. De A.P.I.-classificatie (American Petroleum Institute).

Deze classificatie geeft aan voor welke toepassing een motorolie geschikt is.

2. De SAE-indeling (Society of Automotive Engineers).

In deze indeling wordt tot uitdrukking gebracht de mate van vloeibaarheid van een olie.

Op beide systemen zullen wij nader ingaan.

Kwaliteit (de API-classificatie)

De kwaliteit van motorolie wordt uitgedrukt in de API-(American Petroleum Institute) classificatie.

De API-classificatie bestaat uit twee series, de S-serie voor olie voor benzinemotoren en de C-serie voor olie voor dieselmotoren. Deze series zijn onderverdeeld in een aantal categorieën; op het ogenblik 5 voor de S-serie en 4 voor de C-serie.

De categorieën worden gekenmerkt door de letters van het alfabet, die steeds een andere kwaliteit aangeven. In de S-serie bestaan de categorieën SA, SB, SC, SD en SE, in de C-serie CA, CB, CC en CD. De meeste oliën voor benzinemotoren in auto's, die momenteel op de markt zijn, vallen in de SE-categorie. Verwacht wordt dat er binnenkort oliën komen, die in een hogere categorie, SF, kunnen worden ingedeeld. Ook kunnen combinaties van beide categorieën voorkomen bijvoorbeeld SE/CC.

De kwaliteit van de olie wordt bepaald door een aantal factoren. Een belangrijke factor is bijvoorbeeld de **oxydatiëstabiliteit**, dat wil zeggen de mate waarin de olie bestand is tegen veroudering.

Door de hoge temperaturen in de motor kan de olie zich chemisch met de zuurstof uit de lucht binden (oxydatie). De hierdoor ontstane oxydatieproducten



Een goede motorolie: een ingewikkeld mengsel van olie en diverse toevoegingen om ervoor te zorgen, dat de motor zo goed mogelijk in conditie blijft.

veroorzaken o.a. indikking van de olie en afzettingen op bepaalde motoronderdelen. De oxydatie-stabiliteit bepaalt daarom mede hoelang de opgegeven viscositeit van de olie gehandhaafd blijft.

Motorolie moet bovendien een **detergerende** en een **dispergerende** werking hebben, waarmee men bedoelt dat de olie moet voorkomen dat zich - door roet, water en stof - een drabbige massa in het carter vormt, die zich op motoronderdelen kan afzetten.

Daarnaast bevat een goede motorolie een aantal toevoegingen, ook wel „doops” genoemd, die nog andere ongewenste bijverschijnselen tegengaan.

Bijvoorbeeld anti-schuimdoops tegen schuimvorming in het carter. Anti-slijtage-doops om beschadiging van nok en nokkenas te voorkomen. Anti-roestdoops, ter voorkoming van corrosie van metaaloppervlakken en tenslotte alkalische verbindingen om zuren in de smeeroilie, afkomstig van de verbranding, te neutraliseren.

SAE-indeling van motoroliën

Motorsmeermiddelen worden al naar gelang hun mate van vloeibaarheid ingedeeld in dikte-classes. Men onderscheidt hierin twee hoofdgroepen, te weten de dunne en gemakkelijk vloeiende oliën (lage viscositeit) en de dikke, stroperige oliën (hoge viscositeit).

Iedere groep is weer onderverdeeld in klassen en deze klassen worden aangegeven met een cijfer. Hoe hoger het cijfer, hoe dikker de olie.

Voor de groep dunnere oliën zijn de viscositeitslimieten vastgelegd bij $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Deze groep van zeer gemakkelijk vloeibare oliën is tevens kenbaar aan de letter W achter het cijfer. Dit type olie is bedoeld voor „winter-bedrijf.”

Oliën van deze groep zijn SAE 5W, 10W, 15W en 20W.

Voor de groep dikvloeibare oliën zijn de viscositeitslimieten vastgelegd bij $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tot deze groep behoren de SAE 20, 30, 40 en 50 oliën.

Deze SAE-indeling werd voor het eerst opgesteld in 1911. Hierdoor werd het de motorfabrikant mogelijk gemaakt duidelijk aan te geven welke smeermiddeldikte onder bepaalde omstandigheden voor zijn motor het meest geschikt is. Latere ontwikkelingen in de smeerolietechniek hebben het mogelijk gemaakt oliën samen te stellen, die voldoen aan eisen van beide categorieën. Dus zowel bij lage ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$) als hoge ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$) temperatuur. Dit zijn dan oliën die meer SAE-classes omvatten. Dergelijke oliën worden multigrade-oliën genoemd. Voorbeelden hiervan zijn SAE 10W/30, 10W/40, 15W/50, 20W/40 en 20W/50 oliën.

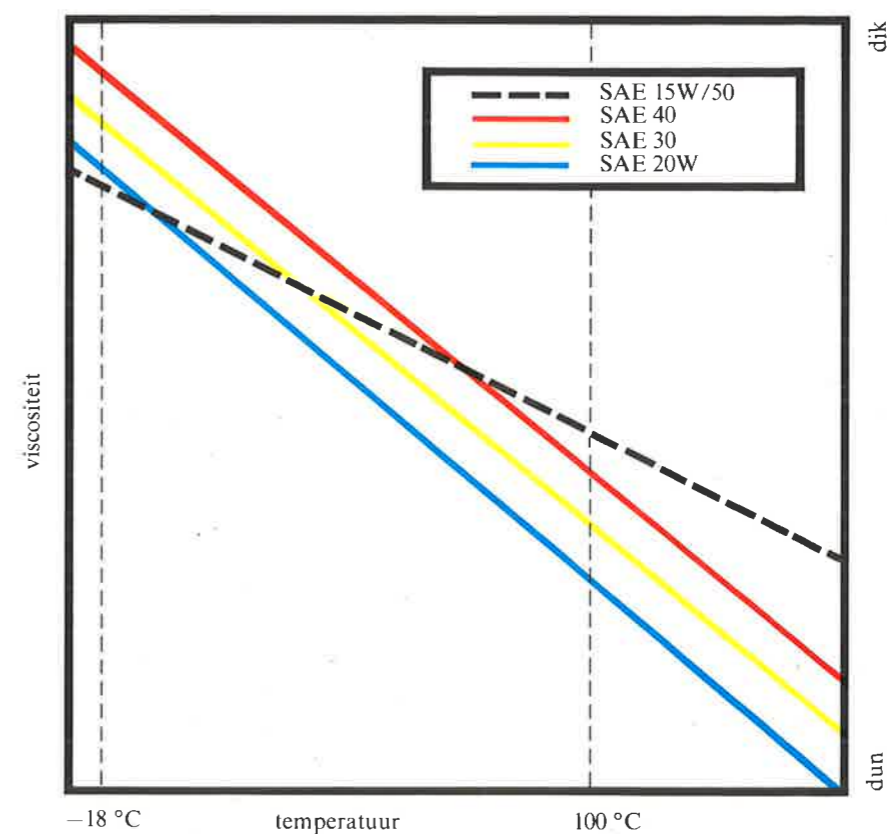
Het SAE-getal geeft dus met een simpel cijfer of cijfergroep aan, in welk vloeibaarheidsgebied een motorolie ligt. Het SAE-getal zegt niets over andere eigenschappen van een smeeroilie zoals bij-

voorbeeld hechtend vermogen aan metalen, chemische en thermische stabiliteit, corrosiebescherming, reinigende werking enz.

Over deze kwaliteitseigenschappen vertelt de API-classificatie ons meer.

De voordelen van een multigrade-olie laten zich gemakkelijk raden. De vloeibaarheidseigenschappen waarborgen een vlot-

te start en onmiddellijke smering, waardoor minimale startslijtage optreedt. Ook het brandstofverbruik wordt gunstig beïnvloed, omdat de motor minder weerstand ondervindt van de koude olie. Doordat de olie bij stijging van de temperatuur in verhouding minder dun wordt, waarborgt dit een optimale smering bij hoge motorbelasting en temperatuur.



viscositeit-temperatuurgedrag van motoroliën met verschillende SAE-aanduidingen.