

Een benzine-inspuitsysteem moet onder de meest uiteenlopende bedrijfsomstandigheden de juiste verhouding bepalen tussen lucht en brandstof.

Vroeger stond de ontwikkeling van benzine-inspuiting of -injectie in het teken van de verhoging van het vermogen. Nu is dat anders, en gaat het meer om een verlaging van het brandstofverbruik en het beter voldoen aan milieueisen. De puur mechanische systemen beantwoorden niet meer zo gemakkelijk aan de huidige eisen. Daarom heeft men het beproefde K-Jetronic als betrouwbaar mechanisch inspuitsysteem als basis genomen maar heeft men het door toevoeging van elektronica intelligenter, sneller regelbaar en rendabeler gemaakt.

Deze uitvoering van het mechanische principe van de K-Jetronic, uitgebreid met een elektronische aanpassings- en optimaliseringsfunctie, heet de
KE-Jetronic.

Inhoud

1	De ottomotor	3
1.1	Vierslagprincipe	3
1.2	Mengselvorming	4
1.3	Mengselvormingssystemen	4
2	KE-Jetronic-inspuitsysteem met lambda-regeling	6
2.1	Systeemoverzicht	6
2.2	Voordelen van de KE-Jetronic	6
3	Basisfuncties	8
3.1	Brandstoftoevoersysteem	8
3.2	Brandstofbepaling	10
4	Mengselaanpassing	12
4.1	Basisaanpassing	12
4.2	Elektronisch stuurapparaat	12
4.3	Elektro-hydraulische drukregelaar	14
4.4	Bedrijfsomstandigheden	16
5	Overige functies	20
5.1	Proces bij afremmen op de motor	20
5.2	Toerentalbegrenzing	21
5.3	Mengselaanpassing op grote hoogte	21
6	Uitlaatgasverbetering	22
6.1	Katalytische nabehandeling	22
6.2	Lambda-regeling	23
7	Elektrische schakeling	24

Het omslag toont de mengselregelaar met geïntegreerde brandstofverdeler, luchthoeveelheidsmeter en elektrohydraulische drukregelaar, alsmede onderaan het elektronische stuurapparaat.

1 De ottomotor

De ottomotor is een verbrandingsmotor die energie uit brandstof, die wordt ontstoken door middel van een vonk, omzet in bewegingsenergie.

Bij de ottomotor wordt door menginstallaties buiten de verbrandingsruimte (cilinder) een lucht-brandstofmengsel gemaakt. Het mengsel wordt door de neergaande zuiger in de verbrandingsruimte gezogen en daarna samengeperst. Een op het juiste moment aan de bougie aanwezige vonk leidt de verbranding in. De vrijkomende verbrandingswarmte leidt tot een drukverhoging van de voorgecomprimeerde gassen. Dit type motor werkt met mengselcompressie, en heet ottomotor.

Na elke arbeidsslag drijft de zuiger de verbrande gassen uit de verbrandingsruimte en zuigt weer een vers lucht-brandstofmengsel naar binnen. Bij motorvoertuigen vindt deze gaswisseling in het algemeen plaats volgens het vierslagprincipe: het complete proces speelt zich af in twee krukasomwentelingen.

In plaats van op benzine rijdt men ook wel op gas ofwel LPG (Liquefied Petroleum Gas).

1.1 Vierslagprincipe

1e slag: aanzuigen lucht-brandstofmengsel,

2e slag: comprimeren (samenpersen),

3e slag: verbranden (arbeidsslag) en

4e slag: uitstoten verbrande gassen.

De toe- en afvoer van brandstofmengsel en gassen wordt geregeld door de kleppen, die de in- en uitlaatkanalen van de cilinder afhankelijk van de stand van de nokkenas openen of sluiten (zie fig.2).

(1) Inlaatslag

Inlaatklep: open,
uitlaatklep: gesloten,
zuigerbeweging: naar beneden,
nog geen verbranding.

De naar beneden gaande zuiger vergroot het werkzame volume van de cilinder, waardoor een vers lucht-brandstofmengsel langs de geopende inlaatklep in de cilinder wordt gezogen.

(2) Compressieslag

Inlaatklep: gesloten,
uitlaatklep: gesloten,
zuigerbeweging: naar boven,
verbranding in inleidingsfase (ontsteking).

De naar boven bewegende zuiger verkleint het werkzame volume in de cilinder en comprimeert het lucht-brandstofmengsel. De compressieverhouding bedraagt 8:1 tot maximaal 12:1, afhankelijk van

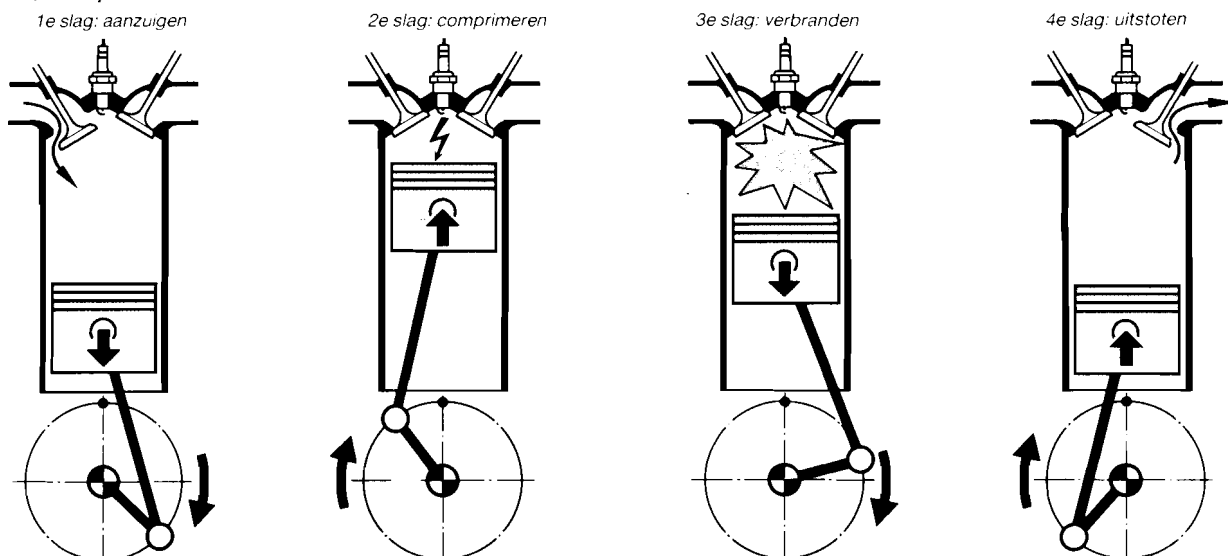
de bouw van de motor. Hoe hoger de compressieverhouding is, des te hoger wordt het thermische rendement van de motor, met als gevolg een hoger rendement van de brandstof. Hoe hoog de compressieverhouding kan worden gemaakt wordt bepaald door de mate van klopvastheid. Kloppen betekent een onregelmatige, ongecontroleerde verbranding van het mengsel, hetgeen zeer plotseling in de verbrandingskamer grote drukverhogingen (piekdrukken) teweegbrengt. Het kloppen leidt op den duur onherroepelijk tot schade aan de motor. Door een gelijkmatig lucht-brandstofmengsel en door het zo goed mogelijk benutten van stromingseffecten in de inlaatkanalen, aangevuld door een zo gunstig mogelijke vormgeving van de verbrandingsruimte, kan de mate van klopvastheid gunstig worden beïnvloed ten aanzien van hogere compressieverhoudingswaarden. Kort voordat de zuiger het bovenste dode punt bereikt, ontsteekt de bougie het gecomprimeerde lucht-brandstofmengsel en leidt zo de verbranding in.

(3) Arbeidsslag

Inlaatklep: gesloten,
uitlaatklep: gesloten,
zuigerbeweging: naar beneden,
verbranding: het gehele mengsel verbrandt nu.

Nadat de vonk van de bougie het

Fig. 2 Het arbeidsproces van een ottomotor



gecomprimeerde lucht-brandstofmengsel ontstoken heeft, stijgt de temperatuur als gevolg van de verbranding van het mengsel, waardoor de druk in de cilinder snel wordt verhoogd. De druk duwt de zuiger naar beneden. De zuiger geeft zijn arbeid via de drijfstang af aan de krukas. Zo wordt de arbeid per tijdseenheid beschikbaar als motorvermogen. Het vermogen wordt groter naarmate het toerental stijgt. Daarom is voor de aanpassing van het meest gunstige motortoerental aan de rijnsnelheid een versnellingsbak (transmissie) nodig.

(4) Uitlaatslag

Inlaatklep: gesloten,
uitlaatklep: open,
zuigerbeweging: naar boven,
verbranding: geen.

De naar boven bewegende zuiger perst de verbrande gassen langs de geopende uitlaatklep naar buiten. Na deze slag begint het gehele proces opnieuw.

In de praktijk overlappen de openingstijden van de in- en uitlaatslag elkaar. Hierdoor worden de verschillende snelheden van in- en uitstromend gas en optredende drukgolven gebruikt om een betere cilindervulling te bewerkstelligen.

1.2 Mengselvorming

Lucht-brandstofmengsel

Een ottomotor heeft een bepaalde verhouding tussen lucht en brandstof nodig om goed te kunnen functioneren. De theoretisch benodigde lucht-brandstofverhouding λ bedraagt 14,7 : 1. De verschillende bedrijfsomstandigheden waarmee de motor te maken krijgt vereisen echter een voortdurende aanpassing van de mengselverhouding.

Het specifieke brandstofverbruik van een ottomotor is afhankelijk van de mengverhouding van het lucht-brandstofmengsel. Theoretisch zou voor een volledige verbranding en daarmee voor een zo laag mogelijk brandstofverbruik een veel grotere overmaat aan lucht dan 14,7 nodig zijn. Dit is echter wegens het ontbrandingsproces en de voor de verbranding beschikbare tijd niet realiseerbaar. Bij de huidige motoren is het verbruik het laagst bij een lucht-brandstofverhouding van 15 ... 18 kg lucht en 1 kg brandstof. Dit betekent dat voor verbranding van 1 liter benzine ongeveer 10 000 liter lucht nodig is (fig. 3). De chemisch kleinste ver-

houding voor het verkrijgen van een volledige verbranding, ook wel stoichiometrische verhouding genoemd, is 14,7 : 1. Omdat automotoren veelal in het deellastgebied werken, zijn de motoren door hun constructie in dit gebied zo optimaal mogelijk getuned, zodat er daar van een laag brandstofverbruik sprake is. Voor de bedrijfsomstandigheden stationair en vollast is een rijker brandstofmengsel gunstiger. Het mengselvormingssysteem moet in staat zijn aan deze variabele eisen te voldoen.

Luchtverhouding

Om aan te geven hoeveel de werkelijke lucht-brandstofmengselverhouding afwijkt van de theoretisch benodigde verhouding (14,7 : 1) gebruikt men het luchtverhoudingsgetal λ (lambda):

$$\lambda = \frac{\text{aangevoerde hoeveelheid lucht}}{\text{theoretisch benodigde hoeveelheid lucht}}$$

$$\lambda = 1$$

De toegevoerde hoeveelheid lucht komt overeen met de theoretisch benodigde hoeveelheid.

$$\lambda < 1$$

Luchttekort geeft een rijk mengsel; verhoogd vermogen als $\lambda = 0,85 \dots 0,95$.

$$\lambda > 1$$

Luchtoverschot geeft een arm mengsel; in het bereik $\lambda = 1,05 \dots 1,3$ brandstofverbruik en minder vermogen.

$$\lambda > 1,3$$

Het mengsel wil niet meer ontbranden; de motor wil niet meer lopen.

$$\lambda = 0,95 \dots 0,85$$

Ottomotoren bereiken het hoogste vermogen bij 5 ... 15% luchttekort.

$$\lambda = 1,1 \dots 1,2$$

Ottomotoren bereiken het laagste brandstofverbruik bij ongeveer 20% luchtoverschot.

$$\lambda \approx 1,0$$

Optimaal stationairdraaien bij de stoichiometrische verhouding.

$$\lambda = 0,85 \dots 0,75$$

Goede 'overgangen' bij 15 ... 25% luchttekort.

Als 'overgang' beschouwt men een verandering van belasting, bijvoorbeeld van stationair naar deel- of vollastdraaien. Een goede 'overgang' is vooral belangrijk bij plotseling fel accelereren.

Figuur 4 laat het verloop zien van het vermogen en het specifieke brandstofverbruik. Figuur 5 toont de ontwikkeling van schadelijke stoffen afhankelijk van de luchtverhouding. Er blijkt niet één ideale luchtverhouding te bestaan voor alle voorkomende bedrijfsomstandigheden.

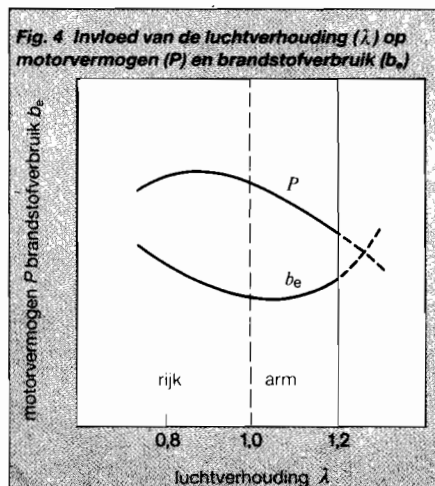
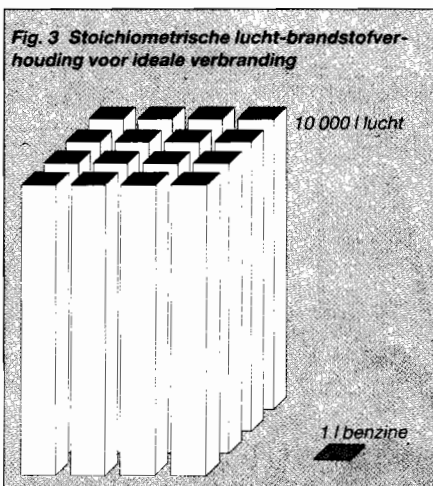
$$\lambda = 0,9 \dots 1,1$$

In de praktijk zijn de luchtverhoudingen van $\lambda = 0,9 \dots 1,1$ bruikbaar gebleken.

1.3 Mengselvormingssystemen

Mengselvormingssystemen, zowel carburateurs als inspuitssystemen, hebben als taak bij elke belastings-toestand van de motor een zo goed mogelijk aangepast lucht-brandstofmengsel te vormen.

De laatste jaren is er een tendens naar het gebruik van zuigbuisinspuiting voor mengselvorming. Deze trend wordt veroorzaakt door de voordelen die het inspuiten van brandstof biedt,



samen met de vraag naar rendementsverbetering, een hoger prestatievermogen, goede rij-eigenschappen en een vermindering van schadelijke stoffen in de uitlaatgassen.

Het grote voordeel van zuigbuisinspuiting is, dat een exacte dosering van de gewenste hoeveelheid brandstof mogelijk is, afhankelijk van de bedrijfs- en belastingstoestand van de motor met inachtneming van externe invloeden. De mengselsamenstelling wordt dusdanig bepaald dat de hoeveelheid schadelijke stoffen in het uitlaatgas gering is. Bovendien bereikt men door de plaatsing van een aparte verstuiver voor elke cilinder een exacte mengselverdeling. Door het laten vervallen van de carburateur is het mogelijk inlaatspruitstukken stromingstechnisch een betere vorm te geven. Dit resulteert in een betere vulingsgraad van de cilinder, hetgeen een hoger draaimoment (koppel) tot gevolg heeft (fig. 6).

Mechanisch inspuitstelsel

Bij de mechanische inspuitstelsels is de K-Jetronic verreweg het meest bekend. Het stelsel werkt zonder aparte aandrijving en spuit voortdurend brandstof in. De K-Jetronic wordt uitvoerig beschreven in 'K-Jetronic' uit deze serie Bosch Technische Leergang.

Gecombineerd mechanisch-elektronisch inspuitstelsel

De KE-Jetronic is van het mechanische principe van de K-Jetronic afgeleid. De KE-Jetronic maakt, door het verzamelen van aanvullende bedrijfsgegevens, elektronisch gestuurde nevenfuncties mogelijk, om de inspuit-hoeveelheid aan te passen aan de verschillende bedrijfsomstandigheden van de motor.

Elektronische inspuitstelsels

Elektronisch gestuurde inspuitstelsels zijn de L-Jetronic en zijn varianten. Elektromagnetische verstuivers

spuiten met tussenpozen, elektronisch gestuurd, brandstof in het inlaatspruitstuk. Een beschrijving van dit stelsel wordt gegeven in 'L-Jetronic' uit deze serie Bosch Technische Leergang.

Gecombineerd ontstekings- en inspuitstelsel Motronic

Benzine-inspuitstelsels hebben hun beperkingen. Om het gehele verbrandingsproces te verbeteren is ook een aanpassing nodig van het ontstekingsstijdstip aan de bedrijfsomstandigheden van de motor. De Motronic brengt het inspuitstelsel en het ontstekingsstelsel in relatie tot elkaar. Beide worden door een microprocessor, volgens gemeenschappelijke optimaliseringscriteria, gestuurd. Hoe dit in zijn werk gaat is beschreven in 'Motronic' uit deze serie Bosch Technische Leergang.

Voordelen van inspuiting

- Lager brandstofverbruik (fig. 7)

Bij carburateursystemen treden door ontmenging in het inlaatspruitstuk verschillen op in de samenstelling van het mengsel per cilinder. Om ervoor te zorgen dat ook de meest ongunstig geplaatste cilinder voldoende brandstof krijgt, moet dan in totaal een te grote hoeveelheid brandstof worden toegevoerd. Bovendien slaat er bij een veranderende belasting een laagje brandstof neer op de wanden van de inlaat, dat naderhand weer verdampst.

De gevolgen zijn een hoger verbruik, terwijl de belasting van de cilinders onderling ongelijk is. Bij de K- en L-Jetronic bevindt zich bij elke cilinder een verstuiver. De verstuivers worden centraal gestuurd. Daarmee bereikt men dat iedere cilinder op ieder ogenblik en bij elke belasting dezelfde, exact gedoseerde hoeveelheid brandstof krijgt.

- Hoger vermogen (fig. 7)

Door toepassing van Jetronic-installaties wordt een optimale vormgeving van de inlaatsbuis mogelijk, waardoor de cilindervulling beter wordt. Dit heeft direct een hoger specifiek vermogen tot gevolg en bovendien een functioneler koppelpverloop.

- Accelleren zonder vertraging

De Jetronic-installaties passen zich nagenoeg zonder vertraging aan veranderende belastingen aan, omdat de verstuivers de benodigde hoeveelheid brandstof direct op de inlaatskleppen spuiten.

- Verbetering van de koude start en de warmdraaifase

De exacte dosering van de brandstof, die afhankelijk is van de motortemperatuur en het starttoerental, heeft een direct aanslaan en een juist (verhoogd) stationair toerental tot gevolg. Als de motor warm wordt, zorgt de exacte bepaling van de hoeveelheid brandstof voor een gelijkmatig draaien van de motor, een stootvrij reageren op gas geven en een zo laag mogelijk brandstofverbruik.

- Weinig schadelijke stoffen in het uitlaatgas

De concentratie van schadelijke stoffen in het uitlaatgas staat in direct verband met de lucht-brandstofverhouding. Wil men de motor gebruiken met een zo gering mogelijke emissie van schadelijke stoffen, dan stelt dit een beperking aan de mengselvorming, en wel dat de lucht-brandstofverhouding binnen bepaalde (enge) grenzen moet blijven. De K- en L-Jetronic-installaties werken zo precies dat de uitstoot van schadelijke stoffen door de nauwkeurigheid van de mengselvorming binnen de van kracht zijnde uitlaatgasbepalingen blijft.

Fig. 5 Invloed van de luchtverhouding (λ) op de uitlaatgassamenstelling

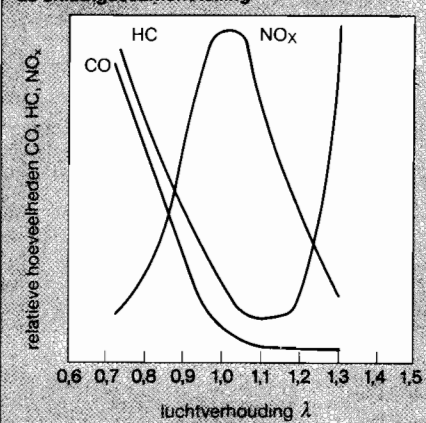


Fig. 6 Vermogens- en koppelpverloop, a met Jetronic, b met carburateur

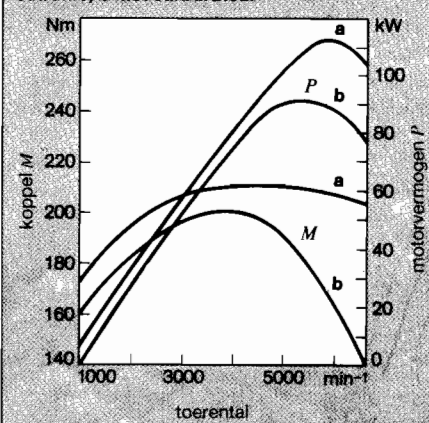
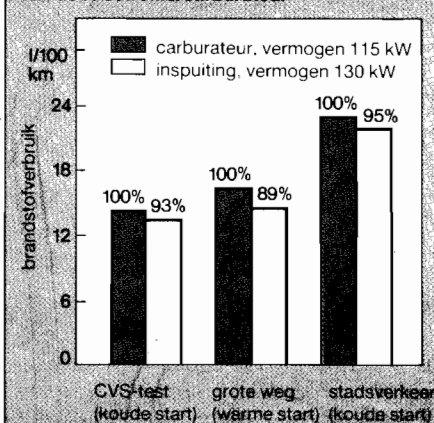


Fig. 7 Vergelijking van het brandstofverbruik van de K-Jetronic/carburateur



2 KE-Jetronic-inspuitsysteem met lambda regeling

2.1 Systeemoverzicht

Het principe van de KE-Jetronic berust, net zoals bij het K-Jetronic-systeem (zie 'K-Jetronic' uit deze serie Bosch Technische Leergang), op een mechanisch-hydraulisch geregeld inspuitsysteem. In principe regelt de KE-Jetronic de hoeveelheid gewenste brandstof afhankelijk van de door de motor aangezogen hoeveelheid lucht. Een door de luchtstroom bediende schijf, luchtmeter of luchthoeveelheidsmeter genoemd, stuurt de brandstof-regelplunjer en regelt daarmee de grootte van de doorstroomopening van het inlaatspruitstuk. In tegenstelling tot de K-Jetronic krijgt de KE-Jetronic bovendien aanvullende motorbedrijfsgegevens middels sensoren. De signalen van deze sensoren worden elektronisch verwerkt in een stuu eenheid, die de elektro-hydraulisch werkende drukregelaar commandeert. Hierin wordt de inspui thoeveelheid in de juiste relatie gebracht met het motor-toerental en/of de motorbelasting. Wanneer onverhoopt het elektronica-gedeelte niet zou functioneren, voert het systeem nog steeds volgens het mechanische basisprincipe zijn taak uit. De bestuurder heeft in dat geval nog altijd met een warme motor een goed werkend systeem tot zijn beschikking (fig. 8 en 9).

2.2 Voordelen van de KE-Jetronic

Lager brandstofverbruik

Als de mengselvorming buiten de motor (dus in de carburateur) geschiedt, leiden de verschillende lengtes van de aanzuigleidingen tot afwijkende mengselsamenstellingen per cilinder. Bij de KE-Jetronic heeft elke cilinder een eigen verstuiver. Deze spuit de brandstof continu op de inlaatklep. De ingespoten brandstof verdamp

Omdat de aanzuigbuizen slechts voor het transport van lucht dienen, is condensatie van brandstof op de wanden van de aanzuigbuizen – een brandstofverbruik verhogende factor – nagenoeg uitgesloten. De KE-Jetronic zorgt voor een aanzienlijk lager brandstofverbruik, in het bijzonder tijdens warmdraaien, acceleratie en vollast. Ook het afsluiten van de brandstof toevoer tijdens het afremmen op de motor draagt hiertoe bij.

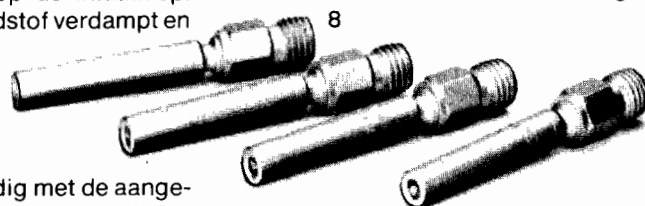
Snel aanpassen aan bedrijfsomstandigheden

Tijdens het starten, het warmdraaien, accelereren en vollast draaien van de motor wijkt de benodigde hoeveelheid brandstof sterk af van de 'normaal' benodigde hoeveelheid. De KE-Jetronic corrigeert de mengselvorming via het elektronische stuurapparaat, zodat de benodigde hoeveelheid brandstof exact wordt bepaald. Afhankelijk van de signalen van de sensoren voor het meten van de motortemperatuur, de stand van de gasklep (belastingsindicatie) en de beweging van de zweefschijf van de luchthoeveelheidsmeter (deze staat ongeveer in relatie met de tijdelijke verandering van het motorvermogen), past de elektronische stuu eenheid via de elektro-hydraulische drukregelaar het lucht-brandstofmengsel aan. De KE-Jetronic speelt snel in op de verschillende bedrijfsomstandigheden van de motor, geeft een gunstig koppelverloop en een goede motorkarakteristiek. Door deze eigenschappen wordt het mogelijk om bij energiebesparende lage toerentallen een relatief hoge versnelling te kiezen en aan te houden. Het maximale koppel is dan beschikbaar bij een relatief laag toerental, hetgeen zeer gunstig is voor het brandstofverbruik. Tijdens het afremmen op de motor wordt de brandstof toevoer door een schuif afgesloten, afhankelijk van temperatuur en het motortoerental. Dit ge-

op de motor geen brandstof wordt verbrand heeft men ook nog het voordeel dat er geen schadelijke uitlaatgassen geproduceerd worden.

Weinig schadelijke stoffen in het uitlaatgas

Een voorwaarde voor een geringe hoeveelheid schadelijke uitlaatgassen is een nagenoeg volledige verbranding van de brandstof. De KE-Jetronic bepaalt voor iedere cilinder de juiste hoeveelheid brandstof die bij elke bedrijfsomstandigheid of verandering van de motorbelasting nodig is. De vereiste mengselsamenstelling wordt bijvoorbeeld door de snel teruggenomen starthoeveelheid brandstof of door de snel reagerende acceleratieverrijking zo exact bepaald, dat men verzekerd is van een minimale uitstoot van schadelijke uitlaatgassen. Een verdere verbetering van de



vermengt zich volledig met de aangezogen lucht. Hierdoor wordt, behalve een nauwkeurige dosering, tevens een exact gelijke verdeling van de brandstof over de cilinders bereikt.

schiedt gelijkmatig en niet plotseling, met als gevolg brandstofbesparing. Door het feit dat tijdens het afremmen

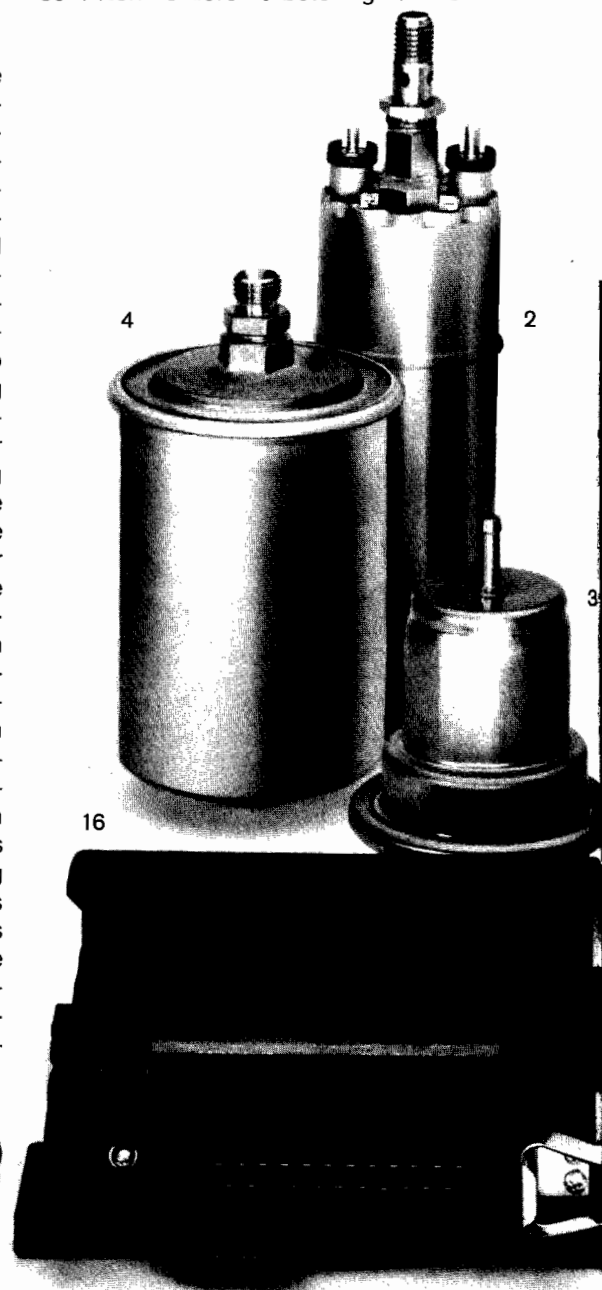


Fig. 8 Onderdelen van de KE-Jetronic (zie fig. 9 voor de verklaring van de nummers)

uitlaatgassen wordt verkregen door het gebruik van een lambda-regeling en een katalytische nabehandeling van het uitlaatgas.

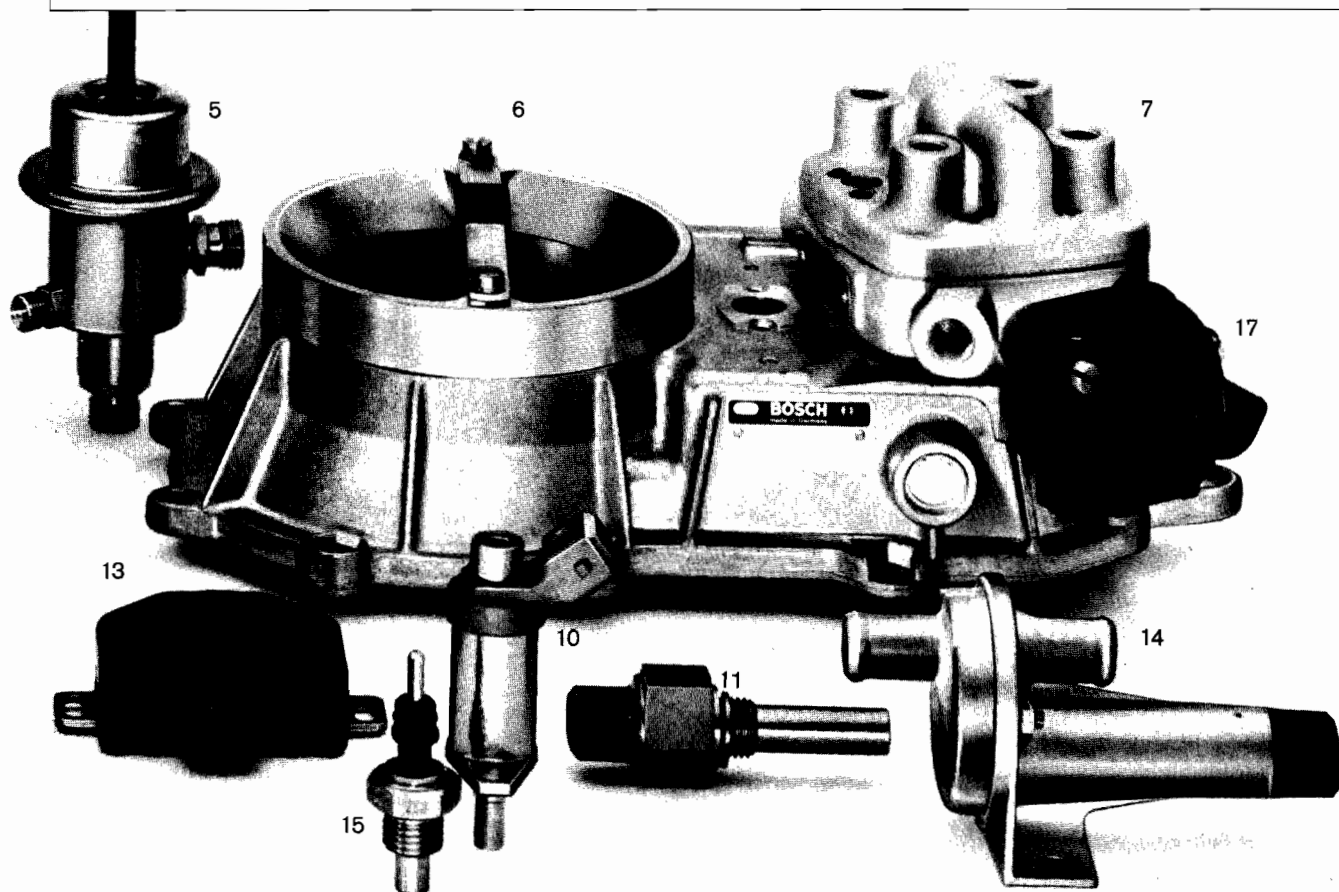
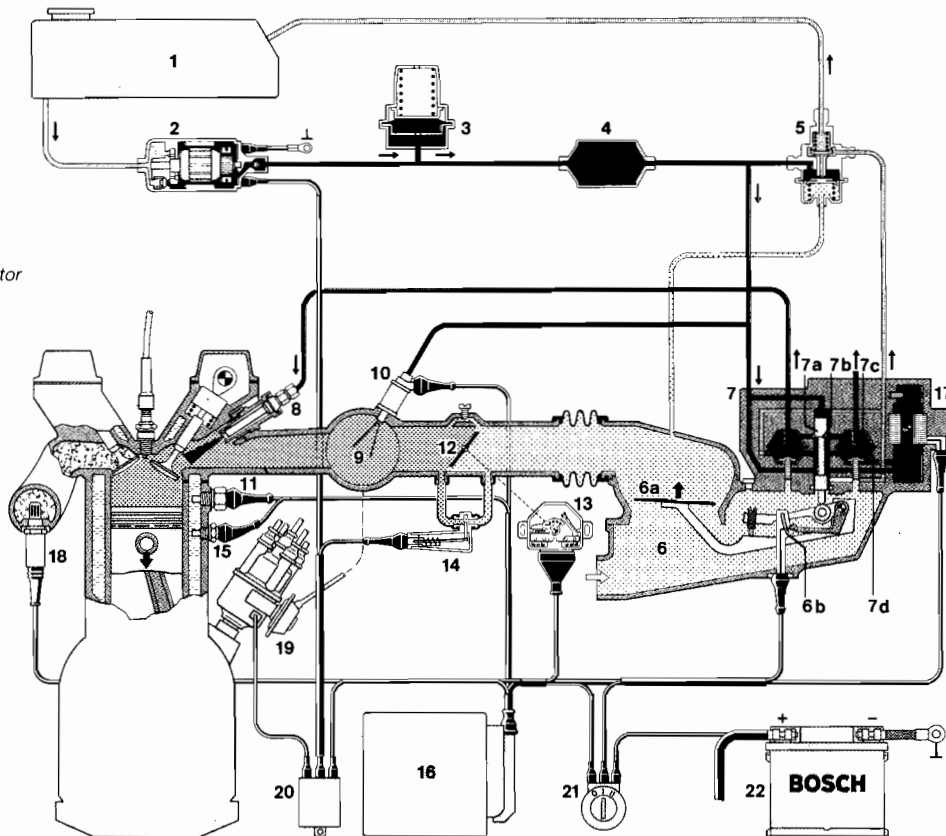
Hoger specifiek vermogen

De KE-Jetronic geeft verder door een stromingstechnisch gunstige vorm-

geving van het inlaatsysteem een betere vulling van de cilinders, waardoor koppel en vermogen toenemen. Een korte inspuitsweg zorgt dat het vermogen van de motor zonder vertragingen ter beschikking komt. De KE-Jetronic veroorzaakt – zoals alle andere Jetronic-systemen – een duidelijke verhoging van het vermogen bij een zelfde cilinderinhoud, zonder dat dit leidt tot een hoger brandstofverbruik. Hierdoor wordt het mogelijk motoren te verkrijgen die zuinig zijn en een gunstige motorkarakteristiek bezitten met opmerkelijk gunstige eigenschappen.

Fig. 9 Inspuitsysteem KE-Jetronic

- systeemdruk
 - inspuitsdruk
 - druk in de bovenkamer
 - druk in de onderkamer
 - atmosferische druk
 - druk in de aanzuigbuis
 - aanzuigleiding resp. retourleiding
- 1 brandstoftank
 - 2 elektrische brandstofpomp
 - 3 drukregulator/brandstofaccumulator
 - 4 brandstoffilter
 - 5 systeemdrukregelaar
 - 6 Luchthoeveelheidsmeter
 - 6a zweefschijf
 - 6b potentiometer
 - 7 brandstofverdeler
 - 7a regelplunjer
 - 7b regelgroef
 - 7c bovenkamer
 - 7d onderkamer
 - 8 verstuiver
 - 9 inlaatspruitstuk
 - 10 koude-startverstuiver
 - 11 thermische tijdschakelaar
 - 12 gasklep
 - 13 gasklepschakelaar
 - 14 schuif voor extra lucht
 - 15 motortemperatuursensor
 - 16 elektronische stuurseenheid
 - 17 elektro-hydraulische drukregelaar
 - 18 lambda-sonde
 - 19 stroomverdeler
 - 20 stuurrelais
 - 21 contactschakelaar
 - 22 batterij



3 Basisfuncties

3.1 Brandstoftoevoer-systeem

Het brandstoftoevoersysteem bestaat uit elektrische brandstofpomp, drukregalisator, brandstoffilter en systeemdrukregelaar.

Het brandstoftoevoersysteem van de KE-Jetronic verschilt slechts weinig van het bekende K-Jetronic-systeem. Een elektrisch aangedreven rollenpomp pompt de brandstof vanuit de tank naar een opslagruimte en door een brandstoffilter naar de brandstofverdeler met een druk van 5,4 bar. In bepaalde omstandigheden kan deze druk hoger (bijvoorbeeld 5,5 ... 6,5 bar) zijn. De systeemdrukregelaar houdt de druk in het toevoersysteem constant en voert het teveel aan brandstof terug naar de tank. Doordat de brandstof continu in het systeem wordt rondgepompt is steeds koele brandstof ter beschikking. Hierdoor wordt dampbelvorming (vapour-lock) vermeden en gaat het starten van een warme motor probleemloos.

Elektrische brandstofpomp

De elektrische brandstofpomp pompt de brandstof vanuit de tank naar de brandstofverdeler.

De brandstofpomp is een elektrisch aangedreven rollenpomp. De zelf-aanzuigende pomp en de daaraan gekoppelde continu in bedrijf zijnde elektromotor zijn in één huis ondergebracht (fig. 10). Dat huis wordt door brandstof omspoeld waardoor de elektromotor wordt gekoeld. De opbrengst van de pomp is hoger dan wat de verbrandingsmotor maximaal aan brandstof nodig heeft, zodat onder alle bedrijfsomstandigheden de druk in het brandstoftoevoersysteem gegarandeerd is.

De rollenpomp bestaat uit een cilindrische kamer, waarin een excentrisch gelegen roterschijf draait. Langs de omtrek van de roterschijf zijn uitsparingen aangebracht, waarin rollen zijn geplaatst (fig. 11). Door de centrifugaalkracht, die ontstaat door het draaien van de roterschijf, worden de rollen naar buiten gedrukt. Deze werken als een rondbewegende afdichting. De pompwerking komt tot stand doordat de rollen na het afsluiten van de toevoerleiding de ingesloten hoeveelheid brandstof voor zich uit duwen, totdat de brandstof de

pomp via de uitlaat weer verlaat (fig. 11).

Een terugslagklep in de pomp (fig. 10) verhindert dat de brandstof naar de tank terugstroomt.

Fig. 10 Elektrische brandstofpomp
1 aanzuigzijde, 2 drukbegrenzingsklep, 3 rollenpomp, 4 anker, 5 terugslagklep, 6 drukzijde

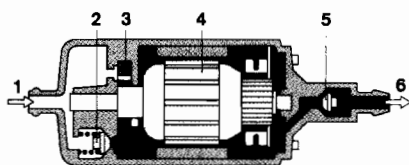


Fig. 11 Principewerking van de rollenpomp
1 aanzuigzijde, 2 rotor, 3 rol, 4 grondplaat, 5 drukzijde

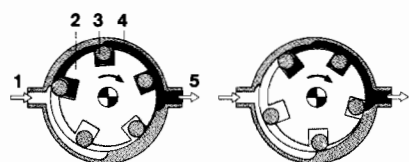
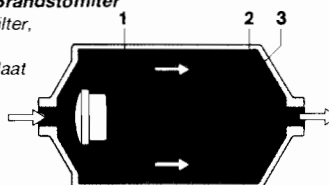


Fig. 12 Brandstoffilter
1 papierfilter, 2 zeef, 3 steunplaat



Brandstoffilter

Het brandstoffilter verhindert dat er vuil uit de brandstof in de systeemdrukregelaar, brandstofverdeler en de verstuivers komt.

Het filter bestaat uit een papierelement met een gemiddelde poriëndiameter van 4 μm (micrometer) en een zeef die achter het papierelement is geplaatst (fig. 12). Deze combinatie heeft een zeer reinigende werking. Het filter is achter de drukregalisator in het brandstofsysteem geplaatst (fig. 9). De doorstroomrichting van het filter is met een pijl op het filterhuis aangegeven.

Drukregalisator (accumulator)

De drukregalisator zorgt ervoor dat, na het afzetten van de motor, de druk in het brandstoftoevoersysteem nog enige tijd wordt gehandhaafd.

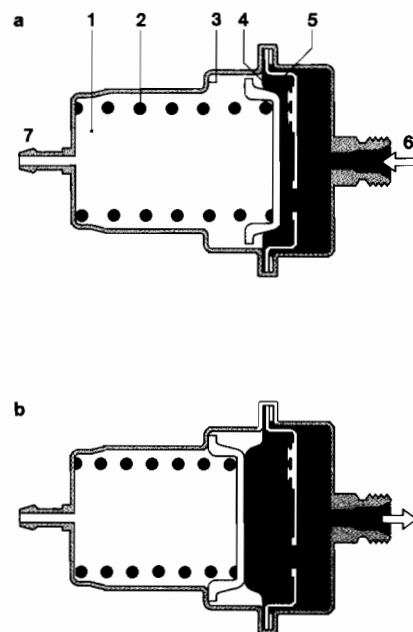
De drukregalisator houdt na het afzetten van de motor het brandstoftoevoersysteem onder druk, zodat het opnieuw starten, in het bijzonder als

de motor heet is, eenvoudiger is. De drukregalisator werkt door de speciale constructie (fig. 13) als een demper tegen het geluid van de brandstofpomp. Door een membraan wordt de binnenruimte van de drukregalisator in twee kamers verdeeld. Eén kamer

Fig. 13 Drukregalisator

a leeg, b gevuld

1 veerkamer, 2 veer, 3 aanslag, 4 membraan, 5 opslagvolume, 6 brandstofaan- en afvoer, 7 verbinding met de buitenlucht



dient als verzamelplaats voor de brandstof en staat in verbinding met het brandstofsysteem. De andere kamer vormt een compensatievolume en staat via een ontluuchtingsaansluiting constant in verbinding met de buitenlucht of met de brandstoftank. Tijdens bedrijf is de opslagruimte van de drukregalisator gevuld met brandstof die onder druk staat. Het membraan wordt dan tegen de veerdruk in tegen de aanslag in de veerkamer gedrukt. Zolang de motor blijft lopen, blijft het membraan in de positie staan, waarin het grootste opslagvolume vrij komt.

De brandstofpomp blijft constant in bedrijf na het bedienen van het contactslot. Een veiligheidsschakeling verhindert dat de pomp blijft draaien bij stilstandende motor, bijvoorbeeld na een aanrijding (zie ook blz. 24). De brandstofpomp bevindt zich in de onmiddellijke nabijheid van de brandstoftank en behoeft geen onderhoud.

Drukregelaar voor het brandstof-systeem

De drukregelaar voor het brandstof-systeem houdt de druk in het brandstoftoevoersysteem constant.

In tegenstelling tot de K-Jetronic, waarbij een warmloopenregelaar de

De van de verdeler terugstromende hoeveelheid brandstof die is samengesteld uit de doorstroomhoeveelheid van de elektro-hydraulische drukregelaar en de hoeveelheid lek-brandstof langs de regelplunjer, kan samen met de regelhoeveelheid via

Verstuivers

De verstuivers openen bij een bepaalde druk en verstuiven de brandstof met behulp van een heen en weer bewegend klepnaaldje.

De verstuivers spuiten de toegemeten hoeveelheid brandstof in de aanzuig-

Fig. 14 Brandstofsysteemdrukregelaar

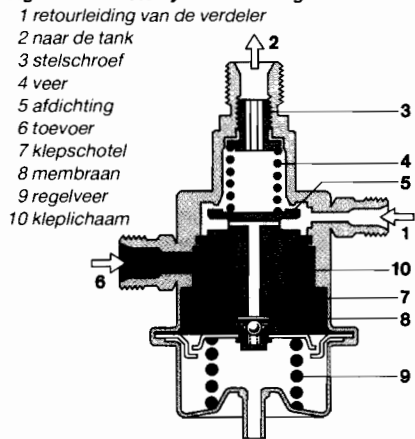


Fig. 15 Drukverloop na het uitschakelen van de motor

De druk zakt eerst van de systeemdruk (1) terug naar de sluitdruk (2) van de drukregelaar. Hierna zorgt de drukegalisator ervoor dat de druk weer toeneemt tot de waarde (3), die lager is als de openingsdruk van de verstuivers

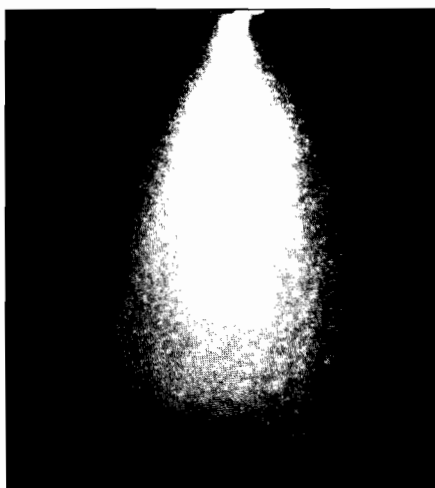
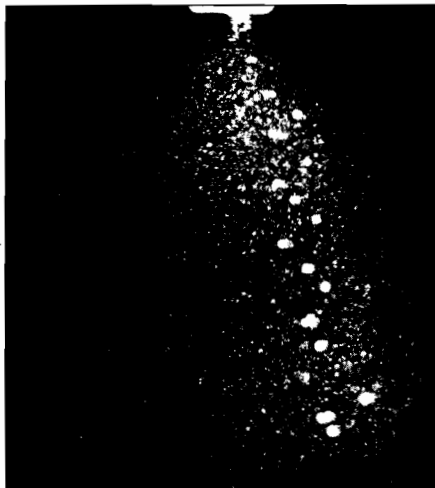
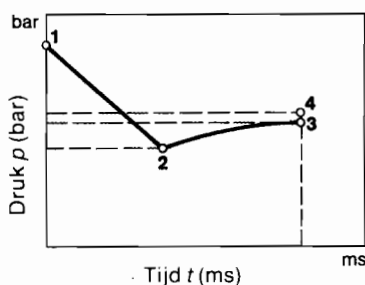


Fig. 17 Straalpatroon van een KE-Jetronic verstuiver zonder (boven) en met luchtomgeving. De lucht heeft een voortdurende invloed op de verstuiving, die hierdoor nog fijner wordt (onder)

Fig. 16 Verstuiver

a in rusttoestand
b in bedrijfstoestand
1 verstuiverhouder
2 filter
3 klepnaald
4 klepzitting

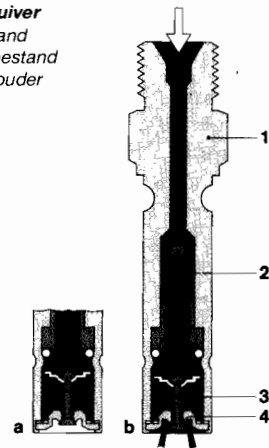
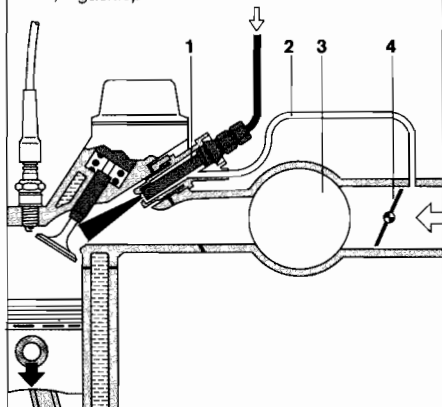


Fig. 18 Verstuiver met luchtomgeving

1 verstuiver, 2 luchttoevoerleiding, 3 inlaatspruitstuk, 4 gasklep



stuurdruk regelt, is bij de KE-Jetronic de hydraulische tegendruk op de regelplunjer (zie blz. 11) even groot als de systeemdruk. De stuurdruk moet heel precies geregeld worden, ook wanneer de opbrengst van de brandstofpomp en de hoeveelheid ingespoten brandstof sterk varieert. Een schommeling in deze druk heeft namelijk direct invloed op de lucht-brandstofverhouding.

Figuur 14 laat een doorsnede van de drukregelaar zien: links de brandstoftoevoerleiding vanaf de tank, rechts de retourleiding vanaf de verdeler; boven is de retourleiding naar de tank aangesloten. Wanneer bij het starten de brandstofpomp de druk opvoert, beweegt het membraan van de drukregelaar naar beneden. Vervolgens volgt het verschuifbare kleplichaam het membraan omdat het door de bovenliggende veer naar beneden wordt geduwd. Na een korte slag komt het kleplichaam tegen een vaste aanslag, waarna de drukregelfunctie begint.

de nu geopende verbinding naar de tank terugstromen. Als de motor wordt afgezet, wordt ook de brandstofpomp uitgeschakeld. Zakt daarna de druk in het systeem, dan komt de klepschotel op de zitting en duwt het kleplichaam voor zich uit naar boven, tegen de druk van de veer in, totdat de afdichting de retourleiding naar de tank afsluit. De druk in het systeem zakt snel terug tot de sluitdruk van de verstuivers, zodat deze geen brandstof meer verstuiven. Daarna stijgt de druk weer tot de waarde die door de drukegalisator wordt bepaald (fig. 15).

buizen op de inlaatkleppen van de cilinders. De verstuivers zijn in een houder gemonteerd om ze goed tegen de stralingswarmte van de motor te beschermen. De verstuivers hebben geen regelfunctie. Zij openen zelfstandig zodra de openingsdruk, bijv. 3,5 bar, wordt overschreden. Zij zijn voorzien van een klepnaald (fig. 16), waarvan de naald tijdens het inspuiten met hoge frequentie heen en weer beweegt, hetgeen zwak hoorbaar is (snorren). Hierdoor wordt een goede verstuiving van de brandstof bereikt, zelfs bij kleine inspuithoeveelheden. Na het afzetten van de motor sluiten de verstuivers als de druk in het brandstoftoevoersysteem beneden de openingsdruk daalt. Hierdoor kan na het afzetten van de motor geen brandstof meer in de aanzuigbuizen komen.

Luchtomgeven verstuivers

Luchtomgeven verstuivers verbeteren de mengselvorming, vooral tij-

dens stationair lopen (fig. 17). Als gevolg van de drukval over de gasklep wordt een deel van de aangezogen lucht langs de verstuivers geleid (fig. 18), waardoor de brandstof bij de uitgang van de verstuiver erg goed wordt verneveld.

3.2 Brandstofbepaling

De brandstofbepaling wordt in principe geregeld door de luchthoeveelheidsmeter (fig. 19 en 20) en de brandstofverdeler. Bij een aantal bedrijfsomstandigheden wijkt de benodigde hoeveelheid brandstof echter sterk af van de normale hoeveelheid, zodat extra aanpassingen van de mengselvorming noodzakelijk zijn. Deze zijn beschreven in het hoofdstuk 'Mengselaanpassing'.

Luchthoeveelheidsmeter

De luchthoeveelheidsmeter werkt volgens het zweefschijfprincipe en meet de door de motor aangezogen hoeveelheid lucht. De door de motor aangezogen hoeveelheid lucht is een maat voor de geleverde prestatie.

Het is voornamelijk de aangezogen hoeveelheid lucht die bepalend is voor de basishoeveelheid ingespoten brandstof, maar bovendien de juiste natuurkundige grootte vormt voor het bepalen van de werkelijk benodigde hoeveelheid brandstof. Veranderingen in de aanzuigeigenschappen van de motor hebben daarom geen invloed op de mengselvorming. Omdat de aangezogen hoeveelheid lucht eerst door de luchthoeveelheidsmeter komt voordat deze in de motor komt, ijlt de luchthoeveelheidsmeter iets voor op de werkelijke luchtvlulling van de cilinders. Dit maakt – met nog andere, later beschreven maatregelen – de juiste mengselaanpassing op ieder tijdstip mogelijk.

De totale door de motor aangezogen

hoeveelheid lucht stroomt door de luchthoeveelheidsmeter, die voor de gasklep is ingebouwd. De luchthoeveelheidsmeter is opgebouwd uit een luchttrichter, waarin zich een bewegende schijf (zweefschijf) bevindt. (fig. 19 en 21). De door de luchttrichter stromende lucht duwt de schijf over een zekere afstand uit zijn rustpositie. Een hefboom brengt deze beweging van de schijf over op een regelplunjer, die de benodigde basishoeveelheid brandstof bepaalt. Tijdens mogelijke terugslagen in de aanzuiging (onjuiste ontsteking) van de motor kunnen aanzienlijke drukgolven in het inlaatsysteem optreden. De luchthoeveelheidsmeter is daarom zo geconstrueerd, dat de schijf bij een terugslag in tegenovergestelde richting kan bewegen. Hierdoor ontstaat een expansiemogelijkheid. Bij een luchthoeveelheidsmeter volgens het valstroomprincipe compenseert een trekveer het gewicht van de schijf en de hefboom. Een instelbare bladveer zorgt voor de juiste rustpositie als de motor niet loopt. Op de zweefschijf wordt nader ingegaan in 4.4.

Brandstofverdeler

De brandstofverdeler verdeelt de basishoeveelheid brandstof, afhankelijk van de positie van de zweefschijf in de luchthoeveelheidsmeter, over de afzonderlijke cilinders.

De positie van de zweefschijf is een maat voor de door de motor aangezogen hoeveelheid lucht. Een hefboom geeft de positie van de schijf door aan de regelplunjer. Afhankelijk van zijn positie in het huis maakt de regelplunjer een overeenkomstige opening van de regelgroef vrij, waardoor de brandstof via membraankleppen naar de verstuivers kan stromen.

Bij een kleine opheffing van de zweefschijf wordt de regelplunjer slechts een weinig opgetild en wordt een kleine opening van de regelgroef vrijgegeven. Bij een grote opheffing van de zweefschijf geeft de regelplunjer een grote opening van de regelgroef vrij. Er is een lineair verloop tussen de opheffing van de zweefschijf en de opening van de regelgroef.

Op de regelplunjer werkt – tegengesteld aan de van de zweefschijf over-

Fig. 19 Luchthoeveelheidsmeter volgens het stijgstroomprincipe
a zweefschijf in rustpositie
b zweefschijf in arbeidspositie

- 1 luchttrichter
- 2 zweefschijf
- 3 expansie-doorsnee
- 4 mengsel-instelschroef
- 5 draaipunt
- 6 hefboom
- 7 bladveer

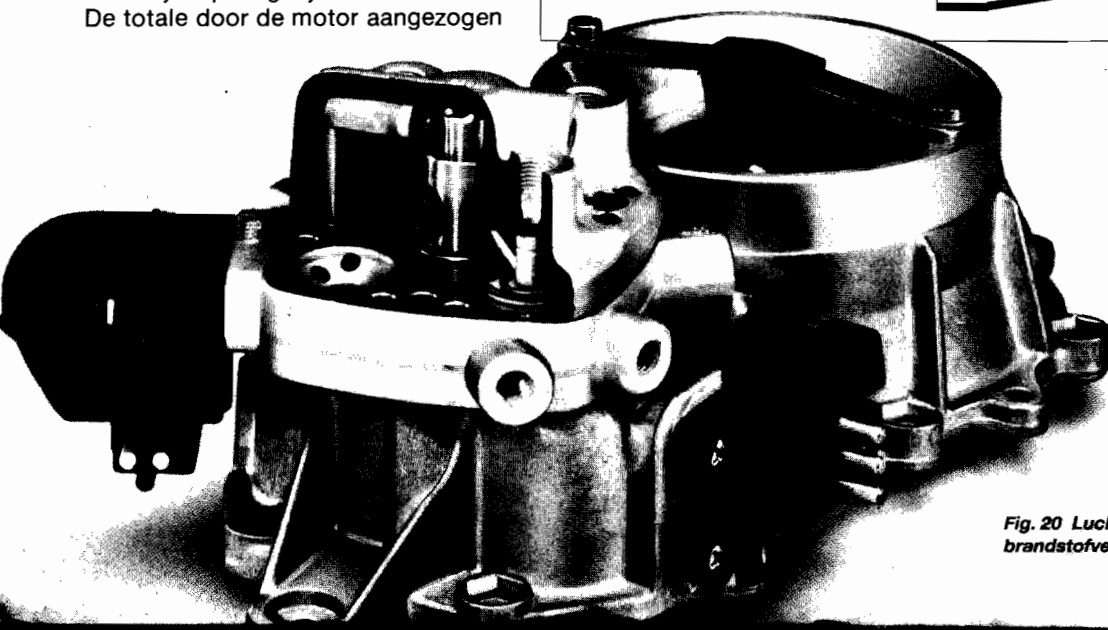
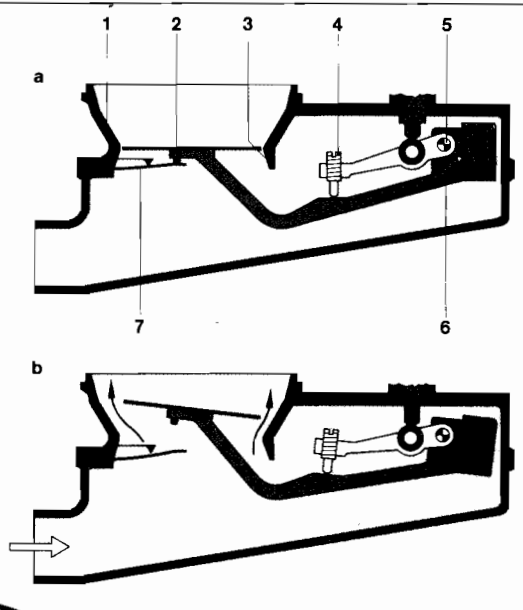


Fig. 20 Luchthoeveelheidsmeter met brandstofverdeler

gedragen beweging – een hydraulische kracht, die een constante drukval van de lucht over de zweefschijf veroorzaakt en die de regelplunjer steeds de beweging van de zweefschijfhefboom laat volgen. Bij bepaalde uitvoeringen ondersteunt een drukveer (fig. 22) de hydraulische kracht en verhindert dat de regelplunjer omhoog wordt gezogen als gevolg van onderdruk tijdens het afkoelen van de installatie. Een exacte regeling van de systeemdruk is noodzakelijk, omdat een schommeling direct invloed heeft op de lucht-brandstofverhouding (λ -waarde). Een smookklep dempt de schommelingen, die door krachten van de zweefschijf teweeg worden gebracht. Zet men de motor af, dan zakt de regelplunjer op een axiale afdichtring (fig. 23). Deze wordt door een instelschroef vastgehouden en is voor een goede afdichting van de regelgroef in hoogte verstelbaar. Bij de K-Jetronic wordt de rustpositie van de regelplunjer bepaald door zijn ligging op de hefboom van de lucht-hoeveelheidsmeter. Bij de KE-Jetronic rust de regelplunjer op de axiale

afdichtring, omdat de drukveer en de systeemdruk erop werken. Deze constructie voorkomt drukverlies door lek langs de regelplunjer. Aldus wordt verhinderd dat de drukegalisator leeg loopt. Deze moet er immers voor zorgen dat de systeemdruk hoger blijft dan de dampdruk die overeenkomt met de brandstoftemperatuur, wanneer de motor niet meer loopt.

Membraankleppen

De membraankleppen in de brandstofverdeler zorgen voor een bepaalde drukval over de regelgroeven.

De luchthoeveelheidsmeter heeft een lineaire karakteristiek. Dat betekent dat bij een verdubbeling van de hoeveelheid lucht de opheffing van de zweefschijf twee keer zo groot wordt. Als deze verandering van opheffing een verhoudingsgewijs even grote verandering van de basishoeveelheid brandstof tot gevolg moet hebben, dan moet de drukval over de regelgroef (fig. 23) constant zijn, onafhankelijk van de doorstromende hoeveelheid brandstof.

De membraankleppen houden het drukverschil tussen boven- en onderkamer, onafhankelijk van de brandstofdoorstroming constant. De verschilddruk is in de regel 0,2 bar. Men bereikt hiermee een hoge nauwkeurigheid in de hoeveelheidsbepaling. De membraankleppen hebben een vlakke zitting en bevinden zich in de verdeler. Iedere regelgroef heeft een membraanklep. De bovenkamer van de klep is door een membraan van de onderkamer gescheiden (fig. 22 en 24). De onderkamers van alle kleppen bevatten een schroefveer en zijn door een ringleiding met elkaar verbonden, alsmede met de elektro-hydraulische drukregelaar. De klepzitting bevindt zich in de bovenkamer. De bovenkamers zijn ieder met een regelgroef en een aansluiting naar de verstuiver verbonden. Ze staan niet met elkaar in verbinding. De drukval over de regelgroeven wordt door de spanning van de schroefveer in de onderkamer en door het werkzame oppervlak van het membraan bepaald, alsmede door de elektro-hydraulische drukregelaar.

Als een grote hoeveelheid brandstof in de bovenkamer stroomt, beweegt het membraan naar beneden en opent de uitlaatopening van de klep, tot de ingestelde verschilddruk weer wordt bereikt. Als de doorstroomhoeveelheid kleiner wordt, dan wordt als gevolg van het krachtenevenwicht op het membraan, de doorstroomopening van de klep kleiner, tot weer een verschilddruk van 0,2 bar wordt bereikt. Op het membraan heerst dus een krachtenevenwicht, dat bij elke basishoeveelheid brandstof door het regelen van de ventielopening in stand wordt gehouden.

In de brandstoftoevoerleiding naar de elektro-hydraulische drukregelaar bevindt zich ook nog een fijnfilter, dat voorzien is van een magnetisch afscheidingsmechanisme voor ijzerhoudende verontreinigingen.

Fig. 22 Brandstofverdeler met membraankleppen

1 brandstoftoevoer (systeemdruk), 2 bovenkamer van de membraanklep, 3 leiding naar verstuiver, 4 regelplunjer, 5 stuurrand met regelgroef, 6 veer, 7 membraan, 8 onderkamer van het drukventiel, 9 axiale afdichtring, 10 drukveer, 11 brandstof van elektro-hydraulische drukregelaar, 12 smookklep, 13 retourleiding

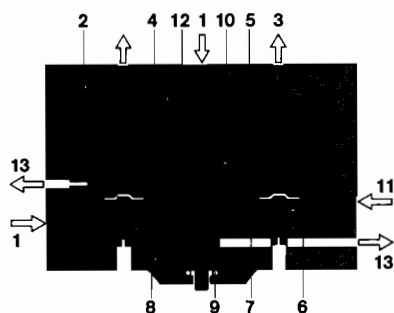


Fig. 24 Membraanklep

a stand bij kleine inspuit-hoeveelheid
b stand bij grote inspuit-hoeveelheid

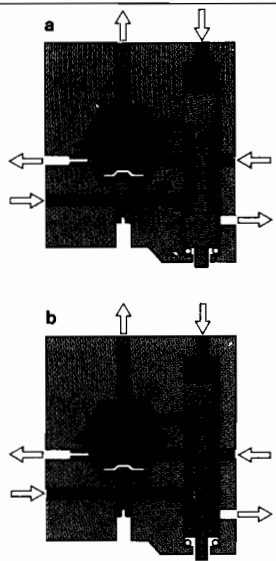


Fig. 21 Principe van de luchthoeveelheidsmeter

a aangezogen hoeveelheid lucht gering, zweefschijf een weinig opgetild;
b aangezogen hoeveelheid lucht groot, zweefschijf hoog opgetild

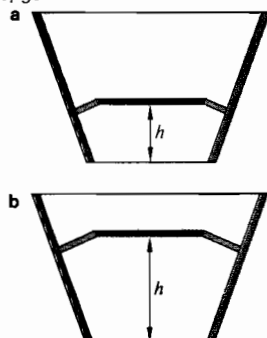
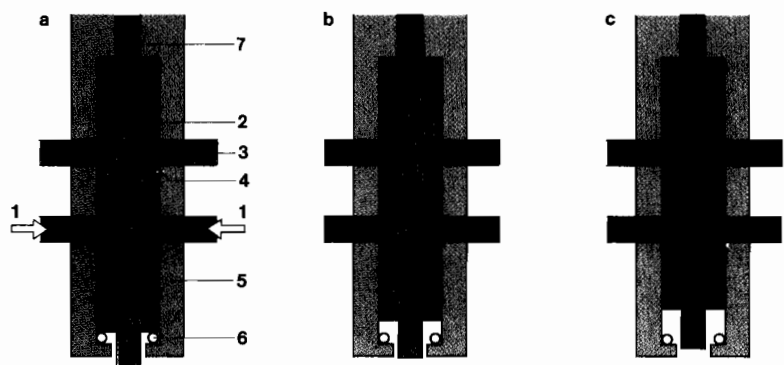


Fig. 23 Groefdrager met regelplunjer

a rustpositie, b deellast, c vollast, 1 brandstoftoevoer, 2 regelplunjer, 3 regelgroef in groefdrager, 4 stuurrand, 5 groefdrager, 6 axiale afdichtring, 7 vernauwing voor de demping



4 Mengselaanpassing

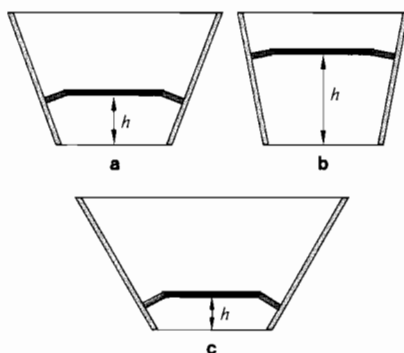
4.1 Basisaanpassing

De basisaanpassing van het mengsel aan de bedrijfsomstandigheden stationair, deellast en vollast is het gevolg van een speciale vormgeving van de luchttrichter.

Het is in ieder geval noodzakelijk dat bij bepaalde bedrijfsomstandigheden, zoals stationair, deellast en vollast, een optimaal mengsel aan de motor te geven voor elk van deze bedrijfsomstandigheden. In de praktijk betekent dit een rijk mengsel bij het stationaire- en vollast-, alsmede een armer mengsel voor het deellastbereik. Als de luchttrichter een vlakkere kegel vormt dan de basisvorm (die voor een bepaald mengsel, bijv. bij $\lambda = 1$, werd bepaald), dan heeft dit een mager mengsel tot gevolg. Als de kegelhoek kleiner is, zal de zweefschijf bij gelijke hoeveelheid door de motor aangezogen lucht verder worden opgetild. Daardoor zorgt de regelplunjer voor meer brandstof en wordt het mengsel rijker. De luchttrichter kan zo gevormd zijn, dat overeenkomstig de positie van de zweefschijf een verschillende mengselsamenstelling optreedt (fig. 26). Bij de KE-Jetronic is de luchttrichter zo ideaal gevormd dat tijdens het gehele werkbereik een mengsel wordt samengesteld met $\lambda = 1$.

Fig. 26 Invloed van de hoek van de luchttrichter op de uitzwenking van de zweefschijf bij gelijke hoeveelheid doorstromende lucht

- a basisvorm van de luchttrichter geeft opheffing h
b steilere trechtervorm, bij gelijke hoeveelheid lucht, geeft grotere opheffing h
c vlakkere trechtervorm, bij gelijke hoeveelheid lucht, geeft een kleinere opheffing h
Het door de zweefschijf vrijgegeven ringvormige oppervlak (bij a, b en c gelijk)

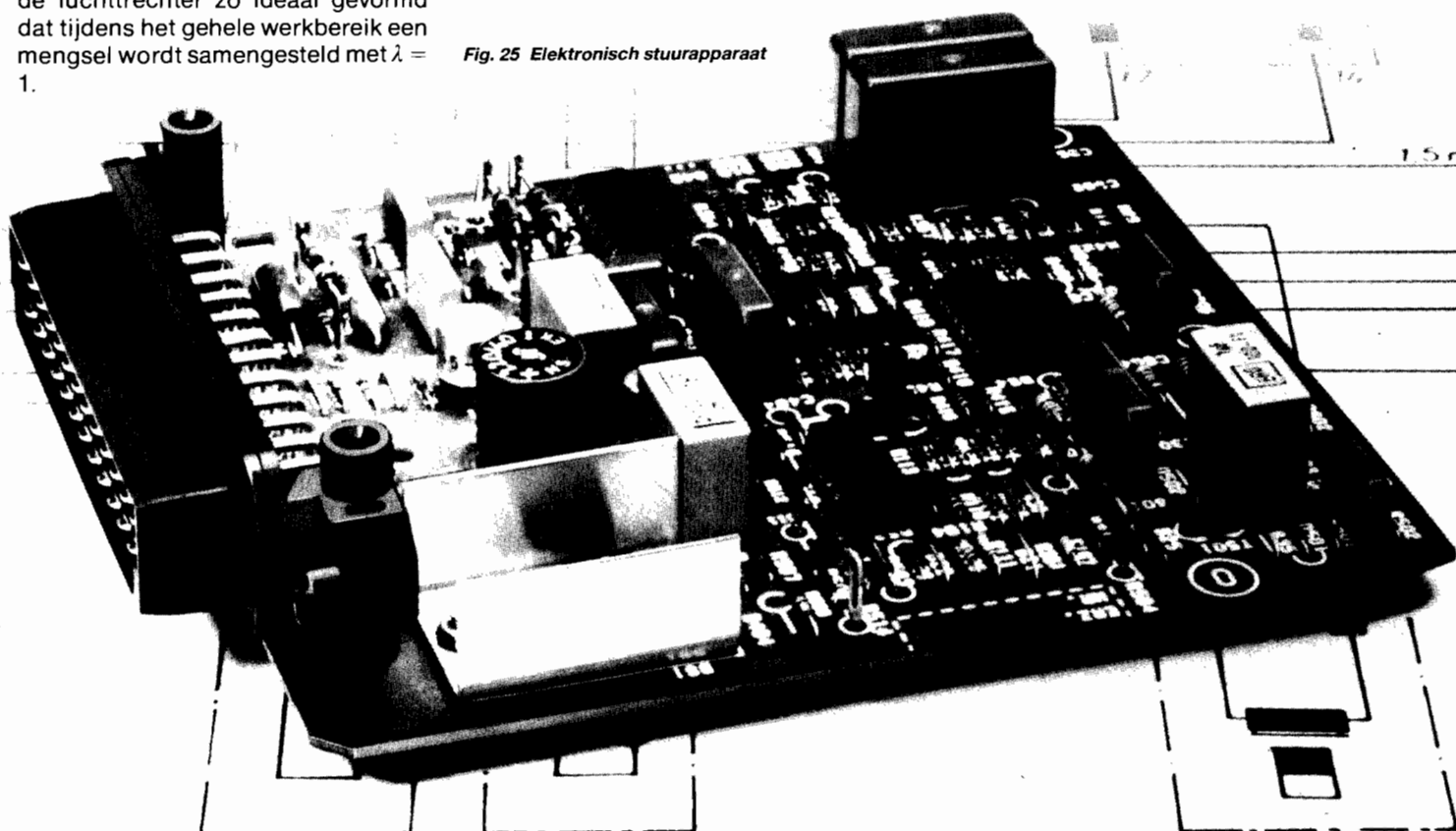


Trechtercorrecties van de luchthoeveelheidsmeter

1 voor vol vermogen, 2 voor deellast, 3 voor stationair



Fig. 25 Elektronisch stuurapparaat



4.2 Elektronisch stuurapparaat

Het elektronisch stuurapparaat ontvangt via sensoren signalen over de bedrijfsomstandigheid van de motor en bepaalt aan de hand hiervan een commando voor de elektro-hydraulische drukregelaar.

Sensoren voor het verkrijgen van de gegevens over de bedrijfsomstandigheden

Om behalve de aangezogen hoeveelheid lucht, criteria voor de benodigde hoeveelheid brandstof te verkrijgen, moet een aantal bedrijfsgegevens gemeten en doorgegeven worden aan het elektronisch stuurapparaat. De volgende tabel geeft de sensoren samen met hun aanpassingsfunctie:

Sensor	Bedrijfsomstandigheid
Gasklepschakelaar	Vollast en stationair
Ontstekingssysteem (meestal de stroomverdelers)	Toerental
Contactschakelaar	Start
Motortemperatuursensor	Motortemperatuur
Barometerdoos-sensor	Luchtdruk
Lambda-sonde	Mengselsamenstelling

Bouw en werkwijze

De elektronische schakeling is afhankelijk van zijn functie analoog of analoog-digitaal gebouwd. Op het Europa-apparaat komen de modules voor lambda-regeling en de stationair-vullingsregeling. Stuurapparaten met meer functies zijn volgens digitale technieken opgebouwd.

De op een printplaat aangebrachte elektronische bouwstenen zijn geïntegreerde schakelingen (bijv. versterkers, spanningsstabilisatoren), transistoren, dioden, weerstanden en condensatoren. De printplaten zijn in een kast ondergebracht. De kast kan zijn voorzien van een drukvereffeningselement. Een 25-polige stekker verbindt de stuur eenheid met de accu, de sensoren en de regelaars.

De stuur eenheid verwerkt de signalen van de sensoren en berekent hieruit de stuur stroom voor de elektro-hydraulische drukregelaar (zie fig. 27).

Spanningsstabilisering

Het stuurapparaat heeft een stabiele spanning nodig, die onafhankelijk van de boordspanning constant moet zijn. Met deze spanning wordt de van de motoromstandigheden afhankelijke stroom voor de elektro-hydraulische drukregelaar opgewekt. De stabilisering van de spanning van het stuurapparaat vindt plaats met behulp van een geïntegreerde schakeling.

Ingangsfilters

Ingangsfilters filteren eventuele storingen uit de ingangssignalen van de sensoren.

Optelunit

In de optelunit worden de omgevormde sensorsignalen samengevoegd. De elektrisch gevormde correctiesignalen worden in een schakeling opgeteld en daarna naar de stroomregelaar gevoerd.

Eindtrap

De eindtrap wekt een elektrische stroom op voor de drukregelaar. Daarbij is het mogelijk de stroom door de drukregelaar in tegenovergestelde richting te laten lopen, om de drukval te vergroten resp. te verkleinen.

Met een constant aangestuurde transistor laat de stroomsterkte door de drukregelaar zich in positieve richting naar behoefte instellen. De stroom vloeit in negatieve richting tijdens afremmen op de motor (uitschakelen van de aandrijving). Een negatieve stroom beïnvloedt de verschildruk in de membraankleppen zo, dat de brandstoftoevoer naar de verstuivers wordt onderbroken.

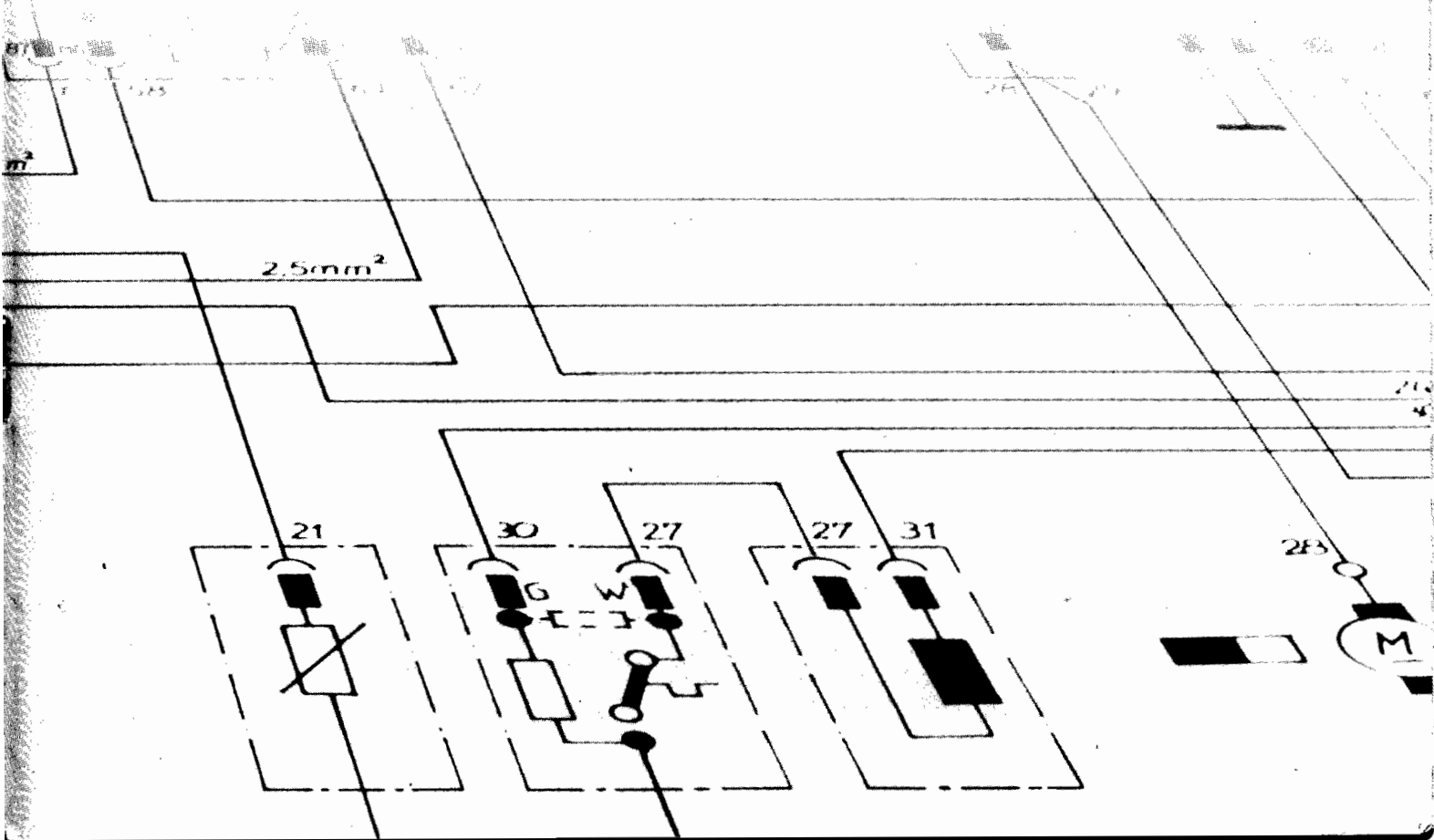
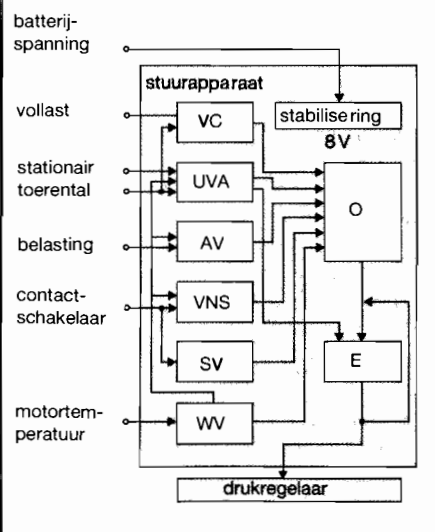
Andere eindtrappen

Al naar gelang de behoefte zijn er meer eindtrappen mogelijk. Hiermee kunnen kleppen voor het terugleiden van uitlaatgassen, een regeling voor stationairvulling enz. worden gestuurd.

Fig. 27 Blokschema van een KE-Jetronic-stuurapparaat volgens analoge techniek

De correctie van de verschillende blokken worden in de optelunit samen verwerkt, in de eindtrap versterkt en naar de elektro-hydraulische drukregelaar geleid

VC vollastcorrectie
UVA uitschakeling van aandrijving
AV acceleratie-verrijking
SV startverrijking
WV warmloopverrijking
O optelunit
E eindtrap



4.3 Elektro-hydraulische drukregelaar

De elektro-hydraulische drukregelaar verandert, afhankelijk van de bedrijfsomstandigheden van de motor en de elektrische stroom die dienovereenkomstig wordt opgewekt door het stuurapparaat, de druk in de onderkamers van de membraankleppen. Daardoor wordt de hoeveelheid brandstof naar de verstuivers beïnvloed.

Bouw

De elektro-hydraulische drukregelaar is tegen de brandstofverdeler aangebouwd (fig. 29). De drukregelaar werkt volgens het systeem van een sproeier met kantelplaat. De drukval wordt elektromagnetisch beïnvloed. Tussen twee dubbele magneetpolen hangt in een huis van niet-magnetisch materiaal een anker in een wrijvingsloze lagering. De lagering is opgebouwd uit een membraanplaat van verend elastisch materiaal.

Werking

In de magneetpolen en de bijbehorende luchtspleten heerst een magnetisch veld, afkomstig van een permanente magneet (gestippelde lijnen in fig. 30) en van een elektromagneet (getrokken lijnen). De permanente magneet ligt in werkelijkheid 90° verdraaid ten op zichte van het vlak van de tekening. De veldlijnen langs beide poolparen zijn symmetrisch en even lang. De veldlijnen lopen vanaf de polen door de luchtspleet naar het anker, en vandaar door het anker heen.

In twee diagonaal tegenover elkaar liggende luchtspleten (fig. 30 L₂, L₃) werken de veldlijnen van de permanente magneet en de elektromagneet met elkaar mee, in de andere luchtspleten (fig. 30 L₁, L₄) werken zij elkaar tegen. Op het anker, dat de kantelplaat bedient, werkt in elke lucht-

spleet een aantrekkingskracht, evenredig met het kwadraat van de sterkte van het magnetische veld.

Omdat het magnetisch veld van de permanente magneet constant is en dat van de elektromagneet evenredig met de elektrische stroom door de spoelen, is het resulterend koppel op het anker evenredig met de stroom. Het basismoment op het anker is zo gekozen, dat in stroomloze toestand van de drukregelaar een drukval heerst, die overeenkomt met $\lambda = 1$. Hierdoor is het mogelijk dat tijdens een stroomonderbreking de werking zonder correcties gewoon doorgaat. De brandstofstraal die door de sproeier binnenkomt, probeert de kantelplaat tegen de magnetische en mechanische krachten in weg te drukken. Het drukverschil tussen de toevoer en de retouraansluiting bij een doorstroming wordt bepaald door een vernauwing, in serie geschakeld met de drukregelaar. Het drukverschil is evenredig met de elektrische

stroom. De variabele drukval over de sproeier komt overeen met de drukregelaarstroom en geeft een variabele druk in de onderkamer.

De druk in de bovenkamer verandert met dezelfde waarde. Dit heeft weer tot gevolg dat het verschil tussen bovenkamer- en systeemdruk verandert, dus ook over de regelgroef. Als gevolg van de kleine elektromagnetische aansprektijden en door de kleine massa van de bewegende onderdelen reageert de drukregelaar snel op stroomveranderingen aan de aansluitklemmen.

Als de richting van de stroom wordt omgekeerd, trekt het anker de kantelplaat weg van de sproeier. Hierdoor zakt de druk van de drukregelaar enkele honderdsten bar. Hiermee kunnen bijvoorbeeld extra functies als het uitschakelen van de motor en toerentalbegrenzing, door het afsluiten van de brandstoftoevoer naar de verstuivers, worden gerealiseerd (zie blz. 21).

Fig. 28 Elektro-hydraulische drukregelaar op de verdeler

Het elektronische stuurapparaat werkt op de kantelplaat (11) om aldus de brandstofdruk in de bovenkamer van de membraankleppen te beïnvloeden en daarmee de hoeveelheid in te spuiten brandstof. Op deze manier zijn aanpassingen en correcties mogelijk

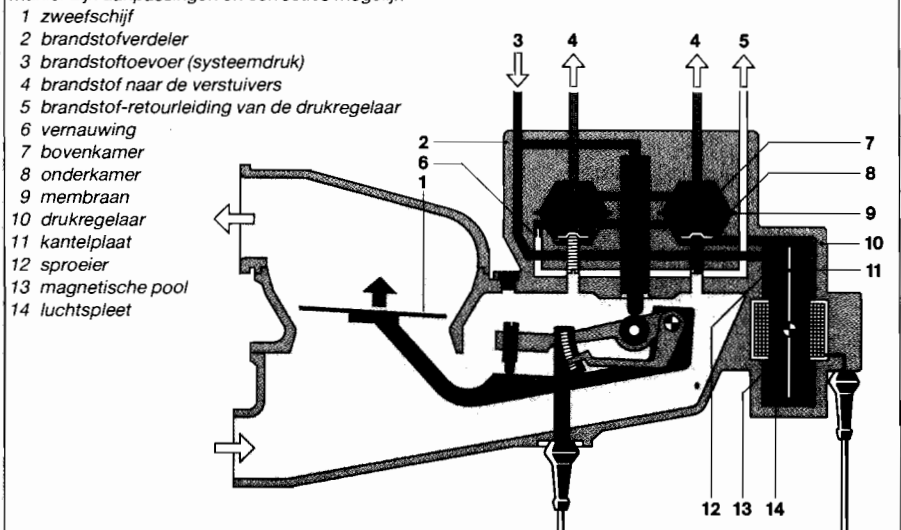
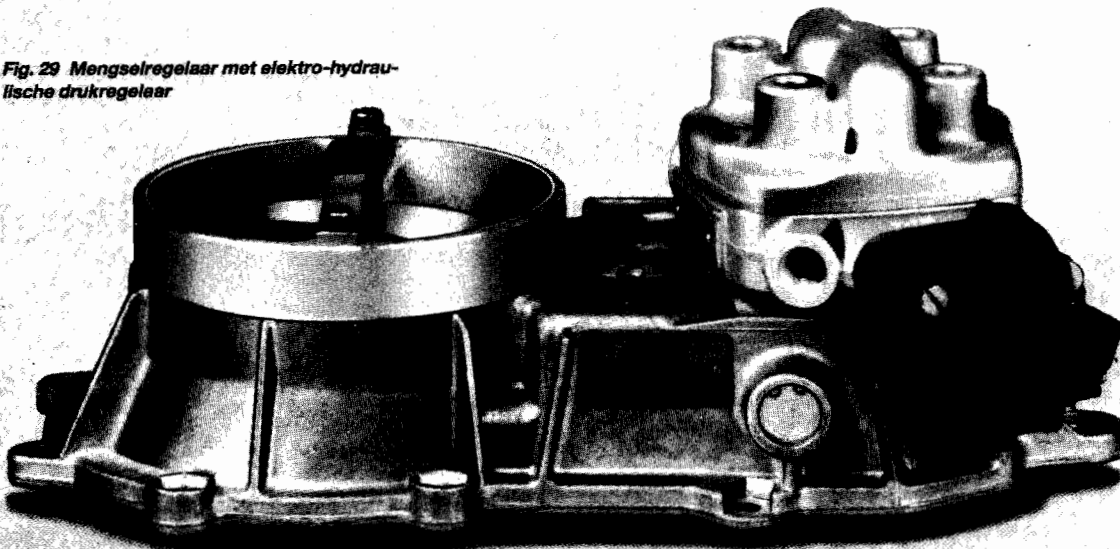


Fig. 29 Mengselregelaar met elektro-hydraulische drukregelaar



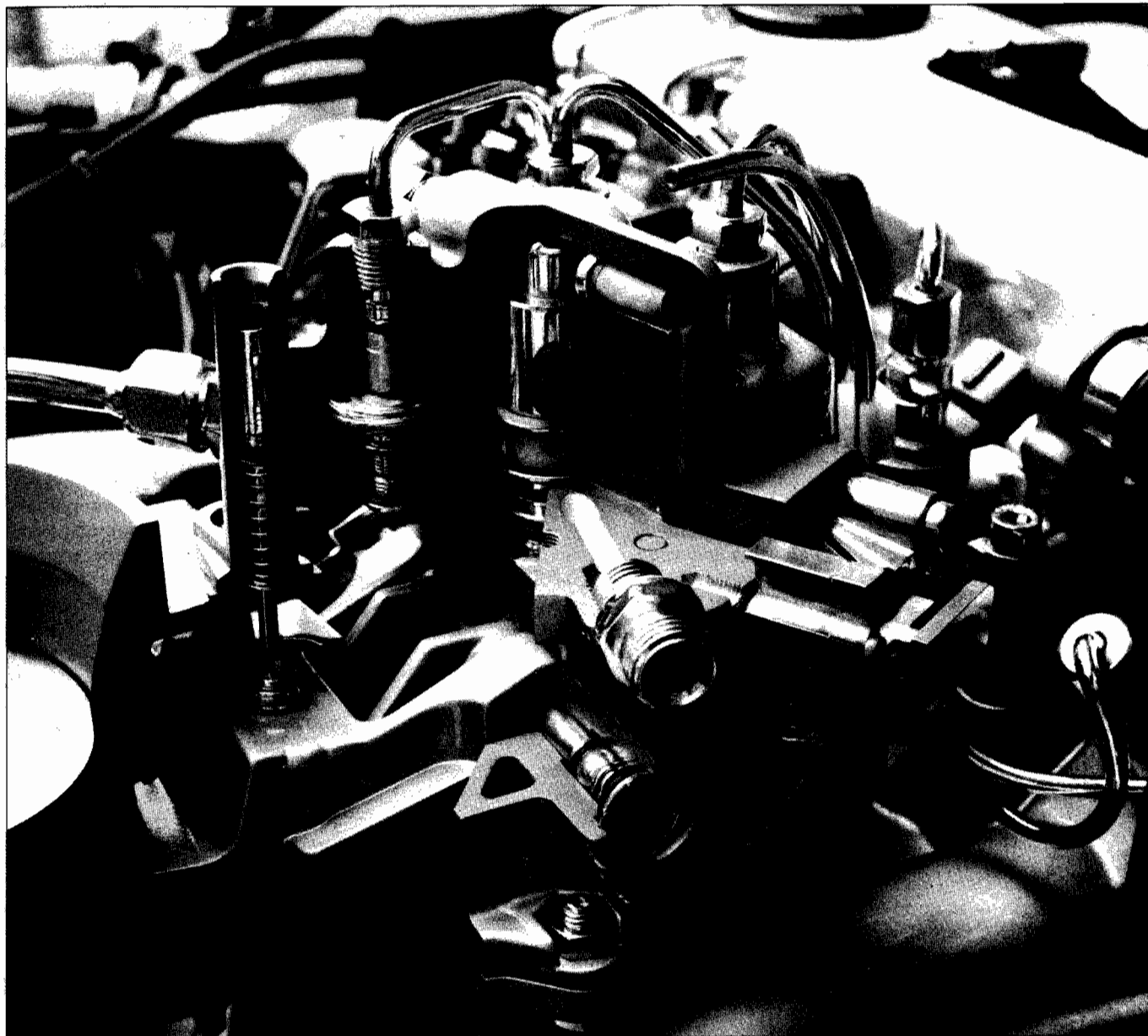


Fig. 30 Doorsnede van de elektro-hydraulische drukregelaar

- 1 brandstoftoevoer (systeemdruk)
- 2 sproeier
- 3 kantelplaat
- 4 brandstofvoer
- 5 magneetpool
- 6 spoel
- 7 permanent magnetisch veld
- 8 permanente magneet (90° verdraaid ten opzichte van het vlak van de tekening)
- 9 instelschroef voor basiskoppeling
- 10 elektromagnetisch veld
- 11 anker (L_1 tot L_4 zijn luchtspleten)

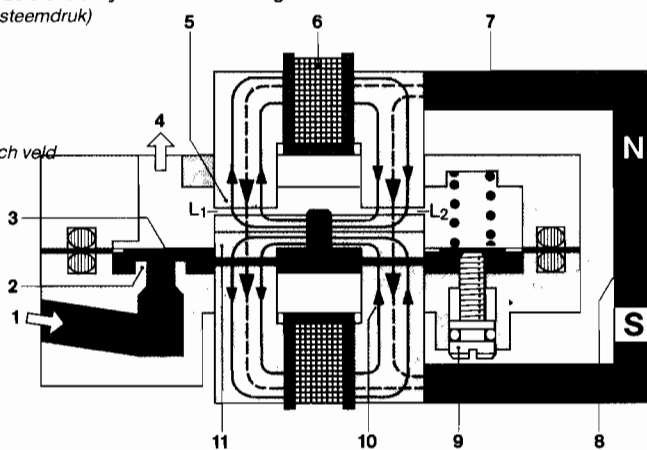


Fig. 31 (boven)

Het opengewerkte model van de verdeler laat zien dat precisie tot in het kleinste detail van de fijnmechanische onderdelen noodzakelijk is. Op grond van jarenlange ervaring bevat elk deel van de inspuitinstallatie de meest vooruitstrevende techniek en een schat aan productie-ervaring. Veelvuldige controles tijdens de productie garanderen een hoge kwaliteit, voor elk onderdeel, en voor de gehele installatie. Niet alleen het consequente denken aan kwaliteit in elk stadium van ontwikkeling tot aan het produceren toe, maar ook de wereldwijde service-organisatie dragen bij aan een hoge bedrijfszekerheid. (Foto: Daimler-Benz AG.)

4.4 Bedrijfs-omstandigheden

Koude start

Tijdens het starten spuit de KE-Jetronic gedurende korte tijd en afhankelijk van de motortemperatuur extra brandstof in.

Koude-startverrijking

Tijdens de koude start wordt het lucht-brandstofmengsel schraler, het wordt armer. Dit armer worden is het gevolg van een slechte verdeling van brandstofdeeltjes bij een laag toerental, de slechte verdamping van de brandstof en doordat bij lage temperaturen brandstof op de cilinderwand neerslaat. Om deze verschijnselen te compenseren en de koude motor makkelijker te laten aanslaan, moet tijdens het starten extra brandstof worden ingespoten. Tijdens het starten geeft het stuurapparaat, door de sterke toerentalschommeling en de daaruit volgende foutieve bepaling van de luchthoeveelheid, een vast signaal waarin rekening is gehouden met de motortemperatuur.

Koude-startverstuiver

De koude-startverstuiver spuit tijdens de koude start gedurende korte tijd extra brandstof in het inlaatspruitstuk.

Omdat tijdens de koude start de benodigde hoeveelheid brandstof aanzienlijk meer is dan de 'normale' hoeveelheid, geschiedt het inspuiten van de extra hoeveelheid door een aparte koude-startverstuiver. Deze spuit centraal voor alle cilinders brandstof in het inlaatspruitstuk in. Een thermische tijdschakelaar bepaalt de inschakelduur van de koude-startverstuiver. Tijdens koude-startverrijking wordt dus een rijker mengsel bereid, zodat in de cilinders een betere verhouding voor de verbranding wordt verkregen.

De koude-startverstuiver is een elektromagnetisch bekrachtigde verstui-ver (fig. 32). In de verstui-ver zit de wik-eling van de elektromagneet. In rust-positie drukt een veer het beweegbare anker van de elektromagneet tegen een afdichting waardoor de verstui-ver gesloten blijft.

Wanneer de elektromagneet wordt bekrachtigd wordt het magneetanker van de afdichting getrokken en komt de brandstofdoorstroming op gang. De brandstof komt tangentieel (langs de raaklijn) in de sproeier, die de straal een draaiende beweging geeft. Deze sproeier verstuift de brandstof erg fijn en verrijkt de lucht in het inlaatspruitstuk achter de gasklep. De koude-startverstuiver is zodanig op

het inlaatspruitstuk gemonteerd, dat men verzekerd is van een goede verdeling van het lucht-brandstofmengsel voor alle cilinders.

Thermische tijdschakelaar

De thermische tijdschakelaar begrenst, afhankelijk van tijd en temperatuur, de inspuiteduur van de koude-startverstuiver.

De thermische tijdschakelaar (fig. 33) bestaat uit een elektrisch verwarmd bimetaal, dat afhankelijk van zijn temperatuur een contact opent of sluit. De aansturing gebeurt via het contactslot. De thermische tijdschakelaar is bevestigd op een plaats die representatief is voor de motortemperatuur en begrenst tijdens de koude start de inschakelduur van de koude-startverstuiver. Tijdens langdurig starten of opnieuw starten spuit de koude-startverstuiver niet meer in. De inschakelduur is daarbij afhankelijk van de verwarming van de tijdschakelaar door de motorwarmte en/of door de elektrische verwarmings-spiraal om het bimetaal. Dit is noodzakelijk om de inspuiteduur van de startverstuiver te begrenzen en om het mengsel niet te rijk te maken, waardoor de motor zou 'verzuipen'. Tijdens de koude start wordt de inschakelduur hoofdzakelijk bepaald door de verwarmingsspiraal (afschakeling bijv. bij -20°C na ongeveer 7,5 s). Bij een motor op bedrijfstemperatuur wordt de thermische tijdschakelaar zover opgewarmd, dat deze continu open staat en het inschakelen van de koude-startverstuiver onmogelijk maakt.

Na het starten

Het verrijken met extra brandstof verbetert bij lage temperaturen het lopen van de motor.

Na het starten is bij lage temperaturen het gedurende korte tijd verrijken met brandstof noodzakelijk om slechte mengselvorming en het neerslaan van brandstof op de cilinderwanden te compenseren. Voorts ontstaat door het rijkere mengsel een groter koppel en daardoor een betere overgang naar een hoger toerental vanuit het stationair draaien.

Verrijking na het starten

Deze functie is zo aangepast, dat een onberispelijk opvoeren van het toerental wordt verkregen bij alle temperaturen bij een zo laag mogelijk brandstofverbruik. De verrijking na het starten hangt af van de temperatuur en de tijd. De verrijking wordt ongeveer lineair met de tijd opgeheven vanaf een beginwaarde welke afhankelijk is van de temperatuur. De verrijkingstijd is daardoor een functie van de temperatuur bij aanvang van de verrijking. Het stuurapparaat houdt de van de motortemperatuur afhankelijke verrijking van het mengsel ongeveer 4,5 s op de maximale waarde en regelt deze dan terug, na een start bij 20°C binnen 20 s.

Motortemperatuursensor

De motortemperatuursensor meet de temperatuur van de motor en geeft een elektrisch signaal aan het stuurapparaat.

De temperatuursensor (fig. 34) is bij luchtgekoelde motoren in het motorblok aangebracht. Bij watergekoelde

Fig. 32 Bekrachtigde koude-startverstuiver
1 elektrische aansluiting, 2 brandstoftoevoer met zeef, 3 ventiel (magneetanker), 4 magneetwikkeling, 5 sproeier, 6 klepzitting

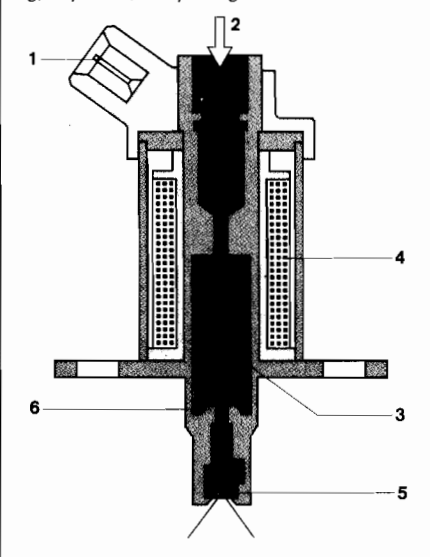
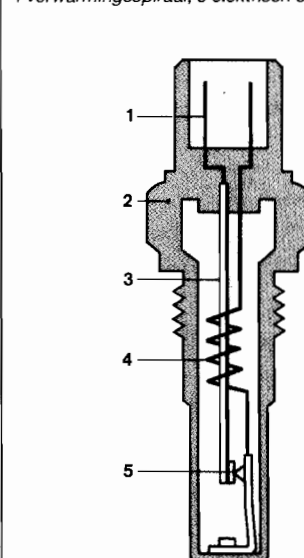


Fig. 33 Thermische tijdschakelaar
1 elektrische aansluiting, 2 huis, 3 bimetaal, 4 verwarmingsspiraal, 5 elektrisch contact



motoren staat de sensor rechtstreeks in contact met de koelvloeistof. De sensor 'meldt' de bij de heersende temperatuur behorende elektrische weerstand aan het stuurapparaat, dat via de elektro-hydraulische drukregelaar de in te spuiten hoeveelheid brandstof na het starten en tijdens het warmlopen van de motor regelt. De temperatuursensor bestaat uit een NTC-weerstand, die in een schroefdraadhuls gemonteerd is. NTC betekent negatieve temperatuur-coëfficiënt. Een NTC-weerstand, gemaakt van halfgeleidend materiaal, krijgt bij oplopende temperatuur een lagere elektrische weerstand.

Warmloop

Tijdens het warmlopen krijgt de motor, afhankelijk van temperatuur, belasting en toerental, extra brandstof.

Warmloopverrijking

Na de koude start en de fase na het starten komt de warmloophase van de motor. De motor heeft een extra warmloopverrijking nodig, omdat een deel van de brandstof tegen de nog koude cilinderwanden condenseert. Als de mengselbereiding tijdens lage temperaturen, bijv. door een slechte vermenging van lucht met brandstof of grotere brandstofdruppels, niet optimaal is, dan ontstaat ook op de inlaatkleppen en in de zuigbuis een neerslag van brandstof. Pas bij hogere temperaturen verdampt de neerslag weer. Alle genoemde factoren maken een rijker worden mengsel bij een lager wordende temperatuur noodzakelijk. De motor-temperatuursensor 'meet' de temperatuur van het koelmiddel en geeft deze door aan het stuurapparaat. Deze informatie

wordt omgevormd tot een overeenkomstige stroom naar de drukregelaar.

Acceleratie

Tijdens het accelereren met een niet-bedrijfswarme motor wordt door de KE-Jetronic extra brandstof toegevoegd.

Acceleratieverrijking door de drukregelaar

Wanneer de gasklep plotseling wordt geopend, wordt het lucht-brandstofmengsel gedurende korte tijd armer. Er is daardoor een kortstondige mengselverrijking nodig om een goede overgang te verkrijgen.

Het stuurapparaat herkent bij koude motor uit de tijdelijke verandering van het belastingssignaal dat er een acceleratie plaatsvindt en regelt in dit geval een acceleratieverrijking. Hierdoor wordt 'acceleratie-onderbreking' voorkomen.

De grootste waarde van de acceleratieverrijking is afhankelijk van de temperatuur. Als deze acceleratieverrijking moet worden opgebracht, ontstaat een puls van ongeveer 1 s. De acceleratieverrijking treedt alleen op bij temperaturen onder 80°C. De mate van verrijking is hoger naarmate de motor kouder is.

De snelheid waarmee gas wordt gegeven wordt afgeleid van de – ten opzichte van de gasklepbeweging slechts weinig vertraagde – zweefschijfbeweging van de luchthoeveelheidsmeter. Dit signaal, dat overeenkomt met de tijdelijke verandering van de aangezogen hoeveelheid lucht, dus ook ongeveer met het motorvermogen, wordt gemeten met een potentiometer in de luchthoeveel-

heidsmeter en geeft dit door aan het elektronische stuurapparaat, dat op zijn beurt weer de drukregelaar overeenkomstig afregelt.

De karakteristiek van de potentiometer is niet-lineair. Daardoor is het acceleratiesignaal het grootst bij beweging vanuit de stationaire positie, het neemt bij toenemend motortoeental af. Hierdoor wordt de schakeltijd van het elektronische stuurapparaat korter.

Zweefschijf en potentiometer

De potentiometer in de luchthoeveelheidsmeter (fig. 35) is een keramische, in lagen opgebouwde potentiometer (zie ook 3.2).

Een sleepcontact beweegt over de potentiometerbaan. Het sleepcontact is opgebouwd uit kleine draadjes, die op een hefboom zijn gesoldeerd. De afzonderlijke draadjes oefenen slechts een kleine kracht op de weerstandsbaan uit, zodat de slijtage uiterst gering blijft. Door het meervoudige aantal draadjes is men, ook als het contactvlak ruw is en bij zeer snelle bewegingen, verzekerd van goed contact.

De hefboom van de potentiometer is bevestigd op de as van de zweefschijf. De hefboom van de potentiometer is geïsoleerd ten opzichte van deze as aangebracht. De stroom wordt afgenomen door een afgiftesleepcontact, dat met het hoofdsleepcontact elektrisch is verbonden. Het sleepcontact kan buiten zijn normale bereik zover naar beide zijden uitzwaaien, dat bij eventuele terugslag in de inlaat beschadigen onmogelijk is. Beschadiging ten gevolge van kortsluiting is uitgesloten daar een weerstand in serie met het sleepcontact is geschakeld.

Fig. 34 Temperatuursensor

1 elektrische aansluiting, 2 huis, 3 NTC-weerstand

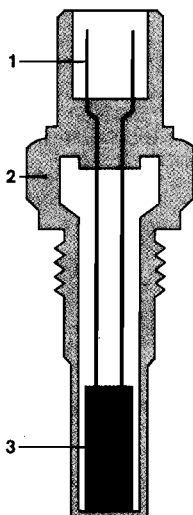
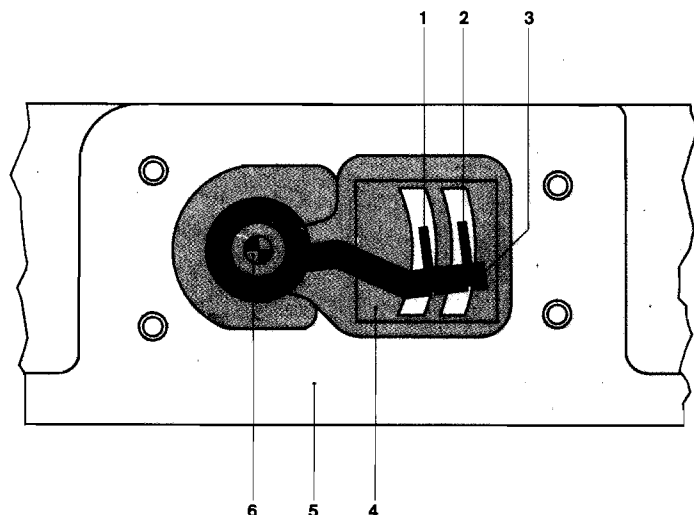


Fig. 35 Potentiometer voor het bepalen van de zweefschijfpositie

1 afgifte sleepcontact, 2 hoofdsleepcontact, 3 sleepcontacthefboom, 4 potentiometerplaat (verdraaid ten opzichte van het vlak van tekening), 5 huis van de luchthoeveelheidsmeter, 6 luchthoeveelheidsmeteras



Vollast

Bij vollast geeft de motor zijn grootste koppel af. Hiertoe moet het lucht-brandstofmengsel verrijkt worden, dit in tegenstelling tot de situatie bij deel-last.

Vollastverrijking door de drukrege-laar

In tegenstelling tot deellast, waarbij de afregeling wordt gebaseerd op een minimaal brandstofverbruik en een zo gering mogelijke emissie, wordt bij vollast het lucht-brandstofmengsel rijker gemaakt. Deze verrijking is af-hankelijk van het toerental gepro-grammeerd en maakt een optimaal koppel mogelijk over het gehele toerentalbereik van de motor. Daardoor is ook onder vollastcondities een zo laag mogelijk brandstofverbruik ge-realiseerd.

De KE-Jetronic verrijkt het mengsel tijdens vollast bijv. in de toerentalbe-reiken van 1500 tot 3000 omwentelin-gen per minuut en boven de 4000 om-wentelingen per minuut. Het vollast-sig-naal wordt geleverd door een schakelaar op de gasklep of door een microschakelaar op de gasstangen. De toerentalinformatie komt van de ontstekingsinstallatie. Hieruit bere-kent het stuurapparaat de extra be-nodigde hoeveelheid brandstof voor de verrijking, die door de drukrege-laar op de verdeler moet worden op-gebracht.

Gasklepschakelaar

De gasklepschakelaar geeft de gas-klepstanden 'stationair' en 'vollast' door aan het stuurapparaat.

De gasklepschakelaar (fig. 36) is aan de steun van de gasklep bevestigd. De as waar de gasklep op zit bedient de schakelaar. In de uiterste standen 'stationair' en 'vollast' wordt iedere keer een contact gesloten.

Nullast (stationair draaien)

Naast het rendement van de motor wordt ook het brandstofverbruik tij-dens stationair draaien hoofdzakelijk bepaald door het stationaire toeren-tal.

Regeling van het stationaire toeren-tal met een schuif voor extra lucht

Om de verhoogde wrijving te overwin-nen heeft de koude motor een grotere hoeveelheid mengsel nodig. Om een goed stationair lopende motor onder koude omstandigheden te verkrijgen, voert de stationair-regeling het toer-ental op. Hierdoor wordt de motor ook sneller opgewarmd. Een schuif voor extra lucht, die als een by-pass ten opzichte van de gasklep is ge-schakeld, laat afhankelijk van de mo-tortemperatuur extra lucht naar de motor stromen. Met deze extra lucht wordt bij het meten van de hoeveel-hheid lucht rekening gehouden waar-door de KE-Jetronic meer brandstof

regelt. Een exacte bepaling wordt door een elektrische schuif voor extra lucht geregeld. Daarbij wordt de be-ginhoeveelheid extra lucht door de motortemperatuur bepaald, waarna de elektrische verwarming eigenlijk de reducering als functie van de tijd regelt (zie fig. 37).

Een afdekplaat regelt in de schuif voor extra lucht (fig. 38, 39, 42), be-diend door een bimetaal, de door-stroming in de by-pass. De doorstro-ming in deze leiding wordt afhankelijk van de temperatuur zo ingesteld, dat bij koude start een voor deze fase ge-schikte hoeveelheid extra lucht wordt toegevoerd. De doorstroomopening wordt bij oplopende motortempera-tuur steeds kleiner en uiteindelijk ge-sloten. Het bimetaal wordt elektrisch verwarmd en verkleint met de tijd de doorstroomopening van de extra-lucht-schuif. De plaatsing van de schuif is zo gekozen, dat deze de mo-tortemperatuur zo goed mogelijk aanneemt. De schuif voor de extra lucht werkt niet als de motor warm is.

Fig. 37 Systeem van de stationaire regeling

In tegenstelling tot de stationair-sturing wordt bij de stationaire regeling het werkelijke toerental gemeten en met een in het geheugen opgeslagen waarde vergeleken; als deze van elkaar verschillen, wordt de schuifposi-tie dienovereenkomstig gewijzigd

- 1 regeltracject: motor
- 2 regelgrootheid: toerental (n)
- 3 regelaar: regelapparaat (levert stuurspanning U_v)
- 4 steller: stationair toerental-versteller
- 5 stel-grootheid: doorsnede van de by-pass (aangezogen vo-lume V_g)
- 6 hulp-grootheid: motortempe-ratuur (t_M)
- 7 hulp-grootheid: gasklep-posi-tie ($\alpha = 0$)

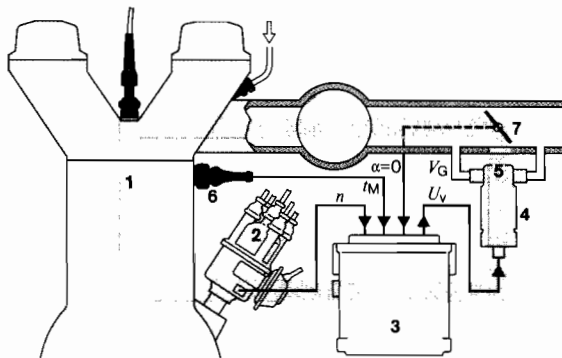


Fig. 38 Doorsnede van de schuif voor extra lucht

1 opening in afdekplaat, 2 luchtkanaal, 3 afdekplaat, 4 draaipunt, 5 elektrische verwar-ming

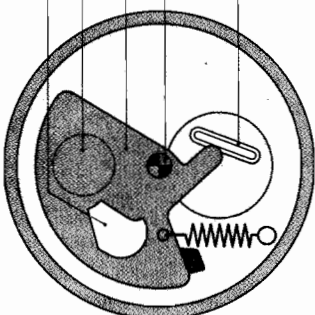


Fig. 39 Elektrisch verwarmde schuif voor extra lucht

1 elektrische aansluiting, 2 elektrische verwar-ming, 3 bimetaal, 4 regelschuif

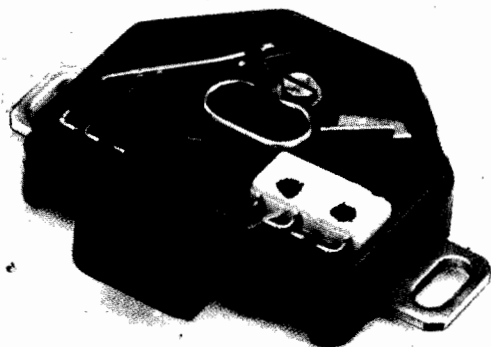
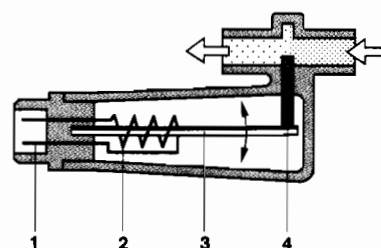


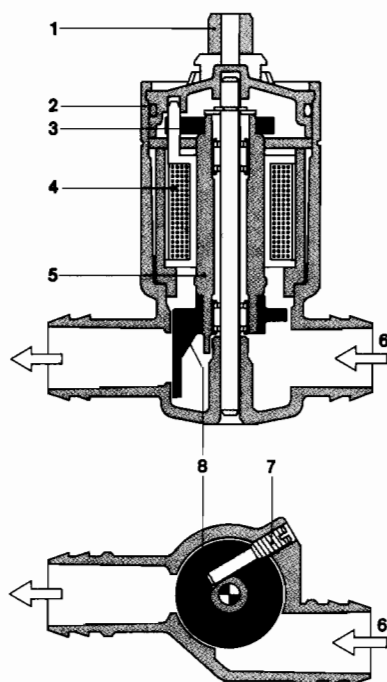
Fig. 36 Gasklepschakelaar voor signalering van de uiterste posities

Stationair-vullingsregeling door een roterende regelaar

Door de stationair-vullingsregeling wordt het stationaire toerental constant. Hierdoor daalt het brandstofverbruik tijdens stationair draaien, in het bijzonder tijdens stadsverkeer.

Een te hoog toerental verhoogt het brandstofverbruik in deze fase en daarmee tevens het totale verbruik. Dit probleem wordt opgelost door de stationair-vullingsregeling, waarbij de mengselhoeveelheid altijd overeenkomt met de hoeveelheid die nodig is om het stationaire toerental bij iedere belasting (bijv. koude motor en verhoogde wrijving) constant te houden. Verder heeft men op de lange duur constante emissiewaarden van uitlaatgassen, zonder dat het stationaire toerental afneemt. De stationair-vullingsregeling compenseert ten dele ook veranderingen van de motor bij het ouder worden en zorgt voor een stabiele stationaire loop gedurende de hele levensduur van de motor.

Fig. 40 Draaiende stationair-regelaar
1 elektrische aansluiting, 2 huis, 3 terugstelveer, 4 wikkeling, 5 anker, 6 luchtkanaal als by-pass over de gasklep, 7 instelbare aanslag, 8 draaischijf



Een draaiende stationair-regelaar opent een by-pass over de gasklep. Afhankelijk van de aansturing van de regelaar wordt een bepaalde doorlaat geopend. Omdat de KE-Jetronic de extra hoeveelheid lucht gewoon met de zweefklep meet, wordt de inspuithoeveelheid dienovereenkomstig veranderd. De stationair-vullingsregeling stabiliseert het stationaire toerental op een effectieve wijze, omdat deze in tegenstelling tot andere gangbare stationair-sturingen het werkelijke toerental vergelijkt met de vereiste waarde en bij eventuele afwijking daarvan een correctie toepast.

Draaiende stationair-regelaar

De draaiende stationair-regelaar vangt de schuif voor extra lucht en neemt behalve de functie van stationair-vullingsregelaar ook de functie van de schuif over. De draaiende stationair-regelaar geeft de motor via een by-pass over de gasklep meer of minder lucht, afhankelijk van de afwijking tussen het werkelijke toerental en het toerental dat in het geheugen is opgeslagen.

Het elektronisch stuurapparaat van de KE-Jetronic geeft aan de draaiende stationair-regelaar een signaal, afhankelijk van het toerental en de temperatuur van de motor. Met het oog daarop verandert de draaischijf in de regelaar de openingsgrootte van de by-pass.

De draaiende stationair-regelaar heeft een magneetaandrijving, bestaande uit een wikkeling en een magneetanker, en een begrensde draaihoek van 60°. De op de as van het

anker bevestigde draaischijf opent het by-passkanaal voor de lucht zo ver, dat zich het gevraagde stationaire toerental onafhankelijk van de belasting van de motor instelt. De schakeling in het elektronische stuurapparaat verandert de luchtdoorstroming door aansturing van de draaiende regelaar totdat het werkelijke stationaire toerental gelijk wordt aan het opgeslagen toerental. Als de motor warm is en onbelast draait, zal de openingsdoorsnede van de by-pass nabij zijn ondergrens liggen.

Overige ingangssignalen van het stuurapparaat, zoals de temperatuur en de positie van de gasklepschakelaar, zorgen ervoor dat een onjuist reageren bij lage temperaturen en op toerentalveranderingen door gas geven, wordt uitgesloten. Het stuurapparaat zet de toerentalpuls om in een spanningssignaal en vergelijkt deze met de spanning die bij het gewenste toerental hoort. Uit het spanningsverschil wordt door het stuurapparaat een stuursignaal gevormd, dat naar de draaiende stationair-regelaar wordt gevoerd. Door de spoelwikkeling wordt een pulserende gelijkstroom gestuurd, waardoor op het anker een koppel optreedt, dat tegen de terugstelveer in werkt. Afhankelijk van de stroomsterkte stelt zich een bepaalde doortroomopening in. In stroomloze toestand (storing aan het voertuig) wordt de draaischijf door de terugstelveer tegen een instelbare aanslag gedrukt, waarbij een nooddoorsnede open blijft. Als de verhouding tussen werkelijk en opgeslagen toerental maximaal is, staat de by-pass geheel open.

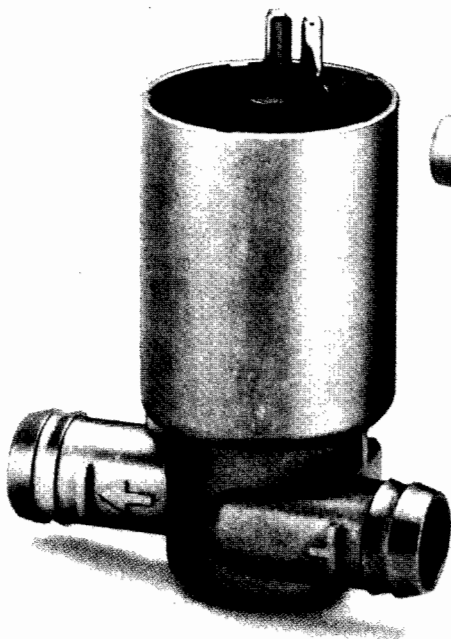


Fig. 41 Draaiende stationair-regelaar

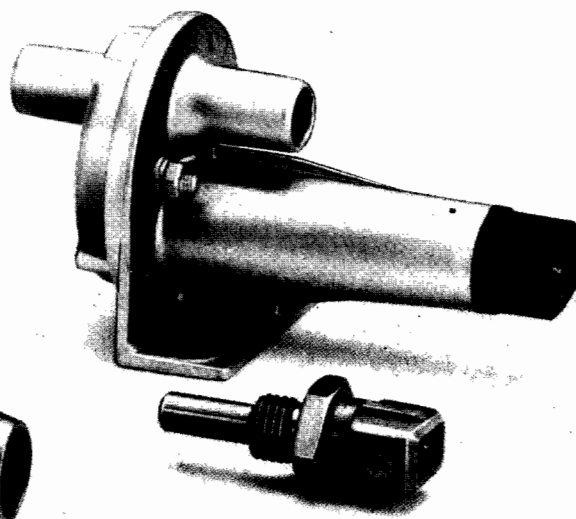


Fig. 42 Schuif voor extra lucht (boven) en temperatuursensor voor stationairsturing

5 Overige functies

5.1 Proces bij afremmen op de motor

Afremmen op de motor betekent voor voertuigen met KE-Jetronic het geheel onderbreken van de brandstofstroom naar de motor tijdens gas terugnemen. Vooral in stadsverkeer treedt hierdoor een verlaging van het brandstofverbruik op.

Door het onderbreken van de brandstoftoevoer tijdens het afremmen op de motor, daalt het brandstofverbruik tijdens bergaf rijden alsmede in het stadsverkeer. Als de chauffeur tijdens de rit zijn voet van het gaspedaal afhaalt, komt de gasklep terug in de nulstand. De gasklepschakelaar meldt aan het stuurapparaat dat de gasklep is gesloten.

Gelijktijdig krijgt het stuurapparaat de toerentalinformatie van het ontstekingsstelsel. Wanneer het werkelijke toerental daalt tot de waarde waarbij de aandrijving uitgeschakeld kan worden (maar nog wel boven het stationaire toerental ligt), draait het stuurapparaat de stroomrichting door de elektro-hydraulische drukregelaar om. De drukval over de regelaar wordt dan nagenoeg nul. In de brandstofverdeler drukken de veren in de onderkamers van de drukegalisators de membranen (fig. 44) dicht en onderbreken daardoor de brandstoftoevoer naar de verstuivers.

Voor de warme motor zijn de schakeldrempels zo laag mogelijk gesteld, zodat zoveel mogelijk brandstof kan worden bespaard. Bij lage temperatuur zijn deze drempels hoger, zodat de koude motor niet afslaat als plotseling wordt ontkoppeld.

Fig. 43

Als de chauffeur zijn voet van het gaspedaal afhaalt, wordt de aandrijving uitgeschakeld en de brandstoftoevoer onderbroken.

Fig. 44

Uitschakeling van de aandrijving tijdens het afremmen op de motor: door het omkeren van de stroomrichting door de spoel (11) wordt de stoorplaat (12) van de sproeier weggedrukt. Daardoor stijgt de druk in de onderkamers tot nagenoeg de systeemdruk, zodat de veren in de onderkamers de toevoer (3, 5) naar de verstuivers met de membranen (8) afsluiten.

6 naar de brandstofsysteemdrukregelaar,
4 naar de koude-startsproeier,
1 brandstofverdeler, 7 bovenkamer,
9 onderkamer, 2 brandstoftoevoer



Fig. 44 Brandstofverdeler

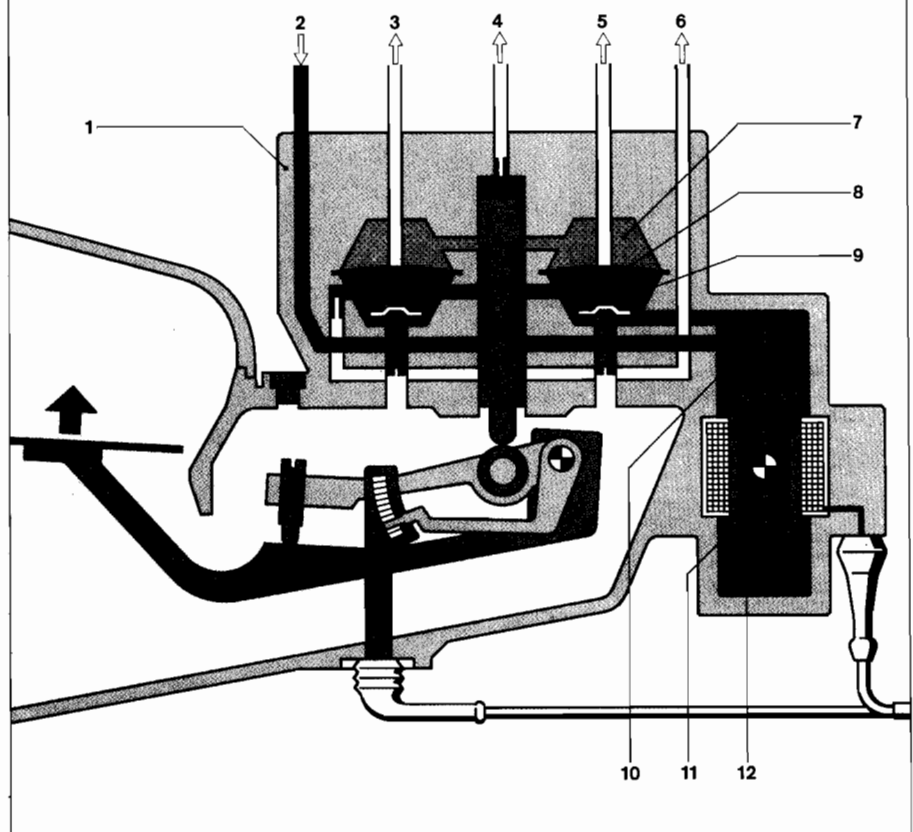


Fig. 45 Op grote hoogtes boven zeeniveau ontstaat als gevolg van ijlere lucht een duidelijk verschil tussen de gemeten hoeveelheid lucht en de in werkelijkheid doorstromende luchtmassa. Een barometrische hoogtemeter meet de luchtdruk en geeft deze door aan het stuurapparaat, dat via de elektro-hydraulische drukregelaar de brandstoftoevoerhoeveelheid evenredig corrigeert

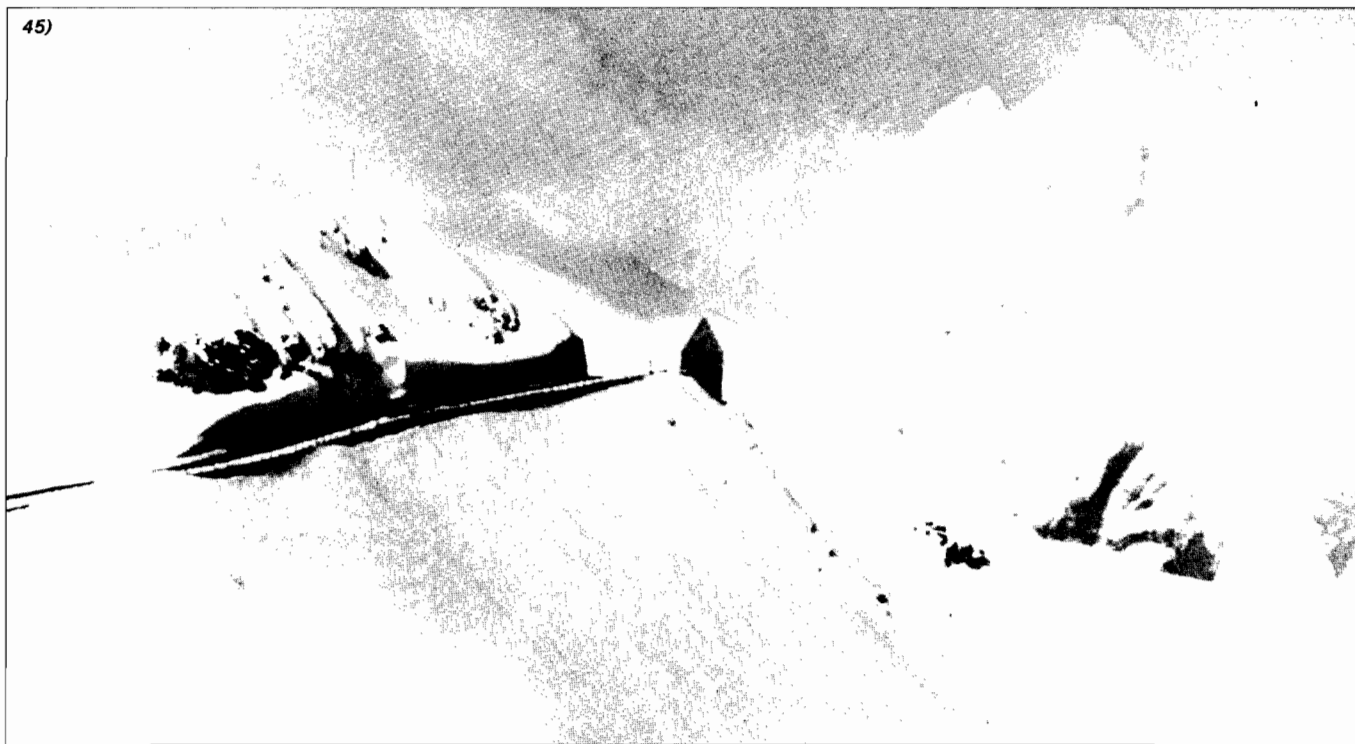


Fig. 46 Minimaal toerental waarbij de aandrijving wordt uitgeschakeld is afhankelijk van de koelmiddeltemperatuur

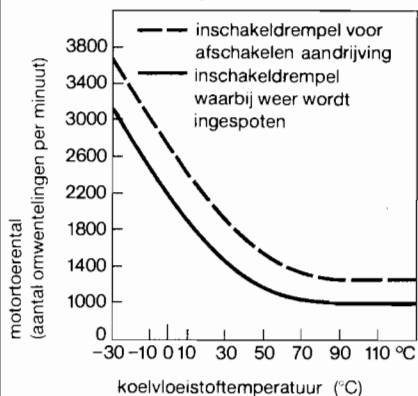
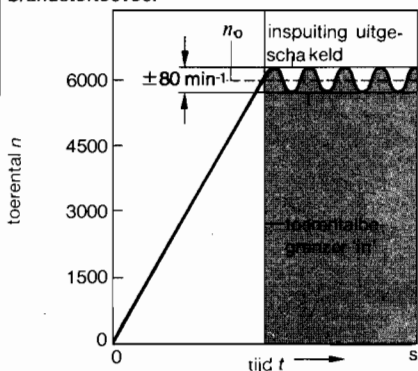


Fig. 47 Begrenzing van het maximale toerental n_0 door onderbreking van de brandstoftoevoer



5.2 Toerentalbegrenzing

Bij het bereiken van het maximaal toelaatbare motortoerental wordt de brandstoftoevoer naar de verstuivers onderbroken.

Bij de tot nu toe gebruikelijke toerentalbegrenzing om de motor te beschermen tegen 'overspeeding', wordt bij het bereiken van een bepaald maximumtoerental de ontsteking door een ontstekingsverdelers rotor kortgesloten. Deze methode is tegenwoordig op grond van uitlaatgasemissie en brandstofverbruik naar de achtergrond gedrongen.

Als oplossing is een elektronische toerentalbegrenzing door uitschakeling van de brandstofinspuiting gevonden. Door de stroomrichting door de elektro-hydraulische drukregelaar om te keren, wordt de stootplaat van de sproeier weggeduwd. De drukval nadert het nulpunt en de membranen in de drukegalisators sluiten de brandstoftoevoer naar de verstuivers af. Dit is hetzelfde verschijnsel als bij het afremmen op de motor (b/z. 20). Het elektronisch stuurapparaat onderbreekt de brandstofinspuiting als het maximale toerental wordt overschreden. Er ontstaat een variatie van het toerental van ongeveer 80 omwentelingen per minuut om het maximale toerental (fig. 47).

5.3 Mengselaanpassing op grote hoogte

Door de ijle lucht in hoger gelegen gebieden, is daar een correctie om het mengsel te verwarmen nodig (fig. 45).

Op grotere hoogte komt de gemeten volumestroom als gevolg van de ijle lucht overeen met een kleinere massastroom. De KE-Jetronic kan op deze afwijking reageren door de brandstofhoeveelheid te corrigeren. Hierdoor wordt een te rijk mengsel – met als gevolg een hoger brandstofverbruik – uitgesloten.

De hoogtecorrectie wordt uitgevoerd door een sensor die de luchtdruk meet. Evenredig met de heersende luchtdruk geeft de sensor een signaal aan het stuurapparaat, dat daardoor de stroom door de regelaar beïnvloedt. Dit heeft weer tot gevolg dat de druk in de onderkamers van de drukegalisators verandert, en daarmee de verschillendruk over de regelgroeven, waardoor ook de brandstofhoeveelheid zich aanpast.

Ook een continu aanpassen van de inspuihoeveelheid aan de heersende luchtdruk is mogelijk.

6 Uitlaatgasverbetering

Het verbranden van brandstof in de cilinders van een motor verloopt niet altijd even onberispelijk. Hoe minder volmaakt de verbranding is, hoe groter de uitstoot wordt van schadelijke stoffen in de uitlaatgassen van de motor. Een volkomen verbranding van brandstof bestaat niet, zelfs niet wanneer er een overschot aan zuurstof aanwezig is.

Alle maatregelen om de emissie van schadelijke stoffen aan de verschillende wettelijke eisen te laten voldoen, hebben tot doel met een zo laag mogelijk brandstofverbruik, hoger vermogen, goede rij-eigenschappen en met lage kosten een optimale uitlaatgaskwaliteit te verkrijgen.

Het aandeel schadelijke stoffen maakt ongeveer 1% van de uitlaatgassen uit, en bestaat uit koolmonoxide (CO), stikstofoxiden (NO_x) en koolwaterstoffen (HC). Het grootste probleem is de afhankelijkheid van de lucht-brandstofverhouding tegenover de concentraties van CO en HC enerzijds en NO_x anderzijds.

6.1 Katalytische nabehandeling

De emissie van schadelijke stoffen door de benzinemotor kan door katalytische nabehandeling aanzienlijk worden verminderd.

De eigenschappen van het uitlaatgas van de motor kunnen op drie plaatsen worden beïnvloed. De eerste mogelijkheid doet zich voor bij de mengselvorming voor de motor, de tweede bestaat uit maatregelen in de motor (bijv. een optimale verbrandingsruimte), en de derde betreft de uitlaatzijde van de motor. Bij de uitlaatzijde van de motor gaat het er in feite om de nog niet volledig verbrande brandstof te verbranden. Dit wordt mogelijk met een katalysator (fig. 48). Deze heeft twee kenmerkende eigenschappen:

- De katalysator brengt een naverbranding van CO en HC tot stand waardoor het ongevaarlijke kooldioxide (CO_2) en water (H_2O) ontstaan
- De katalysator reduceert gelijktijdig de in het uitlaatgas aanwezige stikstofoxiden (NO_x) tot neutraal stikstofgas (N_2).

De katalytische nabehandeling is dus aanzienlijk werkzaam dan bijvoorbeeld de zuiver thermische naverbranding van de schadelijke stoffen in een hete vlam.



Met behulp van een katalysator wordt ruim 90% van de schadelijke stoffen omgezet in ongevaarlijke bestanddelen.

Over het algemeen wordt de éénrichtingskatalysator het meest gebruikt. Deze bestaat uit een buis van een keramisch materiaal bedekt met een laag edelmetaal, bij voorkeur platina. Als hierdoor uitlaatgas stroomt, versnelt het platina de chemische afbraak van de schadelijke stoffen. Katalysatoren mogen slechts met loodvrije benzine worden gebruikt, omdat lood de katalytische werking van het edelmetaal vernietigt.

De katalytische behandeling heeft als eis dat het mengsel zo optimaal mogelijk is samengesteld. Een optimaal, dus stochiometrisch samengesteld, mengsel wordt verkregen wanneer aan de aangezogen hoeveelheid lucht zoveel brandstof wordt toegevoegd, dat theoretisch een volkomen verbranding kan plaatsvinden, dus een verbranding zonder een overschot zuurstof of brandstof. Zo'n mengsel wordt met een luchtverhoudingsgetal $\lambda = 1,00$ aangegeven. Bij dit luchtverhoudingsgetal werkt de katalysator efficiënt.

De moeilijkheid motoruitlaatgassen door een katalytische nabehandeling te reinigen is dus eigenlijk om $\lambda = 1,00$ tijdens alle bedrijfsomstandigheden in stand te houden. Een afwijking van slechts 1% heeft een bijzonder ongunstige invloed op de nabehandeling (fig. 49). De mengselsamenstelling binnen een geringe tolerantie constant te houden, bereikt men niet met een mengselsturing; men heeft hiervoor een precies werkende mengselregeling nodig. De reden hiervoor is dat de mengselsturing, zoals bij de KE-Jetronic, de benodigde hoeveelheid brandstof berekent en regelt, maar het uiteindelijke resultaat niet meer controleert. Men spreekt hier van een open stuurketen. De mengselregeling daarentegen meet de uitlaatgassamenstelling en gebruikt het meetresultaat om de hoeveelheid

Fig. 48 Katalysator

Als uitlaatgas door de katalysator stroomt, versnelt het platina de chemische afbraak van de schadelijke stoffen.

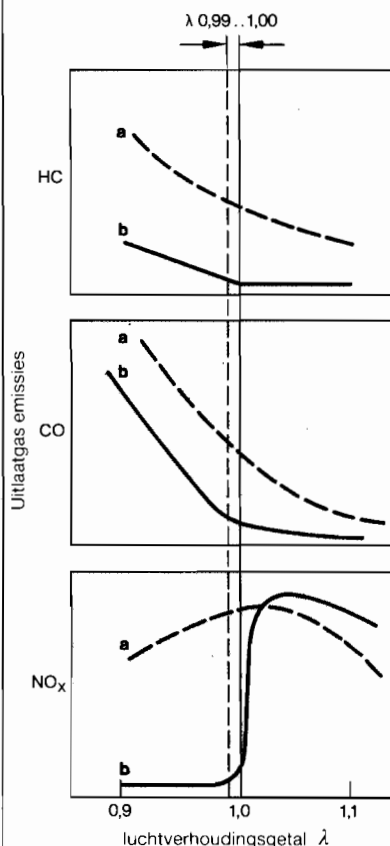
1 keramisch materiaal met katalytisch actieve bestanddelen (platina), 2 staalwol om de delen op hun plaats te houden, 3 huis

Fig. 49 Effectiviteit van de katalytische nabehandeling van uitlaatgassen met lambda-regeling

Optimale mengselsamenstelling: $\lambda = 0,99 \dots$

1,00. Aandeel schadelijke stoffen a zonder nabehandeling, b met nabehandeling; HC koolwaterstof, CO koolmonoxide, NO_x stikstofoxiden.

De grafiek laat zien hoe sterk de uitstoot van schadelijke stoffen door de mengselsamenstelling wordt beïnvloed. De noodzakelijkheid van een nauwkeurige regeling herkent men aan de sterke toename van het schadelijke koolmonoxide (CO) net onder $\lambda = 1,00$, en aan de met sprongen toenemende hoeveelheden, eveneens schadelijke, stikstofoxiden net boven $\lambda = 1,00$



brandstof te corrigeren. Men spreekt hier van een *gesloten regelketen*. Deze regeling is bijzonder effectief bij motoren met brandstofinspuiting, omdat de reactietijden, zoals die ontstaan bij carburateurs als gevolg van de lange aanzuigweg, niet aanwezig zijn.

6.2 Lambda-regeling

De lambda-sonde levert een signaal aan het stuurapparaat omtrent de heersende mengsamenstelling.

Werking

De sonde steekt in de uitlaatgasstroom en is zo gevormd dat de buitenkant van de elektrode door uitlaatgas wordt omgeven en de binnenkant in verbinding staat met de buitenlucht (fig. 50).

De sonde bestaat uit een lichaam van speciale keramiek, waarvan de oppervlakte is voorzien van een gas

doorlatende platina-elektrode. De werking van de sonde berust hierop, dat het keramische materiaal poreus is en diffusie van de zuurstof uit de lucht toelaat (vaste elektrolyt). Het wordt bij hoge temperatuur geleidend. Wanneer het zuurstofgehalte aan beide zijden van de elektrode verschillend is, ontstaat er een elektrische spanning op de elektrode. Bij een stoichiometrische samenstelling van het lucht-brandstofmengsel met $\lambda = 1,00$ ontstaat er een sprong in de karakteristiek. Deze spanning vormt het meetsignaal (fig. 51).

Bouw

Het keramische materiaal is in een houder met een uitwendige schroefdraad bevestigd en voorzien van beschermingshulzen en elektrische aansluitingen. Het oppervlak van de keramiek van de sonde is voorzien van een microporeuze laag platina, die enerzijds door de katalytische werking de karakteristiek van de sonde bepaalt en anderzijds voor een goede elektrische verbinding zorgt. Aan de uitlaatgaszijde van de sondekeramiek is over de platinalaag een stevige, goed poreuze, laag keramiek aangebracht (fig. 52). Deze laag beschermt de platinalaag tegen een corrosieve werking van resten in het uitlaatgas.

Over de aansluitzijde van de sonde is een metalen beschermhuls aangebracht, die vast zit op het sondehuis. De beschermhuls is voorzien van een boorgat voor de ontluuchting van de sonde en dient tevens als steun voor de schotelveer. De elektrische leiding is op het aansluitlipje gesoldeerd en wordt via een isolerend omhulsel uit de sonde gevoerd. Om verbrandingsresten in het inlaatgas van de sondekeramiek weg te houden is de uitlaatgaszijde voorzien van een beschermhuls. Deze heeft groeven, die zo zijn gevormd, dat uitlaatgassen en meekomende vaste stoffen niet op de sondekeramiek kunnen komen.

Lambda-regelkring

Door de lambda-regelkring kan de luchtbrandstofverhouding zeer nauwkeurig op $\lambda = 1,00$ worden gehouden.

De met de lambda-sonde opgebouwde regelkring kan afwijkingen van een bepaalde lucht-brandstofverhouding herkennen en corrigeren. Het principe berust op het meten van de hoeveelheid restzuurstof in de uitlaatgasen met behulp van de lambda-sonde. De hoeveelheid restzuurstof is een maat voor de samenstelling van het lucht-brandstofmengsel van de motor. De lambda-sonde als meetinstrument in de uitlaatpijp geeft informatie of het mengsel rijker of armer is dan $\lambda = 1,00$.

Bij een afwijking hiervan maakt het uitgangssignaal een spannings-sprong, die door het stuurapparaat wordt vastgesteld. Het stuurapparaat heeft hiertoe een regelschakeling. De regelkring beïnvloedt de door de KE-Jetronic elektronisch berekende correctie van de inspuihoeveelheid. Op deze wijze wordt de hoeveelheid brandstof zo nauwkeurig bepaald, dat tijdens alle bedrijfsomstandigheden afhankelijk van belasting en toeren-tal, de lucht-brandstofverhouding optimaal is. Toleranties en verouderingsverschijnselen van de motor spelen daarbij geen rol. Is bijvoorbeeld $\lambda = 1,03$ (licht verarmd mengsel), dan vult de lambda-regelkring het luchtoverschot aan door de ingespoten hoeveelheid brandstof te vergroten.

Het regelproces verloopt omgekeerd als bijvoorbeeld $\lambda = 0,97$ (licht verrijkt mengsel). Dit voortdurend, precies, instellen van het mengsel op $\lambda = 1,00$ is een voorwaarde voor het effectief nabehandelen van de schadelijke stoffen met behulp van een katalysator.

Fig. 50 Spanningssignaal van de lambda-sonde

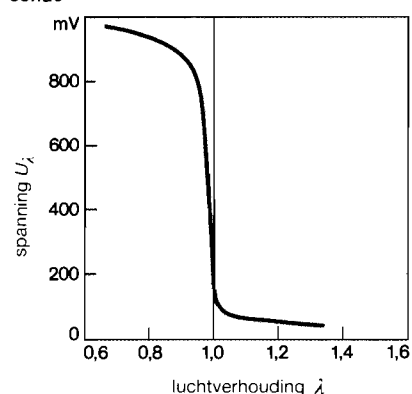


Fig. 51 Plaatsing van de lambda-sonde in een dubbel uitlaatsysteem

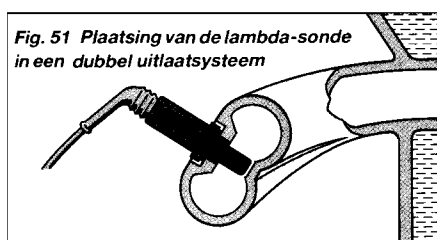


Fig. 52 Werking van de lambda-sonde

1 keramisch materiaal, 2 elektrode, 3 kontakten, 4 verbinding met het huis, 5 uitlaatpijp, 6 keramische beschermlaag (poreus)

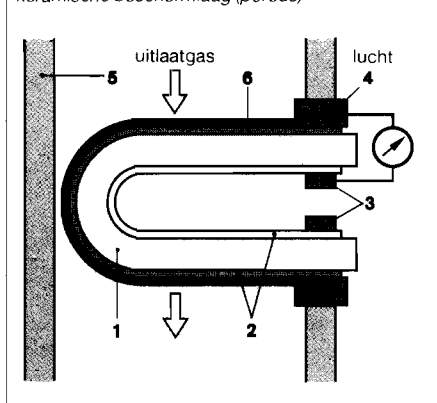
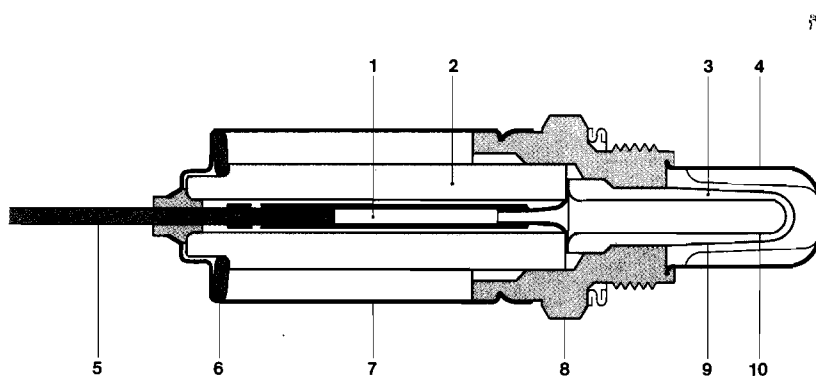


Fig. 53 Lambda sonde

1 elektrisch kontakt, 2 steunkeramiek, 3 sondekeramiek, 4 beschermhuls (uitlaatgaszijde), 5 elektrische aansluiting, 6 schotelveer, 7 beschermhuls (luchtzijde), 8 huis (-), 9 elektrode (-), 10 elektrode (+)



7 Elektrische schakeling

Het stuurrelais koppelt de elektrische brandstofpomp, de schuif voor extra lucht, de koude-startverstuiver en de thermische tijdschakelaar aan het boordnet.

Tijdens het starten schakelt de contactschakelaar (fig. 54) spanning op het stuurrelais (fig. 55), dat ingeschakeld wordt zodra de motor loopt. Het door de startmotor tijdens het starten

opgebrachte toerental is hiervoor reeds voldoende. Als teken voor de draaiende motor dienen de pulsen van de bobine, klem 1. De pulsen worden door het elektronische stuurapparaat vastgesteld. Na de eerste puls wordt het stuurrelais ingeschakeld (fig. 56) en zet het spanning op de elektrische brandstofpomp en de schuif voor extra lucht. Als er geen pulsen meer komen van de bobine, klem 1,

omdat (bijvoorbeeld na een ongeluk) de motor stil staat (fig. 57) dan wordt het stuurrelais na ongeveer één seconde na de laatste puls uitgeschakeld. De beveiligingsschakeling voorkomt dat de elektrische brandstofpomp bij stilstaande motor en ingeschakelde ontsteking brandstof levert.

Fig. 54 Schakeling in ruststand (zonder stuurapparaat)

1 contactschakelaar, 2 koude-startverstuiver, 3 thermische tijdschakelaar, 4 stuurrelais, 5 elektrische brandstofpomp, 6 schuif voor extra lucht

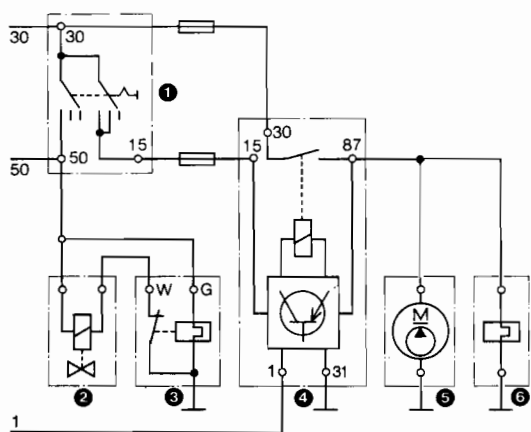


Fig. 56 In bedrijf

Ontsteking ingeschakeld, de motor loopt. Stuurrelais, elektrische brandstofpomp en schuif voor extra lucht zijn ingeschakeld

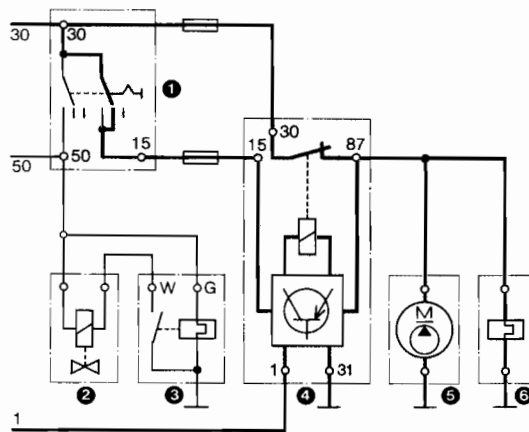


Fig. 55 Starten (koude motor)

De koude-startverstuiver en de thermische tijdschakelaar zijn ingeschakeld. De motor draait (pulsen van klem 1 van de bobine). Stuurrelais, elektrische brandstofpomp en schuif voor extra lucht zijn ingeschakeld.

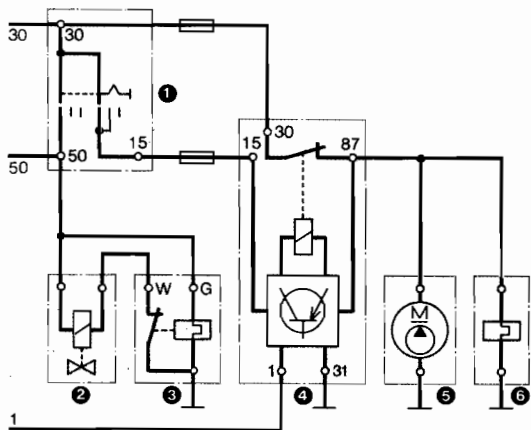


Fig. 57 Ontsteking ingeschakeld, de motor loopt niet

Geen pulsen van klem 1 van de bobine. Stuurrelais, elektrische brandstofpomp en schuif voor extra lucht zijn uitgeschakeld.

