

Fig. 1. In 1931 nam men proeven met een zeslinder Mercedes vliegtuigmotor. Hierbij werd een bestaande Bosch-brandstofpomp (voor dieselmotoren) gebruikt om de benzine in te spuiten. De Pallascarburetors werden daartoe verwijderd, terwijl voor de inlaatpoorten schijfjes zijn te zien, waarmede de luchttoevoer geregeld kon worden.

TH. VAN DER STAR

## Bosch Benzine-Inspuiting

### viert een zilveren en . . . . . een gouden jubileum

Het is voor ons een punt van overweging geweest, welk opschrift wij boven dit artikel zouden plaatsen, doch we besloten tenslotte ons niet precies te houden aan het door de Bosch Presesdienst gebruikte opschrift, dat luidde „25 jaar Bosch benzine-inspuiting”. Naar onze smaak is Robert Bosch GmbH hier namelijk te bescheiden, want uit andere documentatie blijkt overduidelijk, dat men bij Bosch reeds veel eerder met benzine-inspuiting is begonnen dan de titel van het persbericht zou doen vermoeden. Het begin van de ontwikkeling dateert namelijk reeds van 1912; d.w.z. — inplaats van 25 jaren — juist 50 jaren geleden! Vandaar ons opschrift.

Wel is het waar, dat het nu juist 25 jaren geleden is — n.l. in 1937 — dat

men bij Bosch de benzine-inspuitapparaat voor vliegtuigmotoren in serie begon te fabriceren (fig. 2).

Indien men over dat alles eens nadenkt en overweegt dat er dus gedurende meer dan 25 jaren vóórdien door de bekwaamste ingenieurs en technici aan de ontwikkeling van benzine-inspuiting is gewerkt, dan kan men zich misschien enigszins voorstellen hoeveel researcharbeid aan die seriefabricatie is voorafgegaan.

Als wij echter nog iets verder in de geschiedenis teruggrijpen, dan blijkt, dat de eerste pogingen om benzine-inspuiting toe te passen, reeds veel eerder zijn begonnen. De oudste papieren te dezer zake heeft waarschijnlijk Saurer (1896), maar succes van enige betekenis schijnen die pogingen niet te

hebben opgeleverd. Iets meer succes had de gasmotorenfabriek Deutz, die aan het einde van de vorige eeuw zelfs enige jaren stationaire motoren heeft gebouwd, die waren voorzien van een benzine-inspuitinstallatie. Maar dat kon nog geen blijvend succes opleveren, daar de toenmalige stand van de techniek nog niet in staat was aan de uitermate hoge eisen van nauwkeurigheid, die aan een dergelijke apparatuur gesteld moeten worden, op redelijke wijze te voldoen. Anderzijds waren de moeilijkheden bij dergelijke grote, langzaam draaiende motoren onvergelijkelijk veel kleiner dan bij de snellopende motoren van deze tijd.

„Het begon in de lucht . . .”

Zo begint het persbericht van Bosch.

De nog primitieve vliegtuigmotoren bij de geboorte van de luchtvaart in het eerste decennium van deze eeuw, waren veelal uitgerust met de toen juist in zwang komende verstuiwingscarburetors voor automobielen. Het is echter gemakkelijk te begrijpen, dat de vliegtuigpioniers uit die dagen bij het nemen van scherpe bochten, waarbij belangrijke afwijkingen van de horizontale stand door hun toestellen moesten worden ingenomen, en ook doordat de brutaalsten onder hen in de daarop volgende jaren al begonnen met luchtacrobatiek — het maken van „loopings”, rugvliegen enz. — bij het gebruik van de bestaande, simpele verstuiwingscarburetors enorme risico's namen. Het gebeurde dan ook maar al te dikwijls dat een motor op de meest ongelegen ogenblikken stil viel of dat de carburator in brand vloog; tallozen zijn daardoor verongelukt. Ook had men bij het vliegen op grote hoogte voortdurend te kampen met ijsvorming in de carburator met al de gevolgen van dien. Weliswaar had men deze bezwaren door het ontwikkelen van speciale carburetors voor vliegtuigmotoren vrij spoedig onder de knie, maar toch heeft men dat ook al vroegtijdig trachten op te lossen door benzine-inspuiting.

Zo waren de eerste vliegtuigmotoren van de gebr. Wright (1903—1906) reeds voorzien van benzine-inspuiting. Maar ook de beroemde Antoinette vierslaggen de Grade tweeslagmotoren ( $\pm$  1908) hadden benzine-inspuiting. Daartegenover had bijv. de 3-cilinder Anzanimotor — waarmee Bleriot op 25 juli 1909 het Engelse kanaal overstak — een gewone carburator. Het behoeft natuurlijk geen betoog, dat de hier bedoelde inspuitssystemen nog maar erg gebrekkig waren.

In de dertiger jaren waren er reeds meer constructeurs — zowel in Europa als in Amerika — die benzine-inspui-

ting volgens moderner opvattingen trachten te realiseren. Het was echter voornamelijk bij Robert Bosch dat men succes boekte. Zo ziet u in fig. 1 een zescilinder vliegtuigmotor (Mercedes) met een normale Bosch brandstofpomp waarmee men in 1931 proeven nam. (Let op de twee Pallas-carburators op de voorgrond, die daartoe werden verwijderd.) Zoals gezegd, zag Bosch kans in 1937 tot de serieproductie van benzine-inspuitssystemen voor vliegtuigmotoren over te gaan. Zo herinner ik mij nog zéér goed, hoe het in Engeland groot opzien baarde, dat de motoren van de neergeschoten Heinkels, Messerschmits en Junkers van motoren met benzine-inspuiting waren voorzien. In de Engelse tijdschriften verschenen in de eerste maanden van 1940 — wij waren toen nog niet in oorlog — nauwkeurige detailtekeningen van deze motoren.

Voordat wij nu echter iets over de verdere ontwikkelingsgeschiedenis van de bij Bosch ontwikkelde benzine-inspuitssystemen gaan vertellen, lijkt het mij niet ondienstig nog even stil te staan bij de vraag:

#### Waarom eigenlijk benzine-inspuiting?

Ja waarom? Daar men allerwege — en dan vooral bij Bosch — kosten nog moeite spaart om benzine-inspuiting te realiseren, moeten er wel belangrijke voordelen aan verbonden zijn.

In de loop der jaren kreeg men een steeds beter inzicht in de mengselvorming en ook in de gang van zaken tijdens en direct na de verbranding bij benzinemotoren. Doordat men dat alles dus beter leerde beheersen en in juiste banen leiden, gelukte het ook steeds grotere vermogens uit motoren van bepaalde afmetingen te halen en bovendien het brandstofgebruik rigoureus te beperken.

Voor de luchtvaart was dat nog veel belangrijker dan voor het automobi-

lisme, want een geringer brandstofgebruik betekent een grotere actieradius, waardoor tevens de mogelijkheid wordt geschapen — vooral bij het overbruggen van grote afstanden — meer nuttige last mee te nemen.

Allerwege is men er zich reeds lang van bewust, dat de gebruikelijke carburetors en carburatiesystemen niet ideaal zijn, niettegenstaande het feit, dat moderne carburetors langzamerhand zó gecompliceerd zijn geworden — teneinde de nadelen zo goed mogelijk te ondervangen — dat het een gespecialiseerde kennis vraagt de juiste afstellingen te verzorgen.

Ongetwijfeld is de grootste moeilijkheid, waarvoor de constructeurs van carburetors zich de hele geschiedenis van de ontwikkeling van vliegtuig- en automobielmotoren zagen geplaatst, een compromis te vinden tussen twee tegengestelde eisen, die als volgt kunnen worden geformuleerd:

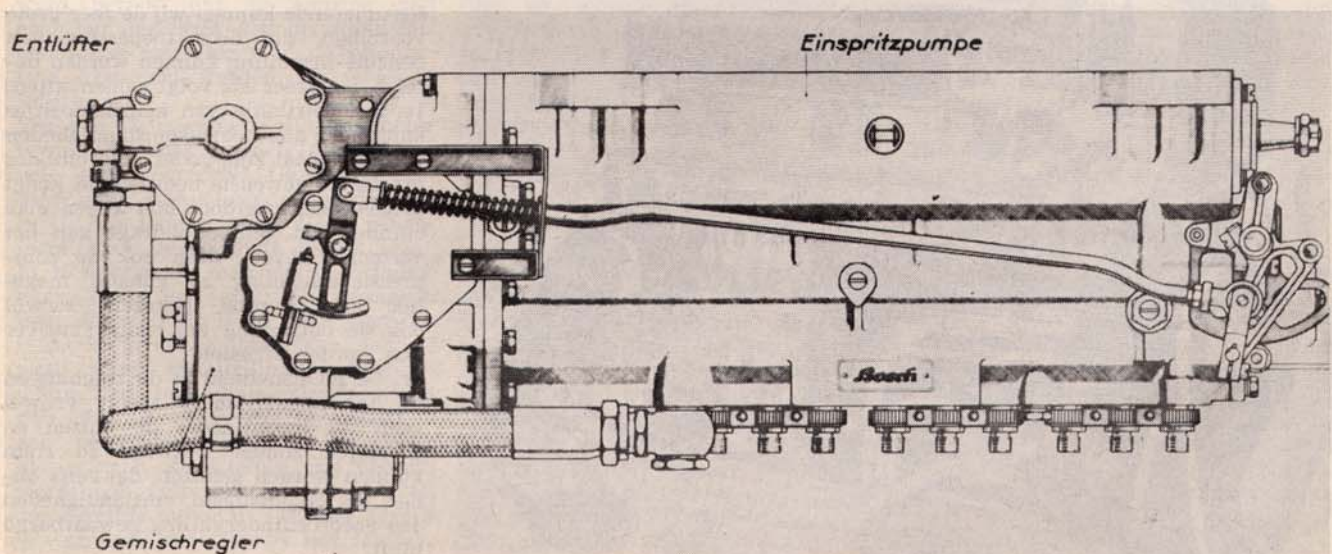
1e. Bij geringe belastingen en toerentallen van een motor voldoende luchtsnelheid in de verstuivers, zuig- en inlaatbuizen te handhaven, teneinde onder alle omstandigheden in staat te zijn de nog vloeibare benzinedeeltjes met de luchtstroom te kunnen meenemen en dus over een bruikbaar gasluchtmengsel te kunnen beschikken.

2e. Bij hogere toerentallen en belastingen zo lang mogelijk een goede cilindervulling te handhaven, omdat daardoor het maximum vermogen van een motor wordt beheerst.

Het zijn voornamelijk deze twee, volkomen tegengestelde eisen, (die enerzijds zéér nauwe en anderzijds wijde verstuivers, zuig- en inlaatbuizen vragen) die de ontwikkeling van de carburator gedurende tientallen jaren hebben beheerst.

Ook mag het wel als algemeen bekend worden verondersteld, dat uit een cilinder met een gegeven inhoud méér vermogen kan worden gehaald, indien

Fig. 2. De eerste benzine-inspuitpomp met regelaar voor twaalfcilinder vliegtuigmotoren zoals in 1937 in serieproductie werd genomen.



zo'n cilinder zijn eigen carburator heeft. Deze overweging heeft er o.m. toe geleid, dat men bij dure en vooral snelle auto's en motorrijwielen — bijv. voor racedoelinden — dikwijls meerdere carburators monteert.

Dat alles is nu wel aardig, doch men kan zo wel begrijpen, dat het gebruik van meerdere carburators voor algemene toepassing te absurd is, niet alleen omdat zulks een kostbare geschiedenis zou zijn, maar ook omdat de afstelproblemen niet van de lucht zouden zijn.

Naast de hiervoor genoemde tegenstellingen zijn er trouwens nog belangrijker nadelen aan het gebruik van een carburator verbonden en het zijn voornamelijk deze nadelen, die tot het toepassen van meerdere carburators hebben geleid, zodra men het maximum bereikbaar vermogen uit een motor van bepaalde afmetingen wil halen. Hier denk ik aan de distributie van de brandstofdeeltjes over de verschillende cilinders, welke brandstofdeeltjes door de luchtstroom moeten worden meegenomen. In het bijzonder de moderne, klopvaste brandstoffen bevatten een groot aantal koolwaterstoffen die lastig zijn te verdampen, zodat een carburator slechts kans ziet min of meer fijn verdeelde vloeistofdeeltjes aan de lucht, die door de motor wordt aangezogen, mee te geven. Het aangezogen mengsel bestaat dus uit componenten die een zéér verschillend soortelijk gewicht hebben, zodat ook de traagheidsreacties van die componenten zeer verschillend zijn.

Op elke verandering van de snelheid en van de richting van het mengsel zal de lucht anders reageren dan de zwaardere vloeistofdeeltjes. Probeert u zich maar eens voor te stellen, wat er gebeurt in het inlaatsysteem van een normale meercilindermotor, waarbij u vooral dient te bedenken, dat prakti-

sche overwegingen de constructeurs dwingen om de stromingssnelheden in het inlaatsysteem zéér hoog te houden om de zwaardere benzinedeeltjes te dwingen zwevend te blijven (zie hiervoor). Het ene ogenblik moet het mengsel met een enorme snelheid een cilinder vullen, om dan plotseling een gesloten klep op zijn weg te ontmoeten, waardoor de stromingssnelheid wordt afgeremd; vele malen per seconde moet de mengselstroom van richting veranderen omdat er ook andere cilinders gevuld moeten worden enz. En dat alles gaat in een ontstellend snel tempo, waaraan de luchtcomponent veel gemakkelijker gevolg kan geven dan de zwaardere benzinedeeltjes.

Het zal niet moeilijk zijn om in te zien, dat de benzinedeeltjes zullen achterblijven als de luchtstroom plotseling wordt versneld en zullen doorstromen als de luchtstroom wordt afgeremd; ook zullen de nog vloeibare deeltjes een reeds bestaande richting handhaven als de mengselstroom een andere richting uit moet enz. Zelfs als een carburator goed is afgesteld, is de uitkomst van dat alles bedroevend slecht en is er in deze heksenketel van een behoorlijke en gelijkmatige distributie van benzinedeeltjes geen sprake. Elke verandering van de belasting en van het toerental schept andere toestanden, omdat daardoor de stromingssnelheden en de uitkomsten van de traagheidsreacties eveneens veranderen. Gewoonlijk zullen de cilinders, die het dichtst in de buurt van de carburator liggen, meer krijgen dan hun toekomst, terwijl de verderaf gelegen cilinders zich met minder tevreden moeten stellen. Het is zelfs mogelijk, dat er in sommige cilinders detonatieverschijnselen optreden door een te arm mengsel, terwijl het mengsel in andere cilinders te rijk is.

De distributie kan enigszins worden verbeterd door intensieve voorverwarming, waardoor de vloeistofdeeltjes sneller verdampen en de benzinecomponent van het mengsel lichter wordt, waardoor deze beter de snelle richtingsveranderingen van de luchtstroom kan volgen. Een warm mengsel neemt echter meer plaats in dan een koud, zodat de cilindervulling door voorverwarming slechter wordt, waardoor de geringe verbetering van de distributie van de brandstofdeeltjes gaat ten koste van het motorvermogen.

Ook dient een constructeur met deze slechte distributie rekening te houden bij het vaststellen van de compressieverhouding, daar hij moet zorgen, dat de „pingelgrens” — ook onder ongunstige omstandigheden — niet wordt overschreden; tenslotte moet ook de ontsteking later worden afgesteld, dan bij een juiste distributie van de brandstof noodzakelijk zou zijn.

Al de hiervoor geschetste narigheden worden veroorzaakt door het feit, dat men het gas-luchtmengsel bij het gebruik van een carburator van te voren moet samenstellen en de benzinedeeltjes, gemengd met de lucht, door het buizenlabyrint van het inlaatsysteem naar de motor moet transporteren.

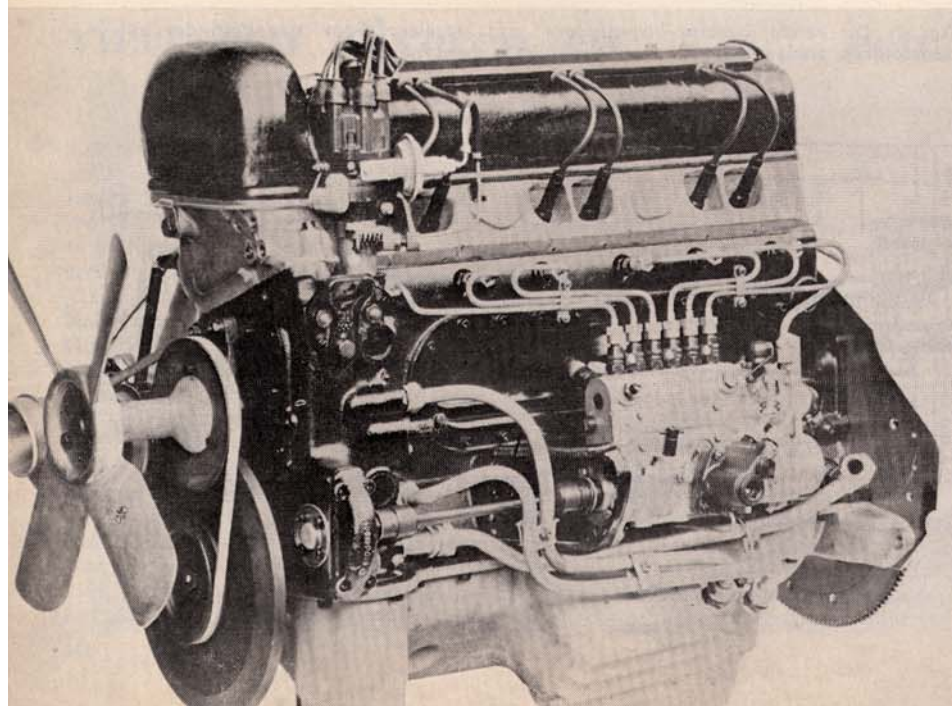
Wordt de benzine daarentegen in nauwkeurig afgestemde hoeveelheden ingespoten — dus ongeveer zoals dat bij dieselmotoren het geval is — dan behoeft er alleen maar lucht te worden aangezogen en gedistribueerd. De benzinedeeltjes kunnen dan eerst op het laatste ogenblik — hetzij direct in de cilinder, hetzij in de zuigbuis bij de inlaatklep — aan deze lucht worden toegevoegd. Hierdoor kan men bereiken, dat de benzinedeeltjes niet anders *kunnen* dan in de cilinder stromen waarvoor zij bestemd zijn en kan men natuurlijk een feilloze distributie bereiken.

Het uitkielen en handhaven van de juiste mengselverhouding in alle mogelijke belasting- en toereengebieden was daarbij ongetwijfeld één van de grootste moeilijkheden die moesten worden overwonnen.

Resumerende kunnen wij de zeer grote voordelen, die door toepassing van benzine-inspuiting kunnen worden bereikt, ongeveer als volgt samenvatten: 1e. De distributie van benzinedeeltjes kan onder alle bedrijfsomstandigheden vrijwel ideaal zijn, zodat elke cilinder precies de gewenste hoeveelheid krijgt toegewezen, waardoor niet alleen elke cilinder een gelijke bijdrage aan het vermogen levert, doch ook de compressieverhouding zo gunstig mogelijk kan worden gekozen, terwijl ook de ontsteking enz. nauwkeuriger kan worden afgesteld;

2e. De luchtsnelheid in de zuigbuis en in het inlaatsysteem speelt vrijwel geen rol meer, zodat de buizen en doorlaten zonder bezwaar zo ruim kunnen worden gekozen, dat zelfs onder de ongunstigste omstandigheden een goede cilindervulling gewaarborgd blijft;

Fig. 3. De Mercedes 300 SE met benzine-inspuiting uit 1954.



3e. Het is geheel overbodig geworden voorverwarming toe te passen, zodat de lucht koud in de cilinders kan worden gebracht, waarvoor een maximum lading en dus, met de voorhanden cilinderinhoud, een maximum effect kan worden bereikt.

#### De ontwikkeling bij Robert Bosch.

Omtrent 1930 begon men bij de DVL (Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt) met proefnemingen, die ten doel hadden te onderzoeken of de Bosch brandstofpompen, die inmiddels bij dieselmotoren hun doelmatigheid en betrouwbaarheid hadden bewezen, ook voor benzine-inspuiting bij vliegtuigmotoren waren te gebruiken. De proefnemingen werden begonnen met een éencilindermotor van Daimler-Benz, waarbij men de normale Bosch brandstofpomp gebruikte. Hiermede bereikte men al direct redelijk goede resultaten, zelfs beter dan met een carburator. Ook bleek, dat inspuiten tijdens de inlaatslag tot betere resultaten leidde, dan inspuiten tijdens de compressieslag. Al direct boekte men een vermogenswinst van 7% en een vermindering van het brandstofgebruik van 3% per geleverde pku. Volgende proeven met een zescilinder — zie fig. 1 — leverden een vermogenswinst van 10 tot 17%.

Bij deze eerste proefnemingen was men bevreesd, dat de plunjers door de niet smerende benzine zouden gaan vreten en zo overwoog men aan de benzine een paar procent olie toe te voegen, hoewel daardoor de verbrandingswaarde natuurlijk zou achteruitgaan. Het bleek echter dat extra smeren niet direct noodzakelijk was; wel moest men zorgen, dat de benzine volkomen gereinigd werd, waarvoor de bestaande Bosch-filters, die ook bij dieselmotoren werden gebruikt, afdoende resultaten bleken op te leveren. Wel trad het bezwaar op, dat de benzine langs de plunjers lekte en zo de smeerolie van de brandstofpomp verdunde, zodat Bosch — in een later stadium — een pomp een lekolieafdichting ontwikkelde, waardoor werd bereikt dat de benzine niet naar het oliecarter van de brandstofpomp kon weglekken en de plunjers toch gesmeerd werden. Dat was in 1934.

Met een Daimler-Benz vliegtuigmotor (type DB 601) werden de proeven vele jaren voortgezet. De enorme verbeteringen, die geleidelijk werden bereikt, worden wel het beste aange-toond door de volgende cijfers:

In 1935 bereikte men met deze motor nog slechts een specifiek vermogen van 30 pk/l, doch in 1929 was dat reeds toegenomen tot meer dan 80 pk/l! Deze twaalfcilinder vliegtuigmotor had een totale cilinderinhoud van 33,8 ltr en leverde bij 3200 t/m een vermogen van 2800 pk. Welk een enorme vooruitgang was bereikt, wordt ook geïllustreerd door het feit dat dezelfde motor in 1936 nog slechts 'n vermogen van 1200 pk kon leveren.

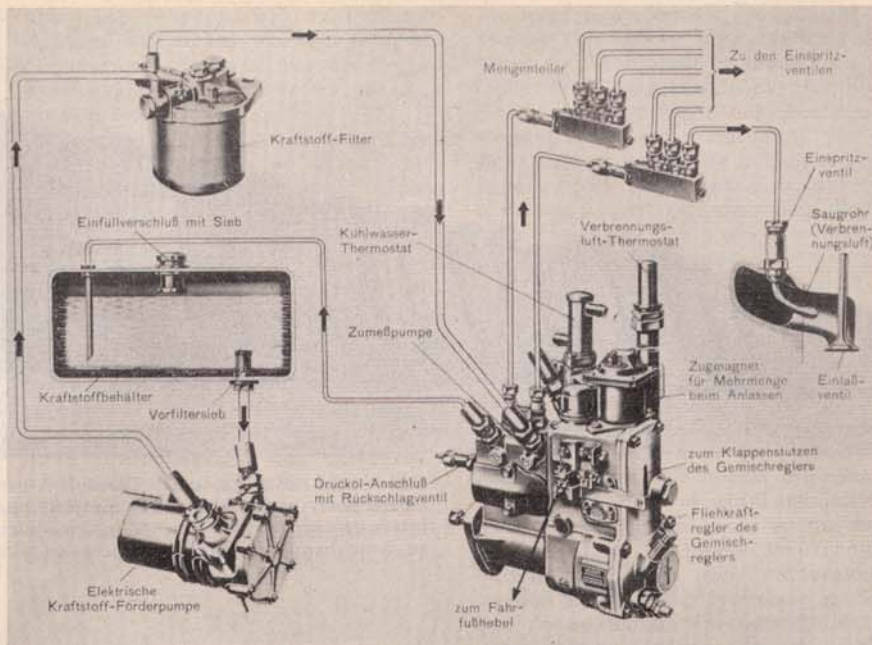


Fig. 4. De installatie, die in 1959 op de motor van de Mercedes 220 SE verscheen. In tegenstelling met de 300 SE uit fig. 3 wordt hier de benzine in de inlaatsbuis — direct achter de inlaatsklep — ingespoten. Deze uitvoering maakt het mogelijk een brandstofpomp met slechts twee pompelementen te gebruiken.

Reeds in 1937 waren uitkomsten van deze proefnemingen zo overtuigend, dat de DB 601 in serieproductie werd genomen; dat is dus ook het tijdstip waarop men bij Bosch overging tot de serieproductie van het voor deze motor ontwikkelde inspuit-systeem (fig. 2); in de Boschdocumentatie beschouwt men dat dus als de geboorte van de benzine-inspuiting in zijn moderne vorm.

De bereikte successen werden op overtuigende wijze onderstreept, doordat een Messerschmit-machine, uitgerust met de DB 601 met benzine-inspuiting (startvermogen 2100 pk), twee jaren later het absolute snelheidsrecord voor vliegtuigen behaalde. Hierbij dient te worden opgemerkt, dat de enorme kapitalen, die met de research waren gemoeid, bij de ontwikkeling van vliegtuigmotoren in die dagen een ondergeschikte rol speelden; zowel bij Robert Bosch als bij Daimler-Benz heeft men daarvan een zéér nuttig gebruik gemaakt, zodat men na de oorlog onmiddellijk kon beginnen de benzine-inspuiting rijp te maken voor automobielgebruik. Wat de kosten betreft kan nagenoeg hetzelfde worden gezegd van het ontwikkelen van benzine-inspuit-systemen voor de peperdure renwagens van Daimler-Benz. Het lag dan ook voor de hand, dat men daarmee begon.

De opzienbarende resultaten van de Mercedes renwagens — hier denk ik in het bijzonder aan de overwinningen door Fangio met de „Silberpfeil” in de jaren 1954 en 1955 — en de successen van Noll en Cron met de

BMW-zijspancombinatie — waren voor een belangrijk deel te danken aan de feilloos werkende benzine-inspuitinstallaties van Robert Bosch. Deze successen toonden onwifelbaar aan, dat de door Bosch ontwikkelde benzine-inspuit-systemen voor automobielen, zelfs onder de zwaarste omstandigheden, hun taak naar behoren bleven vervullen, zodat in een korte spanne tijds achtereenvolgens de Mercedes 300 SE (fig. 3), de 300d en de 220 SE (fig. 4) van benzine-inspuitinstallaties konden worden voorzien.

#### Slotbeschouwing.

De toenemende verkeersdichtheid vraagt automobielen met een uitstekend acceleratievermogen, opdat zij zich zonder mankeren aan de verkeerssituaties kunnen aanpassen, terwijl bovendien in netelige situaties een onmiddellijk reageren van de motor een grotere zekerheid biedt. De uitstekende distributie van de brandstof bij benzine-inspuiting leidt bovendien tot een geringer brandstofgebruik door de verbeteringen van het arbeidsproces. En „last but not least” zal een betere verbranding — ook bij deellast — minder koolmonoxyde in de uitlaatgassen produceren, hetgeen bij de enorme en nog steeds toenemende verkeersdichtheid een niet te onderschatten voordeel is. De benzine-inspuit-systemen van Robert Bosch hebben in de loop der jaren reeds bewezen, dat men er volledig op kan vertrouwen, zodat een verdere ontwikkeling in die richting en meerdere toepassingen zeer zeker niet lang meer op zich zullen laten wachten.