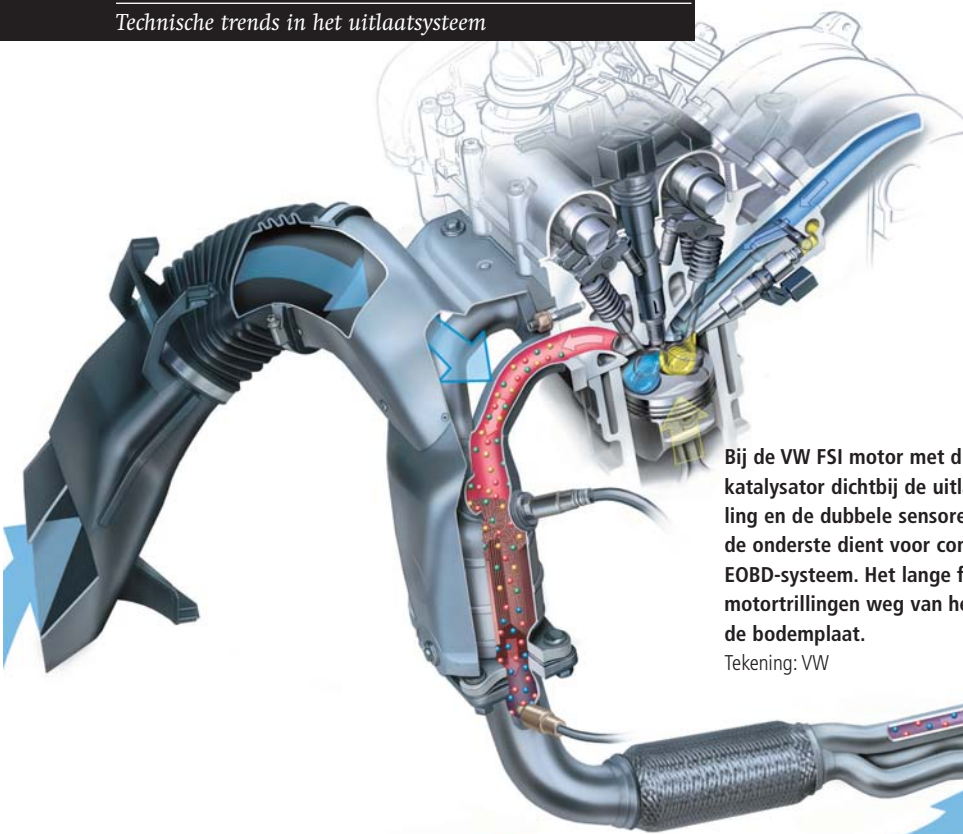


Auto & Motor
TECHNIEK

© **WWW.AMT.NL** - Dé internetsite voor de Automotive Professional

ONDERDELEN

Technische trends in het uitlaatsysteem



Bij de VW FSI motor met directe benzine-inspuiting is de voor-katalysator dichtbij de uitlaatkleppen geplaatst. Let op de koeling en de dubbele sensoren: de bovenste is de lambdasensor, de onderste dient voor controle en is opgenomen in het EOBD-systeem. Het lange flexibele deel houdt de motortrillingen weg van het uitlaatsysteem en de bodemplaat.

Tekening: VW



Bij deze viercilinder is er een 4 in 2 in 1 uitlaatspruitstuk toegepast om een hoog koppel te verkrijgen. Een dunwandige keramische katalysator zorgt voor schone uitlaatgassen. Let op de wijze waarop het monolietblok is ingepakt.

Foto: Eberspächer

Uitlaat evolueert tot high tech milieusysteem

Frisse adem

De tijd dat een uitlaat bestond uit een stuk pijp met één of twee dempers, ligt ver achter ons. Dempen van geluid is nog altijd belangrijk, maar de reiniging van de uitlaatgassen heeft prioriteit gekregen. Hoe is een modern uitlaatsysteem precies opgebouwd en welke toekomstige ontwikkelingen staan ons te wachten?

Het uitlaatsysteem van benzinemotoren heeft sinds een kwart eeuw een belangrijk aandeel in de beperking van de uitstoot van schadelijke stoffen. In 1975 kwam de 'korreltjes' katalysator op de markt. In 1980 verscheen het keramische monoliet, dat uit één stuk bestaat. Wat later werden er metaalkatalysatoren toegepast. Al

deze katalysatoren hebben tot doel de schadelijke uitlaatgassen zoveel mogelijk om te zetten in onschadelijke gassen.

De (elektronisch) geregelde driewegkatalysator met lambdasensor is nu standaardtechniek voor benzinemotoren. Voor dieselmotoren is de ongeregelde tweewegkatalysator, ook wel oxi-

datiekatalysator genoemd, algemeen gebruikelijk. Inmiddels heeft de opslagkatalysator of Denox-kat bij arm-mengsel benzinemotoren zijn intrede gedaan, bij dieselmotoren is het roetfilter een feit. De ontwikkeling gaat snel en heeft grote invloed op de constructie van het uitlaatsysteem.

Thermische reactor

De katalytische thermische reactor, zoals de katalysator eigenlijk heet, bestaat uit een warmgeperst blok steen met vele kleine gaatjes of uit een opgerolde metaalfolie. Op het oppervlak waar het uitlaatgas langs strijkt, is de bekledinglaag (washcoat) aangebracht die de eigenlijke katalysatoren bevat. De gebruikte edelmetalen, Platina (Pt), Palladium (Pd) en Rhodium (Rh), zorgen ervoor dat de benodigde chemische reacties al bij een relatief lage temperatuur op gang komen. Dankzij de opbouw



De katalysatoren worden tegenwoordig dichtbij de uitlaatpoorten geplaatst. Hier een voorbeeld van een deel van een zescilinder uitlaat met een dubbelwandig spruiststuk met een metaal-voorkatalysator. Direct daarna zit de keramische hoofdkatalysator, dat is een zogenaamde cascade-opstelling.

Foto: Eberspächer

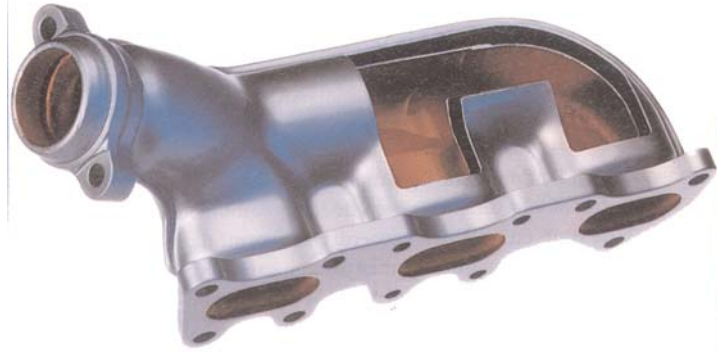


Metaalkatalysatoren worden inmiddels ook toegepast bij vervangingsuitlaten. Ze zijn sterker en lichter dan uitlaten met een keramische katalysator.

Foto: Bosal

is het inwendig oppervlak van alle kanalen enorm groot. Als er 62 kanalen per vierkante centimeter zijn, komt het uitlaatgas in aanraking met een oppervlak van ongeveer 20.000 m². Vandaar dat slechts 2 à 3 gram zeer fijn verdeeld edelmetaal zo'n gunstig effect op de emissies heeft.

De gebruikte lambdasensor meet tegenwoordig niet alleen of het mengsel zuurstof rijk of -arm is, de gebruikte breedbandsensoren bestrijken het hele gebied van rijk tot arm mengsel. Met de invoering van de Euro3 emissie-eisen werd voor benzinemotoren de



Door het spruiststuk dubbelwandig uit te voeren, wordt het uitlaatgas zo heet mogelijk naar de katalysator gestuurd. De gasen stromen langs 8 mm dik chroom-nikkel staal terwijl de dragende buitenkant slechts 1,5 mm wanddikte heeft.

Foto: Eberspächer



Bij de V12 gebruikt BMW metaalkatalysatoren die elektrisch worden voorverwarmd om de werking vanaf de koude start snel op gang te brengen. Let op de twee sensoren die de werking van de katalysator bewaken voor het EOBD-systeem.

Foto: BMW

Europese On Board Diagnoses (EOBD) van kracht. Dat betekent dat er nu na de katalysator een tweede sensor is geplaatst die de zuurstofopslagcapaciteit van het katalysatorbed controleert. Dat gebeurt door de meetsignalen van beide lambdasensoren continu met elkaar te vergelijken. Als er iets niet klopt, wordt dat als fout gemeld. Dit punt is ook van belang bij het vervangen van katalysatoren omdat ieder type zijn eigen karakteristiek heeft.

Constructie moderne kat

Het materiaal en het volume van de 'kat' wordt per motortype aangepast, de vorm heeft verband met de ruimte onder de bodemplaat. Algemeen worden er keramische monolieten gebruikt die uit cordieriet zijn vervaardigd. Dit materiaal wordt verkregen door een mengsel van magnesium, klei en kiezelzuur bij 1400°C te bakken. Na gebruik kunnen de edelmetalen voor ongeveer 98% worden teruggewonnen. Als er bijzondere eisen worden gesteld aan een lage uitlaatgastegendruk, een licht gewicht of hoge thermische bestendigheid voldoen metaalkats beter dan keramische exemplaren. Bovendien warmen ze sneller op, vandaar dat

we ze steeds vaker als voor- of startkatalysator zien. Bij motoren met een hoog specifiek vermogen werden ze voor het eerst toegepast. Deze kat's zijn ook elektrisch op te warmen zelfs vóór de motor loopt. Keramische kat's hebben inmiddels kanaalafmetingen van 1,1 tot 0,7 mm, de wanddikte bedraagt daarbij 0,08 tot 0,05 mm, dat is minder dan een blad papier. Bij de metaalfolies gaan de fabrikanten nog verder, zelfs tot 0,025 mm. We spreken dan van een kat met 1200 kanalen per vierkante inch, dat is 6,5 cm². Gebruikelijk is op dit moment 400 tot 800 kanalen.

Anders dan bij metaalkats moet het monoliet zorgvuldig worden ingebed om beschadiging te voorkomen en uitzetting mogelijk te maken. Het monoliet kan in een huis worden geschoven, in een metalen mantel worden gewikkeld of tussen twee schalen worden geklemd. Er is steeds een speciale mat van gevlochten RVS nodig. Meerdere kats kunnen achter elkaar in één huis worden geplaatst.

Er worden bij vier- en zescilindermotoren twee aparte voorkatalysatoren gebruikt, elk met een lambdasensor ervoor en erna, en één enkele

ONDERDELEN

Technische trends in het uitlaatsysteem

hoofdkat onder de bodemplaat. Ook worden de drie of vier uitlaatbochten in één gecombineerde voor- en hoofdkat gevoerd. Deze vormt dan één geheel met het spruitstuk. Een cascade uitvoering is die waarbij de voorkat en de hoofdkat direct achter elkaar zijn geplaatst. Bij dieselmotoren van Peugeot en Ford wordt ook een monolietroetfilter toegepast. Daarbij zijn de kanalen om en om gesloten zodat het uitlaatgas gedwongen wordt door de kanaalwanden te stromen. Een ceriumhoudende vloeistof verlaagt de verbrandingstemperatuur van het roet (de koolstof) van 550 naar 450°C. Dat is nog niet laag genoeg, want in de Europese rijcyclus blijft de uitlaatgastemperatuur van een flinke DI turbodieselmotor onder de 270°C. Door extra brandstof in te spuiten (late en na-inspuiting) stijgt de uitlaattemperatuur tot 500°C. Om smeltproblemen met het cordieriet

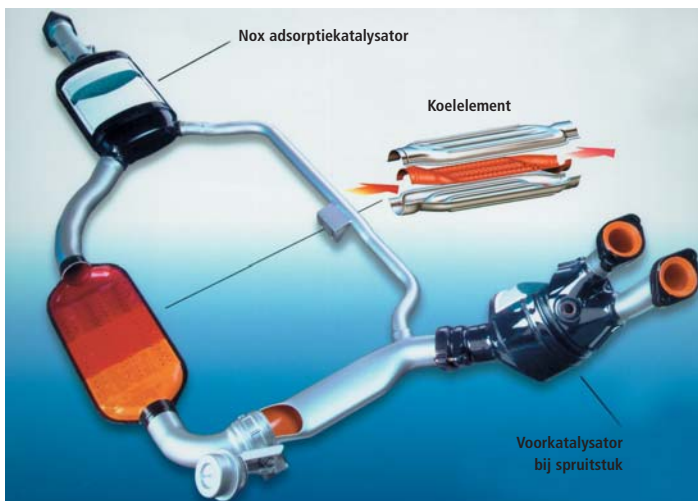
Achterdempers, zoals deze van Supersprint, kunnen zowel de 'sound' als het vermogen positief beïnvloeden. Dat laatste omdat de tegendruk lager is dan standaard.

Foto: Supersprint



Om de temperatuur van de NO_x-adsorptiekatalysator voor een armengsel benzine-motor binnen de gewenste grenzen te houden, zijn er twee uitlaatpijpen nodig. De dünnere voert hete uitlaatgassen toe, de dikere bevat een rijwindgekoeld koelelement en een pneumatisch regelde klep.

Foto: Eberspächer



te voorkomen, worden er silicium carbide (SiC) monolieten gebruikt die tot 2400°C stabiel zijn, 1000°C hoger dan gebruikelijk.

Dempen van geluid

In de loop der jaren zijn de geluidsnormen danig aangescherpt, wat hoge eisen stelt aan de dempingskwaliteit van het uitlaatsysteem. Als de uitlaatkleppen openen, ontwijken de gassen met een hoge geluidsdruk van 180 dB(A) en met de snelheid van het geluid bij een hoge temperatuur. Ze krijgen ongeveer 4 m de tijd om met ongeveer 50 dB(A) de uitlaatpijp te verlaten. De spruitstukken en de pijpen hebben grote invloed op de prestaties van de motor. Er is bovendien weinig ruimte, het uitlaatsysteem mag niet veel wegen, moet bestand zijn tegen trillingen, stoten, krassen, vocht, zouten en welke onheilen er nog meer van buitenaf of van binnenuit op af komen. Het uitlaatsysteem moet lang meegaan en mag niet veel kosten. Als zo'n systeem geheel of gedeeltelijk wordt vervangen, mag er geen hogere geluidsterkte worden geproduceerd dan origineel het geval is. Bovendien mag de uitlaatgastegendruk niet meer dan 25% hoger zijn. Op dit punt doen de fabrikanten van sportuitlaten hun best, want als het lukt om de tegendruk te verminderen ten opzichte van origineel, is er vermogenswinst te behalen.

Absorptie en reflectie

Door het toepassen van zachte materialen die om een geperforeerde pijp worden aangebracht, zijn de frequenties boven de 500 Hz uitstekend te dempen. Dit zijn absorptiedempers. Absorptie betekent opzuigen als van een spons. Als zacht materiaal worden glaswol, staalwol of steenwol gebruikt. Lage frequenties kunnen door middel van het reflecteren van geluidsgol-

ven worden gedempt. Dat gebeurt in reflectiedempers die met tal van kamers en buizen werken. Soms treffen we nog resonatoren aan die bedoeld zijn om bepaalde, zeer lage frequenties die door de uitlaatpijp zelf worden veroorzaakt, kwijt te raken. Helmholtz resonatoren hebben een gesloten volume dat zijdelings aan een uitlaatpijp of binnenin een demper is aangebracht. Vaak worden reflectie- en absorptiedempers in één huis aangebracht.

Dubbelwandige pijpen

Het uitlaatgas komt eerst in het spruitstuk terecht. Voorheen waren de spruitstukken meestal gegoten, tegenwoordig zijn ze vaak uit plaatstaal opgebouwd. Om zoveel mogelijk warmte naar de katalysator te krijgen, worden de pijpen dubbelwandig uitgevoerd. Bovendien worden de pijpen op een bepaalde manier aan elkaar gekoppeld om het koppelverloop zo gunstig mogelijk te doen verlopen. Zulke spruitstukken zijn ook nog lichter dan gegoten exemplaren. Soms worden de spruitstukken vast gelast aan de voorkatalysator, soms wordt er een flensverbinding toegepast. Deze spruitstukken zijn zodanig ontworpen dat ze de levensduur van de auto meegaan, vervangen is dus alleen nodig als er sprake is van schade. Eén van de problemen met de moderne spruitstukken is de uitgestraalde warmte. Door de hitteschilden te optimaliseren, is het Bosal gelukt om van 800°C naar 350°C oppervlakte temperatuur terug te gaan. Thermische spanningen in spruitstukken kunnen scheurvorming veroorzaken.

Het spruitstuk is vast met de motor verbonden, de rest van het uitlaatsysteem is aan de bodemplaat bevestigd. De motor beweegt, dus moet er een flexibele verbinding zijn tussen het starre en bewegende deel. Dat kan een dragende of niet-dragende constructie zijn. Een 'kniegewricht' is een niet te dure dragende verbinding die een bepaalde mate van flexibiliteit toelaat. Nadeel is dat het de trillingen van de motor doorgeeft aan het uitlaatsysteem en via de ophanging aan de bodemplaat. Soms zorgt zo'n gewricht voor tsjirpende of piepende bijgeluiden. Er zijn ook dragende flexibele balgen die in lengterichting meer flexibiliteit hebben dan kniegewrichten. Lange flexibele verbindingen (20 tot 25 cm) werken volledig ontkoppeld en zijn niet-dragend. Dat betekent dat het uitlaatsysteem ook aan de voorzijde aan de bodemplaat moet worden bevestigd. Op en aan dempers treffen we in rubber bevestigde gewichten aan die ervoor zorgen dat ongewenste trillingen van de demper door tegentrillingen van het gewicht worden opgeheven. Deze trillingsdempers zijn belangrijk omdat ze storende bromgeluiden voorkomen. Bovendien gaan ze ongewenst grote bewegingen tegen zodat het hele uitlaatsysteem minder zwaar belast wordt.

Het verdere uitlaatsysteem bestaat uit één of



Het binnenwerk van een moderne demper zit complex in elkaar, zelfs de perforatie van de pijpen heeft een bijzondere vorm. Door plaatsgebrek wringen de pijpen zich in allerlei bochten. Er is rekening gehouden met de afvoer en verdamping van condenswater.

Foto: Eberspächer



Walker produceert uitlaatdempers voor tal van fabrikanten. Daarbij is het binnenwerk van RVS, de buitenmantel van gealuminiseerd plaatstaal, Aluminox genoemd.

Foto: Walker



Het uitlaatsysteem van de BMW 328i bevat aan het eind een pneumatisch bediende klep die voor een speciale 'sound' zorgt. Als de klep gesloten is, scheelt dat 10 decibels in het geluidsniveau.

Foto: Eberspächer

twee pijpen, katalysatoren en dempers. Het is een complex geheel dat nauwkeurig past in de bodemplaat.

Bijzondere oplossingen

Bij de VW LT en de Mercedes Sprinter wordt al enkele jaren een uitlaatsysteem toegepast met een geluiddemper die als uitlaatgaskoeler werkt. Direct na de start gaan de uitlaatgassen naar de katalysator die als startkatalysator fungeert. Als de temperatuur de 900°C overschrijdt, worden de uitlaatgassen omgeleid naar de koelende demper en gaan ze vandaar naar dezelfde katalysator. Een speciale klep in de uitlaat zorgt voor deze stromingswijziging. Deze tweewegentechniek zullen we in de toekomst vaker zien bij motoren met een NO_x adsorptiekatalysator. Adsorptie wil zeggen dat een gas of vloeistof aan de buitenzijde van een vaste stof kleeft. Zo'n Denox kat mag niet boven ongeveer 600°C komen, vandaar dat het uitlaatgas bij hoge belastingen via een 'koeldemper' moet stromen.

We treffen tegenwoordig nog andere bijzondere dingen aan in een uitlaatsysteem. Zo worden elektrisch voorverwarmde metaalkats gebruikt en speciale kleppen bij de einddemper. De emissie-eisen, vooral die bij -7°C gelden, stellen zulke hoge voorwaarden aan de werking van de katalysatoren dat een elektri-

sche voorverwarming nodig is. Andere maatregelen zoals luchtinjectie in de uitlaatpoorten helpen hier onvoldoende.

Om het uitlaatgeluid te beïnvloeden, zodat de 'sound' precies is zoals er van een sportauto, familiesedan of luxe limousine wordt verwacht, is het handig een demper of een deel ervan te kunnen uit- of inschakelen. Zo kan enerzijds aan de geluidseisen worden voldaan zoals de norm die vastlegt, anderzijds zijn de prestaties en bijbehorende 'sound' zoals de bezitter die verwacht. Bij hoge vermogens loopt immers de uitlaatgastegendruk op, door het geheel of gedeeltelijk passeren van de einddemper blijft de weerstand laag. Van sommige auto's wordt nu eenmaal verwacht dat ze bij volgas 'on full song' klinken.

Toekomstige trends ottomotoren

Met de komst van de arm-mengselmotoren, al dan niet met directe insputing en de steeds strenger wordende emissie-eisen, is vooral de NO_x uitwerp een bron van zorg. Er wordt gekozen voor een opslag- of adsorptiekatalysator die met een bariumzout werkt. Lastig is dat zo'n kat gevoelig is voor zwaveloxides, vandaar dat het zwavel in de brandstof nog verder verlaagd wordt. Een tweede probleem is dat zo'n opslagkat alleen goed werkt binnen een zeker temperatuurvenster dat ligt tussen 250 en 500°C. De

beheersing van het temperatuurniveau is geen eenvoudige zaak, boven 600°C loopt de omzettinggraad sterk achteruit. De NO_x opslagkat zullen we bij arm-mengselmotoren steeds vaker tegenkomen, het is voorlopig de enige techniek waarmee de Euro4 emissie-eisen haalbaar zijn. Het kan zijn dat de door Mitsubishi gebruikte iridiumkatalysator, die continu werkt, zover te verbeteren is dat het lukt om de Euro4 emissie-eisen te halen, maar daar ziet het niet naar uit. Om zo'n opslagkat schoon te maken, moet de motor even rijk draaien, gedurende elke minuut ongeveer drie seconden. Bijzonder is de ontwikkeling van een kunststof einddemper door een Zuid-Afrikaans bedrijf in samenwerking met DuPont en GM. De voordelen zijn: een 50% gewichtsbesparing, een 40% volumebesparing, minder hittestraling en een absolute roestbestendigheid. De RVS pijpen worden met Teflon aansluitingen bevestigd en het geheel werkt tussen -40°C en 300°C. Of GM de demper gaat monteren, is niet bekend. Het streven naar gewichtsbesparing is een hoofdthema.

Zo is er door Arvin Meritor voor de Chevrolet Corvette een titanium uitlaat ontwikkeld die



Uitlaattips voor de werkplaats

Ga nooit rijden met een auto waarvan de motor niet op alle cilinders loopt. Het zal niet de eerste keer zijn dat een katalysator smelt doordat de opgehoopte brandstof alsnog verbrandde. Dankzij het EOBD-systeem zullen 'misfires', dus het niet optreden van een verbranding, worden gemeld. Doorrijden kan ernstige schade aan het uitlaatsysteem



Uitlaatdempers zijn er (ook voor de vervanging) in vele modellen. Op de dempers staan de EU-goedkeuringsnummers. Een vervangingsdemper moet aan de Europese geluidseisen voldoen. Daarnaast is de juiste ophanging van groot belang.

Foto: Bosal

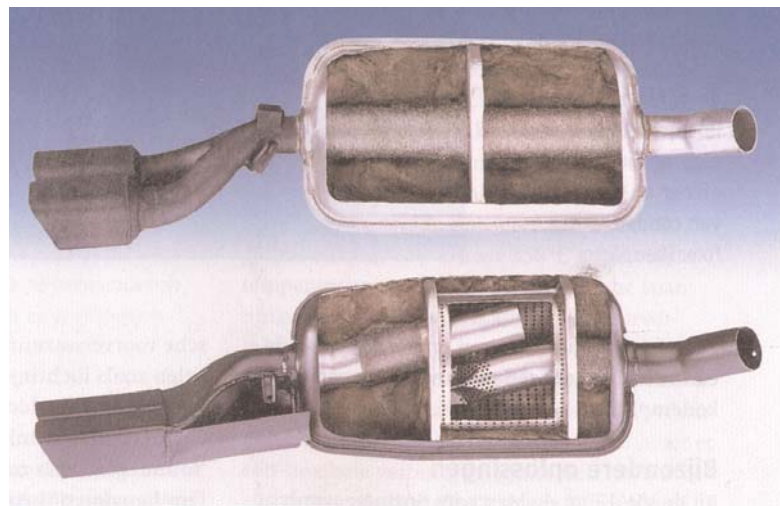
veroorzaken omdat het systeem kwetsbaarder is nu de katalysator zo dichtbij het spruitstuk zit. Soms moeten voor vervanging van een kat of demper, de pijpen worden doorgezaagd omdat de moderne systemen uit één geheel bestaan. Het vervangingsdeel kan dan met klemstukken worden bevestigd. Soms is het nodig te lassen, daarbij geldt het dringende advies: las nooit onder de auto. Houd er rekening mee dat een 3 tot 4 m lange uitlaat behoorlijk uitzet, zo'n 20 mm is mogelijk. Als er met klembanden wordt gewerkt om pijpen met elkaar te verbinden, let er dan op dat de klemmen gasdicht zijn en met de juiste voorspanning vastzitten. Klembanden of stropen die om uitlaatdempers worden aangebracht moeten precies tussen de op de 'pot' aangebrachte nokken zitten. Gebruik de juiste rubbers (het kan wel 200°C worden) en buig de ophangpennen 90° om dat de rubbers en niet de pen de bewegingen opvangen. Let op de typegoedkeuring van de uitlaatdemper en katalysator, vooral bij auto's met EOBD (afwijkende eigenschappen kunnen een foutmelding geven!). Zorg voor de juiste montagehandleiding bij het vervangen van delen van het

uitlaatsysteem. Bij het afzagen van de pijpen moet de lengte bekend zijn. Wees voorzichtig met alle flexibele koppelingen. Let er vooral op dat ze niet worden verbogen of onder spanning komen te staan. Las geen gaten dicht in een demper zonder vooraf vast te stellen of het binnenwerk in goede conditie is. Las niet onder de auto. Vergeet niet de trillingsdemper op uitlaatpotten aan te brengen, ga na

Last u een gat dicht, verzeker u er dan eerst van dat het binnenwerk in goede conditie is. Bij deze demper is door opname van condenswater het absorbtiemateriaal verzadigd geraakt. Door het rechtstreeks contact met de buitenmantel is de demper vervolgens doorgeroest.

Foto: Ernst

of de vervangingsdemper ook voorzien is van zo'n conragewicht.



Uitlaatdempers mogen er aan de buitenkant gelijk uit zien, van binnen kan de demper geheel anders zijn. Boven een absorptiedemper, onder een gecombineerde absorptie-reflectiedemper. Ook het materiaal kan verschillend zijn. RVS is uiteraard duurder dan gealuminiseerd staalplaat.

Foto: Eberspächer

40% lichter is dan een RVS exemplaar. In plaats van 20 kg weegt zo'n uitlaat 12 kg, is corrosievrij en 100% recyclebaar.

Eberspächer en Bosal ontwikkelen lichtgewicht uitlaatsystemen. Bosal gaat het 50% lichtere systeem vrijwel vast aan de bodemplaat bevestigen. Zulke systemen besparen 10 tot 12 kg gewicht.

We zullen ook meer semi-actieve geluidsdemping, dus met kleppen in een pijp of demper aantreffen. Boysen gebruikt een Helmholtz resonator die als reflectiedemper werkt zodra de klep aan het eind van de resonator wordt geopend. Zeuna Stärker gebruikt de stuwdruk van de uitlaatgassen om een klep in de demper te openen. Zo blijft de tegendruk laag en is de 'sound' zoals gewenst.

Roet en NO_x bij diesels

Voor dieselmotoren is het ontwikkelen van een uitlaatsysteem nog complexer dan voor een ottomotor. Van huis uit zijn dieselmotoren arm-mengselmotoren, dus is de NO_x-omzetting een probleem. Ook de (roet)deeltjes met wat erop zit, vormen een bron van grote zorg. De volgende generatie roetfilters zal naar verwachting geen aparte ceriumhoudende vloeistof gebruiken, maar een ceriumhoudende hechtingslaag bezitten die als katalytisch roetfilter werkt. Daarmee worden alle extra's (tankje, pompje etc.) vermeden en asafzetting op het roetfilter voorkomen. De levensduur zal ongeveer verdubbelen tot 150.000 km.

De volgende stap is dan het omlaag brengen van de NO_x-uitwerp. Er zijn verschillende syste-

men, daarbij maakt de Selective Catalyst Reduction (SCR) een goede kans. Met behulp van een ureumhoudende vloeistof die nauwkeurig gedoseerd moet worden, kan wellicht het doel worden bereikt.

Toyota heeft een eigen oplossing: het Diesel Particulate NO_x-Reduction (DPNR) systeem. Daarbij wordt er gebruik gemaakt van de door Toyota ontwikkelde bariumopslag-katalysator-techniek voor de arm-mengsel ottomotoren. Als de dieselmotor loopt, worden zowel de deeltjes als de NO_x continu omgezet. Voorwaarde is wel dat de brandstof minder dan 50 ppm zwavel bevat.

Paul Klaver