



*Door wat olieconsumptie is, bij deze motor, goed te zien dat er een grote hoeveelheid uitlaatgas uitgestoten wordt. Met weinig wind is langzaam varen een risico omdat je de uitlaatgassen bij de meeste motoren niet ziet maar ze zijn er wel! Een DAF 475 bij 2500 omwentelingen verbruikt circa 350 m<sup>3</sup> lucht per uur (stationair circa 50 m<sup>3</sup>)!*

## DE DROGE UITLAAT

### Inhoud deel 1 (HB)

- \* De Binnenvaartwet
- \* De functies
- \* De componenten

### Opmerking

Drukken worden zoveel mogelijk aangegeven in mmwk.  
Met een U vormig gebogen plasticslang en wat water is dit met een duimstok te meten. (mmwk = mbar = mPa)

### De volgende eisen worden hoogstwaarschijnlijk aan uitlaatgassenleidingen gesteld door de Europese richtlijn voor de binnenvaart en de Binnenvaartwet

Artikel 8.04. Uitlaatgassenleidingen van verbrandingsmotoren

1. Uitlaatgassen moeten volledig naar buitenboord worden afgevoerd.
2. Het binnendringen van uitlaatgassen in de verschillende ruimten van het schip moet door doelmatige maatregelen zijn verhinderd. Uitlaatgassenleidingen die door verblijven of het stuurhuis gaan, moeten in die ruimten zijn voorzien van een gasdichte mantel. De ruimte tussen de uitlaatgassenleiding en de mantel moet in verbinding staan met de open lucht.
3. Uitlaatgassenleidingen moeten zodanig zijn aangelegd en beschermd dat zij geen brand kunnen veroorzaken.
4. In de machinekamer moeten uitlaatgassenleidingen voldoende geïsoleerd of gekoeld zijn. Buiten de machinekamer kan een beveiliging tegen aanraken voldoende zijn.

### Inleiding

Het uitlaatsysteem in uw schip vervult een aantal belangrijke functies. De uitlaat voorkomt geluidshinder door het lawaai van de motor te dempen, verbetert de

prestaties van de motor door de juiste tegendruk te bieden, vermindert de milieubelasting door via chemische reactie's schadelijke stoffen in onschadelijke om te zetten.

Om deze taken naar behoren te kunnen vervullen is het belangrijk dat het uitlaatsysteem volgens fabrieksspecificaties is samengesteld. Vooral bij de oudere schepen zijn de uitlaten nogal eens goedkoop gerepareerd en zijn er minder geslaagde geïmproviseerde oplossingen bedacht. Daar grote binnenschepen op lading zijn gebouwd, is een natte uitlaat niet goed mogelijk omdat de diepgang varieert. Een natte uitlaat heeft een constante diepgang nodig met weinig variatie zodat de tegendruk constant is. We proberen met dit verhaal de werking van de diverse componenten te bespreken zodat we begrijpen hoe er milieu vriendelijke oplossingen mogelijk zijn. In het laatste deel bespreken we de zelfbouw van een goed werkende uitlaat. Het verhaal is nogal omvangrijk zodat het in gedeeltes gepubliceerd zal worden.

Hoewel we het als plezierig ervaren dat de motor loopt, kan het toch een gevoel van stress veroorzaken. Het lawaai dat wij van de uitlaat ervaren draagt bij tot de vervuiling van onze omgeving.

Zeker in de bebouwde kom is niet plezierig een hele avond te moeten luisteren naar het lawaai dat een op 3000 toeren lopende generator veroorzaakt. Zeker is het, dat we het uitlaatlawaai aanzienlijk kunnen beperken. Ik hoop dat dit verhaal een bijdrage mag zijn tot een wat leefbaarder omgeving.

Factoren waar we in dit verhaal verder niet op in gaan zijn:

- \* De wijze van inbouw van een generator of motor en de gebruikte materialen kunnen grote invloed hebben op het lawaai zoals we dit waarnemen.
- \* Een dieselmotor maakt nu eenmaal meer geluid dan een benzinemotor.
- \* Een eencilindermotor zal in het nadeel zijn ten opzichte van een meercilindermotor.

Het droge uitlaatsysteem kan uit een flink aantal onderdelen bestaan:

- \* uitlaatspruitstuk
- \* flexibele verbinding
- \* katalysator
- \* voordemper zoals een resonantie-, reflectie-, interferentie- of centrifugaal-demper
- \* tussenpijp
- \* achterdemper
- \* eventueel een roetvanger of roetfilter
- \* eventueel een vonkenvanger
- \* eventueel een gaswasser
- \* isolatie (wordt later behandeld)
- \* eventueel een zwanehals
- \* eventueel een buitenpijp (ompijp)
- \* uitlaatpijp met regenkap

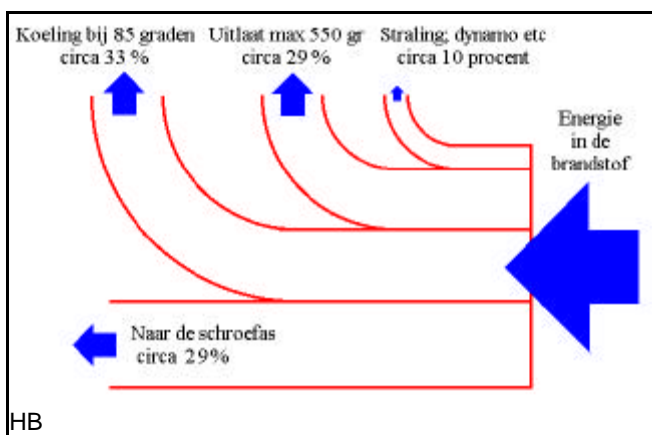
Een uitlaatsysteem is aan slijtage en vervuiling onderhevig.

De dieselmotor werkt met een luchtoverschot. In vergelijking met de benzinemotor kunnen we stellen dat:

- \* de koolmonoxideuitstoot (CO) ongeveer 30% lager ligt
- \* de koolwaterstoffenuitstoot (HC) gelijk blijft of iets lager komt te liggen
- \* het stikstofdioxidegehalte (NOx) 3x zo hoog ligt
- \* de vaste deeltjes-uitstoot (voornamelijk roet) ongeveer 7x zo hoog is.

De conclusie is dat bij dieselmotoren vooral de NOx en het roet moeten worden aangepakt. Technisch wordt door effectieve(re) verbranding, toepassing van katalysatoren, uitlaatgasrecirculatie en roetfilters, de uitstoot van CO, HC, NOx en vaste deeltjes al drastisch beperkt. De verwachting is dat het verminderingproces tot ongeveer 2020 doorgaat. De verwachte uitstoot van kooldioxide zal echter toenemen.

### Warmteverliezen



Afgezien van het lawaai is het een somber feit dat met de afvoer van de uitlaatgassen een aanzienlijk deel van de kostbare warmte, die we uit onze brandstof verkregen hebben, verloren gaat.

Wanneer we het Sankydiagram bekijken, dat een globaal overzicht geeft van de verdeling van de 100% warmte die in een benzinemotor bij de verbrandingen vrijkomt, zien we dat ongeveer 29% van deze warmte domweg met de uitlaatgassen wordt afgevoerd en dus verloren gaat. Het koelsysteem levert bovendien nog een verlies van 33% op terwijl we tenslotte ook nog energie door straling, de inspuitspomp en de dynamo kwijt raken.

Uit de cijfers volgt, dat slechts 29% van de totale energie daadwerkelijk in motorvermogen kan worden omgezet (rendement). Aan min of meer geslaagde pogingen om de vele diverse verliescijfers zoveel mogelijk te verminderen, heeft het stellig niet ontbroken. Zo geeft de dieselmotor minder warmteverlies via de uitlaat en iets minder verlies voor de koeling, hetgeen dus een besparing betekent. Vertaald kunnen we zeggen dat het rendement van een dieselmotor hoger is dan van een benzinemotor. Opmerking: De waarde's variëren per motor!

## DE FUNCTIES

### Temperatuurverlaging

De uitlaatgassen komen met een temperatuur van  $\pm 900$  °C uit de motor. Als deze direct in de machinekamer zouden komen ontstaat er een groot brandgevaar. Door een eventueel watergekoeld spruitstuk en de lengte van de uitlaat worden de gassen afgekoeld tot een ongevaarlijke temperatuur. Daarnaast zorgt de uitlaat (mits hij gasdicht is) er voor dat er geen gevaarlijke gassen in de machinekamer of het interieur kunnen komen. Voor een optimale temperatuurdaling en een zo groot mogelijke warmteafgifte aan de rijwind bij auto's hebben de pijpen en dempers daarom dunne wanden. Deze zijn in schepen niet bruikbaar.

### Geluidsdemping

De verbranding in de cilinders veroorzaakt een lawaai dat alle geluidsnormen ver overschrijdt. Door de uitlaatgassen via een uitgekiend systeem van geperforeerde pijpen, tussenschotten en absorptiematerialen door de kamers van de geluiddempers te voeren wordt het geluid drastisch gereduceerd.

### Tegendruk voor de motor

De werking van uw motor wordt bepaald door de beheersing van het verbrandingsproces in de cilinders; het juiste mengsel brandstof/lucht en daardoor een zo gunstig mogelijk brandstofverbruik wordt mede bepaald door de snelheid waarmee de verbrandingsgassen worden afgevoerd. Hiervoor is een bepaalde tegendruk nodig; een originele uitlaat geeft precies de tegendruk die voor het verbrandingsproces ideaal is.

De uitlaatleiding en de dempers mogen niet te veel weerstand hebben daar dan de motor een te hoge tegendruk ondervindt.

De spoeling van de motor is dan niet voldoende en een gedeelte van het hete uitlaatgas blijft achter in de cilinder waardoor de temperatuur van de motor stijgt. Door het achterblijven van wat uitlaatgas is er bij de volgende verbranding minder zuurstof aanwezig en zal er meer roet gevormd worden. De temperatuur van het uitlaatgas zal stijgen, de olie temperatuur stijgt, er ontstaat meer sludge enz. Kortom: de motor slijt sneller.

De waarden die door de diverse fabrikanten worden opgegeven zullen van merk tot merk verschil vertonen en ook afhankelijk zijn van de bedrijfsomstandigheden. De tegendruk over een uitlaatleidingsysteem mag ongeveer 25 tot 60 mm Hg (337 - 816 mmwk) bedragen. Sommige fabrieksdempers geven een tegendruk van 100 mmwk.



De toegelaten tegendruk varieert per motor. Zie voor de juiste waarde's de montage handleiding van de motor.  
 Er zijn een paar oorzaken voor een te grote tegendruk nl.:  
 \* een lange leiding  
 \* een te dunne leiding  
 \* te veel bochten  
 \* de demper past niet.  
 De maximale uitlaatlengte en het effect van bochten op de tegendruk behandelen we later.

## DE COMPONENTEN

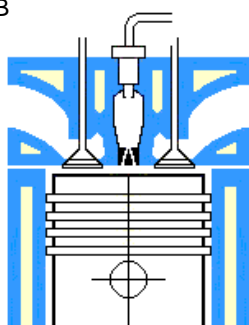
### Uitlaatspruitstuk

De verbrande gassen verlaten de motor via het uitlaatspruitstuk dat verbonden is met een uitlaatpijp. In de uitlaatpijp zijn een of meer kamers aangebracht om het geluid te reduceren. Voor een goede gaswisseling is het belangrijk dat elke cilinder zijn gassen zo snel mogelijk kan afvoeren. Dit wordt voor een groot deel bepaald door de grootte van de uitlaatklep en de vorm en uitvoering van het uitlaatspruitstuk.

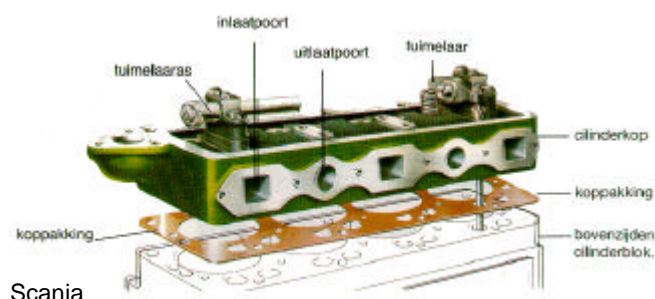
Bij sommige motoren zitten in- en uitlaatspruitstuk aan dezelfde kant. Moderne motoren zijn echter meestal van het type cross-flow. In dat geval zitten in- en uitlaatspruitstuk ieder aan een kant van de cilinderkop.  
 De uitlaatspruitstukken kunnen verschillend van uitvoering zijn.

### Crossflow cilinderkop

HB



Het spruitstuk voor deze motor heeft een gunstige invloed op het motorvermogen. Het scheiden van de in en uitlaat-stromen heeft een gunstige invloed op de spoeling van de cilinder en daarmee op het motorvermogen.

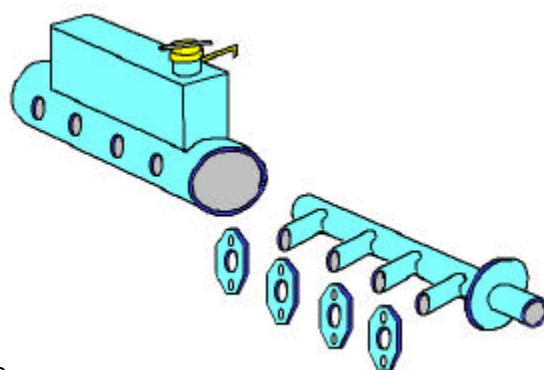


Immers, stel dat de ontstekingsvolgorde 1 -3 -4 -2 is. Aanvankelijk stromen de uitlaatgassen van cilinder 3 met een hogere druk naar buiten dan de druk waarmee de uitlaatgassen van cilinder 1 nog naar buiten stromen. Bij het spruitstuk waarbij de inlaat en de uitlaat aan de zelfde kant zitten zal de uitlaatstroom van cilinder 3 de spoeling van cilinder 1 tegenwerken.

Bij het spruitstuk van Crossflowmotor kan zelfs de spoeling van cilinder 1 verbeteren. Het heeft dan wel gevolgen voor het voorste gedeelte van de uitlaatleiding: die moet dan in pijp zijn uitgevoerd.

Bij een juiste afstemming van diameter, pijplengte en een juiste aansluiting van de pijpen kan zelfs de uitlaatgassen van cilinder 3 een zuigende werking uitoefenen op de uitlaatstroom van cilinder 1 en daardoor de spoeling van cilinder 1 verbeteren.

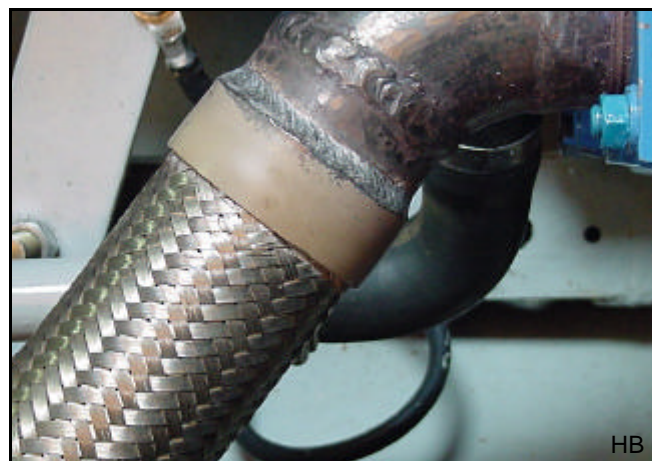
300 mm achter het spruitstuk kan een aansluiting (1/2" gaspijp) gemaakt worden voor het installeren van een temperatuurmeter en/of tegendrukmeter. Bij grote motoren is het beter een thermometer bij elke cilinder aan te brengen zo dicht mogelijk bij de cilinder. De temperatuurwijzing is daar meestal ca. 450 °C.



HB

Watergekoeld spruitstuk (Mercedes OM621)

### Flexibele verbinding

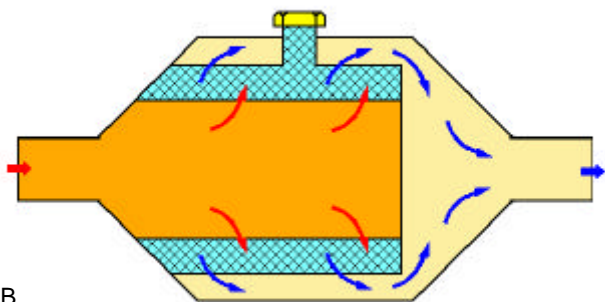


De uitlaatgasleiding dient flexibel en spanningsvrij aan de motor bevestigd te worden. Het flexibele gedeelte dient ten minste 100 mm lang te zijn om de trillingen en het uitzetten door het heet worden te kunnen opnemen. Roestvrijstalen flexibele balgen mogen alleen in de lengterichting aan beweging onderhevig zijn. Om de beweging te beperken verdient het aanbeveling deze zo dicht mogelijk bij de rolas of het rolcentrum van de motor te monteren.

Bekijk hiervoor hoe de motor kan bewegen, soms staat de motor op flexibele motorsteunen en is de demper aan één zijde star opgesteld.

Omdat dit deel van het uitlaatsysteem zeer heet kan worden, is het noodzakelijk deze te isoleren. Vooral op plaatsen waar hij brandbaar materiaal passeert (houten schotten) is het oppassen geblazen.

## Katalysator



HB

Bij deze reinigingsmethode verbranden koolmonoxide, koolwaterstoffen en roetdelen als de hete uitlaatgassen optimaal 450 °C zijn. Een watergekoeld spruitstuk kan hierbij niet gebruikt worden!

Wel kunnen de katalysatoren voorzien worden van een elektrische verwarming. De katalysator bestaat uit een roestvrijstalen behuizing met daarin een blok keramisch materiaal waarin duizenden kleine buisjes in de vorm van een honingraad zijn opgenomen. De wanden van deze buisjes zijn bekleed met edelmetaal zoals platina en rhodium. De hete uitlaatgassen worden door deze buisjes gevoerd. De edelmetalen veroorzaken een chemische reactie in de gassen waardoor ze van eigenschap veranderen. Zo wordt het giftige koolmonoxide omgezet in kooldioxide, onverbrande koolwaterstoffen in waterdamp en stikstofoxide in stikstof. Een bijkomend voordeel is dat de katalysator gelijk een goede geluiddemping geeft.

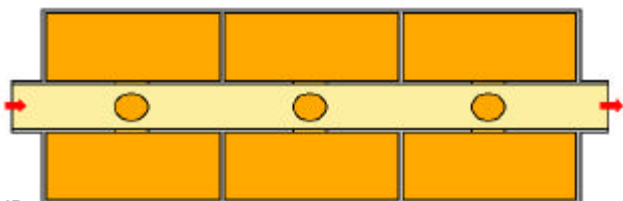
## Voordempers

De uitlaatgassen staan bij het openen van de uitlaatklep onder een overdruk van maximaal 5 bar. De trillingen (geluidsgolven) die daarvan het gevolg zijn, moeten worden gedempt, om de geluidsontwikkeling te reduceren. Er zijn hieromtrent wettelijke richtlijnen vastgelegd (ook binnen de EU) die niet mogen worden overschreden. De onderdelen van het uitlaatsysteem zijn zo op elkaar afgestemd, dat veranderingen kunnen leiden tot het overschrijden van de grenswaarden, dus meer lawaai.

De geluidsdemping bij scheepsmotoren vindt plaats door middel van resonantie en reflectie (afbreken van de energie van de geluidsgolven door weerkaatsing), door middel van absorptie (afbreken van de geluidsgolven door wrijving) of interferentie (overlapping van geluidsgolven) bij gelijktijdige menging en afkoeling van de uitlaatgassen. De geluidsdemping wordt bewerkstelligd door geluiddempers (knapotten).

Meestal bestaan ze uit een combinatie voor meerdere soorten geluidsdemping, want reflectiedempers en resonantiedempers dempen in de eerste plaats lagere geluidsfrequenties, absorptiedempers dempen daarentegen vooral hogere frequenties.

## Resonantiedemper



HB

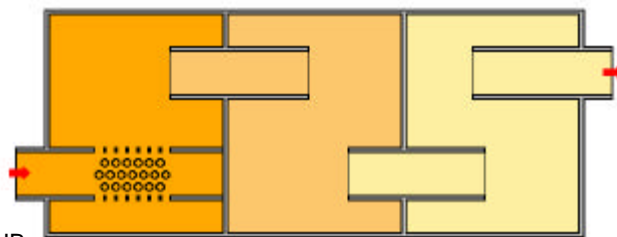
14

De resonantiedemper bestaat al zeer lang. Door het openen van de uitlaatkleppen komt het gas stootsgewijs in de uitlaat terecht. Deze stoten veroorzaken resonanties waarvan de frequentie af hangt van het aantal cilinders en het toerental.

Het maximale aantal werkslagen per seconde bij een bepaald toerental levert de motor grondfrequentie  $f$ . De golflengte van de uitlaatimpuls wordt berekend door de snelheid van het geluid te delen door de grondfrequentie. Bij kamertemperatuur is de geluidssnelheid ongeveer 330 meter per seconde. In de uitlaat kan de snelheid oplopen tot 500 à 700 meter per seconde.

De resonantiedemper kan een demping opleveren tot ca 30 dB(A). De grote drukgolven kunnen zich expanderen in de kamers. Na het voorbij gaan van de drukpiek wordt de inhoud van de kamer afgegeven en zal op deze manier de lagere druk na de piek afvlakken. Dit verklaart ook de (bij)naam 'knaldemper'. De eenvoudigste vorm met 1 kamer vinden we bij kleine 1 cilinder diesels. De (bij)naam hiervan is 'peperpot'.

## Reflectiedemper

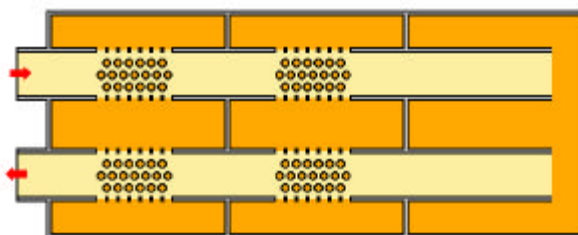


HB

De stroom van uitlaatgassen wordt meermaals onderbroken door meerdere achter elkaar geschakelde en met elkaar verbonden kamers (meestal 4) en pijpen. De geluidsgolven worden gereflecteerd tegen de verschillende doorsneden van de pijpen en kamers, dat wil zeggen: ze worden teruggekaatst. Hierbij worden de pieken afgevlakt. Bij reflectiedempers worden hoofdzakelijk de lagere frequenties gedempt.

De hoeveelheid geluid uit een reflectiedemper kun je sturen door de diameter van de gaten in de schotten te veranderen (dus de doorlaatcapaciteit) en de hoeveelheid kamers te variëren. Eigenlijk nog veel meer zoals de toepassing van bepaalde kamerprincipes. Alleen dit onderwerp neemt een klein boekwerk in beslag. Bij reflectiedempers is het erg belangrijk er voor te zorgen dat door de buitenzijde geen geluiden ontsnappen. Dit gebeurt meestal door het toepassen van meerdere lagen om de buitenzijde, soms zelfs met isolatie daar tussen.

## Interferentiedemper



HB

De geluidsgolven worden door een heel aantal van aftakkingen geleid, die van verschillende lengte zijn. Aan het eind van deze afstanden van verschillende lengte overlappen de geluidsgolven elkaar, waardoor hun werking wordt vermindert.

### De centrifugaaldemper



HB

De centrifugaaldemper bestaat uit een slakkenhuisvormige doorgang, over de hele dwarsdoorsnede, die bekleed is met roestvrij staalwol. Geluidsgolven bewegen zich in rechthoekige banen met een snelheid die veel groter is dan de snelheid van de doorgaande uitlaatgassen. De geluidsgolven worden daarom voortdurend tegen de gladde wand van de spiraal geperst en gereflecteerd in de met staalwol beklede wand. De

staalwol verspreidt de geluidsgolven en verzwakt het geluid steeds meer, omdat de gassen door de vele omwentelingen van de spiraal gaan. De gassen worden verder niet gehinderd en de afwezigheid van resonantiekamers resulteren in een minimale tegendruk zodat vaak een kleinere demper gebruikt kan worden.

### Tussenpijp

De tussenpijp wordt met flenzen aan de dempers bevestigd en dient zo lang mogelijk te zijn. In elk geval langer dan de dempers. Om beweging mogelijk te maken (uitzetting door temperatuurstijging) is het handig het geheel op rubbers op te stellen. Dit vermindert heel sterk het contact geluid. Bochten zo veel mogelijk vermijden daar deze ten koste gaan van de tegendruk. Onderstaand een tabel van DAF.

TYPE MOTOR	Aansluiting aan motor		Luchtaanzuig-hoeveelheid m <sup>3</sup> /min.	Inwendige diameter bij een berekeningslengte:		
	Diam. uitw.	Diam. inw.		tot 5 m	tot 10 m	tot 15 m
DA 475 M	80	50	5,0	80	85	90
DD 575 M	80	60	6,8	80	90	100
DF 615 M	80	60	7,8	80	95	110
DT 615 M	76	66	10,6	90	110	130
DK 1160 M	100	90	12,5	100	120	140
DKA 1160 M	100	90	13,0	100	130	150

1 m leiding	3 m leiding	5 m leiding	8 m leiding

### Absorptiedemper

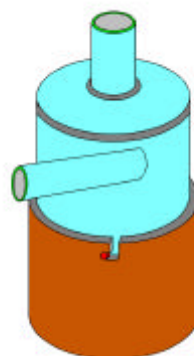
De absorptiedemper is onderverdeeld in kamers, waar pijpen doorheen worden gevoerd. De pijpen zijn geperforeerd (voorzien van gaatjes). Door deze gaatjes komen de uitlaatgassen in kamers die gevuld zijn met steenwol of glaswol, die geluid opnemen. Hierbij wordt de geluidsenergie omgezet in wrijvingsenergie, de geluidsgolven worden gladgestreken. Een geluidsreductie van 50 dB(A) is mogelijk. Bij de absorptie worden



HB

hoofdzakelijk de hogere frequenties gedempt. Bij absorptiedempers kun je de klank van het geluid flink beïnvloeden door de diameter van de geperforeerde pijp, de dikte van de laag absorptiemateriaal en de lengte van de demper.

### Roetvanger

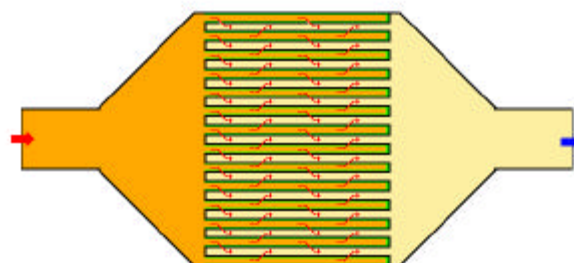


HB

Een klassieker is de roetvanger. Door de tangentiële invoer ontstaat er een centrifugale beweging waardoor roet en vonken naar de buitenkant gaan. Uiteindelijk zakken deze naar beneden en kunnen periodiek verwijderd worden.

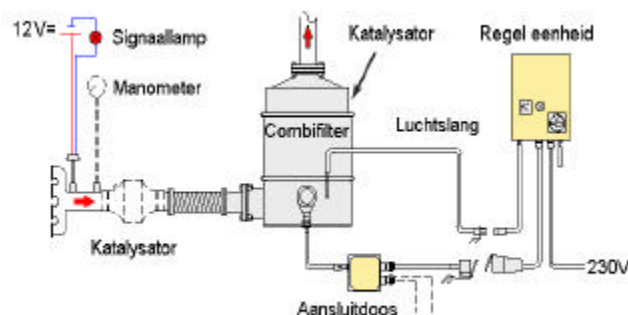
### Roetfilter

Sommige roetfilters zijn katalysator, roetfilter en geluiddemper in een. Het actieve gedeelte is een keramisch filter waarin roetdeeltjes worden opgevangen en waar



HB

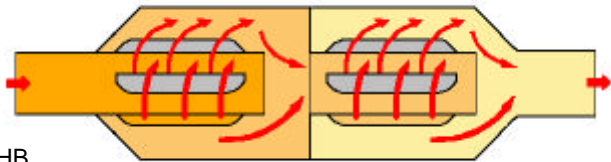
gelijktijdig koolmonoxide en koolwaterstoffen katalytisch worden naverbrand. Als het roetfilter heet genoeg wordt (450 °C) door de uitlaatgassen of door middel van elektrische verhitting kan het worden geregenereerd. Regenereren kan ook als de motor uitstaat. Het roetfilter geeft een CO en HC reductie tot 95% en roetdeeltjes tot 40% (Unikat). Bij een te groot drukverschil moet het roetfilter met elektriciteit worden geregenereerd. Dit duurt afhankelijk van merk en type 0,5 tot 6 uur.



HB



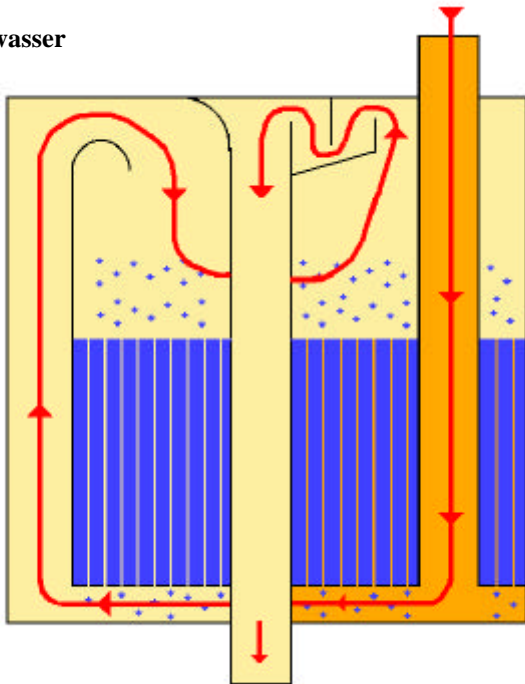
## Vonkenvanger



HB

De vonkenvanger is een mogelijkheid om te voorkomen dat gloeiende kooldeeltjes schade kunnen aanbrengen aan de omgeving. Wordt o.a. ook gebruikt op voertuigen die in een ruim rijden.

## Gaswasser



HB

Het wassen van uitlaatgassen is ook een oplossing om roet en stikstofoxiden uit het uitlaatgas te spoelen. Het is te vergelijken met een regenbui. Om het water niet te sterk te vervuilen is het beter eerst een katalysator te gebruiken zodat de meeste koolmonoxide, koolwaterstoffen en roetdelen zijn verwijderd.

Het zelfde kan ook bereikt worden met stoominjectie. Deeltjes van 20 tot 100 nanometer (nm), die diep in de longen kunnen doordringen, zijn heel lastig af te vangen. Door stoominjectie in de hete uitlaatgassen condenseert water op de roetdeeltjes. Deze groeien hierdoor aan tot circa 1.000 nanometer, zodat ze veel beter te verwijderen zijn. In dat geval komen ze niet langer in het milieu terecht en zijn geen gevaar meer voor mens of dier. Het water is na enige tijd chemisch afval!

*Alternatieve gaswasser*

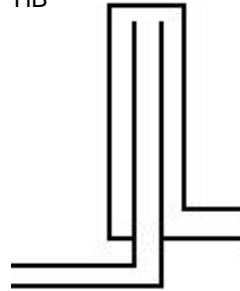


JB

Een natte uitlaat zoals die in de meeste jachten worden toegepast is in principe ook een gaswasser. Alleen worden dan de schadelijke stoffen in het oppervlaktewater geloosd.

## Zwanehals

HB



Afhankelijk van het vaargebied en de constructie van het schip kan het nodig zijn een zwanehals toe te passen om te voorkomen dat er water in de uitlaat komt. Water in de uitlaat kan gevaarlijk zijn als het via een open uitlaatklep in de cilinder kan komen. Wordt dan de motor gestart kan er zeer ernstige schade optreden daar water niet te comprimeren is.

Voorals zeeschepen lopen dit gevaar als de motor uit staat.

## Uitlaatpijp

Een goede positie van de uitlaatpijp is vaak moeilijk. De uitlaat van de hoofdmotor kan -of recht naar boven en naast het stuurhuis -of uitkomen in de spiegel. Dit wordt bepaald door de afmetingen van het schip en de toegestane uitlaatlengte. Is de te overbruggen afstand te groot dan moet de uitlaat vaak een maatje groter worden genomen om te zorgen dat de tegendruk voldoende laag blijft, hetgeen de kosten opdrijft.

## Buitenpijp (ompijp)

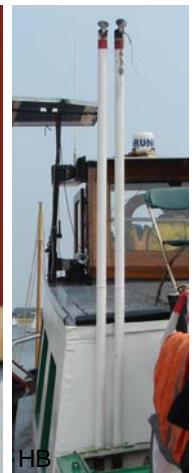
De ompijp is bedoeld ter verhoging van de veiligheid. Hij hoort aan de onderkant en aan de bovenkant in verbinding te staan met de buitenlucht.



HB



HB



HB

De linkse is mooi uitgevoerd, de middelste is een praktische oplossing en de uitlaten op de rechtse foto hebben dringend een ompijp nodig.

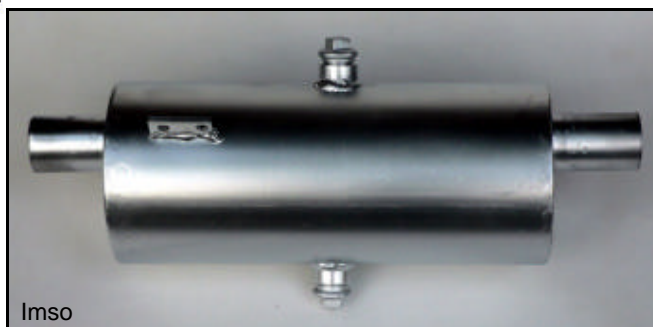
## Regenkap

HB

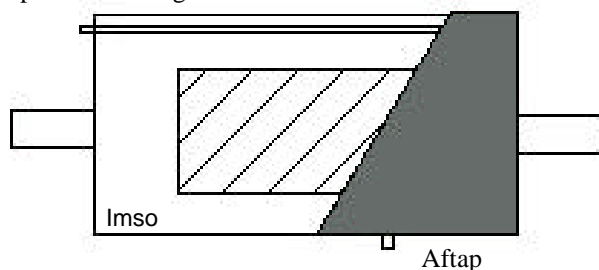


## DROGE UITLAAT deel 2 (HB)

### Imso roetfilter



Sproei inrichting



Bij de droge uitlaat zijn de filterelementen te reinigen; hij is gemaakt van hoogwaardig rvs met een lange levensduur. Het filter kan zowel horizontaal als verticaal in de bestaande uitlaat geplaatst worden.

Het roetfilter element bestaat uit een geweven rvs draad, die bestand is tegen een maximale temperatuur van 1200 °C. Het rvs is geweven in een honeycomb model, dat, door de volumegrootte, een hoog opnemend vermogen en een hoge gasdoorlaat heeft.

Als de bedrijfstemperatuur boven de 350° komt, wordt het roet voor het grootste deel verbrand en blijven stofdeeltjes op de bodem liggen.

Er is een by-passklep om motor-uitval te voorkomen als het roetfilter in korte tijd vervuild en vol raakt doordat bij voorbeeld de verstuivers niet goed werken en veel roet produceren. Deze by-pass klep gaat bij 0,3 bar als een repeteerklep open en hierdoor gaat een deel van de uitlaatgassen, buiten het filter om, naar buiten.

Door het vervuilde filter treedt er een vermogensverlies op van ± 30%, maar de motor blijft werken, het schip komt niet stil te liggen; het kan zelfs veilig doorvaren naar een aanlegplaats.

Het filter dient dan gereinigd te worden met de Imso bio-roetreiniger. Om het filterelement te kunnen reinigen is er een sproei-inrichting in aangebracht, met aansluitingen aan de onderzijde, waar de reinigingsvloeistof door wordt gespoten; hierdoor wordt alle roet losweekt.

De Imso bio-roetreiniger moet met water vermengd worden (1 op 4). Met behulp van een lichte pomp kan het filter gereinigd worden. Het filter heeft een aftapplug om het roetwater af te tappen.

De aansluitingen zijn standaard op de kopse kanten aangebracht. Soms kunnen de aansluitingen ook aan de zijkant gemonteerd worden, maar zij dienen altijd aan het begin en het eind te zitten.

De onderste aansluiting is uit en de bovenste is in. De uitaansluiting kan ook aan de onderzijde in de bodem gemaakt worden. Beide aansluitingen kunnen met overschuifflensen geleverd worden. Aansluitmaten dienen apart opgegeven te worden. Bij installatie dient er een extra vrije ruimte te zijn van 1/3 lengte filterhuis. Deze ruimte is nodig om het filterelement te verwisselen.

Voordelen:

- \* een schone uitstoot
- \* voldoet aan Euro 4 norm
- \* weinig onderhoud
- \* makkelijk te monteren
- \* geluidsreductie tot onder de 56 dBA
- \* bedrijfszekere
- \* lage inbouwkosten

Prijzen:

Imso Bio-roetreiniger: 20,50 per liter

Imso roetfilters: geheel afhankelijk van het motortype en grootte. Prijsindicatie: voor een motor van ongeveer 400 pk 12.500 euro.

## BESCHERMING VAN HET MILIEU (HB)

Uitlaatgassen van motoren leiden tot een verhoogd gezondheidsrisico en ongemak voor mensen in hun directe omgeving. Bovendien veroorzaken ze schade aan de natuur en het leefmilieu. Deze problemen zijn zo serieus dat zij waar mogelijk moeten worden verminderd.

Een dieselmotor in een schip is niet te vergelijken met de automotor. Zo werkt de scheepsdieselmotor op een constant toerental. Bij beroepsvaart zal dit veelal op driekwart van het maximale vermogen zijn. Bij de pleziervaart komt dit nagenoeg niet voor en zijn we letterlijk en figuurlijk opgescheept met veel te grote motoren waardoor het verbrandingsproces aanzienlijk ongunstiger wordt.

Als u wilt bepalen hoeveel pk's uw motor moet produceren tijdens driekwart van het maximale toerental kunt u het verbruik in liters vermenigvuldigen met 5. Dit is een vuistformule die niet helemaal juist is maar toch een goede indruk geeft van het gerealiseerde vermogen.

Een 120 pk DAF kan circa 24 liter per uur te gebruiken bij vol vermogen en 18 à 20 liter bij driekwart van het maximale vermogen.

Bij een dieselmotor stelt u namelijk het toerental in en de regelaar van de motor bepaalt hoeveel brandstof er ingespoten moet worden om het gewenste toerental te bereiken en te handhaven.

Door het geforceerd verlagen van de temperatuur van de uitlaatgassen in een watergekoeld spruitstuk is het veelal niet mogelijk om een katalysator te gebruiken doordat deze een hoge temperatuur nodig heeft (320 à 450 °C).

Dit is gedeeltelijk gunstig omdat er bij hoge temperaturen aanzienlijk meer stikstofdioxide gevormd wordt.

De basisuitstoot van een dieselmotor kan als volgt worden verdeeld:

- \* koolmonoxide -> katalysator
- \* koolwaterstof -> katalysator
- \* roetdeeltjes -> gedeeltelijk katalysator, roetfilter, gaswasser en vonkenvangervang
- \* stikstofoxiden -> uitlaatgasherbruik via de inlaat
- \* zwaveloxiden -> goede brandstof kiezen en gaswasser
- \* lawaai -> juiste dempercombinatie

Onschadelijke stoffen

- \* stikstof (N<sub>2</sub>)
- \* zuurstof (O<sub>2</sub>)
- \* kooldioxide (CO<sub>2</sub>)
- \* waterdamp (H<sub>2</sub>O)

Stikstof is met iets meer dan 70% het belangrijkste bestanddeel van de lucht. Het komt met de aangezogen lucht in de motor en gaat voor het grootste deel weer naar buiten zonder aan de verbranding te hebben deelgenomen. Zuurstof is alleen dan in het uitlaatgas aanwezig als het mengsel arm is of als door een slechte vermenging in de verbrandingskamer niet alle zuurstof voor de oxidatie van de brandstof wordt gebruikt. Waterdamp en kooldioxide zijn de eindproducten van de verbranding.

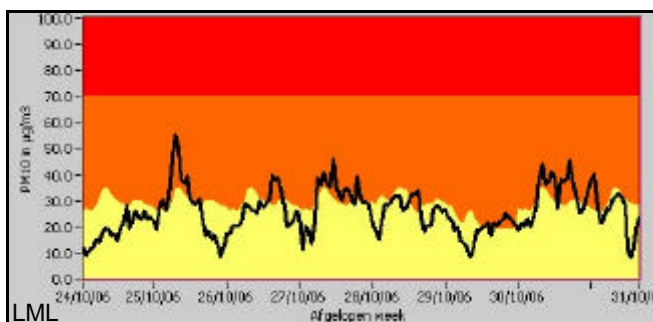
### Fijn stof

Fijn stof bestaat uit zwevende deeltjes in de lucht waarvan in diverse onderzoeken is aangetoond dat ze een aanzienlijk gevaar voor de gezondheid vormen. Daarom zijn Europese normen voor fijn stof vastgesteld.

Fijn stof wordt in Nederland gemeten in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML). De meetresultaten worden getoetst aan de normen. De resultaten zijn ook de basis voor de in Nederland uitgevoerde modelberekeningen. In 2004/2005 bleken de meetresultaten van fijn stof in regionale stations lager dan in de jaren ervoor. Deze verlaging werkt rechtstreeks door in de Nederlandse modelresultaten.

Begin 2006 heeft een hervalidatie van alle fijn stof meetresultaten in het LML plaatsgevonden. Dit heeft geleid tot een gemiddelde verhoging van ongeveer 1 µg/m<sup>3</sup> (1 miljoenste gram per kubieke meter). Tegen 2007 mag de jaargemiddelde concentratie niet hoger zijn dan 40 µg/m<sup>3</sup> en tegen 2010 niet hoger dan 20 µg/m<sup>3</sup>.

Enkele risicogroepen zijn extra gevoelig voor fijn stof, bijvoorbeeld ouderen, kinderen en mensen met luchtwegaandoeningen. Uit de milieujaarbalans 2005, van



Component PM10 (Particulate Matter: stofdeeltjes met een aërodynamische diameter kleiner dan 10 µm.) gemeten op de A6 bij Ridderkerk. Hoogste uurwaarde: 56 µg/m<sup>3</sup>.

het RIVM, blijkt echter dat er voor fijn stof géén veilige ondergrens is. Wat dit betreft is fijn stof te vergelijken met asbest en radioactieve straling, waarvoor ook geen veilige ondergrens bekend is.

### Fijnstof is er in drie maten

\* deeltjes met een omvang van 2,5 tot 10 micrometer (een micrometer is een duizendste millimeter). Onder andere afkomstig van opwaaiend wegennstof en slijtage deeltjes uit motoren en remmen. Deze deeltjes krijgen in de literatuur de stofduiding PM10 (Particle < 10 Micrometer)

\* deeltjes met een omvang kleiner dan 2,5 micrometer (PM<sub>2,5</sub>). Deze komen vooral uit de uitlaten van dieselmotoren (dieselroet).

\* deeltjes met een omvang kleiner dan 0,1 micrometer (EC, elementair koolstof).

Drie categorieën met elk een andere werking in het lichaam:

\* de deeltjes kleiner dan 10 en 2,5 micrometer verschillen van elkaar, omdat ze tot verschillende diepte de luchtwegen binnendringen.

\* de deeltjes kleiner dan 0,1 micrometer stimuleren waarschijnlijk de bloedklontering, wat een verklaring zou kunnen zijn voor een hoger aantal hartziekten langs drukke wegen.

### Oplosbaarheid

De goed oplosbare deeltjes komen in het slijm terecht en lossen op waarna ze uiteindelijk in het bloed komen en schade kunnen aanrichten aan de organen. De minder goed oplosbare en niet oplosbare deeltjes worden voor een groot deel opgenomen door het slijm en verlaten het lichaam door ophoesten van dit slijm. Ook ruimen macrofagen stofdeeltjes op waardoor het lichaam geen schade ondervindt. Ongeveer eenderde van alle onoplosbare deeltjes wordt zo onschadelijk gemaakt. Bron: VROM

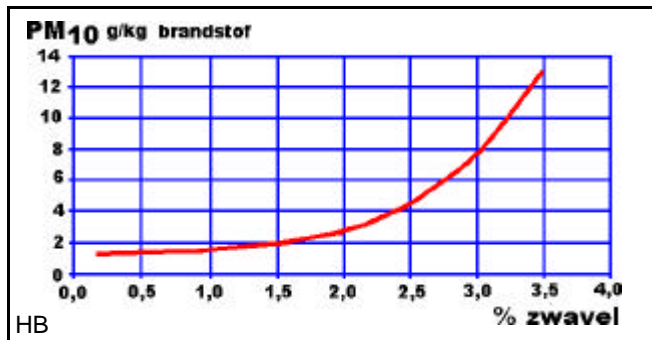


Dit "fijnstof" is redelijk ongevaarlijk daar het grote vlokken zijn. Je kunt er altijd nog zwarte verf mee maken of mengen door de epoxy om zodoende rubbernaden mee te imiteren.

In de scheepvaart is het zwavelgehalte van de brandstof nog van grote invloed op de fijnstofuitstoot. Volgens internationale afspraken mag het zwavelgehalte in de zeevaart maximaal 4,5% bedragen. Over het zwavelgehalte van scheepsbrandstoffen wordt in de International Maritime Organisation (IMO) onderhandeld. In bepaalde door IMO aangewezen beschermde ecologische zones (SO<sub>x</sub> Control Area's) is een verlaging van het maximaal toegestane zwavelgehalte tot 1,5% bereikt.

In de binnenvaart is het maximum zwavelgehalte 0,2%.





In 2008 wordt dit mogelijk verlaagd tot 0,1%. Door nadere eisen te stellen aan het maximale zwavelgehalte kunnen behoorlijke reducties fijn stof worden bereikt (Beck, 2001). De scheepsmotoren die op rode gasolie draaien (tot 2000 ppm zwavel) produceren meer fijn stof dan de scheepsmotoren die op witte gasolie met max 50 ppm (0,005%) zwavel draaien.

De verwachting is dat vanaf 1 januari 2010 het maximaal zwavelgehalte van dieselolie die wordt gebruikt door binnenschepen en schepen die in communautaire havens liggen de norm van 0,1 gewichtsprocent niet mag overschrijden. Voor vrachtwagens wordt gestreefd naar een zwavelgehalte lager dan 0,001%. Ook het ministerie van Verkeer en Waterstaat is voor versnelde verlaging van het zwavelgehalte. Het stelde 12 oktober op een CCR-bijeenkomst over schone brandstof in Straatsburg voor al komend jaar het zwavelgehalte te verlagen van 2000 ppm (deeltjes per miljoen) naar 350 ppm. De meeste scheepsmotoren kunnen daar goed op draaien.

#### Nadelige effecten

Volgens roetspecialist Kjelt Remmen van roetfilterfabrikant Emitech, daalt de roetuitstoot bij het gebruik van zwavelvrije gasolie met de helft. 'Voor de paar oude motoren die daar niet tegen kunnen kan uit een flesje zwavelvervanger aan de gasolie worden toegevoegd.' Zwavelzuur heeft een reinigend effect en oude motoren krijgen door zwavelvrije brandstof last van aanslag op de zuigers en verlakking van de cilinderwanden. Moderne motoren hebben een schraapring bovenin de cilindervoering die de vervuiling van de zuigerkop afschraapt en zo het gladschuren van de zuigerwand voorkomt (bore polishing). Zwavel heeft ook een smerend effect in brandstofpomp en verstuivers. Het schraller worden van zwavelvrije gasolie wordt door oliemaatschappijen gecompenseerd met smerende additieven.

#### Koolmonoxide

Deze schadelijke stof ontstaat als er wegens te weinig zuurstof tijdens de verbranding van de ingespoten diesel geen volledige oxidatie van koolstof tot kooldioxide mogelijk is. Omdat koolmonoxide reeds in geringe concentraties op bestanddelen van het bloed inwerkt - het gaat een verbinding aan met de rode bloedlichaampjes en vermindert daardoor de mogelijkheid om zuurstof op te nemen - kreeg deze schadelijke stof als eerste de aandacht van de wetgever (zie Info 20M nummer 22).

Daarom wordt koolmonoxide als eerste uitlaatgasbestanddeel bij een controle van een motor betrokken. Wegens de afhankelijkheid van de brandstof-luchtverhouding is het belangrijkste uitlaatgasbestanddeel bij het afstellen van de brandstof inspuitspomp.

De CO-concentratie is het hoogste in de cilinder tijdens de verbranding; in de atmosfeer oxideert het echter tamelijk snel tot het niet giftige kooldioxide.

#### Koolwaterstoffen

Net als bij koolmonoxide zorgt een gebrek aan lucht voor een onvolledige verbranding (oxidatie) en daarmee voor de emissie van onverbrande of onvolledig verbrande koolwaterstoffen. In het uitlaatgas treft men daarom geen koolwaterstof als zodanig aan, maar de meest uiteenlopende vormen van koolwaterstofverbindingen, zoals aromatische koolwaterstoffen die sterk ruiken en die gedeeltelijk als kankerverwekkend worden beschouwd. Onverzadigde koolwaterstoffen veroorzaken onder invloed van het zonlicht en in combinatie met stikstofoxiden "smog", (een samentrekking van smoke en fog (rook en mist)). Onverzadigde koolwaterstoffen zijn nagenoeg reukloos, hebben een narcotische (verdovende) werking en prikkelen lichtjes de slijmvliezen. Hogere concentraties van onverbrande koolwaterstoffen kunnen schadelijk zijn voor de gezondheid. Ze worden bovendien in verband gebracht met het afsterven van de bossen.



#### Roet

Een citaat van emissiedeskundige Rijkeboer van TNO, de organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek:

(<http://www.kennislink.nl/web/show?id=78893>)

([http://www.spleen.nl/%7Estefan/publicaties/dieselkento\\_nzichtbaarroetgevaar.pdf](http://www.spleen.nl/%7Estefan/publicaties/dieselkento_nzichtbaarroetgevaar.pdf))

"De paniek sloeg zo'n jaar geleden toe. Bij metingen aan diesels kijkt men naar het aantal grammen roet dat een auto per kilometer uitstoot. De laatste jaren is dit getal onder invloed van strengere Europese normen omlaag gegaan. Dat wil niet zeggen dat er minder roetdeeltjes uit een dieselmotor komen. Alleen doordat de ultrafijne deeltjes - kleiner dan een tienmiljoenste meter - bijna niets wegen in vergelijking met de grote roetdeeltjes, net zoals duizend knikkers ook veel minder lijken te wegen dan één hunebedsteen, lijkt het alsof er bijna geen uitstoot meer is." Dit is een probleem voor de milieufreaks. Door de drukverhoging tijdens de verbranding wordt er in de brandstofdruppel koolstof (roet) gevormd. Bij oudere motoren ligt de inspuitsdruk rond de 120 atmosfeer wat de druppelgrootte bij het inspuiten bepaald. Bij moderne motoren zijn de inspuitsdrukken veel groter (1400 à 2000 atmosfeer), daardoor zijn de roetdeeltjes veel kleiner en komen dan ook gemakkelijker in de luchtwegen.

Bij de oudere motoren zijn de roetdeeltjes beter zichtbaar in de vorm van vlokken. De vlokken kunnen redelijk goed verzameld worden in een roetvanger.

### Stikstofoxiden

Hoewel stikstof het hoofdbestanddeel van lucht is, verbindt het zich bij normale temperaturen niet met zuurstof. Alleen bij een zeer hoge energietoevoer, zoals bij verbrandingsprocessen bij hoge druk en temperatuur in een motor vindt er een chemische reactie plaats waarbij er stikstofmonoxide wordt gevormd. Dit gas verbindt zich na het uitstromen uit de cilinder nogmaals met zuurstof tot stikstofdioxide. Stikstofmonoxide en stikstofdioxide gelden als stabiel en worden gewoonlijk met NO<sub>x</sub> aangeduid. NO<sub>x</sub> geeft in hogere concentraties aanleiding tot prikkeling van de ademhalingsorganen en zorgt voor vergiftigingsverschijnselen. Langdurig inademen kan het longweefsel beschadigen. De vorming van smog kan een gevolg zijn van te veel NO<sub>x</sub>.



Bij moderne motoren is het soms mogelijk een gedeelte van de uitlaatgassen terug te voeren naar de inlaat van de motor. Dit wordt uitlaatgassenrecirculatie (EGR) genoemd. Als er een mogelijkheid van recirculatie is moet er voor de aftakking naar de inlaat een roetfilter worden gemonteerd. Dit systeem wordt gebruikt om de stikstofoxiden uitstoot te verlagen. EGR is niet fijn voor de motor omdat dit de motor vervuult. Op het internet zijn diverse site's met informatie over de mogelijkheid om EGR door blindflenzen uit te zetten.

### Zwavel dioxide

De hoeveelheid afgegeven zwavel dioxide is afhankelijk van de gekozen brandstof. De schepen voor de beroepsvaart wordt van oudsher rode gasolie met zo'n 2.000 ppm zwavel gebruikt. De laatste jaren is er een tendens om dit gehalte te verlagen. Een belemmerende factor is dat sommige motoren de zwavel nodig hebben voor het smeren van de brandstofinspuitpomp en de verstuivers.

De pleziervaart gebruikt, door de regering gedwongen, nu witte diesel met 10 tot 50 ppm zwavel. Dit is belangrijk omdat roetfilters uitsluitend toepasbaar zijn in combinatie met deze lage zwavelgehalten in de brandstof.

Voor het afvangen van de zwavel dioxide kan een gaswasser worden gebruikt. Oudere motoren met rode gasolie kunnen geen roetfilter gebruiken, omdat die de chemische reactie om zeep helpt en kan een roetvanger toegepast worden.

### Meetmethodes

Op de website [www.ECN.nl](http://www.ECN.nl) is informatie vinden over de gebruikte meetmethoden. Zo kan een inzicht worden verkregen in de uitstoot van binnenschepen. Het ministerie van Verkeer en Waterstaat wil de meetresultaten meenemen in de emissieberekeningen van het volgend jaar (2007).

### De toekomst

Een paar constatering:

\* In het Publicatieblad van de Europese Unie L 146/2 (van de lidstaten inzake maatregelen tegen de uitstoot van verontreinigende gassen en deeltjes door inwendige-verbrandingsmotoren die worden gemonteerd in niet voor de weg bestemde mobiele machines) staat onder punt (9): Er moeten ook emissienormen voor bepaalde spoorweg- en binnenscheepvaarttoepassingen worden ingevoerd teneinde ertoe bij te dragen dat deze wijzen van vervoer als milieuvriendelijk worden bevorderd.

En onder punt (4):

Er bestaan nog onzekerheden ten aanzien van de kosteneffectiviteit van het gebruik van nabehandeling-uitrusting ter beperking van de uitstoot van deeltjes en van de uitstoot van stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>). Vóór 31 december 2007 dient er een technische evaluatie te worden uitgevoerd en, indien van toepassing, dienen er vrijstellingen of uitstel van de data van inwerkingtreding te worden overwogen.

Het beleid is gericht op het bereiken van een schone omgeving. De eisen die aan motoren moeten worden gesteld, zijn echter nogal moeilijk voor de Europese commissies. Daarom worden er eisen gesteld voor nieuwe motoren; de fabrikant moet dan aantonen dat de motor voldoet. Dit is een veel goedkopere oplossing voor de overheid dan het aantonen dat een oudere motor NIET voldoet.

Verder moet er een redelijk nut zijn. Dit houdt in dat de kosten in verhouding moeten staan tot de te verwachten winst voor het milieu. Een filter van 12.000 Euro is niet reëel voor 50 à 100 uur varen per jaar.

Bij oudere auto's wordt de roetuitstoot wel gemeten, maar de auto wordt er niet op afgekeurd, daar er onvoldoende gegevens beschikbaar zijn. Voorzover mogelijk worden de grenzen per type voertuig per jaartal verzameld.

De verwachting is dat een soortgelijke werkwijze voor oude motoren zal worden gekozen.

In de praktijk is het moeilijk om metingen uit te voeren, omdat ze afhankelijk zijn van de brandstofkwaliteit en gemeten moet worden met een "bekende" brandstof.

Wij volgen nauwgezet hoe dit zich zal ontwikkelen. Zodra er iets bekend is zullen wij dit in dit blad vermelden.

Intussen worden er proeven gedaan met additieven en biobrandstoffen.

Ik ben geen voorstander van additieven, ook niet tegen de algerving in de brandstoftank. Er zijn namelijk gevallen bekend van wereld omzeilers die nogal wat schade aan de inspuitapparatuur hebben ondervonden die te herleiden is op deze additieven.

Wij kunnen wel de technische staat van de motor zo optimaal mogelijk houden, want dit komt de verbranding ten goede en spaart het milieu.



## DROGE UITLAAT deel 3

### ZELF EEN UITLAAT MAKEN (HB)

In dit verhaal wordt een uitlaatsysteem beschreven dat zich in de loop van de tijd als uitstekend en zeer duurzaam heeft bewezen. Een goed droog uitlaat systeem heeft alleen maar voordelen ten opzichte een watergekoeld systeem:

- \* het geluidniveau is gelijk of lager;
- \* het systeem is veel minder storinggevoelig, geen waterpompen en wierbakken;
- \* er is geen vermogensverlies door te hoge uitlaattedruk;
- \* er kan in alle omstandigheden worden gevaren, ook in kroos en prutsloten;
- \* het schip kan vastvaren, en zonder zorg vol vermogen weer loskomen;
- \* het tegenargument van warmte ontwikkeling binnen is met de huidige vorm van isolatie dekens probleemloos te ondervangen.

### Waar laten wij de de uitlaat naar buiten komen?

De plaats waar de uitlaat naar buiten komt, kan veel ongenoegen bij anderen oproepen of juist voorkomen.

### In de zij



- \* korte leidingen en dus een goedkope oplossing;
- \* langs zij gemeerde schepen kunnen hiervan veel hinder en zelfs schade ondervinden;
- \* als de opening zich ter hoogte van het stuurhuis bevindt, wordt men voortdurend door het geluid van de uitlaat gehinderd.

BBZ artikel 8.04.2 luidt: Uitlaatgassen van de hoofdmotoren mogen niet zijwaarts door de scheepshuid worden afgevoerd.

### In de spiegel



- \* meestal lange leidingen en daardoor een grote weerstand van de leiding. Om deze weerstand binnen de perken te houden, moet de uitlaatdiameter vaak een maatje groter zijn. Zie voor het maximaal toegestane drukverlies de voorschriften van de fabrikant.

### Door het dek of door het stuurhuis



- \* alleen mogelijk met een droog uitlaatsysteem;
- \* goed opletten of roet en vonken kwaad kunnen;
- \* eventueel een vonkenvanger toepassen;
- \* bij doorvoer door een stuurhuis moet de uitlaat leiding door een wijdere pijp lopen. De leiding moet uit één stuk zijn en op een dusdanige manier omspoeld worden met buitenlucht dat er geen uitlaatgas in het stuurhuis kan komen. De buitenpijp moet dus aan beide einden in verbinding staan met de buitenlucht.

### De materialen

Het uitlaatsysteem heeft het zwaar te verduren. Naast de motortrillingen werken temperatuurverschillen en condens constant op de uitlaat in. Op schepen zijn de wanddiktes daarom aanzienlijk groter dan bij auto's en zijn afvoeropeningen voor condenswater (drain) uit den boze.



Een ander verschil is dat de verbindingen bestaan uit flenzen met pakkingen. Schroefdraadverbindingen worden als gevaarlijk beschouwd.

In dit verhaal wordt uitgegaan van normaal verkrijgbare gaspijp. De wanddikte is dan dik genoeg en er kunnen zonder problemen bevestigingspunten en flenzen aan worden gelast.



HB  
Bij deze uitlaten is er gevaar van CO lekkage en door de bochten is de tegendruk onnodig hoog.

Een goede uitlaat heeft weinig tegendruk en voldoet aan de volgende kenmerken:

- \* een voldoende grote diameter pijp (ook niet te groot);
- \* zo weinig mogelijk scherpe knikken en bochten;
- \* goede dempingmaterialen, duurzaam materiaal;
- \* zo ver mogelijk naar achteren geplaatste absorptiedempers.

De binnendiameter van de uitlaatgasleiding moet even groot zijn als die van het spuitstuk. Als de leiding lang is, moet de inwendige diameter een maatje groter worden gekozen. De tegendruk mag vaak niet groter zijn dan 1400 mm waterkolom. Om dit te kunnen meten, is een aansluitmogelijkheid nodig van 1/2" (sok oplassen) zo dicht mogelijk bij het uitlaatspuitstuk. Die kan ook gebruikt worden voor een temperatuurmeting.

Het uitlaatgas verlaat de motor voor een deel pulserend en voor een deel als een continue stroom gas. Door het openen van de uitlaatkleppen, komt het gas stootsgewijs in de uitlaat terecht. Deze stoten veroorzaken resonanties waarvan de frequentie afhankelijk is van het aantal cilinders en het toerental.

Het maximale aantal werkslagen per seconde bij een bepaald toerental levert de motorgrondfrequentie  $f$ . De golflengte van de uitlaatimpuls wordt berekend door de snelheid van het geluid te delen door de grondfrequentie. Bij kamertemperatuur is de geluidssnelheid ongeveer 330 meter per seconde. In de uitlaat kan de snelheid oplopen tot 500 à 700 meter per seconde.

### Rekenvoorbeeld

Een viertakt generator draait 3000 omwentelingen per minuut. Dit is 50 omwentelingen per seconde. De grondfrequentie wordt:

$$50 \text{ omw/sec maal } 4 \text{ cilinders}$$

$$f = \text{-----} = 100 \text{ Hz}$$

$$2 \text{ omwentelingen per werkslag}$$

Voor de gemiddelde temperatuur en een geluidssnelheid van 600 meter per seconde is de golflengte 600 m/s gedeeld door 100 Hz is 6 meter. De lengte van de pijp naar de eerste demper moet kleiner zijn dan 1/6 van de golflengte, dus korter dan 1 meter. De lengte van de pijp na de demper moet langer zijn wat meestal ook het geval is.

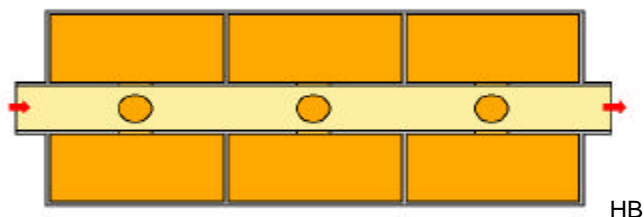
### De demper

De doorlaat van de uitlaatleiding kan met behulp van de volgende vuistregel worden gevonden: oppervlak in  $\text{cm}^2 = 6 \times \text{cilinderinhoud in liters}$ .

Voor een 2 liter Mercedes betekent dit: opp. leiding is  $2 \times 6 = 12 \text{ cm}^2$  (1 1/2" pijp).

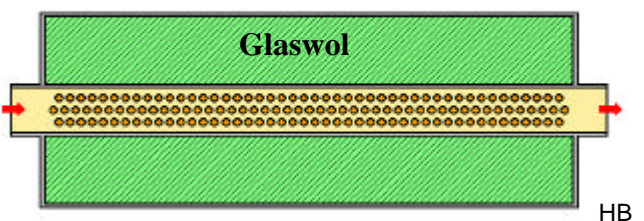
De inhoud van de demper wordt bepaald met behulp van de volgende vuistregel: inhoud demper in liters = 5 à 10 keer de inhoud van de motor in liters, dus voor een 2 liter motor 10 à 20 liter.

De reflectiedemper hoort zo dicht mogelijk bij de cilinderkop van de motor te zitten en kan een demping opleveren tot ca 30 dB(A). De grote drukgolven kunnen expanderen in de kamers. Na de drukpiek wordt de inhoud van de kamer afgegeven; op deze manier zal de lagere druk na de piek afvlakken.



De reflectiedemper bestaat uit 3 kamers en in de dunne doorgaande pijp zijn in elke kamer 2 gaten geboord ter grootte van 3/4 van de binnendiameter, bijvoorbeeld voor 1": 2 gaten van 20 mm. De kamers zijn verder leeg. De binnenringen moeten zuiver op maat gemaakt worden, opdat ze klemvast zitten. Deze demper is in 3 trappen uitgevoerd. Bij ruimtegebrek is het ook mogelijk om er 2 trappen van te maken. De dempende werking is dan uiteraard minder. Diverse 3-trapsdempers zijn bij ons al meer dan 25 jaar in gebruik en voldoen uitstekend.

### De absorptiedemper



De eerste stap naar geluidsdemping is het voorzien van de binnenkant van de leiding van een akoestische absorberende voering zodat geluidsenergie van het stromende medium het absorberende materiaal kan

binnengaan en daar door wrijving wordt veranderd in warmte. In dit proces is het belangrijk dat het absorberende materiaal en het geluidsdragende medium in direct contact met elkaar kunnen komen.

De absorptiedemper hoort aan het einde van de uitlaatleiding te zitten en is niet bruikbaar voor tweetakt-benzinemotoren. De demper dempt vooral de hogere frequenties. De absorptiedemper bestaat uit een grote kamer gevuld met glaswol (niet te vast). Steenwol is niet geschikt, omdat dit verpulvert. Glaswol heeft een temperatuurbereik tot ca 550 graden Celsius. De binnenpijp is gemaakt van geperforeerde pijp en dus voorzien van zeer veel kleine gaten. Deze kunnen eventueel zelf worden geboord in de pijp en dan niet te zuinig: liever meer dan minder!

De afmetingen van de demper worden bepaald met behulp van formules. Als er wordt uitgegaan van gaspijp, zijn er de volgende mogelijkheden:

### Binnenpijp

maat	doorlaat	diam.	diam.
	cm <sup>2</sup>	inw.	inw.
1"	5,9	27,5	34
1 1/4"	9,8	35,5	42
1 1/2"	13,2	41,2	48,2
2"	21,5	52,5	60
2 1/2"	36	68	76
3"	51	81	89
4"	89	107	115

### Buitenpijp

maat	doorlaat	diam.	diam.	inhoud	afmeting
	cm <sup>2</sup>	inw	uitw.	per dm	ringen
3"	51	81	89	0,51	34,5 - 81
4"	89	107	115	0,89	42,5 - 107
4"	89	107	115	0,89	49 - 107
5"	132	130	139	1,32	61 - 130
5"	132	130	139	1,32	77 - 130
6"	196	158	168	1,96	90 - 158
8"	330	205	220	3,3	116 205

De dikte van de ringen afstemmen op de wanddikte van de pijpwand.



Bij deze door de schipper zelf gebouwde uitlaat zijn flenzen toegepast met een klingerit pakking er tussen.



De afgelopen weken ben ik nogal intensief bezig geweest met uitlaten. De mooie zondag van 10 december 2006 was een goed moment om eens wat te meten aan mijn eigen uitlaatsysteem.

Ons schip "Margeja" ligt altijd vaarklaar te water zodat wij kunnen varen als wij dat willen. In het schip ligt een Mercedes motor OM621 met 60 SAE pk.

In een schip worden meestal Din A en Din B pk's gebruikt en dan ziet het lijstje er zo uit:

- 60 pk bij 4200 rpm SAE
- 55 pk bij 4300 rpm DIN 6270 (auto);  
maximaal 10 min per 30 min
- 50 pk DIN B maximaal 1 uur per 6 uur
- 45 pk DIN A continu

Omdat wij zeer lange reizen maken met wel 10 á 12 motoruren per dag gedurende vier maanden per twee jaar, gebruiken wij 40 pk. Dit is 15 pk meer dan wij nodig hebben. Afhankelijk van de waterdiepte gebruiken wij meestal 17 pk.

Op ondiep water is het zinvol snelheid terug te nemen, omdat dit een beter brandstofrendement oplevert.

Wij waren benieuwd naar de meetresultaten. Wij hebben een ankerbal uitgelegd op 25 meter uit de wal en zijn gaan meten.

Op kruissnelheid van ongeveer 12 km/uur kwamen wij op 54 dB(A) bij een achtergrondgeluid van 50 dB(A). In de motorkamer bij 3000 rpm maten wij 80 dB(A) en bij de stuurstand 66-70 dB(A).



Tijdens het meten werden we regelmatig gestoord door overkomende vliegtuigen die gemakkelijk 75 dB(A) halen.