

Uitlaatgaskatalysatoren voor auto's

Citation for published version (APA):

Colaris, A. H. J., & Verkerk, G. (1996). Uitlaatgaskatalysatoren voor auto's. *NVOX : Tijdschrift voor Natuurwetenschap op School*, 21(8), 346-348.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1996

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

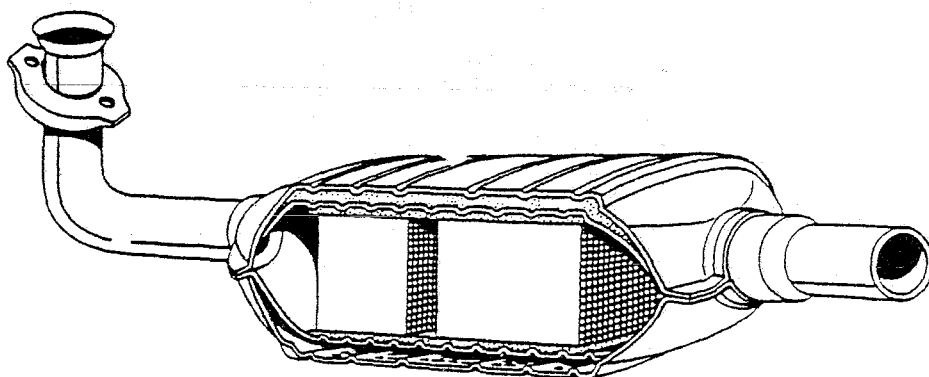
openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Uitlaatgaskatalysatoren voor auto's

Hoewel de fiets als personen vervoermiddel om uiteenlopende redenen te prefereren is boven de bromfiets of de auto, kiezen (helaas) veel leerlingen voor gemotoriseerd vervoer. Zo gauw ze de 16 jaar gepasseerd zijn, schaffen zij zich een brommer aan en na hun achttiende verjaardag proberen zij zo snel mogelijk een rijbewijs te bemachtigen, ondanks de negatieve geluiden over auto-gebruik zoals filevorming, verkeersonveiligheid en milieuvervuiling. Wat het laatste betreft wordt in dit artikel ingegaan op de uitlaatgaskatalysator voor auto's met de bijbehorende milieutechnologische, chemische en fysische aspecten. Dit onderwerp is ons inziens interessant en relevant voor leerlingen in de vrije ruimte van Biologie/Natuurkunde/Scheikunde in de tweede fase van het voortgezet onderwijs.

Fig. 1: De knalpijp van een auto met een dwarsdoorsnede, waardoor de twee aparte in serie geschakelde katalysator dozen te zien zijn.



Uiteraard hebben wij kennisgenomen van het artikel 'Auto & Milieu, een vakoverschrijdend thema voor 4 havo/vwo' in NVOX nr. 6 van vorig jaar (lit 2) en het bijbehorende lesmateriaal (lit 3). Omdat hier vooral ingegaan wordt op de chemische aspecten en de milieu-aspecten (beleid, publieke opinie) zullen wij ons in dit artikel meer concentreren op milieu-technische en fysische aspecten.

Het belang van uitlaatgaskatalyse voor het milieu

De sector transport is wereldwijd verantwoordelijk voor een grote hoeveelheid schadelijke produkten die bijdragen aan de luchtverontreiniging. Luchtverontreiniging beïnvloedt de gezondheid van mens en dier, de groei van planten en de kwaliteit van de bodem en het grondwater. Luchtverontreiniging en haar gevolgen zijn niet alleen als een lokaal, maar zelfs als een mondiaal probleem te beschouwen. Ook in de auto-industrie is men zich bewust van de door auto's veroorzaakte smogproblemen.

Naast het zoeken naar alternatieve brandstoffen en de bijbehorende motoren wordt ten behoeve van het auto-gebruik met name door deze industrie gewerkt aan minder milieubelastende oplossingen bij gebruik van benzine. In 1953 begonnen de Amerikaanse autofabrikanten Ford, General Motors, Chrysler en American Motors aan een gezamenlijke studie over het smogprobleem. In 1957 kwam men tot de conclusie dat het gebruik van een oxidatie-katalysator, geplaatst in een doos (converter) in de uitlaat van de auto, goede mogelijkheden zou bieden om de uitstoot van koolwaterstoffen aanzienlijk te verminderen.

Onder invloed van de publieke opinie en de technische vooruitgang op het gebied van katalytische uitlaatgasreiniging is in

1970 de Clean Air Act in de Verenigde Staten aangenomen als wettelijke basis voor de controle van uitlaatgassen. Het steeds meer aanscherpen van de uitstootnormen zorgde ervoor dat het optimaliseren van de lucht-brandstof verhouding niet meer voldoende was om beneden de normen te blijven. De katalysator bleek hiervoor een goed alternatief.

Op dit moment wordt een tweetal typen katalysatorsystemen gebruikt, de zogenaamde driewegkatalysator en de 'dual-bed'-converter (fig. 1).

De uitlaatgassen van auto's

De vrijkomende stoffen bij verbranding van benzine zijn in hoofdzaak koolstofdioxide (CO₂) en water (H₂O) in de dampfase. De ongewenste nevenproducten die bijdragen aan de luchtverontreiniging zijn koolstofmonoxide (CO) en koolwaterstoffen (C_xH_y), als resultaat van onvolledige verbranding van benzine, en stikstofoxiden (NO en NO₂) die bij de hoge verbrandingstemperaturen gevormd worden uit stikstof (N₂) en zuurstof (O₂) afkomstig van geïnjecteerde lucht.

Snel rijden c.q. een stijgende motortemperatuur leidt dus tot een hoge(re) emissie van stikstofoxiden.

De uitstoot van zwaveldioxide (SO₂) door auto's wordt in het algemeen niet als een probleem gezien, omdat benzine vrijwel geen zwavelverbindingen bevat. Tenslotte bevatten uitlaatgassen ook zware metalen, in het bijzonder lood (Pb). Lood was in eerste instantie niet in benzine aanwezig, maar naarmate er behoefte bij de consument ontstond om het vermogen van benzinemotoren op te voeren is lood toegevoegd voor 'prestatieverbetering'. Intussen rijden veel auto's (met katalysator) weer op loodarme benzine. Naast deze zware metalen zijn ook koolstofmonoxide en de stikstofoxiden zeer giftig, terwijl de stikstofoxiden mede verantwoordelijk zijn voor 'zure regen'.

De koolwaterstoffen dragen bij aan de smogvorming in stedelijke gebieden. Lood is niet alleen zeer giftig voor het milieu, maar vermindert ook de levensduur van de gebruikte katalysator. Deskundigen spreken dan over 'deactivering' van een katalysator t.g.v. verontreiniging van het katalysatoroppervlak.

Uitlaatgaskatalysatoren

Het meest bekend is de zogenaamde driewegkatalysator. Dit is een in de uitlaat van de auto geplaatste, met katalysator gevul-

de doos waarin drie processen tegelijkertijd plaatsvinden:

1. koolstofmonoxide oxideert tot koolstofdioxide;
2. koolwaterstoffen oxideren tot koolstofdioxide en water;
3. stikstofoxiden reduceren tot stikstof.

Deze configuratie vereist een zeer nauwgezette regeling van de lucht-brandstofverhouding (met lambda-sonde). De term driewegkatalysator is overigens een minder geslaagde vertaling van het Amerikaanse 'three way converter', waarin de 'three ways' slaan op het drievoudige proces.

In de 'dual-bed'-converter zit de katalysator in twee aparte, in serie geschakelde dozen in de uitlaat (fig. 1).

In de eerste doos bevindt zich een inlaatpijpje, waardoor een pompje extra lucht in de tweede doos brengt, om daar de oxidatiereactie katalytisch te laten verlopen. Deze manier vergt een iets minder stringente regeling, maar vereist een grotere hoeveelheid katalysator.

Ondanks alle inspanningen op het gebied van onderzoek naar de ontwikkeling van katalysatoren op basis van niet-edelmetalen (b.v. Cu-Cr) voor de zuivering van auto-uitlaatgassen, worden bijna overal op de wereld uitsluitend katalysatoren op basis van edelmetalen commercieel gebruikt.

Aanvankelijk betrof het de edelmetalen platina en palladium (Pt-Pd), momenteel gaat het vooral om platina en rhodium (Pt-Rh). De activiteit van de edelmetalen is tot nu toe onovertroffen. Ook de levensduur (160.000 kilometer) van deze katalysatoren is uitstekend, omdat zij nauwelijks vervuild raken door stoffen in de uitlaatgassen. Bovendien zijn deze metalen relatief goed bestand tegen de zeer hoge temperaturen in de uitlaat. Dit hebben zij te danken aan hun hoge smelttemperatuur, waardoor sintering (en dus deactivering) minder snel zal voorkomen.

Het katalysatormateriaal wordt soms in de vorm van kleine bolletjes toegepast, maar meestal in een cilindervorm waarin overlangs vele nauwe kanaaltjes lopen (fig. 2).

Bolvormige katalysatoren komen nog maar sporadisch voor. Ze worden gemaakt door een aluminiumdrager te impregneren met een oplossing van de actieve componenten, deze te drogen en vervolgens aan een temperatuurbehandeling bloot te stellen.

Cilindervormen zijn het meest toegepast. Deze bestaan uit een silicium-aluminiumverbinding zoals cordoriet of mulliet. De

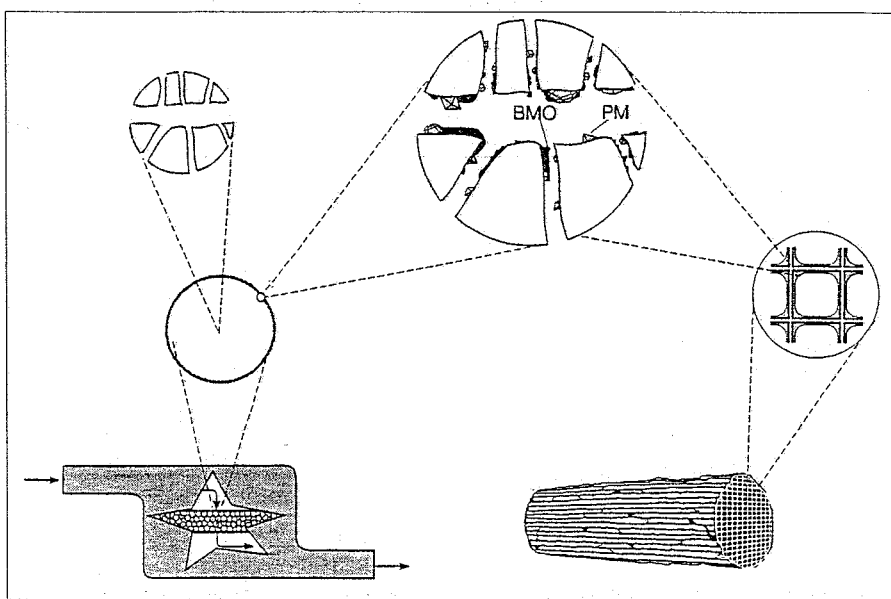


Fig. 2: Schematische weergave van katalytische knalpijpen, links met bolvormige korrels en rechts met een honingraatstructuur. Op de bolletjes resp. op de wanden is dragermateriaal van metaaloxide (BMO = Base Metal Oxide) met edelmetaal (PM = Precious Metal) aangebracht

parallele kanalen in de cilinder zijn gescheiden door zeer dunne wandjes. Dit basismateriaal heeft een zeer lage thermische uitzettingscoëfficiënt, waardoor het uitstekend geschikt is voor gebruik bij hoge en sterk variërende temperaturen. Bovendien is het zo schokbestendig dat toepassing in een auto goed mogelijk is. Een nadeel van deze structuur is het vrij kleine oppervlak, ondanks de vele kanaaltjes. Om de katalysator (de edelmetalen) in de vorm van zeer kleine deeltjes (2 nm) op een groot oppervlak te kunnen spreiden, wordt tussen de basisstructuur en de actieve componenten een dunne laag aluminiumoxide met een hoog specifiek oppervlak aangebracht. Dit noemen we 'wash coat'. Deze laag zorgt ervoor dat de actieve materialen in de vorm van zeer kleine deeltjes verspreid kunnen worden.

Voor (West-)Europese auto-uitlaatgaskatalysatoren is het edelmetaalgehalte relatief hoog vanwege het rijgedrag (hoge rijnsnelheden en veel stilstand door files en stoplichten). Katalysatoren zijn, vanwege de edelmetalen, duur, zodat het terugwinnen van edelmetalen uit afgewerkte katalysatoren van in gebruik zijnde auto's en sloopauto's zin heeft.

Enkele fysische aspecten van uitlaatgaskatalyse

In eerste instantie wordt de reactiesnelheid bij de verbranding in de automotor bepaald door toestandgrootheden als druk, temperatuur en concentratie van de reactiecomponenten. Uitgangspunt daarbij is dat de reactie optreedt in een homogene omgeving. In het geval van heterogene katalyse, waarbij dus vaste stoffen katalytische eigenschappen hebben kunnen, wordt deze reactiesnelheid ook bepaald door fysische transportverschijnselen. De aanwezigheid van meer dan één fase vereist overdracht tussen die fasen voordat de reactie

mogelijk is. De drijvende kracht voor transport wordt geleverd door concentratiegradiënten. We hebben te maken met transport in serie met de reactie enerzijds en transport en reactie simultaan anderzijds. In de eerste categorie vallen de overdracht van de 'brandstof' vanuit de fluidumfase die een katalysator-korrel omringt, de zogenaamde bulkfase ofwel de hoofdstroom, naar het uitwendig oppervlak van de korrel en de overdracht van de verbrandingsproducten van het uitwendig katalysatoroppervlak naar de bulkfase of de hoofdstroom. In de tweede categorie vallen de transport van de 'brandstof' door de katalysator-poriën van het uitwendig korreloppervlak naar de actieve centra op het inwendig katalysatoroppervlak en de overdracht van de verbrandingsproducten door de katalysatorporiën naar het uitwendige katalysatoroppervlak.

In de bulk kan de concentratie als constant beschouwd worden, terwijl er sprake is van een concentratiegradiënt in een denkbeeldige laag, de diffusie laag, langs het oppervlak van de katalysator, waar de reactie optreedt. Daar is sprake van stoftransport volgens de eerste wet van Fick.

Aangezien de verbrandingsreacties plaatsvinden onder vrijkomen van warmte (exotherm) is ook het warmtetransport van belang. Het warmtetransport wordt niet alleen bepaald door het temperatuurverschil tussen de bulk van de fluidumfase en het grensvlak maar ook door de warmte-overdrachtscoëfficiënt die wat moeilijker te bepalen is.

Op de bouw en de werking van motoren, b.v. de 4-tact benzine-motor, wordt hier verder niet ingegaan. Beschrijvingen hiervan zijn te vinden in (vooral oude) natuurkundeleerboeken en sommige (huidige) scheikundemethoden. Ook het motorrendement met en zonder katalysator zal hier niet verder besproken worden, maar kan als aanvulling op de leerboekbeschrijvingen

Riet, onopvallend maar... mechanisch meesterwerk

> gen van motoren heel goed aan de orde gesteld worden in het (natuurkunde)onderwijs.

Afsluiting

Collega's Chrétien Schouteten en Nico Kiers pleiten in hun artikel (lit 2) voor 'uitwisseling van ideeën en ervaringen over de doelstellingen en de opzet van vakoverschrijdende thema's in het scheikunde-onderwijs, waarbij ook aandacht wordt besteed aan mens en maatschappij'. Wij steunen deze uitspraak van harte, alleen zouden wij ons niet willen beperken tot het scheikunde-onderwijs.

De collega's hebben lesmateriaal ontwikkeld voor 4 havo/vwo (lit 3). Wij achten het onderwerp zodanig relevant en interessant voor (alle) leerlingen, dat ook onderdelen behandeld zouden moeten worden in het vak Natuur- en Scheikunde in de Basisvorming of in Natuurwetenschappen in de Tweede Fase. Ook biedt het onderwerp uitstekende mogelijkheden voor het invullen van de praktische opdracht, de zelfstandige opdracht of het profielwerkstuk, zoals die worden genoemd door de Vakontwikkelgroep Biologie, Natuurkunde, Scheikunde. Het is een vakoverschrijdend onderwerp met ook met name technische aspecten. Een probleem van de auto-uitlaatgaskatalysator is de beschikbaarheid 'in de klas' vanwege de prijs die sterk bepaald wordt door de edele metalen van de katalysator. Een oplossing is een bezoekje aan een autogarage of -sloop. 

Literatuur

1. A.H.J. Colaris, Auto-uitlaatgaskatalysatoren, milieutechnologische, chemische en fysische aspecten. Intern verslag TUE, juni 1996.
2. C. Schouteten en N. Kiers, Auto en Milieu, een vakoverschrijdend thema voor 4 havo/vwo, NVOX 20, nr. 6, blz. 252 - 256, 1995.
3. C. Schouteten (en N. Kiers), Auto en Milieu, een thema voor de vierde klassen bij het vak scheikunde, lespakket Willem Lodewijk Gymnasium, Groningen, november 1995.
4. KNCV-lesbrief, Uitlaatgaskatalysatoren.

Ja, dat is riet: onopvallend. Als je het ergens langs een slootkant ziet, zul je niet zo gauw bij het verder lopen er nog eens naar omkijken: er zijn geen opvallende bloemen en het ruist maar wat in de wind. In dit artikel zullen we laten zien dat riet (*Phragmites communis Trin.*) dan wel onopvallend is, maar zeker niet saai of oninteressant. Door de combinatie van een aantal morfologische, anatomische en mechanische eigenschappen is riet niet alleen in staat om op de grens van water en land te groeien, maar ook om, door een brug te slaan tussen biologie en natuurkunde, bioloog en fysicus te boeien.

Tijdens de Biologie Olympiade wordt ieder jaar 'tot lering en vermaak' een excursie gehouden naar de Kortenhoefse plassen. Startend bij het fort 'Kijkuit' wordt een rondvaart gemaakt over dit wijde plasseengebied, waarbij we zowel de wat nauwere doorgangen als de grote open plassen bevaren.

Het vermaak zou je natuurbeleving kunnen noemen. Je komt onder de indruk van de schijnbare ongereptheid van het gebied en van de uitbundige groei van de planten. Je wordt je bewust van het zich opdringende idee dat deze planten het hier 'goed doen', hier thuis horen.

We leren ook wat: de aanvankelijk als één geheel overkomende vegetatie blijkt te bestaan uit (vertegenwoordigers van) allerlei soorten, die we geleidelijk beginnen te herkennen en waarvan we de namen beginnen te leren. In het begin is alles nieuw en lijkt er geen eind te komen aan de rij van al maar nieuwe namen; dan blijkt ineens (al vrij snel) dat er eigenlijk niets meer bijkomt! Er groeit wel veel, maar zoals de olympisten dat zeggen: "Wel veel van hetzelfde". Er komen maar weinig soorten voor, maar van iedere soort veel individuen!

De verzameling blijkt snel verzadigd; de olympisten zijn dat tenslotte ook. Tijdens de terugvaart overheerst het beeld van het riet, dat ons gedurende de hele tocht vergezelde. Het groeide op de grens van wa-

ter en land, langs de smalle doorgangen, maar ook langs de grote open plassen.... blootgesteld aan de aanstormende wind. We kijken er nu nauwkeuriger naar: als de wind er over gaat, buigt het riet diep door maar richt zich daarna weer keurig op. We zien nu ook dat de bladeren allemaal netjes dezelfde kant uitwijzen, alsof er een kam doorheen is gehaald. En.... wat is dat riet lang en dan toch maar zo dun! Wat moet dat sterk zijn!

Is riet wel zo sterk?

Die vraag plaatst je gelijk voor het probleem dat zo'n alledaags woord als 'sterk' niet duidelijk is omschreven. Er wordt zoiets mee bedoeld als 'het gaat niet gauw kapot'. Als we dat hier interpreteren als de kracht die je moet uitoefenen of de hoeveelheid arbeid die je moet verrichten om iets kapot te maken of te laten breken, is daar dan voor riet wat over te zeggen?

Met het oog op toepassingsmogelijkheden van riet zijn hierover wel metingen verricht. Hierbij gaat het om krachten uitgeoefend op de stengel evenwijdig aan of loodrecht op de lengteas van de stengel. Daarbij wordt dan nog onderscheid gemaakt tussen stengeldelen met of zonder knoop (nodus). Uit rekkingsproeven bleek dat een internodium deel van een stengel aanzienlijk (ca. 25%) grotere trekkrachten kan verdragen dan een vergelijkbaar stengeldel met een knoop in het midden. Een knoop is dus kennelijk een zwak punt. Dit is eenvoudig in te zien daar de vezels, die in de internodiën de trekkrachten zullen opvangen, niet dóórlopen in de knopen. Lager in de stengel gelegen delen vertonen een lagere treksterkte dan delen uit het middengedeelte van de stengel. Grote invloed op de treksterkte heeft het vochtgehalte: bij extreem drogen maar ook bij verzadiging met water van de stengel neemt de sterkte voor alle onderdelen (sterk) af. De stengel is, blootgesteld aan in de natuur voorkomende luchtvochtigheden, het sterkst (fig. 1, 50% luchtvochtigheid correspondeert ongeveer met 10% vochtgehalte van het riet).

Bij drukbelasting in de lengterichting van de stengel bleek er weinig verschil in druksterkte tussen stengeldelen met of zonder knoop. Wel bleek de druksterkte slechts ongeveer een derde te zijn van de bover besproken treksterkte. Ook dit verschijnsel is terug te voeren op de bouw van de stengel. Evenals in hout lopen de vezels evenwijdig aan de as van de stengel. De 'cohe-