

TNO-rapport

TNO-034-UT-2009-00604_RPT-ML

Actuele VOS- en PAK-profielen van wegverkeer

Datum	november 2009
Auteur(s)	Ir. H.M. ten Broeke Ir. J.H.J. Hulskotte
Projectnummer	034.21230/01.03
Trefwoorden	
Opdrachtgever	Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) t.a.v. Drs. C.W.M. van der Maas Postbus 303 3720 AH Bilthoven
Aantal pagina's	61 (incl. bijlagen)
Bijlagen	3

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	4
2	Toegepaste werkwijze bij literatuuronderzoek.....	6
2.1	Algemene werkwijze	6
2.2	Afbakening van het literatuuronderzoek.....	6
2.3	Bruikbaarheid literatuur.....	7
2.4	Voertuigcategorieën.....	9
2.5	Brandstoffen	9
2.6	Nabehandeling van uitlaatgas	10
2.6.1	Uitlaatgasbehandeling in benzinevoertuigen	10
2.6.2	Uitlaatgasbehandeling in dieselveertuigen	10
2.7	Procescondities	10
2.8	Kanttekeningen bij bemonstering- en analysetechnieken van VOS en PAK.....	13
2.8.1	VOS-bemonsteringstechnieken.....	13
2.8.2	Aldehyden.....	14
2.8.3	PAK-bemonsteringstechnieken.....	14
2.8.4	PAK-Analyse.....	16
3	Korte karakterisering van de gebruikte literatuur.....	17
4	VOS profielen.....	18
4.1	Vluchtige organische stoffen	18
4.2	Werkwijze.....	20
4.2.1	Afleiding van de profielen	20
4.3	Resultaten – gepresenteerde VOS-profielen	20
4.3.1	De fracties van stofgroepen in de profielen	21
5	PAK profielen.....	29
5.1	Polycyclische aromatische koolwaterstoffen	29
5.2	Koppeling van PAK-emissie aan VOS en PM.....	30
5.3	Werkwijze.....	31
5.3.1	Afleiding van de PAK profielwaarden, emissies, rekenfactoren en emissiefactoren	31
5.4	De invloed van roetfilters op de deeltjes- en zware PAK-uitstoot.....	38
5.5	Resultaten – gepresenteerde PAK –profielen	39
5.6	Vergelijking van aan activiteit gerelateerde PAK-emissiefactoren	41
6	Conclusies en aanbevelingen.....	43
6.1	Vergelijking van profielen en emissies.....	43
6.2	Aanbevelingen	44
6.2.1	Toepassing van de nieuwe VOS- en PAK-profielen.....	45
6.2.2	Relatief toenemend belang van andere voertuigcategorieën.....	45
6.2.3	Roetfilters	45
6.2.4	Nieuwe nabehandelingstechnologie	45
6.2.5	Veranderde karakteristieken van brandstoffen	45
6.2.6	Uitbreiding van de emissiemetingen tot semi-vluchtige koolwaterstoffen	46

7	Referenties	47
8	Ondertekening.....	50

Bijlagen

- 1 Lijst van unieke nummers en bijbehorende testcondities
- 2 VOS-profielen uit Veldt et al (1993)
- 3 Aggregatie van VOS-componenten

1 Inleiding

In dit document wordt een aanpassing voorgesteld van het profiel voor VOS (Vluchtige Organische Stoffen) in de emissies van wegvoertuigen. Het bestaande profiel is rond 1993 opgesteld maar door technische ontwikkelingen in het wegverkeer zijn de verhoudingen tussen de verschillende componenten veranderd en is dus een aanpassing nodig. Ook voor PAK wordt een vernieuwing van het profiel voorgesteld. Daarbij is gekozen om naast een PAK profiel, dat gebaseerd is op de VOS emissies, ook een PAK profiel op deeltjes (fijn stof) af te leiden.

VOS en PAK-profielen worden in de Emissieregistratie gebruikt om de emissies van afzonderlijke chemische componenten te berekenen met behulp van de emissies van totaal VOS en PM. In dit document wordt de volgende definitie voor VOS- en PAK-profiel gebruikt: de volledige verdeling van een emissie van VOS waarbij de verdelingen optellen tot 1. Uit de PAK-profielen zijn rekenfactoren afgeleid die het mogelijk maken om emissies van geselecteerde PAK-verbindingen te schatten uit VOS- en PM-emissies. Rekenfactoren zijn dimensieloze getallen die de emissie uitdrukken als fractie van een stofgroep.

VOS (Vluchtige Organische Stoffen) zijn een verzameling koolwaterstoffen die zich kenmerken door een hoge dampdruk (hoger dan 0,01 kPa bij 20°C). Veel VOS komen in brandstoffen en oplosmiddelen voor en worden gerelateerd aan de vorming van componenten die schadelijk zijn voor mens en milieu. VOS kunnen een precursor zijn van smog, ozon op leefniveau, radicalen en andere irriterende stoffen. Daarnaast zijn sommige VOS zelf schadelijk, zoals formaldehyde. PAK (Polycyclische Aromatische Waterstoffen) zijn koolwaterstoffen die bestaan uit gekoppelde aromatische (benzeen-) ringen zonder functionele groep. Sommige PAK-verbindingen hebben carcinogene eigenschappen (IARC, <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/crthalllist.php>).

VOS en PAK komen voornamelijk vrij bij onvolledige verbranding van brandstoffen die uit hogere koolstofketens bestaan, zoals benzine en diesel. Het verkeer is daarmee een belangrijke emissiebron van bovengenoemde stofgroepen.

Voor een aantal prioritaire stoffen in het wegverkeer – SO₂, NO_x, CO, koolwaterstoffen en roet (deeltjes) – wordt de emissielimiet vanuit Europees niveau voorgeschreven voor voertuigen onder de 3,5 ton, en motoren in grotere voertuigen door middel van de Euro-normen. De hoeveelheid zwavel in brandstoffen is met de jaren ook door de brandstofnormen verminderd, met consequenties voor de uitstoot van SO₂, en in mindere mate van fijnstof. De limiet voor koolwaterstoffen is echter niet gespecificeerd naar afzonderlijke chemische componenten. De uitstoot van VOS en PAK brengt echter wel relevante nadelige milieu- en gezondheidseffecten teweeg.

Door Veldt et al (1993) is, ten behoeve van gebruik in de Emissieregistratie, een tweetal VOS-profielen opgesteld voor diesel- en benzinevoertuigen door wetenschappelijke studies te bundelen. Met een profiel kan de emissie van de componenten eenvoudig worden berekend als de totale emissie (van de stofgroep) bekend is. In Veldt et al (1993) worden naast VOS-profielen emissiefactoren voor PAK gegeven voor het wegverkeer binnen de bebouwde kom, op landelijke wegen en op snelwegen. De verkregen resultaten in Veldt et al (1993) representeren de stand der techniek in het begin van de jaren '90 van de vorige eeuw. Omdat sinds die tijd de technologie in de

autosector flink is ontwikkeld en omdat er steeds strengere normen komen (Euro 5/V is ingevoerd en de Euro6/VI zijn op tijdstip van dit schrijven in de onderhandelingsfase) die verschuivingen in het emissieprofiel teweeg brengen, is besloten de profielen van VOS in uitlaatgassen van wegverkeer te actualiseren zodat de technologische ontwikkelingen in de autowereld goed weerspiegeld worden. Door middel van literatuuronderzoek, vergelijkbaar met de methode toegepast door Veldt et al (1993), is een vernieuwing van de profielen tot stand gekomen.

Het doel van dit project is om een kwalitatief en kwantitatief goed profiel van VOS en PAK voor benzine- en dieselmotoren in het wegverkeer op te stellen, dat gebruikt kan worden om emissies van afzonderlijke VOS- en PAK-componenten van het wegverkeer te berekenen uit de totale emissie.

Dit rapport beschrijft de methodiek die is toegepast en geeft tevens aan welke procescondities zijn meegenomen in de afgeleide profielen. De uiteindelijke VOS-profielen zijn afgeleid voor de categorieën benzine/LDV (Light Duty Vehicle), diesel/LDV en diesel/HDV (Heavy Duty Vehicle). PAK-profielen zijn afgeleid voor benzine en dieselwegverkeer, ongeacht de voertuigklasse. De profielen zijn in eerste instantie bepaald op basis van emissiefactoren, uitgedrukt in mg/km. Via omrekeningen zijn de emissiefactoren omgezet in percentages van de totale VOS-emissie. Dit vereenvoudigt de toepassing van de profielen bij de berekening van de emissies van afzonderlijke componenten. De totale emissies van VOS volgen namelijk uit de berekeningen die ieder jaar door het CBS worden uitgevoerd met behulp van emissiefactoren voor wegvoertuigen die uit het VERSIT-model worden afgeleid (Smit et al (2005)).

In hoofdstuk 2 wordt de methode van onderzoek beschreven en in hoofdstuk 3 is een karakterisering van de gebruikte literatuur gegeven. De VOS profielen zijn in hoofdstuk 4 beschreven en de PAK profielen in hoofdstuk 5. Hoofdstuk 6 geeft naast de conclusies aanbevelingen voor het gebruik van de profielen en aanbevelingen voor verder onderzoek.

2 Toegepaste werkwijze bij literatuuronderzoek

2.1 Algemene werkwijze

De methode die in dit onderzoek is toegepast bestond uitsluitend uit literatuuronderzoek. Gekozen is voor het verzamelen van emissiefactoren van wegverkeer, dus voornamelijk personenauto's en vrachtauto's met viertaktmotoren. Er is een beperkt aantal recente Nederlandse studies, vandaar dat in dit onderzoek ook gebruik is gemaakt van onderzoeken die verricht zijn elders in de wereld. In alle literatuur die als kwalitatief voldoende is aangemerkt zijn de gebruikte voertuigen qua merk en modellen ook te vinden in de Nederlandse markt. Na het vaststellen van de bruikbaarheid van de literatuur zijn de emissiefactoren verzameld in een database. Vervolgens zijn aan de hand van deze gegevens de profielen berekend.

Iedere referentie (literatuurbron) die is gebruikt, is voorzien van een nummer. Iedere meting binnen een referentie is voorzien van een serienummer. De referentienummers en serienummers zijn gekoppeld tot "unieke" nummers. Zo staat 28.16 voor een emissiefactor behorende bij referentie 28, meting 16. Alleen de metingnummers die voldoende aansluiting bij het onderzoek hebben zijn overgenomen (dat houdt bij bovenstaand voorbeeld in dat niet vanzelfsprekend 28.1 t/m 28.15 zijn overgenomen). Alle emissiefactoren zijn uitgedrukt in mg/km, waar nodig zijn deze omgerekend vanuit andere eenheden (bijvoorbeeld $\mu\text{g}/\text{km}$ of mg/mijl). De stofcodes zijn voorzien van een unieke en eenduidige stofnaam.

In de volgende paragrafen wordt de gebruikte werkwijze verder toegelicht. Allereerst wordt de reikwijdte (afbakening) van het onderzoek aangegeven. Vervolgens wordt dieper ingegaan op verschillende kenmerken van de literatuur, zoals de gebruikte voertuigtypen en brandstoffen, de behandelde stoffen en de uitlaatgasreiniging van de voertuigen.

2.2 Afbakening van het literatuuronderzoek

De verzamelde literatuur betreft alleen metingen verricht aan personenauto's en vrachtauto's (resp. categorieën LDV en HDV) met benzine en diesel als brandstof, waarbij er (veel) meer aan LDV is gemeten dan aan HDV. Het wegverkeer wordt vaak opgedeeld in twee categorieën; LDV (Light Duty Vehicle) met een maximaal voertuig gewicht tot aan 3500 kg en HDV (Heavy Duty Vehicle) met een gewicht vanaf 3500 kg. Onder LDV worden personenauto's, bestelauto's, motortweewielers, bromfietsen en lichte speciale voertuigen verstaan. De overige voertuigen – zware speciale voertuigen zoals vuilniswagens en pompwagens – worden ingedeeld bij HDV. De profielen van LPG bij LDV en tweetaktmotoren bij tweewielers zijn niet geactualiseerd. De omvang van de literatuur op dit terrein is relatief gering. Daar komt bij dat de emissies van VOS door LPG voertuigen relatief een gering aandeel heeft in de totale VOS-emissie door verkeer. Ook CNG (aardgas) voertuigen, waarvan het aandeel zeer klein is maar wel groeit, zijn niet meegenomen.

In veel literatuurbronnen wordt een profiel van de gebruikte testbrandstof gegeven (o.a. Graham et al (2005), Caplain et al (2006) en Peng et al (2007)). De studie van Concawe (2005) omvatte de invloeden van brandstofsamenstelling op het emissieprofiel van PAK. De onderzoekers van Concawe concludeerden dat de brandstofsamenstelling een

verwaarloosbare kleine invloed heeft op het emissieprofiel en dat de emissie voornamelijk afhangt van toegepaste technologie. Aangenomen is dat dit ook geldt voor het VOS profiel. De samenstelling van de brandstof is daarom in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten. Met de opkomst van het bijmengen van biobrandstoffen in de reguliere marktbrandstoffen kan de invloed van de variatie van de brandstof op de emissieprofielen in de toekomst toenemen. De uitkomsten van recent verricht onderzoek door TNO naar het effect van biodiesel op de emissie van toxische componenten wijst uit dat toevoeging tot enkele tientallen procenten biodiesel nauwelijks invloed heeft (TNO, 2009).

Benzine- en diesel verdampingsemissies uit de brandstoftank, bij het tanken en uit het warme motorblok zijn in dit onderzoek niet meegenomen.

Omdat alle nieuwe benzineauto's af-fabriek zijn uitgerust met een geregelde driewegkatalysator sinds eind jaren '80 is het niet meer relevant het profiel van voertuigen zonder driewegkatalysator te vernieuwen. Daarom zijn alleen metingen aan benzinevoertuigen verwerkt in dit onderzoek die zijn uitgerust met driewegkatalysatoren. Voor het dieselprofiel is de situatie complexer. Vanwege de strengere emissienormen, vooral voor PM, is er een sterke ontwikkeling in de nabehandelingstechnologie. De dieselvoertuigen worden veelal uitgerust met een oxidatiekatalysator, die wellicht de profielen beïnvloedt. Sinds 2005 worden moderne diesel personenvoertuigen steeds vaker af-fabriek met gesloten roetfilters uitgerust die veel roetdeeltjes tegenhouden. In de literatuur, behalve in Concawe (2005) en TNO (2003, 2007 en 2009) werden nog geen roetfilter-emissiemetingen aangetroffen, derhalve komt de invloed van roetfilters vrijwel niet terug in de emissieprofielen. In hoofdstuk 4 en 5 zal kort worden stilgestaan bij de invloed van roetfilters op de emissies van VOS en PAK volgens de studies van Concawe en TNO.

2.3 Bruikbaarheid literatuur

Van elke afzonderlijke referentie is bepaald of deze voldoende aansluit bij het project en is aan de hand van een aantal parameters een kwaliteitsbeoordeling gemaakt. Dit omvat geen beoordeling van de gegevens in de literatuur; kwaliteit wordt in dit opzicht gedefinieerd als aansluiting bij het doel en is getoetst aan de onderstaande parameters:

Tabel 1 Parameters voor de kwaliteitsbeoordeling van de gebruikte literatuur.

Parameter	Subvariabele	Omschrijving
Experimentele opzet	Tunnelexperiment	De uitlaatgassen van wegvoertuigen zijn opgevangen uit een tunneluitlaat, vervolgens geanalyseerd en toegewezen aan een bron.
	Directe meting	<i>Ofwel de voertuigen hebben virtuele cycli gereden (zie Procescondities voor een omschrijving van de toegepaste cycli) op een dynamometer of er is tijdens ritten uitlaatgas bemonsterd.</i>
Geteste technologie	Benzine	<i>Als brononderzoek zijn benzinevoertuigen gebruikt, of in het geval van een tunnelexperiment is er een brontoewijzing gedaan naar (ten minste) benzinevoertuigen.</i>
	Diesel	<i>Als brononderzoek zijn dieselveertuigen gebruikt, of in het geval van een tunnelexperiment is er een brontoewijzing gedaan naar (ten minste) dieselveertuigen.</i>
	Benzine/Diesel	Er is geen specifieke brontoewijzing naar benzine- of dieselveertuigen gedaan. Dit komt alleen voor bij tunnelexperimenten en maakt het ongeschikt om toe te passen, behalve als heel grof vergelijkingsmateriaal.
	Katalysator	<i>De invloed van een katalysator wordt getest of er wordt melding gemaakt dat het voertuig of de voertuigreeks is uitgerust met een katalysator.</i>
Geteste voertuig-categorieën	LDV	<i>Er is getest op of met "Light Duty Vehicles", ofwel personenauto's en bestelauto's (<3500 kg).</i>
	HDV	<i>Er is getest op of met "Heavy Duty Vehicles", ofwel vrachtauto's (>3500 kg).</i>
	LDV/HDV	Geen specifieke toewijzing aan LDV of HDV. Komt alleen voor bij tunnelmetingen.
Bouwjaar van de geteste voertuigen	>1995	<i>De geteste voertuigen zijn van bouwjaar 1995 of later.</i>
	<1995	De geteste voertuigen zijn van vóór bouwjaar 1995.
Aantal gemeten VOS-componenten	VOS >10	<i>Er zijn meer dan 10 VOS-componenten gemeten en gerapporteerd.</i>
	VOS <10	Er zijn minder dan 10 VOS-componenten gemeten en gerapporteerd. Ook al worden groepen (bijv. aldehyden, alkanen) als totalen gegeven, wordt dit niet meegeteld als aparte meting.
	Totaal VOS	<i>In het onderzoek is melding gemaakt van het totale gehalte aan VOS.</i>
Aantal gemeten PAK-componenten	PAK >10	<i>Er zijn meer dan 10 PAK-componenten gemeten en gerapporteerd.</i>
	PAK <10	Er zijn minder dan 10 PAK-componenten gemeten en gerapporteerd. Ook al worden groepen als totalen gegeven, dit wordt niet meegeteld als aparte meting.
	Totaal PAK	<i>In het onderzoek is melding gemaakt van het totale gehalte aan PAK.</i>
Procescondities	Meerdere variabelen	<i>Er zijn meerdere testcycli (bijv. FTP 1, EUDC etc.) uitgevoerd en deze zijn apart gerapporteerd. Ook andere variabelen zoals zomer/winter en voertuigonderhoud worden meegenomen.</i>

De vet en cursief gedrukte subvariabelen genieten binnen de parameter de voorkeur – per definitie is dat een directe meting (nauwkeuriger en minder systematisch foutgevoelig dan tunnelmetingen) waarbij zowel benzine- als dieselveertuigen worden getest en verschillende voertuigcategorieën aan bod komen. Idealiter is het aantal gemeten en gerapporteerde VOS- en PAK-componenten groter dan 10 en is er onder meerdere condities getest. Besloten is om de referentie niet te gebruiken indien er geen onderscheid is gemaakt voor technologie en brandstoftype. Dit komt veel voor bij tunnelmetingen, waarbij het moeilijk is om te onderscheiden welke voertuigen zijn gepasseerd gedurende de meting.

2.4 Voertuigcategorieën

De verzamelde literatuur betreft alleen metingen verricht aan personenauto's en vrachtauto's (resp. categorieën LDV en HDV) welke dus automatisch als representatief voor de betreffende categorie genomen worden.

Om de representativiteit van de onderzoeken in de bronnen te beoordelen is nagegaan in hoeverre de VOS-emissie van personenauto's en vrachtauto's bijdragen aan de VOS-emissies van het totale wegverkeer in 2005 (CBS, Statline). Personenauto's met benzine als brandstof zijn verantwoordelijk voor 65% van de emissie. Voor personenauto's in de dieselcategorie is dit 16%. Wanneer de aandelen van de verschillende brandstoffen van de totale VOS emissie wordt uitgerekend komt dat neer op 83% voor benzine en 17% voor diesel (plus nog een klein percentage LPG dat niet is meegenomen). Zie Tabel 2 voor een uitgebreider overzicht.

Tabel 2 VOS-emissies als gevolg van verbranding door het wegverkeer. N.B. de getallen zijn afgerond, de percentages zijn berekend van niet-afgeronde getallen.

Voertuigcategorie	Jaar	Totaal (10 ⁶ kg)	Bebouwde kom (10 ⁶ kg)	Buitenwegen (10 ⁶ kg)	Autosnelwegen (10 ⁶ kg)
Benzine					
Totaal	2005	30	20	5	4
Personenauto's	2005	19 (65%)	12 (61%)	4 (69%)	3 (78%)
Overige voertuigen*	2005	11 (35%)	8 (39%)	2 (31%)	1 (22%)
Diesel					
Totaal	2005	6	3	1	2
Personenauto's	2005	1 (16%)	0,5 (16%)	0,3 (19%)	0,3 (15%)
Vrachtauto's	2005	1 (49%)	0,3 (35%)	0,4 (53%)	0,6 (67%)
Overige voertuigen	2005	2 (34%)	1 (50%)	0,4 (28%)	0,3 (17%)

Bron: Statline, CBS (gegevens over 2005).

* De volgende voertuigcategorieën worden in overige voertuigen ingedeeld: brommers, scooters, motorfietsen en speciale voertuigen

De gegevens in Tabel 2 laten zien dat personenauto's en vrachtauto's een groot deel van de VOS-emissie van het totale wegverkeer veroorzaken. Verder is in Tabel 2 te zien dat de totale VOS-emissies voornamelijk voortkomen uit de benzine aangedreven voertuigen.

2.5 Brandstoffen

In Nederland bestaat het wegverkeer voor het overgrote deel uit voertuigen aangedreven door benzine en diesel; LPG is voor een veel kleiner deel vertegenwoordigd, voor 4% van de emissies. Aardgas heeft vooralsnog een verwaarloosbaar aandeel in de transport brandstoffen. Volgens het CBS (Statline gegevens voor 2004) bestaat 71% uit benzine-

voertuigen, 25% uit dieselveertuigen en 4% uit LPG-voertuigen. Een vergelijking met voorgaande jaren laat zien dat het percentage auto's dat op LPG rijdt is afgenomen. Omdat naar de uitstoot van VOS uit LPG-voertuigen weinig onderzoeken zijn gedaan na 1993 en de uitstoot volgens Veldt et al (1993) beperkt blijft tot een zeer klein aantal alkanen met korte ketens is besloten het profiel te beperken tot de uitstoot uit voertuigen aangedreven met diesel- en benzinemotoren.

2.6 Nabehandeling van uitlaatgas

Een aanzienlijk deel van de tijdens de verbranding gevormde stoffen zou ongewijzigd de uitlaat verlaten als er geen katalytische zou omzetting plaatsvinden van het uitlaatgas. Vanuit de EU is er sinds de jaren '80 een beperking opgelegd aan de uitstoot van CO, NO_x, roet en onverbrande koolwaterstoffen. Daarom worden bijna alle emissies via een katalysator geleid.

2.6.1 *Uitlaatgasbehandeling in benzinevoertuigen*

Benzinemotoren worden veelal uitgerust met de driewegkatalysator die CO omzet naar CO₂, een deel van de onverbrande koolwaterstoffen omzet naar CO₂, en H₂O en stikstofoxiden omzet naar stikstofgas (N₂). Het samengestelde benzineprofiel in dit onderzoek is afkomstig uit gegevens van voertuigen met geregelde driewegkatalysatoren.

2.6.2 *Uitlaatgasbehandeling in dieselveertuigen*

De katalysatoren in dieselveertuigen zetten andere stoffen in de uitlaatgassen om dan de katalysatoren in benzinevoertuigen. Hiertoe worden diesels uitgerust met oxidatiekatalysatoren (die deels onverbrande koolwaterstoffen omzetten in CO₂ en H₂O) en/of SCR (Selective Catalytic Reduction welke stikstofoxiden omzet in stikstofgas). Vooral nog wordt SCR alleen toegepast in de Euro-V vrachtwagens, bussen en trekkeroplegger combinaties. Het is niet bekend hoeveel dieselveertuigen af-fabriek in Nederland zijn uitgerust met oxidatiekatalysatoren. Het in dit onderzoek berekende profiel is tot stand gekomen met gegevens van dieselveertuigen zowel met als zonder katalysator.

Een andere vorm van een nageschakelde uitlaatgasreiniging zijn roetfilters, die in dieselmotoren worden ingebouwd om roet en andere deeltjes op te vangen en periodiek te verbranden (dit komt uitgebreid aan bod in hoofdstuk 5 over PAK). Moderne dieselmotoren worden hiermee uitgerust. Alhoewel de gegevens te summier zijn om een apart profiel te maken voor dieselveertuigen met af-fabriek- en retrofit filters, lijken de resultaten van de metingen te wijzen op een ander emissieprofiel dan diesels zonder roetfilters (Concawe (2005), TNO (2003, 2007 en 2009). Hier wordt dieper op in gegaan bij de bespreking van de diesel VOS- en PAK-profielen (hoofdstuk 4 en 5).

2.7 Procescondities

Het dagelijkse verkeer beperkt zich niet tot een eenparige beweging maar is een complexe cyclus van starten, accelereren, afremmen en voortbewegen bij verschillende snelheden. Uiteraard heeft dit zijn uitwerking in het uitlaatprofiel. Bij hoge vermogens wordt er veel brandstof in de verbrandingskamer ingespoten, die deels onvolledig verbrand uit de motor komen. Een deel van de emissies komen van zulke omstandigheden, maar wellicht belangrijker zijn de emissies van PAK en VOS als van de motor plotseling veel minder vermogen gevraagd wordt. In die omstandigheden komen ook

deels onvolledig verbrande brandstof uit de uitlaat. Daarnaast is de koude start, in het bijzonder bij benzinemotoren en nabehandelingstechnologie, een belangrijk moment waarbij er veel emissies optreden. De standaard ritcycli zoals de Europese NEDC en Amerikaanse FTP die in de wettelijke voertuigtesten worden gebruikt zijn vooral goed om de koude start emissies te bepalen. Voor de voorgenoemde emissies die met motorvermogen en rijdynamiek te maken hebben, zijn andere, zogenaamde praktijk testcycli ontwikkeld. Binnen Europa zijn de CADC testcycli, die in het kader van het Europese ARTEMIS project ontwikkeld zijn, de meest gebruikte praktijkcycli. Een aantal van de meest voorkomende testcycli staan vermeld in Tabel 3.

Tabel 3 Testprotocollen op dynamometerbasis¹.

Testcyclus	Naam voluit	Omschrijving	Bron
US FTP 1	United States Federal Testing Procedure	Deel 1 van de US FTP (koude start fase): 0 – 505 s; interval met afwisselende snelheden tot max. 55 km/h. Inclusief koude start.	Duffy et al (1999) Graham (2005) Schmitz et al (2000)
US FTP 2	United States Federal Testing Procedure	Deel 2 van de US FTP (overgangsfase): 505 – 1360 s; interval met afwisselende snelheden tot 35 km/h.	Peng et al (2007) Cadle et al (1999) Nam et al (2004)
US FTP 3	United States Federal Testing Procedure	Deel 3 van de US FTP (warme start fase): 0 – 505 s; identiek aan US FTP 1 maar met warme start i.p.v. koude start.	Abrantes et al (2004) Schauer et al (2002) Schauer et al (1999)
US06 SFTP	US06 Supplemental Federal Test Procedure	Aanvulling op de FTP cycli die agressief (hoge snelheid, hoge acceleratie) rijgedrag simuleert: 0 – 596 s; gemiddelde snelheid van 77,9 km/h, max 129,2 km/h.	Graham (2005)
Autobahn	Autobahn	Test die het rijgedrag specifiek op de Duitse Autobahn simuleert: 0 – 1000 s; van 120 km/h optrekken tot de maximum snelheid van het voertuig en deze aanhouden tot het einde van de test.	Schmitz et al (2000)
NYCC	New York City Cycle	Test die het rijgedrag in de stad (met name frequent stilstaan met lopende motor en optrekken) simuleert: 0 – 598 s; gemiddelde snelheid van 11,4 km/h, max. 44,6 km/h	EPA* Graham (2005)
IUFC	Inrets urbain fluide court	Test om rijgedrag in steden te simuleren: waarbij een kort profiel vaak wordt herhaald om zo het effect van opwarming van de motor te achterhalen. 19 km/h en max. 44 km/h.	Caplain et al (2006)

¹ Een dynamometer is een rolbank waarop voertuigen worden geplaatst. Zo wordt er een rit nagebootst terwijl het voertuig geen afstand overbrugt.

Testcyclus	Naam voluit	Omschrijving	Bron
CADC urban	Common Artemis Driving Cycle urban	Europese ritcyclus, met verschillende subcycles met variatie in dynamiek, die het praktijk rijgedrag in de stad benadert Met warme start. (bij TNO ook met koude start gereden.)	André et al (2003) Caplain et al (2006)
CADC motorway	Common Artemis Driving Cycle motorway	Europese ritcyclus, met verschillende subcycles met variatie in dynamiek, die het praktijk rijgedrag op de snelweg benadert Met warme start De motorway cyclus is in twee varianten met maximale snelheid van 160 of 130 km/h. De meest laboratoria gebruiken de 130 km/h variant. Met warme start.	
CADC rural/road	Common Artemis Driving Cycle rural	Europese ritcyclus, met verschillende subcycles met variatie in dynamiek, die het praktijk rijgedrag op de buitenweg benadert Met warme start	
UDC	Urban Driving Cycle	Test om rijgedrag in steden te simuleren: 0 – 780 s; 4 cycli van achtereenvolgens 15, 30 en 50 km/h met passieve perioden. Inclusief koude start.	Bailey et al (1989)
ECE	Europese benaming van de vier identieke subcycli van de UDC, testparameters en variabelen zijn identiek.		
EUDC	Extra Urban Driving Cycle	Deel 2 van NEDC, gericht op de buitenweg en snelweg: 780 – 1180 s; intervallen waartussen de snelheid wordt opgebouwd van 70 naar 100 km/h en uiteindelijk naar 120 km/h.	
NEDC	New European Driving Cycle	Testcyclus die bestaat uit 4 maal de ECE met vervolgens een extra EUDC.	Concawe (2005)
MVEG A en B	Mobile Vehicle Emission Group	De NEDC test gereden met een compleet koude motor: de MVEG-B test, voor het jaar 2000 mocht er 40 seconden met stationaire motor gedraaid worden, die niet in de test werd meegenomen: de MVEG-A test voor Euro-1 en Euro2.	Siegl et al (1999) TNO (2003, 2007, 2009)

* <http://www.epa.gov/otaq/models/mob-arch/ora0027.pdf>

Naast emissie-onderzoek op basis van dynamometer-testcycli is er ook een aantal testen uitgevoerd door met een voertuig een van tevoren uitgestippelde route af te leggen, terwijl apparaten aan boord de uitlaatgassen continu analyseren. Dit type onderzoek is – naast een aantal UDC/ECE testen – uitgevoerd door Bailey et al (1989). Daarnaast is er in Bailey et al (1989) een viertal andere testen gedaan waarbij er met een voertuig door het centrum van een stad, door buitenwijken, over landelijke wegen en snelwegen is gereden. De uitlaatgassen tijdens deze ritten werden continu aan boord gemeten. Sinds kort is er een gestandaardiseerde meetmethode hiervoor: het PEMS (Portable Emission Monitoring System), die onderdeel moet gaan uitmaken van de Euro-VI wetgeving voor vrachtverkeer.

Ook is er met varianten op bovenstaande cycli of met geheel andere dynamometertesten gemeten. Onoglu et al (2005) hebben dynamometertests uitgevoerd bij snelheden van 30, 60 en 90 km/h gedurende ca. 20 minuten. De experimenten door TNO (2000) zijn met behulp van een dynamometer gedaan, maar hierbij is geen protocol uit Tabel 3 gevolgd. De tests zijn daarentegen gedaan bij verschillende motorbelastingen en verschillende geleverde vermogens gedurende een vooraf ingestelde tijd, gebaseerd op praktijkrijgedrag in Nederland, met voertuigen met verschillend motorvermogen en

transmissie. De emissies zijn berekend per combinatie van motorbelasting en vermogen. Lim et al (2005) hebben 'heavy duty vehicles' getest volgens mode 7, 11, 10 en 8 van de SAE testcycli voor HDV (Huasberger et al (2001)), welke qua opzet overeenkomen met de tests van TNO (2000). Tanaka et al (2001) maken gebruik van een dynamometer om de voertuigen op te testen, maar doen dit bij verschillende snelheden zonder een van bovenstaande protocollen te volgen. Door Schulz et al (1999) is gekeken naar de emissies voor verschillende lucht-brandstof verhoudingen. De overige bronnen maken gebruik van tunnelmetingen waarbij uitlaatgassen verdund worden afgezogen uit een tunnel en er tevens bijgehouden wordt hoeveel voertuigen de tunnel passeren en wat de karakteristieken van de voertuigen zijn (Corsmeier et al (2005), Stemmler et al (2005)).

Een lijst met alle unieke nummers (zie uitleg bij uitrekenen profielen, pag. 10 en 11) en de bijbehorende testcondities staat in Bijlage 1. Tabel 4 geeft aan wat de uiteindelijke verdeling is van protocollen waarbij getest is en die dus in het profiel vertegenwoordigd zijn.

Tabel 4 Verdeling van testprotocollen die het profiel opmaken.

Protocol	Percentage in onderzoek		
	Benzinevoertuigen	Dieselveertuigen	Benzine/Diesel
US FTP	2	15	10
CADC			7
UDC/ECE	3	28	3
Tunnel		2	
Overige directe metingen	95	55	80

De US FTP en UDC/ECE testen zijn voor 43% gebruikt bij het testen van dieselveertuigen. Benzinevoertuigen zijn voornamelijk getest met andere protocollen zoals EUDC en MVEG of directe metingen zonder internationaal protocol. Tunnelstudies kunnen qua condities worden ingedeeld bij landelijke wegen, aangezien er met constante, gelimiteerde (< 80 km/h) snelheid doorheen wordt gereden (Corsmeier et al (2005), Stemmler et al (2005)).

2.8 Kanttekeningen bij bemonstering- en analysetechnieken van VOS en PAK

In de verschillende studies waarvan in dit rapport gebruik wordt gemaakt zijn verschillende bemonsteringstechnieken gebruikt voor de detectie en kwantificering van VOS en PAK componenten. Onderstaande paragrafen geven enige relevante achtergrondinformatie over de algemene monsternamen- en analyse technieken.

2.8.1 VOS-bemonsteringstechnieken

VOS componenten worden doorgaans gemeten met Tenax adsorptiebuisen. Voor het meten van VOS in uitlaatgassen wordt gebruik gemaakt van monsterneming op basis van tenax adsorptietubes in het bereik van C₆-C₁₂ koolwaterstoffen. Analyse vindt plaats met GC thermische desorptie. C₁-C₅ koolwaterstoffen worden gescheiden bemonsterd in gaszakken en geanalyseerd met behulp van GC-FID. Koolwaterstoffen in het bereik vanaf C₁₂ en groter worden niet bepaald met deze technieken. Tenax GR is een materiaal bestaande uit Tenax TA + 30% grafiet. De GR buis is beter in staat om vluchtige componenten te vangen dan Tenax TA. Het doorbraakvolume van

GR is voor hele vluchtige VOS componenten groter dan die van TA. Tenax monsterneming in combinatie met thermische desorptie is een geschikte methode voor het meten van diverse VOS componenten in o.a. verdund uitlaatgas. Het bereik van zowel TA als GR ligt, afhankelijk van coldtrapinstellingen en scheidingskolom, doorgaans in de range van C₆-C₁₈ componenten.

Conclusie:

De meeste emissie-metingen van VOS in uitlaatgassen zijn uitgevoerd met technieken die niet geschikt zijn voor de bepaling van de semi-vluchtige koolwaterstoffen in de range van C₁₂-C₁₈. Hier moet bij de analyse van meetgegevens rekening mee worden gehouden.

2.8.2 *Aldehyden*

Voor het meten van aldehyden zijn een groot aantal technieken beschreven onderverdeeld in fotometrische, in situ en chromatografische technieken. Fotometrische technieken zijn weinig selectief en gevoelig voor interfererende stoffen. In situ technieken zijn zeer selectieve kwantitatieve meetmethoden, maar worden nauwelijks gebruikt als routinematige meetmethodieken doordat apparatuur complex, groot en duur is.

Voor onderzoek naar aldehyden in uitlaatgasemissies wordt gebruik gemaakt van derivatiseringstechnieken gekoppeld aan chromatografische scheidingstechnieken zoals GC en HPLC. In tegenstelling tot de traditionele toegepaste fotometrische methodieken, kunnen met behulp van chemische derivatisering in combinatie met chromatografie, verschillende aldehyden afzonderlijk worden bepaald.

In Nederland wordt de DNPH methode in combinatie met HPLC toegepast voor uitlaatgasemissies. Uit onderzoek blijkt dat de DNPH methode een beperking oplevert met betrekking tot acroleïne. Het Acroleïne-DNPH-complex is instabiel waardoor tijdens de monsterneming al afbraak plaatsvindt van 25-50%.

Instabiliteit kan worden teruggebracht door korte monsterneming, bevochtigen van de DNPH-cartridge en directe desorptie na monsterneming. Ook dan zijn er nog verliezen te verwachten. Kortom de DNPH methode levert voor acroleïne een onderschatting van de werkelijk te meten concentratie.

Conclusie:

Er is een flinke variabiliteit te verwachten in de uitkomsten van acroleïne in de resultaten van uitlaatgasemissies die het gevolg is van het verschil in de gebruikte analysetechnieken. Een deel van de toename in de huidige emissietallen is wellicht toe te schrijven aan verbetering van de analysetechnieken van de laatste jaren.

2.8.3 *PAK-bemonsteringstechnieken*

Chuang et al (1987) hebben onderzoek uitgevoerd naar monsterneming van PAK in buitenlucht op PUF en XAD-2. Voor deze experimenten waren voor de PUF en XAD-2 kwartfilters geplaatst voor het afvangen van de stofdeeltjes. De monsterneming op PUF en XAD-2 zijn tegelijkertijd in drievoud uitgevoerd met behulp van medium volume samplers (MVS) gedurende 24 uur met een debiet van 11 m³/uur, resulterend in een totale hoeveelheid van 273 m³ per monster. De monsterneming is uitgevoerd in de winter bij temperaturen van -8 t/m -2 °C, en in de zomer bij temperaturen van 19 t/m 24°C. De resultaten van de gemeten concentraties staan vermeld in tabel 5 en 6.

Tabel 5 Resultaten achtergrond concentraties (zomer) aan PAK in buitenlucht bemonsterd op PUF en XAD-2.

Component	XAD-2 ng/m ³	PUF ng/m ³	Verhouding XAD-2/PUF
Naftaleen	182	7,7	24
Fenantreen	152	134	1,1
Antraceen	3,0	3,8	0,8
Fluoranteen	37	47	0,8
Pyreen	11	13	0,8
Benzo[a]antraceen	nd	Nd	
Benzo[e]pyreen	nd	Nd	
Benzo[a]pyreen	nd	Nd	

Tabel 6 Resultaten achtergrond concentraties (winter) aan PAK in buitenlucht bemonsterd op PUF en XAD-2.

Component	XAD-2 ng/m ³	PUF ng/m ³	Verhouding XAD-2/PUF
Naftaleen	68	5,5	12
Fenantreen	17	17	1,0
Antraceen	0,8	0,9	0,8
Fluoranteen	2,6	3,4	0,8
Pyreen	1,7	2,1	0,8
Benzo[a]antraceen	nd	Nd	
Benzo[e]pyreen	nd	Nd	
Benzo[a]pyreen	nd	Nd	

Uit het onderzoek is duidelijk geworden dat XAD-2 een veel grotere afvangst-efficiëntie bezit voor naftaleen (de meest vluchtige 10 VROM PAK) dan PUF. Hierbij is ervan uitgegaan dat de spreiding in identieke monsters ongeveer 20% mag bedragen. Voor fenantreen, antraceen, fluoranteen en pyreen worden vergelijkbare concentratieniveaus gevonden voor zowel PUF als XAD-2.

Tevens kan geconcludeerd worden dat de buitenlucht temperatuur een rol speelt bij afvangst efficiency voor naftaleen op PUF. Kennelijk verbetert de afvangst naarmate de buitenluchttemperatuur lager wordt.

De monstername-efficiëntie van PUF laat zich niet gemakkelijk vertalen. Deze is namelijk afhankelijk van de grootte van het PUF, de dichtheid van de PUF debiet sampler, de temperatuur van de monsterstroom, het bemonsterde volume, de concentratie en monsterbewaringstechniek. Aangezien monsternemingen in verschillende studies gepaard gaan met verschillende dimensies kan er veel variatie optreden in de monsternemingsefficiëntie van PUF, en in het bijzonder de efficiëntie waarmee het vluchtige naftaleen wordt bemonsterd. In het kort kan gezegd worden dat XAD-2 sterker bindend is voor vluchtige componenten dan PUF.

2.8.4 *PAK-Analyse*

In de opwerking van PAK monsters zijn verliezen van ca. 25-40% aan naftaleen te verwachten (Houtzager, 2003). De meeste normen beschrijven de keuze uit twee analysemethodieken, GC/MS isotoopverdunding of HPLC/FLU. Indien GC isotoopverdunding wordt toegepast, wordt gecorrigeerd voor het verlies aan PAK waaronder naftaleen. In het geval van HPLC vindt geen correctie plaats. De keuze van een analytische methode is dus direct van invloed op het resultaat van vooral vluchtige PAK waaronder naftaleen.

Conclusie:

Er is een zeer grote variabiliteit te verwachten in de uitkomsten van vooral naftaleen in emissiemetingen te verwachten die grotendeels het gevolg is van de monsternamen en analysetechnieken. De verschillen kunnen in de orde van een factor 10 tot meer dan 20 oplopen. Dit verklaart een deel van de grote verschillen in de uitkomsten van Naftaleen die in dit onderzoek in de verschillende rapportages werden aangetroffen. In dit onderzoek is getracht om de gevolgen voor de uitkomsten van het onderzoek te minimaliseren door onderzoeken te selecteren die gebruik maken van de beste monsternamen en analysetechnieken.

3 Korte karakterisering van de gebruikte literatuur

Slechts een beperkt aantal studies sloot aan bij het doel van deze studie. Van de aanvankelijk ruim 60 gevonden literatuurbronnen zijn er 21 gebruikt in dit onderzoek (zie Tabel 7). De verzamelde literatuurbronnen zijn allemaal beoordeeld met behulp van eerder genoemde criteria.

Een uitgebreide opsomming van de in de literatuur gebruikte onderzoeksprotocollen, geteste voertuigtypen (technologieën) en brandstoffen staat in Bijlage 1. Van de aanvankelijk gevonden literatuur is er uiteindelijk, na selectie, een aantal referenties overgebleven waarop de nieuwe VOS en PAK-profielen zijn gebaseerd. Deze in het onderzoek gebruikte referenties staan in Tabel 7 weergegeven. In Tabel 7 wordt per gebruikte referentie een bruikbaarheidsscore aangegeven naast de geteste technologieën, brandstoffen en meetprotocollen.

Tabel 7 Korte bruikbaarheidsscore van de in dit onderzoek gebruikte literatuur.

Referentie	Aansluiting (aantal criteria waaraan voldaan is)	Geteste voertuigtypen	Geteste brandstof	Metingtype
Abrantes et al (2004)	8	LDV	Diesel	Direct
Bailey et al (1989)	6	LDV	Benzine	Direct
Cadle et al (1999)	12	LDV + HDV	Benzine + Diesel	Direct
Caplain et al (2006)	12	LDV	Benzine + Diesel	Direct
Corsmeier et al (2005)	5	LDV	Diesel	Tunnel
Duffy et al (1999)	8	LDV	Benzine	Direct
Graham (2005)	12	LDV	Benzine + Diesel	Direct
Lim et al (2005)	8	HDV	Diesel	Direct
Peng et al (2007)	8	LDV	Diesel	Direct
Schauer et al (1999)	9	HDV	Diesel	Direct
Schauer et al (2002)	10	LDV	Benzine	Direct
Schmitz et al (2000)	13	LDV	Benzine + Diesel	Direct
Schulz et al (1999)	7	LDV	Diesel	Direct
Siegl et al (1999)	7	LDV	Diesel	Direct
Stemmler et al (2005)	1	HDV	Diesel	Tunnel
Tanaka et al (2001)	16	LDV + HDV	Benzine + Diesel	Direct
TNO (2000)	14	LDV + HDV	Benzine + Diesel	Direct
Concawe (2005)	16	LDV + HDV	Benzine + Diesel	Direct
TNO (2003)	16	LDV	Benzine + Diesel	Direct
TNO (2007)	16	LDV	Diesel	Direct
TNO (2009)	16	LDV	Diesel	Direct

4 VOS profielen

In dit hoofdstuk wordt uitgelegd hoe de profielen tot stand zijn gekomen en worden de resultaten uitgebreid weergegeven.

4.1 Vluchtige organische stoffen

In deze paragraaf wordt uitgelegd hoe de selectie aan VOS-componenten die in het profiel zijn meegenomen tot stand is gekomen.

De basis voor deze selectie is de stoffenlijst zoals die door Veldt et al (1993) is opgesteld. Vervolgens is er gekeken naar welke componenten er in de literatuurbronnen is gemeten. Hieruit bleek dat er veel verschillen zijn tussen het aantal gemeten en gedetecteerde stoffen per literatuurbron. Er is besloten dat een aantal stoffen niet apart wordt vermeld in de profielen maar gegroepeerd worden weergegeven onder een andere categorie (bijvoorbeeld alkenen < C8 NNB; zie Bijlage 3 voor een complete stoffenlijst). Dit is gedaan ofwel omdat er geen verregaande gezondheids- of milieu-effecten voor al deze stoffen worden verwacht, de stoffen eenmalig voorkomen in de literatuur en omdat het de overzichtelijkheid niet ten goede komt. Bovendien moet er een balans zijn tussen de stoffen waarvoor belangstelling bestaat vanuit het milieubeleid in combinatie met de hoogte van de emissies van deze stoffen.

Uit de gemeten stoffen in de literatuurbronnen is uiteindelijk een lijst met componenten geselecteerd. Tabel 8 geeft weer welke componenten uiteindelijk in het profiel zijn gekomen.

Tabel 8 Gerapporteerde VOS-componenten in onderhavig onderzoek.

Koolstof-skelet	Aldehyden	Alkanen	Alkenen	Aromaten	Ketonen Alkynen
C ₁	Formaldehyde	Methaan			
C ₂	Aceetaldehyde	Ethaan	Etheen		Ethyn
C ₃	Acroleïne	Propaan	Propeen		Aceton Propyn
C ₄	Crotonaldehyde	i-Butaan n-Butaan Isobutaan	1,3-butadieen 1-Buteen i-Buteen		Butyn
C ₅		i-Pentaaan n-Pentaaan Isopentaaan	1-Penteen		
C ₆		n-Hexaaan	1-Hexeen	Benzeen	
C ₇	Benzaldehyde	n-Heptaaan		Tolueen	
C ₈		n-Octaaan		Ethylbenzeen o-Xyleen Styreen	

Koolstof-skelet	Aldehyden	Alkanen	Alkenen	Aromaten	Ketonen Alkynen
C ₉		Nonaan n-Nonaan		1,2,3-Trimethylbenzeen 1,2,4-Trimethylbenzeen 1,3,5-Trimethylbenzeen 2-Ethyltolueen 3-Ethyltolueen 4-Ethyltolueen	
C ₁₀		Decaan n-Decaan			
C ₁₁		n-Undecaan			
C ₁₂		n-Dodecaan			
C ₁₃		n-Tridecaan			
C ₁₄		n-Tetradecaan			
C ₁₅		n-Pentadecaan			
C ₁₆		n-Hexadecaan			
C ₁₇		n-Heptadecaan			
C ₁₈		n-Octadecaan			
C ₁₉		n-Nonadecaan			

Deze stoffenlijst is vrijwel identiek aan de lijst in Veldt et al (1993), met als verschil dat Veldt et al (1993) een middeling doet over componenten met meer dan 10 koolstof-atomen, terwijl deze componenten in de onderhavige selectie wel afzonderlijk worden weergegeven.

In uitlaatgassen komt een aantal componenten voor die door de landelijke Emissie-registratie (door het beleid) als prioritair wordt aangemerkt – zie Tabel 9. Deze stoffen komen allen voor in de selectie in Tabel 8, maar worden uit het oogpunt van overzichtelijkheid apart weergegeven.

Tabel 9 Prioritaire stoffen in uitlaatgassen.

Koolstofskelet	Aldehyden	Alkanen	Alkenen	Aromaten
C ₁	Formaldehyde	Methaan		
C ₂			Etheen	
C ₃	Acroleïne			
C ₄				
C ₅				
C ₆				Benzeen
C ₇				Tolueen
C ₈				Styreen

4.2 Werkwijze

4.2.1 Afleiding van de profielen

Het doel is om voor de drie volgende categorieën een profielwaarde voor VOS-componenten af te leiden. Dit zijn de categorieën:

- 1) benzine/LDV,
- 2) diesel/LDV en
- 3) diesel/HDV.

Als strategie hiervoor is gekozen om per meting (dus per uniek nummer) het profiel te berekenen, deze data vervolgens te middelen en hieruit een algemeen profiel samen te stellen. Het profiel wordt uitgerekend aan de hand van onderstaande rekenmethode:

$$VOS_{component_profiel_i} = \frac{EF_{VOS_component_i}}{EF_{totaal_VOS}}$$

In de formules is 'EF' als afkorting voor emissiefactor gebruikt. Alleen bij het ontbreken van een emissiefactor voor totaal VOS wordt de som van de emissiefactoren van alle componenten per meting gebruikt. De verklaring is dat er in elke onderzoek structureel bepaalde componenten ontbreken. Dit heeft tot gevolg dat in de individuele profielen de aandelen van de individuele componenten te hoog is. In de verschillende studies ontbreken echter steeds andere componenten. Dit heeft tot gevolg dat de gemiddelde fracties niet optellen tot 100%. In een extra rekenstap wordt dit gecorrigeerd door de fractie van elke component in het profiel te delen door de som van de fracties:

$$VOS_{component_profiel_passend} = \frac{VOS_{component_profiel_i}}{\sum_{n=1}^i VOS_{component_profiel}}$$

Na deze laatste rekenstap resulteert een profiel dat de gemiddelde profielwaarden van alle gemeten componenten omvat. Het profiel bevat dimensieloze getallen, uitgedrukt als fractie van de totale VOS emissies. Er kan met behulp van het profiel, volgens onderstaande berekening, eenvoudig een emissie worden berekend voor een VOS-component:

$$Emissie_{VOS-component} = Emissie_{totaal_VOS} \times VOS_{profiel_component_passend}$$

4.3 Resultaten – gepresenteerde VOS-profielen

De in dit literatuuronderzoek uitgerekende profielen staan in de volgende paragrafen weergegeven. VOS en PAK worden apart behandeld binnen de voertuig- en brandstof-categorieën. Eveneens worden de (voor de Emissieregistratie) profielen met prioritair stoffen weergegeven. Afgeleide profielen in Veldt et al (1993) zijn in Bijlage 2 weergegeven.

De profielen zijn tot stand gekomen door emissiefactoren uit literatuurbronnen te verzamelen en deze per brandstof- en voertuigtype te middelen. Allereerst worden de profielen per stofgroep (zoals alkanen en alkenen) weergegeven, daarna wordt er per VOS-component ingegaan op de profielen. Als laatste volgt een berekening van de

VOS-emissies met de in dit onderzoek afgeleide profielwaarden. De berekende emissies worden vergeleken met de in de Emissieregistratie opgenomen emissies.

4.3.1 *De fracties van stofgroepen in de profielen*

Er zijn significante verschillen tussen de 3 profielen in de gehalten van verschillende VOS-componenten in stofgroepen (gegroepeerde componenten die dezelfde organische functionele groep bevatten). In Tabel 10 worden de totale aandelen (opgebouwd uit afzonderlijke stoffen) per stofgroep weergegeven voor de 3 nieuwe profielen.

Tabel 10 Aandeel van stofgroepen in de VOS-profielen.

	Benzine/LDV	Diesel/LDV	Diesel/HDV
Totaal aldehyden	24%	33%	8%
Totaal alkanen	34%	26%	55%
Totaal alkenen	19%	21%	8%
Totaal alkynen	1%	0%	2%
Totaal aromaten	20%	17%	25%
Totaal ketonen	2%	3%	2%

Uit een vergelijking tussen de 3 profielen komt een aantal zaken naar voren:

- 1) De verschillen tussen de drie profielen zijn niet erg groot. Een uitzondering hierop is het diesel/HDV profiel. In het diesel/HDV profiel gaat het grootste aandeel naar alkanen (55%). De tweede goed vertegenwoordigde stofgroep is de aromaten met 25%. De overige stofgroepen zijn voor minder dan 10% aanwezig in het diesel/HDV profiel.
- 2) Tussen de dieselprofielen onderling (tussen de categorieën LDV en HDV) zijn de meest opmerkelijke verschillen het aandeel aan aldehyden, alkanen en alkenen (de overige stofgroepen kennen een overeenkomstig aandeel).
- 3) In beide LDV profielen komt circa 30% aldehyden voor, bij het diesel/HDV profiel is dit slechts 8%. Voor alkenen is het gehalte ca. 20% in het diesel LDV-profiel tegen 8% in het diesel/HDV profiel.

Samenvattend kan gesteld worden dat in de VOS-profielen alkanen, aldehyden, alkenen en aromaten het grootste deel voor hun rekening nemen. Opvallend is de hoge fractie alkanen en aldehyden zowel bij benzine als diesel LDV. Verder valt het hoge aandeel alkanen en aromaten op bij diesel/HDV.

In Tabel 11 worden de profielen per VOS-component weergegeven. Tevens worden de onder- en bovengrens van het 95%-betrouwbaarheidsinterval weergegeven en het aantal metingen dat in de berekening is betrokken. In de laatste kolom staat weergegeven of de verschillen met de waarden uit Veldt et al (1993) significant zijn. Onder significantie wordt verstaan dat de oude profielwaarden van Veldt et al (1993) buiten het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de in dit onderzoek uitgerekende waarden vallen. Waarden die zijn opgemaakt uit 1 meting zijn als 'niet zeker' aangemerkt. Het 95%-betrouwbaarheidsinterval is gebaseerd op een normale verdeling, waarbij het voorkomt dat de ondergrens een negatieve waarde heeft. In dat geval kan deze waarde als 0% worden beschouwd.

Een vergelijking van diesel/HDV profielen is niet uitgevoerd, omdat er geen diesel/HDV profiel bestaat in Veldt et al (1993).

Tabel 11 VOS-profielen voor benzinevoertuigen. Verklaring van de symbolen:
 n = aantal keren dat de stof in het profiel is meegenomen in het profiel.
 StDev = standaarddeviatie. Ondergrens resp. bovengrens = grenzen van het 95%-betrouwbaarheidsinterval. NNB = Niet Nader Benoemd. Deze symbolen worden voor alle tabellen met VOS en PAK profielen gebruikt.

Benzine/LDV							
VOS-component	Profiel	n**	StDev	Ondergrens***	Bovengrens***	Profiel (Veldt et al 1993)	Significantie
Aldehyden							
Aceetaldehyde	0,60%	36	0,85%	0,31%	0,87%	0,50%	Geen verschil
Acroleïne	0,10%	36	0,20%	0,02%	0,15%	0,20%	Sign. verschil
Aldehyden C >4	0,50%	36	0,75%	0,21%	0,70%		
Benzaldehyde	0,20%	33	0,40%	0,06%	0,33%	0,30%	Geen verschil
Crotonaldehyde	0,10%	33	0,24%	0,01%	0,18%		
Formaldehyde	1,50%	36	1,90%	0,85%	2,09%	1,10%	Geen verschil
Methacroleïne	0,10%	5	0,10%	0,01%	0,19%		
Propanal	0,20%	1					
Alkanen							
Alkanen C < 10 NNB	7,40%	37	6,02%	5,43%	9,31%		
Alkanen C >10	0,10%	7	0,16%	-0,04%	0,20%		
Decaan	0,10%	1	0,00%	0,00%	0,00%	3,00%	Niet zeker
Ethaan	2,50%	44	7,13%	0,35%	4,57%	1,80%	Geen verschil
i-Butaan	3,30%	15	4,88%	0,78%	5,72%		
i-Pentaaan	2,80%	15	2,47%	1,60%	4,10%		
Isobutaan	0,10%	29	0,46%	-0,06%	0,28%	1,50%	Sign. verschil
Isopentaaan	1,60%	29	1,27%	1,10%	2,02%	7,00%	Sign. verschil
Methaan	12,40%	48	17,15%	7,56%	17,27%	12,00%	Geen verschil
n-Butaan	1,00%	44	1,61%	0,56%	1,51%	5,50%	Sign. verschil
n-Decaan	1,80%	8	4,58%	-1,38%	4,97%		
n-Heptaan	0,90%	37	0,92%	0,60%	1,19%	5,00%	Sign. verschil
n-Hexaan	1,30%	37	1,92%	0,66%	1,90%	6,00%	Sign. verschil
n-Hexadecaan	0,00%	1					
n-Nonaan	0,70%	8	1,51%	-0,38%	1,71%	2,00%	Sign. verschil
n-Octaan	0,20%	9	0,23%	0,06%	0,35%	7,00%	Sign. verschil
n-Octadecaan	0,00%	1					
Nonaan	0,20%	1				2,00%	Niet zeker
n-Pentaaan	1,10%	44	2,55%	0,36%	1,87%	3,20%	Sign. verschil
Propaan	0,60%	44	2,00%	0,04%	1,23%	1,00%	Geen verschil
Alkenen							
1,3-butadieen	0,20%	33	0,48%	-0,01%	0,32%	0,50%	Sign. verschil
1-Buteen	0,50%	8	0,25%	0,35%	0,70%	1,50%	Sign. verschil
1-Buteen + i-Buteen	1,80%	1				1,50%	Niet zeker
1-Hexeen	0,10%	1				0,40%	Niet zeker

Benzine/LDV							
VOS-component	Profiel	n**	StDev	Onder-grens***	Boven-grens***	Profiel (Veldt et al 1993)	Significantie
1-Penteen	0,00%	29	0,10%	0,01%	0,08%	0,50%	Sign. verschil
Acetyleen	1,20%	44	1,65%	0,73%	1,70%	4,50%	Sign. verschil
Alkenen C < 8 NNB	0,90%	37	1,48%	0,41%	1,36%		
Etheen	4,00%	44	4,96%	2,53%	5,46%	7,00%	Sign. verschil
Propeen	1,80%	44	2,11%	1,17%	2,42%	2,50%	Sign. verschil
Alkynen							
Butyn	0,60%	1					
Propyn	0,30%	1				0,20%	Niet zeker
Aromaten							
1,2,3-Trimethylbenzeen	1,40%	35	1,51%	0,86%	1,85%	1,00%	Geen verschil
1,2,4-Trimethylbenzeen	5,90%	37	4,99%	4,26%	7,47%	4,00%	Sign. verschil
1,3,5-Trimethylbenzeen	1,30%	36	1,42%	0,88%	1,80%	2,00%	Sign. verschil
2-Ethyltolueen	0,50%	7	0,83%	-0,06%	1,16%		
3-Ethyltolueen	1,30%	7	2,07%	-0,26%	2,80%		
4-Ethyltolueen	0,70%	7	1,11%	-0,11%	1,54%		
Aromaten C >= 8	0,20%	41	0,68%	0,03%	0,44%		
Benzeen	7,10%	47	8,84%	4,62%	9,68%	3,50%	Sign. verschil
Ethylbenzeen	2,30%	47	1,79%	1,79%	2,82%	1,50%	Sign. verschil
m&p-Xyleen	6,80%	47	4,55%	5,51%	8,11%	4,00%	Sign. verschil
o-Xyleen	2,50%	47	1,80%	1,99%	3,02%	2,00%	Geen verschil
Styreen	1,00%	7	1,10%	0,23%	1,85%	0,50%	Geen verschil
Tolueen	13,70%	47	7,31%	11,61%	15,79%	7,00%	Sign. verschil
Ketonen							
Aceton	2,30%	36	5,00%	0,71%	3,98%	1,00%	Geen verschil
Ketonen C <15	0,20%	5	0,19%	-0,01%	0,33%		

Significante veranderingen zijn vooral te vinden bij alkanen en alkenen waarvan de waarden zijn afgenomen. De grootste veranderingen zijn waargenomen in de volgende componenten:

- n-octaan (-6,8%),
- isopentaaan (-5,4%),
- n-hexaan (-4,7%),
- n-butaan (-4,5%),
- n-heptaan (-4,1%),
- acetyleen (-3,3%),
- etheen (-3,0%),
- toluen (+6,7%),
- benzeen (+3,7%),
- 1,2,4-trimethylbenzeen (+1,9%) en
- ethylbenzeen (+0,8%).

Overige componenten zijn allemaal minder dan 3% veranderd ten opzichte van het profiel uit Veldt et al (1993). Algemeen kan gesteld worden dat er een daling plaats heeft gevonden in de groep alkanen en een stijging van toluen en benzeen (aromaten).

Aangezien octaan een belangrijke component is in benzine, kan gesteld worden dat de verbranding in de loop der tijd vollediger is geworden. De stijging in de andere alkanen met korte ketens is waarschijnlijk veroorzaakt door de relatief hoge thermodynamische stabiliteit van deze verbindingen. Voor de toename van toluen en benzeen in de uitlaatgassen is wellicht een hoger aandeel van aromaten en alkenen in de brandstof van belang (mogelijk veroorzaakt door de moderne raffinagetechnologie). Maar de ontwikkelingen in de nabehandelingstechnologie kan hier ook een rol in spelen. Zowel in de driewegkatalysator als de oxidatiekatalysator worden vooral de instabiele componenten alsnog omgezet. Volgens Heeb et al (1998, 1999, 2002 en 2003) kan bij toegenomen motorbelasting de uitstoot van benzeen toenemen door suboptimale werking van de driewegkatalysator. Dit effect is waarschijnlijk terug te zien in de profielen. Methaan heeft in het nieuwe profiel geen andere waarde gekregen. Wellicht komt dit omdat de moderne driewegkatalysatoren methaan nog niet kunnen kraken.

De stoffen die in het nieuwe benzineprofiel het grootste deel innemen zijn toluen (13,7%), methaan (12,4%), de gegroepeerde groep alkanen C<10 (7,4%) en benzeen (7,2%). Hiervan behoort alleen toluen tot de componenten die een significant verschillende profielwaarde heeft t.o.v. Veldt et al (1993).

In Tabel 12 worden de dieselprofielen weergegeven (categorie LDV, de HDV profielen staan in Tabel 13). Het aantal componenten dat in de tabel staat is ook het aantal componenten dat in de literatuurbronnen is gevonden.

Tabel 12 VOS-profielen voor dieselveertuigen, categorie LDV.

Diesel/LDV							
VOS-component	Profiel	n	StDev	Onder-grens	Boven-grens	Profiel (Veldt et al 1993)	Significantie
Aldehyden							
Aceetaldehyde	7,50%	47	6,57%	5,66%	9,41%	2,00%	Sign. verschil
Acroleïne	0,70%	46	0,88%	0,49%	1,00%	1,50%	Sign. verschil
Aldehyden C >4	3,00%	47	4,61%	1,71%	4,35%		
Benzaldehyde	0,20%	44	0,35%	0,11%	0,32%	0,50%	Sign. verschil
Crotonaldehyde	0,30%	37	0,57%	0,16%	0,53%	1,00%	Sign. verschil
Formaldehyde	20,60%	47	13,10%	16,90%	24,39%	6,00%	Sign. verschil
Methacroleïne	0,20%	4	0,23%	0,02%	0,47%		
Alkanen							
Alkanen C < 10 NNB	1,90%	32	5,97%	-0,19%	3,95%		
Alkanen C >10	9,10%	1	0,00%	0,00%	0,00%	30,00%	Niet zeker
Decaan	2,00%	1	0,00%	0,00%	0,00%		
Ethaan	1,20%	32	0,66%	0,97%	1,43%	1,00%	Geen verschil
Isobutaan	0,10%	32	0,28%	-0,03%	0,16%		
Isopentaan	0,80%	32	2,12%	0,03%	1,50%		
Methaan	20,30%	47	17,76%	15,21%	25,37%	4,00%	Sign. verschil
n-Butaan	0,20%	32	0,59%	-0,04%	0,36%	2,00%	Sign. verschil
n-Heptaan	0,40%	32	0,57%	0,16%	0,56%		
n-Hexaan	0,30%	32	0,64%	0,07%	0,52%		
n-Hexadecaan	8,90%	14	12,52%	2,38%	15,49%		

Diesel/LDV							
VOS-component	Profiel	n	StDev	Onder-grens	Boven-grens	Profiel (Veldt et al 1993)	Significantie
n-Pentaaan	0,10%	32	0,30%	0,04%	0,25%	2,00%	Sign. verschil
Propaan	1,00%	32	3,92%	-0,31%	2,41%	1,00%	Geen verschil
Alkenen							
1,3-butadieen	0.10%	35	0.17%	0.02%	0.13%		
1-Penteen	0.00%	32	0.02%	0.00%	0.01%		
Acetyleen	2.60%	47	5.49%	1.05%	4.19%	4,00%	Geen verschil
Alkenen C < 8 NNB	0.20%	33	0.35%	0.03%	0.27%		
Etheen	7.40%	47	5.47%	5.85%	8.98%	12,00%	Sign. verschil
Propeen	1.10%	33	0.73%	0.85%	1.35%	3,00%	Sign. verschil
Aromaten							
1,2,3-Trimethylbenzeen	0,10%	33	0,27%	-0,03%	0,15%		
1,2,4-Trimethylbenzeen	0,40%	33	0,70%	0,19%	0,66%		
1,3,5-Trimethylbenzeen	0,00%	32	0,00%	0,00%	0,00%		
Aromaten C >= 8	0,30%	37	1,61%	-0,18%	0,86%		
Benzeen	3,00%	50	2,29%	2,38%	3,65%	2,00%	Sign. verschil
Ethylbenzeen	0,20%	36	0,37%	0,04%	0,28%	0,50%	Sign. verschil
m&p-Xyleen	0,70%	36	0,99%	0,41%	1,05%	1,50%	Sign. verschil
o-Xyleen	0,20%	35	0,48%	0,09%	0,41%	0,50%	Sign. verschil
Tolueen	0,70%	36	0,80%	0,48%	1,00%	1,50%	Sign. verschil
Ketonen							
Aceton	3,30%	40	3,97%	2,11%	4,57%	1,50%	Sign. verschil
Ketonen C <15	0,50%	5	0,73%	-0,12%	1,16%		

Uit Tabel 12 blijkt dat er in alle stofgroepen veranderingen plaatsvinden in de profielwaarden van de VOS-componenten. De meest opvallende significante veranderingen zijn de profielwaarden van:

- methaan (+16,3%),
- formaldehyde (+14,6%),
- acetaldehyde (+5,5%) en
- etheen (-4,6%)

De overige componenten zijn minder dan 3% gewijzigd. De daling van de gegroepede alkanen C > 10 met 21% is erg sterk. Tegelijkertijd is hier nog veel onzekerheid over. Omdat er maar 1 waarneming is in het nieuwe profiel is de profielwaarde onzeker.

In het nieuwe diesel/LDV profiel maakt formaldehyde 20,6% van de VOS-uitstoot uit, gevolgd door methaan (20,3%). Overige componenten met een hoog aandeel zijn de gegroepede alkanen met >10 C-atomen (9%), etheen (8%) en methaan (7%). In tegenstelling tot het benzineprofiel worden voor de aromaten erg lage profielwaarden aangetroffen met ca. een factor 10 lager.

Het diesel/HDV profiel wordt in Tabel 13 getoond. Hierbij kan geen vergelijking worden gemaakt met een oud profiel, omdat er in Veldt et al (1993) geen profiel is opgesteld voor de HDV categorie.

Tabel 13 Profielen voor dieselveertuigen, categorie HDV (inclusief statistische gegevens).

Diesel/HDV					
VOS-component	Profiel	n	StDev	Ondergrens	Bovengrens
Aldehyden					
Acetaldehyde	6,10%	2	6,68%	-3,16%	15,35%
Acroleïne	0,60%	2	0,42%	0,00%	1,16%
Aldehyden C >4	4,10%	2	4,11%	-1,64%	9,75%
Benzaldehyde	0,70%	2	0,47%	0,00%	1,30%
Crotonaldehyde	2,10%	2	1,96%	-0,63%	4,79%
Formaldehyde	4,10%	2	2,41%	0,72%	7,41%
Methacroleïne	1,00%	1			
Propanal	3,60%	1			
Alkanen					
Alkanen C < 10 NNB	1,20%	5	0,56%	0,74%	1,73%
Alkanen C >10	1,70%	5	3,84%	-1,65%	5,08%
Ethaan	7,40%	4	7,21%	0,37%	14,51%
i-Butaan	0,10%	4	0,11%	-0,05%	0,16%
i-Pentaaan	0,00%	4	0,00%	0,00%	0,00%
Isopentaaan	0,70%	1			
n-Butaan	0,70%	5	0,47%	0,26%	1,09%
n-Decaan	11,30%	4	4,19%	7,19%	15,39%
n-Heptaaan	1,40%	5	1,11%	0,46%	2,41%
n-Hexaaan	0,00%	4	0,00%	0,00%	0,00%
n-Hexadecaan	0,20%	1			
n-Nonaan	4,70%	5	3,48%	1,64%	7,74%
n-Octaaan	1,10%	5	0,93%	0,30%	1,93%
n-Octadecaan	0,20%	1			
n-Pentaaan	0,30%	5	0,26%	0,09%	0,54%
Propaan	0,10%	4	0,10%	-0,05%	0,15%
Alkenen					
1,3-Butadieen	0,10%	1			
Acetyleen	1,20%	1			
Alkenen C < 8 NNB	0,80%	1			
Etheen	1,20%	5	0,99%	0,30%	2,03%
Propeen	1,60%	5	1,21%	0,58%	2,70%
Alkynen					
Ethyn	0,80%	4	0,79%	0,04%	1,60%
Aromaten					
1,2,3-Trimethylbenzeen	1,10%	4	0,86%	0,26%	1,95%
1,2,4-Trimethylbenzeen	3,80%	5	2,60%	1,52%	6,07%
1,3,5-Trimethylbenzeen	0,90%	5	0,88%	0,09%	1,63%
2-Ethyltolueen	1,10%	4	0,90%	0,23%	1,99%
3-Ethyltolueen	2,60%	4	1,88%	0,75%	4,44%

Diesel/HDV					
VOS-component	Profiel	n	StDev	Ondergrens	Bovengrens
4-Ethyltolueen	1,20%	4	0,98%	0,20%	2,12%
Aromaten C >= 8	1,40%	5	1,49%	0,05%	2,66%
Benzeen	6,10%	5	4,52%	2,12%	10,04%
Ethylbenzeen	0,90%	5	0,49%	0,45%	1,30%
m&p-Xyleen	2,80%	5	1,31%	1,67%	3,96%
o-Xyleen	1,60%	5	1,12%	0,57%	2,54%
Styreen	0,30%	4	0,63%	-0,30%	0,93%
Tolueen	5,10%	5	2,51%	2,87%	7,27%
Ketonen					
Aceton	5,70%	1			
Ketonen C <15	6,70%	1			

De profielwaarden van diesel/HDV VOS-componenten kennen een grote statistische onzekerheid zoals in Tabel 13 te zien is. Dit wordt veroorzaakt door het geringe aantal metingen waaruit de waarden zijn opgebouwd. Wanneer HDV en LDV (diesel) worden vergeleken valt op dat de HDV profielwaarden een verdeling vertonen met relatief weinig verschillen. Het diesel/LDV profiel kent een aantal flinke uitschieters (formaldehyde, methaan, alkanen C > 10 en acetaldehyde) en is voor de overige componenten min of meer gelijk verdeeld. De meest voorkomende component in het HDV profiel is n-decaan (11,2%), gevolgd door ethaan (7,4%), de gegroepeerde groep ketonen C < 15 (6,6%), acetaldehyde (6,0%) en benzeen (eveneens 6,0%). Formaldehyde en methaan, de stoffen die het meest voorkomen in het LDV-profiel, zijn veel minder vertegenwoordigd in het HDV-profiel. In de literatuurbronnen is geen verklaring aangetroffen voor deze verschillen. Het hoge aandeel formaldehyde kan een gevolg zijn van de werking van de oxidatiekatalysator waarbij methaan deels wordt geoxideerd tot formaldehyde.

De profielwaarden van prioritaire stoffen staan in Tabel 4 weergegeven. Deze geselecteerde stoffen komen ook in het complete profiel voor maar zijn apart weergegeven om een vergelijking met de in de Emissieregistratie opgenomen profielen (en emissies) te vergemakkelijken. Ter vergelijking staan de waarden uit Veldt er al (1993) ernaast. De grijs gevulde cellen geven aan dat de verandering in profielwaarde statistisch significant is.

Tabel 14 Profielenwaarden (aandeel in VOS) voor prioritaire stoffen.

VOS-component	Benzine/LDV		Diesel/LDV		Diesel/HDV
	Dit onderzoek	Veldt et al (1993)	Dit onderzoek	Veldt et al (1993)	Dit onderzoek
Acroleïne	0,10%	0,20%	0,70%	1,50%	0,60%
Benzeen	7,100%	3,50%	3,00%	2,00%	6,00%
Etheen	4,00%	7,00%	7,40%	12,00%	1,20%
Formaldehyde	1,50%	1,10%	20,60%	6,00%	4,00%
Methaan	12,40%	12,00%	20,30%	4,00%	
Styreen	1,00%	0,50%			1,20%
Tolueen	13,70%	7,00%	0,70%	1,50%	5,00%

Met het profiel dat in Tabel 4 gepresenteerd is zijn emissies berekend ter vergelijking met de emissies die momenteel in de Emissieregistratie-database staan. In Tabel 15 worden de uitkomsten getoond met emissies in tonnen. De emissies zijn berekend door de profielwaarde te vermenigvuldigen met de VOS-emissie van personenauto's / lichte bedrijfsvoertuigen met driewegkatalysator voor benzine of alleen personenauto's voor diesel van 2005 uit de Emissieregistratie (t-2 gegevens van 2009, dataset DTT 31).

Tabel 15 Emissie in ton van VOS-componenten voor 2005 volgens de huidige Emissieregistratieprofielen en de afgeleide profielen uit dit onderzoek.

VOS-component	Benzine/LDV		Diesel/LDV		Diesel/HDV	
	Dit onderzoek	Veldt et al (1993)	Dit onderzoek	Veldt et al (1993)	Dit onderzoek	Veldt et al (1993)
Acroleïne	7	16	48	31	22	51
Benzeen	561	244	194	42	225	69
Etheen	313	488	477	253	43	418
Formaldehyde	115	944	1327	88	150	145
Methaan	974	82	1305	128		211
Styreen	82	31			46	
Tolueen	1074	488	48	31	187	51

Bij diesels is geen styreen aangetroffen in de uitlaatgassen. In het benzineprofiel is er een stijging van de benzeen-, methaan-, styreen- en tolueenemissie waarneembaar. De methaanemissie stijgt met een factor 10 volgens de profielwaarde in dit onderzoek. In absolute zin is de methaanemissie van ongeveer 1 kiloton echter nog steeds zeer gering ten opzichte van de landelijke emissie van ongeveer 800 kiloton. De emissies van formaldehyde daalt bij benzine het sterkst met een factor 8.

Opvallend aan het nieuwe diesel/LDV profiel zijn de fors hogere emissies van formaldehyde en methaan. Ook de component benzeen heeft in het diesel/LDV profiel een niet verwaarloosbare bijdrage gekregen. De benzeenemissie die voorheen vrijwel nihil was is ook opvallend in het diesel/HDV profiel.

5 PAK profielen

In dit hoofdstuk wordt de wijze van afleiding van de PAK-profielen omschreven en worden de resultaten van de nieuwe profielen getoond. De definitie van PAK wordt in paragraaf 5.1 uitgelegd. De werkwijze voor het berekenen van PAK-profielen is verschillend van de werkwijze voor het afleiden van VOS-profielen, omdat PAK wordt berekend als een deelfractie van VOS- en PM-emissies. Deze methode is verschillend van de huidige methode die in de Emissieregistratie wordt gebruikt om emissies te berekenen. In de huidige methode worden alle PAK-componenten berekend vanuit de totale emissie van VOS uit verbranding. Er zijn koppelingen gemaakt naar de emissies van VOS en fijnstof (PM₁₀). De verhoudingen van lichte PAK / VOS en zware PAK / PM₁₀ zijn hiervoor gebruikt. Met deze verhoudingen kunnen de emissies van PAK-componenten worden berekend wanneer de VOS- en PM₁₀-emissies bekend zijn. Hieronder wordt uitgelegd hoe de profielwaarden en de emissieberekeningen tot stand zijn gekomen.

5.1 Polycyclische aromatische koolwaterstoffen

Er is voor de afleiding van PAK-profielen allereerst een indeling gemaakt in lichte (vluchtige) en zware (niet vluchtige) PAK en vervolgens is er een selectie gemaakt op PAK10 (de 10 PAK van VROM). De 10 PAK van VROM is een verzameling van PAK-verbindingen die binnen het Nederlandse beleid zijn uitgekozen vanwege de combinatie van effect en uitstoot. In het profiel dat in onderhavig onderzoek is opgesteld, is geselecteerd op PAK10 componenten en benzo(b)fluorantheen. Benzo(b)fluorantheen is meegenomen in het profiel vanwege rapportageverplichtingen aan EMEP, in het kader van de protocollen over HM (Heavy Metals) en POP (Persistent Organic Pollutants). Er zijn in het kader van deze protocollen 4 indicator PAK gekozen, namelijk benzo(a)pyreen, benzo(b)fluorantheen, benzo(k)fluorantheen en indeno(123-cd)pyreen. Alleen benzo(b)fluorantheen komt niet voor in de PAK10, daarom is deze component extra meegenomen. Meer informatie over deze protocollen is te vinden op de website http://www.unece.org/env/lrtap/status/lrtap_s.htm. Uiteindelijk zijn dus profielen gemaakt voor PAK10 plus benzo(b)fluorantheen. In Tabel 6 staan de individuele PAK-verbindingen weergegeven (met dampspanning en categorie waartoe ze zijn ingedeeld).

PAK komen behalve in de vluchtige fase vrij als componenten geadsorbeerd aan roet en overige deeltjes – zie bijvoorbeeld Concawe (2005), TNO (2000, 2003, 2007 en 2009) en Schauer et al (2002, 1999). Om hier een onderscheid in te maken is er op basis van dampspanning een verdeling gemaakt in 'lichte' en 'zware' PAK – 'licht' hoger dan $2 \cdot 10^{-7}$ mm Hg en 'zwaar'. Aangenomen is dat lichte PAK voornamelijk in de gasfase worden uitgestoten en zware PAK geadsorbeerd aan deeltjes worden uitgestoten. Deze keuze wordt in paragraaf 5.2.1 nader toegelicht. Van alle PAK zijn de gegevens opgezocht in de online database van Syracuse Research Corporation (<http://www.syrres.com/esc/physdemo.htm>).

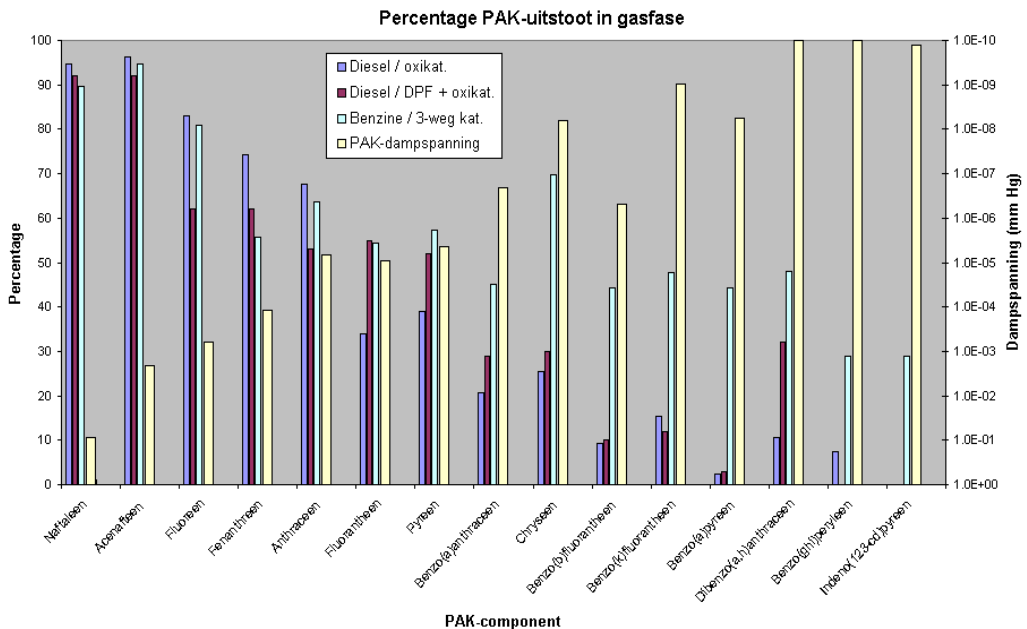
In Tabel 6 staat het onderscheid tussen licht en zware PAK-verbindingen weergegeven.

Tabel 16 Gerapporteerde PAK10 (en benzo(b)fluorantheen) in onderhavig onderzoek en de indeling in categorieën licht en zwaar.

PAK	Dampspanning (mm Hg bij 25°C)	Categorie
Naftaleen	0,0850	Licht
Fenanthreen	0,000121	Licht
Fluorantheen	0,00000922	Licht
Anthraceen	0,00000653	Licht
Benzo(a)anthraceen	0,00000210	Zwaar
Benzo(b)fluorantheen	0,00000500	Zwaar
Chryseen	0,0000000623	Zwaar
Benzo(a)pyreen	0,0000000549	Zwaar
Benzo(k)fluorantheen	0,00000000965	Zwaar
Indeno(123-cd)pyreen	0,00000000125	Zwaar
Benzo(ghi)peryleen	0,00000000100	Zwaar

5.2 Koppeling van PAK-emissie aan VOS en PM

Er zijn weinig onderzoeken te vinden waarin specifiek onderzoek is gedaan naar de verdeling van PAK-emissies over de gas- en deeltjesfase. In het onderzoek van Concawe (2005) is bij elk voertuig gemeten wat de emissie van PAK is in de gas- en deeltjesfase. In de rapportage van Concawe (2005) worden de resultaten weergegeven als percentage PAK-component in de gas- en deeltjesfase. De resultaten uit deze studie staan in Figuur 1 weergegeven.



Figuur 1 Percentage PAK-emissie in de gasfase per PAK-component. Bron: Concawe (2005).

In Figuur 1 worden drie soorten verdelingen van de PAK-uitstoot weergegeven: 1) een middeling van 3 dieselveertuigen met enkel oxidatiekatalysator (oxikat),

- 2) een weergave van een dieselveertuig met oxikat en roetfilter (in Concawe (2005) is er één voertuig getest met deze uitlaatgasbehandeling) en
- 3) een middeling over 3 benzinevoertuigen uitgerust met driewegkatalysatoren.

Daarnaast is de dampspanning behorende bij de PAK-componenten weergegeven (van hoog naar laag en logaritmische schaal). Het is in Figuur 1 duidelijk te zien dat bij dieselveertuigen de lichte PAK (vanaf naftaleen tot en met pyreen) voornamelijk in de gasfase worden uitgestoten en de zware PAK (vanaf benzo(a)anthraceen) in de deeltjesfase. Wel is er een dalende trend waarneembaar die sterk correleert met de dampspanning; hoe hoger de dampspanning, hoe groter het aandeel dat in gasfase wordt geëmitteerd. Ook voor benzinevoertuigen geldt deze trend, maar zware PAK van benzinevoertuigen worden relatief voor een groter aandeel in deeltjesvorm uitgestoten dan bij diesels. Deze gegevens bevestigen de relatie tussen dampspanning en de aggregatietoestand waarin PAK worden uitgestoten.

5.3 Werkwijze

5.3.1 Afleiding van de PAK profielwaarden, emissies, rekenfactoren en emissiefactoren
 Na bestudering van de literatuurgegevens kwam naar voren dat een aantal studies zeer afwijkende emissiefactoren van lichte PAK geeft ten opzichte van het gemiddelde van andere studies. Normaliter is het percentage lichte PAK ten opzichte van het totaal ca. 95% waarbij naftaleen ca. 90% van de lichte fractie opeist (Veldt et al (1993), TNO (2000, 2003, 2007 en 2009). In een aantal studies kwam dit percentage echter consequent onder de 50%, met een enkele uitbijter van 3%. Hierop is besloten om deze studies niet mee te nemen in de berekening van de uiteindelijke PAK profielwaarden. De studies waarvan de gegevens wel zijn gebruikt om profielwaarden te berekenen zijn TNO (2000 en 2003), Schauer et al (2002) en Concawe (2005) voor benzine en Abrantes et al (2004), TNO (2003 en 2009) en Concawe (2005) voor diesel. Uit de verzamelde gegevens in bovenstaande studies zijn 4 verschillende profielen voor PAK afgeleid: 1) benzine / lichte PAK; 2) benzine / zware PAK; 3) diesel / lichte PAK en 4) diesel / zware PAK. Het onderscheid in voertuigcategorie (LDV en HDV) is achterwege gelaten, omdat door het geringe aantal beschikbare metingen de verschillen tussen de voertuigcategorieën niet aantoonbaar waren. De profielen maken dus alleen onderscheid tussen benzine en diesel en zijn voor zowel LDV als HDV toepasbaar.

In de Emissieregistratie wordt gewerkt met rekenfactoren waarbij de emissie van PAK als fractie van de VOS emissie wordt uitgedrukt. Bij de berekening van de PAK profielwaarden (en rekenfactoren verderop in deze sectie) in dit onderzoek is aangenomen dat de componenten in de lichte PAK-fractie uitgestoten worden in de gasfase en dat zware PAK geadsorbeerd aan deeltjes vrijkomen. Daarom zijn de lichte PAK-componenten (anthraceen, fenanthreen, fluorantheen en naftaleen) gekoppeld aan VOS emissie en zware PAK-componenten (benzo(a)anthraceen, benzo(a)pyreen, benzo(ghi)peryleen, benzo(k)fluorantheen, chryseen, indeno(123-cd)pyreen en benzo(b)fluorantheen) gekoppeld aan PM10 emissies. De berekening is gedaan in 9 stappen die hieronder behandeld worden.

1). Berekening van de PAK-profielwaarden.

Vanwege de koppeling van lichte PAK aan VOS emissies en zware PAK aan PM10 emissies zijn de profielen opgesteld over lichte en zware PAK apart; binnen de lichte

PAK telt het profiel op tot 100% (idem voor zware PAK). De gemiddelde profielwaarde van iedere PAK-component is als volgt berekend:

$$PAK_{component_profielwaarde_licht} = \frac{EF_{PAK_component_licht}}{\sum EF_{PAK_component_licht}}$$

Voor de berekening van het zware PAK profiel is gebruikt gemaakt van de bijbehorende emissiefactoren van zware PAK. De emissiefactoren voor benzine en dieselvoertuigen waarmee de profielwaarden zijn berekend, zijn afkomstig van TNO (2000, 2003 en 2009), Schauer et al (2002), Concawe (2005) en Abrantes et al (2004). De PAK profielwaarden worden in Tabel 17 weergegeven.

Tabel 17 PAK-profielen voor benzine- en dieselwegverkeer (resp. personenauto's en lichte bedrijfsvoertuigen en personenauto's) met 95%-betrouwbaarheidsinterval en ondergrens en bovengrens.

Brandstof	Categorie	Stofcode	Profielwaarde	n	StDev	Ondergrens ²	Bovengrens
Benzine	Licht	Anthraceen	1,97%	38	14,99%	-2,80%	6,74%
		Fenanthreen	6,15%	38	23,52%	-1,32%	13,63%
		Fluorantheen	3,05%	38	18,68%	-2,89%	8,99%
		Naftaleen	88,83%	31	23,17%	80,67%	96,98%
	Zwaar	Benzo(a)anthraceen	13,90%	36	11,49%	10,15%	17,66%
		Benzo(a)pyreen	11,22%	36	17,78%	5,41%	17,03%
		Benzo(b)fluorantheen	12,68%	36	12,41%	8,62%	16,73%
		Benzo(ghi)peryleen	15,74%	35	16,06%	10,41%	21,06%
		Benzo(k)fluorantheen	8,75%	36	6,14%	6,74%	10,75%
		Chryseen	29,99%	36	26,28%	21,41%	38,58%
Indeno(123-cd)pyreen	7,72%	36	6,78%	5,51%	9,94%		
Diesel	Licht	Anthraceen	1,61%	76	11,64%	-1,01%	4,23%
		Fenanthreen	12,51%	76	20,30%	7,95%	17,08%
		Fluorantheen	3,51%	76	7,43%	1,84%	5,18%
		Naftaleen	82,37%	76	50,61%	70,99%	93,75%
	Zwaar	Benzo(a)anthraceen	18,84%	76	14,50%	15,58%	22,10%
		Benzo(a)pyreen	8,90%	76	5,28%	7,71%	10,09%
		Benzo(b)fluorantheen	10,45%	76	4,73%	9,38%	11,51%
		Benzo(ghi)peryleen	12,11%	76	8,08%	10,30%	13,93%
		Benzo(k)fluorantheen	8,22%	76	9,03%	6,19%	10,25%
		Chryseen	36,20%	76	20,52%	31,59%	40,82%
Indeno(123-cd)pyreen	5,97%	68	5,24%	4,73%	7,22%		

De profielwaarden worden in stap 5) verder gebruikt bij het berekenen van emissies van PAK stoffen.

² N.B: Voor de negatieve ondergrenzen geldt hetzelfde als bij de VOS profielen: hier kan een ondergrens van 0% worden verondersteld.

2). *Berekening van de fractie lichte (en zware) PAK met emissiefactoren afkomstig uit de literatuur.*

De fractie lichte (en zware) PAK zijn als volgt bepaald:

$$Fractie_{licht} = \frac{\sum EF_{PAK_licht}}{\sum EF_{PAK}}$$

De fractie zware PAK wordt berekend met $1 - Fractie_{licht}$. Met de gegevens uit TNO (2000 en 2003), Concawe (2005) en Schauer et al (2002) is de gemiddelde fractie voor lichte PAK emissies voor benzinevoertuigen bepaald op 0,93 met een standaard-deviatie van 0,18. De fractie lichte PAK emissies uit dieselveertuigen is eveneens 0,93 met een standaard-deviatie van 0,11 waarbij data is gebruikt uit Abrantes et al (2004), TNO (2003 en 2009) en Concawe (2005). De fracties worden vervolgens gebruikt bij het berekenen van de emissies van lichte en zware PAK, zie stap 3).

3). *Berekening van de emissie van lichte en zware PAK.*

Met de fracties uit 2) worden de emissies van lichte en zware PAK berekend:

$$Emissie_{PAK10_licht} = Fractie_{licht} \times Emissie_{PAK}$$

De hieruit resulterende emissies worden gebruikt bij het afleiden van de verhoudingen met VOS en PM10 (zie stap 4). Bij de berekening van de emissie van zware PAK is gebruik gemaakt van de fractie zware PAK. De emissie van PAK is afkomstig uit de Emissieregistratie database met t-2 cijfers voor 2009 (DTT_ID 31). De resultaten van de berekening worden in Tabel 18 getoond (bij berekeningsstap 4).

4). *Berekening van de verhouding PAK-licht / VOS en PAK-zwaar / PM10.*

Voor de koppeling van lichte PAK aan VOS emissies en zware PAK aan PM10 emissies is de verhouding als volgt berekend:

$$Verhouding_{licht} = \frac{Emissie_{PAK_licht}(basisjaar)}{Emissie_{VOS}(basisjaar)}$$

De verhouding zware PAK/PM10:

$$Verhouding_{zwaar} = \frac{Emissie_{PAK_zwaar}(basisjaar)}{Emissie_{PM10}(basisjaar)}$$

Het basisjaar is het jaar waarin de emissies van PAK en VOS hebben plaatsgevonden en zijn eveneens afkomstig uit de bij stap 3) genoemde Emissieregistratie database. De verhoudingen zijn voor 4 steekjaren bepaald, namelijk 1990, 1995, 2000 en 2005. De verhoudingen zijn gebruikt om emissies te berekenen en te vergelijken, zie stap 5). Voor de emissies van benzine wegverkeer zijn de emissies van personenauto's en lichte bedrijfsvoertuigen gebruikt (beide met driewegkatalysator); voor diesel is gebruik gemaakt van de emissies van personenauto's.

5). Berekenen van de emissies van PAK-componenten met de profielwaarde, de bij 4) bepaalde verhouding en de VOS emissies (voor lichte PAK) en PM10 emissies (zware PAK).

De emissies zijn als volgt berekend:

$$Emissie_{PAK_component_licht} = Profielwaarde_{PAK_component_licht} \times Verhouding_{licht}(basisjaar) \times Emissie_{VOS}(emissiejaar)$$

Voor zware PAK is de volgende aanpak gehanteerd:

$$Emissie_{PAK_component_zwaar} = Profielwaarde_{PAK_component_zwaar} \times Verhouding_{zwaar}(basisjaar) \times Emissie_{PM10}(emissiejaar)$$

Het emissiejaar is het jaar waarvoor de emissies worden berekend. Het basisjaar is het jaar waarvan de emissies zijn gebruikt voor de bepaling van de verhoudingen van lichte PAK met VOS en zware PAK met PM10. In Tabel 18 worden de uitkomsten van de berekeningen van stappen 3) en 4) getoond. In Tabel 19 staan de gebruikte emissies van VOS en PM10 weergegeven.

Tabel 18 Berekening van de lichte en zware PAK emissies en verhoudingen met resp. VOS en PM10 voor 4 basisjaren, voor benzine (personenauto's en lichte bedrijfsvoertuigen met driewegkatalysator) en diesel (personenauto's). Emissies in kg.

Brandstof	Basisjaar	Emissie PAK (kg)	Emissie lichte PAK (kg)	Emissie zware PAK (kg)	Verhouding licht PAK licht / VOS	Verhouding zwaar PAK zwaar / PM10
Benzine	1990	5271	4913	358	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$
Benzine	1995	8876	8274	602	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$6,7 \cdot 10^{-4}$
Benzine	2000	10310	9610	700	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
Benzine	2005	11204	10443	760	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
Diesel	1990	120784	112196	8588	$7,1 \cdot 10^{-3}$	$7,2 \cdot 10^{-4}$
Diesel	1995	96620	89750	6870	$7,1 \cdot 10^{-3}$	$7,4 \cdot 10^{-4}$
Diesel	2000	65665	60996	4669	$7,1 \cdot 10^{-3}$	$6,7 \cdot 10^{-4}$
Diesel	2005	48915	45437	3478	$7,1 \cdot 10^{-3}$	$5,9 \cdot 10^{-4}$

Bron van de PAK en VOS emissies: Emissieregistratie database met DTT ID 31.

Tabel 19 Gebruikte VOS en PM10 emissies voor benzine (personenauto's en lichte bedrijfsvoertuigen met driewegkatalysator) en dieselwegverkeer (personenauto's), afkomstig van de Emissieregistratie.

Basisjaren	VOS-emissies (10 ⁶ kg)		PM10-emissies (10 ⁶ kg)	
	Benzine met driewegkat.	Diesel	Benzine met driewegkat.	Diesel
1990	3,7	15,9	1,4	12,0
1995	6,2	12,7	0,9	9,3
2000	7,2	8,6	0,6	7,0
2005	7,8	6,4	0,52	5,9

In Tabel 20 staan de berekende emissies van PAK-componenten uit stap 5) gesommeerd over de aparte componenten weergegeven.

Tabel 20 Sommatie van de berekende PAK-componenten met de methode uit formule 5).

Emissiejaren	Brandstof	Basisjaar			
		1990	1995	2000	2005
1990	Benzine	5271	5868	6494	7000
1995		8499	8876	9272	9590
2000		9768	10033	10310	10533
2005		10574	10791	11020	11204
1990	Diesel	120784	121081	120219	119255
1995		96390	96620	95953	95208
2000		65994	66167	65665	65105
2005		49668	49815	49390	48915

Bron van de data: Emissieregistratie database (DTT_ID 31).

De grijs gemarkeerde cellen zijn combinaties van dezelfde basis- en emissiejaren en geven dus de huidige emissie van PAK weer.

De emissies uit Tabel 20 vormen de basis voor de vergelijking met de huidige emissies zoals ze in de Emissieregistratie database staan. Om een vergelijking met de externe literatuur uit te kunnen voeren zijn de emissies terugberekend naar emissiefactoren in µg/km (stap 6).

6). Terugrekenen van de bij 5) berekende PAK-emissies naar emissiefactoren van de PAK-componenten.

Om de resultaten uit de vorige stappen te valideren is ook nog een vergelijking gemaakt met de huidige emissiefactoren zoals ze in de Emissieregistratie worden gebruikt (afkomstig van Veldt et al (1993) en de emissiefactoren die in deze stap worden berekend:

$$Emissiefactor_{PAK_component} = \frac{Emissie_{PAK_component}}{Kilometrage}$$

De gebruikte voertuigkilometers worden door het CBS aan de Emissieregistratie geleverd en komen overeen met de kilometrages in de DTT 31 Emissieregistratie database. In Tabel 21 wordt een vergelijking getoond van een aantal berekende emissiefactoren uitgedrukt in $\mu\text{g}/\text{km}$.

Tabel 21 Berekende emissiefactoren van naftaleen en benzo(a)pyreen met de gegevens uit 3), 4) en 5).

Brandstof	PAK-stof	Emissiejaren	Basisjaren			
			1990	1995	2000	2005
			Emissiefactoren ($\mu\text{g}/\text{km}$)			
Benzine	Naftaleen (cat. licht)	1990	350,4	350,4	350,4	350,4
		1995	212,8	212,8	212,8	212,8
		2000	173,2	173,2	173,2	173,2
		2005	161,4	161,4	161,4	161,4
Benzine	Benzo(a)pyreen (cat. zwaar)	1990	3,2	8,6	14,2	18,8
		1995	0,7	2,0	3,2	4,3
		2000	0,4	1,0	1,6	2,1
		2005	0,3	0,7	1,1	1,5
Diesel	Naftaleen (cat. licht)	1990	3257,1	3257,1	3257,1	3257,1
		1995	2294,9	2294,9	2294,9	2294,9
		2000	1130,5	1130,5	1130,5	1130,5
		2005	684,2	684,2	684,2	684,2
Diesel	Benzo(a)pyreen (cat. zwaar)	1990	26,9	27,9	25,2	22,1
		1995	18,3	19,0	17,1	15,1
		2000	10,0	10,4	9,3	8,2
		2005	6,9	7,1	6,4	5,7

De emissiefactoren van lichte PAK veranderen niet per basisjaar, omdat de verhouding PAK licht / VOS voor ieder jaar hetzelfde is (zie Tabel 18). De zware PAK veranderen echter wel bij gebruik van verschillende basisjaren. De huidige emissiefactor voor benzo(a)pyreen is $5 \mu\text{g}/\text{km}$ voor zowel benzine- als dieselpersonenauto's en $2500 \mu\text{g}/\text{km}$ en $2000 \mu\text{g}/\text{km}$ voor naftaleen voor benzine- en diesel personenauto's respectievelijk (Veldt et al (1993)). Met de in dit onderzoek gebruikte data wordt de emissiefactor van naftaleen bij benzine-auto's flink lager, maar de benzo(a)pyreen emissiefactor blijft nagenoeg gelijk. Vergelijkingen met de overige emissiefactoren (data wordt hier niet getoond) suggereert dat bij gebruik van het basisjaar 1995 voor benzine wegverkeer en 2000 voor diesel wegverkeer de emissiefactoren het minst sterk afwijken van de literatuur. Daarom is voor benzine 1995 als basisjaar gekozen en 2000 als basisjaar voor diesel voor het afleiden van de verhoudingen.

7). Afleiding van de rekenfactoren.

In de database van de Emissieregistratie wordt gewerkt met rekenfactoren. Een rekenfactor is een aandeel van een stofcomponent uit de stofgroep waartoe deze behoort en zijn dimensieloze getallen. Ze drukken de fractie uit van lichte en zware PAK van respectievelijk de VOS en PM₁₀ emissies. De rekenfactor voor lichte PAK-componenten uit dit onderzoek zijn bepaald door de profielwaarde te vermenigvuldigen met de verhoudingen uit 4):

$$RF_{PAK_comp._licht_benzine} = PAK_{component_profielwaarde} \times \frac{Emissie_{PAK_licht}(1995)}{Emissie_{VOS}(1995)}$$

Voor de zware PAK-componenten is onderstaande methode gebruikt:

$$RF_{PAK_comp._zwaar_diesel} = PAK_{component_profielwaarde} \times \frac{Emissie_{PAK_zwaar}(1995)}{Emissie_{PM_{10}}(1995)}$$

De berekening voor diesel, lichte PAK:

$$RF_{PAK_comp._licht_diesel} = PAK_{component_profielwaarde} \times \frac{Emissie_{PAK_licht}(2000)}{Emissie_{VOS}(2000)}$$

En voor zware PAK:

$$RF_{PAK_comp._zwaar_diesel} = PAK_{component_profielwaarde} \times \frac{Emissie_{PAK_zwaar}(2000)}{Emissie_{PM_{10}}(2000)}$$

Resultaten van de afleiding van rekenfactoren worden in Tabel 22 in paragraaf 5.3 weergegeven. In die tabel staan eveneens de met de rekenfactoren berekende emissies (RF × resp. VOS / PM10 emissies uit 2005).

8). Berekening van emissiefactoren uit deze studie en uit huidige Emissieregistratie-rekenfactoren.

Om een goede en nauwkeurige vergelijking te maken van de in dit onderzoek berekende emissiefactoren zijn de Emissieregistratie (ER) -emissiefactoren berekend uit de VOS emissies en de kilometrages. De uitkomsten zijn verder vergeleken met emissiefactoren van Concawe (2005), TNO (2003) en met emissiefactoren uit het Guidebook (EMEP/CORINAIR (2007)). De berekening van de emissiefactoren (EF) is op de volgende wijze voltrokken:

$$EF_{ER_PAK_comp.} = \frac{Emissie_{VOS}(2005) \times RF_{ER_PAK_comp.}}{kilometrage}$$

De in dit onderzoek bepaalde emissiefactoren zijn, in tegenstelling tot de berekening bij stap 6), 'bottom-up' bepaald. Berekening van de lichte PAK componenten:

$$EF_{\text{dit_onderzoek_PAK_comp.licht}} = \frac{\text{Emissie}_{\text{VOS}}(2005) \times RF_{\text{dit_onderzoek_PAK_comp.}}}{\text{kilometrage}}$$

Berekening van de zware PAK componenten:

$$EF_{\text{dit_onderzoek_PAK_comp.zwaar}} = \frac{\text{Emissie}_{\text{PM}_{10}}(2005) \times RF_{\text{dit_onderzoek_PAK_comp.}}}{\text{kilometrage}}$$

De kilometrages zijn analoog aan stap 6) afkomstig van het CBS. Resultaten van deze vergelijking staan in Tabel 23 in paragraaf 5.6.

5.4 De invloed van roetfilters op de deeltjes- en zware PAK-uitstoot

Van ingebouwde (fabriek-af) roetfilters wordt beweerd dat ze effectief 100% van het fijn stof en daaraan geadsorbeerde componenten tegenhouden (van Aken (2001a), <http://www.vrom.nl/pagina.html?id=25320#watis>). Maar een motor met gesloten roetfilter wordt daarom ook anders afgesteld omdat de fijnstof norm geen probleem meer is. In praktijk is een reductie van fijnstof van 90% normaal. De invloed van roetfilters in dieselveertuigen is niet meegenomen in het profiel omdat dit nog niet voldoende is onderzocht. Roetfilters worden in het uitlaatgastraject van personenauto's en vrachtauto's (LDV en HDV) geplaatst om 'roet' (het totaal aan onverbrande brandstof, aerosolen, PM₁₀, PM_{2,5}, asdeeltjes en overig partikelmateriaal) tegen te houden (PSA, 2001; van Aken et al, 2001 en Ebener et al, 2003). Dieselmotoren hebben een hogere emissiefactor van roet dan benzinemotoren. In de literatuur (Concawe, 2005; Schauer et al, 1999 & 2002) komt naar voren dat zware PAK-componenten voornamelijk geëmitteerd worden in de deeltjesfase. Ook is te verwachten dat andere componenten (met name stoffen met langere koolstofketens zoals > C₁₀-alkanen) door roetfilters worden afgevangen gezien hun fysisch-chemische eigenschappen.

Volgens Concawe (2005) hebben moderne diesels met oxidatiekatalysatoren en roetfilters een uitstoot van PAK die in de buurt van benzinevoertuigen ligt. Er zijn zelfs diesels aangetroffen met een lagere uitstoot. In het onderzoek van Concawe is naast een aantal oude en moderne diesels één dieselauto getest die was voorzien van een roetfilter. Zie Figuur 1 in paragraaf 5.2 voor de resultaten van deze meting. Uit de resultaten van Concawe (2005) van de meting aan het dieselveertuig met roetfilter blijkt dat niet alleen de absolute emissie anders (lager) is, maar dat ook de verdeling van PAK-emissies van dit voertuig anders is. Fluoreen, fenanthreen en anthraceen (lichte PAK) worden meer in deeltjesfase uitgestoten, de overige lichte PAK (met uitzondering van naftaleen en acenafteen) worden juist meer in gasfase uitgestoten. De zware PAK zijn vrijwel gelijk verdeeld over de deeltjes- en gasfase, behalve dibenzo(a,h)anthraceen welke veel meer in gasfase wordt uitgestoten. Het onderzoek van TNO (2003) laat onder andere zien dat de deeltjesemissie is verlaagd met een factor 7 en de PAK-emissies met een factor 3. Op overige componenten heeft het roetfilter in dit onderzoek geen invloed gehad. Het onderzoek van TNO (2009) aan een getest dieselveertuig met ingebouwd roetfilter laat een verlaging van de emissies van alle niet-gereguleerde componenten zien. Emissies van aldehyden waren niet waarneembaar, maar dit resultaat kan niet worden uitgelegd door de onderzoekers. Ten opzichte van diesel zonder roetfilter is de emissie van VOS-componenten (met koolstofskelet C₆-C₁₂) 47% gedaald. De concentraties EC (elemental carbon) lagen beneden de detectiegrens. De PAK-emissies daalden met 90% en de verhouding vluchtige PAK / deeltjesgebonden

PAK schoof veel meer in de richting van de vluchtige PAK. Dit zal geen verwondering wekken aangezien een roetfilter gebouwd is om vooral deeltjes af te vangen. Uit deze resultaten blijkt dat een roetfilter het profiel van PAK-emissie in gas- en deeltjesfase kan wijzigen. Omdat er, behalve het onderzoek van TNO en Concawe, weinig onderzoek is gedaan naar de VOS- en PAK-emissie van dieselloertuigen met roetfilters kon hier nog geen afzonderlijk PAK-profiel voor diesel met roetfilter worden opgesteld. Opgemerkt wordt dat met de koppeling van zware PAK-componenten aan deeltjes-emissies en lichte PAK-componenten aan VOS-emissies er al een 'roetfilter-effect' in de profielen is ingebouwd. Een roetfilter houdt roet (deeltjes) tegen en daarbij ook geadsorbeerde PAK-componenten. Met de voorgestelde koppeling wordt de emissie van zware PAK-componenten vanzelf al lager wanneer de emissie van deeltjes daalt.

5.5 Resultaten – gepresenteerde PAK –profielen

In Tabel 2 worden de nieuwe rekenfactoren en de nieuw berekende emissies van PAK-componenten getoond. Tevens worden ter vergelijking de huidige emissies weergegeven. De lichte PAK emissies van dit onderzoek zijn berekend door de betreffende rekenfactor te vermenigvuldigen met de VOS-emissies uit 2005 (afkomstig uit de Emissieregistratie dataset DTT 31) en de zware PAK emissies zijn tot stand gekomen door de betreffende rekenfactor te vermenigvuldigen met de PM10 emissies, eveneens afkomstig uit dataset DTT 31.

Tabel 22 PAK emissies en rekenfactoren voor benzine en dieselloertuigen.

Brandst.	PAK categorie	PAK-component	Rekenfactor (dit onderzoek)	PAK-emissie in kg (dit onderzoek)	PAK-emissie in kg (actuele methode)
Benzine	Licht (VOS basis)	Anthraceen	$2,6 \cdot 10^{-5}$	206	86
		Fenanthreen	$8,2 \cdot 10^{-5}$	643	586
		Fluorantheen	$4,1 \cdot 10^{-5}$	318	216
		Naftaleen	$1,2 \cdot 10^{-3}$	9277	10145
		PAK10	$1,3 \cdot 10^{-3}$		
	Zwaar (PM ₁₀ basis)	Benzo(a)anthraceen	$9,3 \cdot 10^{-5}$	48	30
		Benzo(a)pyreen	$7,5 \cdot 10^{-5}$	39	19
		Benzo(b)fluorantheen	$8,5 \cdot 10^{-5}$	44	19
		Benzo(ghi)peryleen	$1,1 \cdot 10^{-4}$	55	30
		Benzo(k)fluorantheen	$5,9 \cdot 10^{-5}$	30	19
		Chryseen	$2,0 \cdot 10^{-4}$	104	86
		Indeno(123-cd)pyreen	$5,2 \cdot 10^{-5}$	27	22
		PAK10	$5,8 \cdot 10^{-4}$	10747	11239
		Diesel	Licht (VOS basis)	Anthraceen	$1,1 \cdot 10^{-4}$
Fenanthreen	$8,8 \cdot 10^{-4}$			5685	2773
Fluorantheen	$2,5 \cdot 10^{-4}$			1595	735
Naftaleen	$5,8 \cdot 10^{-3}$			37426	39513
PAK10	$7,1 \cdot 10^{-3}$				
Zwaar (PM ₁₀ basis)	Benzo(a)anthraceen		$1,3 \cdot 10^{-4}$	745	122
	Benzo(a)pyreen		$6,0 \cdot 10^{-5}$	352	99
	Benzo(b)fluorantheen		$7,0 \cdot 10^{-5}$	413	99
	Benzo(ghi)peryleen		$8,1 \cdot 10^{-5}$	479	15
	Benzo(k)fluorantheen		$5,5 \cdot 10^{-5}$	325	38
	Chryseen		$2,4 \cdot 10^{-4}$	1431	395
	Indeno(123-cd)pyreen		$3,5 \cdot 10^{-5}$	209	0
	PAK10		$6,0 \cdot 10^{-4}$	48977	44395

Opvallende veranderingen zijn de emissies van anthraceen (lichte categorie) bij benzine; de emissie uit benzinevoertuigen is verdubbeld, terwijl de emissie uit dieselloertuigen gelijk is gebleven. Voor benzinevoertuigen zijn de emissies van lichte PAK in dezelfde orde van grootte gebleven, terwijl de emissies van zware PAK consequent zijn gestegen. Bij dieselloertuigen echter is er een nog grotere toename te zien in de emissies van zware PAK-componenten. Dit is misschien een effect van uitlaatgas-nabehandeling met oxidatiekatalysatoren die de vluchtige PAK's wellicht meer verwijderen dan de zwaardere PAK's. Fenanthreen en fluorantheen (lichte PAK) zijn ook ruim gestegen, maar naftaleen is gedaald. De emissies van benzo(b)fluorantheen liggen qua orde van grootte gelijk aan benzo(a)pyreen en benzo(k)fluorantheen. In de Emissieregistratie geldt momenteel dezelfde rekenfactor van benzo(a)pyreen en benzo(b)fluorantheen. De emissies van deze twee stoffen zoals berekend in dit onderzoek zijn qua grootte eveneens nagenoeg gelijk.

5.6 Vergelijking van aan activiteit gerelateerde PAK-emissiefactoren

In Tabel 23 zijn “implied” emissiefactoren weergegeven die kunnen worden berekend uit de emissies uit dit onderzoek, naast “implied” emissiefactoren berekend met emissies uit de Emissieregistratie, Guidebook (2007), TNO (2003) en Concawe (2005). De emissiefactoren uit de Emissieregistratie zijn berekend door de emissie te delen door de vervoersprestaties (bron van de emissies: Emissieregistratie dataset DTT 31, bron van de vervoersprestaties: CBS, 2009). Van de laatste twee referenties zijn de emissiefactoren gemiddeld over alle meetwaarden. In Tabel 3 staan de gegevens weergegeven (alle waarden in $\mu\text{g}/\text{km}$).

Tabel 23 Vergelijking van PAK emissiefactoren ($\mu\text{g}/\text{km}$) voor benzinevoertuigen (personenauto's en lichte bedrijfsauto's met driewegkatalysator) en dieselveertuigen (alleen personenauto's).

Brandstof	PAK-component	Park-Emissiefactor 2005 Dit onderzoek	Park-Emissiefactor 2005 ER (Emissieregistratie)	Bouwjaar-Emissiefactor (ER LDV, bouwjaar 2007)	Park-Emissiefactor Guidebook 2007	Voertuig-Emissiefactor TNO (2003)	Voertuig-Emissiefactor Concawe(2005)
Benzine	Anthraceen	3,6	1,5	2,6	0,8	1,0	0,3
	Fenanthreen	11,1	10,1	8,2	4,7	5,1	9,5
	Fluorantheen	5,5	3,7	4,1	2,8	2,5	2,2
	Naftaleen	160,7	175,2	118,5	610,2	825,9	49,8
	Benzo(a)anthraceen	0,5	0,5	0,5	0,4	1,0	0,9
	Benzo(a)pyreen	0,5	0,3	0,4	0,3	0,9	0,2
	Benzo(b)fluorantheen	0,5	0,3	0,4	0,4	1,0	0,4
	Benzo(ghi)peryleen	0,7	0,5	0,5	0,6	1,7	0,3
	Benzo(k)fluorantheen	0,4	0,3	0,3	0,3	1,1	0,2
	Chryseen	1,3	1,5	1,0	0,5	1,4	1,3
	Indeno(123-cd)pyreen	0,3	0,4	0,3	0,4	1,0	0,4
	PAK10 (zonder B(b)f)	184,4	194,1	136,8	621	841,7	65,1
	Diesel	Anthraceen	4,5	4,8	1,0	3,4	0,8
Fenanthreen		35,1	18,8	7,6	85,5	4,1	57,9
Fluorantheen		9,8	5,0	2,1	18,0	2,0	6,1
Naftaleen		230,9	268,5	49,9	2100,0	42,1	493,2
Benzo(a)anthraceen		5,0	0,8	5,4	3,3	0,5	1,1
Benzo(a)pyreen		4,1	0,7	2,5	0,6	0,7	0,5
Benzo(b)fluorantheen		4,8	0,7	3,0	0,6	0,5	0,6
Benzo(ghi)peryleen		5,5	0,1	3,4	1,0	1,1	0,6
Benzo(k)fluorantheen		3,7	0,3	2,3	0,2	0,6	0,2
Chryseen		16,5	2,7	10,3	2,4	0,9	1,9
Indeno(123-cd)pyreen		2,4	0,0	1,5	0,7	0,5	0,4
PAK10 (zonder B(b)f)		321,0	301,7	89,0	2215	53,2	564,0

Alvorens te vergelijken moet men zich realiseren dat de emissiefactoren in de TNO en CONCAWE-onderzoeken bestaan uit emissiefactoren gemeten aan slechts enkele voertuigen. De emissiefactoren van Emissieregistratie en het Guidebook zijn park-

emissiefactoren. De “implied” emissiefactoren van Emissieregistratie hebben als voordeel dat ze meevariëren met de emissie van gereguleerde componenten terwijl de emissiefactoren van het Guidebook zijn gepresenteerd als vaste emissiefactoren die onbepaald in de tijd gelden voor het gehele park. Om een representatieve vergelijking te kunnen maken tussen de emissiefactoren onderling zijn de PAK emissiefactoren van voertuigen met bouwjaar 2007 getoond in Tabel 23. Deze emissiefactoren zijn berekend door de emissiefactoren van VOS en PM (CBS, Statline) te vermenigvuldigen met de rekenfactoren uit Tabel 22.

Benzine

Wanneer de benzine-emissiefactoren die zijn afgeleid met gegevens van de in paragraaf 5.2.1 genoemde bronnen in dit onderzoek worden vergeleken met de andere studies, blijkt dat de emissiefactoren van lichte PAK aanzienlijk kunnen verschillen, met name naftaleen. Omdat naftaleen het leeuwendeel van de totale PAK-emissie opeist heeft een klein verschil in de emissiefactor grote consequenties voor de andere componenten in het profiel. Anthraceen emissiefactoren hebben een spreiding van 0,3 µg/km (Concawe (2005) tot aan 3,6 µg/km (dit onderzoek). De spreiding is in orde van grootte hetzelfde voor fenanthreen en fluorantheen, waarbij de emissiefactoren uit dit onderzoek met resp. 11,1 en 5,5 µg/km de hoogste waarden vertonen in deze vergelijking. Overigens is de emissiefactor van fenanthreen met 11,1 µg/km in dit onderzoek niet veel verschillend van de emissiefactor van de Emissieregistratie (10,1 µg/km). De overige waarden voor fluorantheen variëren van 2,2 (Concawe (2005) tot 5,5 µg/km (dit onderzoek). Naftaleen kent de meest uiteenlopende emissiefactoren, hetgeen niet zal verwonderen aangezien deze variatie in veel onderzoeken worden aangetroffen. Waarschijnlijk hangt dit ook samen met verschillen in de gebruikte monsternamen- en meettechnieken. De laagste waarde is afkomstig van Concawe (2005) en bedraagt 49,8 µg/km. Hogere waarden komen van het Guidebook (2007) en TNO (2003), resp. 610,2 en 825,9 µg/km. De waarden uit dit onderzoek (160,7 µg/km) en uit de Emissieregistratie (175,2 µg/km) zijn daarmee vergeleken aan de lage kant maar wel goed vergelijkbaar met elkaar. Een verklaring hiervoor is niet gevonden. De zware PAK emissiefactoren bij benzine wegverkeer vertonen in het algemeen weinig verschillen ten opzichte van de bestaande waarden, met maximaal een afwijking van een factor ca. 2.

Diesel

De in Tabel 23 getoonde emissiefactoren van het dieselwegverkeer vertonen een wat grilliger patroon. Naftaleen kent een grote spreiding van 42,1 µg/km (TNO (2003) naar 2100 µg/km (Guidebook). De Concawe emissiefactor is 493,2 µg/km. De emissiefactor bepaald in dit onderzoek komt in waarde overeen met de parkemissiefactor uit de Emissieregistratie – 230,9 µg/km vs. 268,5 µg/km. Maar de bouwjaaremmissiefactor voor voertuigen met een recent bouwjaar 2007 is veel lager, namelijk 49,9 µg/km. Overige verschillen zijn bij fenanthreen te vinden, waarbij de waarde uit TNO (2003) met 4,1 µg/km laag is, vooral afgezet tegen de emissiefactor uit het Guidebook van 85,5 µg/km. De emissiefactor uit dit onderzoek (35,1 µg/km) valt ergens in het midden van de aangetroffen spreiding. De verschillen kunnen niet eenvoudig worden verklaard. In de meeste literatuur wordt een grote spreiding aangetroffen in de emissies van PAK. Dit onderzoek heeft als voordeel dat zo veel mogelijk metingen en studies zijn verwerkt. Overige lichte PAK-componenten (anthraceen en fluorantheen) komen qua waarden overeen.

Voor diesel vallen de emissiefactoren van zware PAK die zijn bepaald in dit onderzoek allemaal consequent hoger uit dan in de andere studies. Binnen de selectie is dit gemiddeld ongeveer een factor 10. Ook hiervoor is nog geen verklaring gevonden.

6 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden conclusies getrokken na de vergelijking van de huidige en nieuwe profielen. Daarna wordt een aantal aanbevelingen gedaan om de data in dit onderzoek te versterken en om in de nabije toekomst noodzakelijke vervolgonderzoeken te doen.

6.1 Vergelijking van profielen en emissies

De vergelijking tussen de profielen (en emissies) is aan bod gekomen in hoofdstuk 3 bij de resultaten. In dit hoofdstuk worden er enkele conclusies getrokken.

- Het in dit onderzoek afgeleide benzineprofiel kent, ten opzichte van het huidige profiel zoals in de Emissieregistratie, een verlaging van de alkanen met korte koolstofketens en alkenen: n-octaan (-6,8%), isopentaan (-5,4%), n-hexaan (-4,7%), n-butaan (-4,5%), n-heptaan (-4,1%), acetyleen (-3,3%) en etheen (-3,0%). Een verklaring hiervoor kan zijn dat de katalysatoren in de loop der tijd efficiënter zijn geworden en de brandstof vollediger omzetten. De aromaten in het profiel hebben hogere waarden gekregen: benzeen (+3,7%), 1,2,4-trimethylbenzeen (+1,9%) en ethylbenzeen (+0,8%). Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de driewegkatalysator die aromaten niet zo goed kan omzetten en dus relatief in massa zullen toenemen gezien de efficiëntere omzetting van de overige componenten.
- Het dieselprofiel kent een stijging van methaan (+16,3%), formaldehyde (+14,6%) en acetaldehyde (+5,5%). Gedaald is de profielwaarde van etheen (-4,6%). De overige componenten hebben waarden gekregen die <3% afwijken van het profiel uit Veldt et al (1993). De stijging van formaldehyde en acetaldehyde kan mogelijk worden verklaard door een suboptimale werking van de oxidatiekatalysator waarbij de kortste alkanen of alkenen gedeeltelijk worden geoxideerd. Ook is het mogelijk dat verbeterde analysetechnieken van aldehyden het relatieve aandeel van aldehyden in het profiel heeft doen toenemen.
- Het PAK-profiel voor benzine kent voornamelijk stijgingen in de zware PAK categorie:

Anthraceen:	gestegen met een factor 2,4.
Fenanthreen:	gelijk gebleven.
Fluorantheen:	gestegen met een factor 1,5.
Naftaleen:	gedaald met een factor 0,09 (grote invloed op de rest van het profiel).
Benzo(a)anthraceen:	gestegen met een factor 1,6.
Benzo(a)pyreen:	gestegen met een factor 2,1.
Benzo(b)fluorantheen:	gestegen met een factor 2,3.
Benzo(ghi)peryleen:	gestegen met een factor 1,8.
Benzo(k)fluorantheen:	gestegen met een factor 1,6.
Chryseen:	gestegen met een factor 1,2.
Indeno(123-cd)pyreen:	gestegen met een factor 1,2.

Dit zijn grote veranderingen, maar omdat naftaleen ca. 90% van het totale profiel inneemt veranderen de andere PAK componenten aanzienlijk terwijl naftaleen maar een kleine fractie verandert.

- Het diesel PAK-profiel kent analoog aan het benzine profiel een stijging in de zware PAK componenten en daarnaast een aantal verschuivingen in lichte PAK:

Anthraceen:	gelijk gebleven.
Fenanthreen:	gestegen met een factor 2,1.
Fluorantheen:	gestegen met een factor 2,2.
Naftaleen:	gedaald met een factor 0,9.
Benzo(a)anthraceen:	gestegen met een factor 6,1.
Benzo(a)pyreen:	gestegen met een factor 3,6
Benzo(b)fluorantheen:	gestegen met een factor 4,2.
Benzo(ghi)peryleen:	gestegen met een factor 31,9.
Benzo(k)fluorantheen:	gestegen met een factor 8,6.
Chryseen:	gestegen met een factor 3,6.
Indeno(123-cd)pyreen:	n.v.t. – emissie was 0 kg in de Emissieregistratie. De nieuwe emissie is 209 kg.

Eveneens geldt dat een kleine verandering in het naftaleen profiel een grote verandering van de overige componenten inhoudt. Oorzaken voor de stijging van met name zware PAK is geen expliciete verklaring gevonden, verwacht wordt dat het simpelweg wordt veroorzaakt door andere verbrandingskarakteristieken, motorafstellingen en uitlaatgas-nabehandelingen die in de loop der jaren zijn toegepast.

Over de methodiek hoe PAK-profielen worden afgeleid en worden gekoppeld aan VOS emissies voor lichte PAK componenten en aan PM10 emissies voor zware PAK componenten kan het volgende worden geconcludeerd:

- 1) Lichte PAK worden voornamelijk in de gasfase uitgestoten en zware PAK voornamelijk als deeltjesfase (Concawe (2005), TNO (2003 en 2009)). De koppeling van lichte PAK aan VOS-emissie en zware PAK aan deeltjesemissie in de emissie-berekening is op deze waarneming gestoeld.
- 2) Relatief per hoeveelheid deeltjesmassa bevat de PM-emissie van benzine-motoren meer zware PAK dan de PM-emissie van dieselmotoren. Doordat de PM-emissie van diesel veel hoger is wordt door diesels echter toch veel meer zware PAK uitgestoten.
- 3) Een roetfilter bij dieselveertuigen vermindert niet alleen de uitstoot van PAK aanzienlijk maar heeft ook invloed op de PAK-verdeling in vluchtige en deeltjesfase (TNO).

6.2 Aanbevelingen

In deze paragraaf wordt allereerst een aanbeveling gedaan over hoe om te gaan met het nieuw berekende profiel. Daarna worden enkele punten aangesneden die wellicht interessant zijn voor verder onderzoek of die de in dit literatuuronderzoek behandelde materie wetenschappelijk kunnen versterken.

6.2.1 *Toepassing van de nieuwe VOS- en PAK-profielen*

In Hoofdstuk 4 en 5 (Tabellen 11, 12, 13 en 22) worden de in dit onderzoek berekende profielen getoond. Bij de benzine/LDV en diesel/LDV profielen zijn tevens de 95%-betrouwbaarheidsintervallen berekend. Hieruit blijkt dat voor een aantal componenten de profielwaarde niet significant is gewijzigd ten opzichte van de profielen uit Veldt et al (1993). Dit toont aan dat de emissie van die componenten in de loop der jaren niet of nauwelijks is gewijzigd ondanks de veranderingen in technologie. Aanbevolen wordt om de nieuwe profielen (benzine/LDV, diesel/LDV en diesel/HDV) die in dit onderzoek zijn berekend in zijn geheel ongewijzigd over te nemen in de Emissieregistratie. Wel wordt aanbevolen om na te gaan of de aanpassing van de methaan-emissies voldoet aan de IPCC-richtlijnen alvorens de aldus berekende emissies ook te gebruiken voor de broeikasgas-rapportages.

6.2.2 *Relatief toenemend belang van andere voertuigcategorieën*

De emissies uit wegvoertuigen zijn gereguleerd door middel van Euro-normen. Deze Euro-normen zijn door de Europese Commissie in de loop der tijd telkens aangescherpt. Als gevolg hiervan nemen de emissies van schadelijke stoffen uit wegvoertuigen af. Het relatieve aandeel van schadelijke stoffen uit motoren die niet in het wegverkeer gebruikt worden (zoals tweetaktmotoren van tweewielers en machines/ apparaten die minder streng gereguleerd zijn) neemt hierdoor telkens toe. Er wordt daarom aanbevolen om meer onderzoek te doen naar de VOS en PAK-emissies van met tweetaktmotoren uitgeruste voertuigen en mobiele machines en apparaten aangedreven met benzine of diesel.

6.2.3 *Roetfilters*

Zoals in hoofdstukken 4 en 5 bij de presentatie van de profielen is vermeld, blijkt uit onderzoek van Concawe (2005) en TNO (2003, 2007 en 2009) dat diesels met oxidatiekatalysatoren en ingebouwde roetfilters een lagere uitstoot van VOS en PAK hebben en dat veranderingen optreden in de verhoudingen tussen de componenten. Om een apart profiel voor diesels met roetfilter te kunnen opstellen is het noodzakelijk om eerst meer onderzoek te doen naar de hoogte van de uitstoot van VOS en PAK-componenten in het uitlaatgas van voertuigen met roetfilters.

6.2.4 *Nieuwe nabehandelingstechnologie*

Met de invoering van Euro-V is voor vrachtwagens de SCR nabehandelingstechnologie gebruikelijk geworden. Daarbij wordt met behulp van NH₃, geproduceerd uit ureum, NO_x gereduceerd tot stikstofgas. De meeste onderzoeksresultaten stammen van vóór de invoering van SCR nabehandelingstechnologie. Het is waarschijnlijk dat SCR en andere nabehandelingstechnologie, zoals gebruik van (retrofit-)roetfilters, de-NO_x-filters en dergelijke consequenties hebben voor de opbouw van de emissieprofielen. Onderzoek naar de invloed van katalysatoren op de samenstelling van de emissies is gewenst.

6.2.5 *Veranderde karakteristieken van brandstoffen*

Met de afname van zwavel en het bijmengen van biobrandstoffen en synthetische brandstoffen zoals GTL (Gas To Liquids – een vloeibare brandstof die is omgezet vanuit gasvormige componenten zoals aardgas), veranderen de karakteristieken van de marktbrandstof. In het laboratorium wordt veelal met referentiebrandstof getest. Voor onvolledige verbranding zullen deze karakteristieken relevant zijn, maar daar is nog weinig inzicht in. Bij eventuele aanvullende onderzoeken naar nieuwe technologieën is het dus tevens van belang om ook tests uit te voeren met commercieel verkochte brandstoffen die dan echter wel voldoende gekarakteriseerd dienen te zijn.

6.2.6 *Uitbreiding van de emissiemetingen tot semi-vluchtige koolwaterstoffen*

Met de huidige reguliere toegepaste monsternamen – en analyse technieken wordt een deel van de geëmitteerde semi-vluchtige koolwaterstoffen niet geanalyseerd en ook niet in de emissiecijfers meegenomen. Deze semi-vluchtige koolwaterstoffen zijn wellicht minder belangrijk voor de fotochemische smogvorming echter ze spelen wellicht wel een belangrijke rol bij de vorming van secundair organisch fijn stof (Robinson et al, 2007). Voor de modellering van de luchtkwaliteit van fijn stof is het daarom van belang meer kennis te verkrijgen over de omvang en het belang van de emissies van de niet vluchtige koolwaterstoffen.

7 Referenties

- Abrantes, R.; Assunção, J.; Pesquero, C. – Emission of polycyclic aromatic hydrocarbons from light-duty diesel vehicles exhaust – *Atmospheric Environment* 38 (2004) 1631 – 1640
- Aken, M. van; Verkiel, M. – Particulate trap and combined aftertreatment for passenger car and truck diesel engines – 2001a – TNO rapport 01.OR.VM.028.1/MVA
- André, J.; Lacour, S.; Hugot, M.; Oláh, Z.; Joumard, R. – Impact of the gearshift strategy on emission measurements – Report No. 0307, March 2003
- Bailey, J.; Schmidl, B.; Williams, M. – Speciated hydrocarbon emissions from vehicles operated over the normal speed range on the road - *Atmospheric Environment* 24A, No. 1, pp. 43 – 52, 1990.
- Cadle, S.; Mulawa, P.; Hunsanger, E.; Nelson, K.; Ragazzi, R.; Barrett, R.; Gallagher, G.; Lawson, D.; Knapp, K.; Snow, R. – Composition of Light-Duty Motor Vehicle Exhaust Particulate Matter in the Denver, Colorado Area – *Environmental Science & Technology* / Vol. 33, No. 14, 1999
- Caplain, I.; Cazier, F.; Nouali, H.; Mercier, A.; Déchaux, J.; Nollet, V.; Joumard, R.; André, J.; Vidon, R. – Emissions of unregulated pollutants from European gasoline and diesel passenger cars – *Atmospheric Environment* 40 (2006) 5954 – 5966
- CBS, Statline gegevens. <http://statline.cbs.nl/>
- Chuang, J.; Hannan, S.; Wilson, N. – Field Comparison of Polyurethane Foam and XAD-2 Resin for Air Sampling for Polynuclear Aromatic Hydrocarbons – *Environmental Science & Technology*, Vol. 21, No. 8, 1987
- Concawe – Evaluation of automotive polycyclic aromatic hydrocarbon emissions, report no. 4/05, June 2005
- Corsmeier, U.; Imhof, D.; Kohler, M.; Kühlwein, J.; Kurtenbach, R.; Petrea, M.; Rosenbohm, E.; Vogel, B.; Vogt, U. – Comparison of measured and model-calculated real-world traffic emissions – *Atmospheric Environment* 39 (2005) 5760 – 5775.
- Duffy, B.; Nelson, P.; Ye, Y.; Weeks, I. – Speciated hydrocarbon profiles and calculated reactivities of exhaust and evaporative emissions from 82 in-use light-duty Australian vehicles – *Atmospheric Environment* 33 (1999) 291 – 307
- Ebener, S.; Kallenbach, J.; Zink, U. – Keramische Diesel-Partikelfilter; Material – Design – Funktion - Herausforderung – Abgasnachbehandlung für Dieselmotoren; Beiträge; FAD-Konferenz 12.11. – 13.11.2003
- EMEP/CORINAIR guidebook (versie 23 augustus 2007, B710-79)

- Graham, L. – Chemical characterization of emissions from advanced technology light-duty vehicles – *Atmospheric Environment* 39 (2005) 2385 – 2398
- Huasberger, S.; Ivanisin, M.; Riemersma, I – Modelling of transient influences on HDV emissions, SAE International, document number 2001-24-0076, September 2001.
- M.M.G. Houtzager, PAK in buitenlucht –literatuurstudie, Project 239, TNO rapport R2003/113, 2003
- Klein J., A. Hoen, J. Hulskotte, N. van Duynhoven, R. Smit, A. Hensema, D. Broekhuizen, Methoden voor de berekening van de emissies door mobiele bronnen in Nederland, Taakgroep Verkeer en Vervoer van het project Emissieregistratie, Oktober 2007, <http://www.emissieregistratie.nl/>
- Lim, M.; Ayoko, G.; Morawska, L.; Ristovski, Z.; Jayaratne, E. – Effect of fuel composition and engine operating conditions on polycyclic aromatic hydrocarbon emissions from a fleet of heavy-duty diesel buses – *Atmospheric Environment* 39 (2005) 7836 – 7848
- Nakagawa, F.; Tsunogai, U.; Komatsu, D.; Yamada, K.; Yoshida, N.; Moriizumi, J.; Nagamine, K.; Iida, T.; Ikebe, Y. – Automobile exhaust as a source of ¹³C- and ²D-enriched atmospheric methane in urban areas – *Organic Geochemistry* 36 (2005) 727 - 738
- Nam, E.; Jensen, T.; Wallington, T. – Methane Emissions from Vehicles – *Environmental Science & Technology* Vol. 38, No. 7, 2004
- Onoğlu, I.; Atımtay, A. – Emission Factors of Non-Methane Hydrocarbons For Some Widely Used Passenger Cars in Turkey – *Proceedings of the Third International Symposium on Air Quality Management at Urban, Regional and Global Scales*. 26 – 30 September 2005, Istanbul – Turkey
- Peng, C.; Yang, H.; Lan, C.; Chien, S. – Effects of the biodiesel blend fuel on aldehyde emissions from diesel engine exhaust – *Atmospheric Environment* (2007), doi:10.1016/j.atmosenv.2007.10.016
- PSA, 2001 – http://www.psa-peugeot-citroen.com/en/psa_group/technological_files_b3.php
- Robinson, A.L., Donahue, N.M., Shrivastava, M.K., Weitkamp, E.A., Sage, A.M., Grieshop, A.P., Lane, T.E., Pandis, S.N., Pierce, J.R, *Rethinking organic aerosols: Semivolatile emissions and photochemical aging*, *Science*, 315, 1259, 2007
- Schauer, J.; Kleeman, M.; Cass, G.; Simoneit, B. – Measurement of Emissions from Air Pollution Sources. 2. C₁ through C₃₀ Organic Compounds from Medium Duty Diesel Trucks – *Environmental Science & Technology* Vol. 33, 1999, 1578 – 1587
- Schauer, J.; Kleeman, M.; Cass, G.; Simoneit, B. – Measurement of Emissions from Air Pollution Sources. 5. C₁ – C₃₂ Organic Compounds from Gasoline-Powered Motor Vehicles – *Environmental Science & Technology* Vol. 36, 2002, 1169 – 1180

- Schmitz, T.; Hassel, D.; Weber, F.-J. – Determination of VOC-components in the exhaust of gasoline and diesel passenger cars – *Atmospheric Environment* 34 (2000) 4639 – 4647
- Schulz, H.; Bandeira de Melo, G.; Ousmanov, F. – Volatile Organic Compounds and Particulates as Components of Diesel Engine Exhaust Gas – *Combustion and Flame* Vol. 118, Nr. 1 (1999), 179 – 190.
- Siegl, W.; Hammerle, R.; Herrmann, H.; Wenclawiak, B.; Leurs-Jongen, B. – Organic emissions profile for a light-duty diesel vehicle – *Atmospheric Environment* 33 (1999) 797 – 805.
- Stemmler, K.; Bugmann, S.; Buchmann, B.; Reimann, S. Staehelin, J. – Large decrease of VOC emissions of Switzerland's car fleet during the past decade: results from a highway tunnel study – *Atmospheric Environment* 39 (2005) 1009 – 1018
- Tanaka, M.; Tsujimoto, Y.; Miyazaki, R.; Warashina, M.; Wakamatsu, S. – Peculiarities of volatile hydrocarbon emissions from several types of vehicles in Japan – *Chemosphere – Global Change Science* 3 (2001) 185 - 197
- TNO Environment, Energy and Process Innovation – Keuken, M.; Verhagen, H., Helden, M. van; Gense, N.; Vermeulen, R – Research on emissions of unregulated components by light and heavy duty vehicles – TNO-report TNO-MEP – R 2000/274, July 2000
- TNO Automotive – Hendriksen, P.; Vermeulen, R.; Rijkeboer, R.; Bremmers, D.; Smokers, R.; Winkel, R. – Evaluation of the environmental impact of modern passenger cars on petro, diesel, automotive LPG and CNG – TNO-report 03.OR.VM.055.1/PHE, December 2003
- TNO Industrie en Techniek – Verbeek, R.; Vermeulen, R.; Krul, C.; Kooter, I.; Houtzager, M. – Onderzoek naar het effect van retrofit roetfilters op de emissies van personenwagens met een dieselmotor – TNO-rapport MON-RPT-033-DTS-2007-02842, Oktober 2007
- TNO Built Environment and Geosciences – Houtzager, M.; Tromp, P. – Chemical characterization of Biofuel emissions [DRAFT] – TNO-rapport TNO-034-UT-2009-01077_RPT-ML, May 2009
- Veldt, C.; Van der Most, P. – Emissiefactoren-Vluchtige organische stoffen uit verbrandingsmotoren – Publikatiereeks Emissieregistratie, Nr. 10, april 1993.

8 Ondertekening

Naam en adres van de opdrachtgever:

Planbureau voor de Leefomgeving (PBL)
t.a.v. Drs. C.W.M. van der Maas
Postbus 303
3720 AH Bilthoven

Namen en functies van de projectmedewerkers:

Ir. H.M. ten Broeke
Ir. J.H.J. Hulskotte

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

oktober 2008 – juni 2009

Naam en paraaf tweede lezer:

Ir. P.W.H.G. Coenen

Ondertekening:

Autorisatie vrijgave:

Ir. J.H.J. Hulskotte
projectleider

Ir. R.A.W. Albers
team manager

1 Lijst van unieke nummers en bijbehorende testcondities

Tabel B-1 Literatuurbronnen, unieke profielnummers en bijbehorende protocollen, technologieën en brandstoffen.

Referentie	Uniek	Procescondities	Brandstof	Technologie
Abrantes et al (2004)	21.1	US FTP 1, 2 en 3	Diesel	LDV
Abrantes et al (2004)	21.2	US FTP 1, 2 en 3	Diesel	LDV
Abrantes et al (2004)	21.3	US FTP 1, 2 en 3	Diesel	LDV
Abrantes et al (2004)	21.4	US FTP 1, 2 en 3	Diesel	LDV
Abrantes et al (2004)	21.5	US FTP 1, 2 en 3	Diesel	LDV
Abrantes et al (2004)	21.6	US FTP 1, 2 en 3	Diesel	LDV
Abrantes et al (2004)	21.7	US FTP 1, 2 en 3	Diesel	LDV
Abrantes et al (2004)	21.8	US FTP 1, 2 en 3	Diesel	LDV
Bailey et al (1989)	10.1	ECE koude start	Benzine	LDV
Bailey et al (1989)	10.2	ECE warme start	Benzine	LDV
Bailey et al (1989)	10.4	Buitenstedelijk	Benzine	LDV
Bailey et al (1989)	10.5	Landelijk	Benzine	LDV
Bailey et al (1989)	10.6	Snelweg, 1	Benzine	LDV
Bailey et al (1989)	10.7	Snelweg, 2	Benzine	LDV
Cadle et al (1999)	12.1	US FTP 1, 2 en 3	Benzine	LDV
Cadle et al (1999)	12.2	US FTP 1, 2 en 3	Benzine	LDV
Cadle et al (1999)	12.3	US FTP 1, 2 en 3	Diesel	LDV
Cadle et al (1999)	12.4	US FTP 1, 2 en 3	Diesel	LDV
Caplain et al (2006)	8.1	IUFC / CADC	Benzine	LDV
Caplain et al (2006)	8.2	IUFC / CADC	Benzine	LDV
Caplain et al (2006)	8.3	IUFC / CADC	Benzine	LDV
Caplain et al (2006)	8.4	IUFC / CADC	Benzine	LDV
Caplain et al (2006)	8.5	IUFC / CADC	Diesel	LDV
Caplain et al (2006)	8.6	IUFC / CADC	Diesel	LDV
Caplain et al (2006)	8.7	IUFC / CADC	Diesel	LDV
Caplain et al (2006)	8.8	IUFC / CADC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.1	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.2	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.3	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.4	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.5	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.6	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.7	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.8	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.9	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.10	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.11	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.12	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.13	NEDC	Diesel	LDV

Referentie	Uniek	Procescondities	Brandstof	Technologie
Concawe et al (2005)	29.14	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.15	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.16	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.17	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.18	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.19	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.20	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.21	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.22	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.23	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.24	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.25	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.26	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.27	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.28	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.29	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.30	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.31	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.32	NEDC	Diesel	LDV
Concawe et al (2005)	29.33	NEDC	Benzine	LDV
Concawe et al (2005)	29.34	NEDC	Benzine	LDV
Concawe et al (2005)	29.35	NEDC	Diesel	HDV
Concawe et al (2005)	29.36	NEDC	Diesel	HDV
Concawe et al (2005)	29.37	NEDC	Diesel	HDV
Concawe et al (2005)	29.38	NEDC	Diesel	HDV
Concawe et al (2005)	29.39	NEDC	Diesel	HDV
Corsmeier et al (2005)	1.1	Tunnel	Diesel	HDV
Duffy et al (1999)	5.1	US FTP 1, 2 en 3	Benzine	LDV
Graham (2005)	6.1	US FTP 1, 2 en 3	Diesel	LDV
Graham (2005)	6.2	US FTP 1, 2 en 3	Diesel	LDV
Graham (2005)	6.3	US FTP 1, 2 en 3	Diesel	LDV
Graham (2005)	6.4	US FTP 1, 2 en 3	Benzine	LDV
Graham (2005)	6.5	US FTP 1, 2 en 3	Benzine	LDV
Graham (2005)	6.6	US FTP 1, 2 en 3	Benzine	LDV
Lim et al (2005)	23.2	SAE HDV testmodes 7, 8, 10 en 11*	Diesel	HDV
Lim et al (2005)	23.3	SAE HDV testmodes 7, 8, 10 en 12	Diesel	HDV
Lim et al (2005)	23.4	SAE HDV testmodes 7, 8, 10 en 13	Diesel	HDV
Lim et al (2005)	23.5	SAE HDV testmodes 7, 8, 10 en 14	Diesel	HDV
Lim et al (2005)	23.6	SAE HDV testmodes 7, 8, 10 en 15	Diesel	HDV
Peng et al (2007)	11.1	US FTP 1, 2 en 3	Diesel	LDV
Peng et al (2007)	11.2	US FTP 1, 2 en 3	Diesel	LDV
Peng et al (2007)	11.3	US FTP 1, 2 en 3	Diesel	LDV
Peng et al (2007)	11.4	US FTP 1, 2 en 3	Diesel	LDV
Peng et al (2007)	11.5	US FTP 1, 2 en 3	Diesel	LDV
Peng et al (2007)	11.6	US FTP 1, 2 en 3	Diesel	LDV

Referentie	Uniek	Procescondities	Brandstof	Technologie
Peng et al (2007)	11.7	US FTP 1, 2 en 3	Diesel	LDV
Schauer et al (1999)	26.1	US FTP 1, 2 en 3	Diesel	HDV
Schauer et al (2002)	25.1	US FTP 1, 2 en 3	Benzine	LDV
Schulz et al (1999)	3.1	$\lambda = 0,8 / 20\%$ vol. eff.	Diesel	LDV
Schulz et al (1999)	3.10	$\lambda = 0,9 / 30\%$ vol. eff.	Diesel	LDV
Schulz et al (1999)	3.11	$\lambda = 1 / 30\%$ vol. eff.	Diesel	LDV
Schulz et al (1999)	3.12	$\lambda = 1,2 / 30\%$ vol. eff.	Diesel	LDV
Schulz et al (1999)	3.13	$\lambda = 1,5 / 30\%$ vol. eff.	Diesel	LDV
Schulz et al (1999)	3.14	$\lambda = 2,1 / 30\%$ vol. eff.	Diesel	LDV
Schulz et al (1999)	3.15	$\lambda = 2,5 / 30\%$ vol. eff.	Diesel	LDV
Schulz et al (1999)	3.2	$\lambda = 0,9 / 20\%$ vol. eff.	Diesel	LDV
Schulz et al (1999)	3.3	$\lambda = 1 / 20\%$ vol. eff.	Diesel	LDV
Schulz et al (1999)	3.4	$\lambda = 1,2 / 20\%$ vol. eff.	Diesel	LDV
Schulz et al (1999)	3.5	$\lambda = 1,3 / 20\%$ vol. eff.	Diesel	LDV
Schulz et al (1999)	3.6	$\lambda = 1,6 / 20\%$ vol. eff.	Diesel	LDV
Schulz et al (1999)	3.7	$\lambda = 2,3 / 20\%$ vol. eff.	Diesel	LDV
Schulz et al (1999)	3.8	$\lambda = 2,6 / 20\%$ vol. eff.	Diesel	LDV
Schulz et al (1999)	3.9	$\lambda = 0,8 / 30\%$ vol. eff.	Diesel	LDV
Siegl et al (1999)	4.1	MVEG	Diesel	LDV
Stemmler et al (2005)	19.1	Tunnelstudie	Diesel	HDV
Tanaka et al (2001)	27.1	5 km/h, accelererend	Benzine	LDV
Tanaka et al (2001)	27.10	20 km/h, stabiele	Benzine	LDV
Tanaka et al (2001)	27.11	40 km/h, stabiele	Benzine	LDV
Tanaka et al (2001)	27.12	80 km/h, stabiele	Benzine	LDV
Tanaka et al (2001)	27.2	20 km/h, accelererend	Benzine	LDV
Tanaka et al (2001)	27.3	60 km/h, accelererend	Benzine	LDV
Tanaka et al (2001)	27.4	20 km/h, stabiel	Benzine	LDV
Tanaka et al (2001)	27.5	40 km/h, stabiel	Benzine	LDV
Tanaka et al (2001)	27.6	80 km/h, stabiel	Benzine	LDV
Tanaka et al (2001)	27.7	5 km/h, accelererend	Benzine	LDV
Tanaka et al (2001)	27.8	20 km/h, accelererend	Benzine	LDV
Tanaka et al (2001)	27.9	60 km/h, accelererend	Benzine	LDV
TNO (2000)	28.1	UDC-cold	Benzine	LDV
TNO (2000)	28.10	Urban Sportive-cold	Benzine	LDV
TNO (2000)	28.11	Rural Sportive	Benzine	LDV
TNO (2000)	28.12	Highway Sportive	Benzine	LDV
TNO (2000)	28.13	Urban Sportive-hot	Benzine	LDV
TNO (2000)	28.14	Urban Sportive-cold	Diesel	HDV
TNO (2000)	28.15	Rural Sportive	Diesel	HDV
TNO (2000)	28.16	Highway Sportive	Diesel	HDV
TNO (2000)	28.17	Urban Sportive-hot	Diesel	HDV
TNO (2000)	28.2	EUUDC-rural/highway	Benzine	LDV
TNO (2000)	28.3	UDC-hot	Benzine	LDV
TNO (2003)	30.1	CADC Cold	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.10	CADC Cold	Diesel	LDV

Referentie	Uniek	Procescondities	Brandstof	Technologie
TNO (2003)	30.11	CADC Urban Cold	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.12	CADC Urban Hot	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.13	CADC Cold	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.15	CADC Urban Cold	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.16	CADC Urban Hot	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.18	CADC Cold	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.19	CADC Urban Cold	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.2	CADC Urban Cold	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.20	CADC Urban Hot	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.21	CADC Cold	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.22	CADC Cold	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.23	CADC Urban Cold	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.24	CADC Urban Hot	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.25	CADC Cold	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.27	CADC Urban Cold	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.28	CADC Urban Hot	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.3	CADC Urban Hot	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.30	CADC Cold	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.33	CADC Cold	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.34	EDCc rp	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.35	EDCc nrp	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.39	CADC Cold	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.4	CADC Cold	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.40	CADC Urban Cold	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.41	CADC Urban Hot	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.42	CADC Cold	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.43	CADC Cold	Benzine	LDV
TNO (2003)	30.44	CADC Urban Cold	Benzine	LDV
TNO (2003)	30.45	CADC Urban Hot	Benzine	LDV
TNO (2003)	30.46	CADC Cold	Benzine	LDV
TNO (2003)	30.47	CADC Cold	Benzine	LDV
TNO (2003)	30.48	CADC Urban Cold	Benzine	LDV
TNO (2003)	30.49	CADC Urban Hot	Benzine	LDV
TNO (2003)	30.5	CADC Cold	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.50	CADC Cold	Benzine	LDV
TNO (2003)	30.51	CADC Cold	Benzine	LDV
TNO (2003)	30.52	CADC Urban Cold	Benzine	LDV
TNO (2003)	30.53	CADC Urban Hot	Benzine	LDV
TNO (2003)	30.54	CADC Cold	Benzine	LDV
TNO (2003)	30.56	CADC Urban Cold	Benzine	LDV
TNO (2003)	30.57	CADC Urban Hot	Benzine	LDV
TNO (2003)	30.59	CADC Cold	Benzine	LDV
TNO (2003)	30.6	CADC Urban Cold	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.60	CADC Urban Cold	Benzine	LDV
TNO (2003)	30.61	CADC Urban Hot	Benzine	LDV

Referentie	Uniek	Procescondities	Brandstof	Technologie
TNO (2003)	30.62	CADC Cold	Benzine	LDV
TNO (2003)	30.63	CADC Cold	Benzine	LDV
TNO (2003)	30.64	CADC Urban Cold	Benzine	LDV
TNO (2003)	30.65	CADC Urban Hot	Benzine	LDV
TNO (2003)	30.66	CADC Cold	Benzine	LDV
TNO (2003)	30.68	CADC Urban Cold	Benzine	LDV
TNO (2003)	30.69	CADC Urban Hot	Benzine	LDV
TNO (2003)	30.7	CADC Urban Hot	Diesel	LDV
TNO (2003)	30.71	CADC Cold	Benzine	LDV
TNO (2003)	30.72	CADC Urban Cold	Benzine	LDV
TNO (2003)	30.73	CADC Urban Hot	Benzine	LDV
TNO (2003)	30.74	CADC Cold	Benzine	LDV
TNO (2003)	30.8	CADC Cold	Diesel	LDV
TNO (2009)	32.1	ETC	Diesel	LDV
TNO (2009)	32.2	ETC	Diesel	LDV
TNO (2009)	32.3	ETC	Diesel	LDV
TNO (2009)	32.4	ETC	Diesel	LDV

* mode 7 - 0% power; mode 11 - 25% power; mode 10 - 50% power en mode 8 - 100% power

2 VOS-profielen uit Veldt et al (1993)

Tabel B-2 Oorspronkelijke VOS-profielen uit Veldt et al (1993) voor LDV.

Stof	Benzine/LDV (%)	Diesel/LDV (%)
Alkanen		
Alkanen C < 10 NNB		
Alkanen C > 10		
Decaan	3.0%	
Ethaan	1.8%	1.0%
i-Butaan		
i-Pentaaan		
Isobutaan	1.5%	
Isopentaaan	7.0%	
Methaan	12.0%	4.0%
n-Butaan	5.5%	2.0%
n-Decaan		
n-Heptaan	5.0%	
n-Hexaan	6.0%	
n-Hexadecaan		30.0%
n-Nonaan	2.0%	
n-Octaan	7.0%	
n-Octadecaan		
Nonaan	2.0%	
n-Pentaaan	3.2%	2.0%
Propaan	1.0%	1.0%
Alkenen		
1,3-butadieen	0.5%	
1-Buteen	1.5%	2.0%
1-Buteen + i-Buteen	1.5%	
1-Hexeen	0.4%	
1-Penteen	0.5%	1.0%
Alkenen C < 8 NNB		
Etheen	7.0%	12.0%
Propeen	2.5%	3.0%
Aromaten		
1,2,3-Trimethylbenzeen	1.0%	
1,2,4-Trimethylbenzeen	4.0%	
1,3,5-Trimethylbenzeen	2.0%	
2-Ethyltolueen		
3-Ethyltolueen		
4-Ethyltolueen		
Aromaten C > 8		
Benzeen	3.5%	2.0%
Ethylbenzeen	1.5%	0.5%

Stof	Benzine/LDV (%)	Diesel/LDV (%)
m&p-Xyleen	6.0%	1.5%
o-Xyleen		
Styreen	0.5%	
Tolueen	7.0%	1.5%
Ketonen		
Aceton	1.0%	1.5%
Ketonen C < 15		
Aldehyden		
Aceetaldehyde	0.5%	2.0%
Acroleïne	0.2%	1.5%
Aldehyden C > 4		
Benzaldehyde	0.3%	0.5%
Crotonaldehyde	0.0%	1.0%
Formaldehyde	1.1%	6.0%
Methacroleïne		
Propanal		
Alkynen		
Acetyleen	4.5%	4.0%
Butyn		
Propyn	0.2%	

3 Aggregatie van VOS-componenten

Tabel B-3 Aggregatie van VOS-componenten.

Stofsoort	Stofcode	Aggregatie
Aldehyden	Hexanal	Aldehyden C >4
Aldehyden	2,5-Dimethylbenzaldehyde	Aldehyden C >4
Aldehyden	m+i-Butanal	Aldehyden C >4
Aldehyden	Aldehydes C3-C25	Aldehyden C >4
Aldehyden	Butanal	Aldehyden C >4
Aldehyden	Butyraldehyde	Aldehyden C >4
Aldehyden	Decanal	Aldehyden C >4
Aldehyden	Dimethylbenzaldehyde	Aldehyden C >4
Aldehyden	Dodecanal	Aldehyden C >4
Aldehyden	Heptanal	Aldehyden C >4
Aldehyden	Hexaldehyde	Aldehyden C >4
Aldehyden	o-Tolualdehyde	Aldehyden C >4
Aldehyden	Isovaleraldehyde	Aldehyden C >4
Aldehyden	m-p-Tolualdehyde	Aldehyden C >4
Aldehyden	Nonanal	Aldehyden C >4
Aldehyden	Octanal	Aldehyden C >4
Aldehyden	Pentanal	Aldehyden C >4
Aldehyden	Propionaldehyde	Aldehyden C >4
Aldehyden	Tridecanal	Aldehyden C >4
Aldehyden	Undecanal	Aldehyden C >4
Aldehyden	Valeraldehyde	Aldehyden C >4
Aldehyden	Isopentanal	Aldehyden C >4
Alkanen	Methylcyclopentaan	Alkanen C < 10 NNB*
Alkanen	Ethylcyclohexaan	Alkanen C < 10 NNB
Alkanen	Methylcyclohexaan	Alkanen C < 10 NNB
Alkanen	2-Methylheptaan	Alkanen C < 10 NNB
Alkanen	2- + 3-Methylhexaan	Alkanen C < 10 NNB
Alkanen	2,2,4-Trimethylhexaan	Alkanen C < 10 NNB
Alkanen	2,2,4-Trimethylpentaan	Alkanen C < 10 NNB
Alkanen	2,2-Dimethylbutaan	Alkanen C < 10 NNB
Alkanen	2,2-Dimethylpropan	Alkanen C < 10 NNB
Alkanen	2,3,4-trimethylpentaan	Alkanen C < 10 NNB
Alkanen	2,3-Dimethylhexaan	Alkanen C < 10 NNB
Alkanen	2,3-dimethylpentaan	Alkanen C < 10 NNB
Alkanen	2,4-Dimethylhexaan	Alkanen C < 10 NNB
Alkanen	2,4-Dimethylpentaan	Alkanen C < 10 NNB
Alkanen	2,3-Dimethylbutaan	Alkanen C < 10 NNB
Alkanen	2,5-Dimethylhexaan	Alkanen C < 10 NNB
Alkanen	2-Methylhexaan	Alkanen C < 10 NNB
Alkanen	2-Methylpentaan	Alkanen C < 10 NNB

Stofsoort	Stofcode	Aggregatie
Alkanen	Cyclohexaan	Alkanen C < 10 NNB
Alkanen	3-Ethylhexaan	Alkanen C < 10 NNB
Alkanen	3-methylhexaan	Alkanen C < 10 NNB
Alkanen	3-Methylpentaan	Alkanen C < 10 NNB
Alkanen	Cyclopentaan	Alkanen C < 10 NNB
Alkanen	n-Heptacosaan	Alkanen C >10
Alkanen	Dodecylcyclohexaan	Alkanen C >10
Alkanen	Dodecaan	Alkanen C >10
Alkanen	Decylcyclohexaan	Alkanen C >10
Alkanen	n-Heneicosaan	Alkanen C >10
Alkanen	n-Eicosaan	Alkanen C >10
Alkanen	Farnesaaan	Alkanen C >10
Alkanen	Fytaan	Alkanen C >10
Alkanen	2,6,10-Trimethyltridecaan	Alkanen C >10
Alkanen	n-Docosaaan	Alkanen C >10
Alkanen	Hexylcyclohexaan	Alkanen C >10
Alkanen	Heneicosylcyclohexaan	Alkanen C >10
Alkanen	2,4-Dimethyloctaan	Alkanen C >10
Alkanen	Heptadecylcyclohexaan	Alkanen C >10
Alkanen	Heptylcyclohexaan	Alkanen C >10
Alkanen	Eicosylcyclohexaan	Alkanen C >10
Alkanen	Hexadecylcyclohexaan	Alkanen C >10
Alkanen	n-Dodecaan	Alkanen C >10
Alkanen	Octylcyclohexaan	Alkanen C >10
Alkanen	n-Heptadecaan	Alkanen C >10
Alkanen	Tetradecaan	Alkanen C >10
Alkanen	Undecylcyclohexaan	Alkanen C >10
Alkanen	Undecaan	Alkanen C >10
Alkanen	Tridecylcyclohexaan	Alkanen C >10
Alkanen	Tridecaan	Alkanen C >10
Alkanen	Tetradecylcyclohexaan	Alkanen C >10
Alkanen	Pristaan	Alkanen C >10
Alkanen	Pentylcyclohexaan	Alkanen C >10
Alkanen	Pentadecaan	Alkanen C >10
Alkanen	Octadecylcyclohexaan	Alkanen C >10
Alkanen	n-Undecaan	Alkanen C >10
Alkanen	n-Tridecaan	Alkanen C >10
Alkanen	Nonadecylcyclohexaan	Alkanen C >10
Alkanen	n-Hexacosaaan	Alkanen C >10
Alkanen	n-Nonacosaaan	Alkanen C >10
Alkanen	Pentadecylcyclohexaan	Alkanen C >10
Alkanen	n-Octacosaaan	Alkanen C >10
Alkanen	n-Tricosaaan	Alkanen C >10
Alkanen	Nonylcyclohexaan	Alkanen C >10
Alkanen	Norfarnesaaan	Alkanen C >10

Stofsoort	Stofcode	Aggregatie
Alkanen	Norpristaan	Alkanen C >10
Alkanen	n-Pentacosaan	Alkanen C >10
Alkanen	n-Pentadecaan	Alkanen C >10
Alkanen	n-Tetracosaan	Alkanen C >10
Alkanen	n-Tetradecaan	Alkanen C >10
Alkanen	n-Nonadecaan	Alkanen C >10
Alkenen	cis-Buteen	Alkenen C < 8 NNB
Alkenen	Isopreen	Alkenen C < 8 NNB
Alkenen	α -Olefins C3-C5	Alkenen C < 8 NNB
Alkenen	trans-Buteen	Alkenen C < 8 NNB
Alkenen	trans-2-Penteen	Alkenen C < 8 NNB
Alkenen	trans-2-Buteen	Alkenen C < 8 NNB
Alkenen	Isobuteen	Alkenen C < 8 NNB
Alkenen	Cyclopenteen	Alkenen C < 8 NNB
Alkenen	2-Methyl-1-Buteen	Alkenen C < 8 NNB
Alkenen	cis-2-Penteen	Alkenen C < 8 NNB
Alkenen	trans-2-Hexeen	Alkenen C < 8 NNB
Alkenen	1-Octeen	Alkenen C < 8 NNB
Alkenen	2-Methyl-1-Penteen	Alkenen C < 8 NNB
Alkenen	2-Methyl-2-Buteen	Alkenen C < 8 NNB
Alkenen	2-Methyl-2-Penteen	Alkenen C < 8 NNB
Alkenen	3-Methyl-1-Buteen	Alkenen C < 8 NNB
Alkenen	4-Methyl-1-Penteen	Alkenen C < 8 NNB
Alkenen	cis-2-Buteen	Alkenen C < 8 NNB
Alkenen	cis-2-Hexeen	Alkenen C < 8 NNB
Aromaten	n-Propylbenzeen	Aromaten C \geq 8
Aromaten	m&p-Ethyltolueen	Aromaten C \geq 8
Aromaten	o-Ethyltolueen	Aromaten C \geq 8
Aromaten	n-Pentylbenzeen	Aromaten C \geq 8
Aromaten	m-Ethyltolueen	Aromaten C \geq 8
Aromaten	m&p-Tolualdehyde	Aromaten C \geq 8
Aromaten	p-tolualdehyde	Aromaten C \geq 8
Aromaten	1-Methyl-4-n-propylbenzeen	Aromaten C \geq 8
Aromaten	1-Methyl-3-ethylbenzeen	Aromaten C \geq 8
Aromaten	1-Methyl-2-n-propylbenzeen	Aromaten C \geq 8
Aromaten	1,4-Diethylbenzeen	Aromaten C \geq 8
Aromaten	1,3-Dimethyl-2-ethylbenzeen	Aromaten C \geq 8
Aromaten	1,3,5-Trimethylbenzeen + alkaan	Aromaten C \geq 8
Aromaten	1,2-Diethylbenzeen	Aromaten C \geq 8
Aromaten	p-Ethyltolueen	Aromaten C \geq 8
Aromaten	Isopropylbenzeen	Aromaten C \geq 8
Ketonen	Indanon	Ketonen C <15
Ketonen	Methylethyl keton	Ketonen C <15
Ketonen	Fluorenon	Ketonen C <15
Ketonen	Butanon	Ketonen C <15

Stofsoort	Stofcode	Aggregatie
Ketonen	Aceetofenon	Ketonen C <15
Ketonen	2-Butanon	Ketonen C <15
Ketonen	Cyclohexanon	Ketonen C <15
Ketonen	Xanthon	Ketonen C <15

* Niet nader benoemd.