

Uitstoot Zeer Zorgwekkende Stoffen door wegverkeer en mobiele werktuigen

TNO 2025 R12225 – 13 november 2025

Uitstoot Zeer Zorgwekkende Stoffen door wegverkeer en mobiele werktuigen

Auteurs	R.J. Vermeulen, Q. Vroom
Exemplaar nummer	2025-STL-RAP-100359033
Aantal pagina's	42 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	2
Opdrachtgever	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Projectnaam	MAVE 2025
Projectnummer	060.62727

Alle rechten voorbehouden

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

© 2025 TNO

Samenvatting

In opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft TNO een deskstudie en bronnenonderzoek uitgevoerd om een aantal vragen te kunnen beantwoorden ten aanzien van de uitstoot van zeer zorgwekkende stoffen van wegverkeer en mobiele werktuigen. Het doel is voornamelijk om een beter beeld te krijgen van hoe de uitstoot van de zeer zorgwekkende stoffen wordt bepaald en of de methodes en achterliggende gegevens nog actueel zijn.

“Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS) zijn stoffen die gevaarlijk zijn voor mens en milieu omdat ze bijvoorbeeld de voortplanting belemmeren, kankerverwekkend zijn of zich in de voedselketen ophopen”¹. De identificatie van ZZS, enkele duizenden stoffen, gebeurt op basis van Europese wetgeving en verdragen.

Voor de emissieregistratie in Nederland wordt voor alle sectoren de jaarlijkse uitstoot van ZZS bepaald. Voor de sector ‘verkeer en vervoer’ wordt de jaarlijkse uitstoot gerapporteerd van reeksen ZZS (stoffen en stofgroepen) met voor verschillende compartimenten (lucht, riool en oppervlaktewater) verschillende ZZS stoffenlijsten. De ZZS die voor de emissieregistratie van wegverkeer worden gerapporteerd, hebben verschillende emissieoorzaken, zoals emissies uit de uitlaat, remmen- en bandenslijtage, olielekage en verdamping van benzine. Voor wegverkeer wordt bijvoorbeeld de jaarvracht gerapporteerd van de emissie uit de uitlaat naar compartiment lucht van een lijst met 17 ZZS. Deze lijst bestaat voor een deel uit individuele organische koolwaterstoffen (vluchtige organische stoffen (VOS) en Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK)) en koolmonoxide. Er worden ook metaalverbindingen (Arseen, Cadmium, Kwik, Lood, Nikkel) en stofgroepen gerapporteerd, zoals dioxine-achtige stoffen en het totaal van 4 PAKS (Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen).

De jaarvrachten in kg per jaar van individuele ZZS die onder de VOS of PAK vallen, worden voor de emissieoorzaak ‘uitlaat’ bepaald door rekening te houden met de samenstelling van het uitlaatgas zoals die is vastgelegd in zogenaamde ‘VOS- en PAK-profielen’. Deze stoffenprofielen worden afgeleid uit literatuur en emissiemetingen. De gegevens, aannames en indelingen die achter de stoffenprofielen liggen, zijn voor wegverkeer over het algemeen niet erg actueel. Zo ontbreekt het bijvoorbeeld aan VOS- en PAK-profielen voor voertuigen met dieselmotoren die zijn uitgerust met selectieve katalytische NO_x-reductiesystemen (SCR) en roetfilters en voor benzinemotoren met directe insputting.

Het wordt dan ook aanbevolen om voor wegverkeer de profielen te actualiseren, waarbij rekening wordt gehouden met veranderingen van technologieën en brandstoffen in de voertuigvloot. Voor de actualisatie kan eerst literatuur worden geraadpleegd. Mochten de benodigde gegevens niet voorhanden zijn of niet representatief, dan kan een doelgericht meetprogramma worden overwogen om de samenstelling van uitlaatgas van moderne wegvoertuigen te karakteriseren. De actualisatie is overigens ook nodig om de uitstoot van andere stoffen dan ZZS beter te kunnen berekenen in afhankelijkheid van veranderende brandstoffen en technologie.

¹ <https://rvs.rivm.nl/onderwerpen/zeer-zorgwekkende-stoffen>

Het volgende overzicht laat zien welke zaken verouderd zijn en die geactualiseerd zouden moeten worden met nieuwe data, uit literatuur of anders uit nieuwe metingen:

- Diesel NO_x-reductiesystemen en roetfilters en de invloed op VOS- en PAK-profielen.
- Benzinemotoren met directe insputting: invloed op VOS en PAK -profielen.
- Meten van semi-vluchtige organische koolwaterstoffen: invloed op VOS- en PAK-profielen.
- Olielekkage moderne voertuigen: de mate van lekkage en de samenstelling van smeerolie.
- Verandering samenstelling bandenloopvlak en remvoering in de tijd en mogelijke invloed op de emissie van ZZS.
- Veranderingen van de brandstoffsamenstelling en effecten op VOS- en PAK profielen (aromaten- en benzeengehalte)
- Alternatieve brandstoffen (FAME, HVO, ethanol..) en effecten op VOS- en PAK profielen.

De gegevens en aannames die achter de stoffenprofielen voor mobiele werktuigen liggen, zijn redelijk actueel, maar gebaseerd op onderzoek uit de VS [EPA, 2022]. De vraag is in hoeverre de profielen representatief zijn voor de Nederlandse situatie. Om de vraag te beantwoorden zou moeten worden onderzocht in hoeverre de brandstofsamenstelling en gebruikte motor- en uitlaatgasreinigingstechnologie in beide markten overeenkomen en of eventuele verschillen een effect kunnen hebben op de samenstelling van het uitlaatgas.

Voor zowel wegverkeer als mobiele werktuigen worden de emissietotalen van ZZS berekend met stoffenprofielen, emissiefactoren, activiteitendata en de vlootsamenstelling. Elk van deze waardes kent onzekerheden. De geschatte onzekerheden voor de emissiefactoren ligt typisch rond de 100%, de onzekerheden van de stoffenprofielen worden geschat nog groter te zijn, waardoor de totale onzekerheid van de berekende jaarvrachten van ZZS in de honderden procenten loopt. Tegelijkertijd zijn de stoffenprofielen en emissiefactoren het beste wat beschikbaar is.

De bijdrage van de sector 'verkeer en vervoer' aan de jaarvracht van de top 5 ZZS in gewicht naar lucht is verreweg de hoogste van alle sectoren. Binnen de sector 'verkeer en vervoer' is de bijdrage van wegverkeer het hoogst. De stoffen benzeen en formaldehyde worden in de grootste hoeveelheden uitgestoten. De grootste jaarvrachten van de top 5 ZZS bij wegverkeer worden uitgestoten door voertuigen die op de snelweg rijden (rond de 50%) voornamelijk omdat daar de grootste verkeersvolumes zitten. Stedelijke wegen en buitenwegen zijn met elk ongeveer 20% gelijk verdeeld. Rond de 10% is van koude starts van voertuigen.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Afkortingen	6
1 Inleiding	8
2 Methode bepaling emissie van ZZS	10
2.1 Wat zijn ZZS?	10
2.2 ZZS wegverkeer	12
2.3 ZZS mobiele werktuigen	18
3 ZZS bijdrage wegverkeer en mobiele werktuigen	20
3.1 Wegverkeer	20
3.2 Mobiele werktuigen	21
4 Discussie	23
4.1 Wegverkeer	23
4.2 Mobiele werktuigen	25
Referenties	27
Ondertekening.....	28
Bijlagen	
Bijlage A: Profielen volgens methodiekrapport	29
Bijlage B: ZZS stoffenlijsten gerapporteerd in de emissieregistratie per compartiment voor de subsector wegverkeer	39

Afkortingen

Afkorting	Omschrijving
BAL	Besluit Activiteiten Leefomgeving
CBS	Centraal Bureau voor de Statistiek
CO	Carbon Monoxide, koolmonoxide
CLRTAP	Convention on Long-range Transboundary Air Pollution
DOC	Diesel Oxidation Catalyst
DPF	Diesel Particle Filter
EC	Elementary carbon, elementaire koolstof
EEA	European Environment Agency
EMMA	Emissiemodel mobiele Machines
EPA	Environmental Protection Agency (V.S.)
ER	Emissieregistratie
ERS	Extreem Risicovolle Stoffen
ETBE	Ethyl Tertiary-Butyl Ether
FAME	Fatty Acid Methyl Esters
FID	Flame Ionization Detection
HDO	Handel, Diensten en Ondermeringen
HDV	Heavy-Duty Vehicle
GDI	Gasoline Direct Injection
GPF	Gasoline Particle Filter
IFEU	Institut für Energie- und Umweltforschung
KEV	Nederlandse Klimaat en Energie Verkenning
LDV	Light-Duty Vehicle
LNT	Lean NO _x Trap
MVP1	Minimalisatieverplichte vaste stoffen
MVP2	Minimalisatieverplichte gas- of dampvormige stoffen
MTBE	Methyl Tert-Butyl Ether
NCP	Nationaal Continentaal Plat
NEC	National Emission Ceiling
NMVOS	Niet-methaan Vluchtige Organische Stoffen
NO _x	Stikstofoxiden (NO, NO ₂)
OSPAR	Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic
PAK	Polycyclische Aromatische Koolwaterstof
PFI	Port Fuel Injection
PM	Particulate Matter
PRTR	Pollutant Release and Transfer Register
SVHC	Substances of Very High Concern
REACH	Regulation on the registration, evaluation, authorisation and restriction of chemicals (EU-verordening)
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu

SCR	Selective Catalytic Reduction
THC	Total Hydrocarbons (Totaal koolwaterstoffen)
TREMOD	Transport Emission Model
VERSIT	Verkeerssituatie emissiemodel
TWC	Three-Way Catalyst
VOS	Vluchtige Organische Stof (Engels: VOC)
VROM	(Voormalig) Ministerie van Verkeer Ruimtelijke Ordening en Milieu
ZZS	Zeer Zorgwekkende Stof

1 Inleiding

Achtergrond

Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat voert een verkenning uit naar de uitstoot van Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS) in verschillende sectoren. De aandacht ging voor deze stoffen tot dusver met name uit naar 'industrie', maar de wens is om ook andere bronnen beter in beeld te krijgen. Zo ook de sub-sectoren wegverkeer en mobiele werktuigen.

De emissie van ZZS wordt ingedeeld in emissie naar lucht, riool en oppervlaktewater en belasting van het oppervlaktewater. Van alle sectoren is de totale jaarvracht (de totale uitstoot in kg per jaar) van ZZS emissie naar lucht van de sector verkeer en vervoer verreweg het grootst van alle sectoren²; 77% van de uitstoot van ZZS is van verkeer en vervoer (ER, jaar 2023). Binnen de sector verkeer en vervoer is de bijdrage van 'wegverkeer – uitlaatgassen' het grootst, gevolgd door mobiele werktuigen, zie Tabel 1.1.

Tabel 1.1: Jaarvracht ZZS emissie van 18 stoffen of stoffengroepen (exclusief koolmonoxide) in kg/jaar per sub-sector binnen de sector verkeer en Vervoer. Bron emissieregistratie data-export selectie jaar 2023³.

Sub-sector binnen verkeer en vervoer	Jaarvracht ZZS [kg/jaar]	Aandeel
Binnenscheepvaart	94.244	3%
Luchtvaart	56.648	2%
Mobilele werktuigen	510.610	19%
Railverkeer	47.085	2%
Recreatievaart	62.027	2%
Wegverkeer - niet uitlaatgassen	6.222	0,2%
Wegverkeer - uitlaatgassen	1.720.167	63%
Zeescheepvaart NCP (inclusief ankerliggers)	171.345	6%
Zeescheepvaart stilliggend	37.108	1%
Zeescheepvaart varende op Nederlands grondgebied	34.585	1%
Totaal	2.740.041	100%

Doel

Het doel is om de volgende vragen te beantwoorden:

- Wat zijn de ZZS voor wegverkeer? Worden dieselloetdeeltjes (fijnstof) ook als een ZZS worden aangemerkt?
- Waar zijn de emissiefactoren van ZZS op gebaseerd en hoe worden ze bepaald?
- Waar komen voor wegverkeer de emissies precies vandaan en wat zijn de voornaamste bronnen van ZZS emissies van wegverkeer?
- Zijn er kennislacunes en zijn de emissiewaardes van ZZS nog actueel?

² Presentatie RIVM, *Voorverkenning breder inzicht ZZS-emissies*, N. Janssen, M. Naus.

³ <https://data.emissieregistratie.nl/export>

Om te vragen te beantwoorden is een brononderzoek uitgevoerd met als voornaamste bronnen de websites, rapporten en databases die worden gebruikt voor het onderbouwen en beschrijven van de methodieken en publiceren van de uitstootgegevens.

2 Methode bepaling emissie van ZZS

2.1 Wat zijn ZZS?

“ZZS (Zeer Zorgwekkende Stoffen) zijn stoffen die gevaarlijk zijn voor mens en milieu omdat ze bijvoorbeeld de voortplanting belemmeren, kankerverwekkend zijn of zich in de voedselketen ophopen” en “De identificatie van ZZS volgt uit criteria voor ‘Substances of Very High Concern (SVHC)’ die zijn vastgelegd in artikel 57 van de REACH Verordening⁴. Verschillende internationale verdragen en wettelijke kaders bevatten bepalingen voor stoffen waarvan bekend is dat ze risico’s kunnen vormen voor mens en milieu. De REACH verordening, het OSPAR verdrag⁵, de Kaderrichtlijn Water⁶ en de POP verordening⁷ hanteren verschillende lijsten van stoffen waarvan het gebruik en/of de uitstoot moet worden verminderd. Ter ondersteuning van het Nederlandse ZZS beleid heeft het RIVM (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu) de ZZS uit die lijsten gebundeld in de zogenaamde ZZS-lijst⁸. In deze lijst staan momenteel 3202 stoffen. RIVM houdt ook een lijst bij met potentiële ZZS.

De emissieregistratie rapporteert de jaarlijkse emissies⁹ zoals die voor verschillende sectoren en compartimenten zijn vastgelegd in stoffenlijsten. Zo is er bijvoorbeeld voor de sector verkeer en vervoer voor het compartiment ‘lucht’ (gebied Nederland) een lijst van 19 stoffen die zijn aangemerkt als zeer zorgwekkende stoffen (ZZS). Voor ZZS zijn er stofklassen: ERS, (extreem risicovolle stoffen), MVP1, (minimalisatieverplichte vaste stoffen) MVP2, minimalisatieverplichte gas- of dampvormige stoffen. Daarnaast zijn er nog stofklassen om te duiden of het gaat om gasvormige, vaste, organische, anorganische dan wel totaal stof. De lijst met stoffen en in welke klasse ze zijn ingedeeld, staat in bijlage III van het ‘Besluit Activiteiten Leefomgeving (Bal)’¹⁰.

Voorbeelden van andere lijsten die worden gerapporteerd door de emissieregistratie naast ZZS zijn PFAS, EPA-PAK, broeikasgassen, verzurende stoffen, enzovoort. Maar afzonderlijke PAKs zoals uit de EPA-PAK lijst maken ook deel uit van de lijst met ZZS.

De ZZS stoffenlijsten die worden bepaald, verschillen per sector, sub-sector en compartiment. Zo wordt voor de sub-sector wegverkeer door de ER voor de emissieoorzaak ‘uitlaatgassen’ en voor het compartiment ‘lucht’ een lijst gerapporteerd van 17 ZZS stoffen of stofgroepen (afzonderlijke stoffen binnen VOS- en PAK- profielen, verbindingen met specifieke metalen, een selectie van 4 PAKs, dioxine-achtige stoffen).

⁴ Verordening (EG) nr. 1907/2006 van het Europees Parlement en de Raad van 18 december 2006 inzake de registratie en beoordeling van en de autorisatie en beperkingen ten aanzien van chemische stoffen (REACH), ...’

⁵ <https://www.ospar.org/>

⁶ RICHTLIJN 2000/60/EG VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 23 oktober 2000 tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid

⁷ Verordening (EU) 2019/1021 van het Europees Parlement en de Raad van 20 juni 2019 betreffende persistente organische verontreinigende stoffen (herschikking)

⁸ <https://rvs.rivm.nl/onderwerpen/zeer-zorgwekkende-stoffen>

⁹ <https://data.emissieregistratie.nl/export>

¹⁰ Besluit activiteiten leefomgeving, <https://www.wetten.overheid.nl>

Voor wegverkeer wordt in NL tevens een meer uitgebreide lijst met stoffen bepaald waaronder de te rapporteren ZZS vallen. In [H. Witt et al., 2025], hierna '*het methodiekrapport*', wordt uitgelegd voor welke emissieoorzaken stoffenlijsten worden bepaald en in de bijgesloten tabellen bij dat rapport staan de lijsten met stoffen of stofgroepen. Paragraaf 2.2 gaat in meer detail in op de stoffen en stofgroepen die per emissieoorzaak van wegverkeer worden bepaald.

Fijnstof

Fijnstof (PM_{2,5}) is een bekende prioritaire stof die onder meer door wegverkeer en mobiele werktuigen wordt uitgestoten. Fijnstof komt voor in de lijst met NEC-stoffen (National Emission Ceilings) waarvoor een emissieplafond geldt⁴². Daarnaast zijn PM_{2,5}, PM₁₀ en EC_{2,5} (Elementaire Koolstof) opgenomen in de lijst van UNECE-CLRTAP (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution). Voor elke stofsoort is een afzonderlijke drempelwaarde vastgesteld. Fijnstof komt dus niet voor in de lijst met ZZS maar is in andere lijsten opgenomen en wordt afzonderlijk gerapporteerd.

Fijnstof is in de NEC een verzamelnaam voor deeltjes met een bepaalde fysieke grootte (kleiner dan 2,5 micrometer). Fijnstof kan, afhankelijk van de bron, allerlei stoffen bevatten waaronder ook ZZS. Er zijn voor wegverkeer profielen voor het aandeel van de herkomst van de fijnstof van wegverkeer (uitlaat, banden, remmen, wegdek). Fijnstof uit de uitlaat wordt ook gebruikt om het vaste deel van de PAK-uitstoot te schalen met hulp van de PAK-profielen.

Onderverdeling sector verkeer en vervoer

De sector verkeer en vervoer is onderverdeeld in sub-sectoren. Dit rapport behandelt de sub-sectoren wegverkeer en mobiele werktuigen.

- **Wegverkeer;**
- **Mobiele werktuigen;**
- Luchtvaart;
- Zeescheepvaart: NCP (Nationaal Continentaal Plat), NL grondgebied en stilliggend;
- Visserij;
- Recreatievaart;
- Railverkeer;
- Binnenscheepvaart.

Stoffen en stofgroepen per compartiment

Voor wegverkeer worden 'ZZS' berekend voor vier compartimenten:

1. Emissies naar lucht.
 - Wegverkeer uitlaatgassen: 17 ZZS stoffen/stofgroepen.
 - Wegverkeer niet uitlaatgassen: 13 ZZS stoffen/stofgroepen.
 - Mobiele werktuigen: 17 ZZS stoffen/stofgroepen.
2. Belasting van oppervlaktewater.
 - Wegverkeer-niet uitlaatgassen: 29 ZZS stoffen/stofgroepen.
3. Emissie op riool.
 - Wegverkeer-niet uitlaatgassen: 29 ZZS stoffen/stofgroepen.
4. Emissie op riool en oppervlaktewater.
 - Wegverkeer-niet uitlaatgassen: 29 ZZS stoffen/stofgroepen.

⁴² EU 2016/2284 'NEC richtlijn'.

2.2 ZZS wegverkeer

2.2.1 Hoe wordt de uitstoot van ZZS van wegverkeer bepaald voor verschillende emissieoorzaken?

In de brondata van de emissieregistratie zijn de emissies van wegverkeer uitgesplitst naar emissieoorzaken, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen uitlaatemissies en niet-uitlaatemissies. Ook binnen emissie-oorzaken is weer onderscheid bij de niet-uitlaatemissies (lekkage en verdamping, remmen-, banden- en wegdekslijtage).

De volgende emissieoorzaken voor voertuigen zijn gedefinieerd:

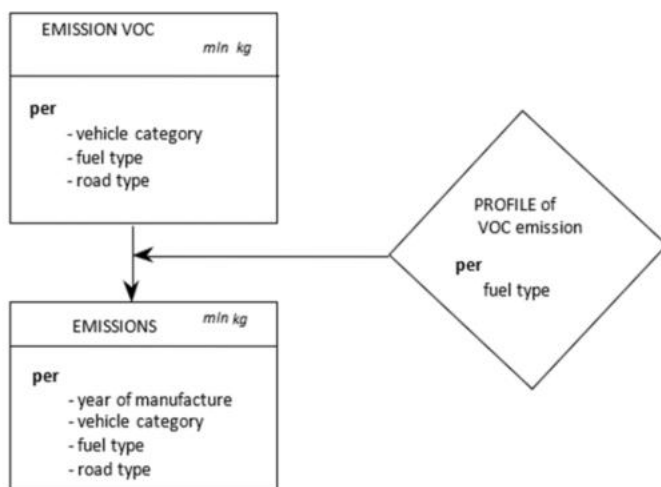
- Verbranding van brandstof (emissies uit de uitlaat naar de lucht);
- Verbranding van olie (emissies uit de uitlaat naar de lucht);
- Lekkage van olie (riool en oppervlaktewater);
- Verdamping van brandstof (emissies naar de lucht);
- Slijtage van remmen, banden en wegdek (lucht, riool en oppervlaktewater).

De methode voor het bepalen van de uitstoot van de stofgroepen VOS, PAK, zware metalen en dioxines van verschillende emissieoorzaken binnen een voertuig worden beschreven in [H. Witt et al., 2025].

De berekening van de ZZS emissies verschilt per emissieoorzaak, bron en stof. Zo wordt de uitstoot van ZZS uit de uitlaat bepaald op basis van VOS- en PAK-profielen en het dioxine-aandeel in VOS. Voor wegverkeer en mobiele werktuigen wordt de uitstoot van VOS en PAK uit de uitlaat afgeleid op basis van literatuur en metingen.

In de profielen is de samenstelling vastgelegd van stoffen in een bepaalde stofgroep. De stoffenprofielen bevatten per stof in het profiel dimensieloze getallen, feitelijk fracties van elke stof in de stoffengroep die worden gebruikt om de stof te schalen ten opzichte van de totale jaarlijkse uitstoot van een prioritaire stof (VOS en PM), zie Figuur 2.1.

De totale jaarlijkse emissies voor prioritaire stoffen worden in de taakgroep verkeer en vervoer bottom-up afgeleid aan de hand van emissiemetingen en worden gebruikt voor het berekenen van de officiële emissiefactoren voor de emissieregistratie. In enkele gevallen worden niet de individuele stoffen gerapporteerd maar de totalen van stofgroepen, zoals metaalverbindingen, dioxinen en PAK-groepen.



Figuur 2.1: Stroomdiagram die laat zien hoe met een VOS-profiel de jaarvrachten van individuele stoffen in VOS worden berekend. Bron [H. Witt et al., 2025]

Het methodiekrapport heeft een bijlage met tabellen¹² met profielen voor PAK, VOS, dioxine-aandeel, metalen en de ontwikkeling van enkele factoren in de tijd. Onderstaande tabel geeft een overzicht met de relevante tabellen uit deze bron.

Tabel 2.1: Lijsten met profielen van stofgroepen en stofgroepen per emissieoorzaak, bron: bijlage met tabellen bij [H. Witt et al., 2025].

Tabel	Duiding	Toepassing
Table 3.6A	Brandstof zware metalen profielen	Brandstof, benzine, diesel, LPG. Motorolie
Table 3.6B	Slijtage remmen, banden en wegdek: Zware metalen profiel	Banden: LDV en HDV, Remmen en weg: geen onderscheid
Table 3.6C	Bandenslijtage ontwikkeling PAK fractie in de tijd	Personenauto's, bestelauto's, vrachtauto's.
Table 3.6D	Bandenslijtage PAK fracties in totaal PAK	LDV en HDV
Table 3.7	Ontwikkeling lood en zwavelaandeel wegtransportbrandstof in de tijd	Lood: benzine, zwavel: benzine en diesel
Table 3.9B	Motorolie metalen en PAK profiel	Motorolie
Table 3.10A	Uitlaatgas VOS profielen en VOS profiel verdampingsemissies	Benzine zonder kat., diesel voor 2000, LPG, verdamping: benzine
Table 3.10B	Uitlaatgas VOS profielen nieuwe factoren	Benzine met kat, diesel LDV na 2000 en diesel HDV na 2000
Table 3.10C	Uitlaatgas benzine, diesel, LPG; PAK profielen in VOS	Benzine zonder kat, diesel, LPG, brommers
Table 3.10D	Wegverkeer PAK profielen in VOS (vluchtig) en in PM (vast)	Benzine met kat, diesel 2000 en verder
Table 3.10E	Uitlaatgas dioxine aandeel in VOS	Benzine met en zonder kat. Benzine 2-takt en diesel

¹² <https://www.emissieregistratie.nl/documentatie/methoderapporten/verkeer-en-vervoer>

2.2.2 Emissie door verbranding van brandstof

Voor de verbranding van brandstof (emissies uit de uitlaat *naar de lucht*) wordt voor de emissieregistratie de jaarlijkse emissie van de volgende stoffen en stofgroepen gerapporteerd:

- Zware metalen in brandstof: tabel 3.6A.
- VOS en PAK in uitlaatgassen: tabellen 3.10A t/m 3.10D.
- Dioxine-aandeel in VOS in uitlaatgas: tabel 3.10E

De emissie van zware metalen uit de brandstof is onafhankelijk van het statistische jaar en er wordt onderscheid gemaakt tussen benzine, diesel en LPG.

Volgens [H. Witt et al., 2025] : “In de emissieregistratie wordt bij de berekening van de uitlaatemissies van circa 70 verschillende VOS-soorten, waaronder methaan en PAK’s, gebruik gemaakt van soortprofielen. Per brandstoftype wordt een VOS-soortenprofiel gebruikt dat de fracties van de verschillende VOS-componenten in de totale VOS-emissie aangeeft. Voor benzinevoertuigen met en zonder katalysator worden verschillende VOS-soortprofielen gebruikt, omdat de katalysator bepaalde VOS-componenten effectiever oxideert dan andere. De VOS- en PAK-profielen per brandstofsoort zijn verkregen uit literatuuronderzoek (VROM 1993). Voor diesellootvoertuigen vanaf bouwjaar 2000 en later en benzinevoertuigen voorzien van een 3-wegkatalysator zijn de profielen afgeleid van Ten Broeke & Hulskotte (2009)”

Volgens [Ten Broeke & Hulskotte, 2009] wordt de volgende definitie gebruikt voor VOS- en PAK profielen: “...de volledige verdeling van een emissie van VOS waarbij de verdeling optelt 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 massafractie van een stofgroep...” 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 buitenwegen en op snelwegen.

In [Ten Broeke & Hulskotte, 2009] werd geconcludeerd dat de meeste onderzoeken waarop de gegevens voor het bepalen van de opbouw van de profielen stammen van vóór de invoering van nabehandelingstechnologie zoals katalytische NO_x-reductiesystemen en roetfilters en dat het aannemelijk is dat dergelijke technologieën consequenties hebben voor de opbouw van de emissieprofielen.

[H. Witt et al., 2025] rapporteert dat het benzeen- en aromatengehalte in benzine in het verleden is gedaald. De afname is in rekening gebracht bij de verdampingsemissies maar niet voor de uitlaatgasemissies omdat de relatie tussen benzeen – en aromatengehalte van benzine en uitlaatemissies complex is. Verder zou het aandeel van benzeenemissie uit de uitlaat ten opzichte van die van verdamping laag zijn en zou het gaan om oudere voertuigen terwijl de vloot al is vernieuwd. Daarom is het benzeengehalte in uitlaatgas ongewijzigd gebleven. Uit de cijfers van de ER van ZZS blijkt echter dat de jaarlijkse benzeenuitstoot uit de uitlaat veel hoger is dan de verdampingsemissie. Om die reden is het nodig om te onderzoeken of de wijziging van het benzeen- en aromatengehalte invloed heeft op de uitlaatemissies.

De VOS-profielen zijn afgeleid voor de categorieën benzine/LDV (Light Duty Vehicle), diesel/LDV en diesel/HDV (Heavy Duty Vehicle). De PAK-profielen zijn afgeleid voor benzine en dieselwegverkeer, ongeacht de voertuigklasse.

De onzekerheid van de jaarvrachten van de ZZS bestaat hoofdzakelijk uit onzekerheid van de profielen, de emissiefactor (g/km) en de activiteit (km). Voor wegverkeer schat [Dellaert & Dröge, 2017]¹³, dat emissiefactoren voor NMVOC (non-methane volatile organic compounds, VOS minus methaan) een onzekerheid hebben, afhankelijk van de voertuigcategorie, van typisch 50 tot 100%, tot maximaal 500% (bromfietsen en motorfietsen en verdampingsemissies) en de activiteitendata 5 tot 10% tot maximaal 20% (bromfietsen en motorfietsen). Voor fijnstof (PM₁₀ en PM_{2,5}) is de onzekerheid van de emissiefactor 50% voor dieselveertuigen en 200% voor benzinevoertuigen.

Over de bepaling van dioxines werd niets vermeld in het methodiekrapport. Niettemin is er een tabel met de fractie van dioxines in VOS voor benzine zonder katalysator, met katalysator tweetakt en diesel en wordt de jaarlijkse dioxine-uitstoot berekend voor de ER.

2.2.3 Emissies van verbranding van olie

Voor de verbranding van motorolie en de emissies uit de uitlaat *naar de lucht* wordt voor de emissieregistratie de jaarlijkse emissie van de volgende stofgroep gerapporteerd:

- Zware metalen, met behulp van tabel 3.9B.
 - op basis van een geschat oliegebruik voor motorvoertuigen van 0,2, voor motorfietsen van 0,1 en voor bromfietsen van 0,067 liter per 1000 km.
- VOS en PAK zitten reeds verwerkt in de getallen voor uitlaatgassen onder verbranding van brandstof.

Het oliegebruik kan worden geschat op basis van het aantal voertuigkilometers en verbruiksfactoren voor smeeroilie (Figuur 3.8). Er wordt aangenomen dat het oliegebruik van motorvoertuigen 0,2 liter per 1000 km bedraagt. Voor motorfietsen en bromfietsen wordt het verbruik respectievelijk geschat op 0,1 en 0,67 liter per 1000 km. Smeeroilie lekt via de zuigerveren in de verbrandingskamer van de motor, waar het wordt verbrand. Omdat dit een emissie door verbranding betreft, wordt aangenomen dat de emissies van andere stoffen al zijn geregistreerd via de uitlaatgasemissies. Zware metalen vormen hierop een uitzondering. Deze worden beschouwd als extra emissies en worden daarom afzonderlijk berekend door het verbruik van smeeroilie te vermenigvuldigen met het profiel van smeeroilie (zie Tabel 3.9B).

2.2.4 Lekkage van olie

Voor de lekkage van motorolie naar *grond, riool en oppervlaktewater* wordt voor de emissieregistratie de jaarlijkse emissie van de volgende stoffen en stofgroepen gerapporteerd:

- Zware metalen, met behulp van tabel 3.5, 3.6A en 3.9A.
 - 80% van de lekkage gebeurt in wegtype stad.

¹³ Dellaert, S.N.C. & R. Dröge (2017), Uncertainty of the NO_x, SO_x, NH₃, PM₁₀, PM_{2,5}, EC2.5 and NMVOC emissions from transport, TNO 2017 R10854, TNO, Utrecht

In het verleden is de gemiddelde olie lekkage per afgelegde voertuigkilometer berekend, afgeleid van de totale olie lekkage in dat jaar en het totaal aantal voertuigkilometers. Deze berekening is gebaseerd op metingen op wegen die zijn geïnterpreteerd door Feenstra en Van der Most (1985) en resulteerde in een gemiddeld lekverlies van 10 mg per voertuigkilometer. De lekverliezen voor de verschillende voertuigcategorieën in het wegvervoer worden berekend op basis van een set van factoren. Deze factoren zijn gebaseerd op een aantal aannames. Eén van de aannames is dat oudere voertuigen meer lekkage hebben dan jongere voertuigen.

2.2.5 Verdamping van brandstof

Voor de verdamping van brandstof en de emissie ervan *naar lucht* wordt voor de emissieregistratie de jaarlijkse emissie van de volgende stoffen en stofgroepen gerapporteerd:

- VOS en PAK, met behulp van tabel 3.2 en 3.10A.
 - Met uitzondering van diesellootvoertuigen, de verdampingsemissies van diesellootvoertuigen zijn nihil.

Naast de uitlaatemissies worden ook de VOS emissies van verdamping (evaporative emissions) meegenomen in de berekening van de emissies. Dit is gebaseerd op het European Emission Inventory Guidebook uit 2007, [EEA, 2007].

Volgens [EEA, 2007] zijn verdampingsemissies die emissies die niet van het verbrandingsproces van de motor komen:

- **Diurnal emissions:** damp uit de brandstoftank t.g.v. temperatuurverschillen [gram per voertuig per dag]. Bij moderne benzinevoertuigen moet de tank zijn voorzien van een koolstoffilter wat de vluchtige dampen opvangt en terugleidt naar de tank. Diesel heeft vanwege de samenstelling nagenoeg geen verdampingsemissies.
- **Running losses:** damp uit de tank wanneer een voertuig is opgewarmd en rijdt. [gram per km]] Deze emissies worden verondersteld zeer laag te zijn en voornamelijk te worden veroorzaakt door permeatie en lekkage.
- **Hot and warm soak emissions:** damp van de tank wanneer het voertuig warm is na een rit. [gram per voertuig per stop].
- Verlies van brandstofdamp vindt ook plaats tijdens het tanken van voertuigen. Dit is echter niet opgenomen omdat het wordt beschouwd als onderdeel van het verlies tijdens brandstoflevering bij de tankstations. De emissies worden berekend door de taakgroep WESP (Werkgroep Emissies Servicebedrijven en Productgebruik).

De volgende zaken zijn niet mee genomen voor het bepalen van lekkage en vervolgens verdamping van brandstof:

- Voertuigen stoten VOS uit door permeatie van materialen zoals brandstofslangen en plastic tanks.
- Voertuigen kunnen brandstof lekken (VOS, PAK)
- Oudere voertuigen en opgevoerde voertuigen beschikken soms niet over carterventilatie. Carterdampen bestaan uit verbrandingsgassen en smeeroliedamp en gaan dan via een opening in het motorblok naar de buitenlucht. Bij moderne voertuigen moet carterdampen worden teruggevoerd naar de uitlaat of in de uitlaat voor de katalysator, alwaar ze meetellen bij een emissiemeting.

Het methodiekrapport rapporteert de emissiefactoren in gram per dag voor benzineverdamming voor 'light-duty vehicles' (personenauto's en bestelauto's), motorfietsen en bromfietsen zonder canister. Een canister is een filter dat brandstofdamp opvangt en opslaat om het op een later moment naar de motor te kunnen transporteren alwaar het wordt verbrand.

Het methodiekrapport rapporteert de specificaties van EN228 norm voor benzine die laat zien dat het maximale benzeen- en aromatengehalte fors afneemt na het jaar 2000.

2.2.6 Slijtage van remmen, banden en wegdek

Voor de emissie naar *lucht, grond, riool en water* van remmen, banden en wegdek wordt voor de emissieregistratie de jaarlijkse emissie van de volgende stoffen en stofgroepen gerapporteerd:

- Zware metalen, met behulp van tabel 3.3A, 3.3B, en 3.6B.
 - Met uitzondering van remslijtage bij elektrische voertuigen, die is nihil gesteld binnen de emissiefactoren.
- PAK afkomstig van bandenslijtage: tabel 3.6C en 3.6D.

In de emissies van remmen, banden en wegdek zitten naast fijnstof ook PAK en zware metalen opgenomen. Voor de zware metalen in banden wordt verwezen naar [Duijnhoven et al. 2021]. Voor de zware metalen in remstof wordt verwezen naar RWS 2008. Zware metalen afkomstig van wegdekslijtage zijn bepaald als nihil, waarbij verwezen wordt naar [Denier van der Gon et al. 2008].

PAK afkomstig van bandenslijtage is gebaseerd op Duijnhoven et al. 2016 & 2021. PAK afkomstig van wegdekslijtage geldt alleen voor wegen gebouwd tot en met 1990 (daarna is het nihil) en is gebaseerd op Denier van der Gon et al. 2008.

In de ER wordt naast de stoffen uit het methodiekrapport (PAK) voor het berekenen van de emissies van wegverkeer een aantal extra stoffen (niet-PAKs) gerapporteerd voor de emissies naar oppervlaktewater en riool door bandenslijtage, zie Bijlage B.

Per 2015 is de Copper-free brake initiative¹⁴ gestart in de VS. Met als gevolg dat ook de samenstelling van remvoering in Europa verandert om te voldoen aan wetgeving in de VS. Het initiatief is een vrijwillige overeenkomst van de auto-industrie met de EPA waarbij is bepaald dat het kopergehalte in remvoering wordt gelimiteerd (<0.5% in 2025). De overeenkomst omvat ook kwik, lood, cadmium, minerale vezels en chroom-6 zouten in remvoeringen.

Met de aankondiging van emissielimieten voor remstof voor de komende Europese emissiewetgeving (Euro 7) is een trend in gang gezet waarbij steeds vaker gecoate remschijven worden toegepast met speciale blokken, niet alleen voor nieuwe voertuigen maar ook voor bestaande. Grote merken hebben hun nieuwe remblokken en schijven inmiddels al op de markt gebracht. De samenstelling van het remmateriaal is aangepast om te voldoen aan de slijtage-eis in mg/km (en mogelijk ook deeltjesaantallenemissie per km). Een dergelijke verandering heeft waarschijnlijk invloed op het profiel van zware metalen.

¹⁴ MEMORANDUM OF UNDERSTANDING ON COPPER MITIGATION, https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-11/documents/copper_brakepads_mou.pdf

Vanwege beide trends is het noodzakelijk om nieuwe profielen op te nemen die de nieuwe samenstelling van remstof weerspiegelen.

2.3 ZZS mobiele werktuigen

Met het EMMA-Mephisto model¹⁵ worden de emissies van broeikasgassen en van luchtverontreinigende stoffen van mobiele werktuigen geraamd op basis van prognoses van machineverkoop, economische activiteit en technologische ontwikkeling van machines en motoren. Mephisto is een uitbreiding op het EMMA model en wordt met enige regelmaat geactualiseerd in opdracht van het PBL. PBL gebruikt het model Mephisto voor emissieprojecties in de Nederlandse Klimaat en Energie Verkenning (KEV). Tevens berekent het model de emissies voor de Emissieregistratie.

Het model heeft per sector een machinepark:

De mobiele werktuigen zijn ingedeeld naar vijf sectoren en twee categorieën:

- Landbouw;
- Bouw;
- Industrie;
- Handel, diensten en overheid (HDO);
- Consumenten;
- Twee categorieën “Grondmaterieel op vliegvelden” en “Containeroverslag in havens”.

2.3.1 Emissiefactoren mobiele werktuigen

Het model berekent de uitstoot voor 62 vervuilende stoffen, waaronder ook afzonderlijke ZZS en stofgroepen. De emissiefactoren van enkele prioritaire stoffen (CO, NO_x, PM, NH₃ en THC) worden afgeleid van het Duitse TREMOD model [IFUE, 2010] en zijn deels afhankelijk van de geldende Europese emissielimieten. De jaarlijkse emissie wordt bepaald per configuratie en bouwjaar en is afhankelijk van het maximum motorvermogen, de activiteit, de tijdsfracties in een lastbereik en de last en technologieafhankelijke emissiefactor. Brandstofverbruik en emissies die met het verbruik samenhangen, worden op een andere manier bepaald maar die is niet relevant voor de uitstoot van ZZS.

2.3.2 ZZS emissies van mobiele werktuigen

De uitstoot van ZZS wordt bepaald voor uitlaatemissies, dus de emissie naar lucht, op basis van VOS- en PAK-profielen en het totaal dioxines en furanen. De profielen zijn recent in het Mephisto model geïmplementeerd (2023) en zijn gebaseerd op literatuur van onderzoek in de V.S. [EPA, 2022]. Net als voor wegverkeer wordt de uitstoot van individuele stoffen bepaald door een profiel met dimensieloze waarden voor de stoffen die een fractie zijn van een emissiefactor van THC (Total Hydro Carbons) voor gasvormig (VOC en gasvormige PAKs) en PM voor vaste fracties (vaste fractie PAKs). De ZZS zijn een deelverzameling binnen de VOS en PAK profielen, maar niet alle ZZS zitten in de profielen.

De totale uitstoot van organische gassen (TOG, Total Organic Gasses) is groter dan die van THC omdat bepaalde meetapparatuur minder gevoelig is voor zuurstofhoudende organische stoffen. De VOS-, PAK- en dioxine-profielen zijn daarom gecorrigeerd naar een fractie van THC, gebruik makend van correctiefactoren van US EPA [EPA, 2022].

¹⁵ TNO 2023, Calculating emissions for Dutch NRMM fleet, EMMA-Mephisto model, TNO 2023 R12643 – 21 December 2023

In [TNO, 2023] is een tabel opgenomen met de stoffen waarvoor het Mephisto model de emissiefactoren berekent. [TNO, 2023] verwijst ook naar [Geilenkirchen et. al., 2023] voor de gebruikte VOS, PAK, dioxine en metaalprofielen. Voor de metaalprofielen wordt verwezen naar [Pulles, 2012].

Het Mephisto model bevat VOS profielen (14 stoffen voor benzine en 21 voor diesel) en PAK profielen (16 stoffen voor benzine, 15 voor diesel) voor de uitlaatemissies (naar lucht) voor verschillende brandstoffen en motorcategorieën: 2-takt, 4-takt, E0, E10 voor benzinemotoren en Tiers en type uitlaatgasnabehandeling voor dieselmotoren. Het model bevat emissiefactoren voor dioxine-achtige stoffen voor diesel, benzine en LPG motoren. Het model bevat een lijst van 29 stoffen die als ZZS zijn aangemerkt. Enkele van deze stoffen zitten niet in de VOS of PAK profielen en kunnen dus niet worden uitgerekend.

De bepaling van de emissiefactoren van ZZS bevat onzekerheden, te weten: de vloot, machine-activiteit, de emissiefactoren voor de prioritaire hoofdstoffen waaraan de individuele stoffen uit de profielen worden gelinkt, de fracties van de individuele stoffen in de profielen. Volgens [TNO, 2023] bedraagt de geschatte onzekerheid voor de basis emissiefactoren waar de profielen aan worden gelinkt ((VOS zonder methaan en PM) 100%. De profielen zijn recent toegevoegd, zijn gebaseerd op recent (2022) onderzoek uit de V.S. en dus op machines uit de V.S. die aan Amerikaanse wetgeving moeten voldoen (Tiers) en die draaien op brandstoffen uit de V.S. De fracties van de stoffen in de profielen kennen tevens onzekerheden. De fracties zijn waarschijnlijk afhankelijk van de omstandigheden waaronder de motor draaide en van verschillen in gebruikte motorentypes en eventueel toegepaste regelingen en (katalytische) emissiebeheersystemen. Het is onduidelijk in hoeverre de omstandigheden in de V.S. verschillend zijn ten opzichte van Nederland en of die invloed hebben op de samenstelling van de emissies. De profielen zijn in elk geval redelijk actueel en beschikbaar voor verschillende motortypes en brandstoffen. De profielen bevatten in elk geval de 16 van EPA, de 10 van VROM (oud Ministerie van verkeer ruimtelijke ordening en milieu), 6 van Borneff en 4 van PRTR.

3 ZZS bijdrage wegverkeer en mobiele werktuigen

3.1 Wegverkeer

De bijdrage van de uitstoot van ZZS van de sector verkeer en vervoer naar lucht is verreweg het hoogst van alle sectoren; 77% van de uitstoot van ZZS is van verkeer en vervoer (ER, jaar 2023). Binnen de sector verkeer en vervoer is de bijdrage van wegverkeer het grootst, zie Tabel 1.1. Daarom is de emissie van wegverkeer uitgesplitst om de bronnen en oorzaken verder te duiden. De emissie naar riool en oppervlaktewater ligt ten opzichte van andere sectoren laag.

Volgens de ER dataexport van www.emissieregistratie.nl worden de ZZS stoffen uit de lijst van berekende ZZS formaldehyde, benzeen en naftaleen in absolute hoeveelheden verreweg het meest uitgestoten naar de lucht. De ZZS van de uitstoot naar lucht komt voor een groot deel uit de uitlaat, zie Tabel 3.1. Voor loodverbindingen komt nog een deel van de uitstoot van bandenslijtage en remslijtage en nikkelverbindingen van remslijtage.

Tabel 3.1: Verdeling van de uitstoot van 16 ZZS (zonder koolmonoxide) naar lucht voor verschillende emissieoorzaken.

	Uitlaat (voertuigen)	Uitlaat koelmachines	Bandenslijtage	Rem	Verdamping	Kg/jaar
	Uitlaat		Niet uitlaat			
Formaldehyde	85%	15%	0%	0%	0%	886.201
Benzeen	94%	6%	0%	0%	1%	790.563
Naftaleen	88%	12%	0%	0%	0%	45.703
Loodverb. (als Pb)	66%	0%	10%	24%	0%	977
Fluorantheen	89%	11%	0%	0%	0%	844
Nikkelverb. (als Ni)	20%	0%	7%	73%	0%	734
Anthraceen	89%	11%	0%	0%	0%	567
PAK (4 van PRTR)	90%	10%	0%	0%	0%	281
Cadmiumverb. (als Cd)	95%	0%	1%	4%	0%	140
Benzo(a)Pyreen	87%	13%	0%	0%	0%	100
Kwikverb. (als Hg)	100%	0%	0%	0%	0%	95
Benzo(b)Fluorantheen	88%	11%	0%	0%	0%	93
Benzo(k)Fluorantheen	90%	10%	0%	0%	0%	56
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	100%	0%	0%	0%	0%	32
Arseenverb. (als As)	73%	0%	27%	0%	0%	3.6
Dioxinen (PCDD/PCDF, I-TEQ)	71%	29%	0%	0%	0%	0.001

De top 5 ZZS van de uitstoot naar lucht worden voor een groot deel, rond de 50%, uitgestoten op snelwegen, zie Tabel 3.2. Dit komt door het hoge aantal gereden kilometers van licht en zwaar verkeer op de snelwegen. Met fracties van elk ongeveer 20% zijn de jaarvrachten van de top 5 nagenoeg gelijk verdeeld over bebouwde kom en buitenweg. De overige gerapporteerde PAK en ook dioxine-achtige stoffen met lagere jaarvrachten dan de top 5 volgen ruwweg dezelfde verdeling. Opgemerkt dat dioxine-achtige stoffen de ERS stofklasse voor lucht heeft, wat staat voor extreem risicovolle stoffen, terwijl de andere ZZS stoffen zijn indeelt als MVP1 of 2 (minimalisatieverplichte vaste stoffen (1) en gas en dampvormige stoffen (2)).

Tabel 3.2: Uitsplitsing naar wegtype en koude start van de top 5 ZZS in jaarvrachten uit de ER (jaar 2023).

	Benzeen	Formaldehyde	Naftaleen	Loodverb. (als Pb)	Fluorantheen
Bebouwde kom	21%	18%	20%	28%	19%
Buitenweg	19%	20%	20%	31%	19%
Snelweg	47%	56%	51%	40%	51%
Koude start	13%	5%	10%	0%	11%

3.2 Mobiele werktuigen

Voor de top 5 van ZZS stoten mobiele werktuigen ongeveer 30% uit van de uitstoot van wegverkeer. De sub-sector mobiele werktuigen wordt verder uitgesplitst naar emissieoorzaken. Anders dan bij wegverkeer zijn dat niet verschillende oorzaken van uitstoot maar zijn het de sectoren waarin de mobiele werktuigen actief zijn. De jaarvracht van de top 5 ZZS van mobiele werktuigen is het hoogst voor de bouwsector gevolgd door de landbouw, HDO (handel, diensten en ondernemingen) consumenten en containeroverslag.

Tabel 3.3: Top 5 (jaarvracht in kg/j) ZZS van sub sector mobiele werktuigen uitgesplitst naar stof (Bron: Dataset emissieregistratie 2023).

Mobiele werktuigen	kg	%
Formaldehyde	397.254	78%
Benzeen	100.769	20%
Naftaleen	11.643	2.3%
Fluorantheen	312	0.1%
Anthraceen	259	0.1%
Totaal 'top 5'	510.237	99.9%

Tabel 3.4: Top 5 (jaarvrucht in kg/j) ZZS van sub sector mobiele werktuigen uitgesplitst naar 'sector'.
(Bron: Dataset emissieregistratie 2023).

	Consumenten	Containeroverslag	Werktuigen HDO	Industrie	Landbouw	Bouwsector
Formaldehyde	8.016	10.751	42.357	24.758	113.650	197.723
Benzeen	20.603	1.543	11.127	2.997	30.740	33.759
Naftaleen	2.102	164	862	358	4.208	3.948
Fluorantheen	60	4	22	8	116	101
Anthraceen	35	5	21	11	88	100
<i>Totaal 'top 5'</i>	30.816	12.467	54.389	28.132	148.801	235.632
	6%	2%	11%	6%	29%	46%

4 Discussie

4.1 Wegverkeer

Voor de Emissieregistratie in Nederland is een lijst van ZZS bepaald. Zo worden voor de emissie naar lucht van wegverkeer 17 stoffen/stofgroepen gerapporteerd.

Voor wegverkeer en mobiele werktuigen wordt de uitstoot van de stoffenreeksen VOS (Vluchtige Organische Stoffen), PAK (Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen), dioxinen, en zware metalen afgeleid op basis van literatuur en metingen. Er worden voor enkele stofgroepen totalen gerapporteerd, zoals voor metaalverbindingen, dioxinen en PAK-groepen. Er worden ook individuele stoffen gerapporteerd. Deze worden afgeleid op basis van stoffenprofielen die zijn opgesteld met voor elke stof in het profiel een dimensieloos getal dat het aandeel van de stof weergeeft ten opzichte van de totale jaarvracht voor een prioritaire stof waaronder de stof valt (VOS of Fijnstof). De basis-emissiefactoren worden in de taakgroep verkeer en vervoer (RIVM, CBS, TNO) bepaald en bottom-up (dus per individueel voertuig) afgeleid voor verschillende voertuigcategorieën en wegtypes.

De samenstelling van uitlaatgas is aan verandering onderhevig door de veranderde eigenschappen van de brandstoffen. Zwaveleisen zijn daarin belangrijk, maar ook de aanscherping van het maximale aandeel aromaten en benzeen, hebben een direct gevolg op de profielen van VOS en PAK. Brandstoffen bevatten nu ook zuurstofhoudende stoffen, zoals alcoholen en esters, die ook zuurstofhoudende stoffen in het uitlaatgas geven, zoals formaldehyde. Daarmee bestaan de VOS (alle organische stoffen) uit de uitlaat niet meer volledig uit THC (totaal koolwaterstoffen) en zijn VOS en THC niet meer aan elkaar gelijk. Doorgaans wordt een FID (Flame Ionisation Detection) instrument gebruikt om de totale koolwaterstoffen (THC) uitstoot te meten. Verschillende koolwaterstoffen hebben een andere response in een dergelijk instrument (de standaard is propaan-equivalent). Deels hangen de VOS en THC metingen dus samen met de kalibratie van het FID meetinstrument, en zijn er correctiefactoren voor de verschillende stoffen/brandstoffen, maar zuurstofgebonden stoffen geven geen response en worden dus niet meegenomen in de THC waarde.

Verder zijn emissie-eisen aan voertuigen met benzine- en dieselmotoren aangescherpt in stappen en als gevolg daarvan ontwikkelen en implementeren fabrikanten nieuwe technieken om de emissies te reduceren. Het is bekend dat verschillende uitlaatgasnabehandelingstechnologieën verschillende invloed hebben op de samenstelling van uitlaatgas, door de katalytische processen en mogelijk ook nog de vorming van andere stoffen. Bij de US-EPA wordt er onderscheid gemaakt naar technologieën, waarbij de belangrijkste de driewegkatalysator, het roetfilter, en de SCR zijn.

De gegevens en aannames die achter de stoffenprofielen voor wegverkeer liggen, zijn over het algemeen niet erg actueel. Zo ontbreekt het aan VOS- en PAK-profielen voor voertuigen met dieselmotoren die zijn uitgerust met selectieve katalytische NO_x-reductiesystemen (SCR, Selectieve Catalytic Reduction), roetfilters en voor benzinemotoren met directe inspuiting. Ook wordt voor het meten van de THC emissie een deel van de semi-vluchtige koolwaterstoffen doorgaans niet geanalyseerd en daardoor niet meegenomen in de emissieregistratie.

De volgende items hebben invloed op de samenstelling van het uitlaatgas en daarmee de (mogelijke) vorming van ZZS.

1. **Brandstof (diesel, benzine, LPG, CNG/LNG) gerelateerde stoffen**, die veranderen met de eisen aan brandstoffen, en gekoppeld worden aan onverbrande en deels verbrande brandstof, brandstofeigenschappen, en verdamping:
 - a. Zwavel (SO_x), waarbij de aanscherping van eisen en het toepassingsgebied van EN590-diesel maatgevend lijkt.
 - b. Lood (en andere (spoor) metalen, zoals mangaan, chroom, nikkel, lood, en arseen (vooral in fossiele brandstoffen).
 - c. Fluor-, broom- en chloorhoudende (spoor)componenten, die dioxines en furanen kunnen produceren.
 - d. (Poly)aromaten, zoals benzeen, toluen, etc. die in de loop van de jaren steeds verder aan banden zijn gelegd.
 - e. Alcoholen, ketonen, nitrieten, esters, en aldehyde (formaldehyde), met verhoogde waarden door biobrandstoffen (alcoholen, ethanol/methanol, ETBE (Ethyl Tertiary-Butyl Ether), MTBE Methyl Tert-Butyl Ether, FAME (Fatty Acid Methyl Esters).
 - f. Korte ketens (methaan, ethaan, propaan, ...) die moeilijker verbranden, eerder verdampen, en daardoor in grotere fracties overblijven bij nieuwere nabehandelingstechnologieën.
 - g. Synthetische en fossiele oliën, en hun verbrandingseigenschappen.
2. **Katalysatorstechnologie (TWC (Three-way catalyst), DOC (Diesel Oxidation Catalyst), DPF (Diesel Particle Filter), SCR (Selective Catalytic reduction), LNT (Lean NO_x trap), GPF (Gasoline Particle Filter)) en motortechnologie gerelateerde stoffen**, die veelal uit basale uitlaatgasstoffen gevormd worden:
 - a. NH_3 (TWC en SCR).
 - b. N_2O (voornamelijk SCR, TWC verouderde TWC).
 - c. NO_2 (vooral oxidatiekatalysator, meestal in combinatie met SCR en DPF).
 - d. Cyaniden (vooral TWC).
 - e. Katalysatormateriaal, zoals vanadium, platina, titanium, rhodium, zilver, koper (SCR, TWC).
 - f. Deeltjesvorming en verschuiving samenstelling VOS- en PAK-profielen bij toepassing van directe inspuiting bij benzinemotoren (GDI).
3. **Combinatie van motortechniek, brandstof en katalysator- en filterstechnologie**:
 - a. Deeltjesvorming, deeltjesfiltering, en as-vorming (door zwavel, lange koolwaterstofketens, zuurstofhoudende componenten, PAKs).
 - b. Oxidatie van grotere en reactieve moleculen in oxidatiekatalysatoren en TWC, en verschuiving naar lichte componenten die overblijven.
 - c. OC/EC fracties in PM door fysisch-chemische eigenschappen relevant voor filtratie.
 - d. Verhoging van nitrieten (aggregaties in PM) en aldehyde door biobrandstoffen (esters en alcoholen) in katalysatoren.

De profielen zouden met zowel de jaren als de technologieën moeten variëren. Dat zit nu maar beperkt in de methodiek van de ER verwerkt.

De opzet vraagt:

- Brandstofeigenschappen in de tijdreeks ten aanzien van lood, zwavel, ETBE, MTBE, ethanol, FAME, aromaten, benzeen, dampdruk, sporelementen.

- Katalysatortechnologieën (TWC, DOC, SCR, DPF en GPF) in de emissieoorzaken (LD: TWC > 1990, DOC > 1996, DPF > 2007, SCR > 2017, HD: SCR > 2009, DPF > 2014).
- Motortechnologieën: GDI (Gasoline Direct Injection) versus PFI (Port Fuel Injection).
- Splitsing op basis van moderne profielen zoals EPA/MOVES en literatuur.

Voor brandstoffen en technologieën zou een volgende indeling kunnen worden gehanteerd:

- Brandstoffen
 - aromaten in benzine/diesel;
 - benzeen in benzine;
 - MTBE/ETBE in benzine;
 - lood in benzine;
 - zwavel in benzine/diesel;
 - FAME in diesel;
 - HVO in diesel.
- Technologieën
 - benzine
 - PFI met TWC;
 - GDI varianten al dan niet met GPF, TWC, LNT nog nader te bepalen a.d.h.v. markt.
 - diesel LD
 - SCR;
 - DPF;
 - LNT;
 - diesel HD
 - SCR;
 - DPF.

Het volgende overzicht laat zien welke gegevens verouderd zijn en die geactualiseerd zouden moeten worden met nieuwe data, uit literatuur en anders uit nieuwe metingen:

- Diesel NO_x-reductiesystemen en roetfilters en de invloed op VOS- en PAK-profielen;
- Benzinemotoren met directe insputing: invloed op VOS en PAK -profielen;
- Meten vluchtige en semi- vluchtige organische koolwaterstoffen: invloed op VOS- en PAK-profielen;
- Olie lekkage moderne voertuigen: de mate van lekkage en de samenstelling van smeerolie;
- Verandering banden en remvoering samenstelling in de tijd en mogelijke invloed op de emissie van ZZS;
- Veranderingen van de brandstoffsamenstelling en effecten op VOS- en PAK profielen (aromaten, benzeengehalte);
- Alternatieve brandstoffen (FAME, HVO, ethanol..) en effecten op VOS- en PAK profielen en voor alcoholen in het bijzonder formaldehyde.

4.2 Mobiele werktuigen

De gegevens en aannames die achter de stoffenprofielen voor mobiele werktuigen liggen, zijn redelijk actueel, maar gebaseerd op onderzoek uit de V.S. [EPA, 2022]. De vraag is in hoeverre de profielen representatief zijn voor de Nederlandse situatie. Om de vraag te beantwoorden zou moeten worden onderzocht in hoeverre de brandstoffsamenstelling en gebruikte motor- en uitlaatgasreinigingstechnologie in beide markten overeenkomen en of eventuele verschillen een effect kunnen hebben op de samenstelling van het uitlaatgas.

Voor mobiele werktuigen wordt de uitstoot van ZGS uit de uitlaat van de motoren van de werktuigen bepaald, maar niet voor andere emissie-oorzaken zoals lekkage of slijtage van (rups-)banden en remmen en ook niet voor andere compartimenten (riool en oppervlakte water).

Referenties

[Dellaert, S.N.C. & R. Dröge, 2017] *Uncertainty of the NO_x, SO_x, NH₃, PM₁₀, PM_{2.5}, EC_{2.5} and NMVOC emissions from transport*, TNO 2017 R10854, TNO, Utrecht

[Geilenkirchen et. al., 2023] Geilenkirchen. G.P., M. Bolech, J. Hulskotte, S. Dellaert, N. Ligterink, M. Sijstermans, K. Geertjes, K. Felter, M. 't Hoen, (2023), *Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands*, 2023, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, Den Haag.

[G. Geilenkirchen et. al., 2024] *Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands*, RIVM report, 15 april 2024

[Denier van der Gon, H., Ten Broeke, H. & Hulskotte, J., 2008], *Emissies door wegdekslijtage ten gevolge van het wegverkeer*, Rijkswaterstaat Waterdienst.

[IFEU, 2010] Helms, H., Lambrecht, U., Knörr, W. (2010), *Aktualisierung des Modells TREMOD - Mobile Machinery (TREMOD-MM)*.

[EEA, 2007] EMEP/CORINAIR *Emission Inventory Guidebook 2007*. European Environment Agency, Kopenhagen, Denemarken.

[Ten Broeke & Hulskotte, 2009] ten Broeke, Ir. H.M., Hulskotte, Ir. J.H.J., *Actuele VOS- en PAK-profielen van wegverkeer*, TNO report TNO-034-UT-2009-00604_RPT-ML, november 2009

[Pulles, M.P.J., Denier van der Gon, H.A.C., Appelman, W.A.J., Verheul, M. , 2012], *Emission factors for heavy metals from diesel and petrol used in European vehicles*, Atmospheric Environment 61 (2012) 641-651.

[TNO, 2023] *Calculating emissions for Dutch NRMM fleet*, EMMA-Mephisto model, TNO 2023 R12643 – 21 December 2023

[Van Duijnhoven, N. & Van der Gon, H.G., 2016], *Factsheet Emissieschattingen Diffuse bronnen, Bandenslijtage wegverkeer*, Deltares & TNO.

[Van Duijnhoven, N., 2021], *Memo Nieuwe emissiefactoren bandenslijtage*, Deltares

[US EPA, 2004] *Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Engine Modeling-- Compression-Ignition*, EPA420-P-04-009 NR-009c, April 2004.

[US EPA, 2022] *Speciation Profiles and Toxic Emission Factors for Nonroad Engines in MOVES3*, EPA-420-R-22-015, July 2022.

[H. Witt et. al., 2025] *Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands*, RIVM report 2025-0006.

Ondertekening

TNO) Mobility & Built Environment) Den Haag, 13 november 2025

Jan Hoegee
Research Manager

Robin Vermeulen
Auteur

Bijlage A

Profielen volgens methodiekrapport

Table 3.6A: Heavy metals in motor fuels and engine oil (lekkage).

	Motor fuels source:a			Engine oil source: b
	Petrol	Diesel fuel	LPG	
	<i>µg/kg of fuel</i>			
Mercury	8.40	2.30	0.000	1.65
Cadmium	0.29	0.03	0.000	9.59
Copper	4.00	7.30	0.000	26.0
Chromium	6.40	12.00	0.000	13.8
Nickel	0.94	0.05	0.000	10.4
Selenium	0.19	0.05	0.000	0.03
Zinc	36.00	19.00	0.000	1923
Arsenic	0.30	0.05	0.000	0.03
Lead	1.50	0.15	0.000	41.8
Metals total	58.020	40.925		2026

Source: TNO; references:

a: Pulles T., Denier van der Gon H., Appelman W., Verheul M., Emission factors from diesel and petrol used in European vehicles, *Atm. Env.* 61, 641-651, 2012

b: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook - 2013, EEA Technical report No 12/2013, 29 Aug 2013
(metals in engine oil + fuel (source b:) - metals in fuel (source a:))
Documentation on the website of the Dutch Emission Registration.

Table 3.6B: Profiles of heavy metals in wear debris.

	Tyre wear debris		Brake lining	Road surface
	Light duty vehicles	Heavy duty vehicles	wear debris	wear debris
	%			
Aluminum			0.96	
Antimony			0.84	
Arsenic	0.0001	0.0001	-	0.0000
Cadmium	0.0002	0.0002	0.001	0.0001
Chromium	0.0004	0.0004	0.37	0.0040
Iron			68	
Copper	0.049	0.049	3.80	0.0012
Lead	0.016	0.016	0.04	0.0015
Manganese			0.51	
Molybdenum			0.29	
Nickel	0.005	0.005	0.09	0.0020
Tin			1.10	
Titanium			0.30	
Zinc	1.2	2.3	1.50	0.0035
Selenium	0.002	0.002	-	0.0000
Silicium			1.90	
Wolframium			0.06	
Vanadium	0.000	0.000	0.10	0.0000
Zirconium			0.38	
Sulphur			1.0	
Carbon			11	

Table 3.6C: PAH-factors for tyre wear.

	Reduction	PAH from tyres of light duty vehicles	PAH from tyres of heavy duty vehicles
	%	<i>kgs/kg wear debris</i>	
1990-2010	0	0.00011528	0.00003691
2011	20	0.000092224	0.000029528
2012	50	0.00005764	0.000018455
2013	70	0.000034584	0.000011073
2014	80	0.000023056	0.000007382
2016-2030	90	0.000011528	0.000003691

Source: Methodology reports of the Emission Registration (ER), see ER website:

* J.H.J. Hulskotte, H.A.C. Denier van der Gon, B. Jansen, G. Roskam, Elemental Composition of Current Automotive Brake Materials, TNO-report TNO 2013 R10323, March 4, 2013,

* "Factsheet road surface wear January 2008.pdf" (in Dutch).

Table 3.6D: PAH compounds in tyre wear PAH total.

PAH-compound	1990-2014		2006-onwards	
	Light duty vehicles	Heavy duty vehicles	Light duty vehicles	Heavy duty vehicles
	g/kg PAH			
Acenaftheen	0.05	0.05	0.00	0.00
Acenafthyleen	0.01	0.01	0.01	0.01
Anthraceen	0.02	0.02	0.00	0.00
Benzo(a)Anthraceen	0.06	0.06	0.01	0.01
Benzo(a)Pyreen	0.05	0.05	0.01	0.01
Benzo(b)Fluorantheen	0.14	0.14	0.01	0.01
Benzo(ghi)Peryleen	0.11	0.11	0.03	0.03
Benzo(k)Fluorantheen	0.08	0.08	0.00	0.00
Chryseen	0.21	0.21	0.01	0.01
dibenzo(ah)anthraceen	0.00	0.00	0.00	0.00
Fenanthreen	0.09	0.09	0.03	0.03
Fluorantheen	0.17	0.17	0.05	0.05
Fluoreen	0.01	0.01	0.00	0.00
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	0.02	0.02	0.01	0.01
Naftaleen	0.06	0.06	0.01	0.01
PAK (10 van VROM)	0.86	0.86	0.16	0.16
PAK (16 van EPA)	0.00	0.00	0.45	0.45
PAK (4 van PRTR)	0.29	0.29	0.03	0.03
PAK (6 van Borneff)	0.56	0.56	0.11	0.11
Pyreen	0.21	0.21	0.17	0.17

Table 3.7: Lead and sulphur content of road traffic fuels.

	Lead		Sulphur			
	In petrol		In petrol		In diesel	
	<i>grams/liter</i>		<i>ppm</i>		<i>ppm</i>	
1980	0.36	5)	240	1)	3300	6)
1985	0.36	5)	240	1)	2000	6)
1990	0.071	5)	240	2)	1780	6)
1991	0.057	5)	210	3)	1800	6)
1992	0.042	5)	190	3)	1800	6)
1993	0.036	5)	160	3)	1800	6)
1994	0.027	5)	130	3)	1750	6)
1995	0.021	5)	100	3)	1600	6)
1996	0.011	5)	70	4)	1189	6)
1997	0.0004	5)	70	4)	500	6)
1998	0.00001	6)	70	4)	500	6)
1999	0.00001	6)	70	4)	500	6)
2000	0.00001	6)	70	5)	290	5)
2001	0.00001	6)	50	7)	42	7)
2002	0.00001	6)	60	7)	34	7)
2003	0.00001	6)	30	7)	31	7)
2004	0.00001	6)	30	7)	34	7)
2005	0.00001	6)	20	7)	8	7)
2006	0.00001	6)	20	7)	11	7)
2007	0.00001	6)	20	8)	11	8)
2008	0.00001	6)	10	8)	10	6)
2009	0.00001	6)	10	8)	10	6)
2010	0.00001	6)	10	8)	10	6)
2011	0.00001	6)	10	8)	10	6)
2012	0.00001	6)	10	8)	10	6)
2013	0.00001	6)	10	8)	10	6)
2014	0.00001	6)	10	8)	10	6)
2015	0.00001	6)	10	8)	10	6)
2016	0.00001	6)	10	8)	10	6)
2017	0.00001	6)	10	8)	10	6)
2018	0.00001	6)	10	8)	10	6)
2019	0.00001	6)	10		10	6)

Sources:

1) As 1990

2) Kattenwinkel, SHELL, personal communication

3) Estimation

4) CONCAWE, "a survey of european gasoline qualities, summer 1996", report no. 5/98

5) Measurements

6) Standard

7) AEA Energy & Environment, 2008. EU Fuel Quality Monitoring, 2006 Summary Report.

8) As 2006

Table 3.9B: Component profiles of engine oil (verbranding olie, uitlaatemissies naar lucht).

<i>Component</i>		Factor
arsenic	kgs	0.0000077000000000
cadmium	"	0.0000338000000000
chromium	"	0.0001480000000000
copper	"	0.0000032500000000
lead	"	0.0008250000000000
nickel	"	0.0082500000000000
zinc	"	0.0008600000000000
PAH (10 of VROM)	"	0.0010000000000000
PAH (6 of BORNEFF)	"	0.0001300000000000
phenanthrene	"	0.0002000000000000
anthracene	"	0.0001800000000000
fluoranthene	"	0.0001800000000000
chrysene	"	0.0001750000000000
benzo(a)pyrene	"	0.0001000000000000
benzo(a)anthracene	"	0.0001000000000000
benzo(b)fluoranthene	"	0.0002200000000000
benzo(k)fluoranthene	"	0.0000650000000000
benzo(ghi)perylene	"	0.0060000000000000
indeno(1,2,3,cd)perylene	"	0.0000000000000000
naphtalene	"	0.0000000000000000

Source:

Emission Registration Methodology reports for water emissions. Factsheet engine oil leakage; see: [Documentation on the website of the Dutch Emission Registration, emissieregistratie.nl](https://emissieregistratie.nl).

Table 3.10A: Road traffic emission profiles for VOC-components.

Component	Combustion emissions			Evaporative emissions (petrol)
	Petrol without Catalytic converter	Diesel before 2000	LPG	
	Fraction of VOC			
methane	0.050	0.040	0.203	
ethane	0.013	0.010	0.000	
propane	0.001	0.010	0.000	0.010
n-butane	0.029	0.019	0.000	0.019
i-butane	0.011	0.000	0.000	0.000
n-pentane	0.020	0.019	0.000	0.019
i-pentane	0.041	0.000	0.000	0.000
hexanes	0.067	0.000	0.000	0.000
heptanes	0.044	0.000	0.000	0.000
octanes	0.075	0.000	0.000	
nonanes	0.022	0.000	0.000	
alkanes C $\geq$ 10	0.009	0.288	0.000	
ethene	0.068	0.115	0.000	
ethyn	0.043	0.038	0.000	
propene	0.036	0.029	0.000	
propadiene	0.002	0.000	0.000	
propyn	0.003	0.000	0.000	
1-butenes	0.016	0.006	0.000	0.006
1,3-butadiene	0.008	0.006	0.000	
2-butenes	0.006	0.006	0.000	0.006
1-pentenenes	0.007	0.005	0.000	0.005
2-pentenenes	0.010	0.005	0.000	0.005
1-hexenenes	0.006	0.000	0.000	0.000
1,3-hexenenes	0.006	0.000	0.000	0.000
alkenes C $\geq$ 7	0.003	0.019	0.000	0.019
benzene	0.043	0.019	0.030	0.019
toluene	0.114	0.014	0.000	0.014
o-xylene	0.024	0.005	0.000	
m,p-xylene	0.053	0.014	0.000	0.014
ethylbenzene	0.020	0.005	0.000	
styrene	0.007	0.000	0.000	
1,2,3-trimethylbenzene	0.005	0.000	0.000	
1,2,4-trimethylbenzene	0.025	0.000	0.000	
1,3,5-trimethylbenzene	0.008	0.000	0.000	
other aromatics C9	0.036	0.000	0.000	
aromatics c $\geq$ 10	0.043	0.192	0.000	
formaldehyde	0.016	0.058	0.000	
aceetaldehyde	0.003	0.019	0.000	
sat. aldehyden C4	0.003	0.014	0.000	
acroleïne	0.002	0.014	0.000	
crotonaldehyde	0.000	0.010	0.000	
benzaldehyde	0.003	0.005	0.000	
acetone	0.001	0.014	0.000	

Table 3.10B: Road traffic emission profiles for VOC components

new factors			
Component	Petrol with catalytic converter	Diesel light duty after 2000	Diesel heavy duty after 2000
	<i>fractie van VOS</i>		
aceetaldehyde	0.006	0.075	0.061
acroleine	0.001	0.007	0.006
Aldehydes C >4	0.005	0.030	0.041
benzaldehyde	0.002	0.002	0.007
crotonaldehyde	0.001	0.003	0.021
formaldehyde	0.015	0.206	0.041
methacroleine	0.001	0.002	0.010
propanale	0.002		0.036
Aldehydes C >4	0.033	0.325	0.223
alkanes C<10	0.074	0.019	0.012
alkanes C>=10	0.001	0.091	0.017
decane	0.001	0.020	
ethane	0.025	0.012	0.074
i-butane	0.033		0.001
i-pentane	0.028		0.000
isobutane	0.001	0.001	
isopentane	0.016	0.008	0.007
methane	0.124	0.203	0.041
n-butane	0.010	0.002	0.007
n-decane	0.018		0.113
n-heptane	0.009	0.004	0.014
n-hexane	0.013	0.003	0.000
n-hexadecane	0.000	0.089	0.002
n-nonane	0.007		0.047
n-cctane	0.002		0.011
n-octadecane	0.000		0.002
nonane	0.002		0.003
n-pentane	0.011	0.001	
propane	0.006	0.010	0.001
Alkanes	0.381	0.463	0.352
1,3-butadiene	0.002	0.001	0.001
1-butene	0.005		
1-butene + i-butene	0.018		
1-hexene	0.001		
1-pentene	0.000	0.000	
acetylene	0.012	0.026	0.012
alkenes C < 8	0.009	0.002	0.008
ethene	0.040	0.074	0.012
propene	0.018	0.011	0.016

Alkenes C < 8	0.105	0.114	0.049
butyn	0.006		0.008
propyn	0.003		
Alkynen	0.009		0.008
1,2,3-trimethylbenzene	0.014	0.001	0.011
1,2,4-trimethylbenzene	0.059	0.004	0.038
1,3,5-trimethylbenzene	0.013	0.000	0.009
2-ethyltoluene	0.005		0.011
3-ethyltoluene	0.013		0.026
4-ethyltoluene	0.007		0.012
aromatics C >= 8	0.002	0.003	0.014
benzene	0.071	0.030	0.061
ethylbenzene	0.023	0.002	0.009
m&p-xylene	0.068	0.007	0.028
o-xylene	0.025	0.002	0.016
styrene	0.010		0.003
toluene	0.137	0.007	0.051
Aromatics C >= 8	0.447	0.056	0.289
acetone	0.023	0.033	0.057
ketones C <15	0.002	0.005	0.067
Ketones C <15	0.025	0.038	0.124

Table 3.10C: Profiles for PAH in VOC in road traffic exhaust gasses.

	Petrol without catalytic converter	Diesel	LPG	Mopeds (2-stroke)
	<i>grams/kg VOC</i>			
naphtalene	0.967	6.770	0.000	0.175
anthracene	0.008	0.121	0.009	0.028
phenanthrene	0.056	0.475	0.059	0.109
methylphenanthrene	0.009	0.131	0.000	0.014
dimethylfluorene	0.005	0.104	0.000	0.007
3,6-dimethylphenanthrene	0.005	0.017	0.000	0.007
fluoranthene	0.021	0.126	0.004	0.018
pyrene	0.025	0.155	0.000	0.026
benzo(b)fluorene	0.004	0.042	0.000	0.002
benzo(a)anthracene	0.003	0.021	0.000	0.026
chrysene	0.008	0.068	0.001	0.002
cyclpentapyrene	0.005	0.070	0.000	0.014
triphenylene	0.003	0.017	0.000	0.001
methylchrysene	0.000	0.003	0.000	0.000
benz(c)phenantrene	0.002	0.017	0.000	0.002
benzo(b)fluoranthene	0.002	0.017	0.000	0.002
benzo(j)fluoranthene	0.002	0.017	0.000	0.002
benzo(k)fluoranthene	0.002	0.006	0.000	0.002
benzo(a)pyrene	0.002	0.017	0.000	0.003
benzo(e)pyrene	0.004	0.034	0.000	0.004
perylene	0.001	0.007	0.000	0.002
cyclopentabenzopyrene	0.013	0.007	0.000	0.002
dibenzoanthracene	0.000	0.003	0.000	0.001
indeno(1,2,3,cd)perylene	0.000	0.003	0.000	0.001
indeno(1,2,3,cd)perylene	0.002	0.000	0.001	0.002
benzo(ghi)perylene	0.003	0.003	0.000	0.011
cyclopentabenzoperylene	0.000	0.003	0.000	0.001
anthanthrene	0.002	0.004	0.000	0.002
coronene	0.001	0.036	0.000	0.002
acenaphtene	0.015	0.051	0.000	0.005
acenaftylene	0.015	0.169	0.000	0.018
fluorene	0.015	0.169	0.000	0.018
benz(a,h)antanthrene	0.007	0.051	0.000	0.002
total PAH-Borneff	0.031	0.169	0.005	0.036
total PAH-VROM	1.071	7.607	0.074	0.374
total PAH-EPA	1.206	8.734	0.075	0.506

Table 3.10D: PAH-profiles petrol fueled vehicles with cat and diesel vehicles 2000 and after.

PAH-component	Fraction of	Fraction	
		Petrol	Diesel
anthracene	VOS	$2,6 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
phenanthrene		$8,2 \cdot 10^{-5}$	$8,8 \cdot 10^{-4}$
fluoranthene		$4,1 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$
naphtalene		$1,2 \cdot 10^{-3}$	$5,8 \cdot 10^{-3}$
benzo(a)anthracene	PM10	$9,3 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$
benzo(a)pyrene		$7,5 \cdot 10^{-5}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$
benzo(b)fluoranthene		$8,5 \cdot 10^{-5}$	$7,0 \cdot 10^{-5}$
benzo(ghi)perylene		$1,1 \cdot 10^{-4}$	$8,1 \cdot 10^{-5}$
benzo(k)fluoranthene		$5,9 \cdot 10^{-5}$	$5,5 \cdot 10^{-5}$
bchrysene		$2,0 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$
indeno(123-cd)pyrene		$5,2 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-5}$

Source: TNO

Table 3.10E: Profiles for dioxines in VOC in road traffic exhaust gasses.

	Factor
Petrol without catalytic converter	0.000000020
Petrol with catalytic converter	0.000000010
Petrol two-stroke	0.000000025
Diesel	0.000000025

Source: VROM (Ministry of Spatial and Environmental Planning), 1993. Publication series Emission Registration. Emission factors for Volatile Organic Compounds (VOC) from combustion engines. no. 10, April 1993, The Hague (in Dutch).

Bijlage B

ZZS stoffenlijsten gerapporteerd in de emissieregistratie per compartiment voor de subsector wegverkeer

Compartiment lucht Wegverkeer uitlaatgassen en niet-uitlaatgassen (17 stoffen /stofgroepen)	Stofklasse voor luchtemissies
Anthraceen	MVP1
Arseenverb. (als As)	MVP1
Benzeen	MVP2
Benzo(a)Pyreen	MVP1
Benzo(b)Fluorantheen	MVP1
Benzo(k)Fluorantheen	MVP1
Cadmiumverb. (als Cd)	MVP1
Dioxinen (PCDD/PCDF, I-TEQ)	ERS
Fluorantheen	MVP1
Formaldehyde	MVP2
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	MVP1
Koolstofmonoxide	-
Kwikverb. (als Hg)	MVP1
Loodverb. (als Pb)	MVP1
Naftaleen	MVP1
Nikkelverb. (als Ni)	MVP1
PAK (4 van PRTR) (benzo(a)pyreen, benzo(b)fluorantheen, benzo(k)fluorantheen en Indeno(1,2,3-cd)pyreen)	Elk MVP1

Compartiment oppervlaktewaterWegverkeer niet- uitlaatgassen
Acenaftheen
Acenafthyleen
Anthraceen
Arseenverb. (als As)
Benzo(a)Anthraceen
Benzo(a)Pyreen
Benzo(b)Fluorantheen
Benzo(ghi)Peryleen
Benzo(k)Fluorantheen
Berylliumverb. (als Be)
Cadmiumverb. (als Cd)
Chryseen
Di(2-Ethylhexyl)Ftalaat
dibenzo(ah)anthraceen
Fenanthreen
Fenolen (als totaal C)
Fluorantheen
Fluoreen
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen
Kobaltverb. (als Co)
Loodverb. (als Pb)
Naftaleen
Nikkelverb. (als Ni)
Nonylfenol/Ethoxylaten(Np/Npe)
PAK (10 van VROM)
PAK (16 van EPA)
PAK (4 van PRTR)
PAK (6 van Borneff)
Pyreen

Compartiment riool en oppervlaktewater Wegverkeer niet-uitlaatgassen
Acenaftheen
Acenafthyleen
Anthraceen
Arseenverb. (als As)
Benzo(a)Anthraceen
Benzo(a)Pyreen
Benzo(b)Fluorantheen
Benzo(ghi)Peryleen
Benzo(k)Fluorantheen
Berylliumverb. (als Be)
Cadmiumverb. (als Cd)
Chryseen
Di(2-Ethylhexyl)Ftalaat
dibenzo(ah)anthraceen
Fenanthreen
Fenolen (als totaal C)
Fluorantheen
Fluoreen
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen
Kobaltverb. (als Co)
Loodverb. (als Pb)
Naftaleen
Nikkelverb. (als Ni)
Nonylfenol/Ethoxylaten(Np/Npe)
PAK (10 van VROM)
PAK (16 van EPA)
PAK (4 van PRTR)
PAK (6 van Borneff)
Pyreen

Compartiment riool Wegverkeer niet-uitlaatgassen
Acenaftheen
Acenafthyleen
Anthraceen
Arseenverb. (als As)
Benzo(a)Anthraceen
Benzo(a)Pyreen
Benzo(b)Fluorantheen
Benzo(ghi)Peryleen
Benzo(k)Fluorantheen
Berylliumverb. (als Be)
Cadmiumverb. (als Cd)
Chryseen
Di(2-Ethylhexyl)Ftalaat
dibenzo(ah)anthraceen
Fenanthreen
Fenolen (als totaal C)
Fluorantheen
Fluoreen
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen
Kobaltverb. (als Co)
Loodverb. (als Pb)
Naftaleen
Nikkelverb. (als Ni)
Nonylfenol/Ethoxylaten(Np/Npe)
PAK (10 van VROM)
PAK (16 van EPA)
PAK (4 van PRTR)
PAK (6 van Borneff)
Pyreen

Mobility & Built Environment

Anna van Buerenplein 1
2595 DA Den Haag
www.tno.nl