

# Grenswaarden voor luchtvervuilende stoffen in het LVB

## **Rapport**

Delft, februari 2014

## **Opgesteld door:**

J. (Jasper) Faber  
M.E. (Martine) Smit  
M.B.J. (Matthijs) Otten  
M.J. (Marnix) Koopman



# Colofon

## **Bibliotheekgegevens rapport:**

J. (Jasper) Faber, M.E. (Martine) Smit, M.B.J. (Matthijs) Otten, M.J. (Marnix) Koopman  
Grenswaarden voor luchtvervuilende stoffen in het LVB  
Delft, CE Delft, februari 2014

Overheidsbeleid / Regelgeving / Vliegvelden / Normstelling / Luchtverontreiniging

Publicatienummer: 14.7B92.02

Opdrachtgever: Ministerie van Infrastructuur en Milieu.  
Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via [www.ce.nl](http://www.ce.nl)

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Jasper Faber.

© copyright, CE Delft, Delft

**CE Delft**  
**Committed to the Environment**

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 35 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>7</b>
1.1 Aanleiding	7
1.2 Achtergrond	7
1.3 Doel van het project	8
1.4 Afbakening	8
1.5 Leeswijzer	8
<b>2 Luchtverontreinigende stoffen uit de luchtvaart</b>	<b>9</b>
2.1 Inleiding	9
2.2 Luchtvaart en luchtverontreiniging	9
<b>3 Regulering van emissies in de luchtvaart</b>	<b>11</b>
3.1 Inleiding	11
3.2 Reguleringskaders emissie- en concentratienormen luchtvaart	11
3.3 Conclusie	14
<b>4 Regulering van emissies in andere vervoersmodaliteiten</b>	<b>15</b>
4.1 Inleiding	15
4.2 Reguleringskaders voor wegverkeer	15
4.3 Reguleringskaders voor zeevaart	16
4.4 Reguleringskader voor binnenvaart	17
4.5 Conclusie	18
<b>5 Luchtkwaliteit rondom Schiphol en prognoses</b>	<b>21</b>
5.1 Inleiding	21
5.2 Luchtkwaliteit rondom Schiphol	21
5.3 Bijdrage luchtvaart aan lokale luchtkwaliteit Schiphol	22
5.4 Ontwikkeling van de luchtvervuiling rondom Schiphol in 2015 en 2020	24
5.5 Luchtkwaliteit in Nederland	25
5.6 Conclusie	27
<b>6 Analyse sturingsinstrumenten</b>	<b>29</b>
6.1 Inleiding	29
6.2 Sturingsinstrumenten om luchtvaartemissies te reduceren	29
6.3 Conclusie	34
<b>7 Trade-offs in regulering luchtvervuilende stoffen</b>	<b>37</b>
7.1 Inleiding	37
7.2 Data en methode	37
7.3 Emissies per eenheid MTOW	39
7.4 Trade-off emissies en geluid	41
7.5 Conclusie	45



<b>8</b>	<b>Conclusie</b>	<b>47</b>
<b>9</b>	<b>Referenties</b>	<b>49</b>
<b>Bijlage A</b>	<b>Berekening geluidsoverlast en PM-uitstoot</b>	<b>53</b>
A.1	GIS-factor	53
A.1	PM-emissies	54
<b>Bijlage B</b>	<b>Correlaties emissies en geluid</b>	<b>55</b>



# Samenvatting

In het *Luchthavenverkeerbesluit* 2002 waren oorspronkelijk grenswaarden opgesteld voor de uitstoot van koolmonoxide (CO), stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>), vluchtige organische stoffen (VOS), zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>) en fijnstof (PM<sub>10</sub>). Die waarden stelden een maximum aan de emissies van deze stoffen per kilogram maximaal toegestaan startgewicht van de vliegtuigen op Schiphol. In 2012 is de grenswaarde voor CO geschrapt toen overschrijding dreigde, vanwege het risico op een perverse werking op de uitstoot van andere stoffen of op geluid.

Nu een nieuw luchthavenverkeerbesluit wordt voorbereid, is het de vraag of het wenselijk en effectief is om wederom grenswaarden te stellen voor luchtvervuilende stoffen.

Dit rapport analyseert of, en zo ja voor welke luchtverontreinigende stoffen die de luchtvaart uitstoot sectorbeleid wenselijk en effectief is zonder perverse werking op andere emissies en op geluid, en hoe dit beleid vormgegeven zou kunnen worden.

De luchtkwaliteit rondom Schiphol blijft voor NO<sub>2</sub> en PM<sub>10</sub> op alle meetlocaties rondom Schiphol (omgeving Haarlemmermeer) binnen de wettelijke norm. De jaargemiddelde concentratie van NO<sub>2</sub> blijft op enkele punten net binnen de norm. Volgens prognoses zal dat ook in 2015 en 2020 het geval zijn. De bijdrage van de luchtvaart aan de NO<sub>2</sub>-concentratie neemt zowel in absolute als in relatieve zin toe van 15% in 2015 tot 20% in 2020. De concentraties van andere stoffen worden niet gemeten, maar blijven volgens berekeningen ook binnen de norm.

De uitstoot van luchtverontreinigende stoffen in de luchtvaart wordt op verschillende manieren gereguleerd:

- op mondiaal niveau worden er eisen gesteld door ICAO aan de uitstoot van emissies door vliegtuigmotoren;
- op Europees niveau is de luchtkwaliteit gereguleerd met grensnormen voor concentraties van stoffen en emissieplafonds; de Europese Commissie heeft voorgesteld om het luchtkwaliteitsbeleid aan te scherpen;
- de luchtvaart is onderdeel van het Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL) dat beoogt de uitstoot te verminderen;
- het Luchthavenverkeerbesluit (LVB) voor Schiphol stelt relatieve en absolute grenswaarden met betrekking tot de uitstoot van stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>), vluchtige organische stoffen (VOS), zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>) en fijnstof (PM<sub>10</sub>).

In andere vervoerssectoren bestaat een vergelijkbaar instrumentarium.

De emissies van luchtvervuilende stoffen van vliegtuigen kunnen sterk verschillen. Ook binnen eenzelfde vliegtuigtype is de variatie groot door de verschillende motoren. Per kilogram MTOW dalen de meeste emissies met toenemende grootte van het vliegtuig, al nemen ze voor de grootste vliegtuigen weer toe (Boeing 777-300, Airbus A340, etc.). Voor NO<sub>x</sub> nemen de emissies juist toe met de grootte van het vliegtuig, al is in alle gevallen de variatie binnen een vliegtuigtype veel groter dan de trend. Dit betekent dat een grenswaarde voor luchtvervuilende stoffen per eenheid MTOW invloed kan hebben op de samenstelling van de vloot op Schiphol, in de zin dat luchtvaartmaatschappijen relatief schonere vliegtuigen van een bepaald type kunnen inzetten op vluchten van en naar Schiphol.



Schiphol heeft al verschillende maatregelen getroffen om de uitstoot van luchtvervuilende stoffen te beperken, zoals geëlektrificeerde gates, en taxiën met minder motoren. Ook de grootste gebruiker van Schiphol, KLM, heeft maatregelen getroffen, zoals het regelmatig wassen van de motoren en het installeren van roetfilters op *ground power units*. In vergelijking met andere luchthavens, heeft Schiphol sommige maatregelen nog niet genomen, zoals het differentiëren van landingsgelden naar NO<sub>x</sub>-uitstoot. Dit is in bijvoorbeeld Zwitserland een effectieve maatregel geweest om de uitstoot te verminderen, bijvoorbeeld doordat luchtvaartmaatschappijen vliegtuigen met relatief weinig uitstoot op deze luchthavens hebben laten vliegen. Waarschijnlijk is ook op Schiphol nog een verdere beperking van de uitstoot mogelijk.

Vliegtuigen die minder NO<sub>x</sub> en PM uitstoten, hebben in het algemeen een hogere uitstoot van CO en VOS. In de meeste gevallen hebben ze een lager brongeluid, al zijn er ook uitzonderingen. In het algemeen verwachten wij niet dat lagere emissies van NO<sub>x</sub> en PM zullen leiden tot grote veranderingen in geluidsbelasting, al zijn in het kader van deze opdracht geen contour-berekeningen uitgevoerd.

Concluderend, de emissies van NO<sub>x</sub> en PM zouden verder teruggebracht kunnen worden, bijvoorbeeld door het differentiëren van de landingsgelden. De concentratie van deze stoffen ligt het dichtst bij de norm. De grenswaarden van het LVB zouden een aanleiding kunnen zijn voor beleid van Schiphol op dit punt. Een afname van de emissies van NO<sub>x</sub> en PM zou tot een toename aan de emissies van VOS en CO leiden, maar omdat die voor de luchtkwaliteit een kleiner probleem vormen, zou het totale effect positief kunnen zijn. Het brongeluid zou iets kunnen afnemen, al zijn de effecten gering. Wanneer de emissies afnemen, neemt ook de concentratie van vervuilende stoffen af. Dat heeft een positief milieueffect, hoewel er rond Schiphol op dit moment geen problemen zijn met overschrijding van de normen voor luchtkwaliteit.



# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

De Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu heeft aangekondigd op korte termijn de grenswaarde voor koolmonoxide uit het Luchthavenverkeerbesluit Schiphol (LVB) te schrappen.<sup>1</sup> Eén van de redenen daarvoor is dat directe sturing op deze grenswaarde perverse effecten kan hebben op de uitstoot van andere stoffen of op geluid van het vliegverkeer.

In de brief waarin ze het schrappen van de grenswaarde voor CO aankondigt, geeft de Staatssecretaris aan dat ze '[n]aast de bestaande wettelijke kaders voor luchtkwaliteit (concentratienormen in de Wet milieubeheer) en beperking van de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen (NEC-richtlijn met nationale emissieplafonds) wil (...) kijken voor welke luchtverontreinigende stoffen specifiek sectorbeleid wenselijk én effectief is zonder perverse werking op andere emissies waarop strikte sturing noodzakelijk is.'

Het ministerie van I&M, DG Luchtvaart, heeft CE Delft gevraagd om nader onderzoek te doen naar de wenselijkheid en de effectiviteit van sectorbeleid voor luchtverontreinigende stoffen.

## 1.2 Achtergrond

De achtergrond van het project wordt gevormd door de volgende feiten:

- De emissienormen zijn in het LVB primair vormgegeven als emissies per eenheid MTOW. Als die niet gehaald worden, gelden er absolute emissieplafonds.
- Naast de emissienormen in het LVB gelden er voor de luchtvaart internationale normen voor de uitstoot van motoren en voor Schiphol Europese luchtkwaliteitseisen. Emissies van de luchtvaart in de LTO-fase maken deel uit van het nationaal emissieplafond. Daarnaast neemt Schiphol deel aan het NSL.
- Het Nieuwe Normen- en Handhavingstelsel zal vermoedelijk leiden tot een nieuw luchtverkeerbesluit, waarin opnieuw grenswaarden kunnen worden vastgesteld.
- de gelijkwaardigheidscriteria voor Schiphol bepalen dat '[e]lk besluit, volgend op het eerste luchthavenverkeerbesluit, een beschermingsniveau [biedt] ten aanzien van externe veiligheid, geluidbelasting en lokale luchtverontreiniging, dat voor ieder van deze aspecten, gemiddeld op jaarbasis vastgesteld, per saldo gelijkwaardig is aan of beter is dan het niveau zoals dat geboden werd door het eerste besluit.' (Wet luchtvaart, Art 8.17, 7<sup>e</sup> lid).

---

<sup>1</sup> Tweede Kamer, vergaderjaar 2012-2013, 29 665, nr. 182.



### 1.3 Doel van het project

Het doel van het project is tweeledig:

1. Analyseren of, en zo ja voor welke luchtverontreinigende stoffen die de luchtvaart uitstoot sectorbeleid wenselijk en effectief is zonder perverse werking op andere emissies en op geluid.
2. Analyseren hoe dit sectorbeleid vormgegeven zou kunnen worden.

### 1.4 Afbakening

Het antwoord op de vraag wordt beperkt door wat Schiphol kan doen: het kan invloed uitoefenen op de samenstelling van de vloot op Schiphol, en technische en operationele maatregelen aanbieden of verplichten die de uitstoot beperken. We nemen aan dat unilateraal beleid van Schiphol geen invloed heeft of zal hebben op de technische specificaties van vliegtuig-motoren of vliegtuigen.

### 1.5 Leeswijzer

Dit rapport telt acht hoofdstukken. De eerste hoofdstukken geven een overzicht van de relatie tussen luchtvaart en luchtkwaliteit, zowel op fysiek als op beleidsmatig vlak. Hoofdstuk 2 geeft een globaal overzicht van de bijdrage van luchtvaart aan luchtverontreiniging en Hoofdstuk 3 een overzicht van het luchtkwaliteitsbeleid in de luchtvaart. Hoofdstuk 4 vergelijkt dit beleid met het beleid in andere sectoren.

De volgende hoofdstukken gaan specifiek in op de luchtkwaliteit rond Schiphol. Hoofdstuk 5 geeft een overzicht van de huidige luchtkwaliteit en de bijdrage van vliegtuigen daaraan, en prognoses voor 2015 en 2020. Hoofdstuk 6 analyseert de sturingsinstrumenten die luchthavens hebben en de instrumenten die Schiphol toepast om de uitstoot van stoffen door vliegtuigen te verminderen. Hoofdstuk 7 analyseert de trade-offs tussen de verschillende emissies waarmee beleid rekening dient te houden.

Hoofdstuk 8 bevat de conclusies.





# 2 Luchtverontreinigende stoffen uit de luchtvaart

## 2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt uiteengezet welke luchtverontreinigende stoffen die de luchtvaart uitstoot een rol spelen in de lokale luchtverontreiniging rond Schiphol.

Eerst wordt een algemeen overzicht gegeven welke emissies van de luchtvaart invloed hebben op de lokale luchtverontreiniging/luchtkwaliteit. Vervolgens zal specifiek worden gekeken naar de bijdrage van de luchtvaart op Schiphol aan de lokale luchtkwaliteit.

## 2.2 Luchtvaart en luchtverontreiniging

De luchtvaart draagt bij aan de uitstoot van emissies. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt in broeikasgassen en andere luchtverontreinigende stoffen. De belangrijkste emissies van de luchtvaart die een klimaateffect hebben zijn koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>), stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>), die zelf geen broeikasgas zijn maar effect hebben op de broeikasgassen ozon (O<sub>3</sub>) en methaan (CH<sub>4</sub>), waterdamp (H<sub>2</sub>O), terwijl ook condensatiestrepen, sulfaatdeeltjes en roetdeeltjes een effect hebben op de stralingshuishouding van de atmosfeer (Lee et al., 2010). De belangrijkste luchtverontreinigende stoffen die de luchtvaart uitstoot zijn stikstofoxiden (NO<sub>2</sub>), vluchtige organische stoffen (VOS) en fijnstof (PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub>), koolmonoxide (CO) en zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>) (Mahashabde et al., 2011). In dit rapport wordt de broeikasgassen buiten beschouwing gelaten en wordt er alleen naar luchtverontreinigende stoffen gekeken. Tabel 1 geeft een overzicht van de emissies uitgestoten door de luchtvaart.

Tabel 1 Emissies van de luchtvaart

Luchtverontreinigende stoffen		Broeikasgassen	
Stikstofoxiden	NO <sub>x</sub>	Koolstofdioxide	CO <sub>2</sub>
Koolmonoxide	CO	Waterdamp	H <sub>2</sub> O
Zwaveloxiden	SO <sub>x</sub>	Methaan	CH <sub>4</sub>
Onverbrande koolwaterstoffen	HC	Ozon	O <sub>3</sub>
Vluchtige organische stoffen	VOS	Condensatiestrepen	
Fijnstof	PM	Sulfaatdeeltjes	
		Roetdeeltjes	

Bron: Lee et al., 2010 en Mahashabde et al. (2011).

Hieronder volgt een korte toelichting van de effecten van deze emissies op de luchtkwaliteit en gezondheid.

**Koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>)** is een broeikasgas en staat bekend om het negatieve effect op het klimaat en de bijdrage aan de opwarming van de aarde.

**Waterdamp (H<sub>2</sub>O)** is ook een broeikasgas en draagt bij aan de opwarming van de aarde.

**Stikstofoxide (NO<sub>x</sub>)** bestaat uit NO en NO<sub>2</sub>. Deze emissies ontstaan onder de hoge druk en hoge temperatuur bij de verbranding van koolwaterbrandstof in de lucht. Nadelige effecten bij mens en ecosystemen van met name de NO<sub>2</sub>-fractie treden op bij kortdurende blootstelling aan hoge niveaus en bij chronische blootstelling aan lage niveaus. Stikstofdioxide heeft een direct effect op de mens in de vorm irritatie aan de huid, ogen en slijmvliezen. Indirect verlaagt stikstofdioxide de weerstand van longen en tegen infectieziekten. Bij gevoelige personen, zoals mensen met CARA1, heeft stikstofdioxide al bij kortdurende blootstelling nadelige effecten op de longfunctie. In combinatie met VOCs, HC en CO heeft de emissie van NO<sub>x</sub> een negatief effect op de opwarming van de aarde. Tevens draagt NO<sub>x</sub> bij aan de vorming van fijnstof (PM) en verzuring van bodem en water waardoor ecosystemen kunnen worden aangetast.

**Koolmonoxide (CO)** emissies ontstaan als het gevolg van onvolledige verbranding van fossiele brandstoffen. CO heeft een verstikkend effect op mensen en dieren. Tevens heeft het een negatief effect op klimaatverandering en draagt het bij aan de opwarming van de aarde.

**Zwaveloxides (SO<sub>x</sub>)** ontstaat bij de verbranding van zwavel uit fossiele brandstoffen, het is een verzamelnaam voor zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>), zwaveltrioxide (SO<sub>3</sub>) en gasfase zwavelzuur (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Blootstelling aan SO<sub>x</sub> zou volgens de EPA kunnen leiden tot ernstige ademhalingsproblemen en -ziekten, zelfs met de dood tot gevolg (Mahashabde et al., 2011).

**Koolwaterstoffen (HC)** zijn organisch chemische verbindingen van waterstof en koolstof. Ze komen vrij bij onvolledige verbranding van fossiele brandstoffen en door verdamping. Koolwaterstoffen vormen onder invloed van zonlicht fotochemische smog, wat tijdelijk tot een zeer verontreinigende lucht leidt. Koolwaterstoffen overlappen grotendeels met **Vluchtige organische stoffen (VOS)**, een verzamelnaam voor een groep van vluchtige organische stoffen die makkelijk verdampen. Sommige van deze stoffen hebben ook direct schadelijke effecten op de menselijke gezondheid.

**Fijnstof (PM)**-emissies bestaan uit kleine zwevende deeltjes die ontstaan door niet-vluchtige koolstof (primaire PM), die direct worden uitgestoten uit de motoren. In de luchtvaart bestaat het grootste deel van de fijnstofemissies echter uit secundaire PM, die ontstaat door de reactie met andere luchtvaartemissies zoals NO<sub>x</sub>, SO en lichtere VOS. Fijnstof wordt gerelateerd aan gezondheidseffecten zoals voortijdige sterfte door ziektes m.b.t de hart- en bloedvaten en ademhaling.

# 3 Regulering van emissies in de luchtvaart

## 3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt het huidige reguleringskader van luchtvervuilende emissies en concentraties uiteengezet. Eerst worden er aan de hand van diverse richtlijnen en kaders in kaart gebracht welke normen er worden gesteld aan luchtvervuilende uitstoot door de luchtvaart en concentraties van luchtvervuilende stoffen.

## 3.2 Reguleringskaders emissie- en concentratienormen luchtvaart

De emissies door de luchtvaart worden door verschillende emissienormen en reguleringskaders aan banden gelegd op verschillende schaalniveaus. Zo geldt er mondiaal bronbeleid, opgesteld door ICAO, waarbij eisen worden gesteld aan vliegtuigmotoren. Tevens zijn er Europese luchtkwaliteitsdoelen (Richtlijn 2008/50/EG) en Nationale Emissieplafonds (NEC-richtlijn) opgesteld. Ook op lokaal niveau zijn er voor Schiphol emissienormen opgesteld (Luchthavenverkeerbesluit). In dit hoofdstuk worden de diverse reguleringskaders besproken.

### 3.2.1 Mondiaal beleid

In de *Convention on Long-range Transboundary Air Pollution* (CLRTAP) van de VN zijn internationale afspraken gemaakt over de beperking van luchtverontreiniging. Hieronder valt ook het Gotenburg Protocol. Hierin zijn afspraken gemaakt door de Verenigde Staten, Canada en de EU over emissieplafonds. Daarnaast zijn er afspraken gemaakt over de vermindering van emissies die landen tussen 2005 en 2020 moeten bereiken. De Europese Unie heeft deze afspraken uitgewerkt in de NEC-richtlijn (zie volgende paragraaf).

#### *ICAO-bronbeleid*

Naast internationale beleidsvorming en afspraken heeft ook de Internationale Luchtvaartorganisatie (ICAO) internationale normen vastgelegd inzake de rook en uitlaatgassen van vliegtuigmotoren (beleid aan de bron). Er zijn normen opgesteld voor NO<sub>x</sub>, CO en onverbrande hydrocarbons (HC, overeenkomend met VOS)<sup>2</sup> tijdens de LTO-fase, de uitlaatgassen die van invloed zijn op de luchtkwaliteit. Tevens zijn er bepalingen voor rook en 'vented fuel'. De normen voor de vliegtuigmotoren zijn opgenomen in Annex 16-Environmental Protection, Volume II - Aircraft engine emissions to the Convention on International Civil Aviation (ICAO, 2008) en staan vermeld in Tabel 2.

---

<sup>2</sup> In dit rapport wordt de Nederlandse naam VOS (Vluchtige Organische Stoffen) gebruikt, ook wanneer de normen zijn opgesteld voor HC (unburnt hydrocarbons).



Tabel 2 ICAO-emissienormen vliegtuigmotoren (subsonische vliegtuigen)\*

	HC (VOS)	CO	NO <sub>x</sub>	Rook
Emissie-norm	Dp/Foo = 19,6 gram	Dp/Foo = 118 gram	Dp/Foo is afhankelijk van productiedatum, pressure ratio motor, rated thrust (kN)	Smoke number = $83,6(Foo)^{-0,274}$ met een maximum waarde van 50

Bron: ICAO(2008).

\* Alle passagiersvliegtuigen die onder de snelheid van het geluid vliegen.

### 3.2.2 Europees beleid

Op Europees niveau heeft de Europese Commissie in de *'Richtlijn 2008/50/EG luchtkwaliteit en schonere lucht voor Europa'* grens- en streefwaarden vastgesteld voor de concentraties van dertien luchtverontreinigende stoffen (EC, 2008). De grenswaarden gelden voor zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>), fijnstof (PM), stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>), lood, benzeen (VOS) en koolmonoxide(CO).

De concentraties van deze stoffen mogen niet boven de grenswaarde uitkomen. De streefwaarden gelden voor ozon, arseen, cadmium, nikkel en benzo(a)pyreen. Landen moeten zorgen dat zij onder deze streefwaarden blijven. Deze grens- en streefwaarden zijn algemeen en zijn niet specifiek gericht op alleen de luchtvaart.

Tabel 3 Grenswaarden emissie concentraties in Europa voor 2010 (microgram)

	Norm	Niveau
CO	8-uurgemiddelde	10 mg/m <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub>	Uurgrenswaarde	200mg/m <sup>3</sup> , max 18 x per jaar overschreden
	Jaargrenswaarde	40 mg/m <sup>3</sup>
VOS (benzeen)	Jaargemiddelde	5 mg/m <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	Uurgrenswaarde	350 mg/m <sup>3</sup> , max 24 x per jaar overschreden
	Daggrenswaarde	125 mg/m <sup>3</sup> , max 3 x per jaar overschreden
PM <sub>10</sub>	Daggrenswaarde	50 mg/m <sup>3</sup> , max 35 x per jaar overschreden
	Jaargrenswaarde	40 mg/m <sup>3</sup>
PM <sub>2,5</sub>	Jaargrenswaarde	25 mg/m <sup>3</sup> (vanaf 2015)

Bron: EC (2008).

In de Europese richtlijn wordt de luchtkwaliteit beoordeeld aan de hand van zones en agglomeraties, dit zijn gebieden waarbinnen min of meer eenzelfde luchtkwaliteitsregime bestaat, waarbij agglomeraties specifiek betrekking hebben op stedelijke gebieden.

Nederland heeft niet tijdig kunnen voldoen aan het behalen van de Europese concentratienormen van PM<sub>10</sub> en NO<sub>2</sub> en heeft daarvoor uitstel gekregen tot 2011 voor PM<sub>10</sub> en tot 2015 voor het behalen van de NO<sub>x</sub>-norm. Om alsnog deze normen te behalen is het Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL) opgesteld (I&M, 2009). In dit programma worden plannen en maatregelen uiteengezet om nationaal aan de eisen te kunnen voldoen. Luchtvaart is hier ook onderdeel van.

De Europese Commissie heeft in 2013 voorgesteld om het luchtkwaliteitsbeleid aan te scherpen. Daarmee zou de milieu- en gezondheidsschade verder kunnen worden beperkt. Volgens de Commissie zou een aanscherping kosteneffectief zijn. De Commissie wil de emissieplafonds aanscherpen en een norm voor PM<sub>2,5</sub> invoeren (COM(2013) 918 final).



### Emissieplafonds: NEC-richtlijn

Naast de richtlijn over de concentratie van luchtvervuilende stoffen heeft de Europese Commissie ook voor iedere lidstaat een National Emission Ceiling (NEC) opgesteld (EC, 2001), waardoor landen moeten voldoen aan emissieplafonds voor luchtverontreinigende gassen en deeltjes. Het plafond geeft het maximum aan dat een land mag uitstoten. Het gaat hierbij om de stoffen zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>), stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>), ammoniak (NH<sub>3</sub>) en vluchtige organische stoffen (VOS). Wat betreft de luchtvaart omvat deze richtlijn alleen de emissies van vliegtuigen tijdens de landings- en startcyclus (LTO). De lidstaten moeten zich houden aan de normen opgesteld voor de jaarlijkse nationale emissies van de verontreinigende stoffen SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> en NMVOS.

Tabel 4 Nationale emissieplafond voor Nederland in 2010 (in kiloton)

	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub> (ammoniak)	NMVOS
Emissieplafond Nederland (2010)*	50	260	128	185
Uitstoot Nederland (2010)**	34	274	122	145
Voorgesteld plafond 2020***	47	205	122	167

Bron: \* Europese Commissie (2001); \*\* Emissieregistratie (2010); \*\*\* I&M (2012).

Hieruit blijkt dat Nederland in 2010 de EU-doelen voor niet-methaanvluchtige organische stoffen (NMVOS), zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>) en ammoniak (NH<sub>3</sub>) heeft gehaald. In 2013 zou de NEC-richtlijn worden herzien, met nieuwe emissiedoelen voor 2020 en daarna voor luchtverontreinigende stoffen (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> en NMVOS). Nederland heeft aangegeven om per 2020 de volgende emissieplafonds aan te kunnen gaan: voor SO<sub>2</sub> 47 kiloton, voor NO<sub>x</sub> 205 kiloton, voor NH<sub>3</sub> 122 kiloton, voor NMVOS 167 kiloton en voor fijnstof (PM<sub>2,5</sub>) 13 kiloton (I&M, 2012). Ook zou er een Europese doelstelling komen voor PM<sub>10</sub>. De herziening is echter tot op heden nog niet verschenen en voor nog onbepaalde tijd uitgesteld.

### 3.2.3 Nationaal beleid

In Nederland is het nationale beleid erop gericht om te voldoen aan de nationale emissieplafonds uit de NEC-richtlijn en aan de Europese luchtkwaliteitsnormen.

De Europese Richtlijn (2008/50/EG) is opgenomen in de *Wet milieubeheer* en de NEC-richtlijn (2001/81/EG) is vertaald naar *nationale emissieplafonds* voor Nederland. De monitoring van de luchtkwaliteit wordt uitgevoerd door landelijke metingen door het RIVM. Voor Schiphol worden specifieke metingen uitgevoerd door de GGD Amsterdam.

Omdat Nederland niet tijdig aan de EU-luchtkwaliteitsnormen kon voldoen voor fijnstof (PM<sub>10</sub>) en stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>) is aanvullend nationaal beleid gevoerd door middel van het *Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL)*. Het NSL bevat ook plannen en maatregelen op luchthavens om de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen (PM en NO<sub>x</sub>) te reduceren. Deze betreffen onder andere dat Schiphol eind 2013 60% van de afhandelingsplaatsen van vliegtuigen moest hebben voorzien van vaste stroom en preconditioned air.



### 3.2.4 Lokaal beleid (Schiphol)

Naast de Europese en nationale wet- en regelgeving zijn er ook specifieke normen vastgesteld voor Schiphol. In het **Luchthavenverkeerbesluit** (Rijksoverheid, 2002) zijn grenswaarden opgesteld voor de uitstoot van koolmonoxide (CO), stikstofdioxiden (NO<sub>x</sub>), vluchtige organische stoffen (VOS), zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>) en fijnstof (PM<sub>10</sub>).

Voor ieder van deze stoffen zijn er twee soorten grenswaarden mogelijk; relatieve en absolute grenswaarden:

- Relatieve grenswaarden (in gram emissie per ton maximum startgewicht) hebben betrekking op het totaal van alle vliegtuigbewegingen in een gebruiksjaar. Deze grenswaarde is leidend zolang deze niet wordt overschreden.
- Absolute grenswaarden (emissieplafonds) worden bepaald door de in het voorgaande gebruiksjaar op basis van de relatieve grenswaarden toegestane totale emissie. De absolute grenswaarde geldt wanneer de relatieve grenswaarde wordt overschreden. De absolute grenswaarde wordt berekend door het product van het gerealiseerde gesommeerde maximum startgewicht en de relatieve grenswaarde van het vorige gebruiksjaar.

De relatieve grenswaarden uit het luchthavenverkeerbesluit voor Schiphol staan vermeld in Tabel 5. Of Schiphol deze normen heeft overschreden wordt besproken in het volgende hoofdstuk.

Tabel 5 Emissienormen Schiphol (in gram per ton maximum startgewicht)

	CO	NO <sub>x</sub>	VOS	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>
Norm vanaf 8ste gebruiksjaar (2010)*	55,0	74,6	8,4	2,1	2,5

Bron: Rijksoverheid (2002).

\* Norm geldt per gecorrigeerde vliegtuigbeweging per gebruiksjaar.

### 3.3 Conclusie

Op zowel mondiaal, Europees, nationaal als lokaal niveau bestaan er reguleringkaders voor luchtvervuilende emissies en concentraties:

- Op mondiaal niveau worden er eisen gesteld door ICAO aan de uitstoot van emissies door vliegtuigmotoren.
- Op Europees niveau is de luchtkwaliteit gereguleerd in de Richtlijn 2008/50/EG met grenswaarden voor de concentratie van zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>), fijnstof (PM), stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>), lood, benzeen (VOS) en koolmonoxide (CO). Tevens zijn er nationale emissieplafonds opgesteld voor zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>), stikstofdioxiden (NO<sub>x</sub>), ammoniak (NH<sub>3</sub>) en vluchtige organische stoffen (VOS), waar iedere lidstaat zich aan moet houden (NEC-richtlijn). Nederland heeft niet tijdig kunnen voldoen aan het behalen van de Europese concentratienormen van PM<sub>10</sub> en NO<sub>2</sub>.
- Om deze Europese normen alsnog te behalen heeft Nederland het Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL) opgesteld, waarin plannen en maatregelen zijn opgenomen om de uitstoot te verminderen. De luchtvaart is hier ook onderdeel van.
- Op lokaal (sectorspecifiek) niveau kent Nederland het Luchthavenverkeerbesluit (LVB) voor de luchthaven Schiphol, waarin relatieve en absolute grenswaarden zijn opgenomen met betrekking tot de uitstoot van koolmonoxide (CO), stikstofdioxiden (NO<sub>x</sub>), vluchtige organische stoffen (VOS), zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>) en fijnstof (PM<sub>10</sub>).



# 4 Regulering van emissies in andere vervoersmodaliteiten

## 4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de regelgeving van het luchtverkeer vergeleken met de regelgeving voor andere vervoersmodaliteiten, zoals weg-, zee- en binnenvaart op zowel internationaal, nationaal als lokaal niveau.

Voor andere luchtvervuilende bronnen (dan luchtvaart) bestaan er diverse richtlijnen en verordeningen, die hieronder kort worden toegelicht. In de Paragrafen 4.2 tot en met 4.4 wordt een overzicht gegeven van de regulering voor achtereenvolgens het wegverkeer, de zeevaart en de binnenvaart. Paragraaf 4.5 besluit het hoofdstuk.

## 4.2 Reguleringskaders voor wegverkeer

Op Europees niveau zijn er voor het wegverkeer Europese normen opgesteld in de Richtlijn 70/220/EEC (EC, 1970). Hierin worden eisen gesteld aan de luchtverontreinigende emissies van personen- en vrachtauto's (bron beleid). Deze eisen worden iedere vijf jaar aangescherpt. Tabel 6 geeft een overzicht van de Euronormen. Voor personen- en vrachtauto's geldt momenteel de Euro 5-norm, waarmee grenzen zijn gesteld aan de uitstoot van CO, VOS, NO<sub>x</sub> en PM en CH<sub>4</sub> (EC, 2007).

Tabel 6 Euro 5- en 6-norm en voorpersonenauto's en vrachtwagens (diesel en benzine/gas)

Weg (personen)	Ingang per	Brandstof	CO	VOS	VOS + NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	PM
Euro 5-norm (g/km)	09/2011	Diesel	0,5	-	0,23	0,18	0,005
	09/2009	Gas	1,0	0,10	-	0,06	0,005
Euro 6-norm (g/km)	09/2014	Diesel	0,5	-	0,17	0,08	0,005
	09/2014	Gas	1,0	0,10	-	0,06	0,005

Weg (vracht)	Ingang per	Brandstof	CO	VOS	NO <sub>x</sub>	PM	CH <sub>4</sub>
Euro 5-norm (g/km)	10/2008	Diesel	1,5	0,46	2,0	0,02	-
	09/2009	Gas	4,0	0,55	2,0	0,03	1,1
Euro 6-norm (g/km)	01/2013	Diesel	1,0	0,13	0,4	0,01	-
	09/2014	Gas	4,0	0,16	0,46	0,01	0,5

Bron: EC, 2007.

Op nationaal niveau heeft de Europese Commissie nationale emissieplafonds (NEC) opgesteld. Deze emissienormen gelden voor een land en zijn dus niet sectorspecifiek. Net als voor de uitstoot door luchtverkeer valt ook wegverkeer onder dit nationale emissieplafond. Voor een overzicht van het emissieplafond voor Nederland, zie Paragraaf 3.2.2. Daarnaast is het wegverkeer ook opgenomen in het Nationale Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL). Zo hebben de Rijksoverheid en NSL-partners zich in het NSL ten doel gesteld om maatregelen te nemen voor het versneld schoner maken van diesel-wegverkeer door subsidiering van roetfilters, en locatiespecifieke maat-



regelen te nemen voor zowel het hoofdwegennet als het onderliggende wegennet, zoals het instellen van milieuzones, het verbeteren van de doorstroming en het bevorderen van schoner openbaar vervoer.

#### *Locatiespecifieke maatregelen: de milieuzone*

Een milieuzone is een gebied in de binnenstad van grote gemeenten waar de toegang voor vrachtwagens die te veel fijnstof en stikstofoxiden uitstoten beperkt is. Het doel van de milieuzone is om de luchtkwaliteit aan de normen te laten voldoen. In Nederland zijn er twaalf steden met milieuzones voor vrachtverkeer (milieuzones.nl). In deze zones worden alleen nog vrachtwagens toegelaten die niet door een dieselmotor worden aangedreven of met een dieselmotor die aan de Euronorm 4 voldoet. Daarnaast zal in 2015 de eerste milieuzone voor bestelvoertuigen worden ingevoerd in de binnenstad van Utrecht. Ook Euro 2 of oudere diesel personenauto's zullen worden geweerd<sup>3</sup>.

### 4.3 Reguleringskaders voor zeevaart

Op *mondiaal niveau* zijn er door de International Maritime Organisation (IMO) voor de zeevaart normen opgesteld voor de uitstoot van zwavel (SO<sub>x</sub>) en stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>).

Het zwavelgehalte in scheepsbrandstoffen is internationaal vastgelegd in het Marpol-verdrag Annex VI en in de Europese Richtlijnen 1999/32/EG en 2005/33/EG. Er zijn speciale gebieden aangewezen voor beheersing van SO<sub>2</sub>-emissies in de Oostzee of de Baltische Zee, de Noordzee en het Kanaal (SECA). De zwavelnormen voor zware stookolie zijn als volgt:

Tabel 7 Zwavelnormen voor de zeevaart, in %m/m

Ingang per	Wereldwijd	SECA
2005	4,5%	1,5
2010 (juli)	4,5%	1,0%
2012	3,5%	1,0%
2015	3,5%	0,1%
2020	0,5%	0,1%

Bron: MARPOL Annex VI.

Ook voor NO<sub>x</sub> gelden er normen, afhankelijk van de snelheid. De normen voor NO<sub>x</sub>-emissies voor zeeschepen zijn als volgt:

Tabel 8 NO<sub>x</sub>-normen voor de zeevaart

NO <sub>x</sub> -emissionorm zeevaart	Vanaf 2011	Vanaf 2016
Snelheid < 130 rpm:	14,4 g/kwh	3,4 g/kwh
Snelheid 130-2.000 rpm:	$44 \cdot n^{-0,23}$	$9 \cdot n^{-0,23}$
Snelheid > 2.000 rpm:	7,7 g/kwh	1,96 g/kwh

Bron: MARPOL Annex VI.

<sup>3</sup> <http://www.utrecht.nl/smartsite.dws?id=244006>





De NO<sub>x</sub>-emissies van nieuwe schepen zullen 16 tot 22% gereduceerd worden in 2011 ten opzichte van 2000, en 80% in 2016. Vergeleken met andere vervoersmodaliteiten leggen scheepsmotoren het af tegen de motoren gebruikt in vrachtauto's, de binnenvaart en diesellocomotieven. Op dit moment is in Europa voor vrachtauto's de Euro 5-norm van kracht, die meer dan vijf keer schoner is dan een scheepsmotor. De emissies van motoren gebruikt in de binnenvaart en diesellocomotieven liggen hier tussenin.

Andere maatregelen voor de zeevaart zijn vrijwillige normen voor VOS en verbod op opzettelijke emissies van ozonaantastende stoffen.

Op nationaal en lokaal niveau zijn er geen aparte emissienormen en/of -regulering. De internationale zeevaart is uitgezonderd voor het Nationale Emissieplafond en is tevens niet opgenomen in het Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL). Wel zijn er bijvoorbeeld milieuzones voor wegvervoer in de havens voor het achterlandvervoer. Zo zullen er in de haven van Rotterdam per 2016 alleen nog vrachtauto's worden toegelaten waarvan de dieselmotor voldoet aan Euronorm 6 (Maalvlakte II Overeenkomst Luchtkwaliteit).

#### 4.4 Reguleringskader voor binnenvaart

Op Europees niveau zijn er normen opgesteld voor de motoren van de binnenvaart in de 2004/26/EC Directive (EC, 2004). Vanaf 2003 moeten nieuwe motoren geplaatst in binnenschepen voldoen aan de grenswaarden, zoals opgenomen in Tabel 9. Deze grenswaarden zijn opgesteld door de Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR). De voor Fase IV opgenomen waarden zijn nog indicatief, en op basis van onderzoeksbureau Transport and Mobility Leuven (TML, 2009). Op dit moment is een voorstel van de Europese Commissie in voorbereiding.

Tabel 9 Europese emissiewetgeving voor de binnenvaart

	Motorvermogen (kW)	CO (g/kWh)	NO <sub>x</sub> (g/kWh)	PM <sub>10</sub> (g/kWh)
Fase I (2003)	37 ≤ P <sub>N</sub> < 75	6,5	9.2	0.85
	75 ≤ P <sub>N</sub> < 130	5,0	9.2	0.70
	P <sub>N</sub> ≥ 130	5,0	n ≥ 2.800 rpm: 9.2 500 ≤ n < 2.800 rpm: 45 * n <sup>(-0.2)</sup>	0.54
Fase II (2007)	18 ≤ P <sub>N</sub> < 37	5,5	8.0	0.80
	37 ≤ P <sub>N</sub> < 75	5,0	7.0	0.40
	75 ≤ P <sub>N</sub> < 130	5,0	6.0	0.30
	130 ≤ P <sub>N</sub> < 560	3,5	6.0	0.20
	P <sub>N</sub> ≥ 560	3,5	n ≥ 3.150 rpm : 6.0 343 ≤ n < 3.150 : 45 * n <sup>(-0.2)</sup> - 3 n < 343 rpm : 11.0	0.20
Fase IV (In voorbereiding)	Alle		1.8	0.045

Bron: EC, 2004; CE Delft, 2013; TML, 2009.



Aanvullend is in de EU-richtlijn (2004/26/EG) ook een set aan grenswaarden opgenomen, omdat de CCR-grenswaarden formeel niet voor heel Europa gelden, maar enkel voor het stroomgebied van de Rijn. De grenswaarden genoemd in deze richtlijn komen grofweg overeen met de CCR-II-norm.

Naast de Europese wetgeving bestaat er voor de binnenvaart ook nationale en lokale wet- en regelgeving.

#### *Nationaal niveau*

Op nationaal niveau heeft de Europese Commissie nationale emissieplafonds in de NEC-richtlijn opgesteld. Zoals eerder vermeld zijn deze emissienormen voor een land en zijn dus niet sectorspecifiek. In tegenstelling tot de zeevaart valt de binnenvaart wel onder dit nationale emissieplafond. Voor een overzicht van het emissieplafond voor Nederland, zie Paragraaf 3.2.2.

Daarnaast zijn er ook maatregelen voor de binnenvaart opgenomen in het Nationale Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL) om de luchtkwaliteit in Nederland te verbeteren. Maatregelen die ten aanzien van de binnenvaart worden genomen zijn:

- een subsidieregeling voor binnenvaartschepen met een lage NO<sub>x</sub>-uitstoot;
- verlaging zwavelgehalte rode diesel voor de binnenvaart;
- onderzoek naar toepassing LPG-motoren voor de binnenvaart;
- pilotprojecten voor walstroom in de maashaven.

#### *Locatiespecifieke maatregelen*

In het kader van de Maasvlakte II is er een overeenkomst luchtkwaliteit opgesteld met normen voor de binnenvaart om verslechtering van de lokale luchtkwaliteit te voorkomen. Zo worden er op specifieke locaties milieuzones ingesteld en worden er gedifferentieerde havengelden gehanteerd.

- **Milieuzone in de Haven van Rotterdam:** Als onderdeel van het project Mainport Rotterdam, is het havengebied aangemerkt als milieuzone. Ter beperking van de uitstoot van zwevende deeltjes en stikstofdioxide mogen binnenvaartschepen die niet zijn voorzien van een emissiearme dieselmotor (norm CCR-II) vanaf 2025 de Rotterdamse Haven niet meer aandoen.
- **Differentiatie havengelden:** Sinds 2012 worden er in de Haven van Rotterdam gedifferentieerde havengelden gehanteerd voor binnenschepen, waarbij zuinigere schepen minder havengeld hoeven te betalen. Schepen die niet aan de CCR-II-eis voldoen gaan 10% meer betalen, terwijl schepen die een green award-certificaat kunnen overleggen een korting van 15% krijgen. Schepen die zijn voorzien van technologie die aantoonbaar de emissies met 60% verminderen ten opzichte van de CCR-II-wetgeving komen in aanmerking voor 30% korting. Vijf andere binnenhavens (Gemeente Meppel, Groningen Seaports, Havenschap Moerdijk, Haven Dordrecht) geven ook een korting op de havengelden.

## 4.5 Conclusie

Uit dit hoofdstuk blijkt dat niet alleen in de luchtvaart, maar ook in andere vervoersmodaliteiten emissies worden gereguleerd op diverse schaalniveaus. In Tabel 10 staat een overzicht van de regulering van de vervoersmodaliteiten lucht-, weg-, zee- en binnenvaart.



Tabel 10 Overzichtstabel regulering emissies

Regulering	Schaal	Luchtvaart	Wegverkeer	Zeevaart	Binnenvaart
Normering uitstoot motoren	Wereld	Ja, NO <sub>x</sub> dp/f00 (ICAO)	Ja, Euro 5-norm personenauto's voor CO, NO <sub>x</sub> , VOS en PM (EU)	Ja, NO <sub>x</sub> /kWh SO <sub>x</sub> : 1,5-3,5% (IMO)	Ja, normen voor CO, NO <sub>x</sub> en PM <sub>10</sub> (EU)
NEC-plafond	Europees	LTO-emissies	Alle emissies	Internationale zeevaart uitgezonderd	Alle emissies
Onderdeel NSL	Nationaal	LTO-emissies	Ja	Nee	Ja
Lokaal sectorspecifiek beleid	Lokaal	LVB	Milieuzones in gebieden waar luchtkwaliteitsnormen worden overschreden 80 km-zones in gebieden waar luchtkwaliteitsnormen worden overschreden.	SECA-zone: speciale norm voor schepen in Baltische zee, Noordzee en het Kanaal. Tevens milieuzones wegvervoer in havens, modal split achterlandvervoer.	Overeenkomst Luchtkwaliteit Maasvlakte II: Milieuzone Haven van Rotterdam, differentiatie naar haven-gelden.

Op internationaal niveau worden er in alle onderzochte vervoersmodaliteiten emissienormen gesteld aan de uitstoot van motoren. Voor de luchtvaart zijn er mondiale normen opgesteld voor de uitstoot van NO<sub>x</sub>. Voor het wegverkeer heeft de Europese Unie richtlijnen opgesteld met zogenaamde Euronormen die eisen stellen aan de uitstoot van CO, NO<sub>x</sub>, VOS en PM. De emissies in de zeevaart worden beperkt op het gebied van SO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> en in de binnenvaart gelden normen voor de uitstoot van CO, NO<sub>x</sub> en PM<sub>10</sub>. Deze wetgeving is afdwingbaar en wordt gehandhaafd.

Op Europees niveau stelt de Europese Commissie eisen aan de concentratie van de luchtvervuilende stoffen CO, NO<sub>2</sub>, VOS (benzeen), SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub>. De eisen zijn niet sectorspecifiek en de concentratie mag de norm niet overschrijden. Naast deze Europese concentratienormen zijn er ook eisen gesteld per lidstaat aan de uitstoot van de emissies SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> (ammoniak) en NMVOS in de nationale emissieplafonds (NEC). Onder deze emissieplafonds vallen de LTO-emissies in de luchtvaart, emissies door het wegverkeer en de binnenvaart. De internationale zeevaart is uitgezonderd. Nederland heeft in 2010 niet aan de Europese norm voor NO<sub>x</sub> en PM<sub>10</sub> voldaan. Om toch aan de normen te kunnen voldoen is het Nationale Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL) opgesteld.

In het NSL zijn de emissies van luchtvaart (LTO), wegverkeer en binnenvaart meegenomen, de zeevaart is ook hier uitgezonderd. In het NSL worden geen aanvullende normen gesteld aan emissies of concentraties, maar worden aanvullende maatregelen genomen om de luchtkwaliteit in Nederland te verbeteren en aan de Europese eisen te kunnen voldoen, zoals de elektrificering van vaste opstelplaatsen voor vliegtuigen op Schiphol.

Op het gebied van *locatiespecifiek beleid* geldt er voor de luchtvaart op Schiphol het luchthavenverkeerbesluit (LVB) waarin lokale eisen worden gesteld aan de emissie-uitstoot van vliegtuigen op Schiphol en waarin het gebruik van een stroomvoorziening op vaste opstelplaatsen is opgenomen.



Voor de andere modaliteiten bestaan er geen overeenkomsten of reguleringen met aanvullende aangescherpte emissienormen (sectorspecifieke emissieplafonds). Wel worden er voor wegverkeer milieuzones ingesteld waar auto's of vrachtwagens toegang wordt ontzegd indien zij niet aan de emissie-eisen voldoen. Ook in de zeevaart zijn er gebieden aangewezen waar strengere eisen gelden voor emissies, namelijk de eis van max 1,5% zwavel in brandstoffen in Special Emission Control Areas (SECA). Voor de binnenvaart is er de 'Overeenkomst Luchtkwaliteit' in het kader van de Maasvlakte II, waarin de Haven van Rotterdam als milieuzone wordt gekenmerkt en mogen binnenvaartschepen die niet zijn voorzien van een emissiearme dieselmotor (norm CCR-II) vanaf 2025 de Rotterdamse Haven niet meer aandoen.



# 5 Luchtkwaliteit rondom Schiphol en prognoses

## 5.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de gemeten luchtkwaliteit rondom Schiphol, het aandeel van de luchtvaart in de totale emissieconcentratie van NO<sub>x</sub> en hoe de luchtkwaliteit zich naar verwachting zal ontwikkelen.

## 5.2 Luchtkwaliteit rondom Schiphol

De luchtkwaliteit in Nederland wordt jaarlijks door het RIVM gemeten en vastgesteld door middel van een monitoringsrapportage (RIVM, 2012). Hiervoor wordt gebruik gemaakt van grootschalige concentraties (GCN) van diverse luchtverontreinigende stoffen op basis van ramingen voor emissieontwikkelingen in Nederland en Europa.

De gemeten concentraties in 2012 worden weergegeven in Tabel 11.

Tabel 11 Gemeten gemiddelde jaarconcentraties omgeving Schiphol (2012, µg/m<sup>3</sup>)

Stof	Wettelijke norm	Eenheid	De Rijp	Badhoevedorp	Hoofddorp	Oude Meer
NO	-	Gem. (jaar)		12	7	7
NO <sub>2</sub>	40	Gem. (jaar)		32	24	27
	200	Max. (jaar)		0	0	0
CO	10.000	Max. (8 uren)		1.358	1.101	1.064
O <sub>3</sub>	120	8-uurgemiddelde n < 25*			6	5
PM <sub>2,5</sub>	25	Jaar 2015		14		
	20	Jaar 2020				
PM <sub>10</sub>	40	Jaar	20	22	20	20
	50	24-uur, n < 35*	8	12	9	8

Bron: GGD Amsterdam (2012).

\* Geeft maximale overschrijding weer.

Uit de data van de GGD Amsterdam blijkt dat in 2012 de grenswaarden voor de concentraties NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> en PM<sub>10</sub> op geen enkel meetpunt in de meetlocaties rondom Schiphol (omgeving Haarlemmermeer) zijn overschreden.

Naast de concentraties zijn er voor het gebied rondom Schiphol ook aparte detailberekeningen gemaakt voor de uitstoot van emissies. De handhavingsrapportage voor Schiphol (ILT, 2013) geeft een overzicht van de emissies rondom Schiphol.

Tabel 12 Gemiddelde emissies Schiphol per eenheid MTOW (2012)

	CO	NO <sub>x</sub>	VOS	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>
Emissienorm (kg/MTOW)	55,0	74,6	8,4	2,1	2,5
Uitstoot 2012 (kg/MTOW)	55,6	67,5	7,8	1,9	2,2

Bron: Rijksoverheid (2002); ILT (2013).

De belangrijkste bevindingen zijn dat van de stoffen die lokale luchtverontreiniging veroorzaken, de gerealiseerde emissie CO hoger is dan de relatieve grenswaarde (55,0) die voor CO is opgesteld. De gerealiseerde emissie voor CO is 0,6 gram per ton maximum startgewicht hoger dan de voor die stof geldende relatieve grenswaarde. Ook de absolute grenswaarde (emissieplafond) voor CO van 2.365,48 ton CO werd in 2012 overschreden, namelijk met 17,6 ton (ILT, 2013).

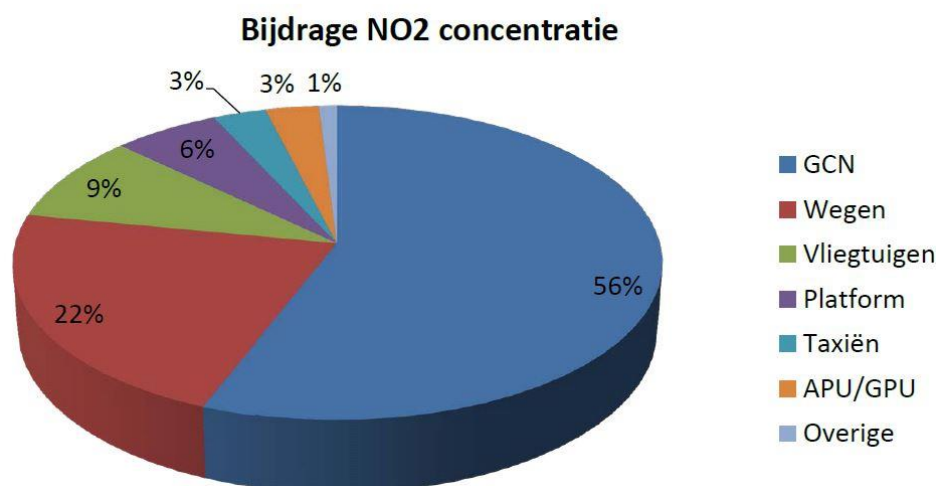
In een brief van het ministerie I&M aan de Tweede Kamer wordt gesteld dat de huidige grenswaarden voor luchtverontreinigende stoffen in het LVB weinig effectief zijn gebleken in het beperken van de uitstoot van deze stoffen en nauwelijks bijdragen aan de verbetering van de luchtkwaliteit in de omgeving van de luchthaven. Dit komt met name door de vormgeving van de grenswaarden, aangezien deze gerelateerd is aan de uitstoot per vliegtuig en niet de totale uitstoot van totaal aantal vliegbewegingen. Het strikt handhaven van de CO-norm zou echter een perverse werking kunnen hebben op de uitstoot van andere stoffen of op geluid (TK, 2012).

### 5.3 Bijdrage luchtvaart aan lokale luchtkwaliteit Schiphol

De luchtverontreiniging die ontstaat in de directe woonomgeving van de luchthaven Schiphol als gevolg van de luchtvaart wordt ingeschat op 2 tot 10%, afhankelijk van het soort emissie (CROS, 2013a). Deze bijdrage komt voornamelijk van de landing en take-off-cyclus (landen, taxiën en opstijgen). De luchtvaart draagt het sterkst bij aan de NO<sub>2</sub>-concentraties in de lucht. In 2008 bleek dat de jaargemiddelde concentratie van NO<sub>2</sub> rond de luchthaven Schiphol voor het grootste deel van het Schipholgebied onder de grenswaarde lag (NSL, 2009).

Figuur 1 (volgende pagina) laat zien welk aandeel van de NO<sub>2</sub>-concentraties in de lucht rondom Schiphol worden veroorzaakt door de luchtvaart.

Figuur 1 Bijdrage NO<sub>2</sub>-concentratie rondom Schiphol (omgeving Badhoevedorp-Aalsmeer-Hoofddorp, jaar 2000)



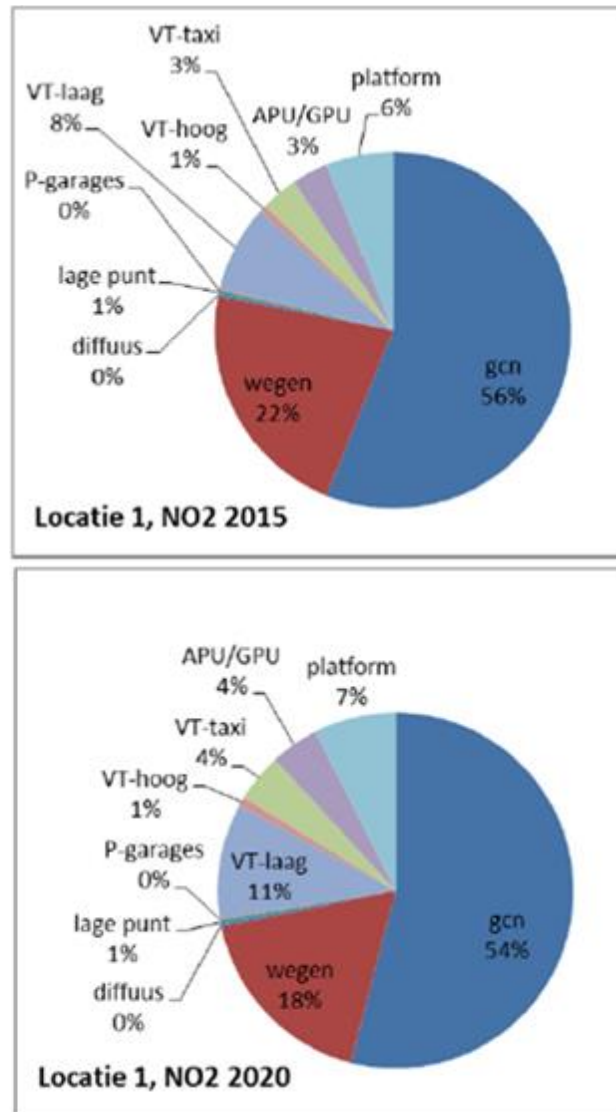
Bron: CROS (2013b).

Het aandeel van de luchtvaart in totale NO<sub>2</sub>-concentraties rondom Schiphol bedraagt ongeveer 15%. Hiervan is het aandeel door vliegtuigen 9%, taxiën 3%, en APU/GPU (motoren) 3%. Als alleen naar de lokale bijdragen aan de luchtverontreiniging wordt gekeken, en dus de GCN-achtergrondconcentraties (56%) buiten beschouwing worden gelaten, komt het aandeel van de luchtvaart in de NO<sub>2</sub>-concentraties uit op 34% ( $15/(100-56)$ ). Hierbij moet worden opgemerkt dat dit meetconcentraties zijn in een bewoond gebied, en dat het aandeel van de luchtvaart op het luchthaventerrein zelf aanzienlijk hoger zal liggen. Hierover zijn echter geen gegevens bekend. Ook over het aandeel van de luchtvaart in de overige emissies zijn geen gegevens beschikbaar. De belangrijkste reden hiervoor is dat er voor de andere luchtvervuilende stoffen geen knelpunten worden verwacht (Schiphol, 2014).

Het grootste deel van de totale luchtverontreiniging rondom Schiphol wordt echter niet veroorzaakt door de luchtvaart, maar is afkomstig van andere bronnen zoals het wegverkeer, de industrie, landbouw, huishoudens en stoffen die elders in Nederland en Europa met de wind naar Schiphol en omgeving worden gevoerd (ADECS, 2005). Dit beeld wordt bevestigd door een luchtkwaliteitsexpert bij de GGD Amsterdam (2013).

Figuur 2 (volgende pagina) geeft de prognoses weer voor de ontwikkeling van de bijdrage van de luchtvaart aan de NO<sub>2</sub>-concentraties rondom Schiphol in 2015 en 2020. De figuur laat zien dat naar verwachting de bijdrage van de luchtvaart aan de emissieconcentratie constant zal blijven in 2015 met een aandeel 14% en in 2020 zal toenemen tot 20%. Voor 2020 wordt verwacht dat het aandeel door vliegtuigen 12%, taxiën 4%, en APU/GPU (motoren) 4% zal bedragen.

Figuur 2 Bijdrage NO<sub>2</sub>-concentratie rondom Schiphol (Centrum), prognose 2015-2020



Bron: Schiphol (2013).

#### 5.4 Ontwikkeling van de luchtvervuiling rondom Schiphol in 2015 en 2020

Over de ontwikkeling van de luchtvervuiling in Nederland zijn voorspellingen gedaan voor 2015 en 2020, door middel van de monitoringstool van de Rijksoverheid (NSL Monitoringstool, 2013). In deze prognoses zijn diverse meetpunten opgenomen, echter Schiphol is hierin niet apart opgenomen, maar valt onder de gemeente Haarlemmermeer.

Vorig jaar zijn door KEMA, in opdracht van Schiphol, berekeningen uitgevoerd op basis van de laatste inzichten. Tabel 13 geeft de verwachte emissieconcentraties PM<sub>10</sub> en NO<sub>2</sub> weer voor een drietal locaties op het Schipholterrein. Hierin is bepaald wat de bijdrage van Schiphol is (emissies van luchtvaart en wegverkeer op het Schipholterrein) ten opzichte van de GCN (achtergrondconcentraties).



Tabel 13 Prognose emissieconcentraties voor PM<sub>10</sub> en NO<sub>2</sub> rondom Schiphol voor 2015-2020 (µg/m<sup>3</sup>)

	2015			2020		
	GCN	Schiphol	Totaal	GCN	Schiphol	Totaal
<b>PM<sub>10</sub> jaargemiddeld</b>						
Locatie 1 Schiphol Centrum	21,2	1,8	23	20,3	1,9	22,2
Locatie 2 Schiphol Noord-Oost	20,3	1,1	21,4	19,5	1,1	20,6
Locatie 3 Schiphol Zuid-West	20,6	1	21,6	19,7	1	20,7
<b>NO<sub>2</sub> jaargemiddeld</b>						
Locatie 1 Schiphol Centrum	22,2	8,7	39,5	17,7	9,3	32,7
Locatie 2 Schiphol Noord-Oost	23	7,5	33,2	18,1	7,9	27,9
Locatie 3 Schiphol Zuid-West	29,5	6,2	39,1	22,7	6,8	31,6

Bron: Schiphol (2014).

Uit Tabel 13 blijkt dat er op de drie meetlocaties op Schiphol geen overschrijding van de norm wordt verwacht voor de emissieconcentraties PM<sub>10</sub> en NO<sub>2</sub> in de jaren 2015 en 2020. Voor beiden geldt een norm van 40 µg/m<sup>3</sup>. Vergeleken met de huidige concentraties rondom Schiphol (zie Tabel 11) ziet het ernaar uit dat de gemiddelde jaarconcentraties van NO<sub>2</sub> en PM<sub>10</sub> zullen afnemen in 2020. Uit de data is helaas echter niet op te maken wat de bijdrage is van de luchtvaart aan de concentraties luchtvervuilende stoffen en welk aandeel bijvoorbeeld wordt veroorzaakt door wegverkeer en het platform.

Hoewel de gegevens uit Tabel 13 aangeven dat er geen overschrijding van de norm wordt verwacht, geeft de data uit de NSL Monitoringstool weer dat de NO<sub>2</sub>-concentraties in de gemeente Haarlemmermeer op enkele meetpunten naar verwachting overschreden zal worden in 2015 en 2020. Dit betreffen meetpunten langs de Hoofdweg, Fokkerweg en Kruisweg, die vlak naast Schiphol liggen. Ook de Vennepeweg en Bennebroekerweg worden aangeduid als gebieden waar naar verwachting overschrijding zal plaatsvinden (NSL Monitoringstool, 2013).

## 5.5 Luchtkwaliteit in Nederland

De luchtkwaliteit in Nederland wordt ieder jaar gemonitord. Tabel 14 geeft een overzicht van de ontwikkeling van de luchtkwaliteit in Nederland voor verschillende luchtvervuilende stoffen.

Tabel 14 Concentraties luchtvervuilende stoffen in Nederland (1990-2012, jaargemiddelde in µg/m<sup>3</sup>)

	1990	1995	2000	2005	2010	2012
NO <sub>2</sub>	26	22	20	19	18	16
SO <sub>2</sub>	12	5,9	3,4	2,5	1,3	1,0
CO	...	...	1190	1054	970	785
PM <sub>10</sub>	...	35,5	29,1	25,4	25,1	20,9
PM <sub>2,5</sub>	...	...	...	...	15,9	12,1

Bron: Compendium voor de Leefomgeving (2013).

Tabel 14 laat zien dat de concentraties luchtvervuilende stoffen de afgelopen jaren zijn gedaald. In Nederland worden er momenteel geen problemen geconstateerd voor de luchtvervuilende stoffen zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>), benzeen (een VOS), koolmonoxide (CO) en ammoniak (NH<sub>3</sub>):

- De concentratie **zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>)** is de afgelopen 20 jaar sterk gedaald. De gemeten regionale concentraties lagen in 2012 met 0,5-1,4 µg/m<sup>3</sup> op het laagste niveau sinds het begin van de metingen. Daarbij hebben zich sinds 1998 geen overschrijdingen van de Europese luchtkwaliteitsdoelstellingen meer voorgedaan.
- De gemeten jaargemiddelde concentraties **benzeen (VOS)** bedroegen in Nederland in 2012 tussen de 0,55 en 0,80 µg/m<sup>3</sup>. Dat is ruim onder de grenswaarde van 5 µg/m<sup>3</sup>.
- Voor **koolmonoxide (CO)** is er een Europese norm voor piekconcentraties in de buitenlucht, deze is vastgesteld op 10.000 µg/m<sup>3</sup> (8-uurgemiddelde concentratie) en niet overschreden in 2012.
- De gemiddelde berekende **ammoniak concentratie (NH<sub>3</sub>)** bedroeg in 2012 ongeveer 7 µg/m<sup>3</sup>. Er is geen normstelling voor ammoniakconcentraties in lucht, wel een Europees plafond per lidstaat voor emissies.

Voor fijnstof (PM<sub>10</sub>) en stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>) werden echter wel overschrijdingen van de luchtkwaliteitsnormen geconstateerd:

- Ondanks dat de gemiddelde concentratie **fijnstof (PM<sub>10</sub>)** de afgelopen jaren is gedaald en de gemiddelde jaargrenswaarde voor PM<sub>10</sub> (40 µg/m<sup>3</sup>) in 2012 niet is overschreden, heeft er op lokaal niveau wel een beperkt aantal overschrijdingen plaatsgevonden. Deze overschrijdingen vonden met name plaats in gebieden met intensieve veehouderij of industrie (zoals de havens) en langs wegen. Voor 2015 wordt er door het NSL (2013) zelfs een stijging verwacht in concentraties ten opzichte van 2012. Dit komt doordat in 2012 de fijnstofconcentraties lager waren dan volgens de langjarige trend werd verwacht vanwege gunstige meteorologische condities. Ook worden de concentraties voor PM<sub>10</sub> voor 2015 hoger ingeschat vanwege hogere buitenlandse emissies. Hierdoor zullen er in 2015 in Nederland nog steeds mensen worden blootgesteld aan PM<sub>10</sub>-concentraties boven de Europese normen (NSL, 2013).
- Metingen van **kleine deeltjes fijnstof (PM<sub>2,5</sub>)** worden pas sinds 2008 uitgevoerd en de grenswaarde voor de jaargemiddelde concentratie is vastgesteld op 25 µg/m<sup>3</sup>, waar in 2015 moet aan zijn voldaan. De gemeten stedelijke achtergrondconcentraties van de fijnere fractie van fijnstof bedroegen in 2012 gemiddeld 13 µg/m<sup>3</sup>. Daarmee voldoet Nederland dus aan de luchtkwaliteitsnorm voor PM<sub>2,5</sub>.
- De gemiddelde concentraties **stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>)** zijn de afgelopen jaren gedaald en in het grootste deel van Nederland liggen de concentraties onder de grenswaarden voor het jaargemiddelde (40 µg NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>). In 2012 is echter op een beperkt aantal stedelijke stations de grenswaarde voor NO<sub>2</sub> overschreden. Dit is met name op binnenstedelijke wegen in de Randstad met veel verkeer. Voor 2015 is de verwachting dat de concentraties verder zullen dalen, maar dat er in 2015 nog wel mensen in Nederland zullen worden blootgesteld aan concentraties die boven de Europese normen liggen (NSL, 2013).

### Overschrijding luchtkwaliteit in Nederland en luchtkwaliteitsnormen in het LVB-Schiphol

Voor de luchtkwaliteit in Nederland vormen CO, SO<sub>2</sub>, VOS en ammoniak op dit moment geen probleem en de verwachting is dat dit in de toekomst zal blijven door een verdere daling van de concentraties.



Voor PM<sub>10</sub> en NO<sub>2</sub> worden er landelijk wel overschrijdingen van de luchtkwaliteitsnormen geconstateerd. De omgeving van Schiphol blijft echter binnen de luchtkwaliteitsnormen en de landelijke overschrijdingen vinden met name plaats in gebieden nabij de intensieve veehouderij, het zeehavengebied en langs drukke wegen in de Randstad.

## 5.6 Conclusie

De luchtkwaliteit rondom Schiphol wordt ieder jaar in kaart gebracht door de GGD Amsterdam. Uit deze data is gebleken dat in 2012 de gemiddelde jaarconcentraties van NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> en PM<sub>10</sub> op alle meetlocaties rondom Schiphol (omgeving Haarlemmermeer) binnen de wettelijke norm zijn gebleven.

Tabel 15 geeft een overzicht van de huidige concentratiewaarden en prognoses voor NO<sub>2</sub> en PM<sub>10</sub> in 2015 en 2020.

Tabel 15 Huidige en verwachte gemiddelde jaarconcentratie van emissies (2015-2020)

Stof	Norm	2012*	2015**	2020**
	Gem. per jaar	Gemiddelde jaarconcentratie	Gemiddelde (min-max)	Gemiddelde (min-max)
NO <sub>2</sub>	40	32	37,3 (33,2-39,5)	30,7 (27,6-32,7)
PM <sub>10</sub>	40	22	22,0 (21,4-23,0)	21,2 (20,7-22,2)

\* Op basis van metingen in Badhoevedorp (GGD Amsterdam, 2012).

\*\* Op basis van prognoses Schiphol (2014).

Ook voor 2015 en 2020 is de verwachting dat de concentraties NO<sub>2</sub> en PM<sub>10</sub> rondom Schiphol binnen de norm zullen blijven. Vergeleken met de huidige concentraties rondom Schiphol ziet het eruit dat de gemiddelde jaarconcentratie van NO<sub>2</sub> naar verwachting zal toenemen in 2015 en zal afnemen in 2020. Voor PM<sub>10</sub> geldt dat de gemiddelde jaarconcentratie naar verwachting gelijk zal blijven in 2015 en zal afnemen in 2020.

De genoemde concentraties en prognoses geven echter niet weer wat het aandeel van de luchtvaart hierin is, maar van de luchthaven als geheel. De luchtverontreiniging die ontstaat in de directe woonomgeving van de luchthaven Schiphol als gevolg van de luchtvaart wordt door CROS (2013a) ingeschat op 2 tot 10%, afhankelijk van het soort emissie. De luchtvaart draagt het sterkst bij aan de NO<sub>2</sub>-concentraties, waarvan het aandeel op 15% wordt geschat. Voor 2015 is de verwachting dat het aandeel van de luchtvaart in de emissieconcentraties gelijk blijft op 15%, terwijl het aandeel in 2020 naar verwachting zal toenemen tot 20% (Schiphol, 2014). Ook de absolute bijdrage van de luchtvaart neemt toe. Deze bijdrage komt voornamelijk van de landing en take-off-cyclus. Het grootste deel van de totale luchtverontreiniging rondom Schiphol wordt echter niet veroorzaakt door de luchtvaart, maar is afkomstig van andere bronnen zoals het wegverkeer, de industrie, landbouw, huishoudens en stoffen die elders in Nederland en Europa met de wind naar Schiphol en omgeving worden gevoerd.

Op landelijk niveau vormen CO, SO<sub>2</sub>, VOS en ammoniak geen probleem voor de luchtkwaliteit in Nederland. In 2012 hebben zich geen overschrijding van de luchtkwaliteitsnormen voorgedaan. Aanscherping van de normen in het LVB voor CO, VOS en SO<sub>2</sub> lijken daarmee niet nodig. Voor PM<sub>10</sub> en NO<sub>2</sub> worden er landelijk wel overschrijdingen van de luchtkwaliteitsnormen geconstateerd, zij het niet in de omgeving van Schiphol.



# 6 Analyse sturingsinstrumenten

## 6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk is onderzocht welke sturingsinstrumenten Schiphol en andere luchthavens hebben om emissies te beperken, en hoe effectief die instrumenten zijn voor elk van de onderzochte emissies.

## 6.2 Sturingsinstrumenten om luchtvaartemissies te reduceren

Luchthavens hebben verschillende sturingsmaatregelen om de emissies te beperken. Vaak worden er maatregelen getroffen rondom de luchthaven om emissies te reduceren, zoals de verwerking van afval, energiegebruik en duurzame gebouwen. In dit rapport wordt puur gekeken naar sturingsinstrumenten en maatregelen om de emissies van vliegtuigen te reduceren. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt in vier verschillende aangrijpingspunten:

- maatregelen die aangrijpen op de vliegtuigen aan de gates;
- maatregelen die aangrijpen op de manier waarop de LTO-fase wordt uitgevoerd;
- maatregelen die technisch van aard zijn;
- maatregelen die beogen de vlootsamenstelling te veranderen.

Tabel 16 (op de volgende pagina) geeft een overzicht van de verschillende (operationele) sturingsinstrumenten die zijn onderscheiden in Reynolds et al. (2010), aangevuld met andere literatuurstudies. In Tabel 16 is aangegeven op welke emissies de sturingsinstrumenten betrekking hebben, en of de maatregel op Schiphol en op andere luchthavens wordt toegepast. Tevens is globaal onderzocht wat er bekend is omtrent de handhaving en effectiviteit van de maatregel en op welke termijn effect kan worden verwacht.

Tabel 16 Sturingsinstrumenten

Aangrijpingspunt	Instrument	Betrokken emissies	Toegepast op Schiphol	Toegepast op andere luchthavens
Vliegtuigen aan de gates	Aanbieden van geëlektrificeerde gates en preconditioned air	Alle emissies	Ja	Ja, bv. Hamburg Airport
LTO-fase	Taxiën met minder motoren vermindert het brandstofverbruik	Alle emissies	Ja	Ja, bv. Iberia Airlines op O'Hare Airport
	Slepen van vliegtuigen tijdens taxiën	Alle emissies	Onbekend	Ja, bv. Virgin Atlantic op luchthavens in Londen
	Continuous descent approach: meer gelijkmatig dalen waardoor minder kracht van motoren nodig is en dus minder brandstof	Alle emissies	Ja	Ja, bv. in UK
	Taxi-tijd verkorten (vermindert wachtrijen op de vertrek- en landingsbaan), bv. door vliegtuigen langer aan de gate, voorrang aan grote vliegtuigen	Alle emissies	Onbekend	Ja, bv. Zurich Airport
	Taxi-afstand verkorten (door snelste route toe te wijzen aan landend of vertrekkend vliegtuig of door mogelijkheden om sneller landingsbaan te verlaten)	Alle emissies	Onbekend	Onbekend
Technisch	Betere queue managementsystemen om LTO van vliegtuigen te versnellen en wachtrijen te verminderen	Alle emissies	Onbekend	Ja, bv. Philadelphia International Airport (PHL)
	Roetfilter op GPU om uitstoot te verlagen	Roet	Ja (KLM)	Onbekend
	Schonere motor d.m.v. engine wash	Alle emissies	Ja (KLM)	Ja, bv. in Frankfurt, Hamburg, Brussel, Londen Heathrow
Vlootsamenstelling	Gedifferentieerde luchthaventarieven naar uitstoot (NO <sub>x</sub> )	Afhankelijk van type emissie-eis (bv. NO <sub>x</sub> )	Nee	Ja, bv. emissie charges in Zurich en Genève

Bron: Reynolds (2010) en Schipholwebsite.

De meeste sturingsinstrumenten uit Tabel 16 hebben allen als doel om het brandstofverbruik van de luchtvaart te verminderen en daarmee de uitstoot van vervuilende emissies.

Indien vliegtuigen aan de gate gebruik kunnen maken van walstroom en preconditioned air hoeft er geen gebruik te worden gemaakt van APU/GPU<sup>4</sup>, waardoor er brandstof kan worden bespaard.

Ook tijdens de LTO-fase zijn er diverse maatregelen om brandstofverbruik en emissies te reduceren, zoals het verkorten van de taxi-afstand en taxi-tijd. Tevens kan door het verminderen van wachtrijen voor landing en vertrek door vliegtuigen langer aan de gate te houden, door het slepen van vliegtuigen of door het taxiën met slecht één motor onnodig brandstofverbruik op de luchthaven worden terug gedrongen. Tot slot kunnen luchthavens vliegtuigen vragen om de luchthaven aan te vliegen via de Continuous Descent Approach.

#### Continuous Descent Approach (glijvluchten)

Continuous descent approach, ook wel glijvlucht genoemd, is een manier van aanvliegen waarbij met verminderd motorvermogen wordt gevlogen en het vliegtuig als het ware naar de landingsbaan glijdt. Hierbij treedt een besparing op van gebruik van brandstof, het vermindert de uitstoot van CO<sub>2</sub> en het levert ook minder lawaai voor de directe omgeving op.

CDA vereist wel een andere werkwijze van de luchtverkeersleiding. Het naderende vliegtuig moet hoger gaan vliegen en de naderingsroute ligt vanaf grotere afstand vast. Aangezien een naderend vliegtuig maximale kwaliteit en ruimte nodig heeft, kunnen er minder vliegtuigen per uur op een vliegveld landen. Ook moeten vliegtuigen voor de glijvluchten speciale navigatieapparatuur aan boord hebben, waardoor deze techniek met name door grotere toestellen zal worden toegepast. Kleinere vliegtuigen hebben vaak nog niet de capaciteit om deze apparatuur toe te passen. Op Amsterdam Airport Schiphol, Groningen Airport Eelde en Eindhoven Airport (nog in de testfase) worden Continuous Descent Approaches (CDA's) toegepast (Schiphol, 2013, Eindhoven Airport, 2013 en Groningen Airport Eelde, 2013).

Technische maatregelen die een luchthaven kan nemen om emissies te reduceren is een beter managementsysteem waardoor wachtrijen bij landing en vertrek kunnen worden verminderd, verplichting van een roetfilter en het verplicht wassen van motoren (schonere motoren leiden tot minder brandstofverbruik).

Tot slot kan de luchthaven de emissies door de luchtvaart sturen door invloed uit te oefenen op de vlootsamenstelling voor de aanschaf van nieuwere, efficiëntere en lichtere vliegtuigen. Dit kan de luchthaven doen door het hanteren van gedifferentieerde luchthaventarieven, bijvoorbeeld naar gewicht (MTOW) of naar uitstoot (bijvoorbeeld NO<sub>x</sub>).

---

<sup>4</sup> Auxiliary Power Unit (APU) is een ondersteunende generator in het vliegtuig waarmee jetmotoren gestart kunnen worden. Ook kan het zorgen voor elektriciteit, hydraulische druk en airconditioning bij vliegtuigen die nog op de grond staan. Dankzij de APU is het bijv. niet nodig op de grond de jetmotoren te starten als het vliegtuig aan de gate wacht. De APU wordt vaak in de staart van het vliegtuig gebouwd.  
Ground Power Units (GPU's) zijn losse, verrijdbare apparaten die elektriciteit geven om vliegtuigen met turbinemotoren mee te starten en worden gebruikt in de lichte luchtvaart. De GPU is een generator die op dieselmotoren draait i.p.v. auxiliary motoren.



### 6.2.1 Betrokken emissies

De meeste sturingsinstrumenten die genoemd staan in Tabel 16 hebben als doel om het brandstofverbruik van de luchtvaart te verminderen en daarmee de uitstoot van alle vervuilende emissies te reduceren.

Instrumenten zoals een verplichte roetfilter hebben specifiek betrekking op de reductie van roet, en ook de gedifferentieerde luchthaventarieven kunnen worden ingezet om een specifiek emissietype te reduceren, met name  $\text{NO}_x$ .

### 6.2.2 Toepassing van maatregelen op Schiphol en andere luchthavens

De luchthaven Schiphol is op vele vlakken actief om de luchthaven duurzamer te maken en emissies te verminderen. Veel van deze emissiereducerende maatregelen hebben betrekking op de verlichting, energieverbruik, afval-scheiding, etc. in de terminal en op het verkeer dat plaatsvindt op het luchthaventerrein.

Zo zijn eigen voertuigen deels elektrisch (bussen aan airside en personen-auto's) en voorzien van een A-energielabel. Ook de afhandelaren investeren veel in elektrische equipment. Met betrekking tot het vliegverkeer, het taxiën en APU is het aantal maatregelen beperkter.

De belangrijkste maatregel op het gebied van luchtvaart die Schiphol neemt om de luchtkwaliteit te verbeteren is het plaatsen van walstroom op 67 opstelplaatsen aan de gate (Schiphol, 2014). Daarnaast maakt Schiphol gebruik van de Continuous Descent Approach en vraagt Schiphol aan alle gezagvoerders (middels het AIP) om met een motor minder te taxiën.

De voornaamste gebruiker van Schiphol, KLM, past bovendien de volgende maatregelen toe:

- engine wash (reinen van de vliegtuigmotoren met water);
- roetfilters: KLM heeft de Ground Power Units (GPU's) uitgerust met roetfilters;
- taxiën met één motor.

### 6.2.3 Effectiviteit

De effectiviteit van de sturingsinstrumenten verschilt per type instrument. Niet van alle instrumenten is in kaart gebracht wat de daadwerkelijke effectiviteit is per type emissie. Hieronder volgt een indicatie en voorbeelden van emissiereducties die op verschillende luchthavens zijn vastgesteld.

#### *Gedifferentieerde luchthaventarieven*

Vanuit de luchthavens Genève en Zurich is bekend dat gedifferentieerde tarieven worden gehanteerd voor vliegtuigen, ook wel emissie charges genoemd. Deze charge wordt berekend aan de hand van de uitstoot van  $\text{NO}_x$ , gebaseerd op een formule die het aantal motoren tijdens LTO, het brandstofverbruik (kg/sec), en de tijd (in minuten) meeneemt. Een emissie charge van 5% op de landingscharges heeft er in Zurich toe geleid dat er 140 t  $\text{NO}_x$  minder wordt uitgestoten (per jaar). Als voorbeeld wordt een luchtvaartmaatschappij genoemd die door deze maatregel de vlootsamenstelling eerder heeft aangepast dan oorspronkelijk gepland, waardoor er 4,0 ton  $\text{NO}_x$  en 3.9 ton VOS per jaar gereduceerd werd (Zurich Airport, 2010).



### *Gebruik van geëlektrificeerde gates*

Het gebruik van geëlektrificeerde gates voor vliegtuigen voorkomt dat vliegtuigen hun eigen motoren (APU's) moeten gebruiken die op brandstof draaien. Voor de luchthaven in Hamburg heeft het gebruik van walstroom aan de zeventien gates tot een emissiereductie geleid van ongeveer 9,200 ton CO<sub>2</sub> per jaar.<sup>5</sup> In Zurich worden brandstofbesparingen genoemd van 30.000 ton kerosine per jaar en een reductie in NO<sub>x</sub> van 90 ton per jaar (Zurich Airport, 2010).

### *Taxiën met minder motoren*

Door na de landing enkele motoren uit te schakelen en met minder motoren te taxiën naar het platform bespaart brandstof en reduceert emissies. Per vlucht zou volgens onderzoek op Groningen Airport een besparing van enkele tientallen kilo's brandstof kunnen plaatsvinden<sup>6</sup>. Iberia heeft op O'Hare Airport een beleid om twee van de vier motoren uit te schakelen na het verlaten van de landingsbaan waardoor ongeveer 160 tot 238 kg brandstof bespaard kan worden, afhankelijk van het vliegtuigtype (Airbus 340-300 en A340-600).<sup>7</sup>

### *Taxi-tijd en/of -afstand verkorten*

Door de taxi-tijd van een binnenkomend vliegtuig te verkorten hoeft er minder brandstof te worden gebruikt tijdens het taxiën van het vliegtuig naar het platform, wat tot brandstofbesparing en emissiereductie leidt. Op Zurich Airport is gebleken dat de reductie van de taxi-tijd van 1 minuut kan leiden tot een reductie in NO<sub>x</sub> (-0,5%), CO<sub>2</sub> (-1,8%), CO (-4,4%) en VOS (-5,1%) tijdens de LTO-fase (Unique, 2008).

Wat betreft het verkorten van de taxi-afstand is minder bekend.

### *Engine wash*

Door de vliegtuigmotoren schoon te maken vermindert de uitlaatgas-temperatuur en het brandstofverbruik waardoor er minder emissies worden uitgestoten. Niet alleen KLM, maar ook Lufthansa maakt hier gebruik van. Er worden reducties in brandstofverbruik genoemd tot ongeveer 1%, met een gemiddelde van 0,35%.<sup>8</sup> Wat de specifieke invloed is op luchtvervuilende emissies, is niet bekend.

### *Roetfilters*

Op Schiphol heeft KLM de Ground Power Units (GPU's) uitgerust met roetfilters. Volgens KLM verlagen deze de roetuitstoot met 95%<sup>9</sup>.

## **6.2.4 Termijn effect**

De termijn waarop de sturingsinstrumenten effect zullen hebben verschilt per type maatregelen. Sommige maatregelen, zoals geëlektrificeerde gates en preconditioned air, het verkorten van taxi-tijd en taxi-afstand zullen direct effect hebben op het brandstofverbruik van de vliegtuigen en dus op de emissie-uitstoot. Andere maatregelen, zoals het hanteren van gedifferentieerde luchthaventarieven naar uitstoot zullen pas op langere termijn invloed hebben op de uitstoot van emissies omdat luchtvaart-

<sup>5</sup> [http://www.airport.de/en/c\\_environment\\_co2\\_reduction.html](http://www.airport.de/en/c_environment_co2_reduction.html)

<sup>6</sup> <http://www.groningenairport.nl/actueel/duurzaamheid/>

<sup>7</sup> Gebaseerd op een Airbus A340 en 9 minuten taxiën  
(<http://www.aviationpros.com/article/10467486/single-engine-taxi-program-will-reduce-emissions-and-save-fuel>)

<sup>8</sup> <http://www.lufthansa-technik.com/cycleclean>

<sup>9</sup> [http://www.klm.com/csr/nl/environment/energy\\_reduction.html](http://www.klm.com/csr/nl/environment/energy_reduction.html)



maatschappijen hun vloot niet van de ene op de andere dag kunnen vernieuwen en/of aanpassen.

### 6.2.5 Handhaving

De handhaving van de sturingsmaatregelen is in handen van de luchthavens en verschilt per type instrument. Hier is nog weinig informatie over bekend. In de handhavingsrapportage van Schiphol (2012) wordt van de genoemde sturingsinstrumenten alleen de handhaving van het taxiën met één motor en het gebruik van geëlektrificeerde gates toegelicht.

#### *Taxiën met één motor*

In deze handhavingsrapportage staat dat 'In artikel 3.2.1 van het LVB is aangegeven dat de gezagvoerder er na de landing van een driemotorig of een viermotorig straalvliegtuig op de luchthaven zorg voor draagt dat het vliegtuig met één uitgeschakelde motor van de landingsbaan naar de afhandelingsplaats taxiërt'. Hier mag alleen worden afgeweken indien de uitvoering ervan naar het oordeel van de gezagvoerder onveilig is of de normale operatie van het vliegtuig in de weg staat. Uit de inspectie blijkt echter dat het taxiën met één uitgeschakelde motor niet handhaafbaar is. In een enquête onder luchtvaartmaatschappijen die met drie- en viermotorige vliegtuigen op Schiphol opereren is door alle ondervraagde maatschappijen aangegeven dat zij na de landing daadwerkelijk ook met één uitgeschakelde motor taxiëren.

#### *Gebruik van geëlektrificeerde gates en preconditioned air*

Schiphol heeft 67 afhandelingsplaatsen op de pieren te voorzien van een vaste stroomaansluiting en van een voorziening voor PCA, waardoor vliegtuigen geen gebruik meer hoeven te maken van de Auxiliary Power Unit (APU) of Ground Power Unit (GPU) (Schiphol 2014). In de Aeronautical Information Publication (AIP) is deze verplichting voor de luchtvaartmaatschappijen nader uitgewerkt en geconcretiseerd. Waarbij wordt gesteld dat de APU binnen 5 minuten na aankomst van het vliegtuig moet worden uitgezet en niet eerder dan 10 minuten voor vertrek weer mag worden aangezet voor het starten van de motoren. De handhaving en toezicht worden door Schiphol uitgeoefend. Bij controle bleek dat in 2012 maar liefst 55,9% van de luchtvaartmaatschappijen zich niet aan deze regelgeving heeft gehouden, in totaal betreft het 16,6% van de inspecties waarbij overtreding werd vastgesteld (ILT, 2012).

### 6.3 Conclusie

Er bestaan diverse sturingsinstrumenten die luchthavens kunnen inzetten voor het reduceren van de uitstoot van emissies door de luchtvaart. Dit zijn maatregelen die aangrijpen op de LTO-fase, de vlootsamenstelling, technische verbeteringen en de opstelling van vliegtuigen aan de gates. De meeste van deze instrumenten hebben als doel om het brandstofverbruik te verminderen en dragen daarmee bij aan een vermindering van alle emissies. Schiphol heeft diverse instrumenten al ingezet (zoals het gebruik maken van Continuous Descent Approach, engine wash en het taxiën met één motor) en is zelfs gecertificeerd door de Airport Carbon Accreditation Scheme voor de getroffen CO<sub>2</sub>-reductiemaatregelen. Ook andere luchthavens in Nederland, Europa en daarbuiten zijn actief bezig om de emissie-uitstoot te beperken (zoals Zurich en Genève die gedifferentieerde luchthavengelden hanteren). De effectiviteit van de maatregelen en de handhaving verschilt per type instrument. Ook de termijn waarop een effect te verwachten is verschilt. Maatregelen, zoals geëlektrificeerde gates en preconditioned air, het verkorten van taxi-tijd en taxi-afstand zullen direct effect hebben op het brandstofverbruik van de vliegtuigen en dus op de emissie-uitstoot.



Andere maatregelen, zoals het hanteren van gedifferentieerde luchthaven-tarieven naar uitstoot zullen pas op langere termijn invloed hebben op de uitstoot van emissies.





# 7 Trade-offs in regulering luchtvervuilende stoffen

## 7.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt geanalyseerd wat het terugdringen van de uitstoot van de ene emittent via een verschuiving in de luchtvloot voor gevolgen heeft voor de uitstoot van andere emittenten en voor geluidsoverlast rondom Schiphol, om te zien of er sprake is van trade-offs in de regulering van luchtvervuilende stoffen en geluid.

Het zal voor luchtvaartmaatschappijen lastig zijn om het vliegtuigtype aan te passen vanwege de afstemming ervan op de vervoersvraag op bepaalde routes en tijdstippen. Emissies van CO, NO<sub>x</sub>, VOS en PM en geluidsoverlast zouden wel teruggedrongen kunnen worden als maatschappijen frequenter vliegen met vliegtuigen van hetzelfde type (en zodoende hetzelfde laadvermogen en aantal stoelen), maar met efficiëntere, schonere of stillere motoren.

## 7.2 Data en methode

Twee voorwaarden die aan de selectie van vliegtuigtypes gesteld worden, is dat zij frequent Schiphol aandoen en dat binnen ieder type minimaal tien verschillende types motoren worden gebruikt. De laatste voorwaarde leidt tot voldoende variatie in emissies en geluidsoverlast per vliegtuigtype.

Het aantal vliegbewegingen (landingen en opstijgingen) in Schiphol in 2012 van (gemengde vracht- en) passagiersvluchten en vrachtluchten per vliegtuigtype staat weergegeven in Tabel 17. De vliegtuigtypes die aan bovenstaande voorwaarden voldoen, staan cursief en vetgedrukt weergegeven. Deze types waren gezamenlijk verantwoordelijk voor 90% van het aantal vrachtluchten en 75% van het aantal passagiersvluchten op Schiphol in 2012.

Tabel 17 Vliegbewegingen Schiphol 2012

Passagiersvluchten		Vrachtvervoer	
Type	Aantal bewegingen	Type	Aantal bewegingen
Airbus A318	986	<i>Airbus A300</i>	166
<i>Airbus A319</i>	34.009	<i>Airbus A330-200</i>	233
<i>Airbus A320</i>	29.317	Antonov 12	64
<i>Airbus A321</i>	9.819	ATR42	17
<i>Airbus A330-200</i>	10.782	ATR72	22
<i>Airbus A330-300</i>	7.236	Boeing 737-300	66
Airbus A340-300	748	<i>Boeing 747-200</i>	378
<i>Bae 146/AVRO RJ</i>	4.644	<i>Boeing 747-400</i>	401
Boeing 737-300	5.824	Boeing 747-8	444
Boeing 737-400	3.108	Boeing 757-200	105
Boeing 737-500	2.919	<i>Boeing 767-200</i>	174
Boeing 737-600	1.122	<i>Boeing 767-300</i>	187
<i>Boeing 737-700</i>	44.756	<i>Boeing 777-200</i>	348



Passagiersvluchten		Vrachtvervoer	
Type	Aantal bewegingen	Type	Aantal bewegingen
<b>Boeing 737-800</b>	72.555	Embraer EMB 120	12
<b>Boeing 737-900</b>	8.249	<b>MD11</b>	285
<b>Boeing 747-400</b>	12.953		
Boeing 757-200	2.975		
<b>Boeing 767-300</b>	8.467		
Boeing 767-400	708		
<b>Boeing 777-200</b>	9.580		
Boeing 777-300	3.596		
Bombardier CRJ 700/900/1000	5.955		
Bombardier Dash 8-400	3.786		
Embraer 170/175	5.260		
<b>Embraer 190/195</b>	46.856		
Embraer ERJ 145	2.942		
Fokker 100	6.921		
Fokker 70	52.676		
<b>MD 11</b>	4.197		
MD80	1.794		

Bron: Schiphol traffic review 2012.

De prestaties van vliegtuigen en hun motoren zijn verkregen door koppeling van de Aircraft Engine Emissions Databank (<http://easa.europa.eu/environment/edb/introduction.php>) aan de NoisedB-database (<http://noisedb.stac.aviation-civile.gouv.fr/>).

De EASA-database levert informatie over de uitstoot van VOS, NO<sub>x</sub> en CO, alsmede het rooknummer (Smoke Number) en de gebruikte brandstof per motortype. Deze gegevens stellen ons tevens in staat de uitstoot van PM te ramen, volgens de methodiek die in Bijlage A is beschreven (Paragraaf A.1). De NoisedB-database verschaft informatie over het motortype, het aantal motoren en de geluidsoverlast van alle door het ICAO-gecertificeerde vliegtuigen.

In de analyse van trade-offs in de regulering van luchtvervuilende stoffen zijn door ons de volgende maten geanalyseerd:

**Kg LTO:**

De hoeveelheid, in kilogrammen, van een vervuilende stof die tijdens de gehele landings- en opstijgingscyclus uitgestoten wordt door een vliegtuig. Deze maat geeft uitdrukking aan de totale uitstoot van CO, VOS, NO<sub>x</sub> en PM bij het landen, taxiën en opstijgen van het vliegtuig.

**Dp/Foo:**

De hoeveelheid, in grammen (Dp), van een vervuilende stof welke gedurende de gehele landings- en stijgingscyclus uitgestoten wordt, gedeeld door het vermogen van de motor in KiloNewtons (Foo). Deze maat geeft aan hoe 'schoon' een vliegtuig is.

**GIS-factor:**

Het gepercipieerde geluidsniveau bij het opstijgen, het landen en een zijwaartse oriëntatie ten opzichte van het vliegtuig. De berekeningswijze is beschreven in Bijlage A (Paragraaf A.1).



Maten als Kg LTO per stoel of Kg LTO per maximum laadgewicht (Maximum Take-off Weight) worden niet geanalyseerd. Vliegtuigen binnen een bepaald type wijken namelijk niet af in het aantal stoelen en zijn maar zeer beperkt in hun laadgewicht.

Een voorbehoud dat gemaakt moet worden, is dat voor 2012 niet bekend is welke combinaties van vliegtuigtypen, motoren en maatschappijen Schiphol aandeden. Het is derhalve mogelijk dat de meest zuinige en schone vliegtuigen nu al door maatschappijen ingezet worden op vluchten naar en van Schiphol en dat vlootverschuiving geen winst in het terugdringen van emissies inhoudt.

Echter, uit eerdere analyse van CE Delft waarin de types en motoren wel achterhaald konden worden, is gebleken dat sprake was van grote variatie in milieudruk tussen vliegtuigen van hetzelfde type die Schiphol aandeden in 2007 (CE Delft, 2008). Gegevens voor 2009 uit de ICAO-emissiedatabank wijzen eveneens op grote variatie in de uitstoot van CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, VOS, SO<sub>x</sub> en PM<sub>10</sub> tussen vliegtuigen die Schiphol aandeden. De aanname dat vlootverschuiving tot lagere emissies zal leiden lijkt hiermee voldoende aannemelijk.

### 7.3 Emissies per eenheid MTOW

De emissies van vliegtuigen per eenheid MTOW variëren sterk. Figuur 3 tot en met Figuur 6 laten de variatie zien voor respectievelijk CO, VOS, NO<sub>x</sub> en PM voor alle geanalyseerde vliegtuigtypen (zie Paragraaf 7.2).

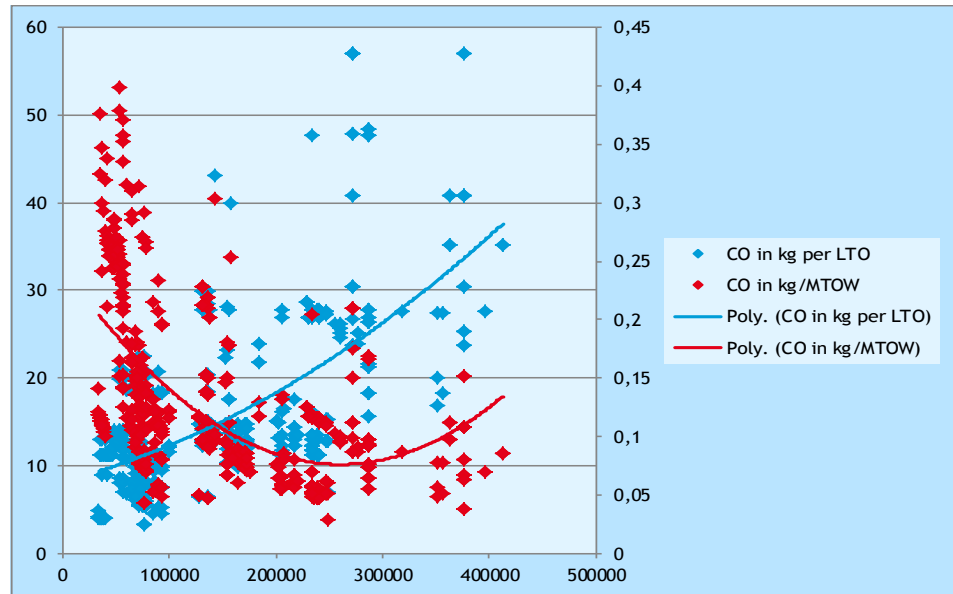
Regionale vliegtuigen hebben een MTOW tot ongeveer 60.000 kg; middellange-afstandsvliegtuigen ('single aisle' zoals Boeing 737 en Airbus A320) een MTOW tussen 50.000 en 100.000 kg, en vliegtuigen die op intercontinentale routes vliegen ('wide-body', zoals Boeing 777 en Airbus A330) een MTOW van meer dan 100.000 kg. Ongeveer de helft van de starts en landingen op Schiphol komt voor rekening van de middellange afstandsvliegtuigen, drie achtste voor regionale vliegtuigen en een achtste voor intercontinentale vliegtuigen.

De figuren laten zien dat de emissies sterk variëren binnen vliegtuigtypes (vliegtuigen met een identiek MTOW). Met andere woorden, de emissies kunnen sterk verschillen, zelfs als het vervoersaanbod gelijk blijft, wanneer vliegtuigmaatschappijen vliegtuigen met andere motortypen inzetten op routes naar Schiphol.

De figuren laten ook zien dat de emissies per eenheid MTOW voor de meeste stoffen afnemen met toenemend startgewicht, om voor de grootste vliegtuigtypen weer te gaan stijgen. Voor NO<sub>x</sub> is de relatie andersom. In alle gevallen is de variatie binnen vliegtuigtypen belangrijker dan de trend.

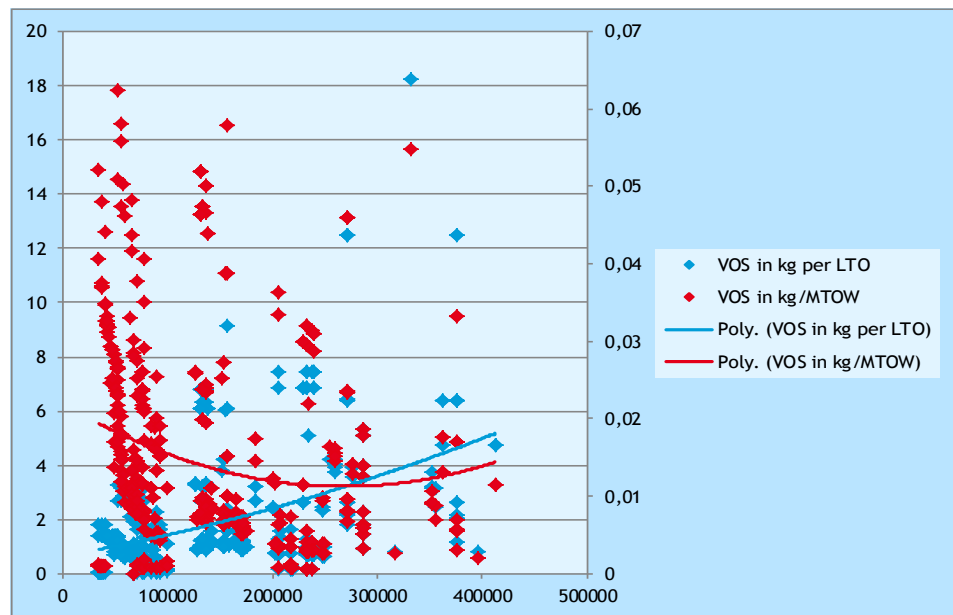
Tot slot laten de figuren zien dat voorkomen moet worden dat grenswaarden leiden tot de inzet van zwaardere toestellen, omdat die weliswaar meestal lagere emissies per eenheid MTOW hebben, maar hogere absolute emissies. Overigens ligt het niet voor de hand dat luchtvaartmaatschappijen toestellen in zouden zetten die te groot zijn voor de verwachte vraag, omdat dit verliesgevend zou zijn.

Figuur 3 MTOW, kg CO per LTO en kg CO/MTOW



\* Exclusief outliers.

Figuur 4 MTOW, kg VOS (HC) per LTO en kg VOS/MTOW

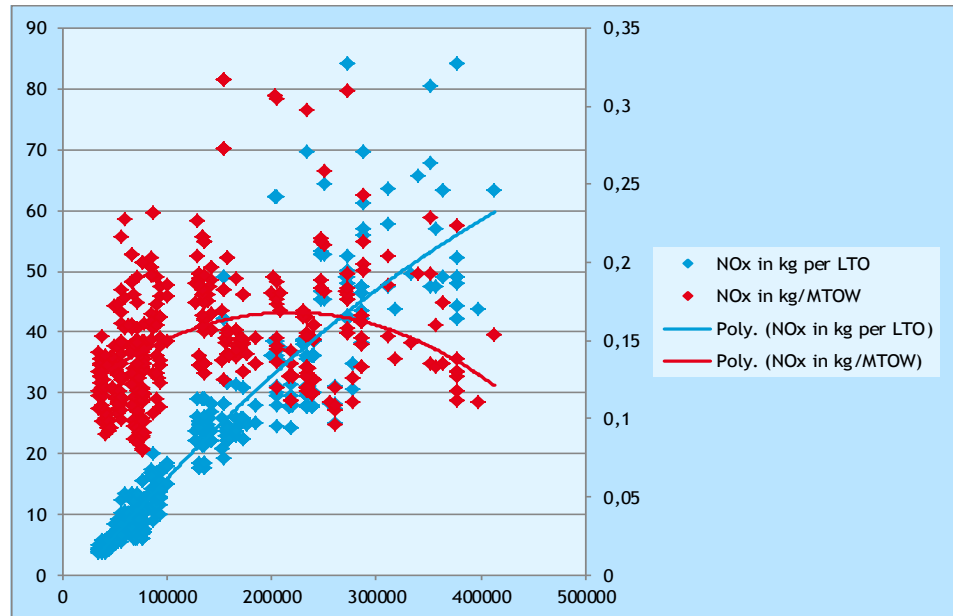


\* Exclusief outliers.

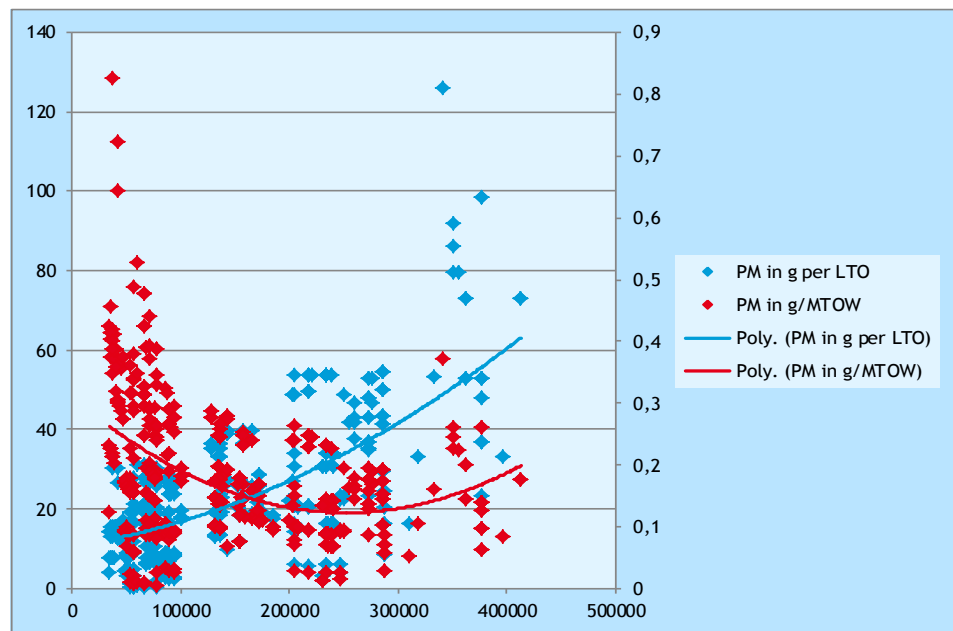




Figuur 5 MTOW, kg NO<sub>x</sub> per LTO en kg NO<sub>x</sub>/MTOW



Figuur 6 MTOW, kg PM per LTO en kg PM/MTOW



## 7.4 Trade-off emissies en geluid

Per vliegtuigtype is de correlatiecoëfficiënt tussen de diverse maten berekend. De correlatiecoëfficiënt varieert van de waarde -1 (volledig negatieve samenhang) tot +1 (volledig positieve samenhang), waarbij de waarde 0 neerkomt op geen samenhang. Een positieve waarde voor bv Kg LTO NO<sub>x</sub> en de GIS-factor, geeft aan dat een afname van emissies van stikstofoxiden samen gaat met minder geluidsoverlast. Andersom geven negatieve waarden aan dat er geen sprake is van synergie, maar juist van een trade-off.

De exacte waarden van de correlatiecoëfficiënten voor alle geselecteerde vliegtuigtypes staan vermeld in Bijlage B. Hier is gekozen voor een presentatie waarbij trade-offs afwezig (teken 0; correlatiecoëfficiënt tussen -0,1 en 0,1), licht negatief (teken -; coëfficiënt tussen -0,5 en -0,1); sterk negatief (teken --; coëfficiënt kleiner dan -0,5); licht positief (teken +; coëfficiënt tussen 0,1 en 0,5) of sterk positief (teken ++, coëfficiënt groter dan 0,5) zijn.

In Tabel 18 staan de trade-offs vermeld voor alle vliegtuigtypen. Uiteraard is kg LTO van de ene emittent vergeleken met dezelfde maat voor de overige emittenten, net zoals Dp/Foo vergeleken is met dezelfde maat voor de overige emittenten. De volgende observaties kunnen gemaakt worden:

- Er is geen sprake van samenhang tussen geluidsoverlast en emissies (CO en VOS) dan wel van een lichte mate van synergie (NO<sub>x</sub> en PM).
- Emissies van VOS en CO hangen sterk met elkaar samen. Dit is waarschijnlijk het gevolg van onvolledige verbranding.
- Emissies van NO<sub>x</sub> en PM lijken op licht positieve wijze met elkaar samen te hangen. Er lijkt dus geen sprake te zijn van een trade-off tussen de uitstoot van fijnstof en van stikstofoxiden.
- Er lijkt wel een trade-off te bestaan tussen emissies van CO en VOS enerzijds en van NO<sub>x</sub> en PM anderzijds. Naarmate de uitstoot van de eerste groep van emittenten afneemt, neemt de uitstoot van de tweede groep toe en vice versa.

De trade-off tussen NO<sub>x</sub> en PM enerzijds en VOS en CO anderzijds kan inherent zijn aan de prestaties van motoren: verbranding onder hogere temperaturen leidt tot meer uitstoot van NO<sub>x</sub> en ook PM, terwijl 'rijkere' mengsels (minder lucht ten opzichte van brandstof en derhalve meer onvolledige verbranding) meer uitstoot van VOS en CO creëren. Echter, deze technische verklaring blijkt niet voor alle vliegtuigtypes op te gaan, zoals de volgende sectie duidelijk zal maken.

Tabel 18 Trade-off emissies en geluid van gehele luchtvaart

Emittent	Maat	CO	VOS	NO <sub>x</sub>	PM	Geluid
CO	Kg LTO	n.v.t.	++	-	-	0
	Dp/Foo	n.v.t.	++	-	-	0
VOS	Kg LTO	++	n.v.t.	0	-	0
	Dp/Foo	++	n.v.t.	0	-	0
NO <sub>x</sub>	Kg LTO	-	0	n.v.t.	+	+
	Dp/Foo	-	0	n.v.t.	+	+
PM	Kg LTO	-	-	+	n.v.t.	+
	Dp/Foo	-	-	+	n.v.t.	+
Geluid	GIS-factor	0	0	+	+	n.v.t.

#### 7.4.1 Trade-off voor vliegtuigtypes

Eenzelfde analyse als in de vorige sectie wordt nu gepresenteerd voor dertien vliegtuigtypes die frequent Schiphol in 2012 aandeden. Alleen de Fokker 70 is niet meegenomen in de analyse, omdat de variatie in gebruikte motoren in dit model beperkt is. De exacte correlaties voor deze en alle overige geselecteerde vliegtuigtypes staan vermeld in Bijlage B.

In Tabel 19 staat voor vijf modellen van Airbus de samenhang weergegeven. Voor kleine modellen (319, 320 en 321) is de trade-off tussen de uitstoot van VOS en CO enerzijds en die van PM en NO<sub>x</sub> anderzijds weer zichtbaar.

Opvallend is verder de trade-off tussen NO<sub>x</sub> en PM bij een aantal types, alsmede de synergie van CO en VOS met NO<sub>x</sub> bij grote modellen (330). Vlootverschuiving binnen het model 330-200 zal tot minder geluidsoverlast en minder emissies van alle emittenten kunnen leiden.

Tabel 19 Trade-off emissies en geluid Airbus

Type	Emittent	Maat	CO	VOS	NO <sub>x</sub>	PM	Geluid
Airbus 319	CO	Kg LTO	n.v.t.	++	--	-	0
		Dp/Foo	n.v.t.	++	--	-	+
	VOS	Kg LTO		n.v.t.	-	--	+
		Dp/Foo		n.v.t.	-	--	+
	NO <sub>x</sub>	Kg LTO			n.v.t.	0	0
		Dp/Foo			n.v.t.	-	0
	PM	Kg LTO				n.v.t.	+
		Dp/Foo				n.v.t.	+
	Geluid	GIS-factor					n.v.t.
	Airbus 320	CO	Kg LTO	n.v.t.	++	--	--
Dp/Foo			n.v.t.	++	--	--	0
VOS		Kg LTO		n.v.t.	-	--	+
		Dp/Foo		n.v.t.	-	--	+
NO <sub>x</sub>		Kg LTO			n.v.t.	+	+
		Dp/Foo			n.v.t.	+	0
PM		Kg LTO				n.v.t.	+
		Dp/Foo				n.v.t.	+
Geluid		GIS-factor					n.v.t.
Airbus 321		CO	Kg LTO	n.v.t.	+	--	-
	Dp/Foo		n.v.t.	+	--	-	+
	VOS	Kg LTO		n.v.t.	0	--	+
		Dp/Foo		n.v.t.	+	--	+
	NO <sub>x</sub>	Kg LTO			n.v.t.	-	-
		Dp/Foo			n.v.t.	-	-
	PM	Kg LTO				n.v.t.	0
		Dp/Foo				n.v.t.	0
	Geluid	GIS-factor					n.v.t.
	Airbus 330-200	CO	Kg LTO	n.v.t.	++	++	+
Dp/Foo			n.v.t.	++	++	+	+
VOS		Kg LTO		n.v.t.	++	0	+
		Dp/Foo		n.v.t.	++	0	+
NO <sub>x</sub>		Kg LTO			n.v.t.	0	0
		Dp/Foo			n.v.t.	0	0
PM		Kg LTO				n.v.t.	+
		Dp/Foo				n.v.t.	+
Geluid		GIS-factor					n.v.t.
Airbus 330-300		CO	Kg LTO	n.v.t.	++	++	0
	Dp/Foo		n.v.t.	++	++	+	+
	VOS	Kg LTO		n.v.t.	++	0	+
		Dp/Foo		n.v.t.	++	-	+
	NO <sub>x</sub>	Kg LTO			n.v.t.	-	+
		Dp/Foo			n.v.t.	-	0
	PM	Kg LTO				n.v.t.	+
		Dp/Foo				n.v.t.	+
	Geluid	GIS-factor					n.v.t.



De trade-off in emissies en geluid voor vijf modellen van Boeing staat weergegeven in Tabel 20. Voor de meeste modellen is alweer sprake van een trade-off tussen uitstoot van CO en VOS enerzijds en NO<sub>x</sub> en PM anderzijds, al verschilt de mate waarin deze trade-off zich voordoen van model tot model. Zo is er niet of nauwelijks sprake van een trade-off van CO en VOS met PM voor de 767 en van CO en VOS met NO<sub>x</sub> voor de 777. Opvallend is verder dat lagere emissies van CO en VOS samengaan met meer geluidsoverlast.

Tabel 20 Trade-off emissies en geluid Boeing

Type	Emittent	Maat	CO	VOS	NO <sub>x</sub>	PM	Geluid
Boeing 737-700	CO	Kg LTO	n.v.t.	++	--	--	-
		Dp/Foo	n.v.t.	++	--	--	-
	VOS	Kg LTO		n.v.t.	--	--	-
		Dp/Foo		n.v.t.	--	--	-
	NO <sub>x</sub>	Kg LTO			n.v.t.	++	+
		Dp/Foo			n.v.t.	++	+
	PM	Kg LTO				n.v.t.	+
		Dp/Foo				n.v.t.	+
	Geluid	GIS-factor					n.v.t.
	Boeing 737-800	CO	Kg LTO	n.v.t.	++	--	--
Dp/Foo			n.v.t.	++	--	--	--
VOS		Kg LTO		n.v.t.	--	--	--
		Dp/Foo		n.v.t.	-	--	--
NO <sub>x</sub>		Kg LTO			n.v.t.	++	++
		Dp/Foo			n.v.t.	++	+
PM		Kg LTO				n.v.t.	++
		Dp/Foo				n.v.t.	++
Geluid		GIS-factor					n.v.t.
Boeing 747-400		CO	Kg LTO	n.v.t.	++	--	-
	Dp/Foo		n.v.t.	++	-	-	-
	VOS	Kg LTO		n.v.t.	-	-	-
		Dp/Foo		n.v.t.	--	-	-
	NO <sub>x</sub>	Kg LTO			n.v.t.	-	-
		Dp/Foo			n.v.t.	-	+
	PM	Kg LTO				n.v.t.	+
		Dp/Foo				n.v.t.	+
	Geluid	GIS-factor					n.v.t.
	Boeing 767-300	CO	Kg LTO	n.v.t.	++	-	0
Dp/Foo			n.v.t.	++	-	0	-
VOS		Kg LTO		n.v.t.	-	0	-
		Dp/Foo		n.v.t.	-	+	-
NO <sub>x</sub>		Kg LTO			n.v.t.	0	+
		Dp/Foo			n.v.t.	0	+
PM		Kg LTO				n.v.t.	+
		Dp/Foo				n.v.t.	+
Geluid		GIS-factor					n.v.t.
Boeing 777-200		CO	Kg LTO	n.v.t.	++	+	-
	Dp/Foo		n.v.t.	++	0	--	-
	VOS	Kg LTO		n.v.t.	+	-	0
		Dp/Foo		n.v.t.	-	-	-
	NO <sub>x</sub>	Kg LTO			n.v.t.	+	++
		Dp/Foo			n.v.t.	+	++
	PM	Kg LTO				n.v.t.	+
		Dp/Foo				n.v.t.	0
	Geluid	GIS-factor					n.v.t.



Voor drie andere vliegtuigtypes die Schiphol vaak aandoen staat de samenhang in emissies en geluid weergegeven in Tabel 21. De BAe systems 146 kenmerkt zich vooral door de trade-off tussen NO<sub>x</sub> en PM. De Embraer 190/195 vertoont min of meer het standaard patroon: hogere emissies van CO en VOS vallen samen met lagere emissies van NO<sub>x</sub> en PM. De McDonnell Douglas 11 tenslotte is net als de Airbus 330-200 een model waarbinnen vlootverschuiving voor alle emittenten de uitstoot kan terugdringen, zonder dat dit ten koste gaat van meer geluidsoverlast.

Tabel 21 Trade-off emissies en geluid overige vliegtuigtypes

Type	Emittent	Maat	CO	VOS	NO <sub>x</sub>	PM	Geluid	
Bae systems 146/AVRO RJ	CO	Kg LTO	n.v.t.	++	--	-	-	
		Dp/Foo	n.v.t.	++	+	--	+	
	VOS	Kg LTO		n.v.t.	--	-	--	
		Dp/Foo		n.v.t.	+	--	+	
	NO <sub>x</sub>	Kg LTO			n.v.t.	-	++	
		Dp/Foo			n.v.t.	--	++	
	PM	Kg LTO				n.v.t.	-	
		Dp/Foo				n.v.t.	-	
	Geluid	GIS-factor					n.v.t.	
	Embraer 190/195	CO	Kg LTO	n.v.t.	++	--	--	+
			Dp/Foo	n.v.t.	++	--	--	0
		VOS	Kg LTO		n.v.t.	--	--	0
Dp/Foo				n.v.t.	--	--	0	
NO <sub>x</sub>		Kg LTO			n.v.t.	++	0	
		Dp/Foo			n.v.t.	+	+	
PM		Kg LTO				n.v.t.	-	
		Dp/Foo				n.v.t.	-	
Geluid		GIS-factor					n.v.t.	
MD 11		CO	Kg LTO	n.v.t.	++	++	++	+
			Dp/Foo	n.v.t.	++	++	++	+
		VOS	Kg LTO		n.v.t.	+	++	+
	Dp/Foo			n.v.t.	++	++	+	
	NO <sub>x</sub>	Kg LTO			n.v.t.	++	+	
		Dp/Foo			n.v.t.	++	++	
	PM	Kg LTO				n.v.t.	+	
		Dp/Foo				n.v.t.	+	
	Geluid	GIS-factor					n.v.t.	

## 7.5 Conclusie

In dit hoofdstuk is aan de hand van de samenhang tussen een aantal maten voor emissies en geluidsoverlast onderzocht of vlootverschuiving binnen vliegtuigtypes die frequent Schiphol aandoen tot trade-offs in luchtverontreinigende stoffen leiden. Dit lijkt inderdaad het geval te zijn.

Uitstoot van koolstofmonoxide en koolwaterstoffen hangen sterk met elkaar samen; het eenduidige gevolg van het verbrandingsproces. Tegelijkertijd blijkt echter voor de meeste modellen, dat een vlootverschuiving waarmee de uitstoot van koolstofmonoxide en waterstofchlorides wordt teruggedrongen, ten koste gaat van hogere emissies van fijnstof of van stikstofoxiden. De doorgaans positieve samenhang tussen uitstoot van fijnstof en stikstofoxiden is overigens niet voor alle vliegtuigtypes van toepassing.

De trade-off met geluidsoverlast lijkt beperkt te zijn. Voor de meeste toestellen bewegen  $\text{NO}_x$  en geluid zich in dezelfde richting: als de uitstoot van  $\text{NO}_x$  afneemt, neemt ook het brongeluid af.



## 8 Conclusie

In het *Luchthavenverkeerbesluit 2002* waren oorspronkelijk grenswaarden opgesteld voor de uitstoot van koolmonoxide (CO), stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>), vluchtige organische stoffen (VOS), zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>) en fijnstof (PM<sub>10</sub>). Die waarden stelden een maximum aan de emissies van deze stoffen per kilogram maximaal toegestaan startgewicht van de vliegtuigen op Schiphol. In 2012 is de grenswaarde voor CO geschrapt toen overschrijding dreigde.

Nu een nieuw luchthavenverkeerbesluit wordt voorbereid, is het de vraag of het wenselijk en effectief is om wederom grenswaarden te stellen voor luchtvervuilende stoffen.

Grenswaarden voor luchtvervuilende emissies kunnen luchthavens een prikkel geven om instrumenten te ontwikkelen die luchtvaartmaatschappijen aansporen schonere vliegtuigen in te zetten. Er zijn verschillende voorbeelden van effectief beleid van luchthavens op dit gebied. Binnen elk vliegtuigtype is er een grote variatie in de uitstoot van verschillende motoren. Wel dient gewaakt te worden voor een perverse werking van grenswaarden op andere emissies, op geluid, of op totale emissies.

De emissies van vliegtuigen worden beperkt door ICAO-normen voor de uitstoot van motoren voor alle genoemde stoffen behalve zwavel. De uitstoot van zwavel wordt beperkt door kwaliteitseisen aan kerosine. Bovendien vallen de emissies van vliegtuigen tijdens de *landing en take-off* onder het nationale emissieplafond.

In de meeste andere verkeerssectoren wordt lokaal beleid gevoerd in aanwezigheid van bronbeleid en emissieplafonds. Het luchthavenverkeerbesluit wijkt in die zin dus niet af. Wel is het zo dat milieuzones (in het wegverkeer) en *emission control areas* (in de zeevaart) worden ingesteld in gebieden waar er problemen zijn met luchtkwaliteit (in het wegverkeer) of waar is aangetoond dat maatregelen kosteneffectief zijn ten opzichte van maatregelen op land (in de zeevaart). Een dergelijke analyse is bij ons weten niet gemaakt voor de luchtvaart op Schiphol.

De luchtkwaliteit op en rond Schiphol blijft tegenwoordig binnen de Europese normen voor alle stoffen. Volgens de prognoses zullen de concentraties in de komende jaren nog verder dalen. De Europese Commissie heeft voorgesteld om het luchtkwaliteitsbeleid aan te scherpen. Dit zou ertoe kunnen leiden dat de normen of de nationale emissieplafonds worden verlaagd.

De bijdrage van de luchtvaart aan de concentratie van luchtvervuilende stoffen rond Schiphol is afhankelijk van de stof en de precieze locatie, maar bedraagt voor NO<sub>2</sub> gemiddeld zo'n 15%. Naar verwachting zal de bijdrage van de luchtvaart zowel in absolute als relatieve zin toenemen in de periode tot 2020.

Schiphol heeft al verschillende maatregelen getroffen om de uitstoot van luchtvervuilende stoffen te beperken, zoals geëlektrificeerde gates en taxiën met minder motoren. Ook de grootste gebruiker van Schiphol, KLM, heeft maatregelen getroffen, zoals het regelmatig wassen van de motoren en het installeren van roetfilters op *ground power units*. In vergelijking met andere



luchthavens, heeft Schiphol sommige maatregelen nog niet genomen, zoals het differentiëren van landingsgelden naar NO<sub>x</sub>-uitstoot. Dit is in bijvoorbeeld Zwitserland een effectieve maatregel geweest om de uitstoot te verminderen, bijvoorbeeld doordat luchtvaartmaatschappijen vliegtuigen met relatief weinig uitstoot op deze luchthavens hebben laten vliegen. Waarschijnlijk is ook op Schiphol nog een verdere beperking van de uitstoot mogelijk.

Vliegtuigen die minder NO<sub>x</sub> en PM uitstoten, hebben in het algemeen een hogere uitstoot van CO en VOS. In de meeste gevallen hebben ze een lager brongeluid, al zijn er ook uitzonderingen. In het algemeen verwachten wij niet dat lagere emissies van NO<sub>x</sub> en PM zullen leiden tot grote veranderingen in geluidsbelasting, al zijn in het kader van deze opdracht geen contourberekeningen uitgevoerd.

Concluderend, de emissies van NO<sub>x</sub> en PM zouden verder teruggebracht kunnen worden, bijvoorbeeld door het differentiëren van de landingsgelden. De concentratie van deze stoffen ligt het dichtst bij de norm. De grenswaarden van het LVB zouden een aanleiding kunnen zijn voor beleid van Schiphol op dit punt. Een afname van de emissies van NO<sub>x</sub> en PM zou tot een toename aan de emissies van VOS en CO leiden, maar omdat die voor de luchtkwaliteit een kleiner probleem vormen, zou het totale effect positief kunnen zijn. Het brongeluid zou iets kunnen afnemen, al zijn de effecten gering. Wanneer de emissies afnemen, neemt ook de concentratie van vervuilende stoffen af. Dat heeft een positief milieueffect, hoewel er rond Schiphol op dit moment geen problemen zijn met overschrijding van de normen voor luchtkwaliteit.





# 9 Referenties

## **ADECS, 2005**

Jos Lammers

Evaluatie Schipholbeleid: Schonere lucht, schonere vliegtuigen, meer uitstoot luchtverkeer

Delft : Advanced Decision Systems Airinfra BV (ADECS), 2005

## **CE Delft, 2008**

J. (Jasper) Faber, D. (Dagmar) Nelissen

Indelingen van vliegtuigtypen in milieuklassen: Verslag voor de werkgroep differentiatie vliegbelasting

Delft : CE Delft, 2008

## **CE Delft, 2013**

DIVV perceel 3 task 1

Nog niet gepubliceerd

## **Compendium voor de Leefomgeving, 2013**

Dossier luchtkwaliteit Nederland

<http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/dossiers/nl0076-luchtkwaliteit-in-Nederland.html?i=14-66>

## **CROS, 2013a**

Factsheet Luchtkwaliteit en Schiphol

Hoofddorp : Commissie Regionaal Overleg luchthaven Schiphol (CROS), 2013

<http://verkeerswereld.nl/luchtvaart/cros-factsheet-luchtkwaliteit-en-schiphol-online/>

## **CROS, 2013b**

Luchtkwaliteit op Schiphol (PowerPointpresentatie)

Hoofddorp : Commissie Regionaal Overleg luchthaven Schiphol (CROS), 2013

## **Dieselnet, 2013**

Website Emission Standards » European Union: Cars and Light Trucks

<http://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php>

(laatst bezocht op 12-11-2013)

## **Emissieregistratie, 2010**

Website Emissieregistratie : Emissies NEC stoffen en PM<sub>10</sub>

<http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek/erpub/nec.aspx>

(laatst bezocht op 12-11-2013)

## **EC, 1970**

Council directive of 20 march 1970 on the approximation of the laws of the Member States relating to measures to be taken against air pollution by gases from positive-ignition engines of motor vehicles, (70/220/EEC)

Brussels : European Commission (EC), 1970



**EC, 2001**

Richtlijn 2001/81/EG van het Europees Parlement en de Raad van 23 oktober 2001 inzake nationale emissieplafonds voor bepaalde luchtverontreinigende stoffen

Brussel : Europese Commissie (EC), 2001

**EC, 2004**

Richtlijn 2004/26/EG van het Europese parlement en de Raad van 21 april 2004 tot wijziging van Richtlijn 97/68/EG betreffende de onderlinge aanpassing van de wetgevingen van de lidstaten inzake maatregelen tegen de uitstoot van verontreinigende gassen en deeltjes door inwendige verbrandingsmotoren die worden gemonteerd in niet voor de weg bestemde mobiele machines

Brussel : Europese Commissie (EC), 2001

**EC, 2007**

Regulation (EC) no 715/2007 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2007 on type approval of motor vehicles with respect to emissions from light passenger and commercial vehicles (Euro 5 and Euro 6) and on access to vehicle repair and maintenance information

Brussels : European Commission (EC), 2007

**EC, 2008**

Richtlijn 2008/50/EG van het Europees Parlement en de Raad van 20 mei 2008 betreffende de luchtkwaliteit en schonere lucht in Europa

Brussel : Europese Commissie (EC), 2008

**GGD Amsterdam, 2012**

Datarapport Luchtkwaliteit Haarlemmermeer

Amsterdam : GGD, 2012

**ICAO, 2008**

Environmental Protection, Annex 16 to the convention on international civil aviation. Volume II: aircraft engine emissions

Montréal : International Civil Aviation Organization (ICAO), 2008

**I&M, 2009**

Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit

Den Haag : Ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M), 2009

**I&M, 2012**

Kamerbrief 6 maart 2012, betreffende Ontwikkelingen internationaal luchtbeleid

Den Haag : Ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M), 2012

**ILT, 2013**

Handhavingsrapportage Schiphol 2012

Den Haag : Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT), 2013

**KEMA, 2009**

E. Kokmeijer en J.J. Erbrink

Bepaling bijdragen luchtvaartverkeer in het studiegebied Schiphol en omstreken ten behoeve van de saneringstool ST3

Arnhem : KEMA Nederland B.V., 2009



**Kinsey and Wayson, 2009**

J. (John) Kinsey and R.L. (Roger) Wayson  
Aircraft Impacts on Local and Regional Air Quality in the United States  
Appendix C PM Methodology Discussion Paper  
Cambridge Mass : The Partnership for AiR Transportation Noise and Emissions  
Reduction, 2009

**Lufthansa, 2012**

How do aircraft manufacturers measure noise?  
S.l. : Lufthansa Group, 2012  
<http://www.lufthansagroup.com/en/responsibility/climate-and-environmental-responsibility/noise-emissions.html>

**Mahashabde et al., 2011**

Anuja Mahashabde, Philip Wolfe, Akshay Ashok et al.  
Assessing the environmental impacts of aircraft noise and emissions  
In : Progress in Aerospace Sciences, Vol. 47, Iss. 1 (2011); p.15-52

**MNP, 2006**

De luchtkwaliteit rond Schiphol; MNP-bevindingen over het onderzoek naar de  
uitstoot van het vliegverkeer en de luchtkwaliteit rond Schiphol door ADECS  
Airinfra BV in het kader van de Evaluatie Schipholbeleid  
Bilthoven : Milieu- en Natuurplanbureau (MNP), 2006

**NSL Monitoringstool, 2013**

[www.nsl-monitoring.nl](http://www.nsl-monitoring.nl)  
(laatst bekeken op 3 december 2013)

**NSL, 2013**

Monitoringsrapportage NSL 2013

**Reynolds et al., 2010**

Evaluation of potential near-term operational changes to mitigate  
environmental impacts of aviation  
Paper: 27th International Congress of Aeronautical Sciences (ICAS), 2010

**Rijksoverheid, 2002**

Luchthavenverkeerbesluit  
Den Haag : Rijksoverheid, 2002  
[http://wetten.overheid.nl/BWBR0014330/geldigheidsdatum\\_11-11-2013#Hoofdstuk4\\_i43](http://wetten.overheid.nl/BWBR0014330/geldigheidsdatum_11-11-2013#Hoofdstuk4_i43)

**Schiphol, 2013**

[www.schiphol.nl](http://www.schiphol.nl)

**Schiphol, 2014**

Persoonlijke communicatie, Schiphol Group, D/CD/SSD

**TK, 2012**

Brief van de staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu aan de Voorzitter van  
de Tweede Kamer der Staten-Generaal betreffende Evaluatie Schipholbeleid,  
kamerstuknr. 29665, nr. 182  
Den Haag : Tweede Kamer der Staten Generaal (TK), 2012



**TML & Arcadis, 2009**

Impact assessment study : Reviewing Directive 97/68/EC Emissions from non-road mobile machinery

S.l. : Transport en Mobility Leuven (TML) & Arcadis, 2009

**Unique, 2008**

Benefits of Reduction of Aircraft Taxi Times at Zurich Airport

Zürich : Unique (Flughafen Zürich AG), 2008

**Zurich Airport, 2010**

Aircraft Emission Charges Zurich Airport

Zürich : Flughafen Zürich AG, 2010

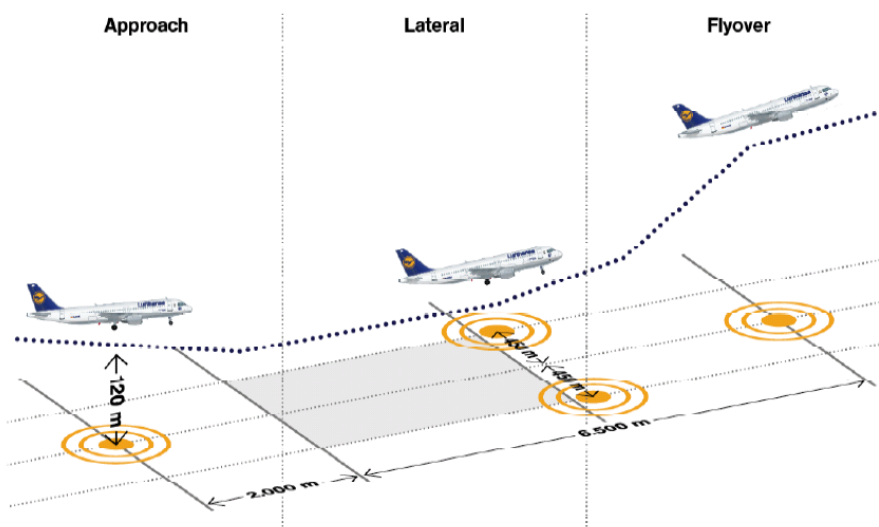


# Bijlage A Berekening geluidsoverlast en PM-uitstoot

## A.1 GIS-factor

De NoisedB-database levert de gepercipieerde geluidsoverlast van een vliegtuig in decibellen ofwel de 'estimated perceived noise in decibel' (EPNdB) vanuit drie gezichtspunten. Figuur 7 illustreert de meetwijze bij landing, zijwaartse oriëntatie en overvliegen. De EPNdB is een logaritmische maat, waarin een verdubbeling van het ervaren geluid overeen komt met een verhoging van de EPNdB met 3 dB.

Figuur 7 Geluidsmeting



Bron: Lufthansa Group.

Bij een vergelijking van de EPNdB-maat met een lineaire maat zoals emissies in kg krijgen hoge geluidswaarden minder gewicht dan lage geluidswaarden. Mede om die reden is de GIS-factor niet gebaseerd op het aantal decibellen dat een toestel genereert, maar op een waarde die lineair verandert met de hoeveelheid geluid en gebaseerd is op drie meetmomenten:

$$GIS = 10^{(FO+LA+AP-270)/45}$$

Waarin:

GIS = geluidswaarde

FO = geluidswaarde in de registratie van het vliegtuig bij 'fly-over' in EPNdB

LA = geluidswaarde in de registratie van het vliegtuig bij 'lateral' in EPNdB

AP = geluidswaarde in de registratie van het vliegtuig bij 'approach' in EPNdB

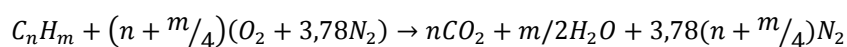
## A.1 PM-emissies

De Aircraft Engine Emissions Databank geeft geen waarden van PM-emissies van motoren, omdat hiervoor geen emissienormen zijn. Wel wordt het Smoke Number, een dimensieloze grootte voor uitstoot van rook, de hoeveelheid kerosine die verbruikt wordt tijdens de landings- en opstijgingscyclus en de verhouding waterstof- op koolstofmoleculen per eenheid kerosine vermeld. Deze gegevens kunnen gebruikt worden om de uitstoot van PM te benaderen.

Op empirische wijze is vastgesteld dat de concentratie-index van PM (CI in mg/m<sup>3</sup>) voor vliegtuigmotoren op de volgende wijze samenhangt met het Smoke Number (Kinsey en Wayson, 2009):

$$CI = 0,0694SN^{1,23357} \text{ als } SN \leq 30$$
$$CI = 0,0297SN^2 - 1,802SN + 31,94 \text{ als } SN > 30$$

Verbranding van brandstoffen verloopt volgens de chemische reactie:



Brandstof met n Mol Koolstof en m Mol Waterstof vereist dus 4,78\*(n+m/4) Mol lucht indien wordt uitgegaan van een verhouding van 21% zuurstof en 79% stikstof. Door invulling van de moleculaire massa's (O<sub>2</sub>=2\*15,9994 g/Mol, N<sub>2</sub>=2\*14,00674 g/Mol, C=12,0107 g/Mol en H=1,00794 g/Mol) kan de Air-to-Fuel-ratio, de hoeveelheid lucht in grammen die nodig is om een gram brandstof te verbranden, berekend worden, gegeven de bekende verhouding m/n, het aantal waterstof- op koolstofmoleculen van de brandstof.

Het uitlaatvolume (Q in m<sup>3</sup>) hangt op volgende wijze van de Air-to-fuel-ratio (AFR) af (Kinsey en Wayson, 2009):

$$Q = 0,776AFR + 0,733$$

De uitstoot van PM in mg kan nu benaderd worden via de volgende formule:

$$PM = Q * CI * Fuel$$

Hier staat Fuel voor de hoeveelheid brandstof (in kg) die tijdens de landings- en opstijgingscyclus verbruikt wordt.



## Bijlage B Correlaties emissies en geluid

Airbus 319	CO in g	CO Dp/Foo	HC in g	HC Dp/Foo	NO <sub>x</sub> in g	NO <sub>x</sub> Dp/Foo	PM in g	PM Dp/Foo	GIS-factor
CO in g	1,00	0,98	0,51	0,38	-0,75	-0,84	-0,32	-0,27	0,10
CO Dp/Foo	0,98	1,00	0,59	0,48	-0,79	-0,83	-0,38	-0,32	0,11
HC in g	0,51	0,59	1,00	0,98	-0,35	-0,28	-0,81	-0,86	0,13
HC Dp/Foo	0,38	0,48	0,98	1,00	-0,29	-0,17	-0,79	-0,80	0,12
NO <sub>x</sub> in g	-0,75	-0,79	-0,35	-0,29	1,00	0,94	0,04	-0,12	-0,06
NO <sub>x</sub> Dp/Foo	-0,84	-0,83	-0,28	-0,17	0,94	1,00	-0,01	-0,12	-0,01
PM in g	-0,32	-0,38	-0,81	-0,79	0,04	-0,01	1,00	0,99	0,42
PM Dp/Foo	-0,27	-0,32	-0,86	-0,80	-0,12	-0,12	0,99	1,00	0,50
GIS-factor	0,10	0,11	0,13	0,12	-0,06	-0,01	0,42	0,50	1,00

Airbus 320	CO in g	CO Dp/Foo	HC in g	HC Dp/Foo	NO <sub>x</sub> in g	NO <sub>x</sub> Dp/Foo	PM in g	PM Dp/Foo	GIS-factor
CO in g	1,00	0,98	0,78	0,63	-0,62	-0,70	-0,57	-0,54	0,07
CO Dp/Foo	0,98	1,00	0,83	0,71	-0,69	-0,72	-0,63	-0,59	0,04
HC in g	0,78	0,83	1,00	0,97	-0,45	-0,45	-0,73	-0,73	0,17
HC Dp/Foo	0,63	0,71	0,97	1,00	-0,42	-0,38	-0,71	-0,70	0,14
NO <sub>x</sub> in g	-0,62	-0,69	-0,45	-0,42	1,00	0,97	0,29	0,22	0,13
NO <sub>x</sub> Dp/Foo	-0,70	-0,72	-0,45	-0,38	0,97	1,00	0,26	0,20	0,09
PM in g	-0,57	-0,63	-0,73	-0,71	0,29	0,26	1,00	0,99	0,38
PM Dp/Foo	-0,54	-0,59	-0,73	-0,70	0,22	0,20	0,99	1,00	0,34
GIS-factor	0,07	0,04	0,17	0,14	0,13	0,09	0,38	0,34	1,00

Airbus 321	CO in g	CO Dp/Foo	HC in g	HC Dp/Foo	NO <sub>x</sub> in g	NO <sub>x</sub> Dp/Foo	PM in g	PM Dp/Foo	GIS-factor
CO in g	1,00	0,99	0,45	0,29	-0,59	-0,65	-0,22	-0,37	0,27
CO Dp/Foo	0,99	1,00	0,54	0,40	-0,58	-0,60	-0,33	-0,45	0,25
HC in g	0,45	0,54	1,00	0,98	0,03	0,12	-0,93	-0,92	0,31
HC Dp/Foo	0,29	0,40	0,98	1,00	0,12	0,23	-0,92	-0,90	0,27
NO <sub>x</sub> in g	-0,59	-0,58	0,03	0,12	1,00	0,96	-0,26	-0,19	-0,11
NO <sub>x</sub> Dp/Foo	-0,65	-0,60	0,12	0,23	0,96	1,00	-0,41	-0,32	-0,17
PM in g	-0,22	-0,33	-0,93	-0,92	-0,26	-0,41	1,00	0,99	-0,09
PM Dp/Foo	-0,37	-0,45	-0,92	-0,90	-0,19	-0,32	0,99	1,00	-0,06
GIS-factor	0,27	0,25	0,31	0,27	-0,11	-0,17	-0,09	-0,06	1,00

Airbus 330-200	CO in g	CO Dp/Foo	HC in g	HC Dp/Foo	NO <sub>x</sub> in g	NO <sub>x</sub> Dp/Foo	PM in g	PM Dp/Foo	GIS-factor
CO in g	1,00	0,99	0,98	0,98	0,89	0,91	0,22	0,18	0,22
CO Dp/Foo	0,99	1,00	0,96	0,97	0,85	0,91	0,27	0,23	0,18
HC in g	0,98	0,96	1,00	0,99	0,91	0,91	0,10	0,06	0,31
HC Dp/Foo	0,98	0,97	0,99	1,00	0,88	0,91	0,10	0,06	0,29
NO <sub>x</sub> in g	0,89	0,85	0,91	0,88	1,00	0,96	-0,09	-0,14	0,08
NO <sub>x</sub> Dp/Foo	0,91	0,91	0,91	0,91	0,96	1,00	-0,03	-0,07	-0,02
PM in g	0,22	0,27	0,10	0,10	-0,09	-0,03	1,00	1,00	0,12
PM Dp/Foo	0,18	0,23	0,06	0,06	-0,14	-0,07	1,00	1,00	0,11
GIS-factor	0,22	0,18	0,31	0,29	0,08	-0,02	0,12	0,11	1,00



<b>Airbus 330-300</b>	CO in g	CO Dp/Foo	HC in g	HC Dp/Foo	NO <sub>x</sub> in g	NO <sub>x</sub> Dp/Foo	PM in g	PM Dp/Foo	GIS-factor
CO in g	1,00	0,98	0,97	0,96	0,77	0,81	0,07	0,04	0,18
CO Dp/Foo	0,98	1,00	0,92	0,93	0,68	0,76	0,14	0,12	0,12
HC in g	0,97	0,92	1,00	0,99	0,84	0,85	-0,10	-0,13	0,28
HC Dp/Foo	0,96	0,93	0,99	1,00	0,82	0,85	-0,11	-0,14	0,25
NO <sub>x</sub> in g	0,77	0,68	0,84	0,82	1,00	0,96	-0,43	-0,48	0,10
NO <sub>x</sub> Dp/Foo	0,81	0,76	0,85	0,85	0,96	1,00	-0,38	-0,42	-0,02
PM in g	0,07	0,14	-0,10	-0,11	-0,43	-0,38	1,00	1,00	0,21
PM Dp/Foo	0,04	0,12	-0,13	-0,14	-0,48	-0,42	1,00	1,00	0,19
GIS-factor	0,18	0,12	0,28	0,25	0,10	-0,02	0,21	0,19	1,00

<b>BAE systems</b>	CO in g	CO Dp/Foo	HC in g	HC Dp/Foo	NO <sub>x</sub> in g	NO <sub>x</sub> Dp/Foo	PM in g	PM Dp/Foo	GIS-factor
CO in g	1,00	0,68	0,98	0,55	-0,85	-0,59	-0,34	-0,29	-0,44
CO Dp/Foo	0,68	1,00	0,54	0,99	-0,19	0,18	-0,92	-0,90	0,12
HC in g	0,98	0,54	1,00	0,40	-0,93	-0,72	-0,17	-0,12	-0,53
HC Dp/Foo	0,55	0,99	0,40	1,00	-0,03	0,34	-0,97	-0,96	0,24
NO <sub>x</sub> in g	-0,85	-0,19	-0,93	-0,03	1,00	0,93	-0,21	-0,26	0,67
NO <sub>x</sub> Dp/Foo	-0,59	0,18	-0,72	0,34	0,93	1,00	-0,55	-0,60	0,72
PM in g	-0,34	-0,92	-0,17	-0,97	-0,21	-0,55	1,00	1,00	-0,39
PM Dp/Foo	-0,29	-0,90	-0,12	-0,96	-0,26	-0,60	1,00	1,00	-0,42
GIS-factor	-0,44	0,12	-0,53	0,24	0,67	0,72	-0,39	-0,42	1,00

<b>Boeing 737-700</b>	CO in g	CO Dp/Foo	HC in g	HC Dp/Foo	NO <sub>x</sub> in g	NO <sub>x</sub> Dp/Foo	PM in g	PM Dp/Foo	GIS-factor
CO in g	1,00	0,95	0,93	0,89	-0,70	-0,84	-0,96	-0,99	-0,21
CO Dp/Foo	0,95	1,00	0,92	0,93	-0,83	-0,84	-0,95	-0,94	-0,37
HC in g	0,93	0,92	1,00	0,98	-0,60	-0,64	-0,91	-0,93	-0,31
HC Dp/Foo	0,89	0,93	0,98	1,00	-0,66	-0,61	-0,88	-0,88	-0,39
NO <sub>x</sub> in g	-0,70	-0,83	-0,60	-0,66	1,00	0,88	0,81	0,73	0,48
NO <sub>x</sub> Dp/Foo	-0,84	-0,84	-0,64	-0,61	0,88	1,00	0,86	0,85	0,20
PM in g	-0,96	-0,95	-0,91	-0,88	0,81	0,86	1,00	0,99	0,33
PM Dp/Foo	-0,99	-0,94	-0,93	-0,88	0,73	0,85	0,99	1,00	0,24
GIS-factor	-0,21	-0,37	-0,31	-0,39	0,48	0,20	0,33	0,24	1,00

<b>Boeing 737-800</b>	CO in g	CO Dp/Foo	HC in g	HC Dp/Foo	NO <sub>x</sub> in g	NO <sub>x</sub> Dp/Foo	PM in g	PM Dp/Foo	GIS-factor
CO in g	1,00	0,98	0,88	0,80	-0,77	-0,81	-0,98	-0,99	-0,55
CO Dp/Foo	0,98	1,00	0,92	0,87	-0,80	-0,76	-0,97	-0,97	-0,65
HC in g	0,88	0,92	1,00	0,99	-0,52	-0,46	-0,87	-0,87	-0,59
HC Dp/Foo	0,80	0,87	0,99	1,00	-0,47	-0,36	-0,81	-0,80	-0,62
NO <sub>x</sub> in g	-0,77	-0,80	-0,52	-0,47	1,00	0,92	0,83	0,79	0,63
NO <sub>x</sub> Dp/Foo	-0,81	-0,76	-0,46	-0,36	0,92	1,00	0,82	0,81	0,44
PM in g	-0,98	-0,97	-0,87	-0,81	0,83	0,82	1,00	0,99	0,62
PM Dp/Foo	-0,99	-0,97	-0,87	-0,80	0,79	0,81	0,99	1,00	0,57
GIS-factor	-0,55	-0,65	-0,59	-0,62	0,63	0,44	0,62	0,57	1,00





Boeing 737-900	CO in g	CO Dp/Foo	HC in g	HC Dp/Foo	NO <sub>x</sub> in g	NO <sub>x</sub> Dp/Foo	PM in g	PM Dp/Foo	GIS-factor
CO in g	1,00	0,93	-0,53	-0,73	-0,89	-0,99	-0,93	-0,97	-0,03
CO Dp/Foo	0,93	1,00	-0,18	-0,43	-0,99	-0,96	-0,97	-0,95	-0,27
HC in g	-0,53	-0,18	1,00	0,96	0,10	0,45	0,24	0,40	-0,55
HC Dp/Foo	-0,73	-0,43	0,96	1,00	0,35	0,66	0,46	0,61	-0,43
NO <sub>x</sub> in g	-0,89	-0,99	0,10	0,35	1,00	0,93	0,98	0,94	0,31
NO <sub>x</sub> Dp/Foo	-0,99	-0,96	0,45	0,66	0,93	1,00	0,96	0,99	0,08
PM in g	-0,93	-0,97	0,24	0,46	0,98	0,96	1,00	0,98	0,22
PM Dp/Foo	-0,97	-0,95	0,40	0,61	0,94	0,99	0,98	1,00	0,11
GIS-factor	-0,03	-0,27	-0,55	-0,43	0,31	0,08	0,22	0,11	1,00

Boeing 747-400	CO in g	CO Dp/Foo	HC in g	HC Dp/Foo	NO <sub>x</sub> in g	NO <sub>x</sub> Dp/Foo	PM in g	PM Dp/Foo	GIS-factor
CO in g	1,00	0,99	0,96	0,97	-0,51	-0,52	-0,28	-0,28	-0,35
CO Dp/Foo	0,99	1,00	0,93	0,96	-0,51	-0,49	-0,28	-0,28	-0,36
HC in g	0,96	0,93	1,00	0,99	-0,48	-0,49	-0,22	-0,22	-0,25
HC Dp/Foo	0,97	0,96	0,99	1,00	-0,50	-0,50	-0,18	-0,18	-0,26
NO <sub>x</sub> in g	-0,51	-0,51	-0,48	-0,50	1,00	0,98	-0,16	-0,19	0,12
NO <sub>x</sub> Dp/Foo	-0,52	-0,49	-0,49	-0,50	0,98	1,00	-0,19	-0,19	0,12
PM in g	-0,28	-0,28	-0,22	-0,18	-0,16	-0,19	1,00	1,00	0,44
PM Dp/Foo	-0,28	-0,28	-0,22	-0,18	-0,19	-0,19	1,00	1,00	0,44
GIS-factor	-0,35	-0,36	-0,25	-0,26	0,12	0,12	0,44	0,44	1,00

Boeing 767-300	CO in g	CO Dp/Foo	HC in g	HC Dp/Foo	NO <sub>x</sub> in g	NO <sub>x</sub> Dp/Foo	PM in g	PM Dp/Foo	GIS-factor
CO in g	1,00	0,98	0,94	0,91	-0,35	-0,42	-0,02	-0,04	-0,36
CO Dp/Foo	0,98	1,00	0,94	0,95	-0,40	-0,40	0,02	0,05	-0,32
HC in g	0,94	0,94	1,00	0,98	-0,35	-0,35	0,06	0,08	-0,29
HC Dp/Foo	0,91	0,95	0,98	1,00	-0,37	-0,33	0,13	0,19	-0,24
NO <sub>x</sub> in g	-0,35	-0,40	-0,35	-0,37	1,00	0,95	0,03	-0,05	0,37
NO <sub>x</sub> Dp/Foo	-0,42	-0,40	-0,35	-0,33	0,95	1,00	0,08	0,06	0,48
PM in g	-0,02	0,02	0,06	0,13	0,03	0,08	1,00	0,97	0,27
PM Dp/Foo	-0,04	0,05	0,08	0,19	-0,05	0,06	0,97	1,00	0,29
GIS-factor	-0,36	-0,32	-0,29	-0,24	0,37	0,48	0,27	0,29	1,00

Boeing 777-200	CO in g	CO Dp/Foo	HC in g	HC Dp/Foo	NO <sub>x</sub> in g	NO <sub>x</sub> Dp/Foo	PM in g	PM Dp/Foo	GIS-factor
CO in g	1,00	0,96	0,93	0,83	0,49	0,16	-0,45	-0,55	0,09
CO Dp/Foo	0,96	1,00	0,91	0,88	0,24	-0,08	-0,63	-0,69	-0,11
HC in g	0,93	0,91	1,00	0,96	0,35	0,03	-0,36	-0,44	-0,02
HC Dp/Foo	0,83	0,88	0,96	1,00	0,09	-0,19	-0,46	-0,50	-0,22
NO <sub>x</sub> in g	0,49	0,24	0,35	0,09	1,00	0,92	0,26	0,13	0,53
NO <sub>x</sub> Dp/Foo	0,16	-0,08	0,03	-0,19	0,92	1,00	0,42	0,31	0,49
PM in g	-0,45	-0,63	-0,36	-0,46	0,26	0,42	1,00	0,98	0,22
PM Dp/Foo	-0,55	-0,69	-0,44	-0,50	0,13	0,31	0,98	1,00	0,05
GIS-factor	0,09	-0,11	-0,02	-0,22	0,53	0,49	0,22	0,05	1,00



MD 11	CO in g	CO Dp/Foo	HC in g	HC Dp/Foo	NO <sub>x</sub> in g	NO <sub>x</sub> Dp/Foo	PM in g	PM Dp/Foo	GIS-factor
CO in g	1,00	0,99	0,97	0,98	0,61	0,72	0,92	0,94	0,38
CO Dp/Foo	0,99	1,00	0,94	0,96	0,60	0,73	0,91	0,94	0,48
HC in g	0,97	0,94	1,00	1,00	0,49	0,58	0,84	0,86	0,19
HC Dp/Foo	0,98	0,96	1,00	1,00	0,50	0,60	0,85	0,87	0,25
NO <sub>x</sub> in g	0,61	0,60	0,49	0,50	1,00	0,97	0,86	0,83	0,37
NO <sub>x</sub> Dp/Foo	0,72	0,73	0,58	0,60	0,97	1,00	0,92	0,90	0,57
PM in g	0,92	0,91	0,84	0,85	0,86	0,92	1,00	1,00	0,44
PM Dp/Foo	0,94	0,94	0,86	0,87	0,83	0,90	1,00	1,00	0,48
GIS-factor	0,38	0,48	0,19	0,25	0,37	0,57	0,44	0,48	1,00

EMB 190/195	CO in g	CO Dp/Foo	HC in g	HC Dp/Foo	NO <sub>x</sub> in g	NO <sub>x</sub> Dp/Foo	PM in g	PM Dp/Foo	GIS-factor
CO in g	1,00	0,97	0,97	0,95	-0,80	-0,67	-0,96	-0,95	0,11
CO Dp/Foo	0,97	1,00	1,00	1,00	-0,92	-0,82	-0,87	-0,86	0,03
HC in g	0,97	1,00	1,00	1,00	-0,93	-0,83	-0,86	-0,85	0,03
HC Dp/Foo	0,95	1,00	1,00	1,00	-0,95	-0,87	-0,82	-0,80	0,00
NO <sub>x</sub> in g	-0,80	-0,92	-0,93	-0,95	1,00	0,98	0,61	0,58	0,09
NO <sub>x</sub> Dp/Foo	-0,67	-0,82	-0,83	-0,87	0,98	1,00	0,44	0,41	0,15
PM in g	-0,96	-0,87	-0,86	-0,82	0,61	0,44	1,00	1,00	-0,18
PM Dp/Foo	-0,95	-0,86	-0,85	-0,80	0,58	0,41	1,00	1,00	-0,19
GIS-factor	0,11	0,03	0,03	0,00	0,09	0,15	-0,18	-0,19	1,00

Airbus 300	CO in g	CO Dp/Foo	HC in g	HC Dp/Foo	NO <sub>x</sub> in g	NO <sub>x</sub> Dp/Foo	PM in g	PM Dp/Foo	GIS-factor
CO in g	1,00	0,98	0,96	0,97	0,11	0,23	-0,36	-0,31	0,24
CO Dp/Foo	0,98	1,00	0,92	0,95	0,00	0,33	-0,18	-0,12	0,36
HC in g	0,96	0,92	1,00	0,99	0,15	0,28	-0,34	-0,28	0,30
HC Dp/Foo	0,97	0,95	0,99	1,00	0,09	0,32	-0,26	-0,20	0,36
NO <sub>x</sub> in g	0,11	0,00	0,15	0,09	1,00	0,36	-0,68	-0,71	-0,17
NO <sub>x</sub> Dp/Foo	0,23	0,33	0,28	0,32	0,36	1,00	0,49	0,50	0,60
PM in g	-0,36	-0,18	-0,34	-0,26	-0,68	0,49	1,00	0,99	0,54
PM Dp/Foo	-0,31	-0,12	-0,28	-0,20	-0,71	0,50	0,99	1,00	0,58
GIS-factor	0,24	0,36	0,30	0,36	-0,17	0,60	0,54	0,58	1,00

Airbus 330	CO in g	CO Dp/Foo	HC in g	HC Dp/Foo	NO <sub>x</sub> in g	NO <sub>x</sub> Dp/Foo	PM in g	PM Dp/Foo	GIS-factor
CO in g	1,00	0,99	0,98	0,98	0,89	0,92	0,27	0,23	0,19
CO Dp/Foo	0,99	1,00	0,96	0,97	0,84	0,91	0,32	0,29	0,14
HC in g	0,98	0,96	1,00	0,99	0,90	0,91	0,15	0,11	0,28
HC Dp/Foo	0,98	0,97	0,99	1,00	0,88	0,91	0,15	0,11	0,26
NO <sub>x</sub> in g	0,89	0,84	0,90	0,88	1,00	0,96	-0,04	-0,08	0,06
NO <sub>x</sub> Dp/Foo	0,92	0,91	0,91	0,91	0,96	1,00	0,05	0,01	-0,05
PM in g	0,27	0,32	0,15	0,15	-0,04	0,05	1,00	1,00	0,09
PM Dp/Foo	0,23	0,29	0,11	0,11	-0,08	0,01	1,00	1,00	0,08
GIS-factor	0,19	0,14	0,28	0,26	0,06	-0,05	0,09	0,08	1,00



<b>Boeing 747-200</b>	<b>CO in g</b>	<b>CO Dp/Foo</b>	<b>HC in g</b>	<b>HC Dp/Foo</b>	<b>NO<sub>x</sub> in g</b>	<b>NO<sub>x</sub> Dp/Foo</b>	<b>PM in g</b>	<b>PM Dp/Foo</b>	<b>GIS-factor</b>
CO in g	1,00	1,00	0,96	0,93	-0,03	0,06	0,30	0,33	0,23
CO Dp/Foo	1,00	1,00	0,95	0,94	0,00	0,09	0,34	0,36	0,25
HC in g	0,96	0,95	1,00	0,99	0,11	0,18	0,41	0,43	0,24
HC Dp/Foo	0,93	0,94	0,99	1,00	0,17	0,24	0,48	0,49	0,24
NO <sub>x</sub> in g	-0,03	0,00	0,11	0,17	1,00	0,98	0,50	0,51	0,42
NO <sub>x</sub> Dp/Foo	0,06	0,09	0,18	0,24	0,98	1,00	0,55	0,57	0,51
PM in g	0,30	0,34	0,41	0,48	0,50	0,55	1,00	1,00	0,43
PM Dp/Foo	0,33	0,36	0,43	0,49	0,51	0,57	1,00	1,00	0,48
GIS-factor	0,23	0,25	0,24	0,24	0,42	0,51	0,43	0,48	1,00

<b>Boeing 747-300</b>	<b>CO in g</b>	<b>CO Dp/Foo</b>	<b>HC in g</b>	<b>HC Dp/Foo</b>	<b>NO<sub>x</sub> in g</b>	<b>NO<sub>x</sub> Dp/Foo</b>	<b>PM in g</b>	<b>PM Dp/Foo</b>	<b>GIS-factor</b>
CO in g	1,00	0,99	0,96	0,97	-0,51	-0,52	-0,27	-0,28	-0,34
CO Dp/Foo	0,99	1,00	0,93	0,96	-0,51	-0,49	-0,27	-0,26	-0,35
HC in g	0,96	0,93	1,00	0,99	-0,48	-0,50	-0,21	-0,22	-0,24
HC Dp/Foo	0,97	0,96	0,99	1,00	-0,51	-0,50	-0,17	-0,17	-0,24
NO <sub>x</sub> in g	-0,51	-0,51	-0,48	-0,51	1,00	0,98	-0,17	-0,19	0,11
NO <sub>x</sub> Dp/Foo	-0,52	-0,49	-0,50	-0,50	0,98	1,00	-0,19	-0,20	0,11
PM in g	-0,27	-0,27	-0,21	-0,17	-0,17	-0,19	1,00	1,00	0,44
PM Dp/Foo	-0,28	-0,26	-0,22	-0,17	-0,19	-0,20	1,00	1,00	0,45
GIS-factor	-0,34	-0,35	-0,24	-0,24	0,11	0,11	0,44	0,45	1,00

<b>Boeing 767-200</b>	<b>CO in g</b>	<b>CO Dp/Foo</b>	<b>HC in g</b>	<b>HC Dp/Foo</b>	<b>NO<sub>x</sub> in g</b>	<b>NO<sub>x</sub> Dp/Foo</b>	<b>PM in g</b>	<b>PM Dp/Foo</b>	<b>GIS-factor</b>
CO in g	1,00	0,97	0,93	0,89	-0,48	-0,54	-0,24	-0,21	-0,54
CO Dp/Foo	0,97	1,00	0,93	0,94	-0,55	-0,48	-0,17	-0,08	-0,43
HC in g	0,93	0,93	1,00	0,97	-0,47	-0,39	-0,11	-0,03	-0,36
HC Dp/Foo	0,89	0,94	0,97	1,00	-0,50	-0,32	-0,01	0,10	-0,28
NO <sub>x</sub> in g	-0,48	-0,55	-0,47	-0,50	1,00	0,83	0,70	0,49	0,33
NO <sub>x</sub> Dp/Foo	-0,54	-0,48	-0,39	-0,32	0,83	1,00	0,96	0,89	0,58
PM in g	-0,24	-0,17	-0,11	-0,01	0,70	0,96	1,00	0,96	0,28
PM Dp/Foo	-0,21	-0,08	-0,03	0,10	0,49	0,89	0,96	1,00	0,35
GIS-factor	-0,54	-0,43	-0,36	-0,28	0,33	0,58	0,28	0,35	1,00

<b>Boeing 767-300</b>	<b>CO in g</b>	<b>CO Dp/Foo</b>	<b>HC in g</b>	<b>HC Dp/Foo</b>	<b>NO<sub>x</sub> in g</b>	<b>NO<sub>x</sub> Dp/Foo</b>	<b>PM in g</b>	<b>PM Dp/Foo</b>	<b>GIS-factor</b>
CO in g	1,00	0,98	0,95	0,93	-0,39	-0,42	0,14	0,13	-0,37
CO Dp/Foo	0,98	1,00	0,94	0,96	-0,41	-0,40	0,15	0,18	-0,34
HC in g	0,95	0,94	1,00	0,98	-0,35	-0,34	0,12	0,15	-0,32
HC Dp/Foo	0,93	0,96	0,98	1,00	-0,36	-0,33	0,18	0,24	-0,29
NO <sub>x</sub> in g	-0,39	-0,41	-0,35	-0,36	1,00	0,97	-0,11	-0,17	0,36
NO <sub>x</sub> Dp/Foo	-0,42	-0,40	-0,34	-0,33	0,97	1,00	-0,12	-0,14	0,41
PM in g	0,14	0,15	0,12	0,18	-0,11	-0,12	1,00	0,97	0,11
PM Dp/Foo	0,13	0,18	0,15	0,24	-0,17	-0,14	0,97	1,00	0,12
GIS-factor	-0,37	-0,34	-0,32	-0,29	0,36	0,41	0,11	0,12	1,00



Boeing 777	CO in g	CO Dp/Foo	HC in g	HC Dp/Foo	NO <sub>x</sub> in g	NO <sub>x</sub> Dp/Foo	PM in g	PM Dp/Foo	GIS-factor
CO in g	1,00	0,96	0,93	0,83	0,49	0,16	-0,45	-0,55	0,09
CO Dp/Foo	0,96	1,00	0,91	0,88	0,24	-0,08	-0,63	-0,69	-0,11
HC in g	0,93	0,91	1,00	0,96	0,35	0,03	-0,36	-0,44	-0,02
HC Dp/Foo	0,83	0,88	0,96	1,00	0,09	-0,19	-0,46	-0,50	-0,22
NO <sub>x</sub> in g	0,49	0,24	0,35	0,09	1,00	0,92	0,26	0,13	0,53
NO <sub>x</sub> Dp/Foo	0,16	-0,08	0,03	-0,19	0,92	1,00	0,42	0,31	0,49
PM in g	-0,45	-0,63	-0,36	-0,46	0,26	0,42	1,00	0,98	0,22
PM Dp/Foo	-0,55	-0,69	-0,44	-0,50	0,13	0,31	0,98	1,00	0,05
GIS-factor	0,09	-0,11	-0,02	-0,22	0,53	0,49	0,22	0,05	1,00

MD 11	CO in g	CO Dp/Foo	HC in g	HC Dp/Foo	NO <sub>x</sub> in g	NO <sub>x</sub> Dp/Foo	PM in g	PM Dp/Foo	GIS-factor
CO in g	1,00	0,99	0,97	0,98	0,61	0,72	0,92	0,94	0,38
CO Dp/Foo	0,99	1,00	0,94	0,96	0,60	0,73	0,91	0,94	0,48
HC in g	0,97	0,94	1,00	1,00	0,49	0,58	0,84	0,86	0,19
HC Dp/Foo	0,98	0,96	1,00	1,00	0,50	0,60	0,85	0,87	0,25
NO <sub>x</sub> in g	0,61	0,60	0,49	0,50	1,00	0,97	0,86	0,83	0,37
NO <sub>x</sub> Dp/Foo	0,72	0,73	0,58	0,60	0,97	1,00	0,92	0,90	0,57
PM in g	0,92	0,91	0,84	0,85	0,86	0,92	1,00	1,00	0,44
PM Dp/Foo	0,94	0,94	0,86	0,87	0,83	0,90	1,00	1,00	0,48
GIS-factor	0,38	0,48	0,19	0,25	0,37	0,57	0,44	0,48	1,00

