

Vergaderjaar 1994–1995

**24 213**

## Luchtverontreiniging en Luchtvaart

**Nr. 2**

### NOTA INHOUDSOPGAVE

<b>0. Samenvatting</b>	<b>2</b>	4.3 Militaire luchtvaart	47
		4.4 Kleine luchtvaart	48
<b>1. Inleiding</b>	<b>6</b>	Literatuurlijst	49
1.1 Aanleiding en doel nota	6	Verklaring van gebruikte afkortingen	53
1.2 Opzet nota	7	Bijlage 1	
1.3 Algemene relatie luchtvaart met luchtverontreiniging	7	Verzuringberekeningen mondiale emissies (1990)	55
1.4 Beschrijving van de luchtvaartsector	8	Bijlage 2	
1.5 Groei van de internationale luchtvaart	10	Berekeningen ontwikkelingen van de met Schiphol samenhangende emissies	56
1.6 Nederland in de internationale civiele luchtvaart	12	Bijlage 3	
1.7 Emissies van vliegtuigmotoren	13	Stand van de internationale beleidsdiscussie	58
<b>2. De rol van de luchtvaart in de luchtverontreiniging</b>	<b>14</b>	Figuren: <sup>1</sup>	
2.1 De verticale opbouw van de atmosfeer	15	Figuur 1.1 Ontwikkeling mondiale vliegverkeer in vijf regio's	
2.2 Emissies van de mondiale luchtvaart	15	Figuur 1.2 Schematisch verband tussen de motorstuwkracht en bepaalde emissies	
2.3 Emissies van het vliegverkeer binnen, van en naar Nederland	17	Figuur 1.3 Historische ontwikkeling van het specifiek brandstofverbruik van civiele straalmotoren tijdens kruisvluchtcondities	
2.4 De rol van luchtvaartemissies in de afbraak van de ozonlaag	19	Figuur 1.4 Historische ontwikkeling CO <sub>2</sub> -, VOS- en NO <sub>x</sub> -emissies per kilogram	
2.5 De rol van luchtvaartemissies in het broeikaseffect	21	Figuur 2.1 Schematische weergave van de verticale opbouw van de atmosfeer	
2.6 De rol van luchtvaartemissies in de verzuring	25	Figuur 2.2 Brandstofverbruik door de mondiale luchtvaart	
2.7 De rol van luchtvaartemissies in de lokale luchtkwaliteit	26	Figuur 2.3 Hoogteverdeling brandstofverbruik door de civiele luchtvaart in 1990	
2.8 Toekomstige ontwikkelingen in de emissies van de mondiale en de nationale luchtvaart	27	Figuur 2.4 Definitie van het «Nederlandse luchtruim»	
2.9 Verder onderzoek	30	Figuur 2.5 Bijdrage van NO <sub>x</sub> -emissies door de luchtvaart in de concentraties NO <sub>x</sub> en O <sub>3</sub> in de hogere troposfeer in juli en januari	
2.10 Samenvatting: de probleemstelling	31	Figuur 2.6 De ontwikkeling van het aantal mondiale passagierskilometers in de civiele luchtvaart	
<b>3. Mogelijke maatregelen ter bestrijding van de schadelijke gevolgen van luchtvaartemissies</b>	<b>33</b>	Figuur 3.1 Het verband tussen weerstand en vliegsnelheid van een vliegtuig	
3.1 Inleiding	33		
3.2 Technische maatregelen	33		
3.3 Operationele maatregelen	36		
3.4 Mobiliteitsmaatregelen	39		
3.5 Samenvatting	41		
<b>4. Beleid</b>	<b>42</b>		
4.1 Algemeen	42		
4.2 Civiele luchtvaart	44		

<sup>1</sup> De figuren zijn ter inzage gelegd bij de afdeling Parlementaire Documentatie.

## **0. Samenvatting**

De Nota Luchtverontreiniging en Luchtvaart (LULU), onder meer aangekondigd in het Plan van Aanpak Schiphol en Omgeving (PASO, 1991) en het Nationaal Milieubeleidsplan 2, gaat in op de mondiale en grensoverschrijdende aspecten van de luchtverontreiniging door de luchtvaart. De nota wil vooral een probleem(v)erkennende functie vervullen en op basis daarvan een draagvlak creëren voor het voeren van beleid.

In het kader van de PKB Schiphol en Omgeving en de daarmee samenhangende IMER is reeds onderzoek verricht naar de lokale luchtverontreiniging en stank als gevolg van luchtvaart in het gebied van 10 km rond de luchthaven Schiphol in de periode tot 2015. De nota LULU verschaft geen nieuwe inzichten in het op dit terrein te voeren beleid en gaat voornamelijk in op de mondiale en grensoverschrijdende aspecten van de luchtverontreiniging door de luchtvaart.

Volgens de huidige inzichten zijn de belangrijkste emissieproducten van de luchtvaart CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>. Voor beide producten was het aandeel van deze emissies in de mondiale emissies als gevolg van de verbranding van fossiele brandstoffen in 1990 2 à 3%. Hiervan komt het merendeel voor rekening van de civiele luchtvaart. Het aandeel van de militaire luchtvaart is geringer en dat van de kleine luchtvaart heeft voornamelijk een lokale betekenis.

Het toerekenen van mondiale luchtvaartemissies aan Nederland is zeer problematisch. Men kan daarvoor zeer verschillende methoden hanteren, die onderling sterk afwijkende resultaten geven. Deze resultaten variëren in 1990 van 1 tot 4% van de nationale CO<sub>2</sub>- en NO<sub>x</sub>-emissies.

De internationale civiele luchtvaart wordt al jaren gekenmerkt door een groei die hoger is dan die van de wereldeconomie; ook de meest recente prognoses laten een sterke groei zien (voornamelijk in Azië). De laatste jaren zijn de emissies per passagierskilometer belangrijk gereduceerd. De verdere reductie als gevolg van deze ontwikkeling is echter onvoldoende om de verwachte emissiegroei als gevolg van de toename van het vervoersvolume te compenseren. De vooralsnog beperkte bijdrage die de luchtvaart levert aan de luchtverontreiniging zal daarom in de toekomst bij ongewijzigd beleid toenemen. Op basis van modelberekeningen wordt ingeschat dat de emissies van de mondiale luchtvaart in 2015 bij voortdurende van het huidige beleid ongeveer het drievoudige zullen bedragen van de emissies in 1990 en in het eerstgenoemde jaar een bijdrage hebben in de mondiale emissies als gevolg van de verbranding van fossiele brandstoffen van 3 à 4%.

Over de rol en bijdrage van luchtvaartemissies in de luchtverontreiniging en met name de invloed die deze emissies op het klimaat uitoefenen ontbreekt op dit moment nog de nodige kennis. In de komende jaren zal nader aandacht moeten worden besteed aan wetenschappelijk onderzoek op dit terrein. Bijzondere aandachtspunten voor de komende jaren zijn: het ontwikkelen van betere modellen voor het bestuderen van de emissies en de daarmee samenhangende effecten, en het verzamelen van meer praktijkgegevens opdat de modeluitkomsten kunnen worden gevalideerd.

In de nota wordt een aantal maatregelen ter vermindering van de schadelijke effecten van luchtvaartemissies besproken. Hierbij is uitsluitend naar de milieu-aspecten gekeken. Of deze maatregelen als beleidsvoornemen aan de orde kunnen komen, respectievelijk daadwer-

kelijk getroffen worden, hangt mede af van andere, nog niet onderzochte aspecten, zoals kosteneffectiviteit, veiligheid en economische gevolgen.

De nota onderkent drie soorten maatregelen: technische maatregelen, operationele maatregelen en mobiliteitsmaatregelen.

Met technische maatregelen kunnen nog aanmerkelijke verbeteringen van de emissies per eenheid transportprestatie worden bereikt. Hierbij geldt echter dat veelbelovende technieken vaak nog in het ontwerp-stadium verkeren en dat nog aanzienlijke inspanningen nodig zijn alvorens deze daadwerkelijk kunnen worden toegepast in vliegtuigen en motoren.

Operationele maatregelen als het verlagen van de vlieghoogte en het verlagen van de vliegsnelheid zijn met de huidige vliegtuigen weinig of niet zinvol uit milieu-oogpunt. Bij de huidige vliegtuigontwerpen zijn vliegsnelheid en vliegbereik vanwege de commerciële betekenis van oudsher van groot belang. Vliegtuigen zijn daarom geoptimaliseerd voor de geldende vlieghoogten en vliegsnelheden. Wanneer met deze vliegtuigen lager of langzamer wordt gevolgen nemen de emissies toe. Een vliegtuig dat is geoptimaliseerd voor een lagere vliegsnelheid zal bij een gelijkblijvende afstand per afgelegde passagierskilometer minder emissies uitstoten en zal daarnaast lager kunnen vliegen. Voor deze vlucht zal het echter meer tijd nodig hebben. Of er een plaats zal kunnen zijn voor een dergelijk vliegtuig in de internationale luchtvaartwereld moet nog worden gezien.

Voor het verleggen van vluchtroutes, een andere operationele maatregel, ontbreekt op dit moment de kennis over de milieu-effecten om een afgewogen beslissing over de voor- en nadelen van een dergelijke maatregel te nemen. Operationele maatregelen als het verbeteren van de luchtverkeersbeheersing en -beveiliging en het verhogen van de bezettingsgraad, hebben een gunstig neveneffect op het gemiddelde brandstofverbruik per passagierskilometer. De luchtvaartsector zal uit concurrentie-overwegingen zoeken naar doelmatigheidsverbeteringen. Het is verstandig om bij het zoeken naar maatregelen ter bestrijding van de schadelijke gevolgen van luchtvaartemissies aansluiting te zoeken bij dit streven.

Op basis van een vergelijking van de emissies per passagierskilometer kan worden geconcludeerd dat het vliegtuig op de kortere afstand een minder milieuvriendelijk alternatief is dan de HST en de Intercity. Op de langere afstanden is het vliegtuig overigens in een betere positie dan bij kortere afstanden. Op de kortere afstanden zal een substitutie van de vervoersvraag van vliegtuig naar HST of Intercity een gunstig effect hebben op de ontwikkeling van de emissies van de totale verkeerssector. Mobiliteitsmaatregelen zijn echter alleen zinvol wanneer in de verkeers- en vervoersmarkt reële alternatieven kunnen worden geboden. Voor Europese bestemmingen geldt dat andere transportmodaliteiten voor bepaalde reismotieven en reisbestemmingen een reëel alternatief kunnen vormen voor het vliegtuig. In het algemeen wordt de concurrentiepositie van het vliegtuig gunstiger naarmate de af te leggen afstand groter wordt. Het grootste deel van de bestemmingen buiten Europa kan echter, binnen een reëel tijdsbestek, alleen worden bereikt met het vliegtuig. Andere transportmodaliteiten vormen hier derhalve geen reëel alternatief. Volumereductie is in dit geval alleen mogelijk door af te zien van reizen.

Op grond van het gestelde in de voorafgaande hoofdstukken wordt in hoofdstuk 4 («Beleid») onder meer het volgende geconcludeerd:

– De hoofddoelstelling van het milieubeheer is het in stand houden van het draagvermogen van het milieu ten behoeve van een duurzame ontwikkeling. Op basis van de inzichten in deze nota kan geconstateerd worden, dat de luchtvaart een rol speelt bij de belasting van het mondiale milieu, hetgeen het voeren van een beleid voor deze sector rechtvaardigt. Daar komt nog bij dat Nederland mede-ondertekenaar is van de internationale verzuringsprotocollen en het Klimaatverdrag, welke zich richten op een beperking van antropogene emissies van verzurende stoffen respectievelijk van broeikasgassen. Het Nederlandse beleid is gericht op het in internationaal verband terugdringen van de groei van de luchtvaartemissies, zo mogelijk het stabiliseren van deze emissies, een en ander in overeenstemming met internationale verdragen zoals het Klimaatverdrag.

– Het internationale karakter van de luchtvaartsector biedt nauwelijks ruimte voor een autonoom beleid door individuele landen. Nederland behoort weliswaar tot de relatief belangrijkste luchtvaartlanden van de wereld, maar heeft een beperkte invloed in internationale kaders. Invoering van maatregelen die alleen in Nederland gelden hebben een uiterst beperkt milieurendement, niet alleen vanwege het geringe aandeel van Nederland in de mondiale luchtvaartemissies, maar ook vanwege het mogelijke uitwijkgedrag van luchtvaartmaatschappijen als gevolg van bepaalde maatregelen met alle nadelige consequenties van dien voor economie en werkgelegenheid. Omdat een autonoom Nederlands beleid op dit terrein niet zinvol is vormt een internationale aanpak daarom uitgangspunt van het beleid. Met dit beleid wordt beoogd dat de internationale luchtvaartsector een bijdrage levert aan het realiseren van duurzame ontwikkeling.

– Een internationale aanpak ten behoeve van de beleidsvorming op dit terrein vereist niet alleen geduld en gevoel voor (milieu)diplomatie, maar ook een flexibele en wendbare opstelling bij de keuze van zowel instrumenten als internationale fora. De belangrijke rol van de ICAO voor dit beleidsterrein is evident: de ICAO is het meest geëigende internationale instituut voor de beheersing van de emissies van de mondiale luchtvaart. Maar ook de EU kan een belangrijke rol spelen als het gaat om het realiseren van een mondiale oplossing. Van alle internationale kaders waarin Nederland opereert, heeft de EU de grootste en meest directe wisselwerking met het nationale beleid. Nederland zal daarom zoveel mogelijk de hefboomfunctie stimuleren die de EU op dit terrein in internationaal verband kan vervullen. Deze hefboomfunctie zal met name worden gebruikt voor het in internationaal verband uitdragen van beleid gericht op indirecte belastingen in de civiele luchtvaart.

Op grond van deze conclusies is het beleid in hoofdstuk 4 geformuleerd. Eerst wordt een samenvatting van het beleid in de civiele luchtvaart gegeven, gevolgd door de militaire en de kleine luchtvaart.

Een brede beleidsanalyse (het zogenaamde AERO<sup>1</sup>-project) wordt uitgevoerd waarin het milieurendement van maatregelen wordt afgezet tegen de kosten die de luchtvaartsector en de overige sectoren van de Nederlandse economie hiervoor dienen te maken. In 1997 wordt over de resultaten van dit onderzoek gerapporteerd.

De groei van de luchtvaartemissies en de wijze waarop deze kunnen worden gecompenseerd binnen het totale emissiebeleid wordt verder onderzocht. Daarbij gelden twee uitgangspunten: (1) voor deze compensatie moet de meest kosteneffectieve oplossing worden gevonden en (2) ook voor zo'n compensatie geldt het principe «de vervuiler betaalt». Over de resultaten van dit onderzoek wordt eveneens in 1997 gerapporteerd.

---

<sup>1</sup> AERO = Aviation Emissions and Evaluation of Reduction Options.

Het huidige informele overleg met de sector wordt geformaliseerd tot een regulier doelgroepoverleg waarin afspraken worden gemaakt over het gehele milieubeleid met de Nederlandse sector, inclusief een gezamenlijke strategie voor het optreden van overheid en bedrijfsleven in de internationale overlegkaders.

Met de Nederlandse luchtvaartsector worden harde afspraken gemaakt over de wijze waarop zij bijdraagt aan de realisatie van het emissiebeleid. Deze afspraken hebben onder meer betrekking op:

- de opstelling in internationale kaders,
- de uitvoering van onderzoek naar de effecten van luchtvaartemissies en de mogelijkheden tot reductie ervan,
- het verkrijgen van een eenduidige emissieberekeningsmethode,
- de reductie van de groei van luchtvaartemissies op basis van de vertaling van internationale doelstellingen voor de luchtvaart in concrete taakstellingen.

Nederland zet in op een internationale beheersing van de totale luchtvaartemissies en wenst in dat verband een internationale afspraak tussen de partners van het Klimaatverdrag en de Conventie van Chicago (ICAO). Deze afspraak moet tenminste bevatten:

- de reductie van de groei van luchtvaartemissies op basis van concrete internationale doelstellingen voor de luchtvaart,
- een emissieberekeningsmethodiek en een emissietoerekeningsmethodiek voor internationale luchtvaartemissies.

De huidige inspanningen van Nederland in ICAO-kaders worden geïntensiveerd. Nederland wil hier voor emissie-eisen van vliegtuigen en vliegtuigmotoren de volgende resultaten bereiken:

- een substantiële aanscherping van de bestaande NO<sub>x</sub>-eisen voor vliegtuigmotoren,
- de ontwikkeling van CO<sub>2</sub>-eisen voor vliegtuigen of de ontwikkeling van een andere systematiek die leidt tot een reductie van de groei van de CO<sub>2</sub>-emissies door de luchtvaart.

De Europese samenwerking bij de ondersteuning van R&D-programma's voor schone en zuinige vliegtuigen en vliegtuigmotoren moet worden geïntensiveerd. De Europese Commissie moet een sterkere rol krijgen in het uitvoeren van «competitive» R&D-programma's op dit terrein. Nederland zal hiertoe initiatieven ontwikkelen.

Nederland wil een mondiale heffing op kerosine en levert een maximale inspanning om deze te realiseren. Hiervoor wordt ondermeer het instrument van de actieve (milieu)diplomatie ingezet.

Nederland is voorstander van opheffing van de BTW-vrijstelling voor internationale vluchten, maar realiseert zich dat alleen een internationale aanpak dit kan bewerkstelligen. Nederland zal hiervoor initiatieven ontwikkelen.

Bij het ontwikkelen van nieuwe vliegtuigontwerpen moeten emissies een belangrijkere plaats krijgen. Nederland zal nagaan op welke wijze dit kan worden gestimuleerd en zal hiervoor op nationale en internationale schaal initiatieven ontwikkelen.

Het beleid in de civiele luchtvaart wordt gekenmerkt door een sterke internationale aanpak. Deze aanpak is naar de visie van het Kabinet

wenselijk omdat de grensoverschrijdende en mondiale luchtverontreiniging door de luchtvaart bij uitstek een internationaal probleem is. Een nadeel van een internationale aanpak wordt gevormd door de onzekerheid over de te bereiken resultaten. Het Kabinet neemt zich daarom voor om de voortgang van de internationale beleidsvorming regelmatig te toetsen teneinde na te gaan of een versterking van het beleid op nationaal niveau nodig en wenselijk is.

Daarnaast wordt ook aandacht besteed aan de militaire en de kleine luchtvaart, sectoren waarvan de emissies gering zijn in vergelijking met die van de civiele luchtvaart en die bovendien niet gekenmerkt worden door hoge groeiverwachtingen.

Het uitgangspunt voor het beleid in de militaire luchtvaart is dat de emissies zoveel mogelijk worden gereduceerd, zonder dat dit ten koste gaat van de operationele taakstelling van de krijgsmacht. Het beleid in deze sector bestaat uit de volgende hoofdpunten:

- Maatregelen gericht op de bestrijding van de schadelijke gevolgen van de emissies van de militaire luchtvaart worden opgenomen in de milieu-uitvoeringsprogramma's van de betreffende krijgsmachtdelen.
- Als onderdeel van het integraal defensiemilieubeleid zal een op modelberekeningen gebaseerde monitoringssystematiek voor vliegtuig-emissies worden ontwikkeld. Op basis hiervan worden tevens de streefdoelen voor emissies nader uitgewerkt in de milieuplannen en -uitvoeringsprogramma's van de betreffende krijgsmachtonderdelen.
- De emissieprestaties van militaire vliegtuigen en helikopters worden betrokken bij het maken van keuzes in het defensie-aankoopbeleid.
- In de steeds belangrijker wordende samenwerking met krijgsmachten van andere landen zal de emissieproblematiek van de militaire luchtvaart een zwaarder accent krijgen.

De kleine luchtvaart heeft een gering aandeel in de emissies van de totale luchtvaartsector. De emissies zijn voornamelijk van lokale betekenis. Niettemin zijn ook hier verbeteringen van de emissieprestaties mogelijk. In overleg met vertegenwoordigers van de doelgroep zal een inventarisatie worden opgezet van de technische mogelijkheden die hier bestaan voor emissiereductie. Op basis daarvan worden afspraken gemaakt met de doelgroep.

## **1. Inleiding**

### *1.1 Aanleiding en doel nota*

Luchtverontreiniging ten gevolge van luchtvaart is een verschijnsel dat pas vrij recent, zowel nationaal als internationaal, in de belangstelling is komen te staan vanwege de milieu-effecten dat het teweeg brengt. In ons land kreeg het van kabinetszijde voor het eerst aandacht in de integrale versie Plan van Aanpak Schiphol en Omgeving (PASO, 1991). In deze nota, zo ook in de Nota Klimaatverandering (1991) en het NMP 2 (1993), wordt een Nota Luchtverontreiniging en Luchtvaart aangekondigd, waarin (citaat NMP 2) «een uitwerking zal plaatsvinden van het Nederlandse beleid inzake de door de luchtvaart veroorzaakte luchtverontreiniging». Deze nota, die in goed overleg tot stand kwam tussen de ministeries van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (Directoraat Generaal Milieubeheer), Verkeer en Waterstaat (Rijksluchtvaartdienst) en Defensie (Koninklijke Luchtmacht), ligt nu voor u.

De Nota Luchtverontreiniging en Luchtvaart gaat in op de mondiale en grensoverschrijdende aspecten van de luchtverontreiniging door de luchtvaart en wil vooral een probleem(v)erkennende functie vervullen en op basis daarvan een draagvlak creëren voor het nemen van maatregelen ter bestrijding van de schadelijke effecten van luchtvaartemissies. De nota staat uitvoerig stil bij de wetenschappelijke inzichten over de milieu-effecten van de luchtverontreinigende emissies door de luchtvaart. De nota draagt tevens mogelijke oplossingsrichtingen aan voor het bestrijden van de schadelijke gevolgen van luchtvaartemissies. Bij deze oplossingsrichtingen staan milieu-opbrengsten centraal. De veiligheidsaspecten en de economische gevolgen voor de luchtvaartsector zijn binnen het bestek van deze nota niet onderzocht.

De civiele luchtvaart is bij uitstek een internationale bedrijfstak, gereguleerd door internationale verdragen en bilaterale overeenkomsten. Milieubeleid in deze sector is daarom alleen zinvol als het in overeenstemming met andere landen tot stand komt. Voor zo'n beleid dient daarom nationaal en internationaal voldoende draagvlak te worden gecreëerd. In deze nota worden de hoofdlijnen van zo'n beleid geschetst. Over de voortgang van de verdere beleidsvorming zal regelmatig worden gerapporteerd.

Ter voorbereiding van deze nota is een nationaal onderzoeksprogramma gestart, gericht op het vergaren van kennis over de milieu-effecten van luchtvaartemissies. Uit oogpunt van doelmatigheid is zoveel mogelijk aansluiting gezocht bij de internationale inspanningen op dit terrein. Geleidelijk aan zijn in de afgelopen twee jaren onderzoeksresultaten beschikbaar gekomen, sommige met vertraging, hetgeen het later dan oorspronkelijk voorziene tijdstip van verschijnen van de nota verklaart.

### *1.2 Opzet nota*

Hoofdstuk 1 verschaft enige algemene informatie over de luchtvaartsector en de relatie van deze sector met de diverse vormen van luchtverontreiniging. Hoofdstuk 2 gaat, aan de hand van de in het nationale milieubeleid geformuleerde milieuthema's, in op de bijdrage die luchtvaartemissies leveren aan de milieubelasting en sluit af met een samenvatting die kan worden beschouwd als probleemstelling voor het te voeren beleid. In hoofdstuk 3 komen de in het voorbereidingstraject van deze nota onderkende mogelijkheden tot bestrijding van (de effecten van) luchtvaartemissies aan de orde. In het laatste hoofdstuk van deze nota wordt het beleid geformuleerd.

### *1.3 Algemene relatie luchtvaart met luchtverontreiniging*

Deze nota handelt over luchtverontreiniging als gevolg van luchtvaart en daarmee over de milieu-effecten van de verbranding van vliegtuigbrandstoffen. De huidige vliegtuigbrandstoffen worden door raffinage verkregen uit aardolie en bestaan grotendeels uit koolwaterstoffen.

Bij verbranding van vliegtuigbrandstoffen ontstaan kooldioxyde (CO<sub>2</sub>), water(damp) (H<sub>2</sub>O) en zwaveldioxyde (SO<sub>2</sub>). Deze verbrandingsgassen komen vrij bij volledige verbranding van de brandstof. Hoewel het verbrandingsrendement van straalmotoren over het algemeen zeer hoog is, treedt ook onvolledige verbranding op. Hierdoor komt nog een aantal andere verbrandingsprodukten vrij. De belangrijkste hiervan zijn koolmonoxyde (CO), vluchtige organische stoffen (VOS) en «deeltjes» (dit is de benaming voor een verzamelcategorie van vaste en vloeibare stoffen van uiteenlopende samenstelling). Naast produkten van onvolledige

verbranding ontstaan in de verbrandingskamer als gevolg van de hoge temperatuur stikstofoxyden ( $\text{NO}_x$ ). Naast de eerder genoemde emissieproducten emitteren vliegtuigmotoren ook de broeikasgassen lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) en methaan ( $\text{CH}_4$ ). Omdat het bij de laatste twee om zeer geringe hoeveelheden gaat in vergelijking met kooldioxyde wordt in deze nota aan deze stoffen verder geen aandacht geschonken.

De bovengenoemde emissieproducten hebben gevolgen voor drie milieuthema's zoals deze in het NMP worden onderscheiden, en wel klimaatverandering, verzuring en verstoring. Het thema **klimaatverandering** omvat de afbraak van de stratosferische ozonlaag en het broeikaseffect. Het beleid binnen het thema **verzuring** richt zich op het voorkomen van de aantasting van bos- en natuurgebieden als gevolg van depositie van zwavel en stikstof, alsmede op het voorkomen van de schadelijke effecten van ozon. Bij **verstoring** gaat het om het bereiken en handhaven van een goede woon- en leefmilieukwaliteit op het gebied van geluid, stank, trillingen, externe veiligheid en lokale luchtverontreiniging. Geluid, trillingen en externe veiligheid vallen buiten het bestek van deze nota.

#### *1.4 Beschrijving van de luchtvaartsector*

De meest gebruikelijke indeling van de luchtvaart is een driedeling: de civiele, de kleine en de militaire luchtvaart. De civiele luchtvaart vervoert beroepsmatig passagiers of vracht. De kleine luchtvaart heeft betrekking op recreatie en op sectoren waar kleine vliegtuigen bedrijfsmatig worden ingezet, bijvoorbeeld voor reclamevliegen en insektenbestrijding in de landbouw. De militaire luchtvaart maakt deel uit van de krijgsmacht. De civiele luchtvaart is verreweg de grootste sector van deze drie.

In de civiele luchtvaart worden meestal vliegtuigen met twee of meer motoren gebruikt. In de kleine luchtvaart worden één- of tweemotorige vliegtuigen en helikopters gebruikt. In de militaire luchtvaart wordt een grote verscheidenheid aan vliegtuigen gebruikt. Bijna alle bestaande typen vliegtuigen komen in deze sector voor.

Het civiele vliegverkeer vindt grotendeels plaats op hoogten tussen 8 000 en 12 000 meter. In de kleine luchtvaart worden de vliegtuigen in het algemeen op relatief geringe hoogte, tot ongeveer 1 500 meter, gebruikt. Militair vliegverkeer vindt in principe op alle hoogten plaats.

Veruit de meeste vliegtuigen vliegen momenteel met snelheden geringer dan die van het geluid (subsoon), dat wil zeggen ongeveer 1 200 kilometer per uur. Snelheden daarboven (supersoon) komen voor bij sommige soorten militaire vliegtuigen en het Brits-Franse «Concorde»-vliegtuig. De hoge snelheid van supersone vliegtuigen is alleen mogelijk met een hoog brandstofverbruik. Van dit type zijn er dertien in gebruik in de civiele luchtvaart. Op dit moment worden in internationaal verband uitgebreide studies uitgevoerd naar de mogelijkheden voor het ontwerpen en produceren van een nieuwe generatie supersone vliegtuigen. De supersone vliegtuigen die worden gebruikt in de militaire luchtvaart zijn meestal gevechtsvliegtuigen.

De voortstuwing van vliegtuigen berust op het principe dat een hoeveelheid lucht of gas, die tegen de vliegrichting in wordt versneld, een voorwaarts gerichte reactiekracht op het vliegtuig uitoefent: de voortstuwingskracht. In de hedendaagse vliegtuigen worden gasturbinemotoren en zuigermotoren gebruikt. Gasturbinemotoren kunnen met of zonder propeller of hefschroef worden toegepast. Zuigermotoren functioneren alleen mét een propeller of hefschroef. In deze nota wordt een gasturbine



zonder propeller in het vervolg aangeduid als straalmotor en een gasturbine met propeller als schroefturbinemotor.

In tabel 1.1 is een overzicht gegeven van de verschillende in de civiele en de kleine luchtvaart in gebruik zijnde vliegtuigen, onderscheiden naar de aard van de motor. Helikopters vormen in deze tabel een aparte categorie.

**Tabel 1.1 Aantal ingeschreven vliegtuigen in de civiele en kleine luchtvaart op 31 december 1993 (ICAO, 1994b en CBS, 1994)**

Categorie	Mondiaal	Nederland
Met straalmotor(en)	18 930	142
Met schroefturbine(s)	14 590	120
Met zuigermotor(en)	328 330	608
Helikopters	20 570	42
<b>Totaal</b>	<b>382 420</b>	<b>912</b>

*Enkele veelgebruikte begrippen bij gasturbinemotoren*

De werking van gasturbinemotoren

De in de luchtvaart toegepaste gasturbinemotoren bestaan in principe uit vijf gedeelten: de inlaat, de compressor, de verbrandingskamer, de turbine en de uitlaat. Atmosferische lucht bereikt de door de turbine aangedreven compressor. De compressor comprimeert de lucht en stuwt deze door naar de verbrandingskamer. In de verbrandingskamer wordt brandstof toegevoegd aan de lucht en wordt het ontstane mengsel verbrand. De verbrande lucht drijft de turbine aan. Ná de turbine is in de gasstroom nog een hoeveelheid energie aanwezig. Deze energie wordt aangewend voor de voortstuwing. Bij straalmotoren gebeurt dit via expansie in de uitlaat. Bij schroefturbinemotoren gebeurt dit door een extra turbine die een hefschroef of propeller aandrijft.

Het verbrandingsrendement

In de brandstof is een bepaalde hoeveelheid energie opgeslagen. Het verbrandingsrendement geeft aan welk gedeelte hiervan als warmte vrijkomt bij de verbranding. Het verbrandingsrendement van straalmotoren is over het algemeen zeer hoog omdat het verbrandingsproces goed kan worden geregeld. Deze regeling is mogelijk omdat de verbranding continu is en omdat het van de motor gevraagde vermogen tijdens het grootste gedeelte van de vlucht gelijk blijft. Onvolledige verbranding en verbrandingsrendement zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden: een motor met lage CO- en VOS-emissieniveaus heeft tevens een hoog verbrandingsrendement.

De voortstuwingskracht

De voortstuwing van een straalmotor is een gevolg van de impuls die ontstaat als reactie op de versnelling van de massastroom. Per tijdseenheid wordt een luchtmassa  $m$  versneld van de vliegsnelheid  $V$  tot de uitstroomsnelheid  $w$ . In de verbrandingskamer wordt brandstof toegevoegd aan de luchtmassa. De brandstofmassa is echter vele malen kleiner dan de luchtmassa en wordt meestal verwaarloosd bij het berekenen van de voortstuwingskracht. De voortstuwingskracht,  $T$ , kan daarom worden berekend met de volgende formule:

$$T = m * (w - V)$$

Het brandstofrendement

Het totale rendement, ook wel brandstofrendement genoemd, geeft aan hoeveel

voortstuwingskracht wordt verkregen met een kilogram brandstof. Meestal wordt het brandstofrendement uitgedrukt met het specifieke brandstofverbruik («Specific Fuel Consumption») in kilogram brandstof per kilonewton stuwdruk. Het totale rendement moet niet worden verward met verbrandingsrendement. Het totale rendement is een maat voor de prestatie van de totale motor, het verbrandingsrendement is een maat voor de prestatie van de verbrandingskamer.

### 1.5 Groei van de internationale luchtvaart

Het civiele vliegverkeer is de afgelopen jaren sterk toegenomen. In de periode 1960–1990 is het mondiale verkeer volgens de organisatie van de Verenigde Naties voor de internationale burgerluchtvaart, de International Civil Aviation Organization (ICAO), jaarlijks met gemiddeld 9,9% toegenomen, uitgedrukt in het aantal in lijndiensten gemaakte tonkilometers (ICAO, 1992). Een tonkilometer komt overeen met de verplaatsing van 1 000 kilogram lading over 1 kilometer; voor het gewicht van een passagier met diens bagage wordt 90 kilogram gerekend. Een andere maat voor de groei van de civiele luchtvaart wordt gevormd door de totale mondiale omzet van lijndienstmaatschappijen. In tien jaar tijd is deze meer dan verdubbeld: van 105 miljard dollar in 1984 tot 227 miljard dollar in 1993 (ICAO, 1994a).

In de periode 1960–1990 is de wereldeconomie gemiddeld met 3,8% per jaar gegroeid (ICAO, 1992). De ontwikkeling van het internationale vliegverkeer in dezelfde periode toont een sterkere stijging dan de ontwikkeling van de wereldeconomie. De civiele luchtvaart kan daarom worden aangemerkt als een internationale groeisector, waarvan de groei die van de wereldeconomie overtreft.

Volgens de prognoses van de ICAO zal de tot dusver forse groei van de civiele luchtvaart nog vele jaren voortduren. In 1992 zijn wereldwijd ongeveer 2 000 miljard passagierskilometers en ongeveer 250 miljard kilogramvrachtkilometers in geregelde lijndiensten gemaakt. In termen van passagierskilometers zal het totale civiele vliegverkeer naar verwachting groeien met gemiddeld 6% per jaar tot 2000 en met gemiddeld 5% in de periode 2000–2010. Omdat de gemiddelde vliegafstand waarschijnlijk groter wordt is de groei van het aantal passagiers iets lager dan die van het aantal passagierskilometers: tot 2000 gemiddeld 5% per jaar en in 2000–2010 gemiddeld 4% per jaar. Omdat vliegtuigen gemiddeld groter worden wordt de toename van het aantal vliegbewegingen tot 2000 geschat op 2% per jaar (ICAO, 1992).

#### *International Civil Aviation Organization (ICAO)*

*De civiele luchtvaart is internationaal georganiseerd in de ICAO, die in 1944 werd opgericht bij de Conventie van Chicago en die in 1947 als één van de «specialized agencies» deel ging uitmaken van de organisatie van de Verenigde Naties. Het hoofdkantoor van de ICAO is gevestigd in Montreal.*

*De Conventie van Chicago had tot doel multilaterale afspraken te maken op het gebied van de economische ordening van het internationale civiele luchtverkeer. Dat is niet gelukt, d.w.z. er is geen allesomvattende systematiek afgesproken. Wel zijn er algemene basisprincipes afgesproken, waarop bilaterale akkoorden gestoeld dienen te zijn. Alle sindsdien afgesloten bilaterale luchtvaartverdragen zijn op de Conventie van Chicago gebaseerd en verwijzen daarnaar. Nederland is een van de 183 ondertekenaars van de*

*Conventie van Chicago en verdragspartner in vele tientallen bilaterale luchtvaart-overeenkomsten.*

*In de loop van haar bestaan is de ICAO ook aandacht gaan schenken aan de milieu-aspecten van de luchtvaart, eerst aan geluid, later ook aan luchtverontreiniging (zie ook bijlage 3).*

*In 1981 werden voor het eerst emissienormen geformuleerd en door de algemene vergadering van de ICAO geaccepteerd. Bijlage 16 van het Verdrag van Chicago bevat twee delen, een met normen voor geluidshinder en een met «specifications for aircraft engine emissions».*

*De 29e algemene ICAO-vergadering (oktober 1992) schonk ruim aandacht aan de milieu-problematiek ten gevolge van de luchtvaart; de urgentie van onderzoek en het ontwikkelen van verder beleid terzake werden onderkend. Een Nederlands voorstel voor de instelling van een kerosineheffing werd met overgrote meerderheid afgestemd; wel wordt nu binnen de ICAO onderzocht of het opleggen van heffingen (zoals een kerosine-heffing) een effectieve bijdrage kan leveren aan de beperking van luchtverontreiniging.*

Door Boeing, 's werelds grootste vliegtuigfabrikant, is een model opgesteld van de ontwikkeling van de internationale civiele luchtvaart. Boeing onderscheidt vijf fasen in de ontwikkeling van het mondiale vliegverkeer. In figuur 1.1 zijn deze fasen schematisch weergegeven. In deze figuur is tevens aangegeven in welke fase vijf mondiale regio's zich bevinden en welke ontwikkeling het vliegverkeer naar verwachting in deze regio's in de komende jaren tegen de achtergrond van de economische groei nog zal doormaken.

Op korte termijn kunnen de groei-ontwikkelingen als gevolg van diverse factoren afwijken van het gemiddelde lange-termijnbeeld dat zojuist is geschetst. In het begin van de jaren negentig was er sprake van een recessie in de internationale luchtvaart. Inmiddels is er weer sprake van een opleving.

In 1993 was iets meer dan 10% van de totale omzet van lijndienstmaatschappijen afkomstig van luchtvracht (ICAO, 1994). In het algemeen gelden voor het internationale luchtvrachtverkeer met het passagiersverkeer vergelijkbare ontwikkelingen.

De groei-prognoses vragen om een nadere toelichting op de niet-geregelde vluchten, de zogenaamde charters. In 1993 bedroeg de omzet van niet-geregelde vluchten ongeveer 16 miljard U.S. dollars. Dit komt overeen met ongeveer 7% van de totale inkomsten van geregelde luchtvaartmaatschappijen in dat jaar (ICAO, 1994). Chartervluchten worden in het algemeen alleen bij een bepaalde vervoersvraag uitgevoerd, bijvoorbeeld vakantievluchten. Het onderscheid tussen geregelde lijndienstvluchten en niet-geregelde chartervluchten is op internationaal niveau niet altijd duidelijk en lijkt de afgelopen jaren te vervagen. Betrouwbare groei-prognoses op internationale schaal zijn daarom niet beschikbaar.

De verkeersomvang van de kleine luchtvaart is op mondiale schaal de afgelopen jaren niet of nauwelijks toegenomen. Vanwege de wijzigingen die hebben plaatsgevonden in de Oost/West-verhoudingen is er in het militaire luchtverkeer sinds de tweede helft van de jaren tachtig sprake geweest van een dalende tendens. Tijdens de Golfcrisis in het begin van de jaren negentig stakte deze tendens tijdelijk.

## 1.6 Nederland in de internationale civiele luchtvaart

Nederland heeft burgerluchthavens en militaire luchthavens. Een aantal luchthavens heeft beide functies. Meestal wordt de volgende indeling van burgerluchthavens gehanteerd:

- nationale luchthaven Schiphol, ook wel aangeduid met de N.V. Luchthaven Schiphol (NVLS)
- regionale luchthavens: Rotterdam, Maastricht, Eindhoven, Eelde en Twente. Eindhoven, Twente en het Marinevliegveld De Kooy zijn militaire luchthavens die tevens door de civiele luchtvaart worden gebruikt
- kleine luchtvaartterreinen. Nederland heeft elf kleine luchtvaartterreinen.

Schiphol is verreweg de belangrijkste luchthaven van Nederland. In 1993 zijn ongeveer 21 miljoen passagiers aangekomen op en vertrokken van Schiphol (bron: CBS). Voor Rotterdam, Maastricht en Eindhoven waren dit er respectievelijk 300 000, 190 000 en 167 000. In 1993 werd in totaal 774 000 ton vracht vervoerd via Schiphol. Schiphol bekleedde in 1992 de zevende plaats op de internationale ranglijst van luchthavens voor wat betreft internationaal vliegverkeer (ICAO, 1994) en nam ongeveer 1% van alle internationale passagiers voor haar rekening.

In het aantal passagiersbewegingen op Schiphol neemt het niet-zakelijk verkeer (toerisme en overig niet-zakelijk personenverkeer) ongeveer 60% voor zijn rekening en het zakelijk verkeer circa 40%. Dit komt overeen met het mondiale gemiddelde. De verwachting is dat niet-zakelijk verkeer een steeds groter deel zal gaan uitmaken van het luchtverkeer, ook in Nederland.

In oktober 1994 waren door de Nederlandse overheid vergunningen verleend aan 29 luchtvaartmaatschappijen; daarvan onderhouden er tien lijndiensten. De Koninklijke Luchtvaartmaatschappij (KLM) is de grootste Nederlandse luchtvaartmaatschappij, op afstand gevolgd door Martinair, Transavia en Air Holland. De KLM vervoerde in 1993 ongeveer 10 miljoen passagiers en 434 000 ton vracht (bron: CBS).

De Nederlandse luchtvaartmaatschappijen gezamenlijk kwamen in 1993 internationaal op de tiende plaats voor wat betreft het aantal gevlogen tonkilometers (vracht en passagiers). Het aandeel bedroeg in dat jaar ongeveer 2,3% (6 miljard op een totaal van 250 miljard tonkilometers). In Nederland is verhoudingsgewijs nauwelijks sprake van binnenlands vliegverkeer. Van de ongeveer 33 miljard in 1992 door Nederlandse luchtvaartmaatschappijen gemaakte passagierskilometers tijdens lijndiensten had slechts 65 miljoen kilometer betrekking op binnenlandse vluchten; een aandeel van 0,2%.

Fokker bepaalt het gezicht van de Nederlandse vliegtuigindustrie. Nederland beschikt niet over een vliegtuigmotorindustrie. Deze markt is in handen van voornamelijk de Verenigde Staten, Engeland en Frankrijk, op enige afstand gevolgd door Japan en Duitsland. In Nederland is wel een aantal (kleinere) bedrijven actief op het gebied van productie van motorcomponenten en onderhoud en reparatie.

In het kader van het voor de Planologische Kernbeslissing (PKB) Schiphol en Omgeving uitgevoerde onderzoek Inventarisatie Economische Effecten (IEE) zijn schattingen gemaakt van het economische belang van de luchtvaart voor Nederland. De schattingen van de directe en indirecte economische effecten kunnen worden afgezet tegen de totale nationale werkgelegenheid en het Bruto Nationaal Produkt (BNP). Uit

tabel 1.2 kan worden opgemaakt dat in 1990 de bijdrage van de aan Schiphol gerelateerde werkgelegenheid in de nationale werkgelegenheid 1,4% bedroeg en de bijdrage in het BNP 1,9%.

**Tabel 1.2 De bijdrage van Schiphol aan de nationale economie in 1990 (IEE, 1993 en CPB)**

	Werkgelegenheid(duizend mens- jaren)	Toegevoegde waarde (miljard gulden)
Directe en indirecte effecten Schiphol	71,3	8,6
Nederland totaal	4 966,0	452,5
Bijdrage Schiphol	1,4%	1,9%

Ook in Nederland zal sprake zijn van een forse groei van de civiele luchtvaart. Het kabinet geeft in deel 3 van de PKB Schiphol en Omgeving aan dat ruimte wordt geboden voor de ontwikkeling van Schiphol tot een kleine mainport van circa 40 miljoen vliegtuigpassagiers, met daar bovenop tenminste 5 miljoen passagiers per Hoge Snelheidslijn (HSL).

### 1.7 Emissies van vliegtuigmotoren

De emissieproducten van een straalmotor zijn reeds genoemd in paragraaf 1.3. Als emissieproducten van volledige verbranding worden CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O en SO<sub>2</sub> aangemerkt. Deze emissies zijn het natuurlijke gevolg van de verbranding van organische, uit koolwaterstoffen bestaande zwavelhoudende brandstoffen. Bij de volledige verbranding van 1 kilogram JET-A1 vliegtuigbrandstof komen ongeveer 3,16 kg CO<sub>2</sub> (VROM, 1994), 1,25 kg H<sub>2</sub>O en 1 gram SO<sub>2</sub> vrij (beide NLR, 1993). Deze cijfers zijn gemiddelden.

Koolmonoxyde en vluchtige organische stoffen zijn het resultaat van onvolledige verbranding. Onvolledige verbranding is een gevolg van een lage temperatuur en druk in de verbrandingskamer en van een slechte menging van brandstof en lucht. De verbrandingskamers van vliegtuigmotoren worden ontworpen voor grote efficiëntie bij de tijdens de start, de klim en de kruisvlucht nodige grote stuwkracht. Tijdens deze vlucht-fasen wordt een bijna volledige verbranding gerealiseerd. CO- en VOS-emissies komen bij deze vermogens dan ook in slechts geringe mate voor. Gedurende de nadering van het vliegveld en bij het taxiën is het van de vliegtuigmotoren gevraagde vermogen veel lager. Bij lagere vermogens zijn de temperatuur en de druk in de verbrandingskamer relatief laag en is een goede menging moeilijker. Hierdoor zijn de emissies van CO en VOS in deze fasen van de vlucht meestal relatief hoog.

NO<sub>x</sub> ontstaat in de verbrandingskamer als gevolg van de bij hoge temperaturen optredende reactie van de in lucht aanwezige stikstof (N<sub>2</sub>) en zuurstof (O<sub>2</sub>). De temperatuur in de verbrandingskamer stijgt naarmate het gevraagde vermogen van de motor toeneemt en derhalve nemen dan ook de NO<sub>x</sub>-emissies toe. Bij de huidige motorontwerpen is deze toename in het algemeen juist tegengesteld aan de ontwikkeling van de emissies van CO en VOS. In figuur 1.2 is het verband tussen de motorstuwkracht en de emissies van CO, VOS en NO<sub>x</sub> gegeven. Het betreft hier een algemeen beeld waarvan individuele motoren kunnen afwijken.

De ICAO definieert sinds de jaren tachtig emissienormen voor nieuwe subsone straalmotoren met een maximale stuwkracht groter dan 26,7 kiloNewton. Deze motoren worden gebruikt in vliegtuigen met een capaciteit van meer dan 50 passagiers. De normen hebben betrekking op

CO, VOS, NO<sub>x</sub> en rookdeeltjes en zijn opgenomen in een bijlage van het Verdrag van Chicago (Annex 16, volume 2: Aircraft Engine Emissions). De normen zijn bedoeld voor het terugdringen van de emissies in de omgeving van luchthavens en zijn gebaseerd op een genormaliseerde start- en landingscyclus (Landing and Take-Off cycle: LTO-cyclus). Bij de genormaliseerde cyclus wordt gebruik gemaakt van een vliegptraan beneden 3000 voet (ongeveer 900 meter). In tabel 1.3 zijn de vluchtfasen, de stuwdrkniveaus en de tijdsduren van de LTO-cyclus vermeld. De emissies van nieuwe motoren moeten op basis hiervan worden gemeten op een motorproefstand.

**Tabel 1.3 Vluchtfasen, stuwkracht en tijdsduur van de gestandaardiseerde LTO-cyclus (ICAO)**

Vluchtfase	Stuwkracht t.o.v. maximum	Tijdsduur (minuten)
Start	100%	0,7
Klim	85%	2,2
Nadering	30%	4,0
Taxiën	7%	26,0

Voor het zwavelgehalte in vliegtuigbrandstof bestaan internationale eisen. Op dit moment geldt een maximum zwavelgehalte van 0,3%. In de praktijk is het zwavelgehalte lager (ongeveer 0,01%). Het zwavelgehalte in de brandstof heeft een directe invloed op de SO<sub>2</sub>-emissies door vliegtuigen. Voor andere emissieproducten, zoals CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O, bestaan er op dit moment geen emissiestandaards. Ook zijn er geen emissiestandaards van kracht in de kleine en de militaire luchtvaart.

In de loop der jaren is het rendement van straalmotoren voortdurend verbeterd. Hierdoor is het specifiek brandstofverbruik (de hoeveelheid brandstof die nodig is voor het opwekken van één kiloNewton stuwdruk) steeds lager geworden. Deze ontwikkeling is weergegeven in figuur 1.3.

In lijn met de verbetering van het specifiek brandstofverbruik en de door de ICAO opgestelde emissienormen zijn de emissies van CO en VOS per kilogram brandstof in het algemeen verminderd. De emissies van NO<sub>x</sub> zijn daarentegen toegenomen per kilogram brandstof. Deze ontwikkeling is veroorzaakt door, als gevolg van het stijgende brandstofrendement, steeds hoger wordende temperaturen in de verbrandingskamers van vliegtuigmotoren. In figuur 1.4 is een overzicht gegeven van het historisch verloop van de ontwikkeling van de emissies per kilogram brandstof van CO, VOS en NO<sub>x</sub> voor een aantal vliegtuigstraalmotoren.

In ICAO-verband wordt geprobeerd de negatieve ontwikkeling van de NO<sub>x</sub>-emissies tegen te gaan met behulp van verdere aanscherping van emissienormen. In dit kader is in 1992 besloten tot een aanscherping met 20% van de sinds 1986 geldende eis voor nieuwe straalmotoren.<sup>1</sup> Deze aangescherpte eis gaat per 31 december 1995 in voor motoren die voor het eerst in productie komen. Voor de motoren die reeds in productie zijn gaat deze eis in per 31 december 1999. Op dit moment wordt de mogelijkheid van een verdere aanscherping met ingang van 2000 of 2005 bestudeerd.

## 2. De rol van de luchtvaart in de luchtverontreiniging

Nog zeer recent bestond onvoldoende wetenschappelijk inzicht in de rol van luchtvaartemissies in het milieu. Dit gebrekkige inzicht had voornamelijk betrekking op het thema klimaatverandering en de mogelijke rol die NO<sub>x</sub>-emissies van vliegtuigen in de hogere luchtlagen speelden. Dit

<sup>1</sup> In de praktijk is bij moderne vliegtuigen zelden of nooit de volledige stuwkracht bij de start nodig.

onderwerp heeft in de afgelopen jaren een brede belangstelling genoten van de internationale wetenschap. In 1994 en begin 1995 zijn nieuwe onderzoeksresultaten over dit onderwerp beschikbaar gekomen.

Om de voor deze nota wenselijke internationale inzichten te vergaren, en waar nodig aan te vullen door nader onderzoek, is een nationaal onderzoekstraject opgezet. Hierbij is zoveel mogelijk aansluiting gezocht bij de internationale inspanningen op dit terrein, waaronder het in opdracht van de Europese Unie uitgevoerde AERONOX-onderzoek: «The impact of NO<sub>x</sub> Emissions from Aircraft upon the Atmosphere at Flight Altitudes 8–15 km». Op nationaal niveau hebben het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI), het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR) en het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM) belangrijke bijdragen geleverd aan het vergaren van de wetenschappelijke inzichten.

Dit hoofdstuk gaat eerst in op de samenstelling van de atmosfeer. Vervolgens komen de emissies van de mondiale en nationale luchtvaart aan de orde. Op basis hiervan is onderzoek verricht naar de milieueffecten. De inzichten in deze effecten worden aan de hand van de in hoofdstuk 1 onderscheiden milieuthema's achtereenvolgens in de paragrafen 2.4 t/m 2.7 beschreven. In paragraaf 2.8 wordt aangegeven welke ontwikkeling de mondiale en nationale luchtvaartemissies naar verwachting zullen doormaken in de komende jaren. Paragraaf 2.9 geeft een samenvatting van de nog ontbrekende kennis in de rol en bijdrage van luchtvaartemissies die nader onderzoek zal moeten opleveren. Paragraaf 2.10 vat een en ander samen en is daarmee basis voor het te voeren beleid.

### *2.1 De verticale opbouw van de atmosfeer*

De atmosfeer, de dampkring die de aarde omringt, kan op grond van het verloop van de temperatuur in verschillende lagen worden verdeeld. In figuur 2.1 is de verticale opbouw van de atmosfeer schematisch weergegeven. Het laagste deel van de atmosfeer is de troposfeer. Hier daalt de temperatuur naarmate de hoogte toeneemt. De troposfeer is turbulent. De hierin aanwezige stoffen worden dan ook binnen ongeveer een week verticaal door de troposfeer gemengd.

Boven de troposfeer bevindt zich de stratosfeer waar de temperatuur eerst gelijk blijft en daarna toeneemt naarmate ook de hoogte toeneemt; daardoor is de stratosfeer veel stabielere dan de troposfeer. Hier vindt weinig verticaal transport plaats.

Het grensvlak tussen de troposfeer en de stratosfeer heet tropopause. De exacte situering van de tropopause hangt af van de geografische breedte en het seizoen en wordt ook beïnvloed door weersystemen; zij fluctueert bijna dagelijks. Bij de polen ligt de tropopause gemiddeld op een hoogte van ongeveer 7 km en bij de evenaar gemiddeld op ongeveer 18 km.

Boven de stratosfeer vinden we nog de mesosfeer (tussen 50 en 85 km hoogte) en de thermosfeer (boven 85 km). Deze lagen zijn niet relevant voor het onderwerp van deze nota en komen verder niet aan de orde.

### *2.2 Emissies van de mondiale luchtvaart*

Vliegtuigen vliegen zowel in de troposfeer als in de stratosfeer. Door de verschillende kenmerken van deze atmosferische lagen hebben de door vliegtuigen hierin uitgestoten emissieproducten dan ook uiteenlopende

effecten. Dit zal later nog nadrukkelijk aan de orde komen. Om een goed inzicht te kunnen krijgen in de effecten van luchtvaartemissies moet worden vastgesteld waar deze plaatsvinden. Meerdere nationale en internationale instituten hebben sinds het begin van de jaren negentig aan dit vraagstuk gewerkt. Hierbij zijn modelberekeningen onmisbaar gebleken.

Het vaststellen van de emissies van de mondiale luchtvaartsector is geen sinecure. Een belangrijke reden hiervoor is dat op dit moment betrouwbare informatiebronnen ontbreken die alle gewenste informatie geven. Energiestatistieken van het International Energy Agency (IEA) worden in het algemeen redelijk betrouwbaar geacht en geven inzicht in de mondiale brandstofafzetten aan de luchtvaart. Een beperkende factor bij het gebruik van deze informatiebron is dat hiermee de emissies van CO, VOS, NO<sub>x</sub> en deeltjes minder nauwkeurig kunnen worden berekend omdat deze afhankelijk zijn van het ontwerp van de motor en de vluchtcondities. Ook houden deze statistieken geen rekening met de plaats waar de emissies plaatsvinden.

Volgens internationale energiestatistieken (IEA, 1993) werd in 1990 ongeveer 172 miljoen ton brandstof afgezet aan de mondiale luchtvaart. In dit getal is de verkochte hoeveelheid brandstof aan de totale luchtvaartsector inbegrepen. Uitgaande van 3,16 kg CO<sub>2</sub> per kg vliegtuigbrandstof komt dit neer op een totale CO<sub>2</sub>-emissie van ongeveer 545 miljoen ton. In tabel 2.1 is een overzicht getoond van de wereldwijde afzet van vliegtuigbrandstoffen in diverse regio's. Hieruit kan onder meer worden afgeleid dat de OESO-landen verreweg het grootste aandeel hebben in de mondiale brandstofafzet.

**Tabel 2.1 Mondiale afzet vliegtuigbrandstoffen in 1990 (IEA, 1993)**

Regio	Mton brandstof 1990	% van totaal (172,2 Mton)	verbruik 1990 in % t.o.v. verbruik in 1973
OESO-landen	115,6	67,1	151
w.v. N-Amerika	76,1	44,2	145
Pacific	10,1	5,9	191
Europa	29,4	17,1	159
w.v. EU	25,7	14,9	156
Nederland	1,6	0,9	182
Rest Europa + ex-Sovjet-Unie	22,9	13,3	96
Latijns Amerika	7,1	4,1	179
Afrika	4,5	2,6	177
Midden-Oosten	8,1	4,7	268
Azië en China	14,0	8,1	188
Totaal	172,2	100,0	147

In het kader van deze nota heeft het RIVM modelberekeningen uitgevoerd die inzicht geven in de omvang en de plaats van de emissies van de mondiale luchtvaart in 1990. Bij deze berekeningen is gebruik gemaakt van gegevens uit een bestand van de Warren Spring Laboratories (WSL) dat beschikbaar is sinds medio 1992 en waarin informatie over de mondiale luchtvaartactiviteiten in 1990 is opgenomen. Dit bestand veronderstelt een mondiaal brandstofverbruik van ongeveer 158 miljoen ton. Voor de bijdrage van de overige emissies is gebruik gemaakt van de Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR). Het NLR heeft gezorgd voor schattingen over de emissiefactoren van de gemodelleerde vliegtuigen en straalmotoren. Het resultaat van al deze bewerkingen zijn driedimensionale gegevens (hoogte, lengtegraad en breedtegraad) over brandstofverbruiken en emissies door de luchtvaart in de



atmosfeer. In figuur 2.2 wordt een schematische weergave gegeven van het brandstofverbruik door de mondiale luchtvaart.

In 1990 werd ongeveer 94% van de mondiale luchtvaartemissies uitgestoten op het noordelijk halfrond. In figuur 2.3 is een verdeling gegeven van het brandstofverbruik op het noordelijk halfrond naar vlieghoogte. Hieruit blijkt dat het grootste gedeelte van de emissies plaatsvindt op een hoogte tussen 9 en 13 km. Het Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR) schat dat jaarlijks gemiddeld ongeveer 44% van alle brandstof boven de tropopause wordt verbrand (Schumann en Wurzel, 1994).

In tabel 2.2 wordt een samenvatting van de rekenresultaten gegeven voor de totale luchtvaartemissies in 1990. Hierbij is tevens aangegeven hoe deze emissies zich verhouden tot de emissies als gevolg van de mondiale verbranding van fossiele brandstoffen (kolen, olie en gas) volgens het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 1992).

**Tabel 2.2 Luchtvaartemissies, absoluut en als aandeel in de totale emissies als gevolg van de mondiale verbranding van fossiele brandstoffen (kolen, olie en gas) in 1990 (RIVM, 1995b)**

	CO <sub>2</sub> (M ton)	NO <sub>x</sub> (kton)	VOS (kton)	CO (kton)	SO <sub>2</sub> (kton)
Luchtvaart	498	1 786	406	679	156
Mondiaal totaal	22 000	82 000	27 000	477 000	130 000
Procentueel aandeel luchtvaart	2,3	2,2	1,5	0,1	0,1

De modelberekeningen van het RIVM van de mondiale luchtvaartemissies worden bevestigd door andere internationale modelberekeningen op dit terrein. Afwijkingen in de rekenresultaten zijn echter onvermijdelijk omdat van uiteenlopende aannames is uitgegaan. Voor CO<sub>2</sub> en SO<sub>2</sub> zijn de afwijkingen in de berekeningen van luchtvaartemissies ongeveer 10% of minder. Daarom kunnen de rekenresultaten voor deze emissieproducten als redelijk betrouwbaar worden aangemerkt. De rekenresultaten voor de andere emissieproducten, zoals NO<sub>x</sub>, hebben in het algemeen een lagere betrouwbaarheid omdat deze emissies in hoge mate afhankelijk zijn van het motorontwerp en hierover dus meer aannames moeten worden gedaan. Voor een beter inzicht in deze emissies moet de betrouwbaarheid van de berekeningen eerst toenemen. De onzekerheidsmarge van de in tabel 2.2 getoonde rekenresultaten van de mondiale emissies als gevolg van de verbranding van fossiele brandstoffen bedraagt ongeveer 30%.

### 2.3 Emissies van het vliegverkeer binnen, van en naar Nederland

Een berekenings- en monitoringssystematiek die een eenduidig en betrouwbaar beeld geeft van de luchtverontreinigende emissies van het vliegverkeer binnen, van en naar Nederland moet nog worden ontwikkeld.

Voor de toedeling van luchtvaartemissies naar landen zijn in principe tal van manieren voorhanden. Elk is gebaseerd op zijn eigen argumentatie, maar ze hebben onderling sterk afwijkende uitkomsten. Voorbeelden hiervan zijn:

- toerekening van de emissies naar rato van de hoeveelheid brandstof die in elk land is ingenomen,
- toerekening aan Nederland van de helft van de emissies van alle vliegtuigen die uit Nederland vertrekken of in Nederland aankomen en die

gedurende de gehele reis naar de eerstvolgende luchthaven of vanaf de laatste plaats van vertrek zijn uitgestoten,

- toerekening van de emissies die boven het Nederlandse grondgebied worden uitgestoten,
- toerekening van de emissies naar rato van het aantal Nederlandse passagiers,
- toerekening van de emissies naar rato van het aantal door Nederlandse vliegtuigen afgelegde kilometers,
- etcetera.

Bovenstaande illustreert de noodzaak tot goede internationale en nationale afspraken over emissieberekennings- en emissietoerekeningsmethoden. In deze nota zijn alleen de drie eerstgenoemde methoden nader uitgewerkt. Ter afsluiting van deze paragraaf worden de in het NMP 2 opgenomen luchtvaartemissies genoemd.

Bij de in het kader van het Klimaatverdrag uitgevoerde berekeningen van door de luchtvaart veroorzaakte CO<sub>2</sub>-emissies vormt de afzet van vliegtuigbrandstoffen in een land de grondslag voor de emissieberekenningen. Daarbij wordt een onderscheid gemaakt tussen de emissies van vliegtuigbrandstoffen die worden afgezet ten behoeve van het grensoverschrijdende verkeer, de zogenaamde bunkers, en die welke worden afgezet ten behoeve van het binnenlands verkeer. In 1990 werden in Nederland bijna 1,6 miljoen ton vliegtuigbrandstoffen afgezet. 90% hiervan was bestemd voor grensoverschrijdend verkeer, 10% voor binnenlandse vluchten. Omgerekend komen deze afzetten overeen met respectievelijk ca. 5, 4,5 en 0,5 miljoen ton CO<sub>2</sub>-emissies.

TNO heeft voor de Integrale Milieu-Effect Rapportage ten behoeve van de PKB Schiphol en Omgeving de emissies van de aan de luchthaven Schiphol gerelateerde vliegbewegingen in 1990 berekend. Omdat Schiphol verreweg het grootste aandeel heeft in de met Nederland samenhangende vliegbewegingen van de civiele luchtvaart kunnen de rekenresultaten worden gebruikt voor de beeldvorming over de emissies van dit deel van de luchtvaart. Bij de berekeningen heeft TNO de aantallen vervoerde passagiers en tonnen vracht in beschouwing genomen, alsmede de herkomst en bestemming van de betreffende vluchten. Op basis van een vereenvoudigd model en diverse aannames zijn de emissies per vlucht berekend en is steeds de helft daarvan voor alle aankomende en vertrekkende vluchten in 1990 aan Nederland toegerekend. Hierbij wordt de vlucht van de KLM op het traject Amsterdam-Singapore, maar ook de vlucht van Cathay Pacific van Hong Kong naar Amsterdam voor de helft aan Nederland toegerekend. Het resultaat van deze berekening is getoond in tabel 2.3. Hierbij is tevens aangegeven hoe deze emissies zich verhouden tot de nationale emissies in 1990 volgens het Nationaal Milieubeleidsplan 2 (NMP 2).

**Tabel 2.3 Emissies van de aan Nederland gerelateerde vliegbewegingen van de civiele luchtvaart in 1990 in verhouding tot de nationale emissies in 1990 (TNO, 1993 en NMP 2, 1993)**

	CO <sub>2</sub> (Mton)	NO <sub>x</sub> (kton)	VOS (kton)	CO (kton)	SO <sub>2</sub> (kton)
Emissies toegerekend aan Nederland	6,7	21,8	1,4	4,1	2,1
Nationale emissies	184,0	575,0	459,0	1 030,0	207,0
Verhouding t.o.v. nationale emissies (%)	3,6	3,8	0,3	0,4	1,0

Het NLR heeft ten behoeve van het opstellen van deze nota uitgerekend hoeveel emissies er in 1992 hebben plaatsgevonden in het Nederlandse luchtruim en op deze wijze eveneens aan Nederland gerelateerd zouden kunnen worden. De rekenresultaten zijn vermeld in tabel 2.4 en geven een beeld van de emissies van de civiele, de kleine en de militaire luchtvaart. In de getoonde cijfers zijn tevens de emissies van overvliegers opgenomen. De bij de berekeningen gebruikte definitie van het begrip «Nederlandse luchtruim» is gegeven in figuur 2.4.

**Tabel 2.4 Luchtvaartemissies in 1992 in het Nederlandse luchtruim (NLR, 1994a en 1994b)**

	CO <sub>2</sub> (Mton)	NO <sub>x</sub> (kton)	VOS (kton)	CO (kton)	SO <sub>2</sub> (kton)
Kleine luchtvaart	0,03	0,06	0,12	5,20	0,002
Militaire luchtvaart	0,29	1,50	0,33	10,00	0,020
Civiele luchtvaart	1,64	6,57	0,99	3,37	0,104

In de nationale emissies volgens het NMP 2 zijn ook luchtvaartemissies opgenomen; bij CO<sub>2</sub> de geschatte emissies van de civiele binnenlandse luchtvaart; bij NO<sub>x</sub>, VOS, CO en SO<sub>2</sub> schattingen van de bij de LTO-cyclus en de militaire luchtvaart vrijkomende emissies. Deze emissies zijn getoond in tabel 2.5.

**Tabel 2.5 In de nationale emissies opgenomen emissies van de luchtvaart (NMP 2, 1993 en RIVM/AVV, 1993)**

	CO <sub>2</sub> (Mton)	NO <sub>x</sub> (kton)	VOS (kton)	CO (kton)	SO <sub>2</sub> (kton)
Emissies	0,493	2,4	1,3	3,4	0,2

Gemeten aan het brandstofverbruik is de civiele luchtvaart voor de emissies het belangrijkste. De bijdrage van de kleine en de militaire luchtvaart in de luchtvaartemissies is in Nederland voor CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOS en SO<sub>2</sub> minder dan 10%. Het is opvallend dat de CO-emissies van zowel de kleine als de militaire luchtvaart in het Nederlandse luchtruim (tabel 2.4) groter zijn dan de aan Nederland toegerekende CO-emissies (tabel 2.3). Behalve door verschillen in de gehanteerde berekeningsmethoden wordt dit veroorzaakt door de bij deze sectoren in gebruik zijnde motoren. In de kleine luchtvaart worden voornamelijk zuigermotoren gebruikt die in het algemeen veel koolmonoxyde produceren. In de militaire sector worden naast zuigermotoren ook straalmotoren met naverbrander toegepast. Naverbranding resulteert in een toename van de CO-emissies.

#### *2.4 De rol van luchtvaartemissies in de afbraak van de ozonlaag*

Ozon (O<sub>3</sub>) speelt een bijzondere rol in alle milieuthema's die te maken hebben met luchtverontreiniging. Ozon is een gas dat onder invloed van zonlicht door chemische processen ontstaat en wordt afgebroken in de atmosfeer. Ozon komt zowel in de troposfeer als in de stratosfeer voor. Ozon in de troposfeer versterkt het broeikaseffect, draagt bij aan verzuring en is op leefniveau schadelijk voor de gezondheid van mensen. In de stratosfeer is ozon nodig voor het filteren van ultraviolette (UV-) straling van de zon. In de stratosfeer bevindt zich 90% van de in de atmosfeer aanwezige ozon. Deze laag wordt wel de ozonlaag genoemd.

In de atmosfeer vinden voortdurend processen plaats van aanmaak, transport en afbraak van ozon. Normaliter is er sprake van een natuurlijk

evenwicht van deze processen, waardoor de ozonlaag een bepaalde gemiddelde omvang heeft die de aarde beschermt tegen te veel ultraviolette (UV-) straling van de zon. Onder invloed van emissies als gevolg van het menselijk handelen wordt het natuurlijk evenwicht in de ozonlaag verstoord en wordt deze laag dunner. Boven de Zuidpool is de afbraak het grootst. Daar ontstaat in de lente (op het zuidelijk halfrond is dit in september/oktober) het «gat in de onzonlaag»; tussen 15 en 20 km hoogte is dan bijna alle ozon verdwenen.

Ondanks internationale afspraken om de emissies van ozonaantastende stoffen op termijn te stoppen en de vooruitgang die op dit terrein in de afgelopen jaren is geboekt, nemen de concentraties van deze stoffen in de stratosfeer nog steeds toe. Er is wel sprake van een afname van de groei. Naar verwachting zal het nog tientallen jaren duren voordat het natuurlijk evenwicht van de ozonlaag weer is hersteld.

Ozonafbraak wordt gestimuleerd als er naast chloor, broom en stikstofoxyden ook ijskristalletjes of aërosolen (dit zijn in de atmosfeer aanwezige vaste en vloeibare stofdeeltjes) aanwezig zijn. Vliegtuigen emitteren stikstofoxyden en water rechtsreeks in de stratosfeer en leveren hier dus een directe bijdrage aan de afbraak van de ozonlaag. De luchtvaart levert hieraan ook een indirecte bijdrage. Op de eerste plaats omdat vluchtige organische stoffen via waterdamp ozonprocessen in de atmosfeer beïnvloeden. Daarnaast vormen roet en SO<sub>2</sub> aërosolen in de atmosfeer waardoor via de toename van heterogene reacties (dit zijn reacties waarbij vaste en vloeibare stoffen een rol spelen) afbraakprocessen van ozon worden bespoedigd. Heterogene reacties manifesteren zich het sterkst wanneer de temperatuur laag is, zoals in het tropopauzegebied en de lage stratosfeer.

Tot dusverre zijn de effecten alleen kwalitatief beschreven. In de komende alinea's wordt ingegaan op de kwantitatieve bijdrage van de luchtvaartemissies in dit milieuthema.

In kwantitatief opzicht zijn de effecten sterk afhankelijk van de plaats van de emissies. De ozonconcentratie in de lage stratosfeer wordt deels bepaald door de NO<sub>x</sub>-concentratie ter plaatse. Modelberekeningen die onder andere in het kader van het Europese onderzoeksprogramma AERONOX zijn uitgevoerd tonen aan dat NO<sub>x</sub>-emissies door de luchtvaart in de troposfeer en in de lage stratosfeer leiden tot **ozonvorming** en in de hoge stratosfeer tot **ozonafbraak**. Het omslagpunt tussen ozonvorming en ozonafbraak ligt wat NO<sub>x</sub> betreft op ongeveer 14–15 km hoogte, in ieder geval boven de tropopauze. Omdat het subsone vliegverkeer gemiddeld lager vliegt dragen de betreffende NO<sub>x</sub>-emissies in kwantitatief opzicht volgens de modelberekeningen dan ook in geringe mate bij aan de ozonafbraak. Supersoon vliegverkeer vindt plaats op een hoogte duidelijk boven het omslagpunt en resulteert voor NO<sub>x</sub> dus in ozonafbraak. De geringe omvang van het huidige supersone verkeer maakt dat ook hier de bijdrage thans klein is.

De kwantitatieve bijdrage van de luchtvaart voor de andere emissieproducten is nog niet volledig bekend. De huidige inschatting van de internationale wetenschap is dat de luchtvaartemissies van waterdamp, roet en SO<sub>2</sub> op dit moment te klein in omvang zijn om een zichtbaar effect op de ozonconcentraties te veroorzaken. Voor een beter antwoord op dit vraagstuk moeten de wetenschappelijke inzichten nog nader worden verdiept.

Schattingen van de internationale wetenschap duiden erop dat de totale gezamenlijke bijdrage van de luchtvaartemissies in de lokale afbraak van

ozon in de stratosfeer op dit moment minder is dan 1% (Wuebbles and Kinnison, 1990). Een toekomstige generatie van supersone vliegtuigen zou een extra jaarlijkse ozonafname van 0,3–1,8% van de onzonkolom op het noordelijk halfrond kunnen veroorzaken (WMO/UNEP, 1994). Vergeleken met de in de afgelopen jaren waargenomen afname van 4–5% per decennium in de totale ozonkolom op 55°N (De Winter-Sorkina, 1994) kunnen supersone vliegtuigen derhalve een belangrijke invloed krijgen op de afbraak van de ozonlaag.

Voor alle duidelijkheid moet worden vermeld dat de effecten en de grootte van de toename van troposferisch ozon sterk verschillen van de gevolgen van de afname van stratosferisch ozon. Het is daarom niet realistisch te veronderstellen dat de effecten van de groei in troposferisch ozon de effecten van de afbraak van de ozonlaag compenseren.

### *2.5 De rol van luchtvaartemissies in het broeikaseffect*

De atmosfeer bestaat voor 78% uit stikstof (N<sub>2</sub>) en voor 21% uit zuurstof (O<sub>2</sub>). Daarnaast komen in kleinere hoeveelheden nog andere gassen voor. Sommige van deze gassen absorberen de infrarode straling die door de aarde wordt uitgezonden als gevolg van opwarming door de zon. Door de aanwezigheid van deze gassen is de temperatuur op aarde hoger dan zonder deze gassen het geval zou zijn en ontstaat een leefbaar klimaat. Dit wordt het natuurlijk broeikas effect genoemd.

De belangrijkste broeikasgassen zijn waterdamp (H<sub>2</sub>O), kooldioxyde (CO<sub>2</sub>), ozon (O<sub>3</sub>), methaan (CH<sub>4</sub>) en lachgas (N<sub>2</sub>O). Sommige van deze broeikasgassen (bijvoorbeeld ozon) en andere gassen (zoals NO<sub>x</sub>) absorberen ook de straling die direct van de zon afkomstig is en beïnvloeden ook op die manier de temperatuur op aarde. Tenslotte spelen wolken en aërosolen een belangrijke en nog niet in alle opzichten begrepen rol in het stralingsevenwicht in de atmosfeer. Wolken hebben zowel een opwarmend als een afkoelend effect.

Door het menselijk handelen zijn de concentraties broeikasgassen in de atmosfeer in de afgelopen jaren toegenomen. Antropogene emissies (emissies die een gevolg zijn van het menselijk handelen) versterken het natuurlijk broeikas effect. Met de term «broeikas effect» wordt meestal alleen deze versterking bedoeld. Deze versterking wordt afgemeten aan de concentratieniveaus van broeikasgassen tijdens het pre-industriële tijdperk (vóór ongeveer 1850).

In het rapport «Climate Change; the IPCC Impact Assessment» (IPCC, 1990) en het daarna uitgegeven Supplementary Report (IPCC, 1992) van het in 1988 opgerichte IPCC geeft de internationale wetenschappelijke wereld aan dat zekerheid bestaat over het natuurlijk broeikas effect en over de toename van de concentraties broeikasgassen als gevolg van antropogene emissies. Deze toenames zullen het broeikas effect versterken, met als resultaat een opwarming van het aardoppervlak. Dit zou kunnen leiden tot een toename van waterdamp, het voornaamste broeikasgas, waardoor het wereldwijde opwarmingsproces nog verder wordt gestimuleerd.

De voorspelde stijging van de gemiddelde temperatuur op aarde wordt nog niet voldoende bevestigd door waarnemingen en is daardoor nog niet uitputtend bewezen. Sommige broeikasgassen verblijven een lange tijd in de atmosfeer. CO<sub>2</sub> is het belangrijkste broeikasgas van antropogene oorsprong en blijft na emissie gemiddeld 100 jaar in de atmosfeer. Dit betekent dat de temperatuur op aarde niet zozeer wordt beïnvloed door de huidige emissies van broeikasgassen, maar in belangrijke mate door de

emissies in het verleden. In de tweede helft van de 20e eeuw zijn de antropogene emissies van broeikasgassen sterk toegenomen. Deze ontwikkeling gaat naar verwachting door in de komende jaren. Het IPCC heeft onlangs nogmaals aangegeven (IPCC, 1994) dat bij ongewijzigd beleid in omstreeks 2025 sprake zal zijn van een verdubbeling van de mondiale CO<sub>2</sub>-emissies. Dit legt een zware wissel op het bereiken van de doelstelling van het internationale Klimaatverdrag. Deze doelstelling is het wereldwijd stabiliseren van concentraties van broeikasgassen op een zodanig niveau dat een schadelijke invloed op het klimaat wordt voorkomen.

*Het Klimaatverdrag*

*Het uiteindelijke doel van het klimaatverdrag is volgens artikel 2 «Stabilization of greenhouse gas concentrations in the atmosphere at a level that would prevent dangerous anthropogenic interference with the climate system. Such a level should be achieved within a time-frame sufficient to allow ecosystems to adapt naturally to climate change, to ensure that food production is not threatened and to enable economic development to proceed in a sustainable manner.».*

*De zogenaamde Annex I landen van het Klimaatverdrag, waaronder Nederland, hebben zich in artikel 4 verder verplicht «to adopt national policies and take corresponding measures on the mitigation of climate change, by limiting its anthropogenic emissions of greenhouse gases and protecting and enhancing its greenhouse gas sinks and reservoirs.».*

*In artikel 4 zijn de Annex I landen tevens overeengekomen de antropogene emissies van CO<sub>2</sub> en andere broeikasgassen die niet worden behandeld door het Montreal Protocol nog vóór het einde van de 20<sup>e</sup> eeuw te stabiliseren op het niveau van 1990.*

*Bron: UNEP/WMO, niet gedateerd*

Vrijwel alle door vliegverkeer uitgestoten emissieproducten spelen een rol in de versterking van het broeikaseffect. Bepaalde emissieproducten zijn broeikasgassen en hebben dus een directe relatie met het broeikaseffect. Andere emissieproducten hebben een indirecte invloed op het broeikaseffect omdat zij de vorming van ozon, wolken of aërosolen bevorderen.

Volgens de huidige inzichten wordt de belangrijkste bijdrage van de luchtvaart aan het broeikaseffect gevormd door CO<sub>2</sub>- en NO<sub>x</sub>-emissies. Door de lange verblijftijd van CO<sub>2</sub> in de atmosfeer wordt dit broeikasgas goed gemengd; voor de klimaateffecten maakt het derhalve niet zoveel verschil waar het wordt geëmitteerd in de atmosfeer. De relatieve bijdrage van de CO<sub>2</sub>-emissies door de luchtvaart aan het versterkte broeikaseffect kan daarom op één lijn worden gesteld met het aandeel van de luchtvaart in het totaal van de CO<sub>2</sub>-emissies.

Voor de kwantitatieve bijdrage van NO<sub>x</sub> ligt dit anders. De directe bijdrage van NO<sub>x</sub>-emissies door de luchtvaart aan het broeikaseffect is te verwaarlozen. De indirecte bijdrage is aanmerkelijk belangrijker. In de troposfeer en de lage stratosfeer (zie hiervoor tevens paragraaf 2.4) dragen NO<sub>x</sub>-emissies van vliegverkeer bij aan de vorming van ozon, voornamelijk vanwege de rol die dit emissieproduct speelt bij oxydatie van CO, methaan en vluchtige organische stoffen. Waarnemingen in de atmosfeer en modelsimulaties leiden tot de inschatting dat troposferisch ozon op het noordelijk halfrond is toegenomen sinds het pre-industriële tijdperk en dat dit heeft geleid tot een gemiddelde additionele mondiale

stralingsforcering (zie kader voor uitleg van dit begrip) die tussen 0,2 en 0,6 Watt per vierkante meter ( $Wm^{-2}$ ) bedraagt (IPCC 1994). Dit betekent dat de bijdrage van ozon in het broeikaseffect vergelijkbaar is met 13 tot 40% van de bijdrage van  $CO_2$  in het broeikaseffect. Deze gegevens hebben betrekking op alle ozon, dus niet alleen die ten gevolge van luchtvaart-emissies.

*De stralingsbalans van de aarde en de stabilisatie van  $CO_2$ -concentraties in de atmosfeer*

*De zon levert energie aan de aarde in de vorm van straling. Uitgedrukt in eenheden stralingsforcering bedraagt deze energie aan de rand van de atmosfeer ongeveer 343 Watt per vierkante meter ( $W/m^2$ ). Ongeveer een derde deel ( $103 W/m^2$ ) van deze straling wordt door de atmosfeer en de aarde weer gereflecteerd in het heelal. Het resterende deel ( $240 W/m^2$ ) warmt de atmosfeer en de aarde op. De infrarode straling die ten gevolge van deze opwarming vrijkomt wordt via de atmosfeer afgegeven aan het heelal. De inkomende en uitgaande energie zijn op het grensvlak van het heelal en de atmosfeer gelijk. Broeikasgassen houden een deel van de aan het aardoppervlak vrijkomende warmte vast. Hierdoor is de troposfeer ongeveer  $33^\circ C$  warmer dan zonder deze gassen het geval zou zijn. Dit wordt het natuurlijk broeikaseffect genoemd.*

*De  $CO_2$ -concentraties zijn sinds het pre-industriële (omstreeks 1850) tijdperk toegenomen van ongeveer 280 ppmv (part per million by volume) tot ongeveer 350 ppmv begin jaren negentig. Wanneer de  $CO_2$ -emissies zich zouden stabiliseren op het niveau van begin jaren '90 dan zou de mondiale concentratie nog ongeveer twee eeuwen stijgen; tegen het eind van de 21<sup>e</sup> eeuw zal dan een niveau bereikt zijn van 500 ppmv.*

*Veranderingen in  $CO_2$ -concentraties in de atmosfeer wijzigen de stralingsbalans van de aarde. Een verdubbeling van de  $CO_2$ -concentraties sinds het pre-industriële tijdperk heeft volgens modelberekeningen een additionele stralingsforcering tot gevolg die zal resulteren in een gemiddelde temperatuurstijging aan het aardoppervlak tussen 1,5 en  $4,5^\circ C$ .*

*Bron: IPCC, 1994*

De broeikaswerking van een ozonmolecuul is evenredig met het verschil in energie-inhoud tussen de geabsorbeerde en de geëmitteerde straling van dat molecuul. Dit verschil is het grootst rond de tropopause en hierdoor is de stralingsbalans van de aarde het gevoeligst voor veranderingen op deze hoogte in de verticale verdeling van ozon. In en rond de tropopause vinden de meeste  $NO_x$ -emissies door de luchtvaart plaats. Dit leidt tot plaatselijke toenames van de ozonconcentraties en tot verstoringen op de stralingsbalans van de aarde.

In het kader van het Europese onderzoeksproject AERONOX zijn modelberekeningen uitgevoerd voor de  $NO_x$ -concentraties in de hogere troposfeer. Het KNMI heeft aan dit project een belangrijke bijdrage geleverd. In tabel 2.6 zijn de resultaten van deze berekeningen gegeven over de invloed van de emissies door het vliegverkeer op de plaatselijke  $NO_x$ -concentratie in de hogere troposfeer tussen  $30^\circ N$  en  $60^\circ N$  breedtegraad, waarin o.a. de Noordatlantische vliegcorridor ligt. Hierbij is tevens de invloed van andere  $NO_x$ -bronnen vermeld. Het gaat hier om berekeningen met twee verschillende modellen. De spreiding van de rekenresultaten is aangegeven in de tabel. Uit de tabel kan worden opgemaakt dat de luchtvaart een belangrijke plaatselijke bron van emissies is.

Op basis van emissiegegevens over 1991 en 1992 schatten de AERONOX-onderzoekers dat de gemiddelde bijdrage van  $NO_x$ -emissies door de luchtvaart aan de toename van ozonconcentraties op het

noordelijk halfrond op een hoogte van 9 tot 12 km ligt tussen 3 en 9%. Deze berekende concentratieveranderingen zijn sterk afhankelijk van de gemodelleerde achtergrondconcentraties en de aannames over de NO<sub>x</sub>-ozonchemie. De ozontoenname als gevolg van vliegtuigemissies kan hierdoor zowel worden overschat als onderschat.

**Tabel 2.6 De bijdrage van diverse NO<sub>x</sub>-bronnen in de NO<sub>x</sub>-concentraties tussen 30°N en 60°N en van 200 tot 300 hPa (van ongeveer 9 tot 12 km) (AERONOX, 1995)**

	Januari	Juli
Bronnen op het aardoppervlak	15–30%	50–60%
Bliksem	0–5%	15%
Uitwisseling met de stratosfeer	0–55%	5–15%
Luchtvaartemissies	40–65%	20%

In figuur 2.5 wordt de bijdrage van NO<sub>x</sub>-emissies door de luchtvaart in de concentraties NO<sub>x</sub> en ozon in de hogere troposfeer in januari en juli schematisch weergegeven op basis van emissiegegevens in 1991 en 1992.

De veranderingen in de ozonconcentraties als gevolg van NO<sub>x</sub>-emissies door de luchtvaart hebben een verstoring van de warmtebalans van de aarde tot gevolg. In kwantitatief opzicht zijn de effecten afhankelijk van de plaats en het jaargetijde en daardoor niet gemakkelijk te relateren aan de mondiale effecten van bestendige broeikasgassen zoals CO<sub>2</sub>. Niettemin is het nodig om een beter inzicht te krijgen in het relatieve belang van de NO<sub>x</sub>-emissies door de luchtvaart in het versterkte broeikaseffect in vergelijking met het aandeel van de CO<sub>2</sub>-emissies door de luchtvaart daarin. De internationale wetenschap schat op dit moment in dat de NO<sub>x</sub>-emissies via ozonvorming een indirecte bijdrage hebben aan het versterkte broeikaseffect van dezelfde of van een kleinere orde van grootte dan de bijdrage van de CO<sub>2</sub>-emissies van de luchtvaart aan het versterkte broeikaseffect (IPCC, 1994).

Veel onzekerheid bestaat er nog over de effecten van waterdamp, SO<sub>2</sub> en roetdeeltjes. De invloed van deze emissieproducten van de luchtvaart op de vorming van wolken en aërosolen zou belangrijk kunnen zijn voor het broeikaseffect (IPCC, 1992; WMO, 1994). Het stralingseffect van aërosolen en hun mogelijkheid wolkeigenschappen te veranderen worden sterk beïnvloed door de aërosol-concentraties in de atmosfeer die qua grootte en samenstelling lokaal zeer sterk kunnen verschillen. Het netto-effect van de veranderingen in de bewolgingsgraad en optische eigenschappen is waarschijnlijk opwarmend en dat van het stralingseffect afkoelend. Het is met de huidige inzichten niet mogelijk om deze klimaateffecten goed te kwantificeren. Aangenomen wordt (WMO, 1994) dat de indirecte effecten van H<sub>2</sub>O-, SO<sub>2</sub>- en deeltjesemissies door de luchtvaart in omvang niet groter zijn dan de effecten ten gevolge van de CO<sub>2</sub>- en de NO<sub>x</sub>-emissies door de luchtvaart.

Waterdamp (H<sub>2</sub>O) is een belangrijk broeikasgas. De door de luchtvaart in de troposfeer geëmitteerde hoeveelheden waterdamp staan in geen verhouding tot de natuurlijke concentraties in deze laag van de atmosfeer. De bijdrage van de luchtvaartactiviteiten is hier derhalve uiterst gering. De verblijftijd van waterdamp in de stratosfeer is zeer onzeker. Daarom kunnen over de broeikaseffecten van H<sub>2</sub>O-emissies in de stratosfeer nog geen betrouwbare uitspraken worden gedaan.



In de voorgaande alinea's zijn de wetenschappelijke inzichten over de directe en de indirecte broeikas effecten van de individuele emissieproducten van de luchtvaart, zowel kwalitatief als kwantitatief weergegeven.

De mondiale stralingsforcering, veroorzaakt door antropogene CO<sub>2</sub>-emissies, bedraagt sinds 1960 0,7 Watt per vierkante meter (W/m<sup>2</sup>) (IPCC, 1992). Op basis van een bijdrage van het mondiale vliegverkeer in de mondiale CO<sub>2</sub>-emissies van 2,3% kan de stralingsforcering die hiervan het gevolg is worden vastgesteld op 0,016 W/m<sup>2</sup>. De huidige schatting is dat de NO<sub>x</sub>-emissies door de luchtvaart via ozonvorming een indirecte bijdrage hebben aan het versterkte broeikas effect van dezelfde of van een kleinere orde van grootte dan de bijdrage van de CO<sub>2</sub>-emissies door de luchtvaart. Het totale versterkte broeikas effect van de emissies van CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> door de luchtvaart kan dan op maximaal 0,032 W/m<sup>2</sup> worden gesteld. Deze conclusie behoeft twee nuances. Op de eerste plaats is het met de huidige inzichten niet mogelijk om alle klimaateffecten van NO<sub>x</sub>-emissies «weggemiddeld», terwijl juist plaatselijk in de atmosfeer belangrijke effecten kunnen optreden. Omdat de wetenschappelijke inzichten over de effecten van H<sub>2</sub>O-, SO<sub>2</sub>- en deeltjesemissies door de luchtvaart nog niet ver genoeg zijn gevorderd, kan op dit moment geen betrouwbare inschatting van de kwantitatieve bijdrage in de stralingsforcering voor deze emissieproducten worden gegeven. Aangenomen wordt (WMO, 1994) dat de indirecte effecten van H<sub>2</sub>O-, SO<sub>2</sub>- en deeltjesemissies door de luchtvaart in omvang niet groter zijn dan de effecten ten gevolge van de CO<sub>2</sub>- en de NO<sub>x</sub>-emissies door de luchtvaart. Deze effecten kunnen echter zowel positief (opwarmend) als negatief (afkoelend) zijn.

#### *2.6 De rol van luchtvaartemissies in de verzuring*

Onder het thema verzuring worden de gezamenlijke effecten beschouwd van zwavel- en stikstofverbindingen, die via diverse atmosferische processen leiden tot verzurende depositie. De belangrijkste verzurende stoffen zijn zwaveldioxyde (SO<sub>2</sub>), stikstofoxyden (NO<sub>x</sub>) en ammoniak (NH<sub>3</sub>). Depositie kan plaatsvinden in droge en natte vorm. Bij droge depositie slaan de verzurende stoffen als kleine deeltjes of in gasvorm neer op de bodem, op het water, gebouwen, planten en dieren. Bij natte depositie zijn de verzurende stoffen opgenomen in de neerslag. De effecten van ozon in de lagere troposfeer zijn veelal niet goed te onderscheiden van de effecten die optreden door zure deposities en worden daarom voor de uitvoering van het milieubeleid meegenomen in het thema verzuring. Ozon ontstaat in de lagere troposfeer door chemische reacties tussen zuurstof en met name stikstofoxyden en vluchtige organische stoffen onder invloed van zonlicht.

Als gevolg van het ingezette milieubeleid zijn in de achter ons liggende jaren, in andere sectoren dan de luchtvaartsector, reducties bereikt in de emissies van SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> en VOS. Daardoor is de verzurende depositie in Nederland sterk afgenomen. De in het NMP 2 gedefinieerde doelstellingen worden met het huidige beleid echter nog niet gehaald. Dit betekent dat het milieubeleid voor dit thema nog verder moet worden versterkt.

De luchtvaart levert met de emissies van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en vluchtige organische stoffen een bijdrage aan de verzuring. De belangrijkste bijdrage ligt bij de emissies van NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub>. Op mondiale schaal waren de luchtvaartemissies in 1990 volgens tabel 2.1 voor NO<sub>x</sub> 1 786 kiloton en voor SO<sub>2</sub> 156 kiloton. Dit komt overeen met een bijdrage in de mondiale

antropogene emissies als gevolg van de verbranding van fossiele brandstoffen van respectievelijk 2,2% en 0,12%.

Omdat verzurende emissies uiteenlopende bijdragen leveren in de zure depositie worden deze in het algemeen uitgedrukt in zogenaamde zuurequivalenten  $H^+$ . Een molecuul  $SO_2$  heeft meer verzurende depositie tot gevolg dan een molecuul  $NO_x$ . Omdat er echter door de luchtvaart veel meer  $NO_x$  dan  $SO_2$  wordt geëmitteerd is het aandeel van  $NO_x$  in de verzuring toch veel groter. Van elke 100 zuurequivalenten afkomstig van de luchtvaart komt ongeveer 88% voor rekening van  $NO_x$  en 12% voor rekening van  $SO_2$ . Hierbij wordt er vanuit gegaan dat alle emissies uiteindelijk op de aarde terechtkomen. De gezamenlijke bijdrage in de zuurdepositie van de luchtvaartemissies ten opzichte van andere antropogene emissies bedraagt op basis van de emissiecijfers van tabel 2.1 ongeveer 0,7%. Hierbij dient te worden aangetekend dat een belangrijk deel van deze zuurdepositie in zee terecht komt, waar zij wordt geneutraliseerd. In bijlage 1 is de berekening die aan de voornoemde resultaten ten grondslag ligt nader uitgewerkt.

Verzuring is een continentaal thema. Vliegtuigemissies vinden voornamelijk plaats op grotere hoogte in de vrije troposfeer en stratosfeer. Hierdoor is sprake van een veel groter spreidingsgebied dan bij emissies vanaf de grond.

### *2.7 De rol van luchtvaartemissies in de lokale luchtkwaliteit*

Het milieuthema lokale luchtkwaliteit kan worden uitgesplitst in lokale luchtverontreiniging en stank. Het kenmerkende van dit thema is dat het alleen relevant is in de directe omgeving van de emissiebron. In deze paragraaf wordt daarom een beeld geschetst van de stand van zaken van dit thema in de omgeving van luchthavens.

In het kader van het Project Mainport en Milieu Schiphol (PMMS) en de daarmee samenhangende Integrale Milieu-Effect Rapportage (IMER) is in 1993 onderzoek verricht naar de aard en omvang van de lokale luchtverontreiniging en stank als gevolg van luchtvaart in het gebied van 10 km rond Schiphol in de periode tot 2015.

Het onderzoek heeft onder meer geresulteerd in verspreidingsberekeningen van concentraties van bepaalde schadelijke stoffen in vijftien dicht bij Schiphol gelegen woongebieden. De conclusie van de uitgevoerde berekeningen is dat de relatieve bijdrage van «Schiphol»-emissies aan de concentraties in woongebieden beperkt blijft tot maximaal enkele procenten. Ook is duidelijk geworden dat in geen enkel geval wettelijke grenswaarden worden overschreden voor  $NO_2$ , CO,  $SO_2$ , zwarte rook, benzeen en benzo(a)pyreen. De concentraties van deze stoffen in de betreffende woongebieden zullen in de toekomst afnemen omdat, zoals aangenomen in de IMER, de afname van emissies in het wegverkeer de toename door het vliegverkeer compenseert. De ozonconcentratie in het studiegebied zal door de voorgenomen activiteiten op Schiphol niet waarneembaar veranderen.

De bovengenoemde onderzoeksresultaten komen overeen met de resultaten van onlangs uitgevoerde internationale studies naar de lokale luchtverontreiniging in de omgeving van de luchthavens Stockholm, Zürich, Nashville, Atlanta, Boston en London-Heathrow. Mede doordat in Nederland verreweg de meeste vliegbewegingen plaatsvinden op en rond Schiphol is in het kader van deze nota geen specifieke aandacht meer besteed aan de lokale luchtkwaliteit rond andere nationale luchthavens.

Tijdens het IMER-onderzoek is tevens studie verricht naar geurhinder. Veldonderzoek heeft uitgewezen dat tot op een afstand van 6 km benedenwinds van Schiphol kerosinegeur frequent waarneembaar bleek te zijn. Uit de milieu-effect rapportage blijkt tevens dat in het in deel 3 van de PKB Schiphol en Omgeving voorgestelde banenstelsel 5P de milieu-doelstelling – stand-still ten opzichte van 1990 – wordt gerealiseerd. Dit is met name het gevolg van de verwachte daling van de emissies van vluchtige organische stoffen uit vliegtuigmotoren. In de PKB Schiphol en Omgeving wordt tevens verder onderzoek aangekondigd naar de relatie tussen «Schiphol-geurconcentratie» en de mate van hinder. Ook zijn in de PKB Schiphol en Omgeving op stank gerichte maatregelen geformuleerd.

## *2.8 Toekomstige ontwikkelingen in de emissies van de mondiale en de nationale luchtvaart*

Zoals blijkt uit hoofdstuk 1 is de civiele luchtvaart een groeiemarkt. De toekomstige groei van de luchtvaartmarkt is naar verwachting sterker dan de groei van de totale economie. Dit betekent dat het economisch belang van de luchtvaart in de komende jaren groter zal worden in vergelijking met andere sectoren. Parallel hieraan zal ook de milieubelasting door de luchtvaart zowel absoluut als relatief toenemen. Dit blijkt duidelijk uit voor deze nota uitgevoerde berekeningen.

Het RIVM heeft op basis van een aantal uitgangspunten en aannames de ontwikkeling van het volume in de mondiale luchtvaart berekend in vijf mondiale regio's. Hierbij is uitgegaan van de drie economische scenario's van het Centraal Planbureau: European Renaissance (ER), Global Shift (GS) en Balanced Growth (BG). Voor het prognostiseren van de mondiale vliegbewegingen is gebruik gemaakt van een speciaal luchtvaartscenario-model van het Engelse Department of Trade & Industry (DTI). De basis in dit model wordt gevormd door zitplaatskilometers per regio en per vliegtuigtype die vervolgens met gegevens over de bezettingsgraad kunnen worden omgezet in passagierskilometers.

### *Economische scenario's van het Centraal Planbureau (CPB)*

*Het CPB schetst voor de lange-termijnontwikkeling van de wereldeconomie onder meer drie toekomstbeelden, die elk uitgaan van een andere visie op de economie en de rol van de overheid daarin: Balanced Growth (BG), European Renaissance (ER) en Global Shift (GS).*

*Het Global Shift-scenario kenmerkt zich door een versnelling van de technologische ontwikkeling en een snelle, vergaande liberalisatie van de internationale handel, maar tevens door het vrijwel ontbreken van internationale coördinatie. «Coördinatie» vindt alleen plaats door de krachten van de vrije markt. Dit heeft onder andere tot gevolg dat mondiale problemen op gebieden als milieu en ontwikkelingssamenwerking niet worden aangepakt. Vooral de Verenigde Staten en Zuidoost-Azië profiteren van de geboden mogelijkheden. Hier worden hoge groeicijfers gerealiseerd.*

*Het meest in het oog springende kenmerk van het European Renaissance-scenario is een krachtige wederopbloei van Europa. In de Europese Unie vindt zowel een verdieping (verregaande integratie) plaats als een verbreding (uitbreiding met andere landen). De Verenigde Staten gaan in dit toekomstbeeld aanvankelijk door een crisis waardoor ook de ontwikkeling van de Latijnsamerikaanse en de Aziatische economieën wordt geremd.*

*Balanced Growth kan worden omschreven als krachtige, multipolaire en vooral ook duurzame groei. De Europese integratie zet door, maar wordt in dit scenario vooral gedragen door marktontwikkelingen en minder dan in European Renaissance door overheidsbeleid. De internationalisatie houdt niet op bij de grenzen van het continent.*

*Gevoegd bij de gunstige economische ontwikkelingen in de Verenigde Staten en Zuidoost-Azië leidt dit tot een sterke groei van de wereldhandel.*

*In deze scenario's zijn veronderstellingen gemaakt over de toekomstige ontwikkeling van het milieubeleid. Bij een BG-scenario is de invoering van een sterk regulerende mondiale CO<sub>2</sub>-heffing verondersteld, gebaseerd op een sterke internationale coördinatie om tot een duurzame ontwikkeling te komen. In dit scenario wordt ook de toepassing van allerlei andere financiële instrumenten verondersteld. Het ER-scenario is optimistisch over de samenwerking op economisch en milieugebied binnen Europa en over de herstructurering in Centraal- en Oost-Europa. Ook over de maatschappelijke acceptatie van (Europese) regelgeving en het milieubesef van de burgers en de bedrijven is dit scenario optimistisch. GS is op veel punten pessimistischer: ineffektieve EU-bureaucratie, weinig economische samenwerking met Centraal- en Oost-Europa, nauwelijks vooruitgang in het internationaal milieubeleid, weinig technologische doorbraken op milieugebied en lage energieheffingen.*

*Bronnen: CPB, 1992 en RIVM, 1993a*

In figuur 2.6 zijn de resultaten getoond van deze berekeningen voor de ontwikkeling van het aantal passagierskilometers in de periode 1990–2015 voor een ER-scenario. Uit deze figuur kan worden afgeleid dat de ontwikkeling van het aantal passagierskilometers afhankelijk is van de regio en dat het totale aantal mondiale passagierskilometers in de periode 1990–2015 sterk zal toenemen. De grootste groei zal zich volgens deze prognoses in Zuidoost-Azië voordoen.

Op basis van de ontwikkeling van het aantal passagierskilometers in het internationale civiele vliegverkeer is vervolgens nagegaan wat de mogelijke ontwikkelingen zijn in het volume van de mondiale luchtvaart-emissies bij ongewijzigd beleid in de periode tot 2015. Hierbij zijn op basis van het huidige beleid aannames gedaan over verbeteringen van het specifiek brandstofverbruik van vliegtuigen en de NO<sub>x</sub>-emissie-index (gram emissie per kilogram brandstof) van straalmotoren. Deze aannames bedragen respectievelijk verbeteringen van 12,5% en 17,5%. Ook is rekening gehouden met een ontwikkeling naar hogere gemiddelde bezettingsgraden van vliegtuigen (+4%). De invoeringsgraad van de verbeteringen in de mondiale vliegtuigvloot is gesteld op 26% in 2003 en 50% in 2015. De resultaten van de modelberekeningen zijn voor CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> gegeven in tabel 2.7.

Uit tabel 2.7 kan worden opgemaakt dat de emissies van de mondiale luchtvaartsector volgens deze prognoses in 2015 ongeveer het drievoudige bedragen van de emissies in 1990.

**Tabel 2.7 De ontwikkeling van de mondiale luchtvaartemissies van CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> in de periode 1990–2015 voor drie economische scenario's (RIVM, 1995b)**

Emissies	CO <sub>2</sub>		NO <sub>x</sub>	
	Mton	index t.o.v. 1990	kton	index t.o.v. 1990
Basisjaar 1990	498	1,0	1 786	1,0
Global Shift 2015	1 760	3,5	5 212	2,9
European Renaissance 2015	1 410	2,8	4 172	2,3
Balanced Growth 2015	1 680	3,4	4 971	2,8

Op basis van de ontwikkeling van de bijdrage van de mondiale civiele luchtvaart aan de internationale economische groei mag een toename van het aandeel van de luchtvaartemissies in de antropogene emissies worden verwacht. Dit wordt bevestigd door de vergelijking van de gegevens van tabel 2.7 met de groeiprognoses van de mondiale antropogene emissies als gevolg van de verbranding van fossiele brandstoffen volgens het IPCC, bewerkt door het RIVM. Deze vergelijking wordt in tabel 2.8 gegeven. Op basis van de gegevens van deze tabel kan worden geconcludeerd dat de emissies van de mondiale luchtvaart niet alleen absoluut maar ook relatief toenemen.

**Tabel 2.8 De ontwikkeling van de mondiale luchtvaartemissies van CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>, in vergelijking met de ontwikkeling van de mondiale antropogene emissies als gevolg van de verbranding van fossiele brandstoffen in de periode 1990–2015 voor drie economische scenario's (RIVM, 1995b)**

	CO <sub>2</sub> (Mton)			NO <sub>x</sub> (kton)		
	luchtvaart	fossiele brandstoffen	aandeel luchtvaart (%)	luchtvaart	fossiele brandstoffen	aandeel luchtvaart (%)
Basisjaar 1990	498	22 000	2,3	1 786	82 000	2,2
GS-scenario 2015	1 760	34 000	5,1	5 212	128 000	4,1
ER-scenario 2015	1 410	39 000	3,6	4 172	147 000	2,8
BG-scenario 2015	1 680	42 000	4,0	4 971	155 000	3,2

Ook op nationaal niveau zal sprake zijn van een groei van de luchtvaartemissies, zowel absoluut als relatief. Dit wordt geïllustreerd door de in het kader van de IMER door het TNO uitgevoerde berekeningen voor de verwachte emissieniveaus in 2003 en 2015 van het aan Nederland gerelateerde civiele vliegverkeer. Met behulp van een model zijn de emissies per vlucht berekend en is steeds de helft daarvan voor alle aankomende en vertrekkende vluchten aan Nederland toegerekend. De resultaten van deze berekeningen zijn getoond in tabel 2.9 voor CO<sub>2</sub> en in tabel 2.10 voor NO<sub>x</sub>. Hieruit kan worden opgemaakt dat de emissieniveaus van het met Nederland samenhangende civiele vliegverkeer in 2015 op basis van deze berekeningen mogelijk gemiddeld 2 tot 2,5 maal zo hoog zullen zijn vergeleken met 1990. Voor achtergrondinformatie over de berekeningen die hieraan ten grondslag liggen wordt verwezen naar bijlage 2 van deze nota.

**Tabel 2.9 De ontwikkeling van de CO<sub>2</sub>-emissies van de aan Nederland gerelateerde civiele vliegbewegingen (TNO, 1993; zie tevens bijlage 2)**

Emissies CO <sub>2</sub> in Mton	1990	2003	2015	Index 2015 t.o.v. 1990
Global Shift (GS)	6,7	8,8	13,6	2,0
European Renaissance (ER)	6,7	9,8	16,0	2,4
Balanced Growth (BG)	6,7	11,8	21,8	3,3

**Tabel 2.10 De ontwikkeling van de NO<sub>x</sub>-emissies van de aan Nederland gerelateerde civiele vliegbewegingen (TNO, 1993; zie tevens bijlage 2)**

Emissies NO <sub>x</sub> in kton	1990	2003	2015	Index 2015 t.o.v. 1990
Global Shift (GS)	21,8	28,7	36,4	1,7
European Renaissance (ER)	21,8	31,8	41,3	1,9
Balanced Growth (BG)	21,8	38,4	53,3	2,4

De toekomstige ontwikkeling van de nationale luchtvaartemissies kan ook worden berekend op basis van toerekening van emissies boven het Nederlandse grondgebied (deze methode is door het NLR gebruikt, zie tevens tabel 2.4). Het resultaat van deze berekening voor de civiele luchtvaart wordt gegeven in tabel 2.11.

**Tabel 2.11 De ontwikkeling van de emissies van de civiele luchtvaart boven het Nederlandse grondgebied in 1990 en 2010**

	CO <sub>2</sub> (Mton)		NO <sub>x</sub> (kton)	
	1990	2010	1990	2010
Global Shift (GS)	1,64	4,50	6,57	15,45
European Renaissance (ER)	1,64	3,77	6,57	12,94
Balanced Growth (BG)	1,64	4,33	6,57	14,49

Volgens berekeningen van het TNO bedroegen de emissies van de aan Nederland gerelateerde civiele vliegbewegingen in 1990 voor CO<sub>2</sub> 3,6% van de nationale emissies. Voor NO<sub>x</sub> was dit 3,8%. Indien de NLR-methodiek volgens tabel 2.11 wordt gehanteerd zijn deze percentages ongeveer 1% voor 1990. Indien men aanneemt dat de reducties, die in het NMP 2 voor de overige nationale emissiebronnen genoemd worden, ook feitelijk worden gerealiseerd en men aanneemt dat er geen belangrijke verbeteringen in de luchtvaart verwezenlijkt worden, dan zijn deze percentages voor het ER-scenario in 2010 op basis van de TNO-methodiek 6,3% voor CO<sub>2</sub> en 16,4% voor NO<sub>x</sub>. Volgens de NLR-methodiek zijn deze percentages respectievelijk 2% en 6%.

## 2.9 Verder onderzoek

Over de rol en bijdrage van luchtvaartemissies met betrekking tot het thema klimaatverandering (afbraak ozonlaag en broeikas-effect) ontbreekt nog de nodige kennis. Hierdoor bestaat er nog een gerede mate van onzekerheid. Voor het gewenste inzicht zal in de komende jaren verder onderzoek nodig zijn.

Een eerste onzekerheid heeft betrekking op de emissies zelf. De gegevensbestanden en methoden die zijn ontwikkeld voor het krijgen van een voldoende nauwkeurig en gedetailleerd inzicht over luchtvaartemissies, moeten verder worden ontwikkeld. Voor belangrijke delen van de wereld moeten meer gegevens beschikbaar komen of nauwkeuriger aannames worden gedaan om het emissiespectrum compleet te maken. Dit aspect heeft ook betrekking op de militaire luchtvaart.

De huidige emissieberekeningen zijn vooral gebaseerd op de emissiewaarden die zijn verkregen op basis van de door ICAO voorgeschreven certificatieprocedures. Deze procedures leveren inzichten op over de emissies van NO<sub>x</sub>, CO en VOS door vliegtuigmotoren op de grond en op geringe hoogte tijdens de genormaliseerde LTO-cyclus. Op basis hiervan zijn schattingsmethoden gebruikt voor de berekening van emissies tijdens de kruisvlucht. Tussen de volgens de verschillende schattingsmethoden berekende emissies bestaan nogal wat verschillen. Deze verschillen worden thans in internationaal verband nader geanalyseerd. Voor H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub> en deeltjes kan niet worden teruggevalen op certificatiegegevens. Daarom moeten hiervoor andere berekeningsmethoden worden ontwikkeld. Weliswaar heeft het Europese AERONOX-programma geleid tot een afname van de onzekerheid met 20%; toch blijft het nodig om de resultaten van de schattingsmethoden te valideren met meer gegevens

over de werkelijke emissies op de grond en tijdens vlucht. Hiervoor zijn meetprogramma's nodig.

Bij het bestuderen van de effecten van luchtvaartemissies spelen twee soorten rekenmodellen een belangrijke rol: pluimmodellen en atmosferische modellen. Pluimmodellen zijn nodig om de chemische en fysische processen in en direct achter de motoruitlaat te beschrijven. De resultaten van deze modellen fungeren als invoer voor de atmosferische modellen. Pluimmodellen moeten zowel turbulente fysica als chemische processen in de gasfase en de heterogene fase kunnen beschrijven. Op dit moment is slechts een beperkt aantal modellen hiertoe in staat.

Veel aandacht moet ook nog worden besteed aan het modelleren van de atmosfeer en het verifiëren van de resultaten van deze modellen. Het modelleren van de chemische en fysische processen in gebieden waarover weinig meetgegevens bekend zijn is zeer moeilijk. Dit probleem geldt voor de stratosfeer, maar meer nog voor de hogere lagen in de troposfeer en voor de tropopauze. Verdere onzekerheden die op korte termijn de aandacht vragen zijn de invloed van de heterogene chemie op de samenstelling van de atmosfeer en de rol van aërosolen. De modellen die thans wereldwijd beschikbaar zijn houden in onvoldoende mate rekening met deze aspecten.

Een algemene tekortkoming is dat nog te weinig kan worden beschikt over praktische meetgegevens. De tot heden uitgevoerde meetprogramma's hebben nog onvoldoende gegevens opgeleverd om de resultaten van de eerder genoemde modelberekeningen goed te kunnen verifiëren en waar nodig bij te stellen. Dit aspect zal in de naaste toekomst daarom bijzondere aandacht moeten krijgen.

De algemene kennis over de lagere stratosfeer en de hogere troposfeer is nog ver van compleet. Juist in dit gebied vindt het luchtverkeer voornamelijk plaats. Met het voortschrijden van het wetenschappelijk inzicht over de rol en bijdrage van luchtvaartemissies bestaat de mogelijkheid dat de effecten groter of kleiner blijken te zijn dan thans wordt ingeschat. Het is niet reëel om te veronderstellen dat de wetenschappelijke wereld over dit onderwerp op korte termijn substantieel meer zekerheid kan bieden. Het zal nog vele jaren duren voordat er sprake is van volledige zekerheid over de rol en bijdrage van luchtvaartemissies.

### *2.10 Samenvatting: de probleemstelling*

Op basis van de voorgaande paragrafen kan een samenvatting worden gegeven van de rol en bijdrage van luchtvaartemissies in de luchtverontreiniging. Deze samenvatting biedt de probleemstelling voor het te voeren beleid.

Luchtvaartemissies dragen bij aan de milieuthema's klimaatverandering (afbraak ozonlaag en broeikas-effect), verzuring en verstoring (lokale luchtverontreiniging en stank). De belangrijkste bijdrage in de luchtverontreiniging wordt geleverd door de civiele luchtvaart. Daarnaast speelt de militaire luchtvaart een rol van betekenis in de emissies. Het aandeel van de kleine luchtvaart heeft voornamelijk een lokale betekenis.

De belangrijkste bijdrage van de luchtvaart aan de afbraak van de ozonlaag wordt gevormd door  $\text{NO}_x$ . Resultaten van modelberekeningen duiden erop dat deze bijdrage in kwantitatief opzicht naar verwachting gering is. De wetenschappelijke inzichten over de indirecte invloeden van een aantal emissieproducten van de luchtvaart moeten nog nader worden aangevuld. De wetenschap sluit niet uit dat de rol van deze effecten

belangrijk kan zijn. Op basis van de huidige inzichten schat de internationale wetenschap in dat de bijdrage van luchtvaartemissies aan de afbraak van ozon in de lage stratosfeer op dit moment minder is dan 1%. Een toekomstige generatie van supersone vliegtuigen zou een extra ozonafname op het noordelijk halfrond kunnen veroorzaken.

Luchtvaartemissies dragen bij aan het broeikaseffect. De klimaateffecten van CO<sub>2</sub>-emissies door de luchtvaart verschillen niet van andere CO<sub>2</sub>-emissies en zijn relatief duidelijk. De laatste jaren is meer zekerheid verkregen over de rol van NO<sub>x</sub>-emissies door de luchtvaart. Als gevolg van deze emissies nemen de ozonconcentraties in en rond vliegroutes op een hoogte tussen 8 en 12 km toe. Veranderingen in de ozonconcentraties op deze hoogte hebben vooral tussen 30°N en 60°N belangrijke invloeden op de stralingsbalans van de aarde. Het totale versterkte broeikaseffect van de emissies van CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> door de luchtvaart kan op maximaal 0,032 W/m<sup>2</sup> worden geschat.

De bijdrage van luchtvaartemissies aan verzuring is in principe goed te kwantificeren. De belangrijkste bijdrage van de luchtvaart hieraan zijn NO<sub>x</sub>-emissies. SO<sub>2</sub>-emissies spelen hier een minder belangrijke rol. Op mondiaal niveau bedraagt de bijdrage van de luchtvaart in de verzurende emissies van NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> uitgedrukt in zuurequivalenten ongeveer 0,7%.

Voor de lokale luchtverontreiniging geldt dat de relatieve bijdrage van «Schiphol»-emissies aan de concentraties in de woongebieden in de omgeving van de luchthaven beperkt blijft tot maximaal enkele procenten en dat in geen enkel geval wettelijke grenswaarden worden overschreden. Op dit moment zijn geen conclusies te trekken omtrent de omvang van de geurhinder door de luchtvaart.

Volgens de huidige inzichten zijn de belangrijkste emissieproducten van de luchtvaart CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>. Voor beide producten was het aandeel van deze emissies in de mondiale emissies als gevolg van de verbranding van fossiele brandstoffen in 1990 2 à 3%. Indien men de emissies aan Nederland zou willen toerekenen, dan variëren deze tussen de 1 à 4% van de nationale CO<sub>2</sub>- en NO<sub>x</sub>-emissies, afhankelijk van de gekozen toerekeningsmethodiek.

De civiele luchtvaart is een groeisector. De groei ervan overtreft die van de totale economische groei. Op mondiaal en op nationaal niveau zullen de emissies derhalve nog sterk toenemen, zowel absoluut als relatief. Op basis van modelberekeningen wordt ingeschat dat de emissies van de mondiale luchtvaart in 2015 bij voortdurende van het huidige beleid ongeveer het drievoudige zullen bedragen van de emissies in 1990. Op nationaal niveau nemen de emissies van het met Nederland samenhangende civiele vliegverkeer volgens andere berekeningen in dezelfde periode met een factor 2 tot 2,5 toe. Indien men aanneemt dat de reducties, die in het NMP 2 voor de overige nationale emissiebronnen genoemd worden, ook feitelijk worden gerealiseerd en men aanneemt dat er geen belangrijke verbeteringen in de luchtvaart verwezenlijkt worden, dan zullen de luchtvaartemissies bij ongewijzigd beleid de komende jaren belangrijker worden. Voor een European Renaissance-scenario zullen de emissies van de aan Nederland gerelateerde civiele vliegbewegingen in 2010 overeenkomen met ongeveer 6,3% van de nationale CO<sub>2</sub>-emissies en ongeveer 16,4% van de nationale NO<sub>x</sub>-emissies. Bij het hanteren van een methode die uitgaat van toerekening van emissies boven het Nederlandse grondgebied bedragen deze cijfers respectievelijk 2% en 6%.

Over de rol en bijdrage van luchtvaartemissies in de luchtverontreiniging ontbreekt nog de nodige kennis. Dit heeft voornamelijk betrekking



op klimaatverandering. In de komende jaren zal nader aandacht moeten worden besteed aan wetenschappelijk onderzoek op dit terrein. Bijzondere aandachtspunten hierbij zijn het ontwikkelen van betere modellen voor het bestuderen van de emissies en de daarmee samenhangende effecten en het verzamelen van meer praktijkgegevens opdat de modeluitkomsten kunnen worden gevalideerd.

Niettemin is het probleem van de luchtvaartemissies op dit moment voldoende verkend voor nadere beleidsvorming.

Tabel 2.12 geeft een kwalitatieve samenvatting van het belang van de diverse emissies voor de onderscheiden milieuthema's op basis van het huidige inzicht.

In de tabel zijn de huidige en de geprognoseerde emissiehoeveelheden in aanmerking genomen. Ook is aangegeven voor welke emissieproducten thans nog onzekerheden bestaan. De tabel beperkt zich tot de bijdrage van de luchtvaart aan de luchtverontreiniging.

**Tabel 2.12 Het belang voor het voeren van beleid voor de door de luchtvaart uitgestoten emissieproducten voor elk van de betreffende milieuthema's**

	Van belang voor het voeren van beleid	Niet van belang voor het voeren van beleid	Belang voor het voeren van beleid is onzeker
Afbraak ozonlaag	NO <sub>x</sub> <sup>1</sup>	CO <sub>2</sub> , VOS, CO	SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, deeltjes
Broeikaseffect	CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>	VOS, CO CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> <sup>2</sup> , H <sub>2</sub> O, VOS, CO, deeltjes	SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, deeltjes
Verzuring	NO <sub>x</sub>		–
Lokale lucht-kwaliteit <sup>3</sup>	VOS, CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , deeltjes, stank	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O	–

<sup>1</sup> De rol van NO<sub>x</sub>-emissies door de luchtvaart is nog gedeeltelijk onzeker.

<sup>2</sup> SO<sub>2</sub> is een belangrijke verzurende stof. De bijdrage van de luchtvaart hierin is echter gering in vergelijking met andere bronnen.

<sup>3</sup> Het belang van de betreffende emissieproducten is bij dit lokale milieuthema vooral afhankelijk van de afstand tot de emissiebron.

### 3. Mogelijke maatregelen ter bestrijding van de schadelijke gevolgen van luchtvaartemissies

#### 3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk inventariseert mogelijke maatregelen ter bestrijding van de schadelijke gevolgen van luchtvaartemissies. Daarbij is uitsluitend naar de milieu-aspecten gekeken. Of deze maatregelen als beleidsvoornemen aan de orde kunnen komen, respectievelijk daadwerkelijk getroffen kunnen worden, hangt mede af van andere, nog niet onderzochte aspecten, zoals kosteneffectiviteit, veiligheid en economische gevolgen.

De gepresenteerde maatregelen hebben betrekking op de civiele luchtvaart, maar kunnen niettemin ook een indicatie opleveren voor de beleidsvorming over de kleine en de militaire luchtvaart.

Drie hoofdcategorieën van maatregelen kunnen worden onderscheiden: technische maatregelen, operationele maatregelen en mobiliteitsmaatregelen.

#### 3.2 Technische maatregelen

Technische maatregelen kunnen betrekking hebben op het ontwerp van de vliegtuigmotor, op het vliegtuig zelf of op de gebruikte vliegtuigbrandstoffen.

De emissies van vliegtuigmotoren kunnen op de eerste plaats worden verminderd door **veranderingen in het totale ontwerp van de motor** zodat een hoger rendement wordt bereikt. Hierdoor nemen in het algemeen de emissies van CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO, VOS en SO<sub>2</sub> per transportprestatie af. Bij een verbetering van het rendement stijgen echter de temperatuur en de druk in de verbrandingskamer, waardoor als regel de NO<sub>x</sub>-emissies toenemen.

In de loop der jaren is het rendement van straalmotoren voortdurend toegenomen. Twee redenen lagen hieraan ten grondslag: in de jaren vijftig en zestig het zoeken naar vliegtuigen met een groter vliegbereik, in de jaren zeventig en tachtig de hoge brandstofprijs. Als gevolg hiervan zijn in deze jaren regelmatig relatief grote, sprongsgewijze verbeteringen in de motortechnologie gemaakt (zie tevens figuur 1.3). Met het dalen van de brandstofprijzen in de tweede helft van de jaren tachtig is deze ontwikkeling min of meer tot stilstand gekomen. In deze periode is weliswaar veel energie gestoken in studies naar nieuwe motorontwerpen; straalmotorfabrikanten hebben echter, gezien de hoge kosten en de grote risico's die gepaard gaan met het invoeren van nieuwe motorontwerpen, gekozen voor het stapsgewijs aanbrengen van relatief kleine veranderingen in de bestaande ontwerpen.

De internationale straalmotorindustrie bestudeert thans onder meer de mogelijkheden van een zogenaamde «propfan»-motor. Een propfan heeft een of twee grote propellers die worden aangedreven door een straalmotor. De bladen van de propellers zijn zodanig geconstrueerd dat hogere snelheden kunnen worden bereikt dan met normale propellermotoren waardoor zij geschikt zijn voor de grotere civiele verkeersvliegtuigen. Volgens het Energie Centrum Nederland (ECN, 1994) zou het rendement van deze motoren ongeveer 20% hoger kunnen liggen dan dat van de huidige generatie straalmotoren. Introductie van deze motoren is nog hoogst onzeker en mag niet eerder dan in het jaar 2000 worden verwacht.

Op de tweede plaats kunnen emissies van vliegtuigmotoren worden verminderd door **verbeteringen van het verbrandingsproces in de verbrandingskamer**. Deze verbeteringen zijn gericht op het verder terugdringen van emissies van CO, VOS en NO<sub>x</sub>. Voorbeelden hiervan zijn homogener brandstof/lucht-mengsels, regelbare luchtsleuven, verbranding van arme brandstof/lucht-mengsels (veel lucht, weinig brandstof) en het toepassen van getrapte verbranding.

Getrapte verbranding («staged combustion») gaat uit van een verdeling van het verbrandingsproces over twee, achter of naast elkaar gelegen, zones in de verbrandingskamer. De verdeling van het verbrandingsproces is afhankelijk van het gevraagde motorvermogen. Bij lage vermogens (tijdens landen en taxiën) vindt alleen brandstoftoevoer plaats naar de zogenaamde «pilot zone» die geoptimaliseerd is voor lage emissies van CO en VOS. Bij hogere vermogens (tijdens stijgen en de kruisvlucht) vindt tevens brandstoftoevoer naar de hoofdzone plaats. Deze zone is ontworpen voor lage emissies van NO<sub>x</sub>. General Electric (GE) en CFM (een samenwerkingsverband tussen GE en het Franse bedrijf SNECMA) passen dit verbrandingsprincipe toe in de nieuwe GE90-motor en de nieuwste versie van de CFM-56 motor. Deze motoren hebben een «double annular combustor» waarmee de uitstoot van NO<sub>x</sub> bij vol vermogen waarschijnlijk kan worden teruggebracht met 35% (NLR, 1993). Ook Rolls Royce en Pratt & Whitney, twee andere internationale straalmotorfabrikanten, zijn bezig met de ontwikkeling van een dergelijk verbrandingssysteem.

De internationale straalmotorindustrie werkt op dit moment met behulp van door overheden gefinancierde ontwikkelingsprogramma's

gezamenlijk aan een aantal **nieuwe revolutionaire verbrandingskamerconcepten**. In Europa gebeurt dit in het kader van het BRITE-EURAM-programma van de EU, terwijl dit in de Verenigde Staten onder de hoede van de NASA plaatsvindt. Deze nieuwe concepten hebben de potentie ongeveer 85% lagere NO<sub>x</sub>-emissies per kilogram brandstof op te leveren in vergelijking met de huidige verbrandingskamers (NLR, 1993; ECN, 1994). De activiteiten op dit terrein zijn eind jaren tachtig en begin jaren negentig gestart. Op dit moment worden in proefopstellingen de eerste praktijktests gedaan. Met de huidige stand van de techniek en de omvang van de ondersteuningsprogramma's mag invoering in de eerste motoren van deze nieuwe verbrandingskamerconcepten pas na 2010 worden verwacht.

Naast de motor heeft natuurlijk ook het **ontwerp van het vliegtuig** zelf een grote invloed op de emissies per transportprestatie. De huidige verkeersvliegtuigen zijn ontworpen voor zo optimaal mogelijke condities tijdens de gehele vlucht. In het ontwerp zijn de vliegsnelheid en het vliegbereik van oudsher van groot belang vanwege de grote commerciële betekenis van deze factoren in de luchtvaartwereld. Verkeersvliegtuigen zijn (op dit moment) niet geschikt voor snelheden boven de geluidssnelheid (ongeveer 1100 km per uur). De luchtvaartindustrie is er nog niet in geslaagd deze barrière operationeel en commercieel te doorbreken. De grote vliegtuigen voor de lange afstand zijn daarom ontworpen voor een maximale snelheid dicht tegen deze grens aan.

Als het gaat om het aanbrengen van veranderingen in de vliegtuigontwerpen teneinde emissies te reduceren kunnen twee groepen van maatregelen worden onderscheiden: het aanbrengen van verbeteringen in bestaande vliegtuigconcepten en het ontwerpen van een nieuw vliegtuigconcept. **Bestaande vliegtuigconcepten** kunnen in dit kader worden verbeterd door het verlagen van de wrijvingsweerstand en het gebruiken van lichtere materialen. Deze maatregelen dienen weliswaar primair een economisch belang, zij kunnen niettemin ook belangrijke voordelen hebben voor de milieubelasting van vliegtuigen.

Als het gaat om **nieuwe vliegtuigconcepten** die uit emissie-oogpunt voordelen bieden moet op de eerste plaats het streven van de luchtvaartindustrie naar een nieuwe generatie grote vliegtuigen worden genoemd. Deze vliegtuigen moeten meer passagiers dan de Boeing 747 kunnen vervoeren. Afhankelijk van de afgelegde afstand hebben deze vliegtuigen minder brandstof nodig per afgelegde passagierskilometer en veroorzaken daardoor relatief lagere CO<sub>2</sub>-, H<sub>2</sub>O-, SO<sub>2</sub>-, CO- en VOS-emissies. De gevolgen voor de emissies van NO<sub>x</sub> zijn afhankelijk van het gekozen verbrandingskamerconcept.

Een tweede, in haar gevolgen voor de emissies identieke, ontwikkeling in de luchtvaart is het reduceren van het aantal motoren. Op dit moment beschikken de grote verkeersvliegtuigen voor de lange afstand over drie of vier motoren. Omdat vliegtuigmotoren in de loop der jaren steeds krachtiger en betrouwbaarder zijn geworden is de mogelijkheid ontstaan om deze vliegtuigen uit te rusten met twee motoren. Hierdoor neemt de luchtweerstand van het vliegtuig af en daalt het brandstofverbruik.

Naast bovengenoemde technische ontwikkelingen is er ook nog een andere ontwikkeling gaande, waarbij de emissies mogelijk zullen toenemen. Hierbij gaat het om de ontwikkeling van een nieuwe generatie supersonische vliegtuigen. Zowel in Europa als in de Verenigde Staten worden de mogelijkheden van een dergelijk vliegtuig op dit moment bestudeerd. De hoge snelheid van deze vliegtuigen is alleen mogelijk met hoge motorvermogens en een hoog brandstofverbruik. Als gevolg hiervan

zullen de emissies van deze vliegtuigen per passagierskilometer zeer hoog zijn. Of een nieuwe generatie supersone vliegtuigen ook daadwerkelijk zal worden geïntroduceerd is nog onduidelijk. Hiermee zijn omvangrijke investeringen en hoge ontwerprisico's gemoeid, die ten dele worden bepaald door milieufactoren.

De laatste categorie technische maatregelen heeft betrekking op het veranderen van de samenstelling van de **huidige vliegtuig-brandstoffen** of het toepassen van **alternatieve brandstoffen**. De huidige vliegtuigbrandstoffen bestaan volgens internationale normen voor maximaal 0,3% uit zwavel. In de Westerse wereld is het zwavelgehalte in de praktijk meestal aanmerkelijk lager. Verlaging van het zwavelgehalte zou betekenen dat emissies van  $\text{SO}_2$  afnemen. Ook uit onderhoudsoogpunt is de aanwezigheid van zwavel in de brandstof ongewenst. De geproduceerde zwaveloxyden kunnen namelijk in de verbrandingskamer reageren met waterdamp tot zwavelzuur ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Dit tast de turbineschoepen aan, wat een negatief effect heeft op de levensduur van deze kostbare onderdelen. Een voordeel van zwavelverbindingen in kerosine is echter de smerende werking ervan. Deze werking is van belang omdat diverse delen van vliegtuigmotoren met brandstof worden gesmeerd. Gezien de rol die de luchtvaartemissies van  $\text{SO}_2$  op dit moment hebben in de milieubelasting en de mogelijkheden die bestaan om door het verlagen van het brandstofverbruik ook de  $\text{SO}_2$ -emissies te reduceren bestaat er op dit moment geen dringende reden om het zwavelgehalte van vliegtuigbrandstoffen verder te verlagen.

Op het gebied van alternatieve brandstoffen zijn enkele studies verricht. Concrete ontwikkelingsprojecten zijn echter nog niet opgestart. Het Duitse bedrijf Deutsche Aerospace en het Russische bedrijf Tupolev hebben een samenwerkingsverband ingesteld dat bekend is onder de naam Cryoplane en dat de mogelijkheid bestudeert van een vliegtuig dat gebruik maakt van vloeibare waterstof. Het voordeel hiervan is dat bij verbranding geen  $\text{CO}_2$ -  $\text{CO}$ - en VOS-emissies ontstaan en naar verwachting minder  $\text{NO}_x$ . De lagere  $\text{NO}_x$ -emissies zijn mogelijk omdat het verbrandingsproces bij lagere temperaturen kan plaatsvinden; helemaal zeker is dit echter nog niet. De  $\text{H}_2\text{O}$ -emissies bedragen ongeveer het drievoudige van die van de huidige brandstoffen. Een praktisch probleem is dat een tank moet worden meegenomen voor het opbergen van de voor de vlucht noodzakelijke grotere hoeveelheid brandstof. Ook moet nog meer duidelijkheid worden verkregen over de veiligheidsaspecten van een dergelijk vliegtuig en moeten kostbare infrastructurele voorzieningen worden aangebracht op luchthavens voor het tanken van deze brandstof. Mede daardoor verkeert het ontwerp nog in het tekentafelstadium. Dit geldt ook voor andere, voornamelijk Russische, studieprojecten gericht op het toepassen van methaan uit aardgas. Niettemin zijn met alternatieve brandstoffen emissiereducties mogelijk.

### *3.3 Operationele maatregelen*

Operationele maatregelen hebben betrekking op het gebruik van het vliegtuig tijdens de kruisvlucht en tijdens de LTO-cyclus op en rond de luchthaven, op basis van de huidige technologie.

Tijdens de kruisvlucht vinden de emissies gedeeltelijk plaats rond de tropopause. De nadelige effecten van  $\text{NO}_x$ -emissies zijn hier het grootst. In het kader van deze nota is nagegaan of het **verlagen van de vlieg-hoogte** een zinvolle maatregel kan zijn om de totale effecten van luchtvaartemissies te verkleinen. De huidige verkeersvliegtuigen zijn ontworpen voor grote hoogte vanwege het lage brandstofverbruik van de motoren in relatie tot een hoge snelheid. Het rendement van de motor op

hoogte is groot omdat de omgevingstemperatuur laag is. De hoge snelheid is mogelijk door de lage wrijvingsweerstand van de atmosferische lucht. De optimale vlieghoogte van een vliegtuig hangt af van een complex van factoren, zoals de atmosferische condities en het gewicht. Atmosferische condities kunnen snel wijzigen. Ook het vlieggewicht verandert voortdurend omdat de hoeveelheid brandstof gedurende de vlucht afneemt. Bij een hoog gewicht, kort na de start, ligt de optimale vlieghoogte onder tropopauzeniveau, terwijl de optimale hoogte voor een vliegtuig, dat de brandstof bijna heeft verbruikt, boven de tropopauze ligt.

Verlaging van de vlieghoogte zal dus leiden tot een toename van het brandstofverbruik en emissies. Voor de Noordatlantische vluchtcorridor is door het NLR berekend wat de effecten zijn van het leggen van restricties op de vlieghoogte (KNMI en NLR, 1994). De berekening toont aan dat vermindering van emissies in het tropopauzegebied mogelijk is, maar dat dit ten koste gaat van een toename van de totale emissies. Een verlaging van de vlieghoogte resulteert in een meer dan proportionele toename van de emissies in de troposfeer. Mede gezien de huidige inzichten in de effecten van luchtvaartemissies op het klimaat lijkt het vooralsnog niet zinvol om vlieghoogterestricties door te voeren.

Een andere mogelijke operationele maatregel die betrekking heeft op de kruisvlucht is het enigszins **verlagen van de vliegsnelheid** van het huidige vliegverkeer. De door de motoren te leveren stuwkracht en dus het volume van de noodzakelijke brandstof zijn tijdens de vlucht afhankelijk van de weerstanden die het vliegtuig ondervindt. Zonder voorwaartse snelheid kan een vliegtuig niet vliegen. De totale weerstand van een vliegtuig wordt daarom uitgesplitst in twee elementen: de wrijvingsweerstand («friction drag») en de geïnduceerde weerstand die nodig is om te kunnen vliegen («induced drag»). Induced drag is het gevolg van de opwekking van draagvlak van de vleugels. Met het toenemen van de vliegsnelheid neemt de friction drag toe en de induced drag af. De ontwikkeling van deze twee soorten weerstanden en het resultaat hiervan op de totale weerstand voor een bepaald type vliegtuig bij een bepaalde vlieghoogte en vlieggewicht is getoond in figuur 3.1. Uit deze figuur blijkt dat er sprake is van een optimale vliegsnelheid, namelijk daar waar de totale weerstand het laagst is.

Het verlagen van de vliegsnelheid tot beneden het niveau van de optimale snelheid heeft een ongunstig effect op het brandstofverbruik. Met een dergelijke snelheid nemen ook de emissies van CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O en SO<sub>2</sub> toe. De verandering van de overige emissies is afhankelijk van het ontwerp van de motoren en de condities waaronder deze moeten opereren. In het algemeen kan worden gesteld dat bij een lagere vliegsnelheid de CO- en VOS- emissies toenemen en de NO<sub>x</sub>-emissies afnemen. Het NLR heeft met behulp van een model voor een concreet vliegtuig (de Boeing 747-400) berekend wat de effecten van een snelheidsverlaging op het brandstofverbruik en de emissies per afgelegde passagierskilometer zijn (KNMI/NLR, 1994). Uit deze berekening blijkt dat een verlaging van de vliegsnelheid resulteert in een afname van de NO<sub>x</sub>-emissies die sterker is dan de toename van de andere emissies. In hoofdstuk 2 is gesteld dat het effect van de CO<sub>2</sub>- en de NO<sub>x</sub>-emissies voor de luchtvaart voor wat betreft klimaatverandering ongeveer vergelijkbaar zijn en dat deze voor H<sub>2</sub>O en SO<sub>2</sub> nog onzeker zijn. De CO- en VOS-emissies door de luchtvaart spelen in de hogere luchtlagen een minder belangrijke rol. Op basis van deze inzichten kan worden gesteld dat verlaging van de vliegsnelheid mogelijk een gunstig effect heeft op de totale bijdrage van luchtvaart in de klimaatverandering. Deze conclusie moet echter met de nodige zorgvuldigheid worden betracht. De berekening is uitgevoerd met behulp van één model en heeft betrekking op één vliegtuigtype. Nagegaan moet nog

worden of deze berekening overeenkomt met de praktijk en wat de resultaten zijn bij toepassing van de berekening op andere vliegtuigtypen.

Een derde categorie van mogelijke operationele maatregelen die betrekking heeft op de kruisvlucht is het **veranderen van vliegroutes**. Deze maatregel kan in bepaalde gevallen leiden tot milieuvoordelen, namelijk wanneer vliegroutes zoveel mogelijk worden gekozen in gebieden waar de milieu-effecten het kleinst zijn. In het algemeen kan worden gesteld dat verandering van deze vliegroutes tegelijkertijd zowel positieve als negatieve gevolgen heeft voor de milieubelasting. De huidige kennis over de rol en bijdrage van luchtvaartemissies in het thema klimaatverandering is op dit moment onvoldoende gevorderd om een afgewogen oordeel te hebben over de voor- en nadelen van een dergelijke maatregel.

Bij operationele maatregelen die betrekking hebben op de kruisvlucht zijn de mogelijkheden van de internationale navigatie- en luchtverkeersbeveiligingssystemen van groot belang. Een efficiëntere inzet van het Europese systeem van **luchtverkeersbeheersing en -beveiliging** kan reeds een aanzienlijke besparing van brandstof opleveren; volgens een schatting van de KLM 10% in het Europese luchtverkeer. Het rapport van de Commissie de Croo over de huidige problemen in de Europese luchtvaart vraagt hiervoor onder andere aandacht. De Europese Commissie heeft op basis van dit rapport een actieprogramma opgesteld dat onlangs is goedgekeurd door de Raad van Ministers en dat onder andere een politiek en institutioneel kader wil scheppen dat vereist is voor de tenuitvoerlegging van één enkel systeem voor luchtverkeersbeheersing in Europa. Ook wordt met dit programma aangesloten op internationale initiatieven voor nieuwe satelietnavigatiesystemen. Met deze nieuwe systemen kan de internationale luchtverkeersbeheersing nauwkeuriger worden en kunnen congestieproblemen worden voorkomen. Ook in Nederland wordt, in een gezamenlijke aanpak tussen overheid, defensie-autoriteiten en civiele luchtvaart, op dit moment aandacht besteed aan een meer efficiënt gebruik van het Nederlandse luchtruim.

Een andere maatregel in de sfeer van luchtverkeersbeheersing is een andere **indeling van het luchtruim**. Het gebruik van het luchtruim wordt in hoge mate bepaald door de ligging van civiele en militaire luchtvaartterreinen en de daarmee samenhangende vertrek- en naderingsprocedures. Een gedeelte van het luchtruim wordt gecontroleerd door civiele luchtverkeersbeveiligingsinstanties en een ander deel door militaire luchtverkeersbeveiligingsinstanties. Civiele en militaire luchtvaartuigen hebben, binnen de door de luchtvaartautoriteiten gestelde regels, toegang tot het gehele luchtruim.

Om redenen van openbare veiligheid, bescherming van zaken op de grond en ter voorkoming van vermenging van de luchtvaart met activiteiten die niet met de uitoefening van de normale luchtvaart zijn te combineren zijn zogenaamde restricted/prohibited/danger areas en bijzondere luchtverkeersgebieden ingesteld. In sommige gebieden mag geen enkele vorm van zowel civiele als militaire luchtvaart plaatsvinden; in andere gebieden is alleen luchtvaart onder bepaalde voorwaarden mogelijk. In Nederland worden de militaire gebieden, indien hierin geen militaire activiteiten plaatsvinden, vrijgegeven voor de civiele luchtvaart. Ook worden gedurende perioden van groot aanbod van civiele vluchten gedeelten van militair gecontroleerd luchtruim geheel of gedeeltelijk ter beschikking gesteld van de civiele luchtvaart. Indeling en gebruik van het luchtruim is geen vaststaand gegeven. In overleg tussen civiele en militaire luchtvaartautoriteiten wordt in een goede belangenafweging voortdurend gewerkt aan mogelijkheden voor het uitvoeren van zo

optimaal mogelijk gebruik van het luchtruim. Op deze wijze wordt momenteel flexibel met het gebruik van luchtruim omgesprongen en kan brandstof worden bespaard.

De Nederlandse situatie geldt nog niet voor alle landen van Europa. Inmiddels is binnen het European Air Traffic Control Harmonization and Integration Project (EATCHIP), analoog aan de Nederlandse situatie, het «Concept of Flexible Use of Airspace» ontwikkeld. Dit concept is een verfijning van de in Nederland reeds bestaande procedure en voert deze procedure nu ook in andere Europese landen in. Het concept maakt het mogelijk om van dag tot dag een goede afweging te maken tussen de civiele en militaire belangen en het gebruik van het luchtruim hierop aan te passen. Aldus worden vertragingen in de lucht en omvliegen tot een minimum beperkt. Dit heeft een verdere gunstige invloed op de uitstoot van emissies.

Een laatste categorie van operationele maatregelen heeft betrekking op de **LTO-cyclus op en rond de luchthaven**. Omdat het grootste gedeelte van de emissies plaatsvindt tijdens de kruisvlucht zullen deze maatregelen geen grote bijdrage kunnen leveren aan de totale milieubelasting van de luchtvaartemissies. Niettemin verdient deze categorie van maatregelen aandacht.

Een van deze maatregelen is het gebruik van de zogenaamde Continuous Descent Approach (CDA). Het gaat hierbij om een systeem waarbij tijdens de nadering in de laatste fase van de vlucht door de vlieger een economisch motorvermogen wordt toegepast en waarbij het ingrijpen van de luchtverkeersbeveiliging op de vliegbaan tot een minimum wordt beperkt. Deze nadering is in eerste instantie ontworpen om de geluids-overlast in de nachtelijke uren boven stedelijke gebieden te verminderen, maar levert ook een reductie op van vliegtuigemissies. De verwachting is dat het systeem in Nederland operationeel wordt nadat de luchtverkeersbeveiliging en de verkeersleiders een speciale training hebben afgerond (waarschijnlijk eind 1995).

Naast de in deze paragraaf genoemde maatregelen zijn activiteiten in de bedrijfseconomische sfeer van luchtvaartmaatschappijen en luchthavens denkbaar die een gunstige invloed op de totale luchtvaartemissies kunnen hebben. Een voorbeeld hiervan is het verhogen van de **bezettingsgraad** (het gemiddelde aantal bezette passagiersstoelen ten opzichte van het aantal aangeboden passagiersstoelen) en de beladingsgraad (een vergelijkbare indicator voor vracht). Dit zijn enkele van de meest belangrijke bedrijfseconomische prestatiecriteria van luchtvaartmaatschappijen. De gemiddelde bezettingsgraad van de Europese maatschappijen schommelde in de afgelopen jaren rond de 60% (EC, 1994). Kleine veranderingen in de bezettingsgraad of de beladingsgraad hebben grote financiële gevolgen voor de betreffende maatschappij. Een verhoging van de bezettingsgraad kan relatieve milieuwinst opleveren wanneer dit gepaard gaat met een verlaging van het aantal vluchten of wanneer het aantal vluchten minder snel stijgt dan het aantal passagiers.

### *3.4 Mobiliteitsmaatregelen*

Mobiliteit is een wezenskenmerk van onze samenleving. De civiele luchtvaart maakt deel uit van het verkeers- en vervoersnetwerk dat voorziet in het bevredigen van mobiliteitsbehoeften. In toenemende mate komt het bevredigen van deze behoefte op gespannen voet te staan met het realiseren van milieudoelen. Wanneer in dit verkeers- en vervoersnetwerk mogelijkheden bestaan om uit te wijken naar milieuvriendelijker alternatieven kan milieuwinst worden geboekt.

In de afgelopen jaren is veel vergelijkend onderzoek verricht naar de milieu(on)vriendelijkheid van vervoersalternatieven. Omdat deze nota is gericht op de emissies van het vliegverkeer blijft deze paragraaf beperkt tot een vergelijking die betrekking heeft op emissies. De vergelijking van de milieu(on)vriendelijkheid wordt uitgevoerd op basis van de emissies per passagierskilometer.

Waarin vliegtuigen zich van andere transportmodaliteiten onderscheiden is dat de gemiddelde emissies per passagierskilometer sterk afhangen van de afgelegde afstand. Dit wordt veroorzaakt door de invloed van de stijgvlucht op het gemiddelde. Voor kortere afstanden zetten luchtvaartmaatschappijen in het algemeen kleinere vliegtuigen in. Voor andere transportmodaliteiten is sprake van een geringe afhankelijkheid van de afstand en worden voor kortere en langere afstanden dezelfde vervoermiddelen gebruikt.

In tabel 3.1 is een overzicht getoond van de emissies per passagierskilometer voor een afstand van hemelsbreed 500 km voor diverse transportmodaliteiten op basis van gemiddelde emissieprestaties van de transportmodaliteiten uit de periode 1988–1990. De vergelijking is hierbij gemaakt met een vliegtuig dat wordt gebruikt voor kortere afstanden, de Boeing 737–300.

Op basis van de gegevens uit tabel 3.1 kan worden geconcludeerd dat de emissieprestaties van transportmodaliteiten sterk verschillen. Voor CO<sub>2</sub> vormt de bus het meest milieuvriendelijke alternatief. Voor CO en NO<sub>x</sub> zijn dit de HST en de intercity. Voor VOS zijn de Boeing 737, de HST en de intercity milieuvriendelijke alternatieven, terwijl de auto en de Boeing 737 dit zijn voor SO<sub>2</sub>. Qua gemiddelde emissieprestaties ontlopen de bus, de auto en de Boeing 737 elkaar niet veel. Het beste alternatief uit emissie-oogpunt wordt volgens deze tabel gevormd door de HST en de Intercity.

**Tabel 3.1 De emissies per passagierskilometer van diverse transportmodaliteiten voor een afstand van 500 km (ECN, CBS en NLR)**

Transportmodaliteit	Bezettingsgraad	CO <sub>2</sub> (g/pkm)	CO (mg/pkm)	NO <sub>x</sub> (mg/pkm)	VOS (mg/pkm)	SO <sub>2</sub> (mg/pkm)
Bus <sup>1</sup>	70%	22	75	479	56	23
HST <sup>1</sup>	65%	48	2	87	12	60
Intercity <sup>1</sup>	44%	51	2	94	13	64
Personenauto			250–	270–		
(benzine)	2 pers.	86 <sup>1</sup>	1 600 <sup>2</sup>	145 <sup>2</sup>	45–220 <sup>2</sup>	7 <sup>1</sup>
Boeing 737–300 <sup>3</sup>	71%	146	240	440	10	10

<sup>1</sup> Gemiddelden over de periode 1988–1990 (ECN, 1994)

<sup>2</sup> Gegevens van een personenauto uit 1990 met een geregelde 3-weg katalysator. De eerste waarde betreft de emissies tijdens gebruik op de autosnelweg; de tweede waarde betreft de emissies in de stad (CBS)

<sup>3</sup> Modelberekening volgens het NLR

Andere nationale en internationale studies op dit terrein, die in een aantal gevallen als gevolg van andere uitgangspunten en aannames hebben geleid tot afwijkende rekenresultaten, bevestigen dit algemene beeld. Voor de goede orde zij vermeld dat de verschillen in de emissies per passagierskilometer tussen het vliegtuig enerzijds en de andere transportmodaliteiten anderzijds kleiner worden naarmate de afgelegde afstand groter wordt. Voor de grotere afstanden komt het vliegtuig in een veel betere positie omdat de start- en de stijgvluchtfase, waarin relatief veel brandstof wordt verbruikt, minder zwaar op de gemiddelde cijfers per



passagierskilometer drukt. Bij de grotere afstanden zijn de emissies per passagierskilometer voor het vliegtuig daarom tot een factor twee lager.

Mobiliteitsmaatregelen zijn alleen mogelijk wanneer in de verkeers- en vervoersmarkt reële alternatieven kunnen worden geboden. Wanneer de markt van de vraagzijde wordt gezien dan zijn alternatieven voor personenverkeer op de eerste plaats afhankelijk van het reismotief en de reisbestemming. Het keuzegedrag van zakelijke reizigers verschilt van het gedrag van niet-zakelijke reizigers. De afstand, de daarmee samenhangende reistijd en de kosten kunnen in het keuzegedrag als belangrijke factoren worden beschouwd.

Ook de aanbodzijde van de markt oefent invloed uit op het keuzegedrag. Immers, reizigers kunnen pas kiezen wanneer alternatieven beschikbaar zijn. Een in dit opzicht belangrijk aspect is de infrastructurele gebondenheid en de flexibiliteit van transportmodaliteiten. Binnen het huidige Europese wegennet kunnen auto's en bussen zeer flexibel worden ingezet; elke denkbare bestemming is met deze transportmodaliteiten te bereiken. De keuze voor de trein is daarentegen afhankelijk van het bestaande lijnennet en vormt alleen voor bepaalde bestemmingen een reëel alternatief binnen Europa.

In het algemeen wordt de concurrentiepositie van het vliegtuig gunstiger naarmate de af te leggen afstand groter wordt. Het merendeel van de bestemmingen buiten Europa kan, binnen een reëel tijdsbestek, echter alleen worden bereikt met het vliegtuig. Andere transportmodaliteiten vormen hier derhalve geen reëel alternatief. Onderzoek van het Institute of Air Transport (IAT, 1991) naar de concurrentiepositie tussen de HST en het vliegtuig laat onder meer zien dat op afstanden van hemelsbreed minder dan 250 km tijd en kosten in het voordeel zijn van de HSL. Op afstanden boven 1 000 km is het vliegtuig zowel qua tijd als kosten voordeliger. Voor de tussenliggende afstanden concurreren beide transportmodaliteiten met elkaar en zal de reiziger reistijd en reiskosten tegen elkaar afwegen om tot een optimale keuze te komen. Met de voorgenomen uitbreiding van Schiphol, zoals geformuleerd in de PKB Schiphol en Omgeving deel 3, kiest het Kabinet voor het aansluiten van Nederland op het toekomstig Europese netwerk van hoge snelheidsrailverbindingen.

### *3.5 Samenvatting*

Op basis van de in de voorgaande paragrafen gegeven inventarisatie wordt duidelijk dat een aantal oplossingsrichtingen kan worden aangedragen voor het bestrijden van de schadelijke gevolgen van luchtvaartemissies.

Met technische maatregelen kunnen nog aanmerkelijke verbeteringen van de emissies per eenheid transportprestatie worden bereikt. Hierbij geldt echter dat veelbelovende technieken vaak nog in het ontwerpstadium verkeren en dat nog aanzienlijke inspanningen nodig zijn alvorens deze daadwerkelijk kunnen worden toegepast in vliegtuigen en motoren.

Het verlagen van de vlieghoogte is met de huidige vliegtuigtypen niet zinvol. Het verlagen van de vliegsnelheid verdient meer studie vanwege de milieupotenties. Grote milieuvoordelen mogen van deze maatregel echter niet worden verwacht.

De voorgaande conclusies over operationele maatregelen zijn niet verwonderlijk gezien de huidige vliegtuigontwerpen waarbij vliegsnelheid

en vliegbereik vanwege de commerciële betekenis van oudsher van groot belang zijn. Het heeft geen zin om met de bestaande vliegtuigen lager of langzamer te vliegen. Dit behoeft echter niet de ontwikkeling van nieuwe vliegtuigconcepten uit te sluiten die uit milieu-oogpunt optimaal opereren met lagere snelheden of op geringere hoogte. Een vliegtuig dat is geoptimaliseerd voor een lagere vliegsnelheid zal lager vliegen en bij een gelijkblijvende afstand per afgelegde passagierskilometer minder emissies uitstoten. Voor deze vlucht zal het echter meer tijd nodig hebben. Of er een plaats zal kunnen zijn voor een dergelijk vliegtuig in de internationale luchtvaartwereld moet nog worden gezien, gelet ook op de versterkte aandacht in internationaal verband voor de ontwikkeling van een nieuwe generatie supersone vliegtuigen.

Voor het verleggen van vluchtroutes ontbreekt op dit moment de kennis over de milieu-effecten om een afgewogen beslissing over de voor- en nadelen van een dergelijke maatregel te nemen. Andere operationele maatregelen, zoals het verbeteren van de luchtverkeersbeheersing en -beveiliging en het verhogen van de bezettingsgraad, hebben een gunstig neveneffect op het gemiddelde brandstofverbruik per passagierskilometer. De luchtvaartsector zal uit concurrentie-overwegingen zoeken naar doelmatigheidsverbeteringen. Het is verstandig om bij het zoeken naar maatregelen ter bestrijding van de schadelijke gevolgen van luchtvaartemissies aansluiting te zoeken bij dit streven.

Op basis van een vergelijking van de emissies per passagierskilometer kan worden geconcludeerd dat het vliegtuig, de personenauto en de bus minder milieuvriendelijke alternatieven zijn dan de HST en Intercity. Op de kortere afstanden zal een substitutie van de vervoersvraag van vliegtuig naar HST of Intercity daarom een gunstig effect hebben op de ontwikkeling van de emissies van de totale verkeerssector. Mobiliteitsmaatregelen zijn echter alleen zinvol wanneer in de verkeers- en vervoersmarkt reële alternatieven kunnen worden geboden. Voor Europese bestemmingen geldt dat andere transportmodaliteiten voor bepaalde reismotieven en reisbestemmingen een reëel alternatief kunnen vormen voor het vliegtuig. In het algemeen wordt de concurrentiepositie van het vliegtuig gunstiger naarmate de af te leggen afstand groter wordt. Het merendeel van de bestemmingen buiten Europa kan echter, binnen een reëel tijdsbestek, alleen worden bereikt met het vliegtuig. Andere transportmodaliteiten vormen hier derhalve geen reëel alternatief. Volumereductie is in dit geval alleen mogelijk door af te zien van reizen.

In de hiervoor aangedragen oplossingsrichtingen voor het bestrijden van de schadelijke gevolgen van luchtvaartemissies is uitsluitend naar milieu-aspecten gekeken. Of deze maatregelen als beleidsvoornemen aan de orde kunnen komen, respectievelijk daadwerkelijk getroffen worden, hangt mede af van andere, nog niet onderzochte aspecten, zoals kosteneffectiviteit, veiligheid en economische gevolgen.

#### **4. Beleid**

##### *4.1 Algemeen*

De problematiek die in deze nota is beschreven bevindt zich zowel nationaal als internationaal nog aan het begin van de milieu-beleidscyclus. Hierbij ligt de nadruk op probleemverkenning en -erkenning. Hoewel het wetenschappelijke inzicht nog niet voldoende is gevorderd om volledige zekerheid te geven over de probleemstelling, kan niettemin worden geconcludeerd dat het probleem op dit moment voldoende is verkend voor nadere beleidsvorming op dit terrein. De bijdrage van de luchtvaart aan de afbraak van de ozonlaag, het versterkte

broeikasewfect, de verzuring, de lokale luchtkwaliteit en stank is vooralnog beperkt te noemen: in de orde van enkele procenten. Als gevolg van de groei, die deze sector volgens de prognoses nog zal doormaken en de verwachte effecten van het in gang gezette beleid voor andere bronnen, zal deze bijdrage bij ongewijzigd beleid in de toekomst echter toenemen.

Bij het opstellen van deze nota is gebruik gemaakt van onderzoeken die recent in Nederland en in het buitenland zijn verricht. Hiermee zijn echter niet alle vragen beantwoord. Er blijven op een aantal belangrijke punten nog onzekerheden bestaan. Gezien de mogelijke effecten, die de emissies van de luchtvaart kunnen hebben en het feit dat de emissies van de luchtvaart op hoogte plaatsvinden, blijft voorzichtigheid uit milieuopectiek geboden.

De hoofddoelstelling van het milieubeheer is het in stand houden van het draagvermogen van het milieu ten behoeve van een duurzame ontwikkeling. Op basis van de inzichten in deze nota kan geconstateerd worden, dat de luchtvaart een rol speelt bij de belasting van het mondiale milieu, hetgeen het voeren van een beleid voor deze sector rechtvaardigt. Daar komt nog bij dat Nederland mede-ondertekenaar is van de internationale verzuringsprotocollen en het Klimaatverdrag, welke zich richten op een beperking van antropogene emissies van verzurende stoffen respectievelijk van broeikasgassen.

Het Nederlandse beleid is daarom gericht op het in internationaal verband terugdringen van de groei van de luchtvaartemissies, zo mogelijk het stabiliseren van deze emissies, een en ander in overeenstemming met internationale verdragen zoals het Klimaatverdrag.

Het internationale karakter van de luchtvaartsector biedt nauwelijks ruimte voor een autonoom beleid door individuele landen. Nederland behoort weliswaar tot de relatief belangrijkere luchtvaartlanden van de wereld, maar heeft een beperkte invloed in internationale kaders. Invoering van maatregelen die alleen in Nederland gelden hebben een uiterst beperkt milieurendement, niet alleen vanwege het geringe aandeel van Nederland in de mondiale luchtvaartemissies, maar ook vanwege het mogelijke uitwijkgedrag van luchtvaartmaatschappijen als gevolg van bepaalde maatregelen met alle nadelige consequenties van dien voor economie en werkgelegenheid. Omdat een autonoom Nederlands beleid op dit terrein niet zinvol is vormt een internationale aanpak daarom uitgangspunt van het in de volgende paragrafen geformuleerde beleid. Met dit beleid wordt beoogd dat de internationale luchtvaartsector een bijdrage levert aan het realiseren van duurzame ontwikkeling.

Een internationale aanpak ten behoeve van de beleidsvorming op dit terrein vereist niet alleen geduld en gevoel voor (milieu)diplomatie, maar ook een flexibele en wendbare opstelling bij de keuze van zowel instrumenten als internationale fora. Hierbij dient echter zorgvuldig geopereerd te worden, om te voorkomen dat Nederland op dit terrein geïsoleerd raakt. Voor een overzicht van de huidige internationale beleidsdiscussie op dit terrein wordt verwezen naar bijlage 3 van deze nota.

In hoofdstuk 2 is de invloed beschreven van de mondiale luchtvaart op het milieu. Vervolgens zijn in hoofdstuk 3 vanuit het oogpunt van milieubeheer mogelijkheden geschetst om de emissies te reduceren. Voordat echter op verantwoorde wijze tot aanbeveling van concrete maatregelen gekomen kan worden, dienen daarnaast onder meer de veiligheidsaspecten en de economische consequenties van deze maatregelen in de beschouwing betrokken te worden. Hiertoew wordt thans een

brede beleidsanalyse uitgevoerd (het zogenaamde AERO<sup>1</sup>-project). Daarin zal het feitelijke milieurendement van concrete maatregelen worden afgezet tegen de kosten die de luchtvaartsector en de overige sectoren van de Nederlandse economie hiervoor dienen te maken. Gezien de omvang en de complexiteit van de betreffende problematiek zal dit onderzoek enige tijd vergen. In 1997 zal over de resultaten van dit onderzoek worden gerapporteerd.

#### 4.2 *Civiele luchtvaart*

In ICAO-verband zijn de laatste jaren belangrijke resultaten op het gebied van de regulering van de emissies door vliegtuigmotoren bereikt, hetgeen een positieve invloed heeft gehad op de ontwikkeling van zuiniger en schonere vliegtuigmotoren. Hierdoor zijn de emissies per passagierskilometer aanmerkelijk gereduceerd.

De reductie als gevolg van de ontwikkeling van de emissies per passagierskilometer is echter onvoldoende om de verwachte emissiegroei als gevolg van de toename van het vervoersvolume te compenseren. De regering zal daarom onderzoeken op welke wijze de groei van de luchtvaartemissies kan worden gecompenseerd binnen het totale emissiebeleid. Daarbij gelden twee uitgangspunten. Op de eerste plaats moet voor deze compensatie de meest kosteneffectieve oplossing worden gevonden. Op de tweede plaats geldt ook voor zo'n compensatie het principe «de vervuiler betaalt». Over de resultaten van dit onderzoek wordt eveneens in 1997 gerapporteerd.

Gezien het sterk internationale karakter van de problematiek en het economische belang van de sector hecht de regering er aan om zoveel mogelijk in samenspraak met de Nederlandse luchtvaartsector naar oplossingen te zoeken. Hiertoe zal het bestaande informele overleg geformaliseerd worden tot een regulier doelgroepoverleg. In dit overleg zullen afspraken over het gehele milieubeleid van de Nederlandse sector dienen te worden gemaakt en zal getracht worden om een gezamenlijke strategie voor het optreden van overheid en bedrijfsleven in de internationale overlegkaders te ontwikkelen.

Met de Nederlandse luchtvaartsector worden harde afspraken gemaakt over de wijze waarop zij bijdraagt aan de realisatie van het emissiebeleid. Deze afspraken hebben onder meer betrekking op:

- de opstelling in internationale kaders,
- de uitvoering van onderzoek naar de effecten van luchtvaartemissies en de mogelijkheden tot reductie ervan; de regering streeft hierbij naar een bundeling van op nationaal niveau aanwezige kennis,
  - het verkrijgen van een eenduidige emissieberekeningsmethode,
  - de reductie van de groei van luchtvaartemissies op basis van de vertaling van internationale doelstellingen voor de luchtvaart in concrete taakstellingen.

Door het internationale karakter van de luchtvaart ligt het niet voor de hand om op nationaal niveau emissiedoelstellingen te formuleren en te handhaven. Ook hier is een internationale aanpak de meest aangewezen weg. De ICAO is het meest geëigende internationale instituut voor de beheersing van de emissies van de mondiale luchtvaart. Nederland zet in op een internationale beheersing van de totale luchtvaartemissies en wenst in dat verband een internationale afspraak tussen de partners van het Klimaatverdrag en de Conventie van Chicago (ICAO). Deze afspraak moet tenminste bevatten:

---

<sup>1</sup> AERO = Aviation Emissions and Evaluation of Reduction Options.

- de reductie van de groei van luchtvaartemissies op basis van concrete internationale doelstellingen voor de luchtvaart,
- een emissieberekeningsmethodiek en een emissietoerekeningsmethodiek voor internationale luchtvaartemissies.

Terugdringing van de luchtvaartemissies kan alleen door middel van een eenduidig en gezamenlijk optreden van de Nederlandse overheid en de Nederlandse luchtvaartsector in de internationale fora worden gerealiseerd. De hierbij te hanteren strategie, waarvoor aansluiting gezocht zal worden bij gelijkgezinde ICAO-lidstaten en luchtvaartmaatschappijen binnen de IATA, zal de hieronder geformuleerde elementen bevatten.

De huidige inspanningen van Nederland in ICAO-kaders worden geïntensiveerd. Nederland wil hier de volgende resultaten bereiken:

- het uitdragen en verder ontwikkelen in ICAO-verband van nationaal onderzoek naar de aard, omvang en effecten van luchtvaartemissies en de verdere reductie daarvan alsmede het onderzoek naar de effecten van maatregelen om de luchtvaartemissies terug te dringen,
- een substantiële aanscherping van bestaande NO<sub>x</sub>-eisen voor vliegtuigmotoren,
- de ontwikkeling van CO<sub>2</sub>-eisen voor vliegtuigen of de ontwikkeling van een andere systematiek die leidt tot een reductie van de groei van de CO<sub>2</sub>-emissies door de luchtvaart,
- het in samenwerking met gelijkgerichte luchtvaartmaatschappijen en luchthavens binnen de gebruikelijke door hen gehanteerde overlegkaders ontwikkelen van een milieubewust luchtvaartbeleid,
- het bevorderen van de ontwikkeling van een internationaal gestandaardiseerde methode om de vliegtuigemissies voor kruisvluchtcondities te bepalen.

De Europese samenwerking bij de ondersteuning van R&D-programma's voor schone en zuinige vliegtuigen en vliegtuigmotoren moet worden geïntensiveerd. De Europese Commissie moet een sterkere rol krijgen in het uitvoeren van «competitive» R&D-programma's op dit terrein. Nederland zal hiertoe initiatieven ontwikkelen.

Nederland wil een mondiale heffing op kerosine en levert een maximale inspanning om deze te realiseren. Hiervoor wordt ondermeer het instrument van de actieve (milieu)diplomatie ingezet.

Nederland is voorstander van opheffing van de BTW-vrijstelling voor internationale vluchten, maar realiseert zich dat alleen een internationale aanpak dit kan bewerkstelligen. Nederland zal hiervoor initiatieven ontwikkelen.

Bij het ontwikkelen van nieuwe vliegtuigontwerpen moeten emissies een belangrijkere plaats krijgen. Nederland zal nagaan op welke wijze dit kan worden gestimuleerd en zal hiervoor op nationale en internationale schaal initiatieven ontwikkelen.

De belangrijke rol van de ICAO voor dit beleidsterrein is evident. Maar ook de EU kan een belangrijke rol spelen als het gaat om het realiseren van een mondiale oplossing. Van alle internationale kaders waarin Nederland opereert, heeft de EU de grootste en meest directe samenwerking met het nationale beleid. Binnen de EU kunnen op een goede manier relaties met andere internationale beleidsterreinen worden gelegd. De EU is bij uitstek het platform om met de ons omringende landen een intra-Europees verkeers- en vervoersnetwerk te ontwikkelen. Nederland zal daarom zoveel mogelijk de hefboomfunctie stimuleren die de EU op

dit terrein in internationaal verband kan vervullen. Deze hefboomfunctie zal met name worden gebruikt voor het in internationaal verband uitdragen van beleid gericht op indirecte belastingen in de civiele luchtvaart.

De Europese Raad van Ministers (Milieu) heeft in december 1994 in een raadsconclusie vastgesteld, dat vanwege de sterke toename van het vliegverkeer een verdere substantiële verlaging van de emissies van luchtverontreinigende stoffen wenselijk is, en dat het uitsluiten van de commerciële luchtvaart van indirecte belastingen (zoals kerosine-accijns en BTW) op grond van milieu-overwegingen niet langer te rechtvaardigen is. Dit standpunt wordt door het Kabinet onderschreven. Het advies van de Raad sluit aan bij het standpunt van het Kabinet dat de invoering van accijns en BTW in de civiele luchtvaart internationaal moet worden geregeld, onder meer met het oog op de concurrentiepositie van de Nederlandse luchtvaart. De Europese Commissie is gevraagd om de conclusie van de Raad mede in beschouwing te nemen bij het opstellen van het evaluatierapport over de benadering van accijnzen op minerale oliën. Het Kabinet is van mening dat heffingen in Europees verband kunnen worden overwogen wanneer deze geen schadelijke gevolgen hebben voor de concurrentiepositie van Europese luchtvaartmaatschappijen.

Op dit moment is er overleg binnen de ECAC gaande om de verkeersbegeleidingssystemen in internationaal verband beter op elkaar af te stemmen. De verbeteringen in deze systemen zullen er toe leiden, dat de vliegtuigen bij een gegeven bestemming minder lang in de lucht behoeven te blijven. Hiermee kan een reductie van de emissies worden gerealiseerd. De ECAC verricht momenteel studies naar de technische aspecten van een geïntegreerd verkeersbegeleidingssysteem in Europa. Nederland geeft in dit verband leiding aan de werkgroep die onderzoek verricht naar de institutionele aspecten van een geïntegreerd Europees verkeersbegeleidingssysteem.

De hoge snelheidslijn biedt bij bepaalde vervoersvolumina en voor bepaalde bestemmingen een alternatief voor het vliegtuig. Gedacht wordt hierbij aan bestemmingen in België, Noord-Frankrijk, het Ruhrgebied en Zuidoost-Engeland. Een voldoende concurrerend en marktgericht HST-product kan bepaalde luchtverbindingen (deels) overbodig maken, zodat in die omstandigheden bepaalde bestemmingen hetzij niet meer vanaf Schiphol behoeven te worden gevlogen, hetzij de vliegfrequentie kan worden teruggebracht, hetzij met kleinere toestellen kan worden volstaan. In deel 3 van de PKB Schiphol en Omgeving heeft het Kabinet aangegeven grote waarde te hechten aan het bevorderen van substitutie van lucht naar rail en dat het Nederland daarom wil opnemen in het toekomstig Europees netwerk van hoge snelheidsrailverbindingen. Hiermee wordt een voorwaarde geboden voor het realiseren van een substitutie van tenminste 5 miljoen passagiers van lucht naar rail in 2015. Deze omvang wordt haalbaar geacht bij een optimale aansluiting van Nederland op het net van hoge snelheidsrailverbindingen.

Het beleid in de civiele luchtvaart wordt gekenmerkt door een sterke internationale aanpak. Deze aanpak is naar de visie van het Kabinet wenselijk omdat de grensoverschrijdende en mondiale luchtverontreiniging door de luchtvaart bij uitstek een internationaal probleem is. Een nadeel van een internationale aanpak wordt gevormd door de onzekerheid over de te bereiken resultaten. Het Kabinet neemt zich daarom voor om de voortgang van de internationale beleidsvorming regelmatig te toetsen teneinde na te gaan of een versterking van het beleid op nationaal niveau nodig en wenselijk is.

### 4.3 Militaire luchtvaart

De emissies van de militaire luchtvaart zijn gering in vergelijking met die van de civiele luchtvaartsector. Zij worden bovendien niet gekenmerkt door sterke groeiverwachtingen. Niettemin hebben zij voldoende potentie voor gericht milieubeleid. Het Defensie Meerjarenplan Milieu (DMPM), waarin het integraal milieubeleid van Defensie is geformuleerd, biedt hiervoor goede aangrijpingspunten. In het DMPM zijn onder meer streefdoelen voor emissies, zoals CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>, opgenomen.

De in de Nota LULU geformuleerde inzichten gelden evenzeer voor het defensiemilieubeleid. Als uitgangspunt geldt dat de emissies van de militaire luchtvaart zoveel mogelijk worden gereduceerd, zonder dat dit ten koste gaat van de operationele taakstelling van de krijgsmacht.

Maatregelen gericht op de bestrijding van de schadelijke gevolgen van de emissies van de militaire luchtvaart zullen worden opgenomen in de milieu-uitvoeringsprogramma's van de betreffende krijgsmachtdelen.

Het NLR-rapport over de emissies van de militaire luchtvaart (1994) verschaft een eerste inzicht in de omvang van de emissies van de militaire luchtvaart. Omdat militaire vliegtuigen in het algemeen niet onderworpen zijn aan internationale emissiestandaards, zijn de emissiegegevens van de door Defensie nieuw aan te schaffen vliegtuigtypen incompleet en zal als onderdeel van het integraal defensiemilieubeleid een op modelberekeningen gebaseerde emissie monitoringssystematiek voor vliegtuig-emissies worden ontwikkeld ten behoeve van de bepaling van de effectiviteit van individuele beleidsmaatregelen. Op basis daarvan kunnen tevens de streefdoelen voor emissies nader worden uitgewerkt in de milieuplannen en -uitvoeringsprogramma's van de betreffende krijgsmachtonderdelen.

In technologisch opzicht vertonen militaire vliegtuigmotoren sterke overeenkomsten met motoren die in de civiele luchtvaart worden gebruikt. Motorfabrikanten produceren in het algemeen zowel motoren voor civiele als voor militaire toepassingen. Om deze redenen wordt de voor een bepaalde toepassing ontwikkelde technologie vaak ook voor andere toepassingen gebruikt. Bij het stimuleren van Europese R&D-programma's voor schonere en zuinigere vliegtuigmotoren zal daarom ook samenwerking worden gezocht met de militaire luchtvaartsector. Ook zullen de emissieprestaties van militaire vliegtuigen en helikopters worden betrokken bij het maken van keuzes in het defensie-aankoopbeleid.

In dit verband verdient afzonderlijke aandacht het internationale «Component Improvement Program», een R&D-programma ten behoeve van de straalmotor van de F16, waarin Nederland participeert en zich zal inspannen om de milieu-effectiviteit ervan te verhogen.

In de sfeer van operationele maatregelen en volumemaatregelen worden reeds voorzieningen getroffen ter reductie van de (effecten van) militaire luchtvaartemissies, zoals een geringer gebruik van de naverbrander bij gevechtsvliegtuigen, toenemend gebruik van vluchtsimulatoren en voor de toekomst tanken in de lucht. De milieupotentie van dergelijke maatregelen zal nog meer aandacht krijgen, ook in de opleiding en instructie van vliegend personeel.

In de steeds belangrijker wordende samenwerking met krijgsmachten van andere landen zal de emissieproblematiek van de militaire luchtvaart een zwaarder accent krijgen. Het NAVO Committee on the Challenges of Modern Society (CCMS) is hiervoor reeds een belangrijk platform. Een

onder leiding van Nederland staande CCMS-studie naar de milieuvoordelen van simulatoren is zo goed als afgerond.

#### *4.4 Kleine luchtvaart*

De kleine luchtvaart heeft een gering aandeel in de emissies van de totale luchtvaartsector. De emissies zijn voornamelijk van lokale betekenis. Niettemin zijn ook hier verbeteringen van de emissieprestaties mogelijk. In overleg met vertegenwoordigers van de doelgroep zal een inventarisatie worden opgezet van de technische mogelijkheden die hier bestaan voor emissiereductie. Op basis daarvan worden afspraken gemaakt met de doelgroep.



## Literatuurlijst

AERONOX, 1995. The Impact of NO<sub>x</sub> Emissions from Aircraft upon the Atmosphere at Flight Altitude 8 – 15 km (AERONOX) (in print).

Bleijenberg, A.N. en Moor, R., 1993. Air Pollution by Air Traffic: Overview of problems and possible solutions. Augustus 1993. Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie, Delft.

Boeing, 1992. Current Market Outlook 1992. March 1992. Boeing Commercial Airplane Group, Seattle.

CBS, 1994. Maandstatistiek Verkeer. Centraal Bureau voor de Statistiek.

CPB, 1992. Scanning the Future, A Long-Term Scenario Study of the World Economy 1990–2015. 1992 Centraal Planbureau, Den Haag.

Croo, H. de, 1994. Expanding Horizons: A report by the Comité des Sages for Air Transport to the European Commission. January 1994. European Commission, Brussels.

ECAC, 1995. Deelrapport over de NO<sub>x</sub>-emissies door de mondiale luchtvaart, opgesteld in het kader van het onderzoeksproject AERONOX door de ANCAT-werkgroep van de ECAC. April 1995.

ECN, 1994. J. Slanina et al. De effecten van vliegtuigemissies op de atmosfeer. Energie-onderzoek Centrum Nederland, Petten.

EDF, 1994. A. Vedentham en M. Oppenheimer. Aircraft Emissions and the Global Atmosphere. 1994. Environmental Defense Fund, New York.

EC, 1994. Mededeling van de Commissie «Een betere toekomst voor de burgerluchtvaart in Europa». COM(94) 218 def., 1 juni 1994. Europese Commissie, Brussel.

Flight, 1994. Artikel «Forecasts 1995» uit Flight International van 21 december 1994.

IAT, 1991. Rail/Air complementarity in Europe, The Impact of High-Speed Train Service. Studie uitgevoerd in opdracht van de Europese Commissie, Brussel.

ICAO, 1992. Investment requirements for aircraft fleets and for airport and route facility infrastructure to the year 2010. Circular 236-AT/95, International Civil Aviation Organization, Montreal.

ICAO, 1994a. Civil Aviation Statistics of the World – 1993. Doc 9180/19, International Civil Aviation Organization, Montreal.

ICAO, 1994b. ICAO Journal, volume 49, no.6. International Civil Aviation Organization, Montreal.

IEA, 1993. Oil and Gas Information 1993.

IEE, 1993. Eindrapport Inventarisatie Economische Effecten. December 1993. Project Mainport en Milieu Schiphol, Den Haag.

IOO, 1994. J. van der Bij, E. Boneschansker, A.P.G. de Moor. Luchtvaart en milieu: instrumenten voor overheidsbeleid. Onderzoekreeks nr. 60, Juni 1994. Instituut voor Onderzoek van Overheidsuitgaven, Den Haag.

- IPCC, 1990. Climate Change; the IPCC Impact Assessment.
- IPCC, 1992. J.T. Houghton et al (eds). Climate Change 1992: The IPCC Supplementary Report. Cambridge University Press.
- IPCC, 1994. Radiative Forcing of Climate Change. The 1994 Report of the Scientific Assessment Working Group of IPCC; summary for Policy Makers. UNEP/WMO.
- KNMI, 1994. W.M.F. Wauben, P.F.J. van Velthoven and H. Kelder. Chemistry and transport of NO<sub>x</sub> aircraft emissions in a global 3-D chemical transport model. In U. Schumann and D. Wurzel (eds.): The impact of emissions from aircraft and spacecraft upon the atmosphere, 241–246. Ook verkrijgbaar als KNMI publikatie KO-94-05.
- KNMI, 1995a. W.M.F. Wauben, P.F.J. van Velthoven and H. Kelder. Changes in tropospheric NO<sub>x</sub> and O<sub>3</sub> due to subsonic aircraft emissions, KNMI Wetenschappelijk Rapport, WR 95-04.
- KNMI, 1995b. J.P.F. Fortuin, R. van Dorland, W.M.F. Wauben and H. Kelder. Greenhouse effects of aircraft emissions as calculated by a radiative transfer model. Geaccepteerd voor publikatie in Annales Geophysicae.
- KNMI/NLR, 1994. W. Fransen (ed) en J.A. Peper. Atmospheric Effects of Aircraft Emissions. Ministry of Transport, Public Works and Water Management, The Hague.
- NLR, 1992. H.B.G. ten Have. Passenger Transport: Energy Use and Air Polluting Emissions. NLR rapport CR 92 377 L, 1992. Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium, Amsterdam.
- NLR, 1993. J.A. Peper. Brandstofverbruik en emissies door vliegtuig-gasturbinemotoren. NLR rapport CR 93 399 L, 1993. Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium, Amsterdam.
- NLR, 1994a. R. van Drimmelen, J.A. Peper en H.B.G. ten Have. Inventarisatie van luchtverontreiniging door civiele luchtvaart in het Nederlandse luchtruim in 1992. NLR rapprt CR 94 209 L, 1994. Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium, Amsterdam.
- NLR, 1994b. J.A. Peper en F. Asmelash. Emissies in het Nederlandse luchtruim door de militaire luchtvaart in 1992. NLR rapprt CR 94 413 L, 1994. Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium, Amsterdam.
- NMP 2, 1993. Nationaal Milieubeleidsplan 2. Gedrukt als Tweede Kamer, vergaderjaar 1993–1994, 23 560, nrs. 1–2.
- Nota Klimaatverandering, 1991. Gedrukt als Tweede Kamer, vergaderjaar 1991–1992, nummer 22 232, nrs. 1–2.
- RIVM, 1991. J.G.J. Olivier (ed). Inventory of Aircraft Emissions: a review of recent literature. RIVM-report 736 301 008, November 1991. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Bilthoven.
- RIVM, 1993a. Nationale Milieuverkenning 3 (1993–2015). 1993. Samsom H.D. Tjeenk Willink bv, Alphen aan den Rijn.

RIVM, 1993b. Milieurendement van het NMP 2; Aanvulling op de Nationale Milieuverkenning 3. 1993. Samsom H.D. Tjeenk Willink bv, Alphen aan den Rijn.

RIVM, 1995a. J.P. Beck et al. Three-Dimensional Model Study of the Impact of Aircraft Exhaust Emissions. RIVM-report, april 1995. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Bilthoven.

RIVM, 1995b. J.G.J. Olivier. Scenarios for Global Emissions From Air Traffic. RIVM-report 773 002 003, april 1995. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Bilthoven.

RIVM/AVV, 1993. G.P. van Wee en J. van der Waard (eds). Verkeer en vervoer in de Nationale Milieuverkenning 3 en de SVV-verkenning 1993. RIVM-rapport nr. 251 701 014, december 1993. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Bilthoven.

Royal Commission on Environmental Pollution, 1994. Transport and Environment. Eighteenth report of the Royal Commission on Environmental Pollution on Transport and the Environment, London.

Schumann, U., 1994. On the effect of emissions from aircraft engines on the state of the atmosphere. *Ann. Geophysicae*, 12, 365–484.

Schumann, U. en Wurzel, D. (eds), 1994. Impact of Emissions from Aircraft and Spacecraft Upon the Atmosphere, Proceedings of an International Scientific Colloquium Köln, April 18–20, 1994. Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt, Köln.

TNO, 1993. J. den Boeft, C. Huygen, W.A.M. den Tonkelaar. Luchtverontreiniging en geur: Thematische bijlage bij de Integrale Milieueffectrapportage Schiphol. 1 november 1993. Instituut voor Milieuwetenschappen TNO (IMW), Delft.

V&W, 1994. Verslag van de Workshop Luchtverontreiniging en Luchtvaart. Brief VI/L 94 006081 augustus 1994, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag.

VRM, 1994. National Communication on Climate Change Policies. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag.

Winter-Sorkina, R. de, 1994. Total Ozone Trend Analysis from the TOMS Data. Proceedings of an International Conference on Climate Change Research in Maastricht (The Netherlands). 6–9 December 1994 (in print).

UNEP/WMO, niet gedateerd. United Nations Framework Convention on Climate Change. Niet gedateerd. UNEP/WMO Information Unit on Climate Change (IUCC), Geneva.

WMO, 1992. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1991, Global Ozone Research and Monitoring Project – Report NO. 25, World Meteorological Organization.

WMO, 1994. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1994 Chapter 11 Subsonic and Supersonic Aircraft Emissions, World Meteorological Organization (in print).

Wuebbles, D.J. and D.E. Kinnison, 1990. Sensitivity of stratospheric ozone to present and possible future aircraft emissions. In: U. Schumann

(ed.): Air Traffic and the Environment. Lect. Notes in Engineering, 60, Springer Publ., Berlin, pp. 107–123, 1990.

## Verklaring van gebruikte afkortingen

AERO-project	Aviation Emissions and Evaluation of Reduction Options
ANCAT	Group of Experts on the Abatement of Nuisances Caused by Air Transport
BG	Balanced Growth (CPB-scenario)
CAEP	Committee on Aviation Environmental Protection
CBS	Centraal Bureau voor de Statistiek
CDA	Continuous Descent Approach
CLRTAP	Convention on Long Range Transboundary Air Pollution
CO	Koolmonoxyde
CO <sub>2</sub>	Kooldioxyde
COP	Conference of the Parties
CPB	Centraal Plan Bureau
DLR	Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt
DMPM	Defensie Meerjarenplan Milieu
DTI	Department for Trade and Industry
EATCHIP	European Air Traffic Control and Integration Project
EC	Europese Commissie
ECAC	European Civil Aviation Conference
ECN	Energie Centrum Nederland
EDGAR	Emission Database for Global Atmospheric Research
ER	European Renaissance (CPB-scenario)
EU	Europese Unie
GS	Global Shift (CPB-scenario)
H <sub>2</sub> O	Water(damp)
HSL	Hogesnelheidslijn
HST	Hoge Snelheids Trein
IAT	Institute of Air Transport
ICAO	International Civil Aviation Organization
IEA	International Energy Agency
IEE	Inventarisatie Economische Effecten
IMER	Integrale Milieu-Effect Rapportage
INC	Intergovernmental Negotiating Committee
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KLM	Koninklijke Luchtvaartmaatschappij
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
LTO-cyclus	Landing and Take-Off-cyclus
MAP	Milieu Actie Programma
MV	Milieu Verkenningen
NLR	Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium
NH <sub>3</sub>	Methaan
NAVO	Noord-Atlantische Verdragsorganisatie
NMP	Nationaal Milieubeleidsplan
NO <sub>x</sub>	Stikstofoxyden
NVLS	N.V. Luchthaven Schiphol
N <sub>2</sub> O	Lachgas
OESO	Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling
O <sub>3</sub>	Ozon
PASO	Plan van Aanpak Schiphol en Omgeving
PKB	Planologische Kernbeslissing
PMMS	Project Mainport en Milieu Schiphol
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne
SO <sub>2</sub>	Zwaveldioxyde
TGV	Train Grand Vitesse, Hoge Snelheids Lijn (HSL)
UNEP	United Nations Environment Program
UV-straling	Ultraviolette straling

VN	Verenigde Naties
WMO	World Meteorological Organization
VOS	Vluchtige organische stoffen
WSL	Warren Spring Laboratories

## BIJLAGE 1

### Verzuringberekeningen mondiale emissies (1990)

In deze bijlage wordt de berekening nader uitgewerkt van de in paragraaf 2.6 genoemde zuurequivalenten. De verzurende werking van de luchtvaartemissies van NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> wordt hier vergeleken met mondiale en nationale emissies op basis van berekende zuurequivalenten H<sup>+</sup>. Hierbij zijn de volgende formules gebruikt:

- voor NO<sub>x</sub>:  $MH_+ = MNO_x/46$
- voor SO<sub>2</sub>:  $MH_+ = 2 * (MSO_2)/64$

In bovenstaande formules is MH<sub>+</sub> het aantal zuurequivalenten in kton en MNO<sub>x</sub> en MSO<sub>2</sub> de emissies in kton van respectievelijk NO<sub>x</sub> (als NO<sub>2</sub>) en SO<sub>2</sub>.

	Emissies (kton)		Zuurequivalen ten (kton)		Zuurequivalen ten totaal (kton)	Aandeel lucht- vaart (%)
Mondiale luchtvaart	NO <sub>x</sub> SO <sub>2</sub>	1786 156	NO <sub>x</sub> SO <sub>2</sub>	39 5	Lucht- vaart 44	0,7
Mondiaal totaal	NO <sub>x</sub> SO <sub>2</sub>	82 000 130 000	NO <sub>x</sub> SO <sub>2</sub>	1783 4063	Mondiaal 5845	–

**Berekeningen ontwikkelingen van de met Schiphol samenhangende emissies**

TNO (TNO, 1993) heeft berekeningen uitgevoerd van de emissies van het aankomende en vertrekkende vliegverkeer van de luchthaven Schiphol. De berekeningen zijn uitgevoerd voor de CPB-scenario's Global Shift (GS) en Balanced Growth (BG) in 2003 en 2015 met basisjaar 1990. Om een vergelijking met de nationale emissies voor het scenario European Renaissance mogelijk te maken is gebruik gemaakt van een interpolatie op basis van het aantal vliegbewegingen volgens IEE (1993). Dit aantal is getoond in tabel 1.

**Tabel 1**

Vliegbewegingen Schiphol (IEE 1993, * 1000 bewegingen)	1990	2003	2015
Global Shift	203	278	370
European Renaissance	203	308	432
Balanced Growth	203	372	582
Interpolatiefactor ER t.o.v. verschil tussen GS en BG	nvt	0,32	0,29

Vervolgens zijn de resultaten van de berekeningen van het TNO aangevuld met berekeningen voor het ER-scenario met gebruikmaking van de in tabel 1 genoemde interpolatiefactor. De aldus verkregen gegevens zijn voor CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> vermeld in tabel 2.

**Tabel 2**

Emissies vliegverkeer Schiphol (CO <sub>2</sub> in Mton, NO <sub>x</sub> in kton)	1990		2003		2015	
	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
Global Shift	6,7	21,8	8,8	28,7	13,6	36,4
European Renaissance	6,7	21,8	9,8	31,8	16,0	41,3
Balanced Growth	6,7	21,8	11,8	38,4	21,8	53,3

In de Milieu Verkenningen 3 en de Aanvulling op de MV3 (respectievelijk RIVM, 1993a en RIVM, 1993b) zijn de prognoses van de nationale emissies in 2010 op basis van een ER-scenario gegeven. Hierbij is uitgegaan van het in het NMP 2 geformuleerde pakket beleidsmaatregelen. Dit pakket gaat onder meer uit van hoge energieprijzen. De prognoses voor CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> zijn samengevat in tabel 3.

**Tabel 3**

Nationale emissies volgens MV3 en de Aanvulling op de MV3 (CO <sub>2</sub> in Mton, NO <sub>x</sub> in kton)	1990		2000		2010	
	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
Global Shift	184	575	179	346	196	288
European Renaissance	184	575	182	366	214	227

Om een vergelijking mogelijk te maken van de gegevens van tabel 2 met tabel 3 in 2010 is een schatting gemaakt van de emissies van het



vliegverkeer in 2010 op basis van een interpolatie van de gegevens van tabel 2 tussen 2003 en 2015. Het resultaat van deze schatting is getoond in tabel 4.

**Tabel 4**

Emissies Schiphol in 2010 (Interpolatie 2003–2015) (CO <sub>2</sub> in Mton, NO <sub>x</sub> in kton	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
Global Shift	11,6	33,2
European Renaissance	13,4	37,3
Balanced Growth	17,6	47,1

De emissies van het vliegverkeer van Schiphol komen op basis van de in deze bijlage gevolgde berekening in 2010 bij een ER-scenario overeen met 6,3% van de nationale CO<sub>2</sub>-emissies en 16,4% van de nationale NO<sub>x</sub>-emissies.

**Stand van de internationale beleidsdiscussie**

Het belangrijkste overlegorgaan voor mondiale afspraken in de luchtvaartsector is het VN-orgaan **International Civil Aviation Organization (ICAO)**, waarin bijna alle VN-lidstaten participeren. De ICAO heeft emissiestandaarden ontwikkeld voor straalmotoren die worden geaccepteerd door de aangesloten lidstaten. Deze standaarden hebben betrekking op roet, NO<sub>x</sub>, CO en koolwaterstoffen. Vanaf het eind van de jaren tachtig heeft de ICAO de aandacht voor luchtverontreiniging geïntensiveerd. Het orgaan dat is belast met de beleidsvoorbereiding op dit terrein is een commissie van experts, het Committee on Aviation Environmental Protection (CAEP). Nederland is vertegenwoordigd in deze commissie. De CAEP moet de besluitvormende organen van de ICAO voorzien van aanbevelingen over het te voeren milieubeleid. Het huidige werkprogramma loopt tot eind 1995 en moet resulteren in verbeterde inzichten ten aanzien van de door het luchtverkeer geproduceerde emissiehoeveelheden en aanbevelingen over onder andere aanscherping van de emissie-eisen voor NO<sub>x</sub>. Voor goede en gedragen resultaten overlegt het CAEP op werkniveau met mondiale belangenorganisaties van luchtvaartmaatschappijen, luchthavens en vliegtuig- en straalmotorfabrikanten. De voortgang binnen ICAO wordt hoofdzakelijk bepaald door de technologische stand van zaken en de luchtvaartbelangen van alle bij de besluitvorming betrokken lidstaten. Ook spelen de algemene aandacht van diverse lidstaten voor milieuproblemen en de kennis over de bijdrage van de luchtvaart in de milieubelasting een rol.

Voor een betere afstemming en communicatie tussen de lidstaten zijn binnen het kader van de ICAO continentale organisaties opgericht, waaronder de **European Civil Aviation Conference (ECAC)**. Binnen de ECAC wordt op een zelfstandige wijze aandacht besteed aan de luchtverontreiniging door de luchtvaart. Een «group of experts on the Abatements of Nuisances Caused by Air Transport» (ANCAT) heeft de beleidsvoorbereidende taak op dit terrein. Nederland heeft het voorzitterschap van deze expertgroep. Tussen de activiteiten van ANCAT van ECAC en CAEP van ICAO vindt een voortdurende afstemming plaats. Dit heeft onder meer tot gevolg dat de beleidslijnen van ECAC en ICAO op hoofdlijnen overeenkomen. Voor wat betreft emissiestandaarden bestaan geen onderlinge verschillen. Evenals CAEP overlegt ANCAT op werkniveau met belangenorganisaties, in dit geval Europese.

Van alle internationale kaders waarin Nederland opereert, heeft de **Europese Unie (EU)** de grootste en meest directe wisselwerking met het nationale beleid en daarmee de mogelijkheid om op alle terreinen van het milieubeleid initiatieven te nemen. In de EU kunnen bovendien relaties met alle andere beleidsterreinen worden gelegd, hetgeen mogelijkheden biedt voor externe integratie. Luchtvaart staat tot dusverre echter voornamelijk vanwege economische aspecten in de EU-belangstelling. Recentelijk heeft de Europese Commissie een actieprogramma ontwikkeld dat moet leiden tot de verbetering van de concurrentiepositie van de Europese civiele luchtvaart. Dit programma is mede gebaseerd op de aanbevelingen die zijn neergelegd in het rapport «Expanding Horizons» van een ad hoc-commissie (De Croo).

In het vijfde Milieu Actie Programma (5e MAP) van 1992 zijn geen specifieke beleidsmaatregelen opgenomen voor de luchtvaartsector. Wel biedt het programma aanknopingspunten. Deze zijn:

- Het terugdringen van de door de verkeerssector gemitteerde hoeveelheden («It will be essential to pursue a strategy aimed at reducing

- or at very least containing – the overall impact of transport on the environment.»).
- Meer aandacht voor energievriendelijke transportmodaliteiten («Improvement of competitive position of environment-friendly modes, such as railways inland and sea navigation and combined transport.»).
- Bijzondere aandacht voor technologische verbeteringen («Continued technical improvement of vehicles and fuels.»).
- Bijzondere aandacht voor het terugdringen van NO<sub>x</sub>-emissies («Stabilization at EC level emissions in 1994 (1990 level).»).
- Meer aandacht voor onderzoek («Development and application of techniques for prevention, reduction and mitigation of environmental impact.»).

Als uitvloeisel van het 5e MAP wordt op dit moment door de Commissie gewerkt aan een concept-richtlijn voor een verscherping van de door de ICAO overeengekomen NO<sub>x</sub>-standaard.

In aansluiting op deze activiteiten heeft de Europese Raad van Ministers (Milieu) in december 1994 een resolutie aangenomen over Milieu en Transport waarin tevens een passage is opgenomen over de internationale commerciële luchtvaart. De letterlijke tekst van het belangrijkste gedeelte van deze passage luidt als volgt:

«Gezien de scherpe toename van het luchtverkeer legt de Raad er de nadruk op dat het wenselijk is te komen tot een verdere aanzienlijke vermindering van de milieuverontreiniging door uitlaatgassen, en met name een vermindering van de stikstofoxyde-emissies van motoren op kruishoogte en van de CO<sub>2</sub>-emissies van het luchtverkeer, en tevens een vermindering van de geluidhinder die door vliegtuigen en luchthavenactiviteiten wordt veroorzaakt. Daarnaast moet in de Europese Unie de ontwikkeling van schone en zuinige vliegtuigmotoren worden bevorderd.

Hij verzoekt de Commissie bij de Raad voorstellen in te dienen voor initiatieven op internationaal niveau van de Lid-Staten om de op internationaal niveau in de passende fora, zoals met name de ICAO, genomen initiatieven te bevorderen en te steunen.

De Raad is van mening dat de ontheffing van indirecte belastingmaatregelen voor de commerciële luchtvaart om milieuredenen niet te rechtvaardigen is. Hij verzoekt de Commissie daarmee rekening te houden in het verslag dat zij krachtens artikel 8, lid 7, van Richtlijn 92/81/EEG van de Raad moet indienen en daarbij de internationale context en de economische situatie van het luchtvervoer in aanmerking te nemen.

De Raad acht het noodzakelijk het luchtvervoer in te passen in een alomvattend vervoersstelsel dat het milieu ontziet, door het samen met andere takken van vervoer in een netwerk op te nemen. Voorts moet het luchtvervoer verlegd worden naar de spoorwegen, steeds wanneer zulks uit een sociaal-economisch en geografisch oogpunt haalbaar is en voor het milieu een betere oplossing is.»

De met het **Klimaatverdrag** samenhangende internationale beleidsdiscussie is van groot belang voor de beleidsdiscussie over luchtverontreiniging door de luchtvaart. Op basis van de internationale Toronto Conferentie « The Changing Atmosphere; Implications for Global Security» in 1988 en de internationale ministersconferentie over mondiale luchtverontreiniging en klimaatverandering in Noordwijk in 1989 en het eerste in 1990 uitgegeven rapport van het IPCC heeft het Intergovernmental Negotiating Committee (INC) tijdens de Wereldconferentie voor Ontwikkeling en Milieu van juni 1992 in Rio de Janeiro voorbereidingen

getroffen voor het Klimaatverdrag. Inmiddels is het verdrag door 191 landen, waaronder Nederland, en de EU ondertekend en door 80 landen geratificeerd. Op 21 maart 1994 is het Klimaatverdrag in werking getreden. De deelnemende landen, verenigd in de Conference of Parties (COP), zullen vanaf 1995 doorgaan met de uitvoering en versterking van het verdrag.

Relevant voor de luchtvaart (maar ook voor de zeevaart) was de discussie binnen het INC in 1994 omtrent het toerekeningsvraagstuk van broeikasemissies aan individuele landen. Mede na consultatie van ICAO is gezien de internationale verwevenheid besloten dat de emissies van broeikasgassen door de luchtvaart en de zeevaart wel door de individuele landen gerapporteerd dienen te worden, maar dat deze vooralsnog niet bij de nationale totalen worden opgeteld. De rapportage geschiedt op basis van de uit bunkervoorraden verbruikte hoeveelheid brandstof. De COP zal de vraag over de nationale toerekening en de internationale beleidsontwikkeling op dienen te pakken. Regeringen en ICAO is gevraagd hun ideeën verder te ontwikkelen. Omdat Nederland een belangrijke hoeveelheid bunkerbrandstof verhandelt, wordt van de Nederlandse regering in dit kader een actieve rol verwacht.

Na het verschijnen van het tweede rapport van het IPCC eind 1995 zal het mondiale klimaatbeleid een nieuwe fase ingaan. Het standpunt van de Nederlandse regering in deze fase zal in de eind 1995 uit te geven Vervolgnota Klimaatverandering worden vastgelegd.

In het kader van de **Convention on Long Range Transboundary Air Pollution (CLRTAP)** onder de Economic Commission for Europe van de Verenigde Naties (UN-ECE), worden protocollen opgesteld ter vermindering van emissies van grensoverschrijdende luchtverontreiniging. Op dit moment zijn protocollen ondertekend voor VOS, SO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>. Het VOS-protocol verplicht de landen tot een emissiereductie van 30% in 1999 t.o.v. een basisjaar; voor de meeste landen is dat 1988. Het SO<sub>2</sub>-protocol dat in 1985 in Helsinki werd ondertekend is in juni 1994 aangescherpt. Hierbij hebben de landen onder de conventie zich verplicht tot vergaande emissiereducties: voor de meeste West- en Noordepse landen 70 en 80% reductie ten opzichte van 1980 en voor Centraal- en Oosteuropese landen tussen 50 en 70% reductie. Deze reductiepercentages zijn gebaseerd op een strategie waarbij de verschillende Europese ecosystemen een bepaalde mate van bescherming wordt geboden tegen de laagst mogelijke totale Europese kosten. Hierbij wordt uitgegaan van berekende kritische depositiewaarden voor SO<sub>2</sub>. Het bestaande NO<sub>x</sub>-protocol zal binnen een periode van 2 tot 4 jaar worden aangescherpt, waarbij dan ook aandacht zal worden besteed aan NH<sub>3</sub>. De besprekingen over deze aanscherping zijn thans gaande. De huidige protocollen verplichten tot totale emissiereducties per land waarbij geen specifieke doelstelling is opgenomen voor de afzonderlijke doelgroepen, dus ook niet voor de luchtvaart.

De UN-ECE is ook van belang vanwege de in 1996 te houden **ministersconferentie over milieu en transport**. De voorbereidingen van deze conferentie zijn thans in volle gang. Naar verwachting zal luchtvaart een belangrijk onderwerp van deze conferentie worden.

In het milieuprogramma van de **Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling (OESO)** wordt de milieubelasting door de luchtvaart als afzonderlijk thema behandeld. De beleidsinhoudelijke discussie in OESO-verband beperkt zich echter hoofdzakelijk tot economische aspecten en een beperkt aantal instrumenten voor milieubeleid. De OESO biedt mogelijkheden om het idee van de

duurzaamheid in het menselijk handelen internationaal in praktisch bruikbare methoden van aanpak te vertalen. Ook wordt in OESO-kaders aandacht besteed aan berekeningsmethodieken van emissies.

Naar aanleiding van een onderzoek naar de toestand van de stratosferische ozonlaag (Stratospheric Assessment of Ozon, SAO) in opdracht van het United Nations Environment Program (UNEP) en de World Meteorological Organization (WMO) is in 1987 het **Montreal Protocol** ondertekend door een groot aantal VN-lidstaten. Dit protocol vormt de verscherping van het Ozonverdrag van 1985 en heeft als doel de bescherming van de ozonlaag door terugdringing en uitfasering van emissies die deze aantasten. In het genoemde onderzoek is de rol van de luchtvaart nog buiten beschouwing gelaten, mede vanwege de op dat moment hierover nog bestaande onzekerheden. In 1994 zijn in het rapport «Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1994» nieuwe resultaten van het voortgaande onderzoek beschikbaar gekomen. De beleidsmatige uitwerking van deze resultaten voor het Montreal Protocol moet nog plaatsvinden.

Een laatste noemenswaardige ontwikkeling in de internationale discussie is die binnen het **United Nations Committee for Sustainable Development (UN-CSD)**. Tijdens bijeenkomsten is een aantal malen gesproken over de vorming van een fonds voor de financiering van projecten in het kader van duurzame ontwikkeling. Dit fonds zou kunnen worden gevormd met behulp van een op mondiale schaal in te voeren heffing in de commerciële luchtvaart. Voor de verdere uitwerking van dit idee wordt op dit moment een onderzoek overwogen.