

Hoe groen kunnen we vliegen?

De ontwikkeling van klimaatmissies van de luchtvaart en consequenties voor beleid

Rapport
Delft, juni 2009

Opgesteld door:
J. (Jasper) Faber
A. (André) van Velzen
G.J. (Gerdien) van de Vreede



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

J. (Jasper) Faber, A. (André) van Velzen, G.J. (Gerdien) van de Vreede
Hoe groen kunnen we vliegen?

De ontwikkeling van klimaatmissies van de luchtvaart en consequenties voor beleid
Delft, CE Delft, juni 2009

Luchtverkeer / Emissies / Klimaatverandering / Beleid / Maatregelen / Milieu / Economie /
Effecten

Publicatienummer: 09.7842.18

Opdrachtgever: Stichting Natuur en Milieu.

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl.

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

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft
Committed to the Environment

CE Delft is een onafhankelijk onderzoeks- en adviesbureau, gespecialiseerd in het ontwikkelen van structurele en innovatieve oplossingen van milieuvraagstukken. Kenmerken van CE-oplossingen zijn: beleidsmatig haalbaar, technisch onderbouwd, economisch verstandig maar ook maatschappelijk rechtvaardig.



Voorwoord

Vliegen is voor veel mensen tegenwoordig vanzelfsprekend. Volgens de prognoses zal het vliegverkeer wereldwijd, in Europa en in Nederland de komende decennia dan ook sterk toenemen. Tegelijk weten we dat al dat vliegen een enorme druk legt op het milieu en een fors aandeel heeft in het klimaatprobleem. Om de opwarming van de aarde te beperken tot 2°C is een rigoureuze vermindering van de uitstoot van broeikasgassen noodzakelijk. Voor de westerse wereld moeten we dan denken aan een vermindering van de CO₂-emissies met meer dan 80% in 2050.

Het is duidelijk dat dit ook voor de luchtvaart grote gevolgen zal (moeten) hebben. Zeker als we bedenken dat het klimaateffect van de luchtvaart minstens twee keer zo groot is als het effect van de CO₂-uitstoot alleen, door het effect van NO_x en waterdamp op grote hoogte in de atmosfeer.

Dit roept een aantal lastige vragen op. Wat is een duurzaam ontwikkelingsperspectief voor de luchtvaart? En wat betekent dat voor het beleid rond de nationale luchthaven Schiphol?

Om hier meer zicht op te krijgen, hebben wij deze vragen voorgelegd aan onderzoeks- en adviesbureau CE Delft. Het resultaat ligt voor u in de vorm van het rapport 'Hoe groen kunnen we vliegen? De ontwikkeling van klimaat-emissies voor de luchtvaart en consequenties voor beleid'.

Het rapport laat zien dat zelfs als alles uit de kast wordt gehaald aan innovaties en beleid de klimaatemissies van de luchtvaart niet voldoende dalen. Als we de wereldwijde klimaatdoelen willen halen, ontkomen we niet aan een beperking van het vliegverkeer. Dat vraagt om een heel andere ontwikkeling van Schiphol dan in de Luchtvaartnota is voorgesteld.

Wij hebben de resultaten van het CE-onderzoek verder uitgewerkt in onze Luchtvaartvisie, die als afzonderlijk document verschijnt. Wij pleiten daarin voor een Europees luchtvaartbeleid dat aansluit bij het klimaatbeleid, en voor de ontwikkeling van Schiphol 'lean and green', een innovatietraject naar een luchthaven die goed is voor klimaat en economie.

Wij zijn het Ministerie van Verkeer en Waterstaat zeer erkentelijk voor de financiële bijdrage die dit onderzoek mogelijk heeft gemaakt. Het CE Delft danken wij graag voor de prettige samenwerking bij dit onderzoek.

Wij hopen met dit CE-rapport en onze luchtvaartvisie een vernieuwende bijdrage te leveren aan de discussie.

Mirjam de Rijk
algemeen directeur Stichting Natuur en Milieu





Inhoud

	Samenvatting	6
1	Inleiding	8
1.1	Het klimaatprobleem vraagt om een snelle afname van de uitstoot van broeikasgassen	8
1.2	Opbouw van het rapport	8
2	Overzicht milieueffecten luchtvaart	10
2.1	Klimaat	10
2.2	Geluid	14
2.3	Luchtkwaliteit	16
3	Scenario's voorspellen voortgaande groei luchtvaart, maar zijn ze realistisch?	18
3.1	FESG-scenario	19
3.2	Luchtvaart in WLO-scenario's, SEO en RAND scenario's	21
3.3	Een hogere olieprijs resulteert in minder vraag naar luchtvaart	24
3.4	Veranderingen in de netwerkstructuur kunnen leiden tot minder vluchten op Schiphol	27
3.5	Hogesnelheidstreinen concurreren met de luchtvaart	33
3.6	De trendmatige daling van de kosten van luchtvaart hoeft zich niet door te zetten	35
3.7	Nieuw milieubeleid is te verwachten vanuit de EU	37
3.8	Conclusie	38
4	De luchtvaart kan zijn klimaat-effecten beperken	40
4.1	Ontwikkelingen vliegtuigtechnologie	41
4.2	De voordelen van biobrandstoffen zijn beperkt	43
4.3	Operationele maatregelen kunnen de brandstofefficiëntie beperkt verbeteren	47
4.4	Alternatieven voor transport	48
4.5	Conclusie	49
5	Beleidsmaatregelen voor duurzame luchtvaart	50
5.1	Specificatie van beleidsmaatregelen	51
5.2	Effecten van Europese maatregelen	54
5.3	Leidt emissiehandel tot een stabilisatie van luchtvaartemissies?	62
5.4	Conclusies	65
6	Conclusies	68
6.1	Luchtvaart heeft belangrijke milieueffecten	68
6.2	Luchtvaartprognoses optimistisch, maar klimaateffect groeit door	68
6.3	Technische en operationele maatregelen kunnen de groei van de milieueffecten beperken	69
6.4	Krachtig overheidsbeleid is nodig om de milieueffecten te laten dalen	69



7	Referenties	72
Bijlage A	Berekening RF en GWP	74



Samenvatting

De luchtvaart groeit sterk. Volgens alle scenario's en prognoses zal de luchtvaart de komende decennia een sterke groei doormaken, zowel in Nederland, in Europa, als wereldwijd.

Maar mogelijk minder sterk dan vaak gedacht. De bestaande scenario's en prognoses zijn gebaseerd op een aantal aannames die vanuit het huidige perspectief onrealistisch lijken. Ze zijn vaak gebaseerd op een (veel) lagere olieprijs dan de gemiddelde olieprijs over de laatste jaren, gaan uit van voortdurend dalende kosten voor luchtvaart, van beperkt milieubeleid en van weinig concurrentie voor de luchtvaart van hogesnelheidstreinen. Specifiek voor Nederland geldt bovendien dat de prognoses sterk afhankelijk zijn van strategische beslissingen van Air France/KLM. Vanwege al deze factoren laten de scenario's en prognoses onvoldoende de mogelijk lagere groeipaden zien.

Toch blijven de milieueffecten toenemen. Luchtvaart heeft drie grote effecten op het milieu. De uitstoot van CO₂ en NO_x en de formatie van condensatiestrepen en mogelijk cirrusbewolking dragen bij aan de opwarming van de aarde. De totale bijdrage van de luchtvaart aan de opwarming van de aarde is minstens twee keer zo groot als de bijdrage van CO₂ alleen. Verder veroorzaken vliegtuigen geluid dat negatieve effecten heeft op het menselijk welzijn. En de luchtvervuilende stoffen die vliegtuigen uitstoten verslechteren de luchtkwaliteit. In 2005 was de CO₂-emissie van het vliegverkeer van en naar EU-landen 4,8% van de totale CO₂-emissie in de EU. Naar verwachting zal dit percentage toenemen. Door de voortdurende groei van de luchtvaart neemt ook de milieubelasting toe.

Er zijn technische en operationele maatregelen om het klimaateffect te verminderen. De luchtvaartsector heeft ambitieuze doelen om de klimaatbelasting per passagierskilometer in de komende decennia fors te reduceren; vliegtuig- en motortechnologie en biobrandstoffen kunnen daar een belangrijke bijdrage aan leveren. Maar daarvoor is het wel nodig dat er grote vooruitgang komt in de vliegtuigtechnologie, dat de duurzaamheid van biobrandstoffen flink verbetert en dat de kosten van biobrandstoffen sterk dalen.

Maar die lijken in het gunstigste geval pas op langere termijn de toename van het klimaateffect van de luchtvaart te kunnen afremmen. Verbeteringen in de vliegtuig- en motortechnologie dringen slechts langzaam door in de vloot omdat vliegtuigen 25 tot 40 jaar meegaan. Biobrandstoffen veroorzaken onontkoombaar evenveel niet-CO₂-klimaateffecten als gewone kerosine en kunnen dus slechts een halvering van het klimaateffecten geven. Ze zijn vooralsnog veel duurder dan conventionele kerosine en slechts in beperkte mate beschikbaar. Bovendien is hun emissiereductiepotentieel nog niet zo groot.

Krachtig milieubeleid kan technische en operationele maatregelen bevorderen. Het milieueffect van technische ontwikkelingen hangt af van de mate waarin ze worden doorgevoerd in de vloot. Het milieueffect zal groter zijn naarmate er een groter financieel voordeel is voor de inzet van vliegtuigen met een lagere milieubelasting. Er is overheidsbeleid nodig om deze financiële voordelen te creëren. Opname van luchtvaart in het ETS alleen is daarvoor niet voldoende. Technische vooruitgang wordt ook gestimuleerd door



economische instrumenten gericht op de vermindering van de uitstoot van NO_x, het ontstaan van condensatiestrepen, beperking van luchtvervuiling en geluid.

En bovendien de groei van de vraag afremmen. Economische instrumenten internaliseren externe kosten. Daarmee wordt vliegen duurder. Dat remt de groei en heeft als voordeel dat de milieuwinst van de technische vooruitgang niet teniet wordt gedaan.

In het gunstigste geval is het mogelijk dat de groei van de luchtvaart-emissies stopt. Daarvoor is strikt overheidsbeleid nodig waardoor niet alleen de milieutechnologie sterk gestimuleerd wordt maar ook het luchtverkeer veel langzamer groeit. Een voldoende bijdrage aan de wereldwijde klimaatdoelen is alleen mogelijk met een beperking van het vliegverkeer.



1 Inleiding

1.1 Het klimaatprobleem vraagt om een snelle afname van de uitstoot van broeikasgassen

De atmosfeer warmt op onder invloed van de toenemende concentratie van broeikasgassen. Het IPCC heeft in 2006 aangegeven dat de opwarming beperkt kan blijven tot 2°C als de wereldwijde emissies tussen 2010 en 2015 hun maximum bereiken en daarna afnemen. Ontwikkelde landen zoals Nederland zullen een grote bijdrage hieraan moeten leveren. Nederland wil zijn emissies in 2020 met 30% hebben teruggebracht en heeft zich gecommitteerd aan het EU-doel van een reductie van 60 tot 80% in 2050.

Ondertussen nemen de emissies van de luchtvaart sterk toe. Het is duidelijk dat dit op de langere termijn een onhoudbare situatie is. Om een beter zicht te krijgen op de toekomstige ontwikkeling van luchtvaartemissies heeft Natuur en Milieu opdracht gegeven aan CE Delft om dit rapport te schrijven.

Bovendien wordt 2009 een belangrijk jaar voor de luchtvaart. Nederlandse, Europese en mondiale beleidsmakers zullen dit jaar beslissingen nemen die de invloed van de luchtvaart op klimaat en milieu voor decennia kunnen beïnvloeden. In Nederland zal het Kabinet de luchtvaartnota presenteren. Bovendien komt de Alderstafel met zijn volgende advies. Beide documenten zullen aangeven hoe Nederland de milieueffecten van luchtvaart afweegt tegen de economische effecten. Samen zullen ze in belangrijke mate bepalen hoeveel ruimte Nederland vrijmaakt voor luchtvaartactiviteiten en welke milieueffecten het daarvoor bereid is voor lief te nemen.

In Europa is eind 2008 de beslissing definitief genomen om de Europese luchtvaart onder te brengen in het bestaande emissiehandelssysteem. In 2009 zullen luchtvaartmaatschappijen zich daar op moeten gaan voorbereiden. Bovendien is er wetgeving beloofd voor de klimaateffecten van stikstofoxiden en vooruitgang bij het efficiënter maken van het Europese luchtruim.

Op mondiaal niveau heeft de VN-organisatie voor de luchtvaart, ICAO, aangekondigd te gaan werken aan een wereldwijd emissiehandelssysteem voor de luchtvaart. In de klimaatonderhandelingen, die eind 2009 moeten culmineren in een opvolger voor het Kyoto Protocol, speelt het klimaateffect van luchtvaart een belangrijke rol.

1.2 Opbouw van het rapport

Dit rapport is als volgt opgebouwd. Hoofdstuk 2 geeft een beknopt overzicht van de voornaamste milieueffecten van luchtvaart: klimaat, geluid en luchtverontreiniging. Hieruit blijkt dat luchtvaart met name negatieve effecten heeft op klimaat en geluid. Hoofdstuk 3 analyseert de belangrijkste scenario's die beleidsmakers tot hun beschikking hebben bij het maken van luchtvaartbeleid. Bepaalde uitgangspunten en aannames van deze scenario's zijn in het huidige perspectief discutabel waardoor sommige scenario's onrealistische groeipaden laten zien. Het is niet onwaarschijnlijk dat de groei noemenswaardig lager uitvalt dan de huidige scenario's voorspellen. Hoofdstuk 4 analyseert de mogelijkheden die de luchtvaart heeft om het belangrijkste milieueffect, de uitstoot van broeikasgassen, te beperken. Daarbij gaat het



met name om technische en operationele ontwikkelingen en om alternatieven voor luchttransport. Hoofdstuk 5 gaat in op een pakket van beleidsmaatregelen om te bevorderen dat de luchtvaart de uitstoot van broeikasgassen zal kunnen beperken. Het beschrijft dus de beleidsmaatregelen die helpen ervoor te zorgen dat de opties uit hoofdstuk 4 zoveel mogelijk benut worden. De samenvattende conclusies zijn te vinden in hoofdstuk 6.



2 Overzicht milieueffecten luchtvaart

De luchtvaart beïnvloedt het milieu op verschillende manieren. Ten eerste spelen luchtvaartemissies een rol bij het klimaatprobleem. Paragraaf 2.1 geeft een korte schets van de klimaatproblematiek en van de emissies die daarvoor relevant zijn. Daarbij wordt niet alleen ingegaan op CO₂, maar ook op NO_x, contrails en cirrus clouds. In de paragrafen daarna wordt de invloed op geluid (paragraaf 2.2) en luchtkwaliteit (paragraaf 2.3) besproken.

2.1 Klimaat

Het klimaat op aarde wordt onder andere beïnvloed door het evenwicht tussen inkomende en uitgaande straling (warmte en/of zonlicht): als de hoeveelheid inkomende straling gelijk is aan de hoeveelheid uitgaande straling, blijft de temperatuur op aarde gemiddeld gelijk. Wordt de balans verstoord, dan verandert de gemiddelde temperatuur¹, wat wereldwijd verstreckende gevolgen zal hebben. Niet alleen de temperatuur zelf verandert, maar daarmee ook neerslagpatronen, de hoogte van de zeespiegel, de frequentie en hevigheid van stormen, etc. Dat alles heeft grote gevolgen voor landbouw en natuur, maar ook voor mensen in steden, die geconfronteerd zullen worden met bijvoorbeeld hogere voedselprijzen en frequentere droogtes en/of overstromingen (voor een overzicht zie o.a. IPCC, 2006 en Lynas, 2008). Bovenop de menselijke invloeden zijn er in het klimaatsysteem een aantal positieve terugkoppelingen, die ervoor zorgen dat de klimaatverandering na een kritische grens vanzelf doorgaat. Voorbeelden van deze terugkoppelingen zijn het smelten van het poolijs en van gletsjers, waardoor er minder licht wordt weerkaatst, en de aarde nog sneller opwarmt. Onder andere vanwege deze terugkoppelingen is het belangrijk dat de aarde niet verder dan 2 °C opwarmt. Ook de Europese Commissie stelt dat 'Climate change is happening. Urgent action is required to limit it to a manageable level' en werkt aan een emissiereductie van 30% in 2020 t.o.v. 1990 (20% als er geen internationaal akkoord bereikt wordt). Voor 2050 is het doel een reductie van 80% t.o.v. 1990 (60% als er geen internationaal akkoord bereikt wordt)².

¹ Een verstoring van dit evenwicht wordt radiative forcing genoemd en wordt uitgedrukt als de verandering van de energieflex (in W/m²).

² COM(2007) 2 final.



Zoals gezegd veroorzaakt de luchtvaart verschillende emissies die een rol spelen bij het klimaatprobleem. De zogenoemde broeikasgassen (CO₂, CH₄, etc.) hebben een direct effect op het klimaat³. Andere gassen, zoals NO_x, leiden via een aantal chemische reacties tot de vorming van broeikasgassen en hebben daardoor indirect ook effect op het klimaat. Complicerende factor hierbij is dat deze chemische reacties veelal afhangen van de precieze atmosferische condities. Ten slotte zijn er een aantal meteorologische verschijnselen die het klimaat beïnvloeden. De belangrijkste hiervan zijn contrails en cirrus clouds. In de paragrafen hierna zullen de effecten van deze emissies en verschijnselen besproken worden.

2.1.1 CO₂

Bij de verbranding van fossiele brandstoffen, zoals kerosine, ontstaat onder andere het broeikasgas CO₂. De uitstoot van CO₂ is recht evenredig met de hoeveelheid kerosine die verbrand wordt: 1 kg verbrande kerosine levert 3.157 kg CO₂ op. CO₂ blijft heel lang in de atmosfeer en kan zich daardoor homogeen over de atmosfeer verspreiden. Het klimaateffect van CO₂ is daardoor niet afhankelijk van de plaats of de hoogte waarop de CO₂ wordt geëmitteerd.

Vanaf 2012 zullen CO₂-emissies van de luchtvaart onder het ETS vallen. Dat wil zeggen dat luchtvaartmaatschappijen over emissierechten zullen moeten beschikken voor de CO₂ die ze uitstoten. Een deel van die emissierechten zal gratis aan de luchtvaartmaatschappijen worden toegekend, een deel wordt geveild. De totale hoeveelheid rechten die aan de luchtvaartsector wordt toegekend is gelijk aan de gemiddelde jaarlijkse CO₂-emissies van de luchtvaart in de periode 2004-2006. Luchtvaartmaatschappijen die meer CO₂ uitstoten dan ze rechten hebben gekregen, moeten extra rechten inkopen, terwijl maatschappijen die minder CO₂ uitstoten, hun rechten kunnen verkopen.

Tabel 1 laat zien hoe de emissies van de luchtvaartsector zich verhouden tot de emissies van niet-luchtvaartsectoren in de EU in 1990 en 2005. De luchtvaartsector is hier gedefinieerd als alle vluchten van en naar Europese luchthavens. In 1990 was de luchtvaart verantwoordelijk voor 2,8% van de totale Europese CO₂-emissies. In 2006 bedroeg het aandeel van de luchtvaart in de totale CO₂-emissies van de EU-27 4,8% en van de totale broeikasgasemissies 4,0%⁴.

³ Er zijn twee verschillende manieren om het klimaateffect van emissies te kwantificeren: radiative forcing (RF) en global warming potential (GWP) (zie bijlage A). RF en GWP hebben allebei hun voor- en nadelen als maat. Het grote voordeel van de RF is dat deze geschikt is om de effecten van uiteenlopende fenomenen uit te drukken. Nadeel is dat de RF alleen informatie geeft over de stralingsbalans op basis van emissies uit het verleden. Het voordeel van de GWP is dat deze geschikt is om effecten in de toekomst te berekenen. Daar staat wel tegenover dat de GWP alleen te berekenen is voor effecten die in massa uit te drukken zijn, en dat de GWP van een stof afhankelijk is van de gekozen tijdshorizon. Een uitgebreidere bespreking van verschillende klimaatmaten is te vinden in 'Giving wings to emission trading' (CE, 2005).

⁴ Deze percentages zijn hoger dan de doorgaans gepubliceerde cijfers. Een van de redenen daarvoor is dat dit rapport alle emissies van en naar Europese luchthavens aan de luchtvaartsector toerekent. Dit is conform de ETS-richtlijn, maar zou bij extrapolatie naar wereldschaal tot dubbeltellingen leiden. De emissies van alle vertrekkende vluchten vanaf Europese luchthavens bedroegen in 2005 137Mt CO₂. Dit is 3,1% van de totale CO₂-emissies en 2,6% van de totale broeikasgasemissies.



Tabel 1 Emissies luchtvaart en andere sectoren, 2005, Mt CO₂

Jaar	Luchtvaart, alle vertekkende en aankomende vluchten - CO ₂	Luchtvaart, alle vertekkende vluchten - CO ₂	EU-27-CO ₂	EU-27 - broeikasgassen (CO ₂ -equivalent)
1990	127	79	4.392	5.572
2005	216	137	4.258	5.156

Bron: Luchtvaart: AERO-MS; andere sectoren: Europees Milieuagentschap.

2.1.2 NO_x

De effecten van NO_x hangen af van de hoogte waarop NO_x wordt uitgestoten. NO_x op hoogte heeft impact op het klimaat, terwijl NO_x-uitstoot op grondniveau praktisch alleen effect heeft op de lokale luchtkwaliteit. In deze paragraaf wordt het klimaateffect van NO_x besproken; het effect op luchtkwaliteit wordt in paragraaf 2.3 besproken.

NO_x op grote hoogte is een indirect broeikasgas, en beïnvloedt het klimaat enerzijds via de vorming van ozon, anderzijds via de afbraak van methaan. De vorming van ozon zorgt voor een positieve radiative forcing, terwijl de afbraak van methaan een negatieve radiative forcing tot gevolg heeft. Het netto effect van deze mechanismen is een positieve radiative forcing. De radiative forcing als gevolg van NO_x is geschat op ongeveer de helft van de forcing van CO₂ (Sausen et al., 2005).

Hoewel de radiative forcing van NO_x zeker is, bestaat er wetenschappelijk enige onzekerheid over de beleidsrelevante global warming potential van NO_x. Verschillende studies geven voorsnog sterk uiteenlopende schattingen. Daardoor is het voorsnog niet met redelijke zekerheid aan te geven hoe groot de klimaatimpact van 1 kg NO_x is ten opzichte van 1 kg CO₂. De verwachtingen zijn echter wel dat het mogelijk is om in de komende drie tot vijf jaar tot een veel preciezere schatting van de GWP van NO_x te komen (CE, 2008).

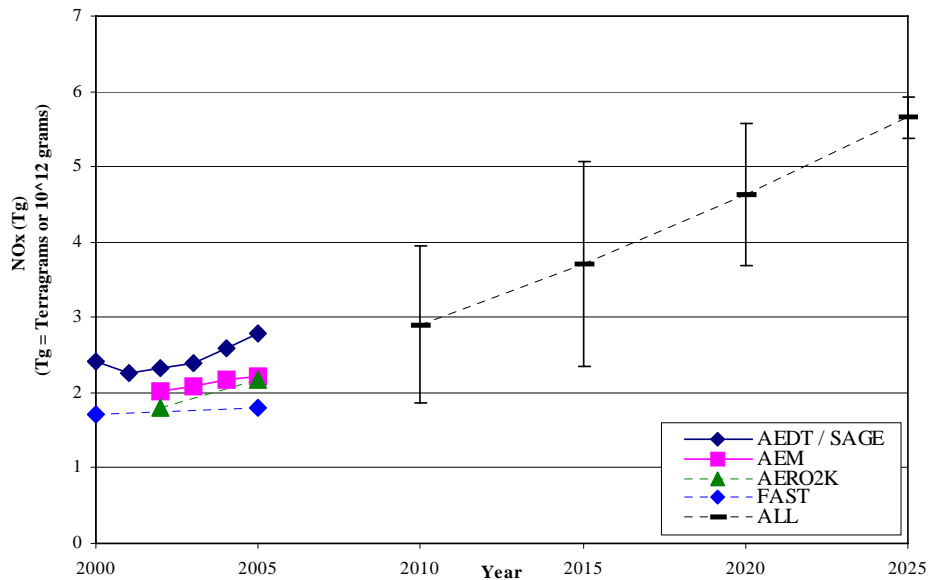
Op het gebied van vliegtuigtechniek is er - op motorniveau - sprake van een trade-off tussen NO_x en CO₂. Een hogere verbrandingstemperatuur in de motor leidt tot een efficiëntere verbranding, dus tot een CO₂-reductie. Daar staat echter tegenover dat een hogere verbrandingstemperatuur een hogere NO_x-uitstoot veroorzaakt. Het is dus niet mogelijk om bij eenzelfde stand van de techniek zowel de CO₂- als de NO_x-uitstoot te reduceren. Het is door voortschrijding der techniek echter wel mogelijk om in nieuwe motoren zowel de CO₂- als de NO_x-uitstoot te reduceren t.o.v. de huidige motoren. Ook hier is de onzekerheid over de impact van NO_x t.o.v. CO₂ weer relevant: om een motor qua klimaatimpact zo gunstig mogelijk af te stellen, is het nodig om te weten hoe de effecten van NO_x zich tot die van CO₂ verhouden.

De EU is bezig flankerend beleid te maken voor NO_x: als de CO₂-emissies van de luchtvaart onder het Europese Emissiehandelssysteem (EU ETS) komen te vallen, ontstaat een prikkel zo brandstofefficiënt mogelijk te gaan vliegen (dus met zo weinig mogelijk CO₂-uitstoot). Door de trade-off tussen NO_x en CO₂ kan dit er echter toe leiden dat de NO_x-uitstoot toeneemt. Afhankelijk van de verhouding tussen de klimaatimpacts van NO_x en CO₂ zou dit er voor kunnen zorgen dat het klimaatbeleid minder effectief wordt.



In Figuur 1 wordt een beeld gegeven van de verwachte ontwikkeling van de NO_x -emissies van de luchtvaart boven 3.000 feet. Te zien is dat door verschillende modellen de jaarlijkse NO_x -emissies van de luchtvaart in de periode 2000-2005 zijn berekend op 2 tot 2,5 Mton, en dat in de komende jaren een sterke verdere toename van deze emissies wordt verwacht.

Figuur 1 Prognoses wereldwijde NO_x -emissies boven 3.000 feet als gevolg van luchtvaart



Noot: 1 Teragram (Tg) = 1 Megaton (Mt).

2.1.3 Contrails en cirrus clouds

Ook contrails en cirrus clouds beïnvloeden de stralingsbalans: ze hebben een opwarmend effect. Beide verschijnselen hebben een vrij korte levensduur. Het effect van de verschijnselen is dan ook afhankelijk van de plaats waar ze ontstaan.

De GWP van contrails wordt geschat op 0,2⁵. Momenteel is er wetenschappelijk gezien nog grote onzekerheid over de precieze grootte van de effecten van cirrus clouds, onder andere omdat het onduidelijk is in hoeverre de contrails uitwaaiëren tot cirrus clouds.

Omdat het ontstaan van contrails en cirrus clouds ook afhangt van de atmosferische condities en de achtergrondconcentraties van verschillende stoffen, zijn ze niet toe te delen aan afzonderlijke vluchten.

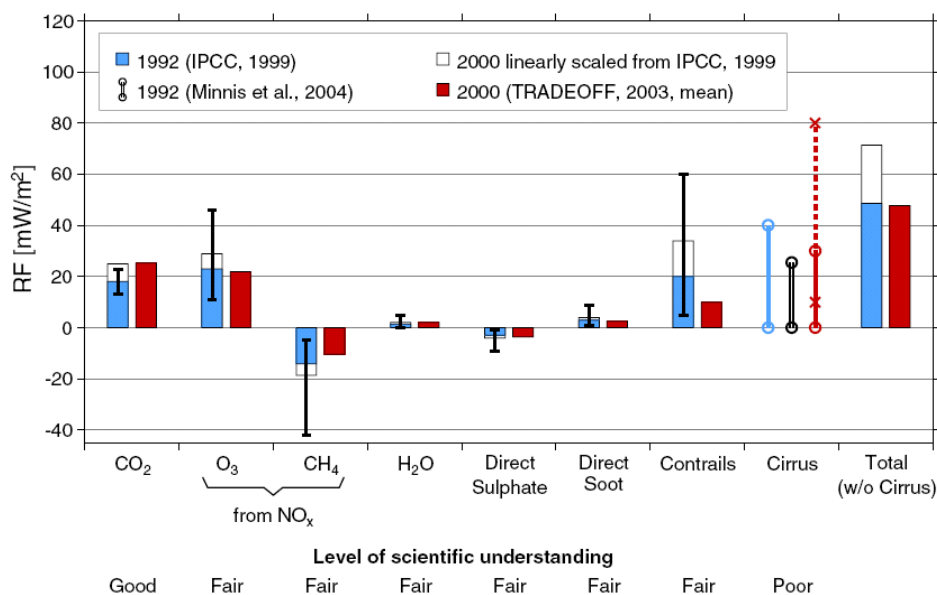
2.1.4 Totale klimaatimpact

De totale klimaatimpact van de luchtvaart is minstens twee keer zo groot als de klimaatimpact van CO_2 alleen. De uitstoot van NO_x en het opwarmende effect van condensatiestrepen is samen ongeveer even groot als het opwarmende effect van CO_2 en waarschijnlijk dragen de condensatiestrepen bij aan de vorming van cirrusbewolking, dat ook een opwarmend effect heeft.

⁵ Omdat contrails niet in kg uit te drukken zijn, is er strikt genomen geen GWP voor te berekenen. Het getal dat hier gegeven wordt moet dan ook geïnterpreteerd worden als de verhouding tussen het effect van de totale hoeveelheid contrail-vorming als gevolg van luchtvaart en de totale CO_2 -emissies van luchtvaart.



Figuur 2 De totale klimaatimpact van de luchtvaart is minstens twee keer zo groot als de klimaatimpact van CO₂ alleen



Bron: Sausen, et al. 2005.

De klimaatimpact van de luchtvaart wordt dus veroorzaakt door de uitstoot van CO₂ en NO_x, en door de vorming van contrails en cirrus clouds. In het totaal zijn de effecten minstens twee keer zo groot als het effect van CO₂ alleen in termen van radiatieve forcing.

2.2 Geluid

Bij de bespreking van vliegtuiggeluid moet onderscheid gemaakt worden tussen brongeluid en luchthavengeluid. Brongeluid is het geluid dat per vliegtuig geproduceerd wordt. Luchthavengeluid is het totale geluid dat geproduceerd wordt door alle vliegtuigen die in een bepaalde periode (meestal een jaar) gebruik maken van een luchthaven. De afgelopen jaren is het brongeluid afgenomen door verbeterde technologie en strengere richtlijnen. Het luchthavengeluid is ook afgenomen, ondanks een toename van het aantal vluchten. Het aantal geluidsgehinderden is de afgelopen jaren ook afgenomen (zie Figuur 3). De verwachting voor de toekomst is dat het aantal gehinderden weer zal toenemen, omdat de geluidstoename door de groei van de luchtvaart groter zal zijn dan de geluidsreductie door technologieverbetering (zie Figuur 3 en Figuur 4).

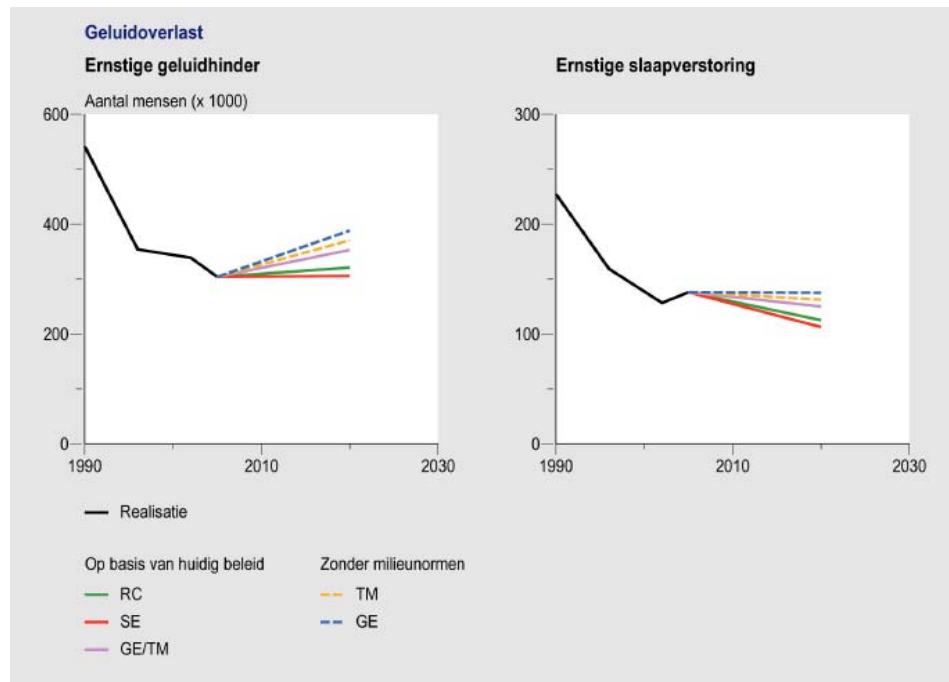
Hierbij moet wel worden opgemerkt dat het verband tussen geluid en geluidshinder complex is: niet alleen de sterkte van het geluid, maar ook frequentie-karakteristieken en een heel scala aan sociologische en psychologische verschijnselen speelt een rol (zie bijv. CE, 2008). Zo hoeft een hoog geluidsniveau niet altijd tot hinder te leiden (zoals bijvoorbeeld bij mensen die naar een discotheek gaan), terwijl een relatief laag geluidsniveau ook tot hinder kan leiden.

Geluid wordt vaak opgesplitst in daggeluid en nachtgeluid. Over het algemeen is nachtgeluid al bij een lager volume storend dan daggeluid. Het kan leiden tot slaapverstoring, wat negatieve gevolgen kan hebben voor de productiviteit en het welzijn overdag. Hoge geluidsvolumes zijn geassocieerd met verschillende gezondheidseffecten, zoals hart- en vaatziekten (zie o.a. Babisch, 2006 en RIVM, 2005).



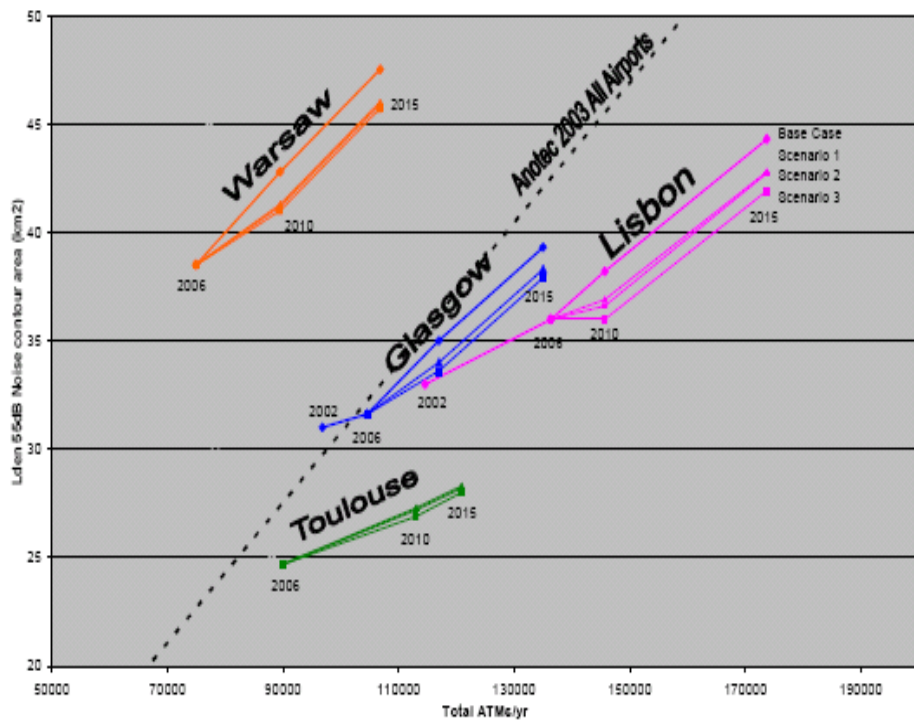
Samenvattend kan gesteld worden dat de geluidshinder rond Schiphol de afgelopen jaren is afgenomen, maar dat een groei van het aantal vluchten er toe kan leiden dat het aantal gehinderden weer toeneemt en daarmee ook de negatieve gevolgen voor productiviteit en welzijn.

Figuur 3 Geluidshinder en slaapverstoring rond Schiphol



Bron: MNP, 2006.

Figuur 4 Prognoses geluidshinder op verschillende Europese luchthavens



2.3 Luchtkwaliteit

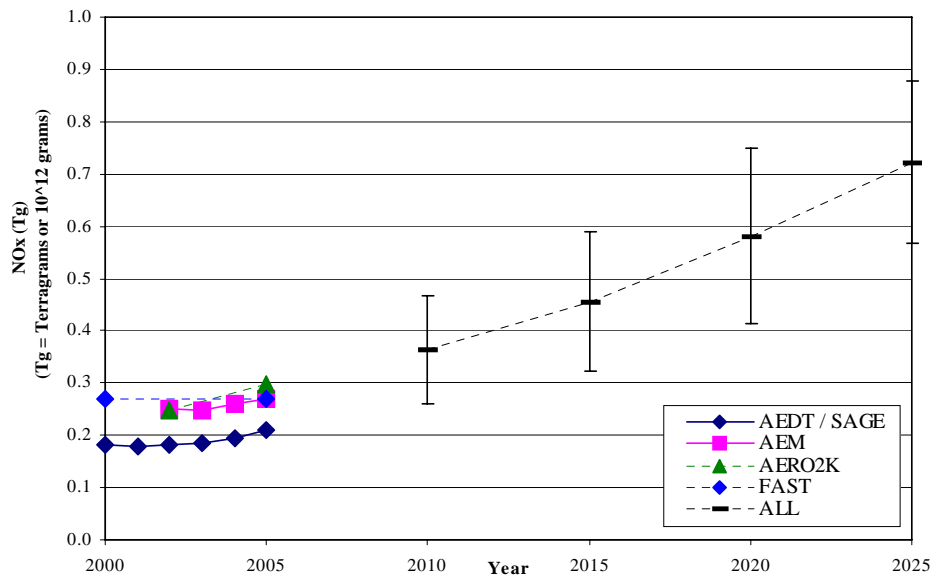
De luchtvaart heeft ook invloed op de lokale luchtkwaliteit. Voor luchtkwaliteit zijn met name NO_x , PM_{10} , NMVOS en SO_2 van belang. Van de NO_x -emissies zijn alleen de emissies tijdens de landings- en opstijgfase van belang voor de lokale luchtkwaliteit. Als grens wordt doorgaans 3.000 feet (circa 900 meter) gehanteerd. NO_x -emissies boven 3.000 feet hebben wel een klimaatimpact, maar weinig invloed op de lokale luchtkwaliteit. Figuur 5 geeft de mondiale NO_x -uitstoot van luchtvaart beneden 3.000 feet weer. Hoewel de schattingen van de verschillende modellen enigszins uiteenlopen, is het duidelijk dat er een forse stijging te verwachten is.

Op basis van zes representatieve weken uit 2007 zijn de gemiddelde externe kosten van een vlucht berekend voor luchtkwaliteit⁶. Data over LTO-emissies uit de ICAO-databank⁷ zijn gecombineerd met de hoeveelheid vluchten die met elke vliegtuigmotorcombinatie vanaf Schiphol werd gemaakt. Daarmee werden de gemiddelde emissies per vlucht berekend (zie Tabel 2). Door de gemiddelde emissies per vlucht te vermenigvuldigen met de kosten per kg emissie, werden de gemiddelde externe kosten per vlucht berekend. In Tabel 2 is te zien dat de gemiddelde externe kosten per vlucht ongeveer € 300 zijn. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de gehanteerde kosten per kg emissie een bovengrens voor de externe kosten zijn.

Uit de berekeningen blijkt dat veruit het grootste deel van deze kosten wordt veroorzaakt door NO_x -emissies. De externe kosten van SO_2 , PM_{10} en NMVOS zijn klein in vergelijking met NO_x . In het nationale en Europese luchtkwaliteitsbeleid bestaat dan ook een sterke focus op NO_x .

Samenvattend kan gesteld worden dat de luchtvervuiling van vliegtuigen naar alle waarschijnlijkheid de komende jaren zal toenemen.

Figuur 5 Prognoses wereldwijde NO_x -emissies van de luchtvaart op hoogtes tot 3.000 feet



⁶ Alleen straalvliegtuigen.

⁷ Voor de berekening van SO_2 -emissies is aangenomen dat verbranding van 1 kg brandstof leidt tot 0.8 g SO_2 -emissie (ICCAIA, 2008).



Tabel 2 Externe kosten luchtkwaliteit

	NO _x (kg)	CO (kg)	HC (KG)	SO ₂ (kg)	PM ₁₀ (kg)	Totaal
Per vlucht	14,3	13,3	1,8	0,8	0,030	
Kosten (€/kg)	18		5,4	39	142	
Kosten per vlucht (€)	257,08	0	9,58	33,00	4,24	303,90



3 Scenario's voorspellen voortgaande groei luchtvaart, maar zijn ze realistisch?

Dit hoofdstuk analyseert de belangrijkste scenario's die beleidsmakers tot hun beschikking hebben bij het maken van luchtvaartbeleid. De twee belangrijkste scenario's die hier besproken worden zijn het mondiale scenario van de Forecast and Economic Analysis Support Group (FESG) van ICAO/CAEP en het Nederlandse SEO/RAND-scenario dat voortbouwt op de lange-termijnsenario's van de Nederlandse planbureaus. Bij de analyse van elk van deze scenario's wordt een aantal belangrijke aannames en uitgangspunten tegen het licht gehouden. Dit hoofdstuk concludeert dat bepaalde uitgangspunten en aannames van deze scenario's in het huidige perspectief discutabel zijn (zie kader). Daardoor laten de scenario's onvoldoende variatie zien in de groeipaden van de luchtvaart. Op basis van de analyse in dit hoofdstuk lijkt de kans groot op een significant lagere groei dan voorspeld.

In deze studie wordt onder een scenario verstaan het geheel van autonome ontwikkelingen en bestaand beleid dat van invloed is op de luchtvaart en de daarmee gepaard gaande milieueffecten. Nieuwe beleidsmaatregelen zijn in het scenario niet meegenomen, d.w.z. scenario's zijn zonder de invloed van toekomstig (internationaal of nationaal) overheidsbeleid voor de luchtvaartsector.

Dit hoofdstuk beschrijft eerst het FESG-scenario (paragraaf 3.1) en het SEO/RAND-scenario (paragraaf 3.2). Vervolgens analyseert het een aantal aannames van beide scenario's: aannames over de olieprijs en de invloed van de olieprijs op de groei (paragraaf 3.3); veranderingen in de netwerkstructuur van de luchtvaart (paragraaf 3.4); aannames over de relatieve prijs van de luchtvaart (paragraaf 3.6); en de invloed van een netwerk van hogesnelheidstreinen (paragraaf 3.5). Over het algemeen kan gesteld worden dat het bijstellen van de aannames leidt tot lagere groeiprognoses.

Met de kennis van 2008 valt op dat een aantal variabelen afwezig zijn of dat er waarden voor genomen zijn die nu anders zouden kunnen worden gekozen.

- De olieprijs is laag ingeschat, niet alleen in historisch perspectief, maar ook in vergelijking met de huidige voorspellingen van het IEA.
- De opkomst van nieuwe hubs zoals Dubai en Abu Dabi is in het geheel niet meegenomen.
- Een concentratie van de transferactiviteiten van Air France KLM in Parijs is slechts in een van de scenario's als mogelijkheid meegenomen.
- Er lijkt in de scenario's geen ruimte te zijn gemaakt voor de concurrentie tussen hogesnelheidstreinvervoer en luchtvaart.
- De kosten voor autovervoer en treinvervoer stijgen trendmatig, terwijl de kosten voor luchttransport een 'neerwaartse druk' kennen vanwege de concurrentie.
- Milieubeleid is slechts in een scenario meegenomen, en daarin nog onvolledig
- Het is niet duidelijk waarom de gedeeltelijke overgang van een hub-en-spoke-systeem naar een OD-systeem in sommige scenario's wel plaatsvindt en in andere niet.

Over het algemeen kan gesteld worden dat het bijstellen van deze aannames leidt tot lagere groeiprognoses. Op basis van de analyse in dit hoofdstuk lijkt de kans groot dat de groei van de Nederlandse luchtvaart lager uitvalt dan verwacht.



3.1 FESG-scenario

Door de Forecast and Economic Analysis Support Group (FESG) van ICAO/CAEP worden regelmatig luchtvaartscenario's opgesteld. Deze hebben betrekking op de wereldwijde ontwikkeling van de luchtvaart. De FESG-scenario's zijn internationaal geaccepteerd, en worden vaak voor analyses met betrekking tot de internationale luchtvaart gebruikt. In de eerste helft van 2008 is het meest recente FESG-scenario opgesteld. Dit scenario heeft betrekking op de ontwikkeling van de luchtvaartvraag (passagiers en vracht) van 2006 tot en met 2036 (FESG, 2008a). Hierbij wordt door FESG een laag, een hoog en een gemiddeld groeiscenario onderscheiden, waarbij is aangegeven dat het gemiddeld groeiscenario als het meest waarschijnlijk wordt gezien. In het FESG-scenario wordt een onderscheid gemaakt naar ontwikkelingen van de luchtvaartvraag op verschillende routegroepen, waaronder routegroepen van, naar en binnen Europa.

Het FESG-scenario is een consensus scenario. Het wordt vastgesteld door een groep experts uit de luchtvaartsector en van de overheid. Het scenario wordt niet expliciet onderbouwd en het is niet helder welke aannames eraan ten grondslag liggen. Wel is duidelijk dat bij de vaststelling van het meest recente scenario expliciet aandacht is besteed aan de eventuele invloed van de olieprijs op de vraag naar luchtvaart (FESG, 2008b).

De FESG-analyse van de invloed van olieprijsen op de vraag naar luchttransport bouwt voort op een set grafieken die de vraag naar luchttransport en de olieprijs weergeven, en de ticketprijzen en de olieprijs. Op grond van het feit dat deze grafieken geen eenduidige correlatie tussen beide variabelen laat zien, concludeert de FESG dat de invloed van de olieprijs op de vraag naar luchtvaart beperkt is.

Vervolgens analyseert de FESG de gevolgen van een 'extreem' scenario waarin de olieprijs hoog blijft en luchtvaartmaatschappijen hun capaciteit met 10% verminderen. In dit scenario vermindert de mondiale groeivoet volgens de FESG van 4,9% per jaar naar 4,4% per jaar. Dit is binnen de bandbreedte van de schattingen.

3.1.1 Ontwikkelingen Europese en Nederlandse luchtvaart volgens FESG-scenario

De effecten van het FESG-scenario in 2020 zijn berekend met het AERO-MS. Hierbij is de volgens FESG verwachte ontwikkeling van de luchtvaartvraag aangevuld met overige ontwikkelingen die van invloed zijn op de toekomstige luchtvaartemissies. Het gaat daarbij bijvoorbeeld om de verwachte autonome ontwikkeling van de brandstofgebruik- en emissiekenmerken van nieuwe vliegtuigen.

De resultaten van het FESG-scenario zijn gepresenteerd in Tabel 3. De effecten voor het jaar 2020 zijn daarbij afgezet tegen de omvang van de luchtvaart in het basisjaar 2005. Daar waar in Tabel 3 wordt gerefereerd naar 'EU' heeft dit betrekking op 30 landen, te weten:

- De 27 landen die momenteel lid zijn van de EU.
- Landen die geen lid zijn van de EU maar wel behoren tot de Europese Economische Ruimte (EER). Dit zijn Noorwegen, IJsland en Liechtenstein. EU-beleid, zoals emissiehandel, is over het algemeen van toepassing voor de gehele EER.

In Tabel 3 wordt een onderscheid gemaakt tussen de volgende routegroepen:

- Intra-EU. Routes waarbij zowel de luchthaven van vertrek als de luchthaven van aankomt in de EU ligt.



- EU - non-EU. Routes tussen een luchthaven gelegen in de EU en een luchthaven buiten de EU (over het algemeen intercontinentale routes).
- Van en naar Nederland (Schiphol). Routes van en naar Schiphol.

De ontwikkeling van de vraag volgt rechtstreeks uit het gemiddelde groei-scenario van FESG. Het FESG-scenario laat wereldwijd een groei zien van de passagiersvraag met ongeveer 5% per jaar. Voor de Intra-EU-routes bedraagt de passagiersgroei ongeveer 4% per jaar. Voor intercontinentale routes van en naar de EU is de jaarlijkse passagiersgroei wat hoger. Daarnaast is de verwachte groei van het vrachtvervoer door de lucht over het algemeen hoger dan de verwachte groei van het passagiersverkeer. De totale vervoersprestatie van de luchtvaart wordt uitgedrukt in Revenue Tonne Km (RTK). Een RTK is gelijk aan tien passagiers die 1 km worden vervoerd of 1 ton vracht die 1 km wordt vervoerd. RTK's worden altijd vastgesteld op basis van de 'great circle distance' tussen twee luchthavens.

De luchtvaartemissies stijgen minder snel dan de vraag. Dit is het gevolg van de verwachte technologische ontwikkelingen die er toe leiden dat nieuwe vliegtuigen een lager brandstofgebruik en daarmee lagere emissies met zich meebrengen. Duidelijk is echter ook dat indien geen verdere overheidsmaatregelen worden genomen, er sprake is van een voortgaande groei van de luchtvaartemissies op Europese routes. Het FESG-scenario leidt in de periode 2005-2020 tot een toename van de CO₂-emissies op Intra-EU-routes met ruim 60%. Voor intercontinentale routes van en naar de EU is deze groei nog sterker (80%).

Tabel 3 Groei Europese en Nederlandse luchtvaart en emissies tot 2020 volgens FESG-scenario

Routegroep/effect	Eenheid	2005	FESG-scen. 2020	% groei 2005-2020	Groei per jaar (%)
Intra-EU					
<i>Vraag naar luchtvaart en aanbod van vluchten</i>					
Passagier km	10 ⁹ pass-km pj	383.7	713.1	86%	4.2%
Cargo km	10 ⁹ ton-km pj	3.1	6.2	97%	4.6%
Revenue Ton km (RTK)	10 ⁹ RTK pj	41.5	77.5	87%	4.3%
Vluchten	10 ⁶ vluchten pj	7.2	12.1	68%	3.5%
Vliegtuig km	10 ⁹ km pj	4.9	8.4	73%	3.7%
<i>Brandstofgebruik en emissies luchtvaart</i>					
Brandstofgebruik	10 ⁹ kg pj	18.1	29.4	62%	3.3%
CO ₂ -emissies	10 ⁹ kg pj	57.3	92.8	62%	3.3%
NO _x -emissies	10 ⁶ kg pj	216.4	385.3	78%	3.9%
EU - Non-EU					
<i>Vraag naar luchtvaart en aanbod van vluchten</i>					
Passagier km	10 ⁹ pass-km pj	1200.2	2475.9	106%	4.9%
Cargo km	10 ⁹ ton-km pj	57.2	139.0	143%	6.1%
Revenue Ton km (RTK)	10 ⁹ RTK pj	177.3	386.6	118%	5.3%
Vluchten	10 ⁶ vluchten pj	2.0	3.8	89%	4.3%
Vliegtuig km	10 ⁹ km pj	7.1	14.4	103%	4.8%
<i>Brandstofgebruik en emissies luchtvaart</i>					
Brandstofgebruik	10 ⁹ kg pj	50.2	90.5	80%	4.0%
CO ₂ -emissies	10 ⁹ kg pj	158.4	285.7	80%	4.0%
NO _x -emissies	10 ⁶ kg pj	738.0	1393.4	89%	4.3%



Routegroep/effect	Eenheid	2005	FESG-scen. 2020	% groei 2005-2020	Groei per jaar (%)
Van en naar Nederland (Schiphol)					
<i>Vraag naar luchtvaart en aanbod van vluchten</i>					
Passagier km	10 ⁹ pass-km pj	120.7	188.0	56%	3.0%
Cargo km	10 ⁹ ton-km pj	7.3	14.2	95%	4.6%
Revenu Ton km (RTK)	10 ⁹ RTK pj	19.3	33.0	71%	3.6%
Vluchten	10 ⁶ vluchten pj	0.41	0.59	43%	2.4%
Vliegtuig km	10 ⁹ km pj	0.9	1.4	54%	2.9%
<i>Brandstofgebruik en emissies luchtvaart</i>					
Brandstofgebruik	10 ⁹ kg pj	6.2	8.6	39%	2.2%
CO ₂ -emissies	10 ⁹ kg pj	19.6	27.2	39%	2.2%
NO _x -emissies	10 ⁶ kg pj	90.6	130.9	45%	2.5%

Bron: AERO-MS; FESG-scenario, Tabel 3.1.

Aangezien de verwachting is dat een toename van de brandstofefficiëntie van nieuwe vliegtuigen gepaard zal gaan met een verslechtering van de emissie-index voor NO_x, nemen de NO_x-emissies van de luchtvaart sneller toe dan het brandstofgebruik (en dus ook sneller dan CO₂-emissies). De algehele conclusie is dat op de termijn tot en met het jaar 2020 geen technologische ontwikkelingen zijn voorzien die de groei van de luchtvaartemissies als gevolg van de verwachte groei van de luchtvaartvraag zullen stopzetten.

De marktvoor vraag voor Schiphol, zoals vastgesteld in het kader van de Tafel van Alders, laat een minder sterke groei zien dan de groei op de Europese routes volgens het FESG-scenario. Dit weerspiegelt het feit dat de vraag naar luchtvaart in nieuwe EU-lidstaten veel sneller groeit dan in de rest van de EU (Eurocontrol, 2008)⁸. Het aantal vluchten van en naar Schiphol neemt overeenkomstig 'Alders' met 43% toe in de periode 2005-2020 (2.4% per jaar). De CO₂-emissies nemen met ongeveer hetzelfde percentage toe in deze periode (2.2% per jaar).

3.2 Luchtvaart in WLO-scenario's, SEO- en RAND-scenario's

In de WLO-scenario's is niet expliciet aandacht besteed aan luchtvaart (CPB, RPB en MNP, 2006)⁹. Wel hebben SEO en RAND Europe luchtvaart-scenario's ontwikkeld die voortbouwen op de WLO-scenario's wat betreft bevolking, economische groei, internationaal klimaatbeleid, politieke en commerciële ontwikkelingen, olieprijs, enzovoort. Daaraan zijn drie luchtvaartspecifieke variabelen toegevoegd, namelijk de snelheid van de technische ontwikkeling van vliegtuigen en luchtverkeersleiding; het internationaal luchtvaartbeleid; en de ontwikkeling van de luchtvaartmarkt (CPB, 2006, SEO en RAND Europe, 2006)^{10 11}.

⁸ Performance Review Commission, 2008: Performance Review Report covering the calendar year 2007 (PRR 2007), Brussel: Eurocontrol.

⁹ Centraal Planbureau, Milieu- en Natuurplanbureau en Ruimtelijk Planbureau, 2006: Welvaart en Leefomgeving: een scenariostudie voor Nederland in 2040, achtergronddocument, Den Haag, Bilthoven, blz. 114, http://www.welvaartenleefomgeving.nl/pdf_files/WLO_achtergronddocument.pdf.

¹⁰ SEO en RAND Europe, 2006: Ontwikkeling Schiphol tot 2020-2040 bij het huidige beleid: eindrapport, Amsterdam, http://www.verkeerenwaterstaat.nl/kennisplein/uploaded/MIN/2006-05/331142/Ontwikkeling_Schiphol_tot_2020-2040.pdf.



Deze scenario's liggen ook ten grondslag aan de strategische beleidsdocumenten over Schiphol, zoals *Vier vergezichten op Schiphol*¹².

Figuur 6 geeft een overzicht van de aspecten die in de scenario's zijn mee-genomen (CPB, 2006)¹³.

Figuur 6 Kwalitatieve scenario-beelden op hoofdlijnen

Tabel 2.1	Kwalitatieve scenario-beelden op hoofdlijnen			
	Global Economy	Strong Europe	Transatlantic Markets	Regional Communities
1. Algemeen beeld				
a. Oriëntatie	mondiaal individualisering	Omvangrijke en sterke EU gelijkheid en solidariteit	West Europa & Amerika, weinig sociale cohesie	krachteloze EU ieder voor zich
b. Technologische ontwikkeling	Hoog	Middel, gericht op terugdringing externe effecten	Middel, vooral ICT	Laag
c. Welvaartsgroei EU (per capita groei)	Hoog	Middel	Middel	Laag
d. Demografie EU	Hoge bevolkingsgroei arbeidsmigratie naar EU	Beperkte bevolkingsgroei gezinmigratie naar EU	Bevolking stabiliseert na 2020	Dalende bevolking
e. Internationaal	Liberalisatie	Internationale	Beperkte rol overheid	Niet succesvol
f. Internationale handel	Volledige liberalisatie	Vooraf agrarische producten	Vrije handelszone EU / VS, verder veel	Handhaving handelsbarrières
2. Technologische ontwikkeling m.b.t. luchtvaart				
a. Kerosine- en geluid arme vliegtuigtypes	Hoog	Hoog	Middel	Laag
b. Gebruik GPS bij landen/opstijgen	Introductie in 2020	Introductie in 2030	Introductie in 2030	Introductie na 2030
3. Internationaal luchtvaartbeleid				
a. Luchtvaartverdragen	Open skies	Door EU geregeld	Transatlantische open skies verdrag	Geen veranderingen
b. Fiscaal		BTW / kerosine heffing		
c. Milieunormen	Technologievolgend	Taakstellend	Technologievolgend	Technologievolgend
d. Luchthaventarieven	Productdifferentiatie	Uniform tarief	Productdifferentiatie	Huidig
4. Luchtvaartmarkt				
a. Allianties	3	3	3	3
b. Low cost carriers	Onderdeel prijsconcurrentie	Hoger marktaandeel	Hoger marktaandeel	Hoger marktaandeel
c. Hub-vorming	Hub en spoke dominant; Schiphol concurrerend	Meer OD op dikke routes	Meer OD op dikke routes	KLAF concentreert transfer verkeer op CDG
f. Inkomenselasticiteit van de vraag	Daalt naar 0,9	Daalt naar 1,0	Daalt naar 1,0	Daalt naar 1,1
d. Concurrentie	Hoog	Hoog	Op Amerika	Huidig
e. Prijzen	Laag door felle concurrentie	Hoog, mede door heffingen op brandstof	Middel concurrentie Transatlantisch	Hoog beperkte concurrentie

¹¹ CPB, 2006: Uitgangspunten voor luchtvaartscenario's 2020 en 2040, Den Haag.

¹² Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal.

Transport en Luchtvaart, 2006: Mainport Schiphol: Vier vergezichten op Schiphol: Scenario Policy Assessment, Den Haag, http://www.verkeerenwaterstaat.nl/kennisplein/3/4/347164/Vier_vergezichten_op_Schiphol.pdf

¹³ CPB, 2006: Uitgangspunten voor luchtvaartscenario's 2020 en 2040, Den Haag.



Met de kennis van 2008 valt op dat een aantal variabelen afwezig zijn of dat er waarden voor genomen zijn die nu anders zouden kunnen worden gekozen.

- De olieprijs is laag ingeschat, niet alleen in historisch perspectief, maar ook in vergelijking met de huidige voorspellingen van het IEA¹⁴. Uit de beschikbare beschrijvingen van het model (naast de reeds genoemde ook RAND Europe, 2005)¹⁵ is overigens niet duidelijk of een hogere olieprijs zou leiden tot hogere ticketprijzen en tot een lagere vraag naar luchtvaart. Paragraaf 3.3 geeft een analyse van de invloed van de olieprijs op de vraag naar luchtvaart.
- Het is niet duidelijk waarom de gedeeltelijke overgang van een hub-en-spoke-systeem naar een OD-systeem in sommige scenario's wel plaatsvindt en in andere niet. De opkomst van nieuwe hubs zoals Dubai en Abu Dhabi is in het geheel niet meegenomen. En eventuele strategische beslissingen van Air France/KLM hebben slechts in een scenario gevolgen. Paragraaf 3.4 gaat dieper in op de samenhang tussen netwerkstructuur en de Nederlandse luchtvaart.
- Er lijkt in de scenario's geen ruimte te zijn gemaakt voor de concurrentie tussen hogesnelheidstreinvervoer en luchtvaart, hoewel dit in het gebruikte model waarschijnlijk wel significant andere resultaten zou geven (RAND Europe, 2005)¹⁶. Paragraaf 3.5 onderzoekt de invloed van hogesnelheidstreinen op de luchtvaart.
- De kosten voor autovervoer en treinvervoer stijgen trendmatig, terwijl de kosten voor luchttransport een 'neerwaartse druk' kennen vanwege de concurrentie. Paragraaf 3.6 stelt de vraag in hoeverre deze inschatting realistisch is.
- Het Europese en mondiale milieubeleid in het SE-scenario beperkt zich tot een kerosineheffing en een BTW op tickets, maar een volledige internalisatie van alle externe kosten is niet meegenomen (tenzij de kerosineheffing of de BTW is bedoeld om zowel de niet-CO₂-klimaateffecten als de lokale luchtkwaliteitseffecten als de geluidsbelasting te internaliseren). Paragraaf 3.7 gaat in op het realiteitsgehalte van deze aannames.

In de hiernavolgende paragrafen wordt een aantal van de aannames die hierboven besproken zijn aan een nadere analyse onderworpen. Daaruit komt naar voren dat in de bestaande scenario's een aantal belangrijke onzekerheden vanuit het huidige perspectief onvoldoende doorwerken op de vraag naar luchtvaart. Zouden deze onzekerheden meer worden meegewogen in de scenario's, dan zou er een grotere variatie in de uitkomsten zichtbaar zijn. Daarbij lijkt het er sterk op dat de kans groot is dat de vraag op Schiphol lager uitvalt dan de scenario's voorspellen.

¹⁴ IEA, 2008: World Energy Outlook 2008.

¹⁵ Eric Kroes, Abigail Lierens, Marco Kouwenhoven, 2005: The airport Network and Catchment area Competition Model: A comprehensive airport demand forecasting system using a partially observed database, ERSA 2005 presentation.

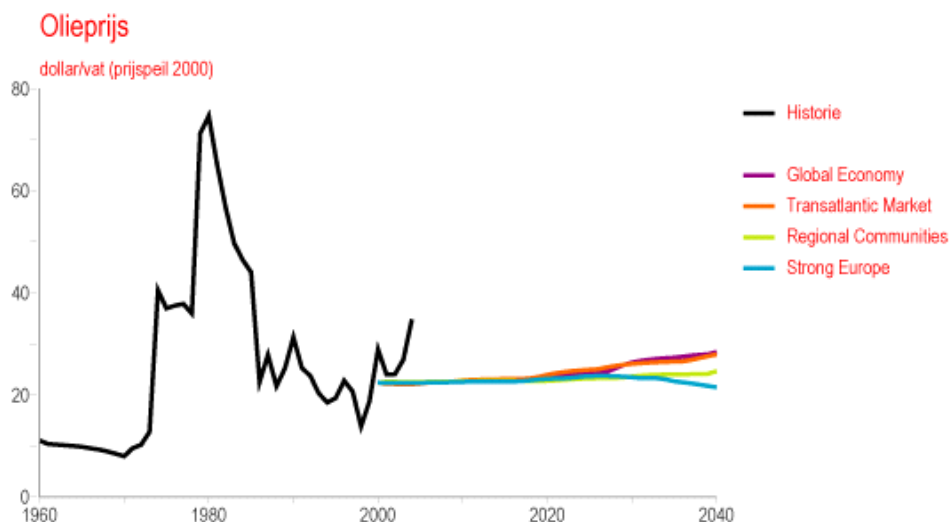
¹⁶ Eric Kroes, Abigail Lierens, Marco Kouwenhoven, 2005: The airport Network and Catchment area Competition Model: A comprehensive airport demand forecasting system using a partially observed database, ERSA 2005 presentation.



3.3 Een hogere olieprijs resulteert in minder vraag naar luchtvaart

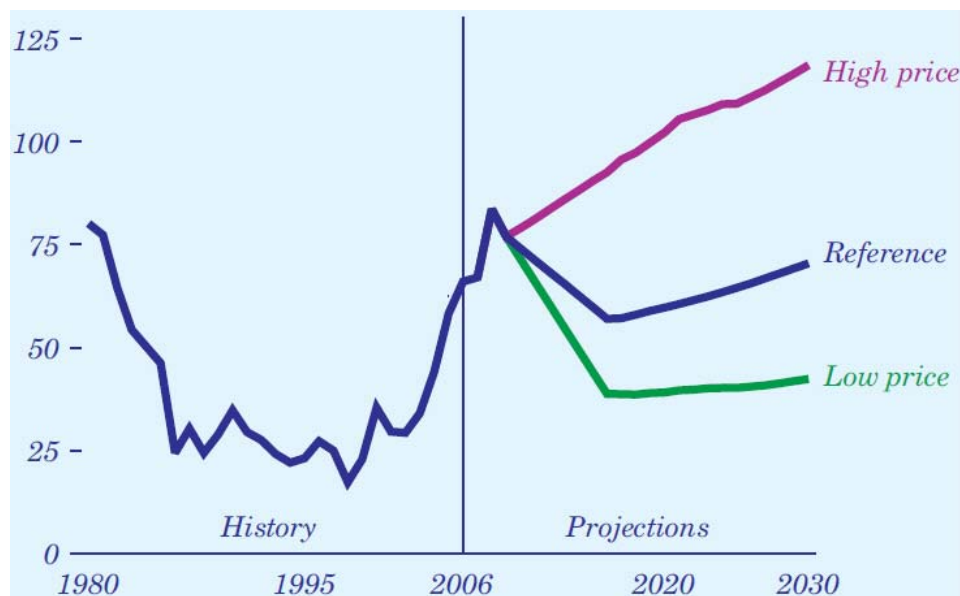
De WLO-scenario's die ten grondslag liggen aan de Nederlandse voorspellingen voor de groei van de luchtvaart voorzien een olieprijs die naar huidige maatstaven erg laag is - variërend tussen US\$ 21 en US\$ 28 per vat (prijspeil 2000). Bovendien is de spreiding in de olieprijsen erg klein, zeker ook als de historische variatie in oenschouwd wordt genomen, zie Figuur 7.

Figuur 7 Voorspellingen olieprijs in WLO-scenario's



Bron: CBS, 2006¹⁷.

Figuur 8 EIA voorspelt olieprijsen tussen US\$₂₀₀₅35 en US\$₂₀₀₆100 om 2020

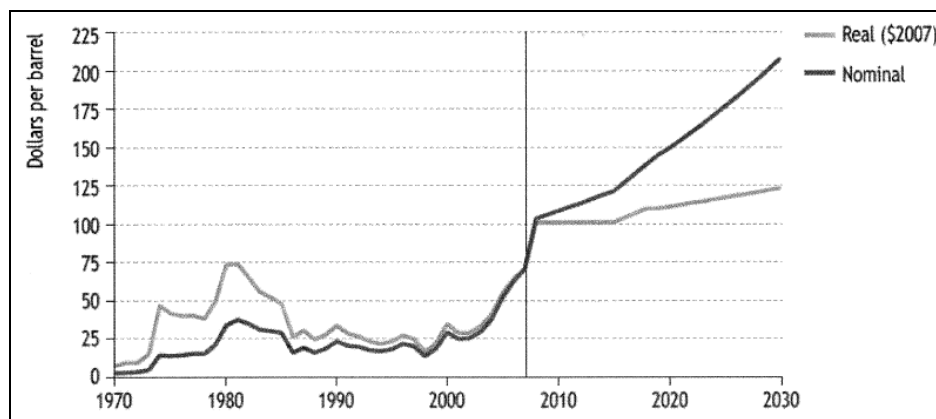


Bron: EIA, 2008.

¹⁷ CPB, 2006: Uitgangspunten voor luchtvaartscenario's 2020 en 2040, Den Haag. IEA, 2008.

Het Internationaal energie agentschap (IEA) heeft in zijn World Energy Outlook 2008 een stijging van de olieprijs voorspeld tot US\$₂₀₀₇110 in 2020.

Figuur 9 Het IEA voorspelt een olieprijs van US\$₂₀₀₇110 in 2020



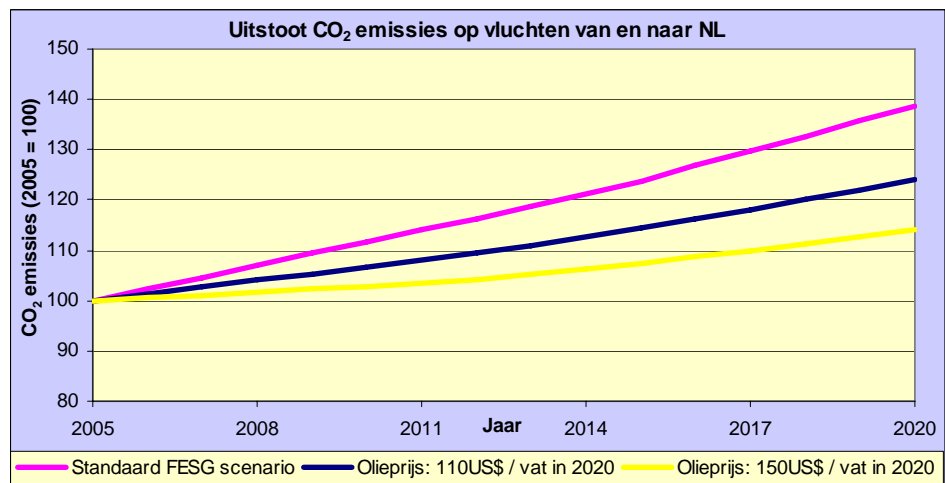
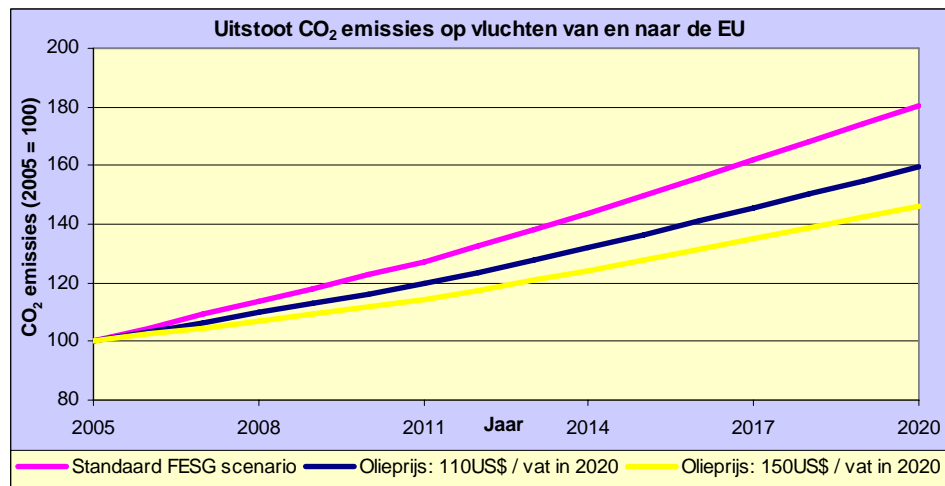
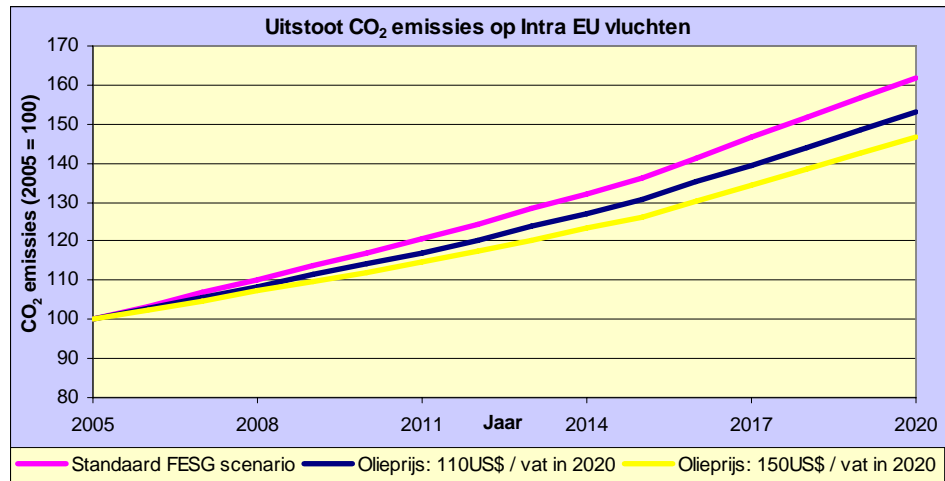
Mede in het licht van de recente volatiliteit van de olieprijs, is het duidelijk dat de ontwikkeling van de olieprijs tot aan het jaar 2020 zeer onzeker is. Op grond hiervan is het FESG-scenario doorgerekend onder een aantal alternatieve olieprijsen. Het gaat om de volgende alternatieve aannames:

- De prijs van een vat olie neemt geleidelijk toe van US\$ 60 per vat in het basisjaar 2005 tot 110 US\$ per vat in 2020. Deze prijs is gebaseerd op de voorspelling van het IEA (zie Figuur 9) en een recente voorspelling van de Energy Information Administration in de Verenigde Staten (US-EIA)¹⁸.
- De prijs van een vat olie neemt geleidelijk toe van US\$ 60 per vat in het basisjaar 2005 tot 150 US\$ per vat in 2020. Deze prijs is beschouwd als een 'what-if'-analyse: 'Wat is de invloed op de luchtvaart indien de hoge olieprijs in de zomer van 2008 geleidelijk aan (i.e. in de periode tot aan 2020) structureel van toepassing zou worden?'

In Figuur 10 is de ontwikkeling van CO₂-emissies tussen 2005 en 2020 weergegeven voor het standaard FESG-scenario, en voor het FESG-scenario onder de bovengenoemde hogere olieprijsen. Aangezien de hogere olieprijsen zullen worden doorberekend in de ticketprijs, zal er een demping van de groei optreden. Te zien is dat de hogere olieprijsen een grote invloed hebben op de groei van de luchtvaartemissies. Voor de intercontinentale vluchten van en naar de EU neemt de groei van emissies in de periode 2005-2020 af van 80% in geval van het standaard FESG-scenario tot 45% bij een olieprijs van 150 US\$ per vat in 2020.

¹⁸ Zie: <http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/>.

Figuur 10 Ontwikkeling CO₂-emissies tussen 2005 en 2020: Standaard FESG-scenario versus FESG-scenario met hoge olieprijs



Bron: AERO-MS, Figuur 3.1.

Concluderend kan worden gesteld dat het FESG-scenario de invloed van de olieprijs op de vraag naar luchtvaart onderschat, zeker voor de Nederlandse situatie. Het SEO/RAND-scenario gaat uit van olieprijsen die erg weinig



variatie vertonen. Bovendien lijken ze vanuit het huidige perspectief laag. Als de meest recente olieprijsscenario's werkelijkheid worden, zal de groei van de luchtvaartemissies jaarlijks 1,6% achterblijven bij de huidige luchtvaartscenario's.

3.4 Veranderingen in de netwerkstructuur kunnen leiden tot minder vluchten op Schiphol

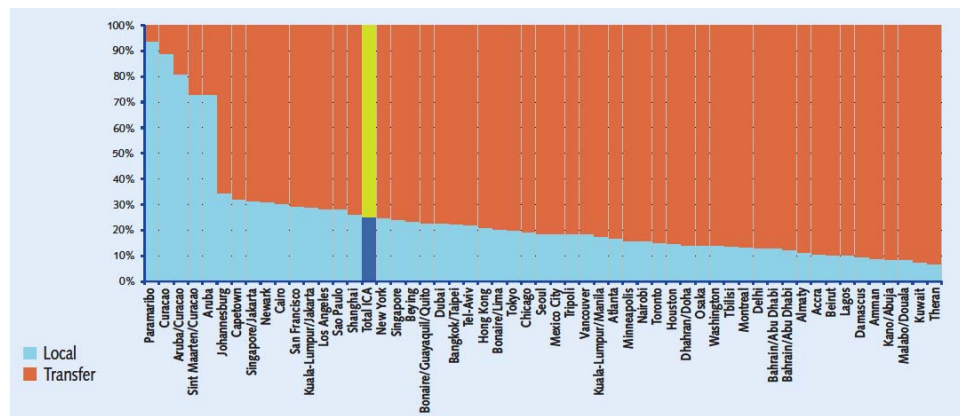
Schiphol is een typische luchtvaart*hub*. Een groot deel van de vertrekkende passagiers komt van een andere luchthaven en een groot deel van de aankomende passagiers heeft Schiphol niet als eindbestemming.

Hubs maken een efficiënt vervoersysteem mogelijk omdat er in een hub-en-spoke-systeem minder verbindingen nodig zijn dan in een point-to-point-systeem. In de Verenigde Staten en in Europa zijn hubs steeds belangrijker geworden na de liberalisering van de luchtvaart (in de jaren 1980 in de VS en in de jaren 1990 in Europa) (Nyfer, 2000)¹⁹.

Schiphol was echter al lang een overstapluchthaven voordat de luchtvaart geliberaliseerd werd (Nyfer, 2002)²⁰. Het is vanaf het einde van de Tweede Wereldoorlog een bewuste strategie van KLM geweest, ondersteund door het Rijk en Schiphol, om passagiers van buiten Nederland via Schiphol naar bestemmingen buiten Nederland te vervoeren. In het begin kwamen de buitenlandse passagiers vooral uit Duitsland, dat zelf geen luchtvaartactiviteiten mocht ontplooiën. Maar ook na de oprichting van Lufthansa bleef KLM doorgaan op de ingeslagen weg.

Ook tegenwoordig is het merendeel van de passagiers op intercontinentale vluchten van KLM transferpassagiers. Alleen de vluchten naar Paramaribo en de Antillen zijn hoofdzakelijk bezet met bestemmingspassagiers (zie Figuur 11).

Figuur 11 Intercontinentale vluchten van de KLM zijn hoofdzakelijk voor transferpassagiers



Bron: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2005: Mainport Schiphol beleidsinformatie: achtergronddocument.

¹⁹ Nyfer, 2000: Hub of spokestad: regionaal-economische effecten van luchthavens, Breukelen.

²⁰ Nyfer, 2002: Leven van de lucht, Breukelen.



Natuurlijk zijn veel vluchten op Schiphol niet intercontinentaal of wel intercontinentaal maar niet van KLM. In 2007 was 19% van de vliegtuigbewegingen op Schiphol intercontinentaal, en 32% van de passagiers had een intercontinentale vlucht (Schiphol Group, 2008)²¹. Op Intra-Europese vluchten en mogelijk ook op de intercontinentale vluchten die niet door KLM worden uitgevoerd ligt het aandeel transferpassagiers aanzienlijk lager dan op de intercontinentale KLM-vluchten. Van alle passagiers op Schiphol was in 2007 41% transferpassagier, een redelijk constant aandeel; in 2006 was het 42% (Schiphol Group, 2008)²².

Omdat er zoveel transferpassagiers op Schiphol zijn, lijkt met name het intercontinentale netwerk gevoelig voor veranderingen in het luchtvaartnetwerk. Deze paragraaf beschouwt twee mogelijke veranderingen en hun effecten voor Schiphol:

1. Een concentratie van Air France/KLM op Parijs.
2. De opkomst van hubs in het Midden-Oosten.

3.4.1 Concentratie van Air France/KLM op Parijs

Bij de fusie tussen Air France en KLM heeft de nieuwe combinatie aan de Nederlandse Staat de garantie gegeven om gedurende vijf jaar 42 sleutelbestemmingen van KLM op Schiphol in stand te houden. Deze garantie loopt in 2009 af (Tweede Kamer, 2003)²³. Wel blijft de garantie bestaan dat Schiphol een hub blijft, maar dit concept is niet duidelijk gedefinieerd. Ook hebben Schiphol en Aéroports de Paris een overeenkomst gesloten om gezamenlijk te opereren als 'dual-hub'²⁴. Die overeenkomst loopt tot 2020.

De geschiedenis kent verschillende voorbeelden waarin luchtvaartmaatschappijen hun hub-activiteiten hebben geconcentreerd op één hub (AirNeth, 2005)²⁵. Er zijn nauwelijks voorbeelden van maatschappijen die gedurende langere tijd twee hubs hebben aangehouden die relatief dicht bij elkaar liggen. Het in stand houden van twee hubs kost immers meer dan het hebben van een enkele hub. Mogelijke redenen waarom een maatschappij toch twee hubs zou kunnen aanhouden zijn gelegen in de luchtvaartpolitiek (als de ene hub vervoersrechten heeft naar bepaalde landen die de andere hub ontbeert) of in capaciteitsgebrek op de hoofd-hub.

Naarmate de EU steeds meer vervoersovereenkomsten afsluit met derde landen worden de luchtvaartpolitieke voordelen van een tweede hub minder belangrijk. Bijvoorbeeld, waar Nederland de laatste decennia een sterke positie had vanwege een open skies-verdrag met de VS, is deze positie verslechterd door het verdrag tussen de EU en de VS, waar Franse luchthavens en maatschappijen even goed van profiteren als Nederlandse.

De tweede reden, capaciteitsgebrek op de hoofd-hub, blijft bestaan. Het is echter de vraag of Parijs Charles de Gaulle een capaciteitsgebrek heeft.

²¹ Amsterdam Airport Schiphol, 2008: Statistical Annual Review 2007, Amsterdam.

²² Amsterdam Airport Schiphol, 2008: Statistical Annual Review 2007, Amsterdam.

²³ Tweede Kamer, vergaderjaar 2003-2004, 29 232, nr. 1.

²⁴ Aéroports de Paris and Schiphol Group to create a leading global alliance in the airport industry, <http://www.schipholgroup.com/Onderneming/NieuwsPers/PersberichtItem/AroportsDeParisAndSchipholGroupToCreateALeadingGlobalAllianceInTheAirportIndustry.htm>, geraadpleegd 7-1-2008.

²⁵ AirNeth, 2005: AirNeth workshop report: Strategies of multi-hub airlines and the implications for national aviation policies.



Het overnemen van (een deel van) de transpassagiers die momenteel op Schiphol overstappen door Parijs, zou van Parijs een zeer grote luchthaven maken. Parijs had in 2007 bijna 60 miljoen passagiers en ongeveer 550.000 vluchten. Schiphol had bijna 48 miljoen passagiers, waarvan bijna 20 miljoen transferpassagiers en ruim 450.000 vluchten (ACI, 2008)²⁶. Als alle transferpassagiers van Schiphol zouden overstappen op Parijs (bovengrensbenedering), zou die luchthaven groeien tot 80 miljoen passagiers. Als een evenredig aantal vluchten zou worden verplaatst, zou Parijs jaarlijks ongeveer 740.000 vluchten afwikkelen. De grootste luchthaven ter wereld, Atlanta, had in 2007 bijna 90 miljoen passagiers en een miljoen vluchten. Een luchthaven met 80 miljoen passagiers per jaar is dus niet ondenkbaar, en er is kennis over hoe dergelijke passagiersstromen logistiek kunnen worden vormgegeven.

Als Air France/KLM zou besluiten de activiteiten te concentreren op een hub, ligt Parijs CDG meer voor de hand dan Schiphol vanwege de grotere thuismarkt van de eerste.

Een concentratie van Air France/KLM op Parijs zou primair tot gevolg hebben dat het netwerk van KLM op Schiphol verkleint. Het is de vraag in hoeverre het netwerk overgenomen zou worden door andere maatschappijen. Gelet op het grote aandeel transferpassagiers lijkt het onontkoombaar dat het netwerk op Schiphol minder zal worden, tenzij buitenlandse maatschappijen het recht krijgen om Schiphol als hub te gaan gebruiken en daar ook voordelen van inzien.

Voor de mondiale CO₂-emissies zou een concentratie van Air France/KLM op Parijs weinig gevolgen hebben, maar voor Schiphol des te meer.

Hoe groot die gevolgen zijn, hangt af van veel factoren. Als bovengrens kan het totale verlies van transferpassagiers gelden. Als er op intercontinentale vluchten gemiddeld 70% transferpassagiers zijn, en als de meeste transferpassagiers overstappen op een Europese vlucht, dan kan berekend worden dat hun aandeel op Intra-Europese vluchten ongeveer 30% is. Als al die passagiers weg zouden vallen, en onder de aanname dat de bezetting en de gemiddelde grootte van de vliegtuigen constant blijft, dan zou het aantal vliegtuigbewegingen met bijna 40% afnemen. Bij een verlies van de helft van de transferpassagiers zou het aantal vliegtuigbewegingen met ongeveer 20% afnemen.

Deze percentages zijn vergelijkbaar met de afname van vliegtuigbewegingen op twee luchthavens die getroffen werden door een faillissement van hun belangrijkste luchtvaartmaatschappij: Brussel, waar Sabena in 2001 failliet ging, en Zürich, waar Swissair in 2002 zijn activiteiten beëindigde. Op Brussel liep het aantal vluchten na het faillissement van Sabena terug van 357.000 in topjaar 2000 naar een stabiel niveau van ongeveer 255.000 in de jaren 2002 tot en met 2007, een teruggang van bijna 30% (Brussels Airport, 2008)²⁷. In Zürich verminderde het aantal vluchten na de teloorgang van Swiss Airlines van 326.000 in topjaar 2000 tot ongeveer 265.000 in de jaren 2003-2007, een teruggang van bijna 20% (Unique, 2008)²⁸.

²⁶ ACI, 2008, STATISTICS: TOP 30 WORLD AIRPORTS, <http://www.aci.aero>.

²⁷ Brussels Airport 2008: Brutrends 2007.

²⁸ Unique (Flughafen Zürich AG), 2008: Statistikbericht 2007.

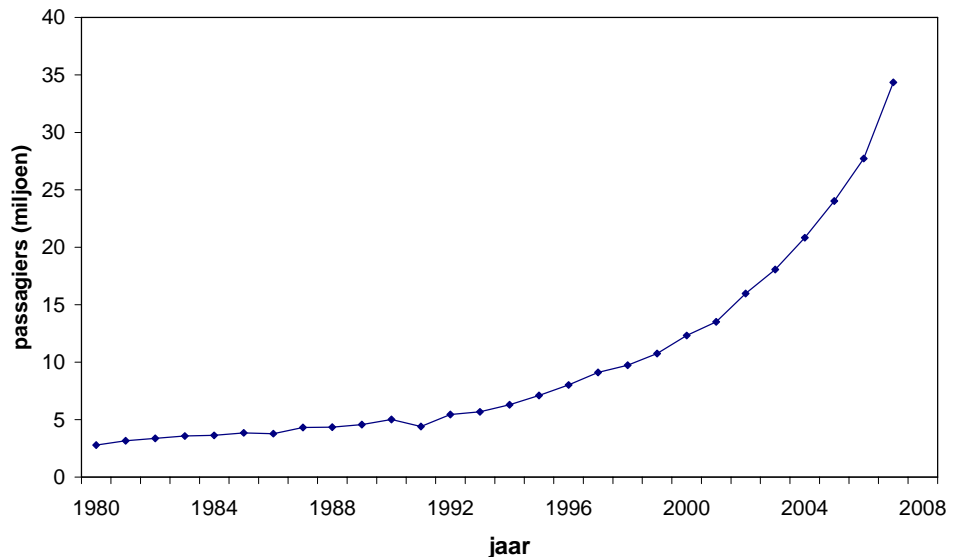


Uit deze voorbeelden blijkt ook dat de teruggang in vliegtuigbewegingen langdurig kan aanhouden.

3.4.2 De opkomst van hubs in het Midden-Oosten

In de Golf zijn twee luchthavens sterk in opkomst: Abu Dhabi met Etihad als voornaamste maatschappij en meer nog Dubai met Emirates als voornaamste maatschappij. Met name Dubai maakt een stormachtige ontwikkeling door (zie Figuur 12). In 2007 was Dubai gemeten naar passagiersaantallen de 27^e luchthaven ter wereld (ACI, 2008)²⁹.

Figuur 12 Passagiersaantallen op Dubai International Airport nemen exponentieel toe



Bron: Dubai International Airport, ACI.

Het is de vraag of, en zo ja hoe en in hoeverre, de opkomst van deze nieuwe hubs invloed kan hebben op Europese hubs en met name op Schiphol. Het is niet mogelijk binnen het bestek van deze studie op die vragen een uitputtend antwoord te geven. Wel kunnen een aantal factoren worden beschouwd die samen een deel van het antwoord uitmaken. We kijken hier vooral naar de geografische ligging van Dubai ten opzichte van belangrijke bevolkingscentra en economische centra.

Figuur 13 laat zien dat Dubai zo'n 5.000 km verwijderd is van belangrijke bevolkingscentra in West-Europa en Zuidoost Azië; ruim 7.500 km van Japan en meer dan 15.000 km van de westkust van de Noord-Amerika. Dit betekent dat met vliegtuigen als de A380 en de A340 bijna de gehele bewoonde wereld met een rechtstreekse vlucht vanuit Dubai bereikt kan worden (ter vergelijking, vanuit Europa kan niet rechtstreeks op heel Australië gevlogen worden en vanuit de oostkust van de VS kan Australië in het geheel niet met een rechtstreekse vlucht van minder dan 15.000 km bereikt worden).

²⁹ ACI, 2008: Annual Traffic Data: Passenger Traffic 2007 FINAL, http://www.aci.aero/cda/aci_common/display/main/aci_content07_c.jsp?zn=aci&cp=1-5-54-55_666_2__.



Figuur 13 Vanuit Dubai kan het grootste deel van de wereld bereikt worden met een rechtstreekse vlucht



Figuur 14 Dubai heeft een strategische positie op routes tussen Europa en Zuidoost Azië



Bron: Great Circle Mapper, www.gc.kls2.com.

Omdat passagiers in het algemeen een voorkeur hebben voor rechtstreekse vluchten zouden de nieuwe hubs en hun luchtvaartmaatschappijen op routes van Europa naar Zuidoost Azië alleen passagiers kunnen aantrekken door lage prijzen of hoge kwaliteit te leveren. Dit ligt anders voor routes naar Australië, waar altijd een overstap nodig is.

Voor routes tussen de oostkust van Noord Amerika en Azië ligt Dubai vooral gunstig als de bestemming Zuidoost Azië is, terwijl voor verkeer tussen de oostkust van de VS en Australië een westelijke route meer voor de hand ligt. Dit blijkt uit Figuur 15.

Figuur 15 Dubai heeft ook een goede positie op routes tussen oostelijk Noord-Amerika en Zuidoost Azië



Bron: Great Circle Mapper, www.gc.kls2.com.

In principe zouden nieuwe hubs op twee manieren schade kunnen toebrengen aan de concurrentiepositie van Schiphol. Ten eerste kunnen nieuwe hubs transferpassagiers aantrekken op markten die nu door Schiphol worden bediend. Ten tweede kunnen luchtvaartmaatschappijen op nieuwe hubs de hub-functie van Schiphol ondermijnen door passagiers via hun hub te laten vliegen in plaats van met KLM (de zogenaamde hub-bypassing).

Uit de geografische analyse hierboven volgt dat de hubs in de Perzische Golf passagiers zouden kunnen overnemen op routes tussen Noord-Amerika en Zuidoost Azië en op routes tussen Europa en Australië.

Schiphol had in 2007 zes bestemmingen in Zuidoost Azië (Indonesië, Thailand, Maleisië (2), Filippijnen, en Singapore) en nog eens zes in India op een totaal van 110 intercontinentale bestemmingen (Schiphol Group, 2008)³⁰. Het gaat nu om ca. 8% van het verkeer, maar dat kan hoger worden omdat het gebieden met hoge economische groei zijn. Hoewel een eventueel verlies van de Zuidoost Aziatische bestemmingen ook repercussies zou kunnen hebben voor andere bestemmingen, lijkt er op grond van deze gegevens niet een heel groot effect van de opkomst van Dubai te verwachten.

Voor de mondiale CO₂-emissies zou het vermoedelijk niet veel uitmaken als Dubai verkeer overneemt van West-Europese of Aziatische luchthavens. Alleen wanneer Dubai in staat is om passagiers aanzienlijk te laten omvliegen en ze dus langere reistijden te laten hebben zouden de emissies toenemen. Aan omvliegen zijn echter aanzienlijke kosten verbonden. Het is dan ook niet waarschijnlijk dat dit op grote schaal gaat plaatsvinden (zeker niet in het geval van hoge olieprijsen).

3.4.3 Conclusie

Concluderend, een verandering van de netwerkstructuur kan grote effecten hebben voor de Nederlandse luchtvaart. Met name een strategische beslissing van Air France/KLM om het intercontinentale netwerk op Schiphol te beperken kan het aantal passagiers en vliegtuigbewegingen op Schiphol significant doen afnemen. De opkomst van hubs in het Midden-Oosten lijkt minder verstrekende gevolgen te hebben. Geen van de Nederlandse scenario's houdt rekening met het afbouwen van Schiphol als hub.

Een verandering van de netwerkstructuur heeft vermoedelijk weinig effect op het wereldwijde klimaateffect van de luchtvaart.

3.5 Hogesnelheidstreinen concurreren met de luchtvaart

Op kortere afstanden hebben reizigers doorgaans de keuze uit verschillende vervoersmiddelen. Behalve met het vliegtuig is het vaak ook mogelijk om met de auto, trein of bus te reizen. De keuze tussen deze verschillende vervoersmiddelen wordt beïnvloed door een groot aantal factoren, waarvan reistijd, frequentie, prijs en betrouwbaarheid de belangrijkste zijn.

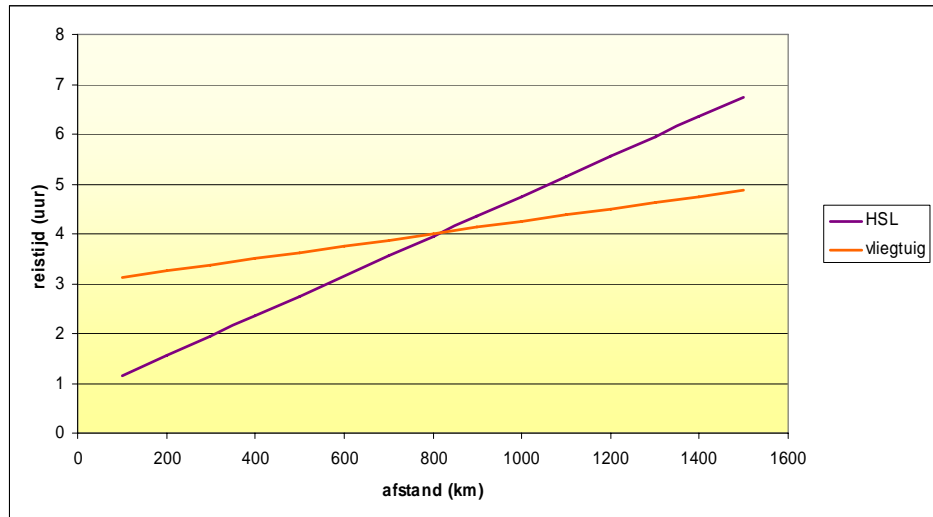
Van de genoemde vervoersmiddelen is met name de hogesnelheidstrein een optie die op middellange afstanden kan concurreren met het vliegtuig. Volgens het KiM gaat het hierbij met name om afstanden tot 800 km. Vanuit Schiphol bezien gaat het dus om bestemmingen als Antwerpen, Brussel, Parijs, Londen, Keulen en Frankfurt. Figuur 16 geeft schematisch de reistijden weer voor het vliegtuig en de HSL. Hierin is duidelijk te zien dat qua reistijd het break-even point op ongeveer 800 km ligt³¹.

³⁰ Amsterdam Airport Schiphol, 2008: Statistical Annual Review 2007, Amsterdam.

³¹ Bij de berekening is er van uitgegaan dat een vliegtuig gemiddeld 800 km/uur vliegt, en dat er 1,5 uur nodig is voor check-in, 1 voor check-out en 0.5 uur om in het centrum van de stad te komen. Voor de HSL is uitgegaan van gemiddeld 250 km/uur, en 3 tussenstops die elk een kwartier duren.



Figuur 16 Reistijd per HSL en vliegtuig voor verschillende afstanden



Ter illustratie geeft Figuur 17 weer welke bestemmingen hemelsbreed gezien binnen 1.000 km van Schiphol liggen. Omdat treinverbindingen uiteraard niet hemelsbreed gemeten worden, en omdat niet op elk traject hogesnelheidstreinen kunnen rijden, zal het effectieve bereik kleiner zijn. Toch blijkt hieruit dat voor grote delen van Duitsland, België, Noord-Frankrijk, Groot-Brittannië en Denemarken, en mogelijk zelfs delen van Polen en Italië de HST qua reistijd een alternatief kan zijn voor het vliegtuig. Tussen nu en 2020 zijn bovendien forse uitbreidingen van het HSL-net in Europa te verwachten: in 2007 was er nog 5.000 km HSL-net, in 2020 zal dat zijn uitgebreid tot 15.000 km (KiM, 2008). Bovendien neemt tussen 2007 en 2010 de reistijd op een aantal trajecten behoorlijk af (KiM, 2008). Zo is Brussel in 2010 in één uur en drie kwartier te bereiken vanaf Amsterdam, en Londen in vier uur (KiM, 2008).

Figuur 17 Een groot deel van Europa ligt binnen 1.000 km van Schiphol



Bron: Great Circle Mapper, www.gc.kls2.com.

Het KiM schat dat het in 2020 mogelijk is om 1,6 miljoen vliegreizen te vervangen door HSL-reizen, met name op de trajecten Schiphol-Brussel, Schiphol-Parijs en Schiphol-Londen. Uitgaande van een gemiddelde van 100 passagiers per vlucht komt dit neer op 16.000 vluchten, ofwel 2,5% van het verwachte totale aantal vluchten op Schiphol in 2020 (KiM, 2008). Er zijn echter ook redenen om aan te nemen dat het potentieel groter is dan deze 2,5%. Tabel 4 geeft een overzicht van het totale aantal vluchten op Schiphol in 2007 (AAS, 2008), het aantal vluchten naar Londen, Parijs en Brussel, en een schatting van het aantal vluchten binnen een straal van ongeveer 800 km³². Hierin is te zien dat ruim 10% van de vluchten naar Londen, Brussel of Parijs CdG gaat. Het aantal vluchten naar bestemmingen binnen 800 kilometer ligt nog een stuk hoger, op bijna 40%. Een goed HSL net vanaf Schiphol zou dus veel vliegverkeer kunnen overnemen, waardoor het aantal vluchten op Schiphol sterk zou kunnen verminderen.

Tabel 4 Aantal vluchten op Schiphol in 2007 naar afstand

	Aantal vluchten	% van totaal
Totaal	435.973	100%
Londen, Brussel, Parijs	44.495	10%
< 800 km	169.588	39%

3.6 De trendmatige daling van de kosten van luchtvaart hoeft zich niet door te zetten

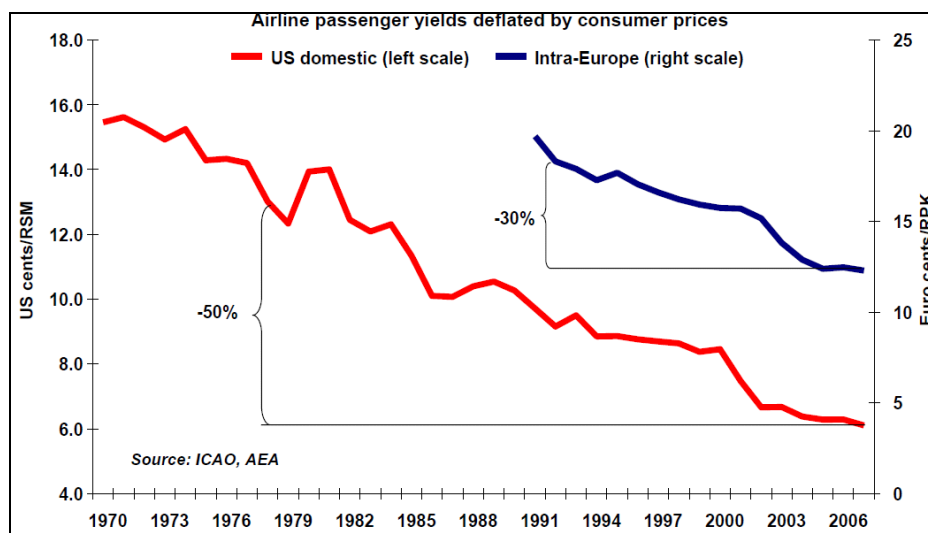
In de meeste prognoses wordt uitgegaan van een voortzetting van de trend van steeds lagere kosten per passagierskilometer in de luchtvaart. In het SEO/RAND-scenario wordt tegelijkertijd aangenomen dat de kosten van auto- en treinvervoer trendmatig stijgen. Als reden voor de dalende kosten van luchtvaart wordt de concurrentiedruk gegeven. Dit resulteert in een voorspelde verschuiving naar de luchtvaart toe, en een sterkere toename van de luchtvaart.

Het is de vraag of de huidige trend zich zal doorzetten. Economische analyses van de kostenverlaging over de afgelopen jaren hebben de liberalisering van de luchtvaartmarkt aangewezen als een belangrijke factor (Carlsson, 2004; Gagnepain en Marín, 2008). Dit blijkt ook uit Figuur 18.

³² Schatting gebaseerd op het totale aantal vluchten naar het Verenigd Koninkrijk, Duitsland, België, Denemarken, binnenlandse vluchten en de helft van het aantal vluchten naar Frankrijk.



Figuur 18 Liberalisering van vliegverkeer heeft zowel in de VS als in Europa tot lagere kosten geleid



Bron: IATA, 2008.

De liberalisering heeft ook geleid tot de opkomst van de low-cost carriers. Die hebben onder meer rechtstreekse boekingen via internet, minder voorzieningen aan boord en snellere omkeertijden op luchthavens. Mede door deze innovaties hebben low-cost maatschappijen kostenvoordelen op traditionele luchtvaartmaatschappijen (IATA)³³.

De liberalisering van de Intra-Europese luchtvaart is in 1997 voltooid. Het is daarom niet te verwachten dat op deze routes de liberalisering tot een verdere kostenverlaging zal leiden. Op intercontinentale routes kan de liberalisering nog wel verder doorgaan. In 2007 heeft de EU een open skies-verdrag met de VS gesloten, maar op andere routes wordt de luchtvaart nog geregeld met bilaterale overeenkomsten.

Anders dan op de Intra-Europese markt is het onwaarschijnlijk dat de liberalisering op de intercontinentale markt zal leiden tot een significant markt-aandeel voor low-cost maatschappijen (zie ook Airneth, 2007)³⁴. Een aantal van hun kostenvoordelen zijn namelijk niet te bereiken op lange-afstandsvluchten: snellere omkeertijden leveren relatief steeds minder voordeel op wanneer de vluchttijd langer is; voorzieningen aan boord worden steeds belangrijker naarmate de vlucht langer duurt en over het algemeen hechten passagiers ook meer aan comfort op langere vluchten (bijvoorbeeld meer beenruimte en voedsel). Voor bepaalde markten zal er wel een mogelijkheid bestaan voor low-cost lange afstandsvluchten, maar het is zeer de vraag in hoeverre dat leidt tot een neerwaartse druk op het prijsniveau.

Wel is het mogelijk dat liberalisering op de intercontinentale markt leidt tot een toename in concurrentie en daarmee tot een neerwaartse druk op prijzen.

³³ IATA, z.j., Airline Cost Performance, IATA ECONOMICS BRIEFING No. 5.

³⁴ Airneth, 2007, Summary - The main findings of the Long Haul Low Cost seminar.



Tot slot is er in de luchtvaart een consolidatieslag gaande. In Europa blijkt dit uit de overname van Swiss door Lufthansa, de interesse van Lufthansa voor Austrian, de interesse van BA voor Iberia, enzovoort. Wanneer deze trend zich voortzet zullen de luchtvaartmaatschappijen steeds meer marktmacht krijgen en hun prijzen kunnen verhogen.

Concluderend is het goed denkbaar dat de sterke daling van de kosten en prijzen van de luchtvaart af zal nemen. De belangrijkste drijvende krachten - liberalisering en de daarmee samenhangende opkomst van low-cost carriers - zijn afgerond op de Intra-Europese markt en zullen minder impact hebben op de prijzen op de intercontinentale markten. Bovendien kan een consolidatieslag in de luchtvaart een tegenwicht bieden.

Een afvlakking van de daling van de kosten en prijzen (of een omkering van de trend) heeft tot gevolg dat de vraag naar luchtvaart afneemt en daarmee ook de luchtvaartemissies en het aantal vluchten van en naar Nederlandse luchthavens.

3.7 Nieuw milieubeleid is te verwachten vanuit de EU

Het transportbeleidskader van de Europese Unie is gericht op het internaliseren van externe kosten (EC, 2001; EC, 2006)³⁵. In lijn hiermee is recentelijk de richtlijn aangenomen om luchtvaart onder te brengen in het EU ETS (EU, 2008; EC, 2005)³⁶. Uit hoofdstuk 2 blijkt dat de milieueffecten van luchtvaart verder reiken dan de CO₂-emissies alleen. Internalisatie van andere effecten zou in lijn zijn met het Europese beleidskader. Op grond van de niet-CO₂-klimaateffecten en andere milieueffecten van luchtvaart ligt een verdergaand pakket voor de hand. Dat zou bijvoorbeeld kunnen bestaan uit:

1. EU ETS voor CO₂-emissies van de luchtvaart.
2. Heffing of emissiehandelssysteem voor het klimaateffect van NO_x-emissies.
3. Een vliegbelasting voor beperking van de overige klimaateffecten van luchtvaart en geluid (i.e. met name contrails en cirrus).
4. Een LTO-heffing voor de uitstoot van luchtvervuilende stoffen.

De effecten van een dergelijk beleidspakket op de vraag naar luchtvaart zijn onderwerp van hoofdstuk 5. Hier volstaat het te vermelden dat een dergelijk pakket in lijn is met bestaande Europese beleidskaders waaraan ook Nederland zich heeft gecommitteerd en dat een dergelijk pakket een groeivertraging kan teweegbrengen van een aantal jaren. Wanneer de ETS-prijzen oplopen door toenemende schaarste aan rechten kan de groei nog verder afvlakken.

In de WLO-scenario's is slechts in een van de scenario's rekening gehouden met een vorm van internalisering van externe kosten. In het SE-scenario is BTW op vliegtickets voorzien (vergelijkbaar met de vliegbelasting, al is de vliegbelasting gemiddeld waarschijnlijk lager dan het BTW-tarief) en een kerosineheffing (de hoogte van de kerosineheffing staat noch in SEO 2006 noch

³⁵ European Commission, Time to decide, 2001.

European Commission, Keep Europe moving, 2006.

³⁶ DIRECTIVE 2008/101/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 November 2008, amending Directive 2003/87/EC so as to include aviation activities in the scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community;

Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social committee and the Committee of the Regions - Reducing the Climate Change Impact of Aviation COM(2005)459.



in CPB 2006 en kan dus niet vergeleken worden met de hoogte van de EUA-prijzen).

Concluderend, Nederland heeft zich geëngageerd aan Europese beleidskaders die het aannemelijk maken dat externe milieukosten van de luchtvaart zullen worden geïnternaliseerd. Dit is in drie van de vier scenario's niet verwerkt. Bovendien zijn de kosten in het enige scenario waar wel met milieubeleid rekening wordt gehouden te laag ingeschat. Vanwege deze factoren zal implementatie van milieubeleid leiden tot lagere groei dan in de scenario's is voorzien.

3.8 Conclusie

Dit hoofdstuk heeft twee toonaangevende luchtvaartscenario's geanalyseerd. Bepaalde aannames waarop ze zijn gebaseerd zouden nu anders ingeschat kunnen worden. Dit hoofdstuk heeft met name gekeken naar de invloed van de olieprijs, veranderingen in de netwerkstructuur, kosten van de luchtvaart en uitbreiding van het hogesnelheidstreinennetwerk op de vraag naar luchtvaart. Uit de analyses komen de volgende belangrijke punten naar voren.

- De invloed van de olieprijs op de vraag naar luchtvaart is significant. De variatie in de olieprijs is echter onvoldoende tot uitdrukking gebracht in de luchtvaartscenario's. Wanneer de huidige voorspellingen over olieprijsen zouden worden verwerkt in de scenario's, zal de groei van de luchtvaart lager uitvallen.
- Een hogere olieprijs heeft tot gevolg dat de groei van de vraag naar luchtvaart zowel in Nederland als mondiaal afneemt. Daarnaast leidt een hogere olieprijs tot een nog sterkere incentive voor luchtvaartmaatschappijen om tot brandstofbesparing (en daarmee minder CO₂-uitstoot) te komen. Als gevolg hiervan, en als gevolg van de vraagafname, leidt een hogere olieprijs tot een duidelijke vertraging van de groei van het klimaat-effect van de luchtvaart.
- Een eventuele beslissing van Air France/KLM om het intercontinentale netwerk op Schiphol te beperken kan het aantal passagiers en vliegtuigbewegingen op Schiphol significant doen afnemen. Voor de mondiale emissies heeft dit nauwelijks effect.
- Waar de meeste scenario's uitgaan van een voortgezette daling van de prijzen van luchtvaart, achten wij het eerder waarschijnlijk dat de sterke daling van de kosten en prijzen van de luchtvaart af zal nemen. De belangrijkste drijvende krachten - liberalisering en de daarmee samenhangende opkomst van low-cost carriers - zijn afgerond op de Intra-Europese markt en zullen minder impact hebben op prijzen op de intercontinentale markten. Bovendien kan een consolidatieslag in de luchtvaart een tegenwicht bieden.
- Een uitbreiding van het hogesnelheidstreinennetwerk kan de vraag naar luchtvaart vanuit Nederland aanzienlijk beperken. Tot ongeveer 40% van de vluchten hebben bestemmingen op minder dan 800 km, de grens waar het vliegtuig reistijdvoordeel begint te hebben.
- Voortvloeiend uit bestaande beleidskaders zullen milieukosten geïnternaliseerd worden in de luchtvaart. Met de externe kosten van CO₂-emissies is al een begin gemaakt. Hierdoor zal de groei van de luchtvaart afnemen.



Concluderend laten de bestaande scenario's vanuit het huidige perspectief een aantal belangrijke onzekerheden onvoldoende doorwerken op de vraag naar luchtvaart. Als dit beter zou gebeuren, dan zou er een grotere variatie in de uitkomsten zichtbaar zijn. De analyses in dit hoofdstuk laten zien dat de kans groot is dat de groei van de vraag wereldwijd, en zeker op Schiphol lager uitvalt dan de scenario's voorspellen.



4 De luchtvaart kan zijn klimaat-effecten beperken

De luchtvaart heeft mogelijkheden om het klimaateffect te beperken. De sector heeft zich zelfs als doel gesteld om op de langere termijn de CO₂-emissies terug te brengen tot 0, ofwel CO₂-vrij vliegen. De veranderingen die hiervoor volgens de luchtvaartsector nodig zijn, zijn veel efficiëntere vlieg-tuigen, zonne-energie en biobrandstoffen (IATA, 2009). Het is de vraag hoe realistisch het is dat met deze veranderingen het beoogde doel kan worden bereikt.

Dit hoofdstuk analyseert het potentieel van vier veel genoemde mogelijkheden om het klimaateffect van de luchtvaart te beperken: zuinigere vliegtuigen, biobrandstoffen, operationele verbeteringen en alternatieven voor transport. Beleidsmaatregelen om er voor te zorgen dat het potentieel van deze mogelijkheden ook daadwerkelijk benut wordt, worden beschreven in hoofdstuk 5.

Er zijn een aantal technische en operationele maatregelen mogelijk waarmee de luchtvaart zijn uitstoot per passagierskilometer kan verminderen:

- Vliegtuigen en motoren kunnen technisch nog verder verbeterd worden, wat kan leiden tot een efficiëntieverbetering van 40% wanneer de nieuwe technologie volledig in de vloot zal zijn doorgedrongen.
- Duurzame biobrandstoffen kunnen in principe een bijdrage leveren aan het verminderen van de CO₂-emissies van de luchtvaart, maar leveren geen bijdrage aan het verminderen van de andere klimaateffecten.
- Operationele maatregelen kunnen de uitstoot per passagierskilometer met maximaal zo'n 5% verminderen

Hoewel deze verbeteringen aanzienlijk zijn, is duidelijk dat de bestaande groeivoorspellingen elke verbetering in efficiëntie teniet zullen doen, ook bij lagere prognoses. Als de luchtvaart blijft doorgroeien, kunnen noch grote technologische verbeteringen noch biobrandstoffen de emissies terugbrengen op het niveau van 2005, laat staan dat de emissies kunnen dalen.

Bovendien moet benadrukt worden dat de relatieve vermindering van de uitstoot van broeikasgassen voorwaardelijk is. Als de ACARE-doelen worden gehaald en als efficiëntere vliegtuigen ook commercieel aantrekkelijk zijn; als biobrandstoffen ontwikkeld kunnen worden die de emissies over de hele productieketen verminderen en als die biobrandstoffen niet duurder zijn dan conventionele kerosine; als operationele verbeteringen nog niet zijn uitgeput en als videovergaderingen inderdaad zakenvluchten gaan vervangen, ja dan kan de emissiegroei stoppen of zelfs negatief worden.

Duidelijk mag zijn dat de kans niet zo groot is dat alle bovengenoemde ontwikkelingen daadwerkelijk vanzelf zullen plaatsvinden. De verwachting is dan ook dat zonder overheidsmaatregelen de luchtvaartemissies zullen blijven toenemen.



4.1 Ontwikkelingen vliegtuigtechnologie

In de afgelopen 50 jaar is de efficiency van vliegtuigen sterk verbeterd. Toch is er - ook volgens de vliegtuigindustrie zelf - nog veel potentieel om de efficiëntie verder te verbeteren. Zo heeft bijvoorbeeld de *Advisory Council for Aeronautics Research in Europe (ACARE)* doelen geformuleerd over de milieuprestatie van vliegtuigen. ACARE is een samenwerkingsverband van o.a. overheidsinstellingen, onderzoeksinstituten, vliegtuigbouwers en luchtvaartmaatschappijen. We zullen deze doelen later bespreken.

Naast ACARE hebben ook andere organisaties in de luchtvaart doelen gesteld. NASA heeft doelen die vergelijkbaar zijn met de doelen van ACARE. IATA, de organisatie van luchtvaartmaatschappijen, heeft zich als doel gesteld om in 2020 het brandstofverbruik (en dus de CO₂-emissies) per RTK³⁷ met 25% te verminderen ten opzichte van 2005, ofwel 1,9% per jaar. Deze reductie wordt onder andere bewerkstelligd door een hogere bezettingsgraad van vliegtuigen, het meenemen van minder gewicht tijdens de vlucht en het vliegen van directere routes. Op deze manier wil IATA er voor zorgen dat een groei van het aantal RTK's niet automatisch zorgt voor een toename van CO₂-emissies (IATA, 2007).

4.1.1 De ACARE-doelen

De ACARE-doelen zijn verwoord in de Strategic Research Agenda (ACARE, 2004; ACARE, 2008):

- 50% CO₂-reductie per passagierskilometer in 2020 ten opzichte van het vlootgemiddelde in 2000;
- 80% NO_x-reductie per passagierskilometer in 2020 ten opzichte van het vlootgemiddelde in 2000;
- geluidsreductie;
- reductie van andere emissies, zoals roet, koolstofmonoxide, SO_x en PM.

Bij het bespreken van de ACARE-doelen is het belangrijk om de status en de precieze formulering van de doelen te bespreken. Allereerst de status. De ACARE-doelen zijn onderzoeksdoelen. Ze geven richting aan het onderzoek. Hoewel een aantal vooraanstaande personen uit de luchtvaartsector de doelen hebben onderschreven, is er geen verplichting om de doelen te halen noch een straf of boete wanneer de doelen niet gehaald worden.

Ten tweede, de doelen zijn meestal omschreven als vergelijkingen tussen de best beschikbare technologie in 2020 en de gemiddelde technologie in 2000. In het geval van de CO₂-uitstoot is het doel dat de best beschikbare technologie in 2020 per passagierskilometer 50% minder CO₂-uitstoot dan een gemiddelde passagierskilometer in 2000. Vanzelfsprekend is de afname van de *gemiddelde* technologie in 2020 ten opzichte van de *gemiddelde* technologie in 2000 kleiner, misschien zelfs veel kleiner.

Het doel is dus om in 2020 de technologie beschikbaar te hebben waarmee deze reducties op langere termijn gerealiseerd kunnen worden. Dit moet gerealiseerd worden door verbeteringen in het airframe, in de motor en in ATM.

³⁷ RTK staat voor Revenu Ton Kilometer, ofwel de verplaatsing van 1.000 kg betaalde lading of 10 passagiers over 1 kilometer afstand. Een vlucht van 700 kilometer met 5 ton vracht en 150 passagiers, komt dus neer op $700 \cdot 5 + 700 \cdot 150 / 10 = 14.000$ RTK's.



Als de ACARE-doelen worden gehaald en de technologie inderdaad in 2020 beschikbaar is, duurt het nog een tijd voordat deze verbeteringen ook in de vloot zijn doorgedrongen. De snelheid waarmee dit gebeurt, hangt van het tempo waarin de vloot vernieuwd wordt. Dit tempo hangt op zijn beurt weer af van de (verwachte) groei van de luchtvaart, de prijzen van de nieuwe technologie ten opzichte van de bestaande, de olieprijs en andere markt-omstandigheden. Kortom, naast technologische factoren spelen ook economische factoren een grote rol.

4.1.2 Impact van de ACARE-doelen op emissies

In hoeverre kunnen technologische ontwikkelingen zoals het halen van de ACARE-doelstellingen bijdragen aan het reduceren van de emissies van de luchtvaart? Om op die vraag een antwoord te krijgen is een inschatting gemaakt van de mogelijke ontwikkeling van de emissies van de luchtvaart volgens twee scenario's:

1. De huidige trend van de technische ontwikkelingen zet zich door.
2. De ACARE-doelen worden gehaald in 2020 en daarna ontwikkelt de vliegtuigtechnologie zich in een rustiger tempo.

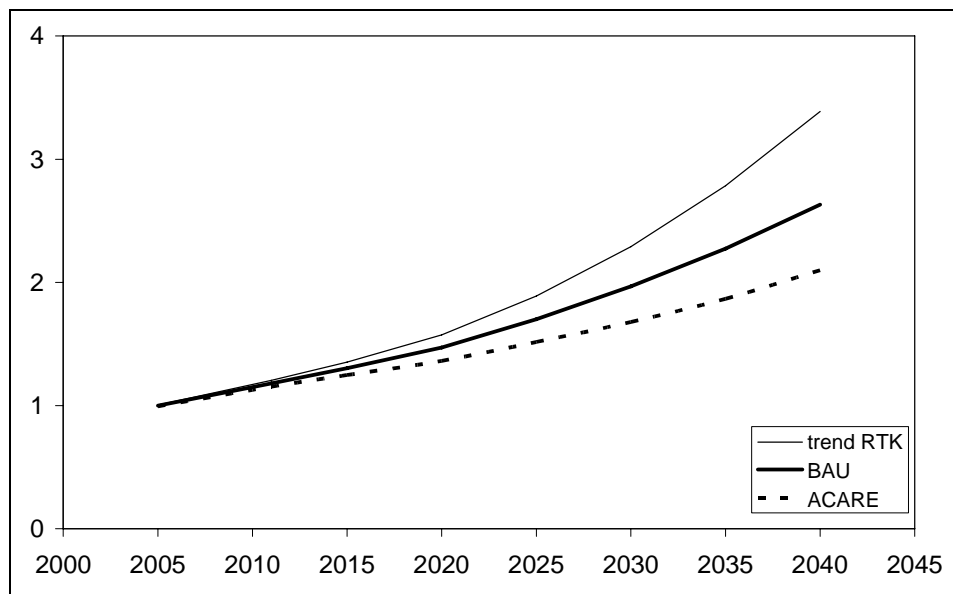
In beide scenario's is de groei van de luchtvaart (in RTK) constant gehouden en is de vlootvernieuwing constant verondersteld³⁸.

De uitkomsten van deze berekeningen zijn weergegeven in Figuur 19. De CO₂-emissies in 2005 zijn geïndiceerd op 1 (1990 = 0,58). In beide scenario's neemt het transport met 240% toe. In beide scenario's groeien de CO₂-emissies tussen 2005 en 2040. De grootte van de groei hangt echter sterk van het scenario af. In het business as usual (BAU)-scenario, waarin 1% efficiency-verbetering per jaar verondersteld wordt, nemen de emissies tussen 2005 en 2040 met 160% toe. Ten opzichte van 1990 bedraagt de toename 350%. Als de ACARE-doelen gehaald worden, nemen de emissies met 110% toe, en zijn de CO₂-emissies in 2040 dus 2,1 maal zo hoog als in 2005 en 2,6 maal zo hoog als in 1990.

³⁸ Voor de periode 2005 tot 2020 is het aantal RTK's gebaseerd op de berekeningen in paragraaf 3.1 (gemiddeld 3,6% per jaar voor Nederland), terwijl voor de groei in de periode van 2020 tot 2050 is uitgegaan van het SRES A1-scenario (gemiddeld 4% groei per jaar voor EU-25 van 2020 tot 2050) (Owen & Lee, 2005). Omdat het mogelijk is dat de markt na 2020 verzadigd raakt en er een afvlakking van de groei optreedt, is ook gerekend met een lagere groei na 2020 (2% per jaar). Voor de vlootvernieuwing is aangenomen dat jaarlijks 1/30 deel van de vliegtuigen wordt vervangen en dat deze vervanging gelijkmatig is verdeeld over de grootte-categorieën.



Figuur 19 CO₂-emissies in drie verschillende scenario's (genormeerd: 2005=1)



Ook in drie van de vier SEO/RAND-scenario's zou de CO₂-uitstoot van de luchtvaart van en naar Nederland fors blijven groeien, zelfs als de ACARE-doelen worden gehaald. Alleen in het zogenaamde *regional communities*-scenario, waarin er nauwelijks groei is van de vraag naar luchtvaart, kunnen de emissies dalen onder het 2005-niveau.

Concluderend kan gesteld worden dat *als* de ACARE-doelstelling gehaald wordt en *als* de efficiëntere vliegtuigen ook vanuit commercieel oogpunt aantrekkelijk zijn en zullen worden opgenomen in de vloot, *dan* kunnen technologische verbeteringen in de komende decennia de *groei* van de broeikasgasemissies van de luchtvaart beperken. Het is echter onwaarschijnlijk dat de emissies zullen afnemen of terugkeren naar het huidige niveau als gevolg van de technische ontwikkeling. Daarvoor zijn andere additionele maatregelen noodzakelijk en mogelijk ook een afname van de vraag naar luchtvaart.

4.2 De voordelen van biobrandstoffen zijn beperkt

De luchtvaartindustrie verwacht door biobrandstoffen de emissies van broeikasgassen sterk te kunnen reduceren. Zoals de milieuwebsite van de Air Transport Action Group (ATAG) - het wereldwijde verband van alle spelers uit de luchtvaartsector - zegt: 'One of the most exciting developments for aviation is the use of sustainable biofuels to replace the standard kerosene, or Jet-A, fuel that is currently being used'³⁹.

Een van de redenen voor deze hoge verwachtingen van biobrandstoffen is dat de luchtvaart weinig alternatieven heeft. Alternatieve energiedragers als waterstof en methaan, en alternatieve energiebronnen als zonnecellen en wind zijn in de luchtvaart niet goed toe te passen vanwege hun grote volume of gewicht, hun brandbaarheid of hun andere fysische en chemische eigenschappen.

³⁹ <http://www.enviro.aero/Biofuels.aspx>, geraadpleegd 8-1-2009.

Verschillende luchtvaartmaatschappijen hebben de laatste tijd proeven genomen met biobrandstoffen. Tot nu toe werd in alle gevallen een mengsel van biobrandstoffen en conventionele kerosine gebruikt in één motor van een vliegtuig. De eerste testvluchten (eind 2006 en begin 2007) maakten gebruik van biodiesel (FAME), geproduceerd uit plantaardige olie van bijvoorbeeld kokos- en babassunoten, die werd bijgemengd bij kerosine. Recente testvluchten gebruikten biokerosine die via hydrogenatie van plantaardige olie wordt geproduceerd, op basis van een proces dat door het Amerikaanse bedrijf UOP is ontwikkeld⁴⁰. Dit kost veel energie. Ten opzichte van biodiesel heeft deze biobrandstof het voordeel dat het voldoet aan de specifieke kwaliteitseisen van de luchtvaart, onder andere m.b.t. het stollingspunt bij lage temperaturen. Het proces kan verschillende plantaardige oliën gebruiken als grondstof, de testen zijn tot nog toe uitgevoerd met jatropha-olie en olie uit algen. Een overzicht van recente proefvluchten is gegeven in Tabel 5.

Tabel 5 Er worden verschillende proeven met biobrandstoffen gehouden

Betrokken partijen	Vliegtuigtype	Datum	Biobrandstof
Virgin, Atlantic Boeing, GE Aviation, Imperium Renewables	B747-400	23-2-2008	20% kokos & babassu-olie
Air New Zealand Boeing, Rolls-Royce Honeywell UOP	B747-400	30-12-2008	50% kerosine gemaakt uit jatropha-olie ⁴¹
Continental Airlines Boeing, GE Aviation, CFM	B737-800	7-1-2009	50% kerosine gemaakt uit jatropha- en algenolie ⁴²

Bron: www.enviro.aero.

Persberichten en informatie van partijen die betrokken zijn bij deze proeven wijzen erop dat er aandacht is voor de duurzaamheidsproblemen van de huidige biobrandstoffen, met name met betrekking tot landgebruik en concurrentie met voedsel. Dit is de reden dat er vooral wordt ingezet op biobrandstoffen uit niet-voedselgewassen, met name algen en, in mindere mate, jatropha. Omdat de grootschalige productie van algen nog in de kinderschoenen staat is het echter nog afwachten of de soms hoge verwachtingen ook inderdaad uit zullen komen.

⁴⁰ Dit proces wordt al op commerciële schaal gebruikt om 'green diesel' te produceren voor het wegverkeer. In opdracht van het U.S. Advanced Research Projects Agency (DARPA) is UOP een proces aan het ontwikkelen om biokerosine te produceren die aan de hoge eisen van kerosine voor straalvliegtuigen voldoet.

⁴¹ 'The process uses hydrogen to remove oxygen from natural oils and then further refines the deoxygenated oil to produce the synthetic paraffinic kerosene (SPK) or jet fuel. This process is similar to the hydroprocessing technology used in refineries today to produce petroleum-based fuels. <http://www.airnewzealand.co.nz/zboutus/biofuel-test/2nd-generation-biofuel.htm>.

⁴² 'The biofuel blend includes components derived from algae and jatropha plants, both sustainable, second-generation sources that do not impact food crops or water resources or contribute to deforestation. ... The biofuel is a 'drop-in' fuel, and no modifications to the aircraft or engine are necessary for the flight to operate. The biofuel meets and exceeds specifications necessary for jet fuel, including a flash point and a freezing point appropriate for use in aircraft.' <http://www.enviro.aero/Aviationindustryenvironmentalnews.aspx?NID=308>.



De Amerikaanse luchtmacht heeft een omvangrijk programma opgezet om alternatieven te ontwikkelen voor vliegtuigbrandstoffen (CAEP, 2007)⁴³. Eén van de redenen voor dit programma is om de afhankelijkheid van geïmporteerde olie te verminderen. Het programma onderzoekt de mogelijkheden van kolen als grondstof voor kerosine, maar ook expliciet de mogelijkheden van biobrandstoffen. Het is mogelijk dat dit programma zal leiden tot technologische doorbraken die de prijs van biobrandstoffen zouden kunnen verlagen.

KLM heeft aangekondigd binnen een aantal jaren biobrandstoffen te zullen gebruiken op reguliere vluchten, in eerste instantie gemengd met conventionele kerosine. Technisch is dat momenteel geen probleem, maar wel zal de prijs van biobrandstoffen verder moeten dalen.

Mede vanwege de hoge verwachtingen van biobrandstoffen heeft IATA een toekomstvisie neergelegd waarin de luchtvaart geen CO₂ meer zal uitstoten. Hoewel deze doelstelling niet is onderbouwd suggereert de promotievideo dat de doelstelling wordt bereikt door een verregaande verbetering van de efficiëntie en het gebruik van biobrandstoffen. Hierbij wordt geen aandacht geschonken aan de niet-CO₂-klimaat effecten van hoogvliegende vliegtuigen.

Aan de meeste biobrandstoffen kleven echter ook belangrijke nadelen, zo hebben de onderzoeken en discussies omtrent biobrandstof in het wegverkeer de afgelopen jaren laten zien. Wij noemen de volgende:

- Het well-to-wing CO₂-reductiepotentieel is voor veel van de huidige biobrandstoffen beperkt, de broeikasgas balans kan zelfs negatief uitpakken als de teelt van de gewassen leidt tot verandering van landgebruik (bijv. conversie van regenwoud tot landbouwgebied)⁴⁴.
- De meerkosten ten opzichte van kerosine zijn vooralsnog aanzienlijk.
- De grondstoffen voor de huidige biobrandstoffen zijn meestal voedselgewassen, en/of worden geteeld op landbouwgrond. In een wereld van toenemende voedselvraag zorgt dit voor extra druk op nog onontgonnen, vruchtbare gebieden zoals grasland in Zuid- en Noord-Amerika en regenwouden in Zuidoost Azië. Conversie van deze gebieden naar landbouwgrond kan leiden tot extra broeikasgasemissies, vermindering van biodiversiteit, socio-economische problemen, waterschaarste, etc.
- Om dezelfde reden concurreert de biobrandstoffensector met de voedsel- en veevoersektor, wat kan zorgen voor een verhoging van voedselprijzen. Als biobrandstoffen worden gemaakt van plantaardige oliën zoals van koolzaad, soja of camelina, is er directe concurrentie op de markt voor deze producten. Eenzelfde effect wordt echter ook veroorzaakt als de biobrandstoffensector andere producten gebruikt die wel op een deel van de (schaarse) landbouwgrond moet worden geteeld - dan is er concurrentie om landbouwgrond en water.
- Ook waar de biomassa niet noodzakelijkerwijs landbouwgrond nodig heeft, zoals bijvoorbeeld bij de teelt van algen, is veel ruimte nodig om aan de behoefte te voorzien.

In de huidige discussies over biobrandstoffenbeleid (voor wegverkeer) wordt dan ook gewerkt aan het waarborgen van de duurzaamheid van biobrandstoffen, bijv. door het opleggen van duurzaamheidscriteria, en het bevorderen

⁴³ CAEP, 2007: THE POTENTIAL USE OF ALTERNATIVE FUELS FOR AVIATION, CAEP/7-IP/28.

⁴⁴ Zonder nadere analyse van de specifieke biobrandstofketens is het niet goed mogelijk om een inschatting te geven van de eventuele CO₂-reductie van de biobrandstoffen die voor de testvluchten zijn gebruikt.



van biobrandstoffen uit afvalstromen. Biokerosine zou hier ook aan moeten voldoen.

Biobrandstoffen en broeikasgasreductie: EU-beleid

De broeikasgasreductie van biobrandstoffen is op dit moment zeer onzeker - enerzijds omdat deze afhangt van veel factoren (o.a. gewas, teeltregio, procesemissies) die niet worden gemonitord, en anderzijds omdat de effecten van mondiale veranderingen in landgebruik door de biobrandstoffen nog niet goed in kaart zijn gebracht⁴⁵. Dit geldt in principe ook voor de biobrandstoffen die in de luchtvaart worden gebruikt.

In de EU-richtlijn 'Hernieuwbare Energie' die in december 2008 door het Europese Parlement is aangenomen⁴⁶ wordt een begin gemaakt met het stellen van duurzaamheidseisen voor biobrandstoffen. Hierin wordt o.a. gesteld dat biobrandstoffen alleen mogen meetellen voor de doelstelling van 10% biobrandstof in 2020 als zij minimaal 35% minder broeikasgassen uitstoten over de keten dan fossiele brandstoffen. Dit percentage loopt op naar 50-60% in 2017. Daarnaast worden eisen gesteld aan de grondsoort waar de gebruikte gewassen opmogen worden geteeld.

In de richtlijn staat ook de methodiek beschreven waarmee de broeikasgasreductie kan worden berekend. Effecten van indirecte veranderingen van landgebruik zijn hier nog niet in opgenomen, maar de Europese Commissie moet hiervoor in 2010 een methodiek hebben ontwikkeld.

Als er biobrandstoffen worden ingezet in de luchtvaart in de EU, mogen deze meetellen in het halen van het 10%-doel. Het brandstofverbruik van de luchtvaart telt overigens niet mee bij het bepalen van de doelstelling, de 10% wordt vastgesteld op basis van de gebruikte brandstoffen in het wegtransport. Overigens hebben biobrandstoffen geen effect op de niet-CO₂-klimaateffecten van luchtvaart.

Daarnaast heeft zowel de Nederlandse regering als ook de EU recent besloten het groeitempo van de biobrandstoffen te vertragen, om de risico's op duurzaamheidsproblemen te verminderen. De komende jaren moet eerst beter in beeld worden gebracht welke gevolgen de biobrandstoffen hebben op mondiaal landgebruik, en moeten de nodige duurzaamheidswaarborgen worden geïmplementeerd. Vervolgens moet ook worden afgewacht hoe de techno-logische ontwikkeling van duurzame 2^{de} generatie biobrandstoffen uit afvalstromen, houtachtige biomassa en algen zich ontwikkelt - deze concurreren niet met voedsel en gebruiken geen of veel minder landbouwgrond. Er wordt verwacht dat deze biobrandstoffen een voorwaarde zijn voor verdere grootschalige duurzame groei van de sector.

Concluderend, duurzame biobrandstoffen kunnen in principe een bijdrage leveren aan het verminderen van de CO₂-emissies van de luchtvaart. De eerste proefvluchten laten zien dat luchtvaartmaatschappijen interesse hebben en dat het technisch haalbaar is, er lijkt ook aandacht te zijn voor duurzaamheid. Het zal echter nog vele jaren duren voordat er voldoende duurzame en betaalbare productiecapaciteit is om tot een significante CO₂-reductie te leiden in de luchtvaartsector. Gezien de meerkosten t.o.v. kerosine zal toepassing in deze sector afhangen van overheidsbeleid, een CO₂-prijs van rond de €2 0/ton CO₂ zoals verwacht in het ETS is niet

⁴⁵ Zie o.a. OECD, *Biofuels: is the cure worse than the disease?* (2007) of Renewable Fuels Agency, *The Gallagher Review of the indirect effects of biofuels production* (2008).

⁴⁶ <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+20081217+ITEMS+DOC+XML+V0//EN&language=EN#sdocta1>.



voldoende. Aangezien biokerosine van grondstoffen wordt gemaakt die ook voor biobrandstoffen in het wegverkeer worden gebruikt, en deze grondstoffen ook in de toekomst schaars (en wellicht ook duur) zullen blijven, concurreren deze twee vervoerssectoren met elkaar. Het is dan ook zinvol om na te denken over de vraag in welke sector de schaarse grondstoffen het beste kunnen worden ingezet. Wellicht dat de luchtvaart dan op zich een goede toepassing is, omdat er minder alternatieven zijn voor CO₂-reductie. Dit zou echter wel betekenen, dat er andere CO₂-reductiemaatregelen in andere sectoren, zoals het weg-verkeer, nodig zijn.

Welke CO₂-reductie ook bereikt kan worden met de inzet van biobrandstoffen, ze leveren geen bijdrage aan de afname van de overige klimaateffecten van de luchtvaart.

4.3 Operationele maatregelen kunnen de brandstofefficiëntie beperkt verbeteren

Naast de vliegtuigtechnische mogelijkheden om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen (paragraaf 4.1) en de uitstootvermindering door biobrandstoffen (paragraaf 4.2) kan de uitstoot ook verminderen door operationele maatregelen. Dit kunnen maatregelen zijn die genomen worden door luchtvaartmaatschappijen of maatregelen in het luchtverkeerssysteem.

Luchtvaartmaatschappijen hebben, mede onder invloed van de hoge olieprijs in 2008, talrijke brandstofbesparingsmaatregelen genomen. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan:

- het verminderen van het gewicht van stoelen, catering en papier;
- taxiën met een motor uit;
- frequenter motor- en toestelonderhoud;
- enzovoort⁴⁷.

De besparingen die hiermee bereikt kunnen worden liggen typisch in de orde van enkele procenten. Een rationele luchtvaartmaatschappij zou alle maatregelen nemen die meer besparing opleveren dan ze kosten. De duurste maatregel kost evenveel als hij bespaart, maar de gemiddelde kosten van de maatregelen zijn dan lager dan de gemiddelde besparingen. Door de maatregelen van luchtvaartmaatschappijen wordt de kostentoeename voor maatschappijen als gevolg van de hogere olieprijs dus verminderd.

Een operationele maatregel met een groter potentieel is de implementatie van de Single European Sky (SES) of *Enkel Europees Luchtruim*. Dit is een Europees project om van het gefragmenteerde Europese luchtruim een enkel geheel te maken. Als gevolg hiervan hoeft minder te worden omgevlogen, en worden vliegafstanden dus verkort. De primaire doelen van de SES zijn het verhogen van de capaciteit voor de luchtvaart en het verlagen van de kosten voor de gebruikers van het Europese luchtruim. Een belangrijk effect van het instellen van een SES is echter ook dat een beperking van vluchtafstanden leidt tot een lager brandstofgebruik en lagere emissiehoeveelheden. Het kwantitatieve doel van SES is om de gemiddelde CO₂-emissie per vlucht in het Europese luchtruim in 2020 met 10% te verminderen ten opzichte van 2005⁴⁸.

⁴⁷ Zie bijvoorbeeld: Laurent Barthélemy, Air France, Operational improvements, presentation at ECAC/EU Conference - Meeting the Environmental Challenge, 28-29 October 2008.

⁴⁸ SESAR, 2008: SESAR Master Plan D5, Brussel: Eurocontrol, <http://www.eurocontrol.int/sesar/gallery/content/public/docs/DLM-0710-001-02-00-D5.pdf>.



Een SES leidt onder andere tot een verlaging van de brandstofkosten als gevolg van de afname van de vliegafstanden. Het instellen van een SES zal dan ook leiden tot een verlaging van de directe operationele kosten voor luchtvaartmaatschappijen. Verwacht mag worden dat, evenals de kostenverhogingen als gevolg van emissiehandel en de heffingsmaatregelen, een kostenverlaging zal worden doorberekend in de ticketprijzen.

SES heeft daarom twee tegengestelde invloeden op het brandstofgebruik (en daarmee op emissies) op Intra-EU-routes. De verkorting van vliegafstanden leidt tot een verlaging van het brandstofgebruik per vlucht. Als gevolg van de toename van het aantal vluchten (of beter gezegd; de verminderde afname) wordt een deel van deze verlaging van het brandstofgebruik te niet gedaan. De berekeningen in hoofdstuk 5 laten zien dat SES zou leiden tot een vermindering van de uitstoot per RTK met ongeveer 7%. Omdat echter de vraag toeneemt met ongeveer 2,5% neemt de totale CO₂-uitstoot af met 4,5%. Met andere woorden, ruim een derde van de efficiëntiewinst wordt teniet gedaan door een toename van de vraag.

Concluderend kan gesteld worden dat operationele maatregelen de uitstoot per passagierskilometer met maximaal zo'n 7% kunnen verminderen. Tegelijkertijd zullen door de brandstofbesparing de kosten dalen waardoor de vraag toeneemt. Hierdoor zal een kwart tot de helft van de efficiëntiewinst teniet worden gedaan. Het aantal vliegtuigbewegingen kan door efficiëntieverbeteringen toenemen.

4.4 Alternatieven voor transport

Transport is geen doel op zich. De reden dat mensen per vliegtuig reizen is vaak om zakelijke of sociale contacten te hebben of voor vakantie. Voor verschillende doelen zijn alternatieven beschikbaar. Deze sectie bespreekt videovergaderingen, teleconferenties en andere door ICT-ondersteunde besprekingen. Dit kunnen alternatieven zijn voor transport in de zakelijke markt en de sociale markt (vaak aangeduid met de letters VFR - *visiting friends and relatives*). Op de vakantie- en vrijetijdsmarkt zijn de alternatieven legio en dermate divers dat een bespreking binnen het kader van dit onderzoek niet mogelijk is.

Videovergaderingen zijn vaak voorgesteld als een alternatief voor zakelijke bijeenkomsten. Voorstanders claimen dat hier aanzienlijke besparingen in vliegverkeer en emissies mee te bereiken zijn (zie bijvoorbeeld Reay, 2004)⁴⁹. Sommige luchtvaartexperts hebben gewezen op de mogelijke grote gevolgen van videovergaderingen op de vraag naar luchtvaart (Rubin and Joy, 2005)⁵⁰, hoewel anderen dit ontkennen (Mason en Alamdari, 2007)⁵¹.

⁴⁹ David S. Reay, 2004, New Directions: Flying in the face of the climate change convention, *Atmospheric Environment*, Volume 38, Issue 5, February 2004, Pages 793-794, doi:10.1016/j.atmosenv.2003.10.026.

⁵⁰ Rose M. Rubin and Justin N. Joy, Where Are the Airlines Headed? Implications of Airline Industry Structure and Change for Consumers, *The Journal of Consumer Affairs*. Vol. 39. No. 1. 2005.

⁵¹ Keith J. Mason, and F. Alamdari, EU network carriers, low cost carriers and consumer behaviour: A Delphi study of future trends, *Journal of Air Transport Management*, Volume 13, Issue 5, September 2007, Pages 299-310.



De weinige empirische studies die zijn gedaan naar videovergaderingen geven een gemengd beeld. Een Noorse studie laat zien dat 40% van de gebruikers van videovergaderingen als gevolg daarvan minder zijn gaan vliegen. 10% gaf aan substantieel minder te zijn gaan vliegen (Denstadli, 2004)⁵². In het totaal zou een paar procent van het zakelijk vliegverkeer vervangen kunnen worden door videovergaderingen. Andere studies komen soms op iets hogere percentages uit Transport Canada, 2007⁵³.

Concluderend lijkt het niet waarschijnlijk dat het toenemen van digitale alternatieven voor transport zal leiden tot significant minder vliegverkeer.

4.5 Conclusie

Dit hoofdstuk begon met de vraag in hoeverre de luchtvaart zijn klimaat-effect zou kunnen beperken. De conclusie van de voorgaande paragrafen is dat de verbetering van de vliegtuigtechnologie en het gebruik van biobrandstoffen mogelijkheden bieden om de emissies te reduceren, of, beter gezegd, de uitstoot per passagierskilometer te verminderen. Van operationele verbeteringen en alternatieven voor transport mag minder verwacht worden.

Tegelijkertijd is duidelijk dat de bestaande groeivoorspellingen veel verbetering in efficiëntie teniet zullen doen, ook bij lagere prognoses. Als de luchtvaart blijft doorgroeien, kunnen grote technologische verbeteringen en biobrandstoffen de groei van de CO₂-emissies afremmen of misschien stoppen. Hoewel wij in hoofdstuk 3 hebben laten zien dat er een gereede kans is dat de groei in werkelijkheid lager uitvalt dan de scenario's voorspellen, lijkt een afname van de emissies vooralsnog ver weg.

Omdat biobrandstoffen geen invloed hebben op niet-CO₂-klimaat-effecten zoals de indirecte effecten van NO_x-emissies, condensatiestrepen en mogelijk ook cirrusbewolking, zal het klimaat-effect van luchtvaart naar alle waarschijnlijkheid blijven toenemen, ook als de CO₂-emissies zouden afnemen.

Bovendien moet benadrukt worden dat de relatieve vermindering van de uitstoot van broeikasgassen voorwaardelijk is. *Als* de ACARE-doelen worden gehaald en *als* efficiëntere vliegtuigen ook commercieel aantrekkelijk zijn; *als* biobrandstoffen ontwikkeld kunnen worden die de emissies over de hele productieketen verminderen en *als* die biobrandstoffen niet duurder zijn dan conventionele kerosine; *als* operationele verbeteringen nog niet zijn uitgeput en *als* videovergaderingen inderdaad zakenvluchten gaan vervangen, ja *dan* kan de toename van de emissies stoppen of ze kunnen in dit meest optimistische scenario op de langere termijn zelfs gaan afnemen.

Duidelijk mag zijn dat de kans niet zo groot is dat alle bovengenoemde ontwikkelingen daadwerkelijk zullen plaatsvinden. De verwachting is dan ook dat zonder overheidsmaatregelen de luchtvaartemissies zullen blijven toenemen. Het volgende hoofdstuk gaat in op de vraag hoe overheidsbeleid de technische ontwikkelingen kan stimuleren en hoe overheidsbeleid tot een emissiestabilisatie of -reductie zou kunnen leiden.

⁵² Jon Martin Denstadli, Impacts of videoconferencing on business travel: the Norwegian experience, *Journal of Air Transport Management*, Volume 10, Issue 6, November 2004, Pages 371-376, doi:10.1016/j.jairtraman.2004.06.003.

⁵³ Transport Canada, 2007, Assumptions Report 2007-2021.



5 Beleidsmaatregelen voor duurzame luchtvaart

Overheidsbeleid kan de transitie naar een duurzame luchtvaart bevorderen met economische instrumenten. Internalisatie van externe kosten kan twee veranderingen veroorzaken die beide emissies minder doen groeien. Ten eerste geven deze beleidsinstrumenten een extra stimulans om technologie met een lagere uitstoot van broeikasgassen te ontwikkelen en toe te passen. Ten tweede leiden deze instrumenten tot een kostenverhoging voor de luchtvaart. Deze kostenverhoging zal worden doorberekend met een effect op de vraag tot gevolg. De lagere vraag zal eveneens leiden tot een afname van de luchtvaartemissies.

Dit hoofdstuk beschrijft een beleidspakket dat de technische verandering in de luchtvaart versnelt en helpt er voor te zorgen dat de opties uit hoofdstuk 4 zoveel mogelijk benut worden. Het beleidspakket is in lijn met het recent aangenomen pakket maatregelen om luchtvaart onder te brengen in het EU ETS, onderzoek te stimuleren en de efficiëntie van het gebruik van het luchtruim te verbeteren (EU, 2008; EC, 2005)⁵⁴. Maar het pakket gaat verder en integreert alle maatregelen die in lijn zijn met het staande beleid van de Europese Unie om externe kosten van transport te internaliseren (EC, 2001; EC, 2006)⁵⁵.

Het beleidspakket wordt in de volgende paragrafen nader toegelicht. In samenvatting bestaat het uit de volgende instrumenten:

- Internalisatie van externe kosten op klimaatgebied:
 - CO₂-emissies: luchtvaart in het EU ETS;
 - NO_x-emissies op hoogte: een NO_x-heffing of het onderbrengen van deze emissies in het EU ETS;
 - contrails en eventueel cirrus: vliegbelasting.
- Geluid:
 - Vliegbelasting.
- Luchtkwaliteit:
 - LTO-emissies van luchtvervuilende stoffen: een luchtkwaliteitsheffing op luchthaven.

Naast de hierboven genoemde beleidsinstrumenten, die gericht zijn op de internalisatie van externe kosten, zijn er beleidsinstrumenten denkbaar die een gelijk speelveld tussen verschillende modaliteiten zouden kunnen bevorderen. Aan die laatste groep is in dit rapport geen aandacht besteed.

⁵⁴ DIRECTIVE 2008/101/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 November 2008, amending Directive 2003/87/EC so as to include aviation activities in the scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community;

Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social committee and the Committee of the Regions - Reducing the Climate Change Impact of Aviation COM(2005)459.

⁵⁵ European Commission, Time to decide, 2001.

European Commission, Keep Europe moving, 2006.



5.1 Specificatie van beleidsmaatregelen

Onlangs is besloten dat de komende jaren twee Europese beleidsmaatregelen geïmplementeerd gaan worden om het klimaateffect van de luchtvaart te beperken. Vanaf 2012 zal de luchtvaart deel gaan uitmaken van het Europese emissiehandelssysteem (EU, 2008)⁵⁶. Daarnaast zal onder de naam 'Single European Sky' de luchtverkeersleiding worden veranderd waardoor er directer zal kunnen worden gevolgen. Voor de niet-CO₂-effecten zijn er nog geen maatregelen voorzien, al heeft de Europese Commissie de belofte gedaan om aanvullende wetgeving voor te stellen voor NO_x, maar de streefdatum van eind 2008 is niet gehaald. Verschillende lidstaten, waaronder Nederland, hebben een vliegbelasting ingevoerd. Hoewel deze invoering meestal met fiscale argumenten is ondersteund, zou de belasting deels opgevat kunnen worden als een internalisering van de externe kosten van condensatiestrepen, cirrusbewolking en geluid.

Dit hoofdstuk kwantificeert de effecten van de volgende maatregelen:

1. EU ETS voor CO₂-emissies van de luchtvaart.
2. Heffing voor beperking NO_x-emissies.
3. Het instellen van een Single European Sky.
4. Een vliegbelasting voor beperking van de overige klimaateffecten van luchtvaart (i.e. met name contrails en cirrus).

Onderstaand wordt nader ingegaan op de verschillende maatregelen. Hierbij wordt een nadere specificatie van de maatregelen gemaakt op grond waarvan de effecten van de maatregelen kunnen worden berekend.

1. EU ETS voor CO₂-emissies van de luchtvaart

Volgens richtlijn 2008/101/EC zal de luchtvaart worden opgenomen in het EU ETS op de volgende manier:

- Emissiehandel wordt in 2012 ingevoerd voor alle vluchten van, naar en binnen de EU. Uitgangspunt is hierbij dat EER-landen die geen lid zijn van de EU (Noorwegen, IJsland en Liechtenstein) ook meedoen.
- De cap voor CO₂-luchtvaartemissies in 2012 bedraagt 97% van de gemiddelde CO₂-emissies over de jaren 2004-2006. Vanaf 2013 bedraagt de cap 95% van de gemiddelde CO₂-emissies over de jaren 2004-2006. In deze studie is er vanuit gegaan dat de gemiddelde emissies over de jaren 2004-2006 overeenkomen met de emissies in het jaar 2005.
- Op basis van de cap zullen initiële emissierechten aan de luchtvaartsector worden gealloceerd. Tot aan het jaar 2020 zal 85% van deze initiële emissierechten gratis aan de luchtvaartsector worden verstrekt op grond van benchmarking. De overige 15% wordt geveild.

Ten aanzien van de gratis verstrekte emissierechten is de vraag in hoeverre de 'opportunity costs' van deze rechten zullen worden doorberekend door de luchtvaartmaatschappijen. Deze rechten vertegenwoordigen een waarde. Indien ze niet gebruikt worden om de emissies van een vlucht mee af te dekken, kan het recht worden verkocht op de emissiemarkt. In het geval de marktprijs van gratis verstrekte rechten door luchtvaartmaatschappijen wordt doorberekend, ontstaan zogenaamde 'windfall profits' (of overwinsten) voor luchtvaartmaatschappijen. In de in het kader van

⁵⁶ DIRECTIVE 2008/101/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 November 2008, amending Directive 2003/87/EC so as to include aviation activities in the scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community.



deze studie uitgevoerde analyse is er vanuit gegaan dat de kosten voor *alle* emissierechten door luchtvaartmaatschappijen worden doorberekend.

Een belangrijke vraag is verder hoe de prijs van emissierechten in het EU ETS zich zal ontwikkelen? In de eerste negen maanden van 2008 varieerde de prijs tussen de € 20 en € 30 per ton CO₂. Verwacht mag worden dat de prijs in de toekomst zal toenemen. In de Impact Assessment van de Europese Commissie bij de herziening van de ETS Directive wordt een prijs van € 39 in 2020 genoemd (Europese Commissie, 2008)⁵⁷. De prijs in 2008 kan dan ook worden beschouwd als een ondergrens. Mede op grond hiervan zijn in dit rapport drie alternatieve prijsontwikkelingen beschouwd:

1. Prijs van € 25 per ton CO₂ blijft onveranderd tot en met 2020.
2. Prijs neemt lineair toe van € 25 per ton CO₂ in 2010 tot € 50 in 2020.
3. Prijs neemt lineair toe van € 25 per ton CO₂ in 2010 tot € 75 in 2020.

Het prijsniveau van € 50 per ton CO₂ in 2020 komt overeen met voorspellingen van CE Delft en ICF International in een scenario met een -30%-doelstelling (internationaal klimaatbeleid) en toegang tot CDM zoals voorgesteld door de Europese Commissie. Bij een beperktere toegang tot CDM zal in 2020 mogelijk het prijsniveau van € 75 per ton CO₂ van toepassing zijn. Aangetekend wordt hierbij wel dat een prijs van € 75 hoger ligt dan vrijwel alle voorspellingen die zijn gemaakt ten aanzien van de ontwikkeling van de prijs van CO₂-emissierechten in het EU ETS. Gezien de grote vraag naar emissierechten, juist ook vanuit de luchtvaartsector (zie ook paragraaf 5.3) wordt een dergelijk hoge prijs echter zeker niet als onrealistisch gezien. Opgemerkt wordt verder dat pas vanaf 2012 de prijs van belang is voor de luchtvaart.

2. Heffing voor beperking NO_x-emissies of het onderbrengen van deze emissies in het EU ETS

Zoals beschreven in hoofdstuk 2 dragen ook de NO_x-emissies van de luchtvaart op hoogte bij aan klimaatverandering. Daarnaast hebben NO_x-emissies tijdens starts en landingen (LTO-cycle) een negatief effect op de lokale luchtkwaliteit in de nabijheid van luchthavens.

De Europese Commissie heeft het voornemen om een voorstel te doen dat er op is gericht de NO_x-emissies van de Europese luchtvaart te beperken. Voor de onderbouwing van dit voorstel heeft de Commissie een studie laten uitvoeren naar verschillende maatregelen voor de beperking van NO_x-emissies (CE, 2008). Voor een aantal maatregelen zijn er onvoldoende data en/of wetenschappelijke onderbouwing om de maatregelen in de komende jaren concreet vorm te geven. In deze studie wordt er vanuit gegaan dat (in ieder geval in eerste instantie) maatregelen zullen worden genomen die op een termijn van een aantal jaar kunnen worden ingevoerd. Het gaat om de volgende maatregelen:

- een LTO NO_x-heffing gericht op de beperking van NO_x en overige emissies die van invloed zijn op de luchtkwaliteit in de nabijheid van luchthavens;
- een beleidsinstrument gericht op de beperking van NO_x-emissies op kruishoogte.

⁵⁷ European Commission, 2008, Commission Staff Working Document: Impact Assessment: Document accompanying the Package of Implementation measures for the EU's objectives on climate change and renewable energy for 2020, SEC(2008)85/3.



Een LTO NO_x-heffing bestaat uit een heffing per kg NO_x die in de LTO wordt uitgestoten. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van certificatiegegevens van vliegtuigmotoren ten aanzien van de NO_x-uitstoot tijdens de LTO. De heffingshoogte per kg NO_x kan worden gebaseerd op de externe kosten van NO_x-emissies (volgens het principe van 'damage costs'). In deze studie is uitgegaan van een heffing van € 18 per kg NO_x. Dit komt overeen met een schatting van de WHO ('high estimate'). Daarnaast is een multiplier van 1.86 aangehouden om ook de externe kosten van SO₂-, PM₁₀- en NMVOS-emissies in de LTO in rekening te brengen.

Een beleidsinstrument gericht op het beperken van de NO_x-emissies op hoogte kan bijvoorbeeld een heffing zijn of het onderbrengen van deze emissies in het EU ETS. In deze studie is uitgegaan van een heffing waarvan de hoogte gekoppeld is aan de emissiehandelsprijs in het EU ETS. De heffingshoogte kan worden afgeleid aan de hand van de Global Warming Potential (GWP) van NO_x-emissies. In deze studie is een GWP voor NO_x van 130 aangehouden. Dit is de hoogste schatting in de huidige wetenschappelijke literatuur (CE, 2008). Dit komt er op neer dat de uitstoot van een bepaalde massa NO_x-emissies een GWP heeft die 130 maal zo groot is dan de emissie van eenzelfde massa CO₂ (GWP voor CO₂ is genormeerd op 1). Voor het vaststellen van de definitieve heffingshoogte wordt de GWP-waarde vermenigvuldigd met de waarde van de CO₂-emissierechten. Hierbij is uitgegaan van de middenwaarde zoals bovenstaand beschreven (€ 50 in 2020).

3. Het instellen van een Single European Sky

Single European Sky (SES) of *Enkel Europees Luchtruim* is een project van de Europese Commissie om van het gefragmenteerde Europese luchtruim een enkel geheel te maken. Als gevolg hiervan hoeft minder te worden omgevlogen, en worden vliegafstanden dus verkort. De primaire doelen van de SES zijn het verhogen van de capaciteit voor de luchtvaart en het verlagen van de kosten voor de gebruikers van het Europese luchtruim. Een belangrijk effect van het instellen van een SES is echter ook dat een beperking van vluchtafstanden leidt tot een lager brandstofgebruik en lagere emissie-hoeveelheden.

In aansluiting of diverse studies uitgevoerd voor de EU (CE, 2007 en CE, 2008) is er vanuit gegaan dat de SES in de periode 2013-2019 geleidelijk wordt ingesteld. Uitgangspunt is daarbij dat voor de periode 2013-2019 de SES zal leiden tot een beperking van vliegafstanden voor Intra-EU-vluchten met 1% per jaar. De totale reductie van vliegafstanden als gevolg van SES in 2020 wordt dus geschat op 7%. Deze schatting is tot stand gekomen na overleg met EUROCONTROL, en is dus lager dan het doel om de vliegafstanden (en daarmee de CO₂-emissies per vlucht) met 10% te verlagen (zie ook paragraaf 4.3). Uitgangspunt is verder dat een SES alleen een effect zal hebben op de vlieg-afstanden van Intra-EU-vluchten. Voor intercontinentale vluchten van en naar de EU (die over het algemeen maar voor een klein deel van de vlucht van het Europese luchtruim gebruik maken) is geen rekening gehouden met een effect van het instellen van een SES.

4. Een vliegbelasting voor beperking van de overige klimaateffecten van luchtvaart

Ten aanzien van de overige klimaateffenen van de luchtvaart zijn met name de vorming van contrails en cirrus van belang. Zoals beschreven in hoofdstuk 2 dragen de door luchtvaart gevormde contrails en cirrus bij aan klimaat-verandering. De klimaatbijdrage van contrails wordt geschat op



40% van de klimaatbijdrage van de CO₂-emissies van de luchtvaart (Sausen et al., 2005). Over de omvang van de bijdrage van door luchtvaart gevormde cirrus aan klimaatverandering bestaat nog veel onzekerheid. Een lage schatting is dat de klimaatbijdrage van door luchtvaart gevormde cirrus evenals contrails ongeveer 40% is van de klimaatbijdrage van de CO₂-emissies van de luchtvaart. Een hoge schatting is dat cirrus leidt tot drie maal de klimaatbijdrage van de CO₂-emissies van de luchtvaart (Sausen et al., 2005).

De externe kosten van door luchtvaart gevormde contrails en cirrus kunnen worden geïnternaliseerd. Er is echter geen methode om per vlucht de vorming van contrails en cirrus vast te stellen als basis voor een specifieke contrails/cirrusheffing. Daarom is er vanuit gegaan dat op Europees niveau de externe kosten worden geïnternaliseerd met een vliegbelasting. In de voorliggende studie is uitgegaan van externe kosten van contrails/cirrus die gelijk zijn aan de externe kosten van CO₂-emissies (volgens het principe van 'prevention costs'). Dit leidt tot een heffing die grosso modo eenzelfde prijzeffect op tickets heeft als het opnemen van de CO₂-emissies van de luchtvaart in het EU ETS (uitgaande van een prijs van emissierechten van € 50 per ton/CO₂). Dit komt neer op een vliegbelasting van ongeveer 5%.

Vaststelling maatregelpakketten op Europees niveau

In deze studie zijn de volgende maatregelpakketten op Europees niveau beschouwd:

Pakket A: EU ETS voor CO₂-emissies van de luchtvaart.

Pakket B: EU ETS voor CO₂-emissies van de luchtvaart plus een heffing voor beperking NO_x-emissies plus het instellen van een Single European Sky plus een vliegbelasting voor de beperking van de overige klimaateffecten van luchtvaart.

Pakket A betreft dus alleen CO₂-emissiehandel voor de luchtvaart, als zijnde de belangrijkste klimaatmaatregel die met ingang van 2012 zal worden ingevoerd. Pakket B is te beschouwen als het 'Europese maatregelpakket dat op de plank ligt'. In paragraaf 5.2 wordt ingegaan op het effect van beide maatregelpakketten. De effecten worden zichtbaar gemaakt ten opzichte van het FESG-scenario in 2020 zoals besproken in hoofdstuk 3. Verder is het uitgangspunt dat de CO₂-emissiehandel voor de luchtvaart en de heffingsmaatregelen in 2012 van kracht worden. De SES wordt stap voor stap ingevoerd in de periode 2013-2019 (zie bovenstaand). Ten aanzien van de SES is verder verondersteld dat deze alleen een relevant effect heeft op Intra-EU-vluchten. De overige maatregelen zijn van toepassing voor alle routes tussen, van en naar in de EU gelegen luchthavens.

5.2 Effecten van Europese maatregelen

Onderstaand wordt ingegaan op de effecten van de twee maatregelpakketten (A en B) zoals gedefinieerd in de voorgaande paragraaf.

Effect van maatregelpakket A

Maatregelpakket A bestaat alleen uit CO₂-emissiehandel voor de luchtvaart. Zoals aangegeven zijn hierbij drie alternatieve prijzen voor CO₂-emissierechten beschouwd (€ 25, € 50 en € 75 per ton/CO₂ in 2020). De effecten van CO₂-emissiehandel voor de luchtvaart in 2020, uitgaande van deze drie prijzen, zijn weergegeven in respectievelijk Tabel 6, Tabel 7 en Tabel 8. Daarnaast



wordt in Figuur 20 het effect op de luchtvaart CO₂-emissies in de tijd weergegeven.

Emissiehandel voor de luchtvaart betekent een kostenverhoging voor luchtvaartmaatschappijen. In de eerste plaats is er een kostenverhoging die samenhangt met het verkrijgen van de initiële emissierechten die aan de luchtvaartsector worden gealloceerd. Deze emissierechten zullen in eerste instantie overeenkomen met 97% tot 95% van de CO₂-emissiehoeveelheden in 2005 op de Europese routes.

Uitgangspunt is dat de kosten van zowel de emissierechten die worden geveild als de gratis verstrekte rechten ('opportunity costs') worden doorberekend. Daarnaast is er een kostenverhoging voor luchtvaartmaatschappijen als gevolg van de benodigde aankoop van additionele emissierechten waarmee de verwachte groei van CO₂-emissies kan worden afgedekt. De prijs van deze emissierechten is verondersteld op hetzelfde niveau te liggen als de prijs van de geveilde emissierechten.

Tabel 6 Effecten EU ETS voor CO₂-emissies luchtvaart (prijs emissierechten: € 25 per ton in 2020)

Effect	Eenheid	FESG-scenario 2020			% verandering t.o.v. FESG-scenario		
		Intra- EU	EU - Non-Eu	Van/ naar NL	Intra- EU	EU - Non- EU	Van/ naar NL
Vraag naar luchtvaart en aanbod van vluchten							
Passagier km	10 ⁹ pass-km pj	713.1	2475.9	188.0	-1.8%	-3.0%	-2.9%
Cargo km	10 ⁹ ton-km pj	6.2	139.0	14.2	-2.1%	2.6%	-2.5%
RTK	10 ⁹ RTK pj	77.5	386.6	33.0	-1.8%	-2.8%	-2.7%
Vluchten	10 ⁶ vluchten pj	12.1	3.8	0.59	-1.6%	-2.4%	-1.9%
Vliegtuig km	10 ⁹ km pj	8.4	14.4	1.40	-1.8%	-3.2%	-2.5%
Brandstofgebruik en emissies luchtvaart							
Brandstofgebruik	10 ⁹ kg pj	29.4	90.5	8.6	-1.7%	-3.8%	-3.4%
CO ₂ -emissies	10 ⁹ kg pj	92.8	285.7	27.2	-1.7%	-3.8%	-3.4%
NO _x -emissies	10 ⁶ kg pj	385.3	1393.4	130.9	-1.7%	-3.7%	-3.4%
Brandstofefficiency							
Brandstof/RTK	kg/ton-km	0.38	0.23	0.26	0.1%	-1.0%	-0.7%
Brandstof/vliegtuig km	Kg/km	3.50	6.30	6.16	0.1%	-0.6%	-0.9%

Bron: AERO-MS.



Tabel 7 Effecten EU ETS voor CO₂-emissies luchtvaart (prijs emissierechten: € 50 per ton CO₂ in 2020)

Effect	Eenheid	FESG-scenario			% verandering t.o.v. FESG-scenario		
		Intra-EU	EU - Non-EU	Van/ naar NL	Intra-EU	EU - Non-EU	Van/ naar NL
Vraag naar luchtvaart en aanbod van vluchten							
Passagier km	10 ⁹ pass-km pj	713.1	2475.9	188.0	-3.2%	-5.5%	-5.2%
Cargo km	10 ⁹ ton-km pj	6.2	139.0	14.2	-3.9%	-4.7%	-4.7%
RTK	10 ⁹ RTK pj	77.5	386.6	33.0	-3.3%	-5.2%	-5.0%
Vluchten	10 ⁶ vluchten pj	12.1	3.8	0.59	-3.0%	-4.3%	-3.6%
Vliegtuig km	10 ⁹ km pj	8.4	14.4	1.40	-3.3%	-5.8%	-4.8%
Brandstofgebruik en emissies luchtvaart							
Brandstofgebruik	10 ⁹ kg pj	29.4	90.5	8.6	-3.2%	-6.9%	-6.3%
CO ₂ -emissies	10 ⁹ kg pj	92.8	285.7	27.2	-3.2%	-6.9%	-6.3%
NO _x -emissies	10 ⁶ kg pj	385.3	1393.4	130.9	-3.1%	-6.8%	-6.4%
Brandstofefficiency							
Brandstof/RTK	kg/ton-km	0.38	0.23	0.26	0.1%	-1.8%	-1.4%
Brandstof/vliegtuig km	Kg/km	3.50	6.30	6.16	0.1%	-1.2%	-1.6%

Bron: AERO-MS.

Tabel 8 Effecten EU ETS voor CO₂-emissies luchtvaart (prijs emissierechten: € 75 per ton CO₂ in 2020)

Effect	Eenheid	FESG-scenario			% verandering t.o.v. FESG-scenario		
		Intra-EU	EU - Non-EU	Van/ naar NL	Intra-EU	EU - Non-EU	Van/ naar NL
Vraag naar luchtvaart en aanbod van vluchten							
Passagier km	10 ⁹ pass-km pj	713.1	2475.9	188.0	-4.9%	-8.0%	-7.7%
Cargo km	10 ⁹ ton-km pj	6.2	139.0	14.2	-5.8%	-7.0%	-6.9%
RTK	10 ⁹ RTK pj	77.5	386.6	33.0	-4.9%	-7.7%	-7.4%
Vluchten	10 ⁶ vluchten pj	12.1	3.8	0.59	-4.4%	-6.3%	-5.4%
Vliegtuig km	10 ⁹ km pj	8.4	14.4	1.40	-4.8%	-8.4%	-7.0%
Brandstofgebruik en emissies luchtvaart							
Brandstofgebruik	10 ⁹ kg pj	29.4	90.5	8.6	-4.8%	-10.1%	-9.3%
CO ₂ -emissies	10 ⁹ kg pj	92.8	285.7	27.2	-4.8%	-10.1%	-9.3%
NO _x -emissies	10 ⁶ kg pj	385.3	1393.4	130.9	-4.7%	-10.1%	-9.4%
Brandstofefficiency							
Brandstof/RTK	kg/ton-km	0.38	0.23	0.26	0.1%	-2.7%	-2.1%
Brandstof/vliegtuig km	Kg/km	3.50	6.30	6.16	0.0%	-1.9%	-2.4%

Bron: AERO-MS.

De kostenverhoging voor luchtvaartmaatschappijen zal worden doorberekend, en zal dus leiden tot een afname van de vraag. Het effect op de vraag op Intra-EU-routes (in termen van RTK's) is berekend op -1.8% bij een prijs van € 25 per ton CO₂ tot -4.9% bij een prijs van € 75 per ton CO₂. Voor de intercontinentale routes van en naar de EU varieert het effect op de vraag tussen -2.7% (emissieprij van € 25) en -7.7% (emissieprij van € 75).

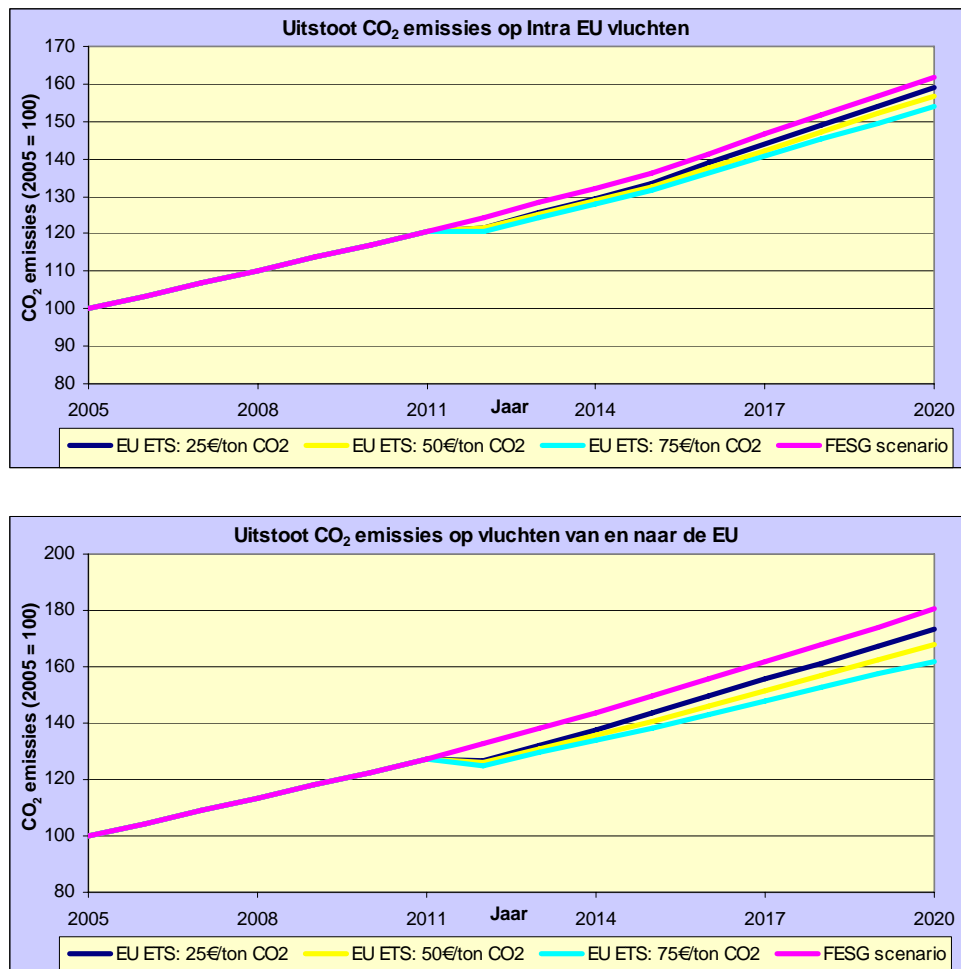
De afname van de vraag zal leiden tot een afname van het aanbod aan vluchten. Als gevolg hiervan zullen het brandstofgebruik en de emissies van de luchtvaart verminderen. Het brandstofgebruik van de luchtvaartsector, en de daarmee samenhangende emissies, zullen verder afnemen door 'supply side' responses van de luchtvaartsector. Het gaat hier om door luchtvaartmaatschappijen te nemen maatregelen aan de luchtvaartvloot die een gunstig

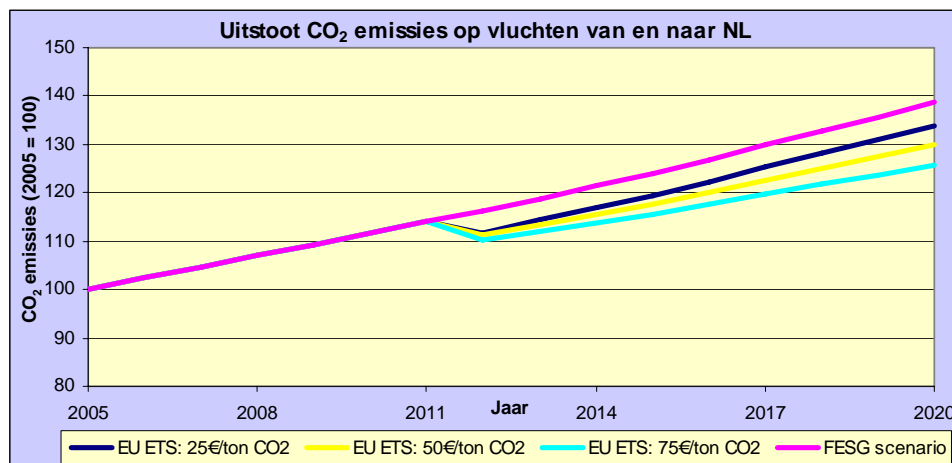


effect hebben op de brandstofefficiency. De afname van het brandstofgebruik en emissies is over het algemeen dan ook groter dan de afname van de vraag.

Emissiehandel voor de luchtvaart leidt dus tot een afname van de Europese luchtvaart CO₂-emissies in 2020 ten opzichte van de situatie in 2020 zonder emissiehandel. Er is echter nog steeds sprake van een groei van de CO₂-luchtvaartemissies. Dit wordt weergegeven in Figuur 20. In de figuur is de hoeveelheid CO₂-emissies op Europese routes voor de situatie met en zonder emissiehandel weergegeven (periode 2005-2020). Te zien is dat de introductie van emissiehandel in 2012 in dat jaar leidt tot een duidelijk effect op de hoeveelheid luchtvaartemissies. Voor de drie beschouwde prijzen van emissierechten is de hoeveelheid CO₂-emissies van de luchtvaart in 2020 echter nog altijd significant groter dan in 2005. Uitgaande van een emissieprijs van € 50 per ton CO₂ leidt emissiehandel tot een vertraging van de groei van de luchtvaart-emissies met ongeveer één jaar voor Intra-EU-vluchten en iets minder dan twee jaar voor intercontinentale routes van en naar de EU. Als emissiehandel voor de luchtvaart wordt geïntroduceerd ligt het Europese emissieniveau van de luchtvaart in 2021 of 2022 dus op het niveau dat het in 2020 zou zijn geweest in de situatie zonder emissiehandel.

Figuur 20 CO₂-emissies in periode 2005-2020: FESG-scenario met emissiehandel voor luchtvaart (diverse prijzen voor CO₂-emissierechten)





Bron: AERO-MS

Het algemeen onderschreven uitgangspunt is dat de marginale kosten voor CO₂-emissiereductie in de overige economische sectoren die onder het EU ETS vallen lager zijn dan in de luchtvaartsector. De luchtvaartsector zal per saldo dus emissierechten van deze overige sectoren kopen. Met de aankoop van deze rechten zal de voortgaande groei van luchtvaartemissies kunnen worden afgedekt. Wanneer de prijs in het ETS daardoor op zou lopen, zou dit een dempend effect op de vraag naar luchtvaart kunnen hebben. In paragraaf 5.3 wordt hier nader op ingegaan.

Effect van maatregelpakket B

Maatregelpakket B bestaat in aanvulling op de opname van de CO₂-luchtvaartemissies in het EU ETS uit:

- een heffing voor NO_x-emissies;
- het instellen van een Single European Sky;
- een Europese ticketheffing voor de overige klimaateffecten van de luchtvaart.

Evenals emissiehandel leidt de heffing voor NO_x-emissies tot een kostenverhoging voor luchtvaartmaatschappijen. Deze zullen worden doorberekend, leidend tot een afname van de vraag (of preciezer geformuleerd: een afname van de groei van de vraag ten opzichte van de groei die optreedt in de situatie zonder de heffing). De afname van de luchtvaartvraag als gevolg van de heffing op NO_x-emissies is vergelijkbaar met de afname als gevolg van de opname van de CO₂-luchtvaartemissies in het EU ETS. Ten aanzien van het effect op de luchtvaartemissies, is het effect op NO_x-emissies iets groter is dan het effect op CO₂-emissies. Dit is het gevolg van 'supply side' responses van luchtvaartmaatschappijen gericht op het beperken van NO_x-emissies. Aangezien de emissiereductie voor het grootste deel het gevolg is van een reductie van de vraag (en daarmee een beperking van het aantal vluchten), nemen ook de luchtvaart CO₂-emissies verder af indien een NO_x-heffing wordt ingevoerd.

Het instellen van een SES zal alleen een (significant) effect hebben op de vliegafstanden op Intra-EU-vluchten. Een SES leidt onder andere tot een verlaging van de brandstofkosten als gevolg van de afname van de vliegafstanden. Het instellen van een SES zal dan ook leiden tot een verlaging van de directe operationele kosten voor luchtvaartmaatschappijen. Verwacht mag worden dat, evenals de kostenverhogingen als gevolg van emissiehandel en de heffingsmaatregelen, een kostenverlaging zal worden doorberekend in de



ticketprijzen. Het instellen van een SES leidt voor de Intra-EU-routes dan ook tot een toename van de vraag. Door het opnemen van het instellen van een SES in maatregelpakket B wordt de afname van de vraag op Intra-EU-routes (als gevolg van de overige maatregelen in maatregelpakket B) dus voor een deel teniet gedaan.

Het instellen van een SES leidt verder tot twee effecten op het brandstofgebruik (en daarmee op emissies) op Intra-EU-routes. De verkorting van vliegtuigafstanden leidt tot een verlaging van het brandstofgebruik per vlucht. Als gevolg van de toename van het aantal vluchten wordt ongeveer de helft van de verlaging van het brandstofgebruik per vlucht te niet gedaan.

De verder in maatregelpakket B opgenomen vliegbelasting leidt tot een directe kostenverhoging voor luchtvaartmaatschappijen die zal worden doorberekend. De vraaguitval zal leiden tot een beperking van het aantal vluchten en daarmee tot een verlaging van de luchtvaartemissies. De verlaging van de luchtvaartemissies bij een vliegbelasting is *alleen* het gevolg van de vraaguitval. In geval van een vliegbelasting is er geen incentive voor luchtvaartmaatschappijen om te komen tot een verbetering van de brandstofefficiency. Er zullen dus geen 'supply side' responses optreden.

De effecten van maatregelpakket B zijn weergegeven in Tabel 9.

Tabel 9 Effecten maatregelpakket B: EU ETS voor CO₂-emissies luchtvaart, Europees NO_x-beleid, Single European Sky (SES) en Europese vliegbelasting voor contrails en cirrus

Effect	Eenheid	FESG-scenario			% verandering t.o.v. FESG-scenario		
		Intra-EU	EU - Non-EU	Van/naar NL	Intra-EU	EU - Non-EU	Van/naar NL
Vraag naar luchtvaart en aanbod van vluchten							
Passagier km	10 ⁹ pass-km pj	713.1	2475.9	188.0	-7.3%	-13.2%	-12.2%
Cargo km	10 ⁹ ton-km pj	6.2	139.0	14.2	-9.7%	-11.1%	-10.6%
RTK	10 ⁹ RTK pj	77.5	386.6	33.0	-7.5%	-12.4%	-11.5%
Vluchten	10 ⁶ vluchten pj	12.1	3.8	0.59	-5.7%	-9.7%	-7.5%
Vliegtuig km	10 ⁹ km pj	8.4	14.4	1.40	-10.8%	-12.6%	-12.3%
Brandstofgebruik en emissies luchtvaart							
Brandstofgebruik	10 ⁹ kg pj	29.4	90.5	8.6	-11.0%	-14.8%	-14.2%
CO ₂ -emissies	10 ⁹ kg pj	92.8	285.7	27.2	-11.0%	-14.8%	-14.2%
NO _x -emissies	10 ⁶ kg pj	385.3	1393.4	130.9	-11.6%	-14.9%	-14.5%
Brandstofefficiency							
Brandstof/RTK	kg/ton-km	0.38	0.23	0.26	-3.8%	-2.7%	-3.0%
Brandstof/vliegtuig km	Kg/km	3.50	6.30	6.16	-0.3%	-2.5%	-2.1%

Bron: AERO-MS.

Maatregelpakket B leidt ten opzichte van het FESG-scenario in 2020 tot een reductie van CO₂-emissies van 11% op Intra-EU-routes en ongeveer 15% op intercontinentale routes van en naar de EU. De reductie ten opzichte van het FESG-scenario komt er op neer dat er sprake is van een vermindering van de groei van luchtvaartemissies. Voor de routes van en naar Schiphol betekent maatregelpakket B een afname van CO₂-emissies met zo'n 14%. Het effect op NO_x-emissies op de verschillende routegroepen is zeer vergelijkbaar met het effect op CO₂-emissies.

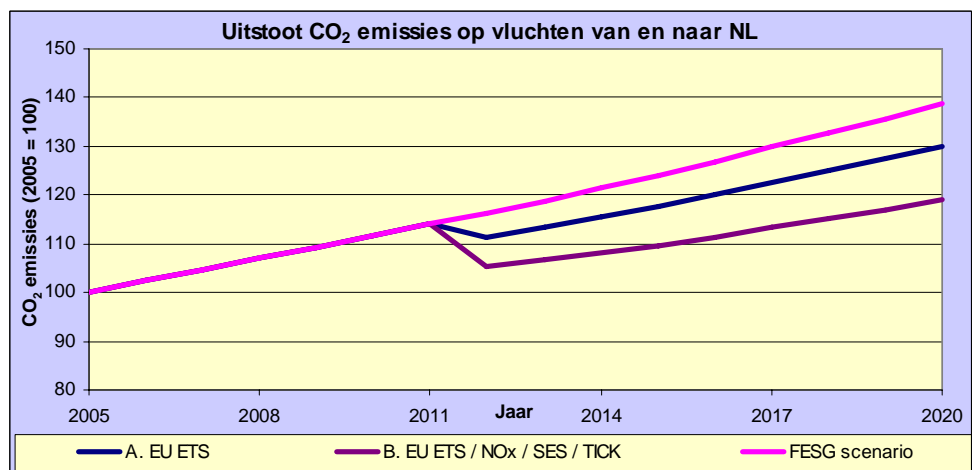
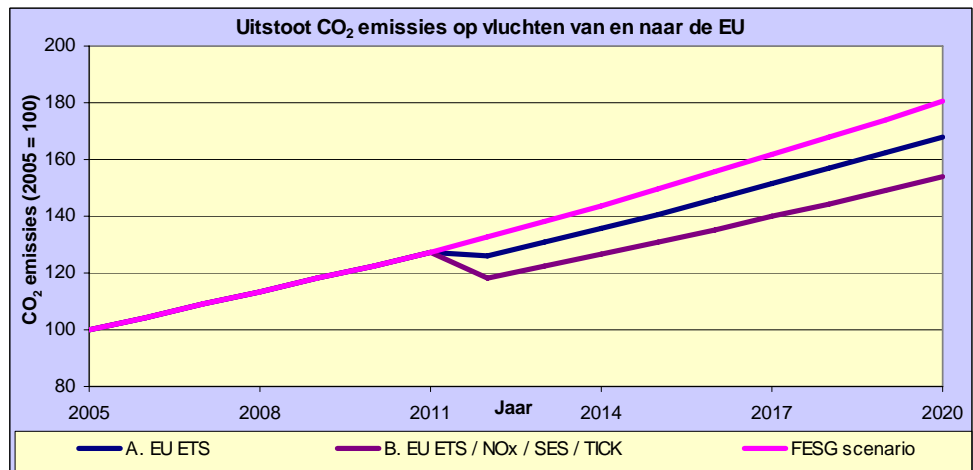
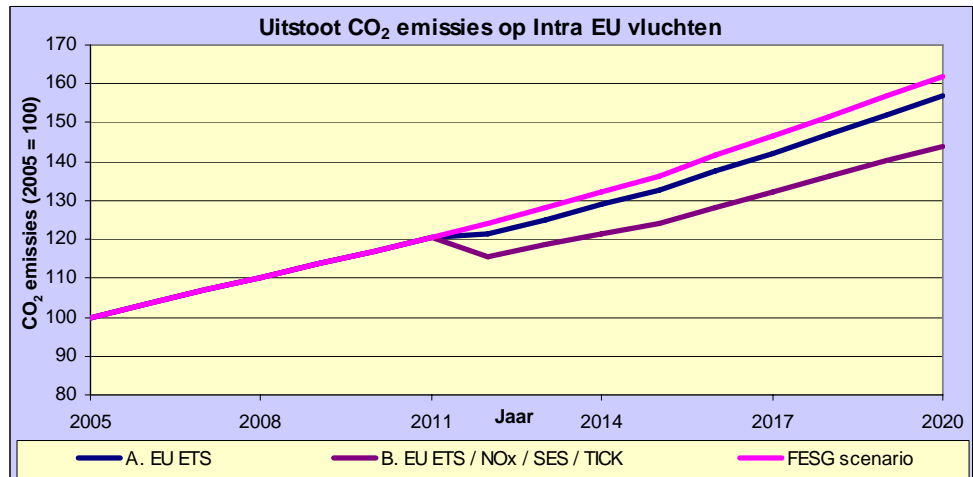


Het effect van maatregelpakket B op de luchtvaart CO₂-emissies in de tijd is (tezamen met het effect van maatregelpakket A) opgenomen in Figuur 21. De luchtvaart CO₂-emissies op Intra-EU-routes komen in geval van maatregelpakket B in 2020 44% hoger uit dan in 2005. In de situatie zonder maatregelen komen de CO₂-emissies op deze routes 62% hoger uit (zie ook Tabel 3). De CO₂-emissies in geval van maatregelpakket B in 2020 komen overeen met de CO₂-emissies onder het FESG-scenario in het jaar 2016. In feite leidt maatregelpakket B tot een groeivertraging van de luchtvaart CO₂-emissies op Intra-EU-routes met vier jaar. Voor de intercontinentale routes bedraagt deze groeivertraging ongeveer vijf jaar. CO₂-emissies bij maatregelpakket B in 2020 komen voor deze routes dus ongeveer overeen met de CO₂-emissies onder het FESG-scenario in het jaar 2015.

Voor de routes van en naar Schiphol is op grond van het 'Alders-scenario' een meer gematigde autonome groei van emissies voorzien. Het effect van maatregelpakket B op deze routes is dan ook relatief groter. De luchtvaart CO₂-emissies op de routes van en naar Schiphol komen bij maatregelpakket B in 2020 20% hoger uit dan in 2005. In de situatie zonder maatregelen komen de CO₂-emissies op deze routes ongeveer 40% hoger uit (zie ook Tabel 9). De groei van emissies tussen 2005 en 2020 op de routes van en naar Schiphol wordt dus gehalveerd door maatregelpakket B. Voor deze routes komt dit overeen met een groeivertraging van de uitstoot van emissies met ongeveer zeven jaar.



Figuur 21 Ontwikkeling CO₂-emissies tussen 2005 en 2020: Standaard FESG-scenario met verschillende maatregelpakketten



Bron: AERO-MS.



5.3 Leidt emissiehandel tot een stabilisatie van luchtvaartemissies?

Het onderbrengen van de Europese CO₂-luchtvaartemissies in het EU ETS leidt tot een stabilisatie van emissies op het niveau van de cap. De cap voor de luchtvaart bedraagt 95% van de 2005 emissies. Uit de voorgaande paragraaf blijkt dat de marginale kosten voor CO₂-emissiereductie in de overige economische sectoren die onder het EU ETS vallen lager zijn dan in de luchtvaartsector. De luchtvaartsector zal per saldo dus emissierechten van de overige economische sectoren kopen. Met de aankoop van deze rechten zal de voortgaande groei van luchtvaartemissies worden afgedekt. Een schematische weergave van de dekking van CO₂-emissies bij opname van de luchtvaart in het EU ETS wordt gegeven in Figuur 22. Te zien is dat om de voortgaande groei van de luchtvaart af te dekken met emissierechten, het aantal rechten dat van andere economische sectoren zal worden gekocht in de tijd toeneemt. Hierbij wordt de groei van CO₂-emissies van de luchtvaart gecompenseerd door een beperking van CO₂-emissies in andere sectoren.

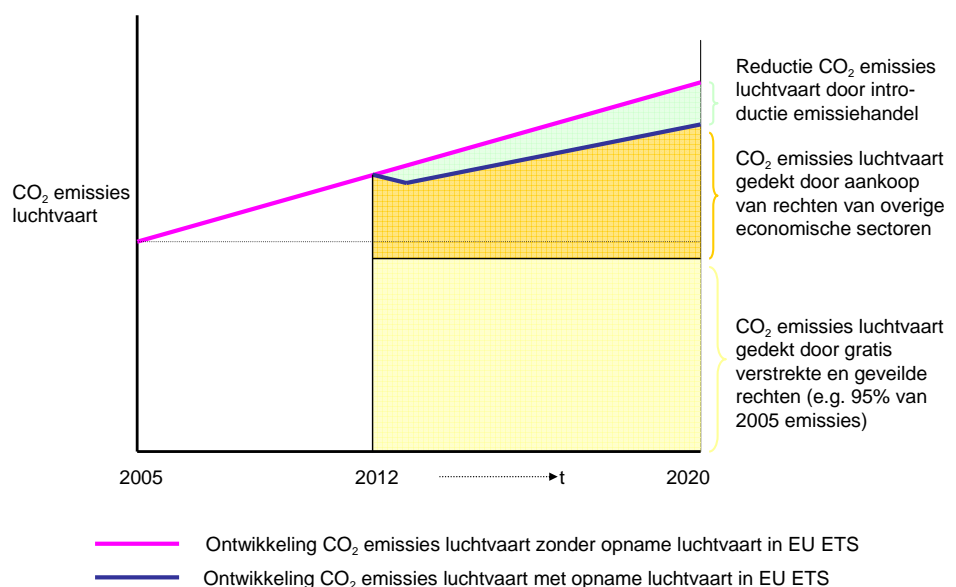
Figuur 22 gaat ervan uit dat de prijs van de emissierechten constant blijft. Wanneer de prijs sterk zou toenemen doordat emissierechten steeds schaarser worden, zou de groei van de luchtvaart kunnen afvlakken waardoor de vraag naar rechten minder snel groeit.

Figuur 22 laat zien dat de vraag naar emissierechten vanuit de luchtvaart door twee factoren wordt bepaald:

1. De hoogte van de cap voor de luchtvaart in het EU ETS.
2. De omvang en het effect van de vraag naar emissierechten vanuit de luchtvaart.

Onderstaand wordt verder ingegaan op deze aspecten.

Figuur 22 Schematische weergave van dekking CO₂-emissies bij opname luchtvaart in EU ETS vanaf 2012



1. De hoogte van de cap voor de luchtvaart in het EU ETS

De doelstelling van de Europese Commissie voor het jaar 2020 is om te komen tot minimaal een 20%-reductie van de uitstoot van broeikasgassen ten opzichte van het emissieniveau van 1990. Voor de economische sectoren die momenteel onder in het EU ETS vallen (e.g. de energiesector en de grote industrie) is voor het jaar 2020 een cap voorzien met een CO₂-emissieniveau dat 21% lager ligt dan het emissieniveau in 2005. De hoeveelheid te verspreiden emissierechten voor deze economische sectoren zal in 2020 dus overeen komen met 79% van het CO₂-emissieniveau in 2005. Het emissieniveau in 2005 bedroeg 2.176 Mt. Een reductie van 21% betekent dus dat de cap in 2020 voor de economische sectoren die momenteel onder in het EU ETS vallen gelijk zal zijn aan 1.720 Mt⁵⁸. Aangezien voor deze sectoren er tussen 1990 en 2005 geen toe-name van de CO₂ emissies heeft plaatsgevonden, leidt de EU ETS cap in feite tot een realisering van de 20% reductiedoelstelling ten opzichte van 1990 voor deze sectoren.

Voor de luchtvaart geldt bij opname in het EU ETS in 2012 in het eerste jaar een cap die gelijk is aan 97% van het emissieniveau in 2005. In de periode 2013-2020 zal de cap gelijk zijn aan 95% van het emissieniveau in 2005. De cap voor de luchtvaart is dus aanmerkelijk ruimer dan voor de overige sectoren in het EU ETS.

Daarnaast heeft in de jaren 1990-2005 een sterke groei van de Europese CO₂-luchtvaartemissies plaatsgevonden. De European Environment Agency (EEA) rapporteert een groei van CO₂-emissies voor de internationale luchtvaart voor de EU-25 van 73% tussen 1990 en 2003. Dit is een groei van gemiddeld 4.3% per jaar. Deze cijfers zijn gebaseerd op fuel bunkers en zijn dus een goede benadering voor de groei van alle vertrekkende vluchten. Volgens berekeningen met het AERO-MS zijn de CO₂-emissies op alle vluchten van en naar de EU (EU-27) tussen 1992 en 2005 met 59% toegenomen (3.6% per jaar). Als deze groei ook wordt aangehouden voor de periode 1990-1992, kom je uit op een groei van 71% voor de periode 1990-2005, of, in absolute termen, een toename van 127 Mt tot 216 Mt.

Een groei van de Europese luchtvaartemissies van 71% over de periode 1990-2005 betekent dus dat in de periode 2013-2020 de hoeveelheid te verspreiden CO₂-emissierechten gelijk is aan 162% van de Europese luchtvaartemissies in 1990 (i.e. 95%*171%). Voor de overige sectoren in het EU ETS bedraagt dit percentage ongeveer 80%. Ten opzichte van het emissieniveau in het jaar 1990, als zijnde het jaar waaraan de reductiedoelstelling van de Europese Commissie is gekoppeld, krijgt de luchtvaartsector in 2020 relatief dus ongeveer twee maal zo veel CO₂-emissierechten gealloceerd in vergelijking met de overige economische sectoren in het EU ETS.

2. De omvang en het effect van de vraag naar emissierechten vanuit de luchtvaart

In aanvulling op de gealloceerde rechten zal de luchtvaart additionele emissierechten nodig hebben om de verwachte groei af te dekken. In Tabel 10 is weergegeven hoe de Europese CO₂-luchtvaartemissies die onder het EU ETS komen te vallen zullen worden afgedekt. De Europese

⁵⁸

<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/08/796&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>.



CO₂-luchtvaartemissies hebben hierbij betrekking op zowel de Intra-EU-vluchten als alle vluchten tussen de EU en landen buiten de EU. In Tabel 10 is uitgegaan van een prijs van € 50 per ton/CO₂ om te bepalen welke CO₂-reductie binnen de luchtvaartsector wordt bereikt, en hoeveel CO₂-rechten van andere sectoren moeten worden aangekocht om de verwachte groei af te dekken. Verder is voorzien dat van de emissierechten voor de luchtvaart 85% gratis wordt verspreid op basis van benchmarking en de resterende 15% wordt geveild.

Tabel 10 Dekking van Europese luchtvaart CO₂-emissies in verschillende jaren bij opname in EU ETS (in Mt)

	Jaar		
	2012	2015	2020
1. Gratis verstrekte CO ₂ -rechten (85%)	177.8	174.2	174.2
2. Geveilde CO ₂ -rechten (15%)	31.4	30.7	30.7
Totaal 1+2 (% van 2005 CO ₂ -luchtvaartemissies)*	209.2	204.9	204.9
3. Aankoop CO ₂ -rechten van andere sectoren	60.1	94.2	150.9
Totaal 1+2+3 (CO ₂ -luchtvaartemissies met EU ETS)	269.3	299.1	355.8
4. Reductie CO ₂ -luchtvaartemissies door emissiehandel	11.8	15.9	22.6
Totaal 1+2+3+4 (CO ₂ -luchtvaartemissies zonder EU ETS)	281.1	315.0	378.5

* Voor 2012: 97% van 2005 emissies; voor 2015 en 2020: 95% van 2005 emissies.

Uit Tabel 10 is op te maken dat als gevolg van emissiehandel voor de luchtvaart er maar een beperkte afname zal zijn van de Europese CO₂-luchtvaartemissies. Zonder emissiehandel (FESG scenario) zouden in 2020 de CO₂-emissies 378.5 Mt bedragen. Met emissiehandel wordt dit 355.8 Mt. Zoals aangegeven in paragraaf 5.2, zal ook met emissiehandel voor de luchtvaart het grootste deel van de verwachte groei van luchtvaartemissies nog steeds plaatsvinden, en zal deze groei worden afgedekt door de aankoop van CO₂-rechten van andere economische sectoren in het EU ETS.

De Europese CO₂-luchtvaartemissies die in 2020 zullen worden uitgestoten, ook al wordt de luchtvaart opgenomen in het EU ETS, zijn 180% hoger dan het emissieniveau van de luchtvaart in 1990. In de situatie dat de Europese luchtvaartemissies zijn opgenomen in het EU ETS, is er ten opzichte van 1990, in 2020 dus nog sprake van bijna een verdrievoudiging van de Europese CO₂-luchtvaartemissies. Deze grote toename is enerzijds het gevolg van het feit dat de cap voor de luchtvaart relatief vrij ruim is, en anderzijds omdat de verwachting is dat de verdere groei zal worden afgedekt door de aankoop van CO₂-rechten van andere sectoren.

Verder blijkt uit Tabel 10 dat er een zeer sterke toename te verwachten is van het aantal door de luchtvaart aan te kopen CO₂-rechten in de tijd. In het jaar 2012 zal voor ongeveer 60 Mt aan CO₂-rechten door de luchtvaart worden aangekocht van andere sectoren. In 2020 is dit opgelopen tot meer dan 150 Mt. Dit is een toename met 150% in 8 jaar (12% per jaar). Voor de overige economische sectoren in het EU ETS geldt in 2020 een cap van 1.720 Mt (zie ook bovenstand). De hoeveelheid aan te kopen rechten door de luchtvaartsector in 2020 bedraagt dus 9% van de emissierechten die aan de overige economische zijn gealloceerd. Het is mogelijk dat een deel van



deze rechten op de CDM-markt kan worden ingekocht. Bij ongewijzigde uitgangspunten ten aanzien van het EU ETS, en de opname van de luchtvaart daarin, zal dit percentage na 2020 snel verder oplopen. Hoe ver precies is moeilijk te voorspellen vanwege de onzekerheden over de prijs in emissierechten.

Indien het totale pakket aan Europese maatregelen (CO₂-emissiehandel; NO_x-heffing; introductie SES en vliegbelasting) zou zijn gerealiseerd in 2020 vindt er uiteraard een sterkere reductie van de groei van de Europese CO₂-luchtvaartemissies plaats. Als gevolg daarvan zal de vraag naar emissierechten vanuit de luchtvaartsector minder zijn. In 2020 zal deze vraag echter nog altijd 120 Mt bedragen, oftewel 7% van de voor niet-luchtvaartsectoren gealloceerde rechten.

De grote vraag naar emissierechten vanuit de luchtvaart zal op termijn consequenties hebben voor het EU ETS. De prijs van emissierechten zal oplopen. Dit zal leiden tot een grotere reductie van de Europese CO₂-luchtvaartemissies, en een afname van de vraag naar rechten vanuit de luchtvaartsector. Ook bij hogere emissieprijsen zal de vraag vanuit de luchtvaartsector echter nog steeds significant zijn. De hogere ETS-prijzen hebben ook gevolgen voor andere ETS-sectoren. Elektriciteitsprijsen in de EU zullen toenemen en het wordt kostbaarder om hier industriële producten te fabriceren. Zonder aanvullende maatregelen zou dit tot politiek onwenselijke situaties kunnen leiden, zoals bijvoorbeeld 'carbon leakage' in de industrie of sterk stijgende elektriciteitsprijsen voor consumenten.

5.4 Conclusies

Bij een emissieprijs van € 50 per ton CO₂ in 2020 leidt emissiehandel tot een vertraging van de groei van de luchtvaartemissies met ongeveer één jaar voor Intra-EU-vluchten en iets minder dan twee jaar voor intercontinentale routes van en naar de EU. Als emissiehandel voor de luchtvaart wordt geïntroduceerd ligt het emissieniveau van de luchtvaart in 2021 of 2022 dus op het niveau dat het in 2020 zou zijn geweest in de situatie zonder emissiehandel. De afname van de Europese luchtvaart CO₂-emissies in 2020 als gevolg van emissiehandel bedraagt ongeveer 6%.

Een NO_x-heffing leidt tot een reductie van zowel NO_x- als CO₂-luchtvaartemissies. Voor Intra-EU-routes is de reductie van luchtvaartemissies vergelijkbaar met de reductie als gevolg van de introductie van emissiehandel. Emissiehandel en NO_x-heffingen tezamen leiden naar verwachting tot een reductie van luchtvaartemissies op Intra-EU-routes van 6 à 7%. Voor intercontinentale routes is de emissiereductie ongeveer 12%.

Een SES zal op Intra-EU-vluchten leiden tot een verlaging van de directe operationele kosten voor luchtvaartmaatschappijen, en daarmee tot een verlaging van ticketprijsen en een toename van de vraag. De maatregel leidt tot twee effecten op het brandstofgebruik (en daaraan gerelateerde emissies) op Intra-EU-routes. De verkorting van vliegtuigafstanden leidt tot een verlaging van het brandstofgebruik per vlucht. Als gevolg van de toename van het aantal vluchten om de toegenomen vraag te accommoderen wordt een deel van deze verlaging van het brandstofgebruik echter teniet gedaan.

Het maximale Europese maatregelenpakket dat momenteel is voorzien bestaat uit de opname van de CO₂-luchtvaartemissies in het EU ETS, een heffing voor



NO_x-emissies, het instellen van een Single European Sky en een Europese vliegbelasting voor overige klimaateffecten van de luchtvaart (contrails en cirrus). Dit maximale maatregelpakket leidt ten opzichte van het FESG-scenario in 2020 tot een reductie van de luchtvaartemissies met 11 à 12% op Intra-EU-routes en ongeveer 15% op de intercontinentale routes van en naar de EU. Voor de routes van en naar Schiphol betekent het maximale maatregelpakket een afname van CO₂-emissies in 2020 met zo'n 14%.

Voor de Europese luchtvaartroutes (Intra-EU en intercontinentaal van en naar de EU) leidt het maximale Europese maatregelpakket tot een groeivertraging van de luchtvaartemissies met vier tot vijf jaar. Dit betekent dat de luchtvaartemissies in geval van het maximale maatregelpakket in 2020 overeen komen met de emissies in 2015 c.q. 2016 voor de situatie zonder maatregelen volgens het FESG-scenario. Voor de routes van en naar Schiphol is op grond van het 'Alders-scenario' een meer gematigde autonome groei van emissies voorzien. Voor deze routes komt het effect van het maximale Europese maatregelpakket overeen met een groeivertraging van emissies met ongeveer zeven jaar.

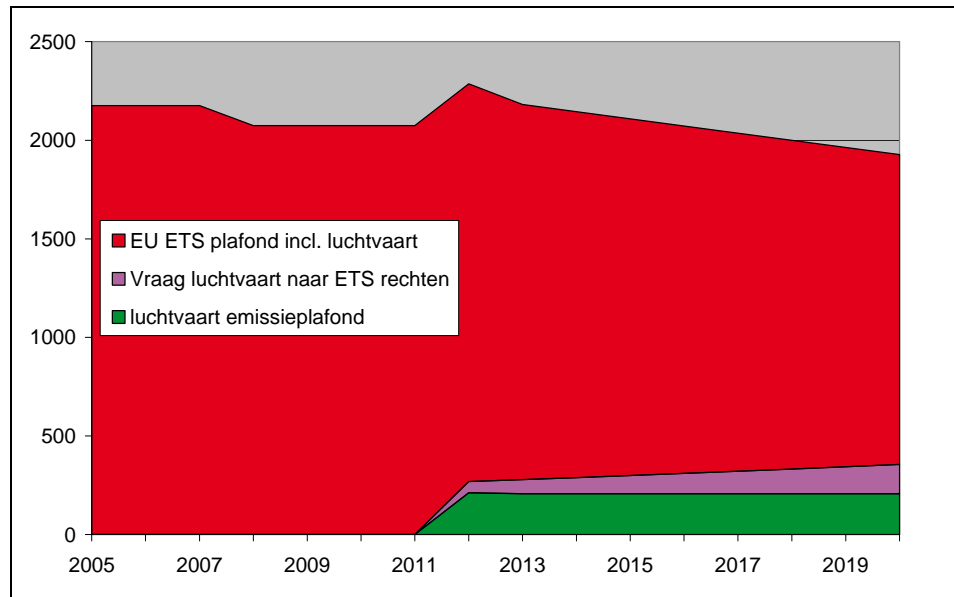
De cap voor de luchtvaart die bij opname in het EU ETS is vastgesteld bedraagt 95% van de 2005 emissies (periode 2013-2020). Ten opzichte van andere economische sectoren in het EU ETS is dit relatief ruim. Voor deze sectoren geldt in 2020 dat de cap 21% lager ligt dan het emissieniveau in 2005. Daarnaast is van belang dat het uiteindelijke referentiejaar voor de emissiereductiedoelstelling van de Europese Commissie 1990 is. Voor de Europese luchtvaart heeft, in tegenstelling tot andere economische sectoren, in de periode 1990-2005 een sterke groei van de luchtvaartemissies plaatsgevonden (toename met ruim 70%). Als gevolg hiervan is de cap voor de Europese luchtvaart CO₂-emissies in 2020 ruim 60% hoger dan het emissieniveau in 1990. De cap voor de overige economische sectoren in 2020 ligt daarentegen juist 20% onder het emissieniveau van 1990.

De marginale kosten voor CO₂-emissiereductie in de overige economische sectoren die onder het EU ETS vallen zijn lager dan in de luchtvaartsector. De luchtvaartsector zal per saldo dus emissierechten van deze sectoren kopen. Met de aankoop van deze rechten zal de voortgaande groei van luchtvaartemissies aanvankelijk kunnen worden afgedekt. Het aantal rechten dat van andere economische sectoren zal worden gekocht neemt echter sterk toe in de tijd. In 2020 zal de vraag naar rechten vanuit de luchtvaartsector naar verwachting zijn opgelopen tot ongeveer 150 Mt. Dit is gelijk aan 9% van de emissierechten die in 2020 aan de overige sectoren in het EU ETS zijn gealloceerd. De grote vraag naar emissierechten vanuit de luchtvaart zal de prijs van emissierechten opdrijven.

Figuur 23 geeft de interactie tussen luchtvaart en het EU ETS schematisch weer.



Figuur 23 Interactie tussen luchtvaart en EU ETS



6 Conclusies

6.1 Luchtvaart heeft belangrijke milieueffecten

Luchtvaart veroorzaakt geluid, vliegtuigen stoten luchtvervuilende stoffen uit en de luchtvaart draagt bij aan de opwarming van de aarde. Naar verwachting zal zonder beleid de bijdrage van de luchtvaart aan deze drie factoren in de komende jaren toenemen. Terwijl zeker voor klimaat een reductie noodzakelijk is om de opwarming van de aarde te beperken.

6.2 Luchtvaartprognoses optimistisch, maar klimaateffect groeit door

Beleidsontwikkeling gebeurt meestal op basis van toekomstscenario's. De bestaande scenario's voor de ontwikkeling van de luchtvaart laten onveranderlijk een sterke toename van de luchtvaart zien als gevolg van een toename in welvaart. Op bepaalde punten schatten de scenario's de toekomst echter erg rooskleurig in:

- De invloed van de olieprijs op de vraag naar luchtvaart is significant. De variatie in de olieprijs is echter onvoldoende tot uitdrukking gebracht in de luchtvaartscenario's. Wanneer de huidige voorspellingen over olieprijsen zouden worden verwerkt in de scenario's, zal de groei van de luchtvaart lager uitvallen.
- Een hogere olieprijs heeft tot gevolg dat de groei van de vraag naar luchtvaart zowel in Nederland als mondiaal afneemt. Daarnaast leidt een hogere olieprijs tot een nog sterkere incentive voor luchtvaartmaatschappijen om tot brandstofbesparing (en daarmee minder CO₂-uitstoot) te komen. Als gevolg hiervan, en als gevolg van de vraagafname, leidt een hogere olieprijs tot een duidelijke vertraging van de groei van het klimaateffect van de luchtvaart.
- Een eventuele beslissing van Air France/KLM om het intercontinentale netwerk op Schiphol te beperken kan het aantal passagiers en vliegtuigbewegingen op Schiphol significant doen afnemen. Voor de mondiale emissies heeft dit nauwelijks effect.
- Waar de meeste scenario's uitgaan van een voortgezette daling van de prijzen van luchtvaart, achten wij het eerder waarschijnlijk dat de sterke daling van de kosten en prijzen van de luchtvaart af zal nemen. De belangrijkste drijvende krachten - liberalisering en de daarmee samenhangende opkomst van low-cost carriers - zijn afgerond op de Intra-Europese markt en zullen minder impact hebben op prijzen op de intercontinentale markten. Bovendien kan een consolidatieslag in de luchtvaart een tegenwicht bieden.
- Een uitbreiding van het hogesnelheidstreinennetwerk kan de vraag naar luchtvaart vanuit Nederland aanzienlijk beperken. Tot ongeveer 40% van de vluchten hebben bestemmingen op minder dan 800 km, de grens waar het vliegtuig reistijdvoordeel begint te hebben.
- Voortvloeiend uit bestaande beleidskaders zullen milieukosten geïnternaliseerd worden in de luchtvaart. Met de externe kosten van CO₂-emissies is al een begin gemaakt door luchtvaart onder te brengen in het EU ETS. Hierdoor zal de groei van de luchtvaart afnemen.

Concluderend laten de bestaande scenario's vanuit het huidige perspectief een aantal belangrijke onzekerheden onvoldoende doorwerken op de vraag naar luchtvaart. Als dit beter zou gebeuren, dan zou er een grotere variatie in de



uitkomsten zichtbaar zijn. De analyses in dit hoofdstuk laten zien dat de kans groot is dat de groei van de vraag wereldwijd, en zeker op Schiphol lager uitvalt dan de scenario's voorspellen. Niettemin is er ook bij scenario's met een lagere groei sprake van een toename van de CO₂-uitstoot.

6.3 Technische en operationele maatregelen kunnen de groei van de milieueffecten beperken

Alleen als de groei van de luchtvaart gelijke tred houdt met de vermindering van de uitstoot kunnen de milieueffecten van luchtvaart zich stabiliseren.

De verbetering van de vliegtuigtechnologie en het gebruik van biobrandstoffen bieden mogelijkheden om de emissies te reduceren, of, beter gezegd, de uitstoot per passagierskilometer te verminderen. Biobrandstoffen verminderen de CO₂-uitstoot maar hebben geen effect op de niet-CO₂-klimaateffecten. Van operationele verbeteringen en alternatieven voor transport mag minder verwacht worden.

Tegelijkertijd is duidelijk dat de bestaande groeivoorspellingen elke verbetering in efficiëntie teniet zullen doen. Als de luchtvaart blijft doorgroeien, kunnen noch grote technologische verbeteringen noch biobrandstoffen de emissies terugbrengen op het niveau van 2005, laat staan dat de emissies kunnen dalen tot bijvoorbeeld het niveau van 1990. Hoewel er een gereede kans is dat de groei in werkelijkheid lager uitvalt dan de scenario's voorspellen, lijkt stabilisatie of afname van de emissies vooralsnog ver weg.

Bovendien moet benadrukt worden dat de relatieve vermindering van de uitstoot van broeikasgassen conditioneel is. *Als* de ACARE-doelen worden gehaald en *als* efficiëntere vliegtuigen ook commercieel aantrekkelijk zijn; *als* biobrandstoffen ontwikkeld kunnen worden die de emissies over de hele productieketen verminderen en *als* die biobrandstoffen niet duurder zijn dan conventionele kerosine; *als* operationele verbeteringen nog niet zijn uitgeput en *als* videovergaderingen inderdaad zakenvluchten gaan vervangen, ja *dan* kan de toename van de emissies stoppen of ze kunnen in dit meest optimistische scenario op de langere termijn zelfs gaan afnemen.

Duidelijk mag zijn dat de kans niet zo groot is dat alle bovengenoemde ontwikkelingen daadwerkelijk zullen plaatsvinden. De verwachting is dan ook dat zonder overheidsmaatregelen de luchtvaartemissies zullen blijven toenemen. De volgende paragraaf gaat in op de vraag hoe overheidsbeleid de technische ontwikkelingen kan stimuleren en hoe overheidsbeleid tot een emissiestabilisatie of -reductie zou kunnen leiden.

6.4 Krachtig overheidsbeleid is nodig om de milieueffecten te laten dalen

Sterk milieubeleid kan technische en operationele maatregelen bevorderen. Het milieueffect van technische ontwikkelingen hangt af van de mate waarin ze zullen worden doorgevoerd in de vloot. Het milieueffect zal groter zijn naarmate er een groter financieel voordeel is. Economische instrumenten op de uitstoot van NO_x, het ontstaan van condensatiestrepen, luchtvervuiling en geluid bevorderen de introductie van nieuwe schone technologie. Voor een sterke betering van de milieu-impact per vervoerskilometer is het daarom van belang dat niet volstaan wordt met het onderbrengen van luchtvaart in het EU ETS. Ook ter vermindering van andere milieueffecten van luchtvaart dient



beleid gevoerd te worden, zoals beleid om NO_x-emissies te beperken (opname in het EU ETS of een heffing), beleid om overige klimaateffecten en geluid te beperken (bijvoorbeeld een vliegbelasting), en beleid tegen luchtvervuiling (een LTO-emissieheffing).

Overheidsbeleid dat gericht is op het internaliseren van externe kosten kan bovendien de groei van de vraag naar luchtvaart afremmen. Dat is noodzakelijk om te voorkomen dat de milieuwinst van de technische vooruitgang teniet gedaan wordt door de groei in de luchtvaart.

In het gunstigste geval is het niet onmogelijk dat de groei van de luchtvaart-emissies wordt geremd. Daarvoor is strikt overheidsbeleid nodig. Alleen dan zullen technische ontwikkelingen beloond worden en doordringen in de vloot. En alleen op die manier kan de vraag naar luchtvaart zich zo ontwikkelen dat deze de technische verbeteringen niet teniet doet.

Zonder aanvullend beleid zal de vraag vanuit de luchtvaart naar emissierechten kunnen toenemen tot 9% van de rechten die aan andere sectoren zijn gealloceerd. Dit zal tot gevolg hebben dat de ETS-prijzen toenemen. De hogere ETS-prijzen hebben ook gevolgen voor andere ETS-sectoren. Elektriciteitsprijzen in de EU zullen toenemen en het wordt kostbaarder om hier industriële producten te fabriceren. Zonder aanvullende maatregelen zou dit tot politiek onwenselijke situaties kunnen leiden, zoals bijvoorbeeld 'carbon leakage' in de industrie of sterk stijgende elektriciteitsprijzen voor consumenten.





7 Referenties

AAS, 2008

Statistical annual review 2007 : Amsterdam Airport Schiphol (AAS)
Schiphol : Amsterdam Airport, 2008

ACARE, 2004

Strategic research agenda. Executive Summary
S.l. : Advisory Council for Aeronautics Research in Europe (ACARE), 2004

ACARE, 2008

2008 Addendum to the Strategic research agenda
S.l. : Advisory Council for Aeronautics Research in Europe (ACARE), 2008

AERO, 2002

Aviation Emissions and Evaluation of Reduction Options - AERO.
The Hague : Ministry of Transport Public Works and Water Management of the Netherlands, Directorate General for Civil Aviation (DGL), 2002

Alders, 2008

Evaluatie Schipholbeleid : Brief van de minister van Verkeer en Waterstaat
d.d. 1 oktober 2008 houdende het advies van de Alderstafel (Kamerstuk 29665,
nr. 108)
Den Haag : SDU, 2008

CE, 2005

R. Wit
Giving wings to emission trading
Delft : CE Delft, 2005

CE, 2007

Technical assistance for the Impact Assessment of inclusion of aviation in the
EU ETS
Delft : CE Delft, 2007

CE, 2008

Jasper Faber, Dan Greenwood, David Lee, Michael Mann, Pablo Mendes de
Leon, Dagmar Nelissen, Bethan Owen, Malcolm Ralph, John Tilston, André van
Velzen, Gerdien van de Vreede
Lower NO_x at Higher Altitudes: Policies to Reduce the Climate Impact of
Aviation NO_x Emission
Delft : CE Delft, 2008

CE, 2008

L.C. (Eelco) den Boer, F.P.E. (Femke) Brouwer, H.P. (Huib) van Essen
STREAM
Delft : CE Delft, 2008

FESG, 2008a

FESG CAEP/8 Traffic and fleet forecast. Presented at Steering Group Meeting
in Seattle, 22 - 26 September 2008 (CAEP-SG/20082-IP/02)



FESG, 2008b

FESG CAEP/8 Impact of the hike in oil and fuel prices on the validity of the FESG CAEP/8 traffic and fleet forecast. Presented at Steering Group Meeting in Seattle, 22 - 26 September 2008 (CAEP-SG/20082-IP/03)

IATA, 2007

IATA calls for a Zero Emissions Future
IATA press release, June 4, 2007

IATA, 2009

IATA reiterates its environmental commitment even in times of crisis. IATA press release, January 16th, 2009

KiM, 2008

P. Jorritsma
Substitutiemogelijkheden luchtverkeer- hogesnelheidstrein
Den Haag : Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM), 2008

RIVM, 2005

E.E.M.M. van Kempen van, B.A.M. Staatsen, I. van Kamp
Selection and evaluation of exposure-effect relationships for health impact assessment in the field of noise and health
Bilthoven : RIVM, 2005

Sausen et al., 2005

Robert Sausen, Ivar Isaksenz, Volker Grewe, et al.
Aviation radiative forcing in 2000: An update on IPCC
In : Meteorologische Zeitschrift, Vol. 14, No. 4, (2005); p. 555-561



Bijlage A Berekening RF en GWP

Er zijn verschillende manieren om het klimaateffect van emissies te kwantificeren. Een hiervan is de Radiative Forcing (RF):

$$\Delta T_s \approx \lambda \Delta RF$$

De verandering in radiative forcing (ΔRF) is dus recht evenredig met de verandering in de (gemiddelde) temperatuur ΔT ; λ is hier een klimaatparameter, uitgedrukt in $K/(W/m^2)$.

Een andere maat voor de klimaateffecten van emissies is de GWP (Global Warming Potential). Deze wordt onder andere in het Kyoto Protocol gebruikt om de effecten van de verschillende broeikasgassen aan elkaar te relateren. De GWP van een stof is gedefinieerd als de radiative forcing als gevolg van een pulsemissie van 1 kg van de betreffende stof (geïntegreerd over een bepaalde tijd), vergeleken met een referentiegas (meestal CO_2):

$$GWP_x = \frac{\int_0^{TH} a_x x(t) dt}{\int_0^{TH} a_r r(t) dt}$$

Waarin a het stralingseffect is van een toename van 1 kg van stof x , $x(t)$ het tijdsafhankelijke verval van stof x is, en r de referentiestof is. TH is de tijdshorizon waarover geïntegreerd wordt. Dit is meestal 100 jaar, maar ook 20 en 50 jaar worden gebruikt. Door de verschillende vervaltempo's van de stoffen x en r hangt de GWP van een stof dus af van de gekozen tijdshorizon.

