



Kennisoverzicht luchtvaart en klimaat

Rapport
Delft, maart 2014

Opgesteld door:
J. (Jasper) Faber
M.J. (Marnix) Koopman
M.H. (Marisa) Korteland
M.E. (Martine) Smit



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

J. (Jasper) Faber, M.J. (Marnix) Koopman, M.H. (Marisa) Korteland, M.E. (Martine) Smit
Kennisoverzicht luchtvaart en klimaat
Delft, CE Delft, maart 2014

Luchtverkeer / Klimaat / Beleid / Internationaal / Inventarisatie
VT : Kennis

Publicatienummer: 14.7B89.21

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



Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
2	Klimaat effecten van de luchtvaart	9
2.1	Inleiding	9
2.2	Aard, duur en grootte van de klimaat effecten	9
2.3	De CO ₂ -multiplier	11
2.4	Gevolgen voor de klimaatdoelstellingen	11
3	Emissiescenario's	13
3.1	Inleiding	13
3.2	Nederland	13
3.3	Europa	17
3.4	Mondiaal	20
3.5	Comparatieve analyse	23
4	Klimaatbeleid voor de luchtvaart	27
4.1	Institutionele omgeving van het klimaatbeleid	27
4.2	Europees klimaatbeleid voor de luchtvaart	28
4.3	ICAO-ontwikkelingen	31
5	Kostendoorberekening, vraag- en kruiselasticiteiten	33
5.1	Inleiding	33
5.2	Kostendoorberekening	33
5.3	Vraagelasticiteit	35
5.4	Kruiselasticiteit	37
5.5	Conclusie	38
6	Kosteneffecten van klimaatbeleid luchtvaart	39
6.1	Inleiding	39
6.2	Methodiek	39
6.3	Gebruikte data	40
6.4	Gevolgen EU ETS in de luchtvaart	42
6.5	Andere beleidsmaatregelen die invloed kunnen hebben op luchtvaart-emissies	43
	Referenties	45
Bijlage A	Aannames CPB (2006) en SEO et al. (2008)	51
Bijlage B	Aannames Eurocontrol (Europa)	53
Bijlage C	Aannames CONSAVE 2050 (mondiaal)	55





Samenvatting

Momenteel stoot de luchtvaart ongeveer 2% van de door de mens veroorzaakte CO₂-emissies uit. Daarnaast beïnvloedt de luchtvaart ook op andere manieren het klimaat, bijvoorbeeld doordat NO_x uit vliegtuigmotoren leidt tot ozonvorming (verwarmend) en methaan afbreekt (verkoelend), door uitstoot van roet (verwarmend) en door vorming van condensatiestrepen en bewolking (verwarmend). Wanneer deze effecten worden meegenomen, is de invloed van de luchtvaart op de stralingsbalans twee keer zo groot als de invloed van CO₂ alleen. Omdat de niet-CO₂-effecten echter korter duren, is de *Global Warming Potential* van de luchtvaart (de gebruikelijke maat in het klimaatbeleid) 20-100% hoger dan de GWP van de CO₂-uitstoot.

De luchtvaart is de afgelopen decennia snel gegroeid en zal volgens de prognoses ook de komende jaren snel blijven groeien. De toename van de luchtvaartemissies contrasteren met de reductie van de totale emissies die nodig zijn om de opwarming van de aarde te beperken tot 2°C. Prognoses laten zien dat het aandeel van de luchtvaart bij ongewijzigd beleid zal toenemen tot 4-15% van de wereldwijde emissies in 2050.

Nederlandse, Europese en mondiale scenario's voor de luchtvaart voorspellen allemaal een groei van de activiteit en de emissies. Volgens veel scenario's ligt de gemiddelde jaarlijkse groei in de komende decennia tussen de 3 en 5%, gemeten in passagierskilometers. Vanwege technische vooruitgang is de voorspelde toename van emissies iets lager. Gemeten in vliegbewegingen laten de Nederlandse scenario's een aanmerkelijk hogere groei zien dan de Europese. Een mogelijke reden voor de verschillen is de uitzonderlijk lage olieprijs die in de Nederlandse scenario's wordt verondersteld.

Ontwikkeling van klimaatbeleid voor de luchtvaart wordt bemoeilijkt door de noodzaak tot internationale afstemming en doordat er internationaal tegengestelde ideeën bestaan over de criteria waaraan het beleid zou moeten voldoen. Er is met name een tegenstelling tussen enerzijds landen die een gelijke behandeling van vliegtuigen en luchtvaartmaatschappijen nastreven om de concurrentie niet te verstoren en anderzijds landen die een onderscheid willen tussen ontwikkelde en ontwikkelingslanden vanwege de historische verantwoordelijkheid voor broeikasgasemissies.

De EU heeft in 2008 besloten om emissies op alle vluchten van en naar Europese luchthavens onder te brengen in het EU ETS, maar heeft onder grote internationale druk het systeem in 2012 beperkt tot intra-Europese vluchten. De Europese Commissie heeft een voorstel gedaan om het systeem vanaf 2013 weer iets uit te breiden dat in begin 2014 nog in de Europese Raad en het Parlement besproken werd.

Het EU ETS heeft invloed op de kosten van de luchtvaart. Aannemende dat de kosten worden doorberekend aan de klanten, zullen de prijzen van tickets op intra-Europese vluchten met ongeveer een half procent stijgen bij een emissiehandelsprijs van € 10 per ton CO₂. Als ook opportuiniteitskosten worden doorberekend, is de prijsstijging groter. Op intercontinentale vluchten stijgen de prijzen niet of minder, afhankelijk van de politieke besluitvorming over het ETS.



De prijselasticiteit van de luchtvaart ligt, afhankelijk van route en alternatieven, rond de 1. Dit betekent dat het ETS de groei van de emissies van de luchtvaart met ongeveer een half procent zal beperken. Daarnaast worden de emissies binnen het systeem beperkt door het aankopen van emissierechten van andere sectoren. Uit de literatuur blijkt dat de kruiselasticiteit tussen lucht- en wegverkeer nihil is. Dat wil zeggen dat prijsverhogingen in de luchtvaart (bijvoorbeeld als gevolg van klimaatbeleid) niet of nauwelijks gevolgen hebben voor de vraag naar wegvervoer, en andersom.



1 Inleiding

Luchtvaart heeft verschillende impacts op het klimaat. Emissies van CO₂, NO_x, PM, H₂O en SO₂ hebben direct of indirect invloed op de concentratie broeikasgassen in de atmosfeer. Daarnaast veroorzaken vliegtuigen condensatiestrepen en hebben ze een invloed op de bewolking. De laatste jaren is er veel onderzoek gedaan naar de verschillende klimaateffecten.

Het klimaateffect van de luchtvaart wordt op verschillende bestuurlijke niveaus besproken. Op mondiaal niveau zijn er discussies in de ICAO over emissiestandaarden voor vliegtuigen en *market based measures*. De Europese Unie heeft luchtvaart ondergebracht in het EU ETS en recentelijk heeft de Europese Commissie een voorstel gedaan om de geografische reikwijdte daarvan aan te passen.

De luchtvaart groeit snel. Daardoor neemt ook het effect op het klimaat toe.

Het Planbureau voor de Leefomgeving had behoefte aan een overzicht van recente kennis op het gebied van luchtvaart en klimaat. Dit rapport geeft achtereenvolgens een overzicht van de klimaateffecten van de luchtvaart (Hoofdstuk 2), scenario's voor de ontwikkeling van de luchtvaart en emissies (Hoofdstuk 3), recente ontwikkelingen in klimaatbeleid voor de luchtvaart (Hoofdstuk 0), prijs- en kruiselasticiteiten (Hoofdstuk 5) en de invloed van klimaatbeleid op de kosten (Hoofdstuk 6).



2 Klimaat effecten van de luchtvaart

2.1 Inleiding

2.2 Aard, duur en grootte van de klimaat effecten

Luchtvaart heeft op verschillende wijzen een effect op het klimaat. Sommige emissies van vliegtuigmotoren dragen direct bij aan de *Radiative Forcing* (RF), andere emissies hebben invloed op de concentraties van andere stoffen in de atmosfeer die de RF veranderen, en de verstoring van de atmosfeer door vliegtuigen beïnvloedt de bewolking en daarmee de RF.

De *Radiative Forcing* is een maat voor de verandering in de stralings- en energiebalans van de aarde. Binnen een bepaalde bandbreedte is de RF gecorreleerd met temperatuurveranderingen volgens de formule $\Delta T \sim \lambda \cdot RF$ (λ is een constante).

De Radiative Forcing van een stof hangt af van:

- de concentratie van die stof in de atmosfeer;
- de mate waarin de stof de stralingsbalans van de aarde verandert: de *radiative efficiency*.

De Global Warming Potential (GWP) geeft aan hoeveel warmte een bepaalde hoeveelheid gas vastlegt in de atmosfeer over een bepaalde periode (meestal 100 jaar), relatief ten opzichte van eenzelfde hoeveelheid CO₂.

De Global Warming Potential van een stof hangt af van:

- de radiative efficiency;
- de levensduur van de stof in de atmosfeer;
- de gekozen periode waarover de GWP wordt berekend.

De belangrijkste bijdrage van luchtvaart aan klimaatverandering is de uitstoot van CO₂, die de CO₂-concentratie verhoogt en bijdraagt aan de opwarming van de aarde. Deze bijdrage wordt wetenschappelijk goed begrepen.

Naast CO₂ stoten vliegtuigmotoren ook NO_x uit. Dat heeft zelf geen invloed op de RF maar draagt bij aan de vorming van O₃ als het op grote hoogte wordt uitgestoten. O₃ is een sterk maar kortlevend broeikasgas. Daarnaast draagt NO_x bij aan de afbraak van CH₄, dat eveneens een broeikasgas is. Het netto gevolg van de opwarmende bijdrage van O₃ en de verkoelende bijdrage van de afbraak van CH₄ is een toename van de RF. Deze effecten zijn gecorreleerd en de correlatie wordt wetenschappelijk nog niet volledig begrepen. De bijdrage van O₃ is bovendien door de korte levensduur zeer lokaal.

Andere emissies hebben een klein effect:

- De uitstoot van H₂O kan op grotere hoogte een dusdanige levensduur hebben dat het significant bijdraagt aan de RF.
- Sulfaatuitstoot leidt tot de vorming van sulfaatdeeltjes die een kortstondig verkoelend effect hebben.

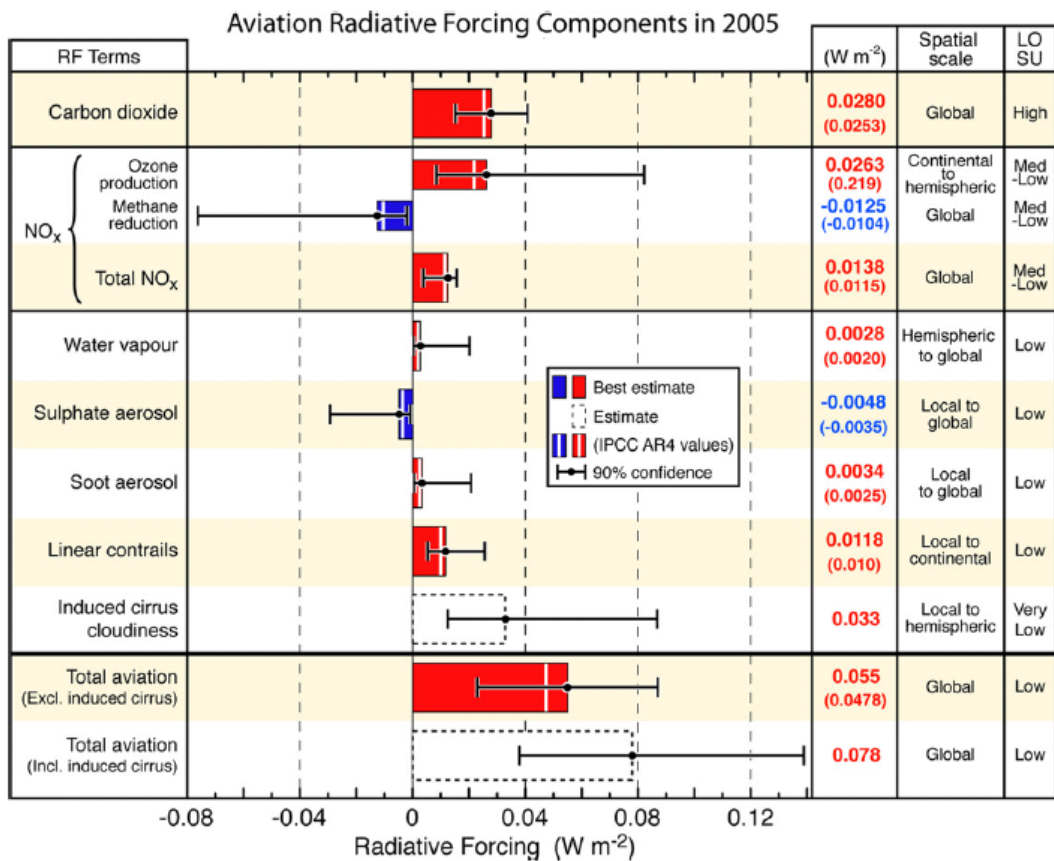


- Roetuitstoot heeft een klein en kortstondig opwarmend effect.

Vliegtuigen veroorzaken kortdurend condensatiestrepen die een opwarmend effect hebben waarvan de RF overeenkomt met die van NO_x, maar sterker regionaal geconcentreerd is. Er is nog aanzienlijke wetenschappelijke discussie over de vraag of condensatiestrepen en de uitstoot van deeltjes bijdragen aan de vorming van cirrus bewolking. Als dat zo is, zou dat een opwarmend effect hebben waarvan de grootte overeenkomt met de bijdrage van CO₂.

Figuur 1 laat zien wat de bijdrage van de luchtvaart in de periode tot 2005 is geweest aan de verandering van de RF van de atmosfeer. De grootste bijdrage wordt gevormd door CO₂, terwijl NO_x en condensatiestrepen ongeveer een even grote bijdrage hebben geleverd. De laatste kolom geeft een indicatie van de *level of scientific understanding* van de verschillende bijdragen. De bijdrage van CO₂ is het best begrepen, terwijl er nog relatief veel onzekerheid bestaat over de bijdrage van bijvoorbeeld condensatiestrepen en met name over eventuele verandering van bewolking.

Figuur 1 De bijdrage van de luchtvaart aan de Radiative Forcing



Source: Lee et al., 2010.

Een andere vraag is welke bijdrage de uitstoot van een extra vliegtuig vandaag heeft. Hiervoor is de Global Warming Potential een betere maat. De *level of scientific understanding* van de GWP van luchtvaartemissies wordt echter nog lager ingeschat dan van RF, met uitzondering van CO₂. De GWP van NO_x-emissies wordt door Lee et al. (2010) geschat tussen -2 en 71, van contrails op 0,2 en van geïndiceerde bewolking op 0,6.



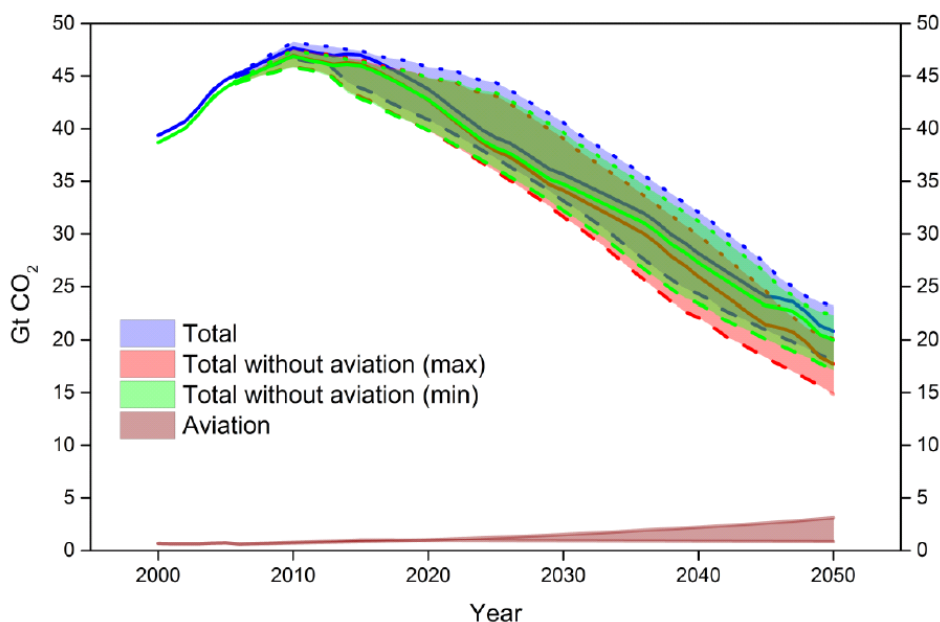
2.3 De CO₂-multiplier

In de grijze literatuur en in klimaatcompensatieschema's wordt er vaak gewerkt met CO₂-multipliers om de totale impact van de luchtvaart op het klimaat weer te geven (Anderson et al., 2006; Broderick, 2009). GWP multipliers zijn mogelijk, maar hun waarde moet gezien worden in het licht van het beperkte wetenschappelijke begrip van de klimaateffecten van de niet-CO₂-emissies van luchtvaart. Afhankelijk van het al dan niet meenemen van geïnduceerde bewolking schat Lee et al. (2010) de multiplier op 1,2-2,0. Met andere woorden, wanneer alle klimaateffecten worden meegenomen, had de uitstoot van een ton CO₂ in de luchtvaart in 2005 door de gelijktijdige uitstoot van andere stoffen en de effecten op condensatiestrepen en mogelijk bewolking gemiddeld een 1,2-2,0 keer zo grote global warming potential als de uitstoot van een ton CO₂.

2.4 Gevolgen voor de klimaatdoelstellingen

Wanneer de luchtvaart zonder beperkingen zou doorgroeien, zouden andere sectoren meer moeten reduceren om de opwarming van de aarde te beperken tot 2 °C boven pre-industrieel niveau. Door de snelle toename van de luchtvaartemissies (zie ook Hoofdstuk 3) zal de uitstoot van luchtvaart - momenteel zo'n 2% van de wereldwijde emissies, toenemen tot 4-15% van de toegestane wereldwijde emissies op een pad dat een 50% kans heeft om de opwarming te beperken tot 2 °C (Lee et al., 2013).

Figuur 2 CO₂-emissiepaden om de opwarming te beperken tot 2°C



Noot: De blauwe band geeft de totaal toegestane emissies weer om de opwarming tot 2 °C te beperken, de groene en rode band het totaal voor de niet-luchtvaartsectoren wanneer luchtvaart onbelemmerd zou doorgroeien in respectievelijk een laag en een hoog groeiscenario. De paarse band geeft de geprognosticeerde luchtvaartemissies weer in beide scenario's. In deze figuur is geen rekening gehouden met niet-CO₂-effecten van de luchtvaart.



3 Emissiescenario's

3.1 Inleiding

In deze paragraaf worden de verschillende scenario's voor de ontwikkeling van de luchtvaart, luchtvaartemissies en technologische ontwikkeling voor de middellange (2030) en lange termijn (2050) in kaart gebracht voor Nederland (Paragraaf 3.2), op EU-niveau (Paragraaf 3.3) en mondiaal (Paragraaf 3.4). Tevens geven we een vergelijking tussen de scenario's (Paragraaf 3.5).

3.2 Nederland

Voor Nederland zijn er diverse studies gedaan met betrekking tot scenario's over de ontwikkeling van de Nederlandse luchtvaart en emissies. In de studie 'Uitgangspunten voor luchtvaartscenario's 2020 en 2040' is uitgevoerd door het CPB (2006) worden de scenario's beschreven op basis van de Welvaart- en Leefomgeving (WLO), maar worden die niet kwantitatief uitgewerkt. SEO en RAND (2006) hebben op basis van de WLO-scenario's wel een kwantitatieve verkenning gemaakt van de implicaties voor de luchtvaart op Schiphol. De studie is later geactualiseerd door SEO et al. (2008) en de data die in rapport is gepubliceerd zal als uitgangspunt dienen voor de analyse voor de ontwikkeling van de luchtvaart en -emissies in 2030 en 2050. In 2011 heeft er wederom een actualisatie plaatsgevonden (Significance en SEO, 2011a en b). Tot slot is er een recente analyse uitgevoerd door het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR, 2013). In deze 'Quick scan naar duurzame luchtvaart in 2050' wordt de ontwikkeling van CO₂-emissies door de luchtvaart onderzocht op basis van reductie- en beleidsopties van de Nederlandse overheid Scenario's (en dus niet op basis van WLO-scenarios').

3.2.1 Scenario's

In Nederland zijn er aan de hand van de Welvaart en Leefomgeving (WLO) voor het jaar 2020 en 2040 vier groeiscenario's ontwikkeld door het CPB, MNP en RPB (2006):

1. Global Economy (GE).
2. Strong Europe (SE).
3. Transatlantic Markets (TM).
4. Regional Communities (RC).

Het CPB (2006), SEO en RAND (2006) en SEO et al. (2008) hebben deze scenario's uitgewerkt voor specifiek de luchtvaart. De kwantitatieve scenario's zijn in 2011 geactualiseerd, en omdat het rapport daarover niet ingaat op kwalitatieve veranderingen, gaan wij ervan uit dat de scenariobeschrijvingen nog steeds gelden (Significance en SEO, 2011b). In de meest recente rapporten zijn ook de regionale luchthavens meegenomen. Elk van de scenario's kenmerkt zich door uiteenlopende economische ontwikkelingen in het algemeen en ontwikkelingen in de luchtvaart in het bijzonder. Hieronder volgt een korte omschrijving van deze scenario's.

In het **Global Economy**-scenario is sprake van een mondiale oriëntatie en een snelle technologische ontwikkeling. Dit slaat ook neer in de luchtvaartsector waar relatief brandstof- en geluidsarme vliegtuigen op de markt komen. Door geavanceerde navigatiesystemen en controletechnieken kan efficiënter



gebruik worden gemaakt van banenstelsels. Welvaartsgroei, gemeten als per capitaproductie, is hoog, met relatief hoge geboortecijfers. Mondiaal is er sprake van een volledige liberalisatie van de wereldhandel en een wereldwijd open sky-verdrag. Nadruk ligt op efficiency, wat tot uiting komt in een sterke productdifferentiatie wereldwijd in de luchthaventarieven. De concurrentie tussen de luchtvaartmaatschappijen is eveneens hevig, hetgeen leidt tot een neerwaartse druk op de prijzen. Onder druk van deze scherpe concurrentie gaat ook het onderscheid tussen traditionele luchtvaartmaatschappijen en Low Cost Carriers (LCC) geleidelijk vervagen. Omdat de mondiale economische groei sterk gespreid is over en binnen regio's blijft het hub- en spokesysteem een belangrijk onderdeel van de luchtvaartnetwerken. Dankzij een efficiënte bedrijfsvoering weet Schiphol zijn positie als hub nog enigszins te versterken.

In het **Strong Europe**-scenario is sprake van een sterke EU die succesvol naar het oosten uitbreidt. Onder andere Turkije wordt lid. Het EU-beleid is relatief meer op gelijkheid en solidariteit gericht. De welvaartsgroei komt wat lager uit dan in GE. De Europese bevolking neemt toe, zij het minder dan in GE, ten gevolge van een wat lager geboortecijfer en wat minder migratie. Milieu is belangrijk en de EU is in staat een krachtig internationaal milieubeleid te voeren, wat tot uiting komt in een BTW op vliegtickets en een heffing op kerosine. Luchtvaartmaatschappijen worden ook gedwongen om op Europese luchthavens versneld geluidsarmere vliegtuigtypes in te zetten. De kosten van de milieumaatregelen remmen de groei van de markt. De EU dwingt ook een open sky-verdrag af. Er ontstaat vooral veel luchtverkeer tussen een beperkt aantal metropolen.

In het **Transatlantic markets**-scenario is er sprake van een EU van de twee snelheden. De welvarende landen in West-Europa integreren onderling sneller en oriënteren zich meer op de VS dan op de nieuwe EU-lidstaten. Er wordt alleen een transatlantisch open sky-verdrag afgesloten. Technologische ontwikkeling is vooral ICT gericht. Net als in GE is efficiëntie belangrijk, ook als dit ten koste gaat van solidariteit. De inkomensverschillen nemen toe. De (gemiddelde) welvaartsgroei is beperkter. De bevolking stabiliseert en daalt zelfs na 2020 in sommige Europese landen. De marktgroei is dus lager dan in GE, maar vanwege het ontbreken van milieumaatregelen hoger dan in SE. Er is met name sprake van een sterke groei met dito concurrentie op de Atlantische markt. Op deze markt ontstaan veel rechtstreekse vluchten, ook vanaf Schiphol dat daarbij een gunstige positie inneemt binnen Air France/KLM.

In het **Regional communities**-scenario is sprake van een omvangrijk maar krachteloos Europa. De welvaartsgroei in de EU is beperkt en bovendien loopt de bevolkingsomvang al vanaf het begin af aan terug. Er is per saldo zelfs sprake van een uitgaande migratie. Mondiaal is sprake van een beperkte technologieontwikkeling, ook in de luchtvaart. Er komen betrekkelijk weinig brandstof- en geluidsarmere vliegtuigtypes op de markt. Ook de techniek van landen en opstijgen gaat weinig vooruit, zodat de fysieke baancapaciteit van het 5P-stelsel niet veel toeneemt. Internationale handel wordt nauwelijks meer verder geliberaliseerd, er wordt ook geen open sky-verdrag gesloten. Er is nauwelijks sprake van marktgroei in West-Europa. De AF/KLM-combinatie concentreert het grootste deel van de intercontinentale vluchten op Charles de Gaulle waar voldoende capaciteit aanwezig is. In de traag groeiende luchtvaartmarkt is deze concentratie van activiteiten één van de weinige mogelijkheden om concurrerend te blijven. Dit zet de groei op Schiphol nog verder onder druk. Low Cost Carriers opereren vanaf Schiphol omdat daar ruim voldoende capaciteit is.



3.2.2 Ontwikkeling van de Nederlandse luchtvaart in 2020-2040

De ontwikkeling van de luchtvaart in Nederland is in 2006 onderzocht door SEO en Rand in het rapport 'Ontwikkeling Schiphol tot 2020-2040 bij het huidige beleid' (SEO en Rand, 2006). Hierin worden het aantal passagiers, vracht, vliegtuigbewegingen en geluid meegenomen voor 2020 en 2040. In de laatste actualisering van deze studie (Significance en SEO, 2011b) is tevens naar de ontwikkeling van de luchtvaart, emissies en technologische ontwikkeling gekeken. In deze studie is voor het eerst ook aandacht voor de regionale luchthavens. Tabel 1 geeft een overzicht van de geactualiseerde verwachte ontwikkeling van de luchtvaart voor Schiphol zonder capaciteitsrestricties (er is ook een scenario dat uitgaat van capaciteitsrestricties op Schiphol, Parijs Charles de Gaulle en Frankfurt, dat vanzelfsprekend lagere aantallen vluchten en passagiersaantallen heeft dan het scenario met onbeperkte groei). De passagiersaantallen op de regionale luchthavens zijn slechts een fractie van de aantallen op Schiphol maar ze groeien wel sneller. In de scenario's zonder beperkingen neemt hun aandeel toe van 5% van het totale aantal passagiers in 2006 tot 7% in 2040.

Tabel 1 Ontwikkeling van de luchtvaart op Schiphol in 2020 en 2040, zonder capaciteitslimiet

	2006	GE 2020	SE 2020	TM 2020	RC 2020	GE 2040	SE 2040	TM 2040	RC 2040
Passagiers (mln)	46	108	74	90	50	229	132	166	75
Vracht (x1.000 ton)	1.509	3.314	2.538	2.527	1.929	9.724	5.130	4.263	2.280
Vliegtuig- bewegingen (x1.000)	422	851	621	717	442	1.675	1.018	1.173	581

Bron: Significance en SEO, 2011.

De geprojecteerde passagiersaantallen en vliegbewegingen zijn voor de meeste scenario's hoger dan in een vorige scenariostudie (SEO et al., 2008). De reden van de opwaartse bijstelling wordt in Significance en SEO (2011) niet geanalyseerd. Uit onderliggende studies (Rienstra, 2011) blijkt dat de meeste relevante parameters (inkomens- en prijselasticiteiten, frequentie, vliegtuig-groottes, enzovoort) niet of slechts beperkt zijn aangepast. De enige uitzondering is de olieprijs, die wordt ingeschat op zo'n \$ 60 per vat in de gehele periode tot 2040. Dit leidt tot een neerwaartse bijstelling van de ticketprijzen ten opzichte van het vorige model, waar nog een geleidelijke stijging van de olieprijs wordt aangenomen. Opvallend is dat de olieprijs veel lager is dan de waarden die de Europese Commissie, de IEA en de EIA hanteren.

De opwaartse bijstelling is opmerkelijk omdat de groei in het aantal vliegbewegingen in de jaren 2000-2010 nihil was, en de groei van het aantal passagiers in de jaren 2005-2010 stagneerde. Bovendien had een eerdere studie van CE Delft laten zien dat de eerdere kwantificering van Significance erg optimistische aannames had over olieprijs, milieubeleid en kosten van de luchtvaart, die allemaal resulteerden in een hoge groei (CE Delft, 2009).

Verder valt op dat de spreiding in de uitkomsten erg groot is: ruim een factor 2 in 2020 en een factor 3 in 2040. In de scenario's die rekening houden met capaciteitsbeperkingen is de spreiding minder groot, met name omdat de hoge-groei-scenario's snel tegen capaciteitsgrenzen aanlopen. Dit is het gevolg van de vrij hoge inkomenselasticiteit van de luchtvaart. Beleidsmatig kan het

relevant zijn omdat kleine veranderingen in economische groei grote gevolgen kunnen hebben voor de vraag naar luchtvaart en daarmee voor de vraag naar infrastructuur.

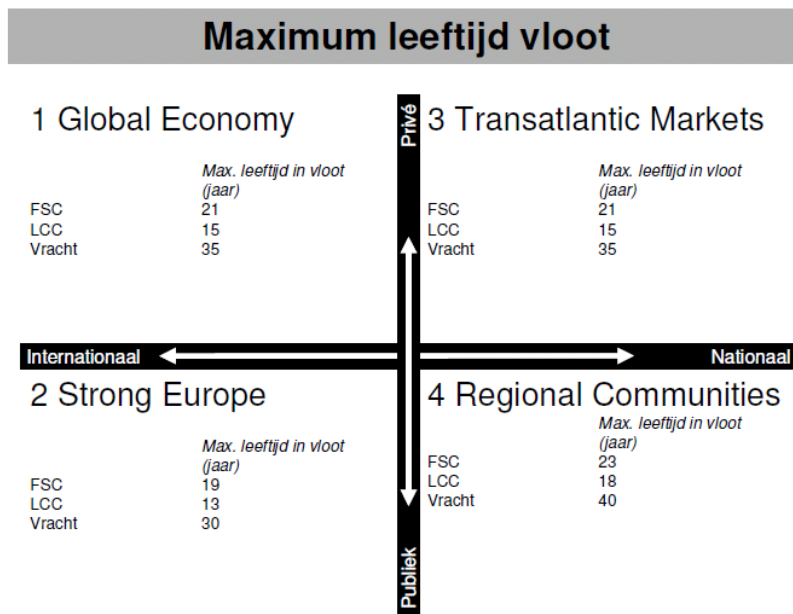
Aannames in de afzonderlijke scenario's over de ontwikkeling van het BBP, olieprijsen, bevolkingsgroei, etc. zijn opgenomen in 0.

3.2.3 Ontwikkeling van technologie in 2020-2040

Bepalend voor de snelheid van de technologische ontwikkeling en de toepassing ervan is onder andere de snelheid van de vlootvervanging. Hierbij speelt de levensduur van een vliegtuig een grote rol. De maximale levensduur wordt in het GE-scenario en het TM-scenario geschat op ca. 21 jaar voor Full Service Carriers en 15 jaar voor Low Cost Carriers. Let wel dat dit slechts enkele vliegtuigen betreft, veruit de meeste vliegtuigen worden al enkele jaren eerder vervangen (hier wordt ook rekening mee gehouden in het model). Vrachtvliegtuigen blijven veel langer in de vloot zitten (tot wel 35 jaar), waardoor technologische ontwikkeling minder snel wordt toegepast.

In het SE-scenario wordt de vloot eerder vervangen en ligt de maximum leeftijd 2 jaar lager doordat er veel nadruk ligt op technologische ontwikkeling. In het RC-scenario neemt de maximum leeftijd iets toe omdat er in dat scenario juist minder technologische ontwikkeling is.

Figuur 3 Vloot ontwikkeling vier scenario's

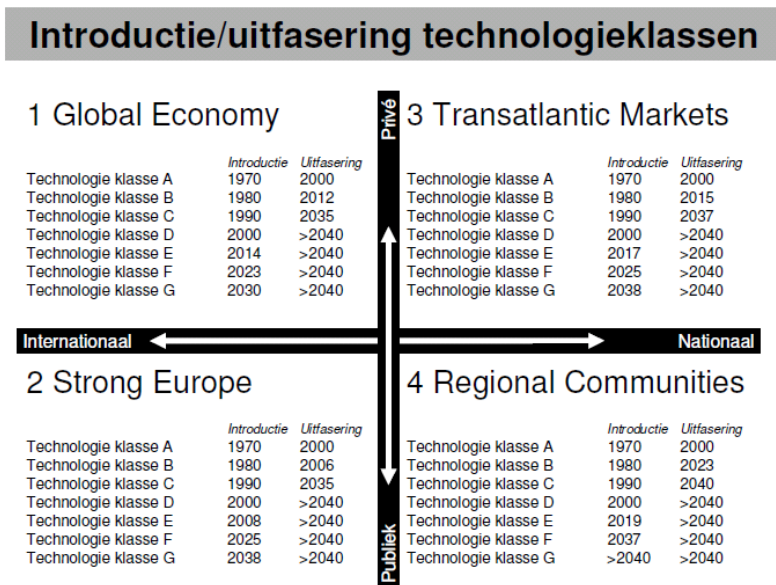


Bron: SEO et al., 2008.

Wat betreft de introductie en uitfasering van technologie zijn er technologieklassen opgesteld voor de verschillende scenario's. Het uitgangspunt is klasse D1, wat de nieuwst beschikbare technologie was in 2006. Nieuwere technologieklassen worden gedefinieerd als vliegtuigen die ca. 50% stiller zijn dan de vorige generatie. Aangenomen wordt dat in het SE-scenario klasse E redelijk snel beschikbaar komt, en in RC juist heel laat. Overigens houdt men in SE dat snelle tempo van technologische vernieuwing niet vol

wegens de lagere economische ontwikkeling. Daarom komt de volgende generatie pas weer later beschikbaar.

Figuur 4 Technologische ontwikkeling scenario's



Bron: SEO et al., 2008.

3.3 Europa

Voor Europese projecties over de luchtvaart, emissies en technologische ontwikkeling zijn er voorspellingen gedaan op basis van groeiscenario's door Eurocontrol (2010; 2012; 2013a; 2013b) en de Europese Commissie (EC, 2005).

3.3.1 Scenario's

Eurocontrol (2010; 2012; 2013a; 2013b) hanteert vier scenario's voor het inschatten van de ontwikkeling van de luchtvaart op Europees niveau.

Hierbij wordt gekeken naar de zichtjaren 2020, 2035 en 2050:

1. Global growth (GG).
2. Regulated growth (RG).
3. Happy localism (HL).
4. Fragmented world (FW).

Hieronder volgt een korte omschrijving van de scenario's.

In het **Global growth**-scenario is sprake van sterke economische groei in een geglobaliseerde wereld, waarbij technologie succesvol wordt ingezet om de negatieve effecten van de luchtvaart op duurzaamheid, milieu en de beschikbaarheid van resources te verminderen. Dit scenario kent de hoogste groei in de luchtvaart met het grootste aantal vluchten.

Het **Regulated growth**-scenario wordt als het meest waarschijnlijke scenario gezien voor Europa in 2035. Hier is sprake van gematigde economische groei, waarbij regelgeving wordt ingezet om aan de milieu-, sociale en economische eisen voor een mondiale duurzame groei te voldoen.



In het *Happy localism*-scenario is sprake van fragiel Europese economieën met druk op de kosten, strengere milieuwetgeving, waarbij de luchtvaart zich aanpast aan de nieuwe eisen maar met een inwaartse blik. Dit betekent meer focus op Europa, minder globalisering, meer intra-EU-handel en vluchten binnen de EU.

In het *Fragmented growth*-scenario is sprake van toenemende spanningen tussen de regio's, met meer bedreigingen op het gebied van veiligheid, verminderde handel en transportintegratie met als gevolg zwakkere economieën.

3.3.2 Ontwikkeling van de Europese luchtvaart in 2020-2035-2050

Eurocontrol geeft de ontwikkeling van de luchtvaart weer in voorspelde aantal vluchten in 2020, 2035 en 2050. Voor Europa wordt het scenario 'regulated growth' (RG) als meest waarschijnlijke scenario verondersteld. In dit scenario telt Europa in 2035 naar schatting 14,4 miljoen vluchten (50% meer dan in 2012) en in 2050 zo'n 26,1 miljoen vluchten. In het zwakste scenario 'fragmented world' kent Europa in 2035 een toename in vluchten van ongeveer 20%, terwijl in het sterkste scenario 'global growth' een toename van het luchtverkeer van 80% wordt geschat (t.o.v. 2012).

Tabel 2 geeft een overzicht van de Europese luchtvaartontwikkeling.

Tabel 2 Ontwikkeling vliegbewegingen 2020-2035-2050

Scenario	Aantal vluchten (mln)				Gemiddelde jaarlijkse groei			
	2012	2020	2035	2050	2012	2020/ 2012	2035/ 2012	2050/ 2012
Global growth	9,5	12,5	17,3	26,1	-2,4%	3,4%*	2,6%	2,8%
Regulated growth		11,4	14,4	18,6		2,3%*	1,8%	1,8%
Happy localism		11,3	13,8	17,7		2,3%*	0,7%	1,7%
Fragmented world		10,2	11,2	10,5		0,9%*	1,6%	-0,4%

Bron: Eurocontrol, 2013a; 2013b.

* Jaar 2019.

Aannames in de afzonderlijke scenario's over de ontwikkeling van het BBP, olieprijsen, bevolkingsgroei, etc. zijn opgenomen in Bijlage B.

3.3.3 Ontwikkeling van de technologie 2020-2035-2050

De duurzaamheid van de luchtvaart is afhankelijk van zowel de toename en vraag naar luchtvaart als de technologische ontwikkeling. De ontwikkeling van technologie zal de milieu-impact van de luchtvaart reduceren. De verwachting is dat technologie in toenemende mate buiten Europa ontwikkeld zal worden (Eurocontrol, 2013b).

In 2050 zal de technologie zich zo hebben ontwikkeld dat 'airframes' en luchtverkeerbeheerssystemen gebruik maken van nieuwe materialen en geavanceerde technieken, zoals aerodynamica en avionics-systemen. Om te voldoen aan de milieuregelgeving en om met toekomstige hogere olieprijsen en overvolle luchthavens om te kunnen gaan, zullen nieuwe vliegtuig configuraties worden ontwikkeld zodat vliegtuigen met lichtere frames kunnen vliegen, met een hogere brandstofefficiëntie en minder lawaai. Tevens zal de

vlootmix, de verhouding tussen vluchten en passagiers en de vraag naar hub-luchthavens veranderen.

De technologische ontwikkeling zal zich ook richten op alternatieve brandstoffen, zoals biobrandstoffen en natural gas. De Sustainable Aviation Group schat dat in 2050 ongeveer 18% van de brandstof uit alternatieve brandstoffen zal bestaan. De Europese Commissie heeft in het Transport White Paper (EC, 2011) zelfs een voorstel gedaan voor een doelstelling van 40% in 2050. In 2050 zou de volgende generatie biobrandstoffen, zoals die gebaseerd op algen of met cellulose, commercieel levensvatbaar zijn en zal het aandeel van alternatief brandstofgebruik zijn toegenomen. Volgens Eurocontrol (2013b) is het echter onwaarschijnlijk dat dit aandeel meer dan 10-15% zal bedragen.

3.3.4 Ontwikkeling van Europese luchtvaartemissies 2035-2050

De hoeveelheid absolute CO₂-emissies door de luchtvaart zal naar verwachting toenemen, maar minder dan de groei van het luchtvaartverkeer. De emissies per passagier zouden zelfs tot 2% kunnen dalen in 2035 indien de brandstof-efficiëntie en luchtvaartprognoses ontwikkelen zoals verwacht (Eurocontrol, 2013a).

In het **'global growth'**-scenario wordt de hoogste jaarlijkse groei van de luchtvaart verwacht (2,6% in 2035 en 2,8% in 2050) en zal daardoor ook de grootste uitdagingen hebben op het gebied van emissiereductie. Meer groei zal ook tot meer technologische verbeteringen leiden en snellere vervanging van de vloot waardoor vliegtuigen beter presteren. De verwachting is dat bij een toename van het Europese vliegverkeer van 50% in 2035, de emissies zullen toenemen met 30%. Emissies per passagier zouden kunnen dalen met 2% per jaar.

In het **'regulated growth'**-scenario worden de emissies in 2035 beperkt door zowel technologische als wel operationele verbeteringen. Daarnaast is er een strenge regelgeving met hogere standaarden en brandstofefficiëntie-eisen. Daarnaast wordt er vooruitgang verwacht op het gebied van alternatieve low carbon-brandstoffen.

In het **'happy localism'**-scenario zorgt de inwaartse blik in 2035 voor gematigde groei en een reductie van lange afstandsvluchten (buiten Europa). Hierdoor zullen de emissies minder snel toenemen en is een grotere daling van de emissies per vliegtuigbeweging. Toenemende milieu- en klimaatbewustwording onder de bevolking zal de druk op duurzaam vliegverkeer doen toenemen en tot de ontwikkeling van meer duurzame technologieën leiden.

In het **'fragmented world'**-scenario zorgt de afname van intra-Europese vluchten in 2035 tot een daling van absolute emissies.

In 2050 zullen de emissies door de luchtvaart naar verwachting flink zijn gedaald door de nieuwe technologische ontwikkelingen (Eurocontrol, 2013b). Zie vorige paragraaf voor meer informatie over deze technologische ontwikkelingen.



3.4 Mondiaal

Op wereldschaal zijn er voorspellingen over de ontwikkeling van de luchtvaart en emissies gedaan door onder meer fabrikanten zoals Boeing (2013) en Airbus (2013). Ook ICAO en FESG (2009), IPCC (1999), de Europese Commissie (EC, 2005) en Owen et al. (2010) hebben voorspellingen gedaan en scenario's ontwikkeld met betrekking tot de ontwikkeling van de mondiale luchtvaart in 2050.

3.4.1 Scenario's

Hieronder volgt een korte toelichting op de scenario's uit de verschillende studies.

ICAO en FESG (2008) heeft vraag- en vlootscenario's ontwikkeld op basis van een expertreview van beschikbare forecasts. In tegenstelling tot de hierboven beschreven methoden, is dit geen analytische forecast; de invloed van welvaartsveranderingen en brandstofprijzen bijvoorbeeld worden niet expliciet ingeschat. ICAO en GIACC (2009) hebben zes technologie scenario's ontwikkeld en toegepast op de FESG-vraagscenario's. GIACC onderscheidt de volgende scenario's op basis van verwacht brandstofverbruik:

- **Scenario 1 (Do Nothing):** Dit scenario gaat er van uit dat er geen verdere verbeteringen zullen optreden op het gebied van vliegtuigtechnologie dan die vandaag beschikbaar zijn. Ook wordt er geen verbetering verondersteld op het gebied van communicatie, navigatie- en luchtverkeerbeheer (CNS/ATM).
- **Scenario 2 (CAEP/7 Baseline):** Dit scenario omvat de CNS/ATM-verbeteringen die noodzakelijk zijn om de huidige ATM-efficiëntie op peil te houden, maar omvat geen verdere technologische verbeteringen.
- **Scenario 3 (Low Aircraft Technology en Moderate Operational Improvement):** Naast de verbeteringen omtrent CNS/ATM en geplande initiatieven zoals NextGen en SESAR (scenario 2), bevat dit scenario een verbeterd brandstofverbruik van 0,95% per jaar voor alle vliegtuigen geproduceerd na 2006 en vóór 2015, 0,57% per jaar voor alle vliegtuigen geproduceerd na 2015 en voor 2036. Het bevat ook additionele operationele verbeteringen voor de gehele vloot van 0,5%, 1,4% en 2,3% in respectievelijk 2016, 2026 en 2036.
- **Scenario 4 (Moderate Aircraft Technology and Operational Improvement):** Naast de verbeteringen omtrent CNS/ATM en geplande initiatieven zoals NextGen en SESAR (scenario 2), bevat dit scenario een verbeterd brandstofverbruik van 0,96% per jaar voor alle vliegtuigen geproduceerd na 2006 en vóór 2036. Het bevat ook additionele operationele verbeteringen voor de gehele vloot van 0,5%, 1,4% en 2,3% in respectievelijk 2016, 2026 en 2036.
- **Scenario 5 (Advanced Technology en Operational Improvement):** Naast de verbeteringen omtrent CNS/ATM en geplande initiatieven zoals NextGen en SESAR (scenario 2), bevat dit scenario een verbeterd brandstofverbruik van 1,16% per jaar voor alle vliegtuigen geproduceerd na 2006 en vóór 2036. Het bevat ook additionele operationele verbeteringen voor de gehele vloot van 1,0%, 1,6% en 3,0% in respectievelijk 2016, 2026 en 2036.
- **Scenario 6 (Optimistic Technology and Operational Improvement):** Naast de verbeteringen omtrent CNS/ATM en geplande initiatieven zoals NextGen en SESAR (scenario 2), bevat dit scenario een optimistische verbetering van het brandstofverbruik van 1,5% per jaar voor alle vliegtuigen geproduceerd na 2006 en voor 2036. Het bevat ook additionele operationele verbeteringen voor de gehele vloot van 3,0%, 6,0% en 6,0% in respectievelijk 2016, 2026 en 2036.



In het CONSAVE 2050-rapport (, 2005) worden vier scenario's gehanteerd:

- **Scenario 1: Unlimited Skies (ULS)** wordt gekenmerkt door zeer hoge toename in vraag naar luchtvaart en technologische ontwikkeling. Uitdagingen op het gebied van vlieginfrastructuur en energiezekerheid. Dit scenario is vergelijkbaar met IPCC A1.
- **Scenario 2: Regulatory Push & Pull (RPP)** wordt gekenmerkt door hoge toename in vraag naar luchtvaart en de daarbij behorende problemen op gebied van milieu. Beperkingen worden gevormd door regulering en hogere kosten. Dit scenario is vergelijkbaar met IPCC A1 (-3% GDP).
- **Scenario 3: Fractured World (FW)** wordt gekenmerkt door mondiale conflicten, sterke focus op regionalisering en uiteenvallende markten. Beperkingen ontstaan op het gebied van veiligheid, lage vraag, hoge kosten. Dit scenario is vergelijkbaar met IPCC-scenario A2).
- **Scenario 4: Down to Earth (DtE)** wordt gekenmerkt door veranderende warden, regionale levensstijl en grotere bewustzijn van klimaat en milieuproblemen. Beperkingen ontstaan op het gebied van lage vraag naar luchtvaart en hoge gevoeligheid voor effecten op het milieu. Dit scenario is vergelijkbaar met IPCC-scenario B1.

3.4.2 Ontwikkeling van de mondiale luchtvaart

De ontwikkeling van de vraag naar luchtvaart wordt bepaald door een aantal factoren, zoals economische groei (BBP), bevolkingsgroei, consumptie, handel, kosten en olieprijsen. In alle onderzochte studies wordt verwacht dat de mondiale vraag naar luchtvaart tot 2050 zal toenemen. Tabel 3 geeft weer hoe de ontwikkeling van de luchtvaart wordt ingeschat door de verschillende studies (uitgedrukt in miljard revenu passenger kilometer, RPK). De boven- en ondergrens worden bepaald door de verschillende scenario's die gehanteerd zijn in de studies.

Tabel 3 Ontwikkeling luchtvaart tot 2050

Studie/Jaar		2006	2016	2036	2050
ICAO en FESG (2009)	Mrd RPK	4.271	6.534-7.330	11.426-19.531	11.753-35.781
	Gemiddelde jaarlijkse groeivoet		4,4%-5,5%	2,8%-5,0%	0,2%-4,4%
		2005		2020	2050
CONSAVE 2050 (2005)	Mrd RPK	4.091		3.920-6.505	4.164-21.185
	Gemiddelde jaarlijkse groeivoet			-0,6%-2,8%	0,2%-4,0%
		2013		2032	
Boeing (2013)	Mrd RPK	5.551		14.672	
	Gemiddelde jaarlijkse groeivoet		+5,0%		
		2012		2032	
Airbus (2013)	Gemiddelde jaarlijkse groeivoet		+4,7%		



Uit Tabel 4 is af te lezen dat de CONSAVE 2050-studie de toename in vraag naar mondiale luchtvaart iets lagere inschatten dan andere studies zoals ICAO en FESG (2009). Terwijl de mondiale vraag naar luchtvaart in 2005 nog 4.091 mrd RPK bedraagt wordt dit in 2050 geschat op 4.164 tot 21.185 mrd RPK.

Boeing schat een toename van de vraag naar luchtvaart van 5.551 mrd RPK in 2013 tot 14.672 mrd RPK in 2032. Dit is een gemiddelde jaarlijkse groei van 5% per jaar. Airbus (2013) geeft geen absolute cijfers, maar geeft aan dat de vraag naar luchtvaart iedere 15 jaar verdubbelt en dat dit ook de verwachting is voor de komende 15 jaar. Airbus schat de gemiddelde jaarlijkse groei in de periode van 2012 tot 2032 op 4,7% per jaar.

3.4.3 Ontwikkeling technologie

Op vluchtbasis verwachten ICAO en FESG (2009) dat de efficiëntie van vliegtuigen zal verbeteren in de loop naar 2050. In welke mate is weergegeven in de zes scenario's zoals beschreven in Paragraaf 3.4.1.

Airbus (2013) verwacht dat niet alleen het aantal vliegtuigen in de toekomst zal toenemen, maar dat de vliegtuigen ook steeds groter zullen worden. Ook wordt er meer vraag verwacht naar brandstofefficiëntere vliegtuigen. In de periode 2013-2032 zullen er naar verwachting 29.226 nieuwe vliegtuigen worden afgenomen, waarvan 5.827 in Europa. Boeing (2013) stelt dat de wereldvloot met 3,6% zal toenemen en schat het aantal nieuwe vliegtuigen zelfs op 35.280 in de periode tot 2032. Een deel van deze nieuwere vliegtuigen (41%) zal de oudere en minder efficiënte vliegtuigen vervangen waardoor emissies kunnen worden gereduceerd.

Door de toenemende kosten voor luchtvaartmaatschappijen (waaronder brandstofprijzen) vormen een grote prikkel om energie-efficiëntere vliegtuigen in te zetten. Ook zal er meer worden gezocht in de richting van alternatieve brandstoffen, ook wel biofuels. Conventionele vliegtuigbrandstof wordt nu al gemengd met tot 50% biobrandstof, afkomstig uit bronnen zoals camelinaolie, frituurolie en algen en worden gebruikt op meer dan 1.500 commerciële vluchten (Boeing, 2013). De beschikbaarheid van duurzame vliegtuigbrandstof zal een cruciaal onderdeel zijn voor de luchtvaart om de uitstoot van emissies te verminderen.

3.4.4 Ontwikkeling van de mondiale luchtvaartemissies 2050

Het wereldwijde brandstofverbruik door de luchtvaart zal volgens ICAO en FESG (2009) naar verwachting groeien van 200 Mega ton (Mt) in 2006 tot tussen 730-1.434 Mton in 2050. Owen (2009) schat dit verbruik in haar onderzoek 'Flying into the future: Aviation Emission scenarios in 2050' iets lager in voor 2050, namelijk tussen de 426 en 766 Mton.

Tabel 4 Ontwikkeling mondiale luchtvaart brandstofverbruik 2006-2050

Brandstofverbruik (in Mt)	2006	2012	2020	2036	2050
ICAO GIACC (2009)	200	238-258	305-352	477-751	730-1.434
Owen (2009)	214 (2.000)		336		426-766



De toename in brandstofverbruik heeft als gevolg dat de uitstoot van CO₂ door de luchtvaart zal toenemen. ICAO en FESG (2009) schatten een toename van CO₂-emissies van 591 Mton in 2006 naar 2.307-4.531 Mton in 2050 (niet rekening houdend met gebruik van alternatieve brandstoffen).

Owen (2009) schat dat de CO₂-emissies in de luchtvaart zullen toenemen tussen 2000 en 2050 met ongeveer 1.345 tot 2.418 Mton CO₂. Ook schat zij de ontwikkeling van NO_x-emissies in 2050 met een toename van 3,4 tot 7,5 Mton t.o.v. het jaar 2000.¹

Tabel 5 Ontwikkeling mondiale emissies (CO₂ en NO_x, in Mton) tot 2050

	2006	2012	2020	2036	2050
CO₂-emissies					
ICAO en FESG (2009)	591	752-815	964-1.112	1.507-2.373	2.307-4.531
Owen (2009)	677 (2.000)		1.062		1.345-2.418
NO_x-emissies					
Owen (2009)	2,9 (2.000)		4		3,4-7,5

De Europese Commissie (2011) heeft echter als doel om CO₂-emissies (per passanger km) met 75% en NO_x met 90% te reduceren t.o.v. 2000.

3.5 Comparatieve analyse

Alle hier besproken emissiescenario's zijn gebaseerd op activiteitscenario's. Op basis van een bepaalde ontwikkeling van de luchtvaartactiviteit, en een bepaalde ontwikkeling van de technologie, wordt een emissiescenario gekwantificeerd.

De hier besproken scenario's zijn in twee hoofdgroepen op te delen. Enerzijds is er een aantal analytische scenario's die een groot aantal parameters en hun invloed op vraag naar luchtvaart en emissies in kaart brengt, en vervolgens verschillende waarden voor de parameters gebruiken bij de kwantificering. Tot deze categorie behoren de WLO-scenario's, de Eurocontrol- en CONSAVE-scenario's en de scenario's van Owen et al. Anderzijds zijn er holistische scenario's die op basis van expertmeningen een prognose maken van de ontwikkeling van activiteit en emissies. De scenario's van ICAO's FESG en GIACC en die van Airbus en Boeing behoren hier bijvoorbeeld toe.

De analytische scenario's kunnen vergeleken worden op welke parameters worden meegenomen. Een overzicht staat in Tabel 6. De voornaamste verschillen tussen de scenario's zitten in het al dan niet meenemen van luchtvaartbeleid en de mate van detaillering van de luchtvaartmarkt, zoals het hanteren van verschillende prijselasticiteiten, toerisme-ontwikkelingen en concurrentie tussen luchtvaart en andere modaliteiten.

¹ Deze schattingen zijn gedaan op basis van scenario's (A1B, A2, B1, B2) opgesteld door IPCC (1999).



Tabel 6 Parameters die als variabele zijn meegenomen in de scenario's

	SEO and Significance	Eurocontrol	Consave	GIACC
Scope	Nederland	Europa	Wereld	Wereld
Economie				
BBP/cap	X	X	X	(a)
Bevolkingsgroei	X	X	X	(a)
Olieprijs	X	X	X	(a)
Luchtvaartbeleid				
Luchtvaartverdragen (Open skies)	X		X	(a)
Fiscale behandeling luchtvaart en luchtvaartbrandstoffen	X			(a)
Milieubeleid	X		X	(a)
Kosten luchtvaart				
Operationele kosten		X		
Brandstofkosten	X (als technologische ontwikkeling)	X	X	X
Luchthavengelden	X			
Luchtvaarttechnologie				
GPS bij opstijgen en landen	X			
Luchtvaartmarkt				
Allianties	X			(a)
Low Cost Carriers	X			(a)
Netwerkstructuur	X	X		(a)
Inkomenselasticiteit	X	X		(a)
Ticketprijzen	X	X		(a)
Prijselasticiteit		X		(a)
Toerisme		X		(a)
Hoge-snelheidstreinen		X		
EU uitbreiding		X		
Load factors		X		(a)

(a) Kan impliciet zijn meegenomen in de holistische activiteitenscenario's.

Bij het vergelijken van de kwantitatieve scenario's moet onderscheid worden gemaakt tussen scenario's die rapporteren over vliegbewegingen (SEO/Significance en Eurocontrol) en scenario's die rapporteren over luchtvaartactiviteit (RTK) of emissies (SEO/Significance, Consave, FESG, GIACC, Owen et al.). Door de toename van de gemiddelde grootte van vliegtuigen en een verbetering van de bezettingsgraad groeit het aantal passagiers sneller dan het aantal vliegbewegingen. Deze relatie is zichtbaar in alle scenario's die zowel passagiers als vliegbewegingen rapporteren. Door veranderingen in de gemiddelde lengte van een vlucht kan de groei van RPKs verschillen met de groei in het aantal passagiers.

Tabel 7 geeft een overzicht van de groeivoeten. De scenario's van Significance en SEO (2011) verwachten consistent een hogere groei in vliegbewegingen in Nederland dan Eurocontrol (2013) verwacht voor Europese als geheel (met uitzondering van het Regional Communities scenario van SEO in de periode tot 2020). Voor de periode tot 2020 kan dat te maken hebben met een verschillend basisjaar, maar voor de periode 2020-2050 niet. De groei in

passagiersaantallen in Nederland is vergelijkbaar met wat de meeste andere studies verwachten voor de groei in RPKs, al zijn de marges groot. De meest optimistische groeipercentages in de Significance en SEO-studie (2011) zijn hoger dan enige andere studie.

Tabel 7 Ontwikkeling luchtvaart tot 2050

Studie/Jaar	Eenheid	2006	2016	2036	2050
ICAO en FESG (2009)	RPK	4,4%-5,5%		2,8%-5,0%	0,2%-4,4%
		2005		2020	2050
CONSAVE 2050 (2005)	RPK	-0,6%-2,8%			0,2%-4,0%
		2013		2032	
Boeing (2013)	RPK	+5,0%			
		2012		2032	
Airbus (2013)	RPK	+4,7%			
		2006		2020	2040
Significance (2011)	PAX	0,6%-6,3%			2,0%-3,8%
Significance (2011)	VLB	0,3%-5,1%			1,4%-3,4%
		2012		2035	2050
Eurocontrol (2013)	VLB	0,7%-2,6%			-0,4%-2,8%

Noot: RPK - *revenue passagener kilometres*; PAX - passagiers; VLB - vliegtuigbewegingen.





4 Klimaatbeleid voor de luchtvaart

Door de jaren heen zijn er diverse voorstellen gedaan voor beleidsinstrumenten om het klimaateffect van luchtvaart te beperken. Belangrijke partijen in deze zijn de Europese Commissie en de ICAO. Paragraaf 4.1 geeft een overzicht van relevante Europese initiatieven. Hierna komen de voorstellen binnen ICAO-verband aan bod in Paragraaf 4.3. Er dient opgemerkt te worden dat beleid continu in ontwikkeling is. Het beeld dat geschetst wordt is dan ook een momentopname, ten tijde van het schrijven van dit rapport (februari 2014).

4.1 Institutionele omgeving van het klimaatbeleid

Het klimaatbeleid in de luchtvaart wordt in hoge mate bepaald door de institutionele omgeving. De internationale luchtvaart is, net als de internationale zeevaart, buiten de doelen van het Kyoto Protocol gehouden. De reden daarvoor is dat landen geen overeenstemming konden bereiken over de toedeling van de verantwoordelijkheid van de emissies aan landen. Er is een groot aantal allocatie-opties besproken: toedeling aan het land waar het vliegtuig is geregistreerd, aan het land waar de luchtvaartmaatschappij is gevestigd, aan het land waaruit het vliegtuig vertrekt, aan het land waaruit de passagiers komen, enzovoort. Elk van deze opties was echter problematisch.

In plaats van toedeling bevat het Kyoto Protocol een artikel (2.2) dat luidt:

The Parties included in Annex I shall pursue limitation or reduction of emissions of greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol from aviation and marine bunker fuels, working through the International Civil Aviation Organization and the International Maritime Organization, respectively.

Het artikel legt de verantwoordelijkheid voor het aanpakken van luchtvaart-emissies bij Annex I-landen, maar draagt ze op om in ICAO te werken, waar ten eerste alle landen vertegenwoordigd zijn en ten tweede geen onderscheid wordt gemaakt tussen Annex I-landen en andere landen. De UNFCCC maakt dat onderscheid vanwege de historische verantwoordelijkheid voor emissies en het verband tussen emissies en economische groei. ICAO maakt het onderscheid niet om te voorkomen dat de markten in de internationale luchtvaart verstoord worden door verschillen in wet- en regelgeving (CE Delft, 2008a).

In de praktijk heeft dit ertoe geleid dat de discussies binnen ICAO een tegenstelling laten zien tussen enerzijds landen die willen vasthouden aan het ICAO-principe van non-discriminatie (veelal ontwikkelde landen) en landen die willen vasthouden aan een onderscheid tussen landen zoals de UNFCCC die maakt. Ook in het Europese klimaatbeleid speelt deze tegenstelling een rol (zie Paragraaf 4.2).



4.2 Europees klimaatbeleid voor de luchtvaart

Het Europese klimaatbeleid voor de luchtvaart kent vier onderdelen:

1. Het onderbrengen van luchtvaart in het Europese emissiehandelssysteem (EU ETS).
2. Een Europees programma om de ontwikkeling van biobrandstoffen in de luchtvaart te stimuleren: het European Advanced Biofuels Flight path Initiative².
3. Een omvangrijk onderzoeksprogramma voor de ontwikkeling van technologie voor een schoon, veilig en concurrerende luchtvaart, het 'Clean Sky' Joint Technology Initiative (JTI)³.
4. Het stroomlijnen van de luchtverkeersleiding in het *Single European Sky* (SES) programma, wat naast een verhoging van de capaciteit van het luchtruim ook kan resulteren in emissiereductie.⁴

Op korte termijn is het grootste effect te verwachten van het EU ETS. De andere onderdelen hebben pas op langere termijn effect, en richten zich bovendien niet altijd uitsluitend op het terugdringen van emissies.

Het Europese emissiehandelssysteem (EU ETS) is een hoeksteen van het Europese beleid om klimaatverandering tegen te gaan via de reductie van broeikasgasemissies. Het systeem is sinds 2005 in werking. Bedrijven in de zogenaamde ETS-sectoren, met name de energie-intensieve industrie, moeten een emissierecht inleveren voor elke ton CO₂ die ze uitstoten.

Volgend op een Europese richtlijn (EC, 2008) is luchtvaart vanaf begin 2012 opgenomen in het emissiehandelssysteem. Zowel Europese als niet-Europese luchtvaartmaatschappijen met vluchten naar, vanaf of binnen Europa kregen te maken met emissierechten die een bepaalde hoeveelheid CO₂-emissies representeerden. Een substantieel deel (82%) van deze rechten worden gratis verstrekt, waarbij toekenning plaatsvindt op basis van benchmarks. Een klein deel (15%) van de CO₂-rechten wordt geveild. De overige rechten (3%) komen in een speciale reserve voor snel groeiende luchtvaartmaatschappijen of nieuwkomers.

Internationaal is er veel weerstand geweest tegen het EU ETS. Amerikaanse luchtvaartmaatschappijen hebben een rechtszaak aangespannen in het Verenigd Koninkrijk, die is doorverwezen naar het Europese hof van Justitie. Dat heeft in 2011 geoordeeld dat er geen juridische bezwaren zijn tegen het opnemen van buitenlandse luchtvaartmaatschappijen in het EU ETS, omdat het de vrije keuze is van deze luchtvaartmaatschappijen om op EU-luchthavens te vliegen.⁵ India en andere ontwikkelingslanden hebben juist aangevoerd dat unilaterale maatregelen onacceptabel zijn omdat ze niet passen binnen het mondiale klimaatbeleid.

² http://ec.europa.eu/energy/renewables/biofuels/flight_path_en.htm.

³ Council Regulation (EC) No. 71/2008.

⁴ http://ec.europa.eu/transport/modes/air/single_european_sky/ses_2_en.htm.

⁵ <http://curia.europa.eu/jcms/upload/docs/application/pdf/2011-12/cp110139en.pdf>.



In april 2013 heeft de EU besloten tijdelijk de ETS-verplichtingen op te heffen voor vluchten van of naar landen buiten Europa⁶, ook wel 'stop the clock' genoemd. Voor vluchten binnen het territorium van de Europese Economische Ruimte (EER) is niets veranderd. Het besluit is genomen naar aanleiding van de driejaarlijkse Assemblee van de VN-organisatie voor burgerluchtvaart (ICAO), die plaatsvond in 2013. Daar zijn afspraken gemaakt over de ontwikkeling en invoering in 2020 van een mondiaal marktconform systeem voor de reductie van CO₂-uitstoot door de luchtvaart. Ook zijn afspraken gemaakt over de manier waarop (groepen van) landen voor die tijd actie kunnen ondernemen (BuZa, 2013). Daarnaast is er internationale weerstand tegen de originele vormgeving van het EU ETS-systeem: Amerikaanse maatschappijen zijn een rechtszaak begonnen om de legaliteit van de EU-richtlijn te testen en diverse landen dreigden met vergeldingsmaatregelen, zoals het beperken van luchtvaartrechten, hogere tarieven voor overvliegen en het tegenhouden van bestellingen bij Airbus (KiM, 2012).

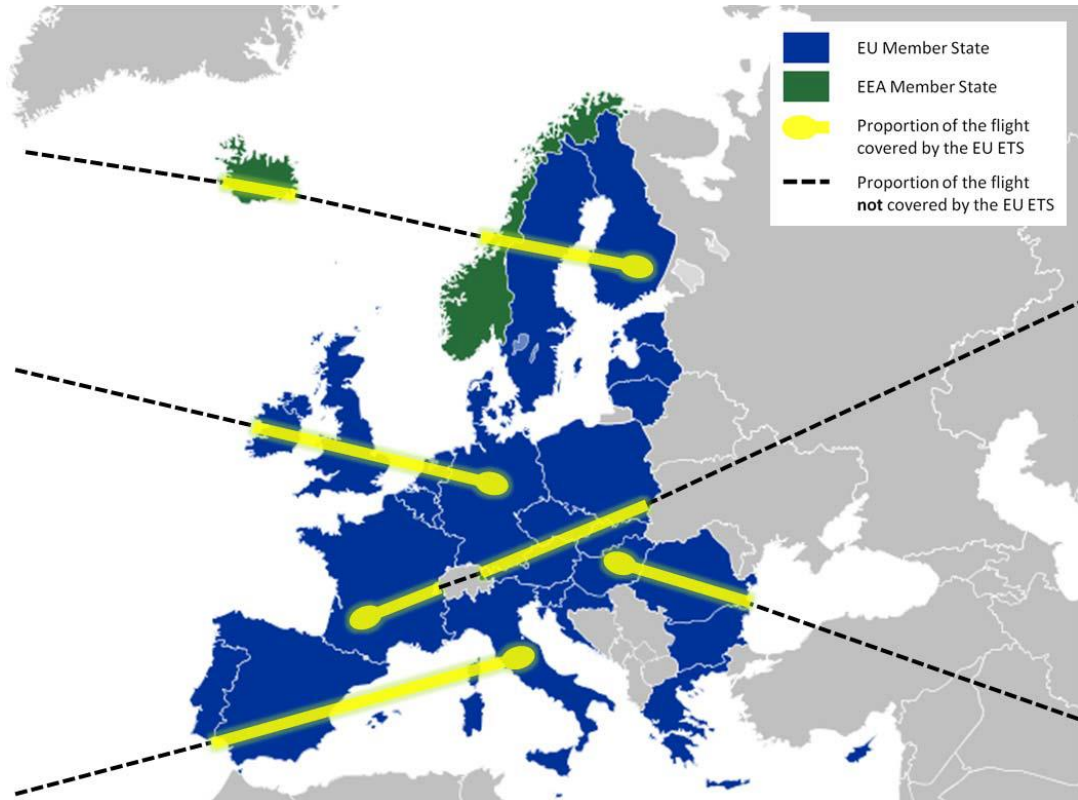
In oktober 2013 is er een eerste roadmap opgesteld voor de ontwikkeling van een wereldwijde aanpak om luchtvaartemissies te reduceren. Deze wordt de komende jaren nader uitgewerkt en zou in 2020 geïmplementeerd moeten worden. In dit licht wordt de oorspronkelijke EU ETS-richtlijn (EC, 2003) aangepast, in navolging van het 'stop the clock'-besluit.

Recentelijk heeft de Europese Commissie een voorstel gedaan om de geografische reikwijdte van EU ETS voor luchtvaart aan te passen. Hiermee beoogt het een verdere impuls te geven aan de ontwikkeling van een mondiaal systeem. Dit zou betekenen dat voor de periode 2014-2020 alleen vluchten binnen de EER volledig onder het handelssysteem vallen. 'Buitenlandse' vluchten vallen onder het systeem naar rato van de afstand die binnen de Europees grondgebied is afgelegd. Dit wordt de 'airspace' (luchtruimte) optie genoemd. In het voorstel wordt geen onderscheid gemaakt tussen maatschappijen op basis van nationaliteit (BuZa, 2013). Hoeveel procent van de totale emissies onder het huidige systeem nog onder het handelssysteem zal vallen, is mede afhankelijk van de zeegrenzen die gehanteerd worden. Vaak genoemd is de 12 zeemijlen afbakening, waarbij naar schatting 38,5% van de totale emissies zal worden gedekt (EC, 2013a). Figuur 5 illustreert de dekking van vluchten van en naar derde landen onder het airspace-scenario.

⁶ De enige conditie hiervoor is dat luchtvaartmaatschappijen voor deze vluchten geen gratis rechten hebben ontvangen of deze hebben teruggegeven (EC, 2012).



Figuur 5 dekking van vluchten tussen vliegvelden in the EER en vliegvelden daarbuiten



Bron: EC, 2012.

NGOs en een aantal lidstaten vrezen dat de milieu-impact van het systeem ondermijnd wordt door aanpassing van het toepassingsgebied van EU ETS. Naast verlaging van de cap, hebben NGOs dan ook een zogenaamde ‘50/50’-optie voorgesteld waarbij de verantwoordelijkheid voor emissies eerlijk worden verdeeld over het land van aankomst en het land van vertrek. De verwachting is dat dit een hogere dekkinggraad van 62.4% zou opleveren (EC, 2013a).

De rapporteur van het Europese Parlement op dit dossier, Peter Liese, heeft inmiddels laten weten dat hij voorstander is van de door de Commissie voorgestelde airspace-optie. Deze zou echter slechts tot eind 2016 moeten duren, wanneer de EU de voortgang bekijkt van ICAO-onderhandelingen over een wereldwijd emissiehandelssysteem⁷. Verder zou de totale hoeveelheid emissies binnen het emissiehandelssysteem (cap) verlaagd moeten worden om de milieu-integriteit gedeeltelijk te behouden en moet een groter aandeel van de rechten geveild worden.

Het voorstel van Liese is daarmee een compromis tussen NGOs en andere betrokkenen die terug zouden willen naar het oorspronkelijke EU ETS en de Commissie en lidstaten die het ‘stop the clock’-scenario graag tot 2020 geïmplementeerd zouden zien (Greenaironline, 2013). Nederland is één van die lidstaten. De visie is dat het voorstel van de Commissie een bijdrage levert aan de totstandkoming van een mondiaal systeem, iets wat het beste zou zijn

⁷ Het gaat hier om de uitkomst van de komende ICAO Assembly in 2016.

voor een gelijk speelveld voor luchtvaartmaatschappijen en goede internationale relaties (BuZa, 2013)⁸.

De stand van zaken op dit moment, december 2013, is dat de komende tijd het voorstel van de Commissie verder zal worden uitgewerkt. Vervolgens moet het begin 2014 door het Europees Parlement en de Raad worden goedgekeurd, zodat rechtszekerheid en duidelijkheid worden geboden voor vliegtuig-exploitanten die anders, zoals bepaald in Richtlijn 2003/87/EG, op 30 april 2014 voor hun totale emissies naar en uit derde landen emissierechten zouden moeten inleveren (EC, 2013b).

De andere beleidslijnen van de EU hebben pas op langere termijn een effect.

Het Europese programma om biobrandstoffen in de luchtvaart te stimuleren heeft tot doel om in 2020 2 miljoen ton duurzame biobrandstoffen in de luchtvaart te krijgen. Op dit moment zijn er door tal van oorzaken nog maar in zeer beperkte mate biobrandstoffen beschikbaar. Het European Advanced Biofuels Flight Path Initiative richt zich op het wegnemen van de belemmeringen die een verdere ontwikkeling belemmeren.⁹ Luchtvaart zal naar alle waarschijnlijkheid in de voorzienbare toekomst afhankelijk blijven van vloeibare brandstoffen, en biobrandstoffen kunnen een bijdrage leveren aan het terugdringen van de CO₂-emissies van de luchtvaart. Hoewel dit nog onderwerp is van onderzoek, lijken biobrandstoffen nauwelijks invloed te hebben op de niet-CO₂-klimaat effecten van de luchtvaart.

Het 'Clean Sky' Joint Technology Initiative (JTI) richt zich op de ontwikkeling van technologie voor een schoon, veilig en concurrerende luchtvaart.¹⁰ Op het gebied van klimaat heeft het tot doel technologie te ontwikkelen waarmee emissies van CO₂ met 50%, en van NO_x met 80% kunnen worden gereduceerd.

Het 'Single European Sky' (Gemeenschappelijk Europees Luchtruim) project van de Europese Commissie heeft tot doel de luchtverkeersleiding te optimaliseren door deze op Europees niveau te integreren en zo de huidige versnippering van de verantwoordelijkheden voor het Europese luchtruim op te heffen. Zo volgen vliegtuigen niet altijd de kortste weg naar hun bestemming. De maatregel heeft een verwacht CO₂-reductiepotentieel in de orde van grootte van 5 à 10% (Sectorakkoord, 2008).

4.3 ICAO-ontwikkelingen

De International Civil Aviation Organization (ICAO) is onderdeel van de Verenigde Naties en is in 1944 opgericht om een veilige, gestructureerde, wereldwijde groei van luchtvaart te promoten. De zogenoemde Assembly, met afgevaardigden uit alle 191 lidstaten, komt iedere drie jaar bijeen. De laatste jaren is er meer aandacht voor de milieueffecten van luchtvaart en internationale acties op dit dossier.

In 2001 besloot de ICAO Assembly dat er verder onderzoek nodig was naar de toepassing van Market-Based Measures (MBMs) om de milieu-impact van luchtvaart te reduceren. De uitkomsten van het onderzoek waren aanleiding

⁸ Tegelijkertijd wil Nederland dat andere opties in de besluitvorming worden betrokken, zoals bijvoorbeeld een reikwijdte vergelijkbaar met 'Stop the clock' (BuZa, 2013).

⁹ http://ec.europa.eu/energy/renewables/biofuels/flight_path_en.htm.

¹⁰ Council Regulation (EC) No. 71/2008.



om in 2004 in een resolutie vast te leggen dat de Assembly ‘de verdere ontwikkeling van een open emissiehandelssysteem voor de internationale luchtvaart steunt’.¹¹ ICAO refereerde echter aan beperkte mankracht om de verdere ontwikkeling niet zelf op te pakken.

In 2005 is het Europese Emissiehandelssysteem (EU ETS) opgericht. Er was weerstand tegen de opname van luchtvaart onder dit systeem. Dit blijkt o.a. uit een resolutie aangenomen in 2007 waarin landen worden opgeroepen om enkel op basis van wederzijdse goedkeuring luchtvaartemissiehandel te implementeren (ICAO, 2007). Vierenveertig lidstaten hebben daar toen zelfs bezwaren tegen geuit (ICAO, 2008). Verder is er in 2007 een Group on International Aviation and Climate Change (GIACC) opgezet. Binnen deze studieclub zijn er 15 lidstaten die verdere implementatie van markt gerelateerde maatregelen bestuderen. Daarbij ligt de focus op de korte termijn op brandstofefficiëntie. Het doel op de middellange termijn is CO₂-neutraliteit (GIACC, 2008).

De ICAO Assembly in 2010 onderschrijft deze doelstellingen, en stelt als doel om in de periode tot 2020 de efficiëntie van de luchtvaart jaarlijks met 2% te verbeteren. Het voegt daar *aspirational goals* aan toe om de efficiëntieverbetering na 2020 voort te zetten en om de netto-emissies van de luchtvaart na 2020 niet verder te laten toenemen. Met andere woorden, iedere toename van de emissies boven het niveau van 2020 zal moeten worden gecompenseerd met emissiereducties in andere sectoren. Een aantal landen (Rusland, China) acht dit doel onrealistisch (Greenaironline, 2013). Zij pleiten voor een gedifferentieerde doelstelling op basis van (economische) ontwikkeling.

In 2013 heeft de ICAO Assembly zich eraan gecommitteerd concrete stappen te zetten richting een wereldwijde marktgeoriënteerde maatregel en in de periode tot 2016 een systeem te ontwerpen en de economische en milieueffecten in te schatten. Tijdens de komende ICAO Assembly in 2016 zullen onderhandelingen over een wereldwijd emissiehandelssysteem worden gevoerd.

Daarnaast werkt ICAO aan een CO₂-norm voor nieuwe vliegtuigen, die ook in 2016 aangenomen zou moeten worden.

¹¹ De oorspronkelijke tekst luidt: ‘Endorses the further development of an open emissions trading system for international aviation’. Assembly Resolution A35-5, Appendix I, 2c1.



5 Kostendoorberekening, vraag- en kruiselasticiteiten

5.1 Inleiding

Emissies van de luchtvaart hangen af van de energie-efficiëntie van de luchtvloot en van luchtvaartactiviteit, die vanwege het ruime aanbod gelijk gesteld mag worden aan de vraag naar luchtvaart. Als het ETS wordt ingevoerd volgens de 'airspace'-optie nemen brandstofkosten in de EER toe, wat zou kunnen leiden tot hogere prijzen en daardoor een relatieve afname van de vraag. Een deel van de afname van de vraag wordt veroorzaakt door verschuiving van de vervoersvraag naar andere modaliteiten, met name hoge snelheidstreinen, en een ander deel aan uitval van de vraag.

In dit hoofdstuk wordt een kennisoverzicht geleverd omtrent drie elementen die van belang zijn voor de relatie tussen brandstofkosten en beprijzing van emissies enerzijds en de vraag naar luchtvaart in de EU anderzijds:

- de kostendoorberekening oftewel doorberekenen van veranderingen in de kerosineprijs in de ticketprijs;
- vraagelasticiteiten: de reactie van de vraag naar luchtvaart op een verandering van de ticketprijs;
- kruiselasticiteiten: de mate van substitutie tussen vervoer per lucht en per spoor en eventueel wegvervoer.

5.2 Kostendoorberekening

De luchtvaart is een competitieve bedrijfstak, waarbinnen winstmarges lager zijn die van bedrijfstakken met een vergelijkbaar risico (IATA, 2013). De concurrentie tussen maatschappijen biedt weinig ruimte tot kostenreductie of verlaging van winstmarges als de kerosineprijs toeneemt. Algemeen wordt aangenomen dat de meerkosten van kerosine (of bijv. die van luchthavengelden en vliegbelastingen) één-op-één door vertaald worden in de ticketprijs (CE Delft, 2008b)¹².

PWC (2005) voerde een econometrische analyse uit voor data uit het VK waaruit inderdaad bleek dat een stijging van de kerosinekosten volledig doorberekend werd in de ticketprijs. Recenter econometrisch onderzoek door Toru (2009) voor de gehele EU en door Özmen (2012) voor binnenlandse vluchten in de VS bevestigen dit: de pass-through bedraagt doorgaans minstens 100%. Wel werd door PWC een voorbehoud gemaakt voor Low Cost Carriers en op routes met uitwijkmogelijkheden.

Low Cost Carriers hebben in het verleden een stijging van brandstofprijzen benut om hun marktaandeel te vergroten. PWC (2005) vond een lagere doorberekening van brandstofkosten op ticketprijzen voor LCCs, namelijk 90% in plaats van 100%. In de huidige marktsituatie blijkt dit niet meer mogelijk. Enerzijds hebben LCCs al sterk gesneden in hun overige kosten, anderzijds

¹² Merk op dat er enkele publicaties zijn die argumenteren dat het al dan niet doorberekenen van kostenstijgingen een strategische keuze van luchtvaartmaatschappijen is (KIM, 2012).



hebben reguliere maatschappijen geanticipeerd op LCCs door bepaalde routes te schrappen of zelf low-budgetvluchten uit te voeren. Toru (2009) zag op basis van recentere gegevens dan ook geen aanwijzing voor verschillen tussen reguliere maatschappijen en LCCs wat betreft de hoogte van de pass-through; deze bedraagt voor beide groepen 100%. Wel is sprake van variatie in de pass-through hetgeen een bevestiging lijkt te wezen dat maatschappijen aan kruissubsidiering tussen routes doen.

De onderzoeken die aantonen dat de veranderingen in brandstofkosten volledig worden doorberekend zijn niet zonder meer van toepassing op de doorberekening van de kosten in het EU ETS. Er zijn namelijk twee belangrijke verschillen. Ten eerste hebben alle luchtvaartmaatschappijen in dezelfde mate te maken met veranderingen in de brandstofprijs, terwijl het EU ETS door de beperkte geografische reikwijdte Europese maatschappijen voor een groter deel raakt dan niet-Europese maatschappijen. Ten tweede krijgen luchtvaartmaatschappijen een deel van hun emissierechten gratis en is het de vraag of de opportuniteitskosten van de gratis verkregen rechten worden doorberekend.

Door de beperkte geografische reikwijdte van het systeem leidt tot verschillende effecten op kosten die op hun beurt weer kunnen resulteren in hetzij een beperkte mogelijkheid om kosten door te berekenen, hetzij windfall profits voor buitenlandse maatschappijen (CE Delft et al., 2007). Een voorbeeld kan dit duidelijk maken. Een passagier die van Stockholm naar Los Angeles vliegt, kan kiezen tussen een overstap op een Europese luchthaven (Londen, Amsterdam, Frankfurt) of een Amerikaanse (Newark). De eerste zal veelal door een Europese luchtvaartmaatschappij worden uitgevoerd, de tweede door een Amerikaanse. In de oorspronkelijke geografische afbakening van het EU ETS zouden beide delen van de vlucht onder het EU ETS vallen bij een overstap op een Europese luchthaven, maar slechts het eerste deel van de vlucht bij een overstap op een Amerikaanse luchthaven. Dat betekent dat de kostenverhoging voor de vlucht met een overstap op een Europese luchthaven hoger is dan de kostenverhoging voor de vlucht op een Amerikaanse luchthaven. Als de Amerikaanse maatschappij de marginale producent is, zal de Europese maatschappij een deel van de kosten niet kunnen doorberekenen.

In de 'airspace'-optie van het EU ETS zijn de kostenverschillen tussen de verschillende routes waarschijnlijk kleiner, en daarmee nemen ook de verschillen in concurrentiepositie af.

In het geval van het EU ETS ontvangen luchtvaartmaatschappijen een deel van de emissierechten gratis. In concurrerende markten zullen de opportuniteitskosten van de gratis verkregen rechten worden doorberekend omdat volgens de micro-economische theorie de prijs gelijk is aan de kosten van de marginale producent, en omdat de marginale kosten de volledige kosten van emissierechten bevatten. De vraag of de opportuniteitskosten van de gratis verkregen rechten ook worden doorberekend in de ticketprijs wordt door de meeste onderzoekers om deze redenen positief beantwoord (CE Delft, 2007b; Forsyth, 2008; BNEF, 2011; Malina et al., 2012), al zijn er enkele publicaties die rekening houden met de mogelijkheid dat opportuniteitskosten niet volledig worden doorberekend (KIM, 2012). In tegenstelling tot andere sectoren, zijn er geen empirische ex-postanalyses van de mate van doorberekening in de luchtvaart. In andere ETS-sectoren is consequent aangetoond dat opportuniteitskosten worden doorberekend op een manier die consistent is met de economische theorie (CE Delft, 2010; Sijm et al., 2006).



5.3 Vraagelasticiteit

De eigen prijselasticiteit van de vraag of vraagelasticiteit is gedefinieerd als de percentuele verandering van de vraag naar luchtvaartactiviteiten als gevolg van een percentuele verandering in de ticketprijs. Activiteit dient idealiter uitgedrukt te worden als passagiers- of tonkilometers en niet als aantal passagiers, hoeveelheid vracht of aantal vluchten.

Verder is het in het ramen van elasticiteiten van belang onderscheid te maken naar afstanden, passagiersklasse en termijn. Op lange afstandsvluchten is de elasticiteit groter, omdat passagiers minder uitwijkmogelijkheden hebben. Zakenreizigers bezitten een grotere noodzaak om op tijd op de exacte plaats van bestemming aan te komen (PBL, 2010). Opvallend voor de luchtvaart is dat de elasticiteit op lange termijn niet groter hoeft te zijn dan op korte termijn. Passagiers hebben de neiging om overdreven te reageren op prijsverhogingen (Brons et al., 2002). Naast afstand en passagiersklasse wordt in ramingen doorgaans gecorrigeerd voor inkomen, regio en frequentie van vluchten.

Twee lacunes zijn kenbaar in de literatuur. De ticketprijs is het belangrijkste afwegingskader, maar maatschappijen bieden services (verzekeringen, kosten extra bagage, frequent flyer-voordelen, korting bij vroegboeking of last minute, toegang tot lounge, voorrang bij inchecken, etc.), die van invloed zijn op de totale prijs of tot 'merkentrouw' leiden. Verder blijkt dat online boeken tot een hogere elasticiteit leidt dan boeken via reisbureaus, omdat de transparantie en keuzevrijheid hierdoor vergroot wordt (Granados et al., 2012). Deze ontwikkelingen worden nog onvoldoende gedekt in de literatuur.

Het ramen van de vraagelasticiteit kan via twee types modellen plaatsvinden: discrete keuzemodellen op basis van micro-data van vlucht- en passagiersgegevens of schattingen van een cross-sectie of panel van vluchtdata op basis van vluchten van en naar luchthavens (city pairs). Beide methodes hebben zo hun voor- en nadelen.

Discrete keuzemodellen kennen een lange traditie in de vervoerseconomie (zie Capon 2003 voor een gedateerd overzicht). Ze bieden een volledig beschrijving van de modaliteiten en geven alle substitutiemogelijkheden weer. Het nadeel van deze methode is echter dat vaak van minder betrouwbaar geachte enquêtegegevens wordt uitgegaan en dat de structuur van het model van invloed is op de uitkomst. In de keuze tussen modaliteiten, bestemmingen of maatschappijen dient een hiërarchie te worden aangebracht, waarbij de keuzestructuur die wordt opgelegd aan passagiers niet noodzakelijkerwijs de structuur is die misschien wel de meeste van hen in gedachten hadden (Behrens en Pels, 2012). Cross-secties en panels op hun beurt bezitten een hoger aggregatieniveau, waardoor uitwijkmogelijkheden en de variatie tussen afstand en prijs in het model kunstmatig ingeperkt worden en elasticiteiten mogelijk onderschat worden.

Er zijn in het verleden twee meta-analyses uitgevoerd die een synthese leverden van ramingen van de vraagelasticiteit. Brons et al. (2002) voerden een meta-analyse van 37 studies uit, waaruit voor zakenreizen een vraagelasticiteit van -0,8 en voor toerisme een elasticiteit van -1,5 resulteerde. Voor alle reizigers werd een elasticiteit van -1,1 (met range -0,5 en -1,7) gevonden. De elasticiteit bleek verder lager te zijn indien de afstand toenam of op intercontinentaalvluchten, terwijl inkomen (of BBP) juist tot een hogere elasticiteit leidde. Ook waren regionale verschillen zichtbaar; in de VS en Australië lagen elasticiteiten hoger dan in Europa. Ramingen voor Europa



kwamen neer op een waarde van -0,9. Verder werd een gestage toename van elasticiteiten in de loop der tijd geconstateerd.

Gillen et al. (2004) vonden in een meta-analyse van 21 Noord-Amerikaanse studies dat de vraagelasticiteit voor internationale zakenvluchten over lange afstand -0,3, voor internationaal toerisme over lange afstand -1,0, voor binnenlandse zakenvluchten over lange afstand -1,2, voor binnenlands toerisme over lange afstand -1,1, voor binnenlandse zakenvluchten over korte afstand -0,7 en voor binnenlands toerisme over korte afstand -1,5 bedroeg.

Intervistas (2007) voerde in opdracht van de IATA een gecombineerde literatuurstudie en econometrische schatting uit. De door hen geraamde elasticiteiten binnen regio's en op verschillende routes tussen regio's staan vermeld in Tabel 8.

Tabel 8 Vraagelasticiteiten luchtvaart per route

	EU	Rest Europa	Noord-Amerika	Azië	Afrika	Zuid-Amerika
EU	-0,92	-0,84	-0,72	-0,54	-0,54*	-0,54*
Rest Europa		-0,92				
Noord-Amerika			-0,66	-0,36		
Azië				-0,63		
Afrika					-0,4	
Zuid-Amerika						-0,83

Bron: Intervistas 2007.

* Eigen berekening op basis van Intervistas 2007.

Recentere studies van vluchten binnen Europa die beter tegemoet komen aan de aangehaald analytische en meetproblemen, blijven niet altijd binnen de range die geconstateerd werd in bovenstaande meta-analyses (zie Tabel 8). Twee studies leveren zeer hoge ramingen op, terwijl een derde studie op basis van paneldata in Europe een veel lagere elasticiteit raamde.

Tabel 9 Vraagelasticiteiten korte afstandsvluchten

Studie	Land	Totaal	Zakenreizen	Toerisme
Cabanne, 2003	Frankrijk	-1,4 tot -1,6		
CAA, 2005	VK	-0,7 tot -0,8		
Dargay, 2010	VK		-0,98	-1,0
Behrens en Pels, 2012	Londen-Parijs		-0,1 tot -0,9	-0,3 tot -1,7
Molloy et al., 2012	Intra-EU	-0,4 tot -0,5		
Chewlow et al., 2013	Intra-EU	-1,9 tot -2,3		

Onderzoek naar elasticiteiten voor vrachtvervoer per lucht is schaarser. Hier wordt veelal gerefereerd naar een oud onderzoek van Oum et al. (1990) waarin een range voor de vraagelasticiteit van -0,8 en -1,6 wordt aangehaald.

5.4 Kruiselasticiteit

Door de introductie van Hoge Snelheidslijnen is een nieuwe keuzemogelijkheid op intra-Europese routes gecreëerd. HSL-treinen hebben direct marktaandeel van de luchtvaart afgesnoept, maar het totale passagiersvervoer is, ook indien gecorrigeerd is voor inkomens- en bevolkingsgroei, gestegen. Oorzaken waren de opkomst van LCCs en het wegnemen van belemmeringen om reizen uit te stellen, minder ver te reizen en niet te reizen door extra keuzemogelijkheden (Dargay, 2010; Jimenez en Betancor, 2012).

Railvervoer heeft als concurrentievoordeel dat congestie vermeden wordt. Wachttijden op het station en reistijden van en naar het station zijn doorgaans korter zijn dan wachttijden op en reistijden van en naar het vliegveld. De toename van passagiersvervoer per spoor vond dan ook plaats op afstanden met reistijden tussen de twee en vier à vijf uur (Esplugas et al., 2005; Tobu, 2010). Met de toegenomen waardering van tijd in het achterhoofd (KiM, 2013b) biedt dit de HSL een blijvend concurrentievoordeel op middellange afstanden.

De substitutie tussen luchtverkeer en rail kan worden gemeten met de kruiselasticiteit van de vraag. Deze is gedefinieerd als de percentuele verandering van de vraag naar luchtvaart als gevolg van een percentuele verandering in de ticketprijs voor railvervoer. De substitutie met wegverkeer wordt hier genegeerd, omdat alleen treinen op korte afstanden concurreren met wegverkeer. Uit de literatuur blijkt dat de kruiselasticiteit tussen lucht- en wegverkeer nihil is (Dargay, 2010 en Borjesson, 2012). Dat wil zeggen dat prijsverhogingen in de luchtvaart (bijvoorbeeld als gevolg van klimaatbeleid) niet of nauwelijks gevolgen hebben voor de vraag naar wegvervoer, en andersom.

Uit de presentatie van kruiselasticiteiten in Tabel 10 blijkt dat met uitzondering van een enkele studie ramingen verkregen zijn die rond de 0,4 en 0,5 liggen. Een van de oorzaken in de variatie in elasticiteiten is de afwijkende wijze waarop in de onderzoeken het onderscheid tussen zakelijk en niet-zakelijk verkeer gedefinieerd is; een andere oorzaak is dat het hier om verschillende type modellen en gegevens gaat.

Tabel 10 Kruiselasticiteiten luchtvaart en spoor

Studie	Land	Totaal	Zakenreizen	Niet zakelijk verkeer
Cabanne, 2003	Frankrijk	0,4-0,5		
Rohr et al., 2010	VK	Nihil	Nihil	Nihil
Dargay, 2010	VK		0,2	0,5
Kopsch, 2012	Zweden	0,4-0,5		
Borjesson, 2012	Zweden	0,4	0,5	0,1
Behrens en Pels, 2012	Londen-Parijs		0,1-0,2	0,4-0,5

5.5 Conclusie

Er is empirisch bewijs dat veranderingen in de kerosineprijs volledig worden doorberekend in de ticketprijzen. Op grond daarvan, en op grond van de economische theorie, mag verwacht worden dat de kosten van emissierechten en de opportuniteitskosten van gratis verkregen emissierechten ook volledig zullen worden doorberekend. Met name over opportuniteitskosten bestaan verschillende meningen en het ontbreekt aan empirische studies die uitsluitel kunnen geven.

Recente schattingen van vraagelasticiteiten in de luchtvaart bieden geen aanleiding om bestaande, oudere ramingen aan te passen. Het beeld is hiervoor namelijk te diffuus; enkele studies ramen een stijging van elasticiteiten, andere studies blijven binnen de range en weer andere duiken hier ver onder. Zowel Brons en Pels (2012) als Intervistas (2007) hanteren op basis van hun ramingen een vraagelasticiteit van -0,9 voor intra-EU-vluchten. Intervistas (2007) levert ook elasticiteiten voor intercontinentale vluchten met aannemelijke waarden.

Rondom de kruiselasticiteit van luchtvaart met rail lijkt een grotere consensus in de literatuur te bestaan, deze elasticiteit ligt rond de 0,4.



6 Kosteneffecten van klimaatbeleid luchtvaart

6.1 Inleiding

Het belangrijkste kosteneffect van het klimaatbeleid in de luchtvaart wordt momenteel veroorzaakt door de opname in het EU ETS. In de 'airspace'-optie van de Europese Commissie voor invoering van het ETS zullen alleen emissies binnen de EER belast worden. In dit hoofdstuk wordt in grove lijnen geschetst wat de gevolgen van invoering van dit voorstel zijn op de kosten van intra-EU en de kosten van intercontinentale vluchten en hoe de hogere brandstofkosten zich vertalen in een toe- of afname van CO₂-emissies. Uitgangspunt in de projecties is steeds de referentieramingen van het PBL.

6.2 Methodiek

Totale CO₂-emissies in de luchtvaart kunnen gedefinieerd worden als het product van het brandstofverbruik per passagiers- of tonkilometer (*BV*), de emissiefactor of gram CO₂ per gram kerosine (*EF*) en luchtvaartactiviteit in passagiers- of tonkilometer (*ACT*):

$$CO_2^t = BV^t EF^t ACT^t$$

Gebruikmakend van het feit dat de groei in verbruik en de emissiefactor gelijk is aan een afname in efficiëntie kan na een logaritmische transformatie en het nemen van eerste verschillen de percentuele groei van emissies worden beschreven als de som van de afname in efficiëntie (ΔEFF) en groei van luchtvaartactiviteit:

$$\Delta CO_2^t \text{ in } \% = -\Delta EFF^t \text{ in } \% + \Delta ACT^t \text{ in } \%$$

Operationele maatregelen en invoering van besparende technologieën werken in op het verbruik, bijmengen met biobrandstoffen op de emissiefactor. De groei in activiteit is gelijk aan de groei volgens het baseline scenario en de toe- of afname van de vraag als gevolg van de percentuele prijsstijging van tickets (ΔP) vermenigvuldigd met de eigen vraagelasticiteit (ϵ_v) en in het geval van intra-EU-vluchten ook met de (negatieve waarde van de) kruiselasticiteit met spoorvervoer (ϵ_k):

$$\Delta ACT^t \text{ in } \% = \Delta ACT_{bl}^t \text{ in } \% + (\epsilon_v - \epsilon_k) \Delta P^t \text{ in } \%$$

Prijzen van tickets hangen via het aandeel van brandstofkosten in de totale bedrijfskosten af van de kerosineprijs. De invloed van het ETS op de ticketprijs doet zich alleen gelden op dat deel van de reis dat binnen eigen grondgebied valt.



6.3 Gebruikte data

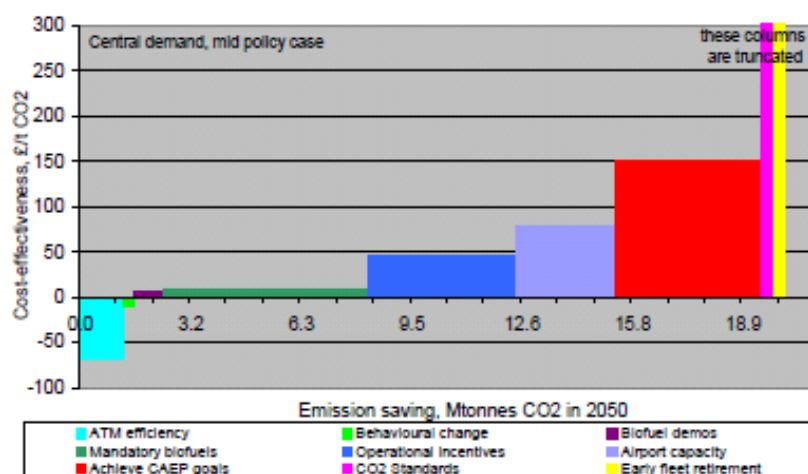
De economische groei in de nieuwe referentieramingen is voor 2013-2020 gesteld op jaarlijks 1,7% en voor 2020-1030 op jaarlijks 1,4%. Bij een inkomenselasticiteit van de luchtvaart van 1,5% binnen de EU (Intervistas, 2007) zou dit resulteren in een baseline groei van de luchtvaartactiviteit met 2,55% in de periode 2013-2020 en met 2,1% in de periode 2020-2030. Voor middellange vluchten naar de rest van Europa wordt een inkomens-elasticiteit van 1,6 gehanteerd, voor vluchten naar Afrika, Noord- en Midden-Amerika en Midden-Oosten een elasticiteit van 1,7 en voor vluchten naar het Verre Oosten en Zuid-Amerika een elasticiteit van 2,4 (Intervistas, 2007).

De efficiëntieverbetering van de vloot is in de in Hoofdstuk 4 behandelde scenario's besproken. Zoals vermeld in Hoofdstuk 5 zijn de verwachtingen omtrent brandstofbesparingen optimistisch. In het VK is in opdracht van het ministerie van Transport gestart met onderzoek naar marginale kostencurves voor CO₂-reductieopties in de luchtvaart (DfT, 2011).

Hieruit blijkt dat verkeersmanagement en routeplanning (ATM efficiency) en gedragsveranderingen bij passagiers (minder frequent en ver vliegen) ook nu al kosteneffectief zijn (zie Figuur 6). Invoering van ATM zou volgens onderzoek in opdracht van de Europese Commissie (Cranfield, 2008) een eenmalige reductie van emissies met 3% op vluchten in de EU tot stand brengen. Bij een beperkte stijging van kerosineprijzen (minder dan € 10 per ton CO₂) zal het subsidiëren van de productie en infrastructuur voor biobrandstoffen en het verplicht bijmengen van kerosine met biobrandstoffen eveneens kosteneffectief zijn.

Overige maatregelen zijn zeer kostbaar: operationele maatregelen vereisen al een CO₂-prijs van € 55, het beperken van de capaciteit van luchthavens vereist een CO₂-prijs van € 96 en het voldoen aan de technologische oplossingen die het Committee on Aviation Environmental Protection van het ICAO (ICAO-CAEP) heeft voorgesteld, vereist een CO₂-prijs van € 181. Het retrofitten van de vloot met nieuwe schonere motoren, een verplichte CO₂-standaard en vroegtijdige vervanging van oudere vliegtuigen blijken verder zeer kosten-ineffectieve manieren om CO₂-emissies terug te dringen.

Figuur 6 Kostenreductiecurve luchtvaart



Bron: DfT, 2011.

De totale reductie van CO₂ van de kosteneffectieve maatregelen en toepassing van biobrandstoffen bedraagt voor het VK 155 Mton CO₂ in de periode 2010-2050 (DfT, 2011). Hiermee zouden emissies van de luchtvaart met 8% kunnen worden teruggedrongen, oftewel een efficiëntieverbetering van jaarlijks 0,2%.

Het NLR hanteert voor Nederland een maximale reductie van jaarlijks 0,7% tot 2050 bij gefaseerde invoering van energiebesparende technologieën en operationele maatregelen oplopend tot 1,1% indien kerosine in 2050 voor 18% uit biobrandstoffen bestaat (KiM, 2030). Op basis van deze berekeningen en vanwege de grote onzekerheid in dit getal zal een gewogen gemiddelde van 0,65% voor efficiëntieverbetering voor de luchtvloot in de periode 2013-2050 worden gehanteerd.

De doorberekingsfactor van de brandstofprijs op de ticketprijs bedraagt in alle situaties 100%, omdat de 'airspace'-optie beperkte substitutiemogelijkheden buiten de EER biedt. Brandstofkosten maken 26% van de kosten van luchtvaart uit (Cranfield, 2008), met 20% als onder- en 30% als bovengrens (Toru, 2011). Brandstofkosten zullen op korte afstandsvluchten lager zijn dan op lange afstandsvluchten. Het kostenaandeel wordt gesteld op de ondergrens voor intra-Europese vluchten en de bovengrens op transcontinentale vluchten.

De vraagelasticiteiten op routes zijn gebaseerd op Tabel 8 (Intervistas, 2007). De kruiselasticiteit tussen lucht en spoor is conform de literatuur gesteld op 0,4.

De kerosineprijs bedroeg in 2013 \$ 2,92 per gallon oftewel € 0,56 per liter (IEA, 2013). Toename van de kerosineprijs verloopt conform de toename van de olieprijs op basis van het in de referentieraming gehanteerde IEA-scenario van \$ 109 per barrel in 2012, \$ 120 in 2020 en \$ 136 in 2030. De kerosineprijs stijgt dan jaarlijks met 1,4% tot 2020 en met 1,25% tussen 2020 en 2030.

De 'crack spread' oftewel het prijsverschil tussen kerosine en ruwe olie neemt trendmatig toe en bedroeg in 2007 zo'n 40% (Cranfield, 2008). Hoewel de prijs van kerosine de laatste jaren sterker gestegen is dan die van ruwe olie, mag dit voor een groot deel van deze stijging op het conto van een beperkte productiecapaciteit worden geschreven. Verwacht mag worden dat de hogere winstgevendheid zal leiden tot een relatieve toename van de productie van kerosine, waarmee een prijsverschil van 40% als basis kan blijven dienen.

Het IEA stelt dat een liter kerosine gemiddeld 2.580 kg CO₂ uitstoot.

Het verbruik in liters per 100 passagierskilometer bedraagt voor korte afstandsvluchten gemiddeld 6 liter, voor middellange afstandsvluchten 3,5 liter en voor lange afstandsvluchten 3,1 liter (BDL, 2013).

De koolstofprijs is vastgesteld volgens een pad van € 5 per ton in 2013, € 10 in 2020 en € 20 in 2030 (PBL, 2013b).

Op basis van door het AERO-model berekende afstanden is voor de Europese Commissie (EC, 2013a) de dekkingsgraad van CO₂-emissies op eigen grondgebied voor de 'airspace'-optie in twee verschillende varianten (grens op 200 of 12 nautische mijlen) berekend. Deze staan vermeld in Tabel 11.



Tabel 11 Dekking emissies in ETS-airspace opties (in % van totale vlucht)

	Optie met 200 nautische mijlen	Optie met 12 nautische mijlen
Intra-EER	100	100
Afrika	37,6	22,5
Rest Europa	72,3	54,4
Verre Oosten	19,3	14,8
Midden-Amerika	15,4	7
Midden-Oosten	53,6	31
Noord-Amerika	20,9	9
Zuid-Amerika	15,2	7,8
Totaal	46,5	38,5

Bron: EC 2013a.

6.4 Gevolgen EU ETS in de luchtvaart

In de berekening van de gevolgen van de 'airspace'-optie van het ETS voor de kosten en CO₂-emissies op intra-EU-vluchten en transcontinentale vluchten wordt verondersteld dat dit voorstel in 2015 zal worden ingevoerd.

Vrachtvervoer wordt vanwege de mindere omvang en afwijkende berekenings-systematiek verder genegeerd.

6.4.1 Vluchten binnen de EER

Binnen de EER maakt de omvang van de 'airspace' (200 of 12 nautische mijlen) uiteraard geen verschil voor de uitkomsten. Het ETS leidt tot een toename van de kosten van gebruik van kerosine van 2,8% in 2015. Gebruik makend van het kostenaandeel van kerosine in de ticketprijs (ongeveer 20%) en het verbruik per passagierskilometer (ongeveer 6 liter per 100 pkm) zullen de kosten van het ETS per 100 passagierskilometer in 2015 ongeveer € 0,02 bedragen. Dit is een toename van ongeveer 0,6% van de totale kosten. De vraag naar luchtvaart is daardoor ongeveer 0,5% lager dan het geval zou zijn zonder het EU ETS. Deze vermindering van de vraag is voor ongeveer de helft een verschuiving naar andere modaliteiten, en voor de andere helft vraaguitval.

In de komende jaren zal, zolang de ETS-prijs stijgt, er nog wel sprake zijn van een lichte stijging in de ticketprijs, maar deze is dermate beperkt dat de vraaguitval eveneens beperkt is. Dit komt omdat de jaarlijkse *stijging* van de kerosineprijs als gevolg van de internalisering van CO₂-emissies zeer beperkt is (maximum van 0,25%) door slechts geringe toename van de ETS-prijs. De jaarlijkse afname van luchtvaartemissies zal hierdoor na 2015 zo'n 0,1% per jaar bedragen. Dit houdt in dat over de hele periode 2016-2030 emissies van de luchtvaart binnen de EER nog steeds toenemen.

In 2020 bedragen de kosten van het ETS per 100 pkm € 0,031. Ter vergelijking: het KiM (2012) raamde bij dezelfde koolstofprijs van € 10 per ton CO₂ dat de kosten per 100 Revenue-kilometer (d.w.z. betalende passagiers) in het oorspronkelijke ETS-voorstel € 0,0225 bedragen. Dit verschil wordt niet alleen veroorzaakt door andere aannames over de beladingsgraad van vliegtuigen, maar ook door het feit dat het oorspronkelijke ETS-voorstel voor alle vluchten van en naar de EU gold waar de kosten per passagierskilometer aanzienlijk lager liggen. De kosten lopen op tot € 0,062 per 100 pkm in 2030.



Tabel 12 Gevolgen invoering ETS binnen EER

	2015	2020	2030
Kosten per 100 pkm door ETS	€ 0,02	€ 0,03	€ 0,06

Bron: Dit rapport.

6.4.2 Transcontinentale vluchten

Voor vluchten van EER naar landen buiten dit gebied zal in de 'airspace'-optie sprake zijn van een deelname in het ETS naar rato van de afstand die afgelegd is binnen het Europese luchtruim. Dit zal leiden tot relatief lagere kosten voor passagiers dan voor vluchten binnen de EER.

Met uitzondering van vluchten binnen Europa en op het Midden-Oosten zijn de gevolgen voor ticketprijzen klein. Het regionale verschil komt vooral tot stand door een hoger aandeel van emissies binnen het Europese luchtruim op kortere routes. In 2015 is nog sprake van een daling van emissies variërend van 0,3% op vluchten naar Midden- en Zuid-Amerika tot en met 0,7% op vluchten naar het Midden-Oosten en 0,9% op vluchten naar de rest van Europa onder de 200 nm-optie, maar zelfs deze daling is onvoldoende om te compenseren voor de toename van emissies uit de gestage groei van luchtvaartactiviteiten. Na 2015 is de invloed van prijsbeleid beperkt, zelfs op vluchten naar de rest van Europa gaat het hooguit om een jaarlijkse afname van rond de 0,05%.

Tabel 13 Gevolgen invoering ETS buiten EER

Kosten per 100 pkm in €	Naar	Optie 200 nm			Optie 12 nm		
		2015	2020	2030	2015	2020	2030
	Afrika	0,007	0,01	0,02	0,003	0,006	0,01
	Rest Europa	0,014	0,02	0,05	0,01	0,017	0,03
	Verre Oosten	0,003	0,004	0,009	0,002	0,003	0,007
	Midden-Amerika	0,002	0,003	0,007	0,001	0,002	0,003
	Midden-Oosten	0,009	0,02	0,03	0,005	0,008	0,02
	Noord-Amerika	0,003	0,005	0,01	0,001	0,002	0,004
	Zuid-Amerika	0,002	0,003	0,007	0,001	0,002	0,004

Bron: Dit rapport.

6.5 Andere beleidsmaatregelen die invloed kunnen hebben op luchtvaartemissies

Naast de Europese beleidsmaatregelen die besproken zijn in Paragraaf 4.2 zijn er verschillende andere beleidsmaatregelen die invloed kunnen hebben op de vraag naar luchtvaart, luchtvaartemissies of de klimaateffecten van de luchtvaart. Hun effect hangt af van hun werkingwijze. Voor een aantal maatregelen lichten we die hieronder kort toe.

Een luchtvaartbelasting, zoals Nederland in 2010 heeft gehad en momenteel Duitsland, Frankrijk, het Verenigd Koninkrijk die kennen, verhoogt de prijs van tickets en beperkt daarmee de groei van de luchtvaart. Het effect hangt af van de hoogte van de belasting. Minder luchtvaart resulteert, ceteris paribus, in lagere emissies, maar een luchtvaartbelasting is meestal niet expliciet gericht op het terugdringen van emissies en is daardoor geen prikkel om bijvoorbeeld zuinigere vliegtuigen in te zetten, biobrandstoffen te gebruiken

of op andere manieren klimaateffecten te beperken. BTW op vliegtickets werkt op dezelfde wijze.

Een accijns op kerosine, die vanwege bilaterale luchtvaartverdragen alleen unilateraal toegepast kan worden op binnenlandse vluchten, zet aan tot een vermindering van brandstofverbruik. De werking lijkt op de werking van het ETS, met twee belangrijke verschillen. Ten eerste is een kerosineaccijns een belasting met een vast tarief, en niet een prijsprikkel waarvan de grootte afhangt van vraag en aanbod van emissierechten. Ten tweede is een accijns een belastingmaatregel en resulteert het niet in de aankoop van emissierechten uit andere sectoren, waardoor die sectoren hun emissies terugbrengen.



Referenties

Airbus, 2013

Global market forecast 2013-2032
Blagnac Cedex (Fr.) : Airbus S.A.S, 2013

BuZa, 2013

Minister van Buitenlandse Zaken, F.C.G.M. Timmermans
Twee Kamer der Staten Generaal
Fiche: Wijziging richtlijn EU ETS luchtvaart
Nr. 22 112 1739, vergaderjaar 2013-2014
Den Haag : Ministerie van Buitenlandse Zaken 22 november 2013

BNEF, 2011

Including aviation in the EU ETS : the burning question
In: Bloomberg New Energy Finance (BNEF), 25 October 2011

Boeing, 2013

Current Market Outlook 2013-2032
Beschikbaar via: <http://www.boeing.com/boeing/commercial/cmo/>

CE Delft, 2007a

Jasper Faber, Dagmar Nelissen (CE Delft), Steve Lowe, Adam Mason, Jan Veldhuis (MVA Consultancy)
IM plications of EU Emission Trading Scheme for Competition Between EU and Non-EU Airlines
Delft : CE Delft, 2007
Beschikbaar via:
http://www.ce.nl/publicatie/implications_of_eu_emission_trading_scheme_for_competition_between_eu_and_non-eu_airlines/814

CE Delft, 2007b

Bart Boon, Marc Davidson, Jasper Faber, André van Velzen
Allocation of allowances for aviation in the EU ETS : The impact on the profitability of the aviation sector under high levels of auctioning
Delft : CE Delft, 2007

CE Delft, 2008a

Jasper Faber and Karen Rensma
Left on High Seas : Global Climate Policies for International Transport
Delft : CE Delft, 2008
Beschikbaar via: http://www.ce.nl/publicatie/left_on_high_seas/845

CE Delft, 2008b

Marc Davidson, Jasper Faber, Sander de Bruyn
Competitiveness issues for Dutch aviation from EU ETS
Delft : CE Delft, 2008

CE Delft, 2009

J. (Jasper) Faber, A. (Andre) van Velzen, G.J. (Gerdien) van de Vreede
Hoe groen kunnen we vliegen? : De ontwikkeling van klimaatemissies van de luchtvaart en consequenties voor beleid
Delft : CE Delft, 2009
Beschikbaar via: http://www.ce.nl/publicatie/hoe_groen_kunnen_we_vliegen/949



CE Delft, 2010

Sander de Bruyn, Agnieszka Markowska, Femke de Jong, Mart Bles
In cooperation with Marc de Leeuw, Mathijs Gerritsen and Adriaan Braat
Does the energy intensive industry obtain windfall profits through the EU ETS?
: An econometric analysis for products from the refineries, iron and steel and
chemical sectors
Delft : CE Delft, 2010

CPB, 2006

Uitgangspunten voor luchtvaartscenario's 2020 en 2040
Den Haag : Centraal Planbureau CPB), 2006

CPB/MNP/RPB, 2006

Welvaart en Leefomgeving: Een scenariostudie voor Nederland in 2040
Den Haag : CPB/MNP/RPB, 2006

EC, 2005

CONSAVE 2050: Constrained scenarios on Aviation Emissions
Brussel : Europese Commissie , 2005

EC, 2008

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 (Text with EEA relevance)
Brussels : European Commission (EC), 2008

EC, 2011

White Paper : Roadmap to a Single European Transport Area - Towards a
competitive and resource efficient transport system. Brussels, 28.3.2011
COM(2011) 144 final
Beschikbaar via: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0144:FIN:EN:PDF>

EC, 2012

Questions & Answers on the proposal to temporarily 'stop the clock' under the
EU's Emission Trading System (EU ETS) for flights to and from European
Airports
Brussels : European Commission (EC), 2012

EC, 2013a

Impact Assessment : Accompanying the document Proposal for a Directive of
the European Parliament and of the Council amending Directive 2003/87/EC
establishing a scheme for greenhouse gas emission allowances trading within
the Community, in view of the implementation by 2020 of an international
agreement applying a single global market-based measure to international
aviation emissions, Commission Staff Working Document, SWD (2013) 430 final
Brussels : European Commission (EC), 2013

EC, 2013b

Voorstel voor een Richtlijn van het Europees Parlement en de Raad tot
tot wijziging van Richtlijn 2003/87/EG tot vaststelling van een regeling voor de
handel in broeikasgasemissierechten binnen de Gemeenschap, met het oog op
de tenuitvoerlegging tegen 2020 van een internationale overeenkomst die op
emissies van de internationale luchtvaart wereldwijd één marktgebaseerde
maatregel toepast , COM(2013) 722 final, 2013/0344 (COD)
Brussel : European Commission EC), 2013



ECN/MNP, 2005

Referentieramingen energie en emissies

Petten : ECN/MNP, 2005

Eurocontrol, 2010

Challenges of Growth 2013 : On the use of the 20 year forecast published in 2010

Brussels : Eurocontrol, 2010

Eurocontrol, 2012

Challenges of Growth 2013 : Scope, scenario's and challenges

Brussels : Eurocontrol, 2012

Eurocontrol, 2013a

Challenges of Growth 2013 : European Air Traffic in 2035

Brussels : Eurocontrol, 2013

Eurocontrol, 2013b

Challenges of Growth 2013 : European Air Traffic in 2050

Brussels : Eurocontrol, 2013

Forsyth, 2008

Peter Forsyth

The impact of climate change policy on competition in the air transport industry, discussion paper no. 2008-18

Paris : Joint Transport Research Centre, 2008

Greenaironline, 2013

European Parliament rapporteur proposes tougher emissions cap and fewer free allowances for revised Aviation EU ETS : News item 28 November 2013

Beschikbaar via: <http://www.greenaironline.com/news.php?viewStory=1793>

IATA, 2008

Air Travel Demand: Measuring the responsiveness of air travel demand to changes in prices and incomes

Geneva : International Air Transport Association (IATA), 2008

ICAO and FESG, 2008

Forecasting and Economic Analysis Support Group (FESG)

FESG CAEP/8 Traffic and Fleet Forecasts, CAEP-SG/20082-IP/02

Seattle : International Civil Aviation Organization (ICAO), 2008

ICAO and FESG, 2009

Review of aviation emissions-related activities within ICAO and internationally
Global Aviation CO₂ Emissions Projections to 2050, GIACC/4-IP/1

20/05/09

Montreal : International Civil Aviation Organization (ICAO), 2009

IPCC, 1999

Joyce E. Penner et al.(eds.)

IPCC special report: Aviation and the Global Atmosphere

S.l. : Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1999



KiM, 2012

J. Kolkman, S. Moorman, J. de Wit
De luchtvaart in het EU-emissiehandelssysteem : Gevolgen voor de
luchtvaartsector, consumenten en het milieu
Den Haag : Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM), Ministerie van
Infrastructuur en Milieu, 2012

Malina et al., 2012

Robert Malina, Dominic McConnachie, Niven Winchester, Christoph
Wollersheim, Sergey Paltsev, Ian A. Waitz
The impact of the European Union Emissions Trading Scheme on US Aviation
In: Journal of Air Transport Management, Vol. 19 (2012); p. 36-41

NLR, 2013

Quick-scan naar duurzame luchtvaart in 2050
Amsterdam : Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR), 2013

Özmen, 2012

Mehmet Özmen
Using pass-through of fuel prices as a proxy for carbon taxation responses in
the aviation industry
Beschikbaar via: [http://www.garsonline.de/Downloads/090705/papers/
Mehmet%20Ozmen%20GARSBremen.pdf](http://www.garsonline.de/Downloads/090705/papers/Mehmet%20Ozmen%20GARSBremen.pdf)

Rienstra, 2011

Sytze Rienstra
Update WLO luchtvaartscenario's en scenario-input Aeolus model
Amsterdam : Syconomy, 2011

PWC, 2005

Aviation Emissions and Policy Instruments
S.l. : PriceWaterhouseCoopers (PWC), 2005

Sectorakkoord, 2008

Duurzaamheid in beweging : Sectorakkoord mobiliteit, logistiek en
infrastructuur 2008-2020
Hoofdlijnenakkoord, december 2008
Beschikbaar via: [http://sectorakkoord.files.wordpress.com/2009/04/
sectorakkoord-duurzaamheid-in-beweging2.pdf](http://sectorakkoord.files.wordpress.com/2009/04/sectorakkoord-duurzaamheid-in-beweging2.pdf)

SEO/Rand Europe, 2006

Ontwikkeling Schiphol tot 2020-2040 bij het huidige beleid
Amsterdam : SEO, 2006

SEO et al., 2008

Actualisering ontwikkeling Schiphol tot 2020-2040 bij het huidige beleid
Amsterdam : SEO, 2008

Significance en SEO, 2011a

Actualisatie AEOLUS model: Technische aanpassingen, 8 April
S.l. : Significance en SEO, 2011

Significance en SEO, 2011b

Actualisatie AEOLUS model : Resultaten geactualiseerde
WLO-luchtvaart scenario's, 27 april
S.l. : Significance en SEO, 2011



Sijm et al., 2006

J. Sijm, K. Neuhoff, Y. Chen

CO₂ cost pass through and windfall profits in the power sector

In : Climate Policy, vol. 6 (2006); p. 49-72

Toru, 2009

Tuba Toru

How do sustained changes in cost of airlines influence air traffic

Beschikbaar via:

<https://www.eurocontrol.int/eec/gallery/content/public/document/eec/report/2010/Account%20Paper-TT290910.pdf>





Bijlage A Aannames CPB (2006) en SEO et al. (2008)

Tabel 2.1 Kwalitatieve scenariobeelden 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 arbeidmigratie 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	Vooral 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



Bijlage B Aannames Eurocontrol (Europa)

	A Global Growth	C Regulated Growth	C' Happy Localism	D Fragmenting World
Scenario conditions	High adaptability Europe outward perspective	Not very adaptable Europe outward perspective	Some adaptability Europe inward perspective	Very resistant to change Europe inward perspective
2035 traffic growth	High ↗	Medium →	Medium →	Low ↘
Passenger Demographics (Population)	UN High-fertility variant for all regions apart from Southern and Eastern Europe (Medium – fertility)	UN Medium-fertility variant for all regions	UN Medium-fertility variant for all regions apart from Eastern and Southern Europe (low – fertility variant)	UN Medium-fertility variant for all regions apart from Europe (zero migration variant)
Routes and Destinations (tourism)	Europe → External ↗	Europe → External ↘	Europe ↗ External ↘↘	Europe ↗ External ↘↘
Sensitivity to ticket price	Less sensitive, particularly outside Europe ↘↘	Base →	Base for Europe → Less sensitive outside Europe ↘	More sensitive, particularly inside Europe ↗↗
High-speed rail	54 city-pairs	54 city-pairs	54 city-pairs	42 city-pairs
Economic conditions GDP growth	Stronger ↗	Moderate →	Moderate →	Weaker ↘
Downward elasticity trends for all as markets mature. ESRA NW and North Atlantic most mature for all scenarios – lowest elasticity				
GDP elasticity	Higher elasticity ↗	Medium elasticity → but higher outside Europe (E - RoW)	Medium elasticity → but higher inside Europe (E - E)	Lower elasticity ↘ particularly E-E and E-RoW
EU Membership GDP boosts	Stronger political union ↗	Stable →	Stable →	Some fragmentation ↘
Free Trade	More, global	Limited	Limited	None
Price of travel Operating cost	Decreasing ↘↘	Decreasing ↘	Decreasing ↘	Increasing ↗
Fuel as % of operating cost	Decreasing ↘	Stable →	Stable →	Increasing ↗
Price of kerosene/barrel	Low ↘	Medium →	High ↗	High ↗
Ticket price trend	Short haul ↘↘ long haul ↗	Short haul ↘ long haul ↗	Short haul ↘ long haul ↗↗	Short haul ↗↗ long haul ↗↗↗
Structure Network	Middle-East hubs ↗↗ Europe ↘ Turkey ↗	Middle-East hubs ↗↗ Europe & Turkey ↗	Middle-East hubs ↗↗ Europe & Turkey ↗	No change →
Market Structure	Medium ↗↗ Large - Very Large ↗	Medium to Very Large ↗	Large ↗ Very Large ↗	Large ↗ Very Large ↗
Load factors	Low ↘	Medium →	High ↗	High ↗
Business aviation	Highest growth	Medium growth	Lowest growth	Lowest growth





Bijlage C Aannames CONSAVE 2050 (mondiaal)

Assumptions for 2020/2050	Unlimited Skies (ULS)	Regulatory Push & Pull (RPP)	Fractured World (FW)	Down to Earth (DtE)
Population/Billion	7.5/8.7		8.2/11.3	7.5/8.7
World GDP	57/180 Trillion \$	57/171 Trillion \$	40/82 Trillion \$	53/136 Trillion \$
GDP growth	3.9 % p. a.	3.8 % p. a.	2.4 % p. a.	3.2 % p. a.
Income per capita (10 ³ 1990 US \$) in 2050	20.8	19.8	7.2	15.6
Energy availability	Available	Available	Dependant upon region; scarcity after 2050 expected	Available, scarcity after 2050 expected
Peak of world oil production (incl. artificial oil)	2080	2050	2020	2020
Energy use EJ	700/1350	610/1100	600/970	580/810
Energy price (1990 = 1)	1.5/2	2/4	4/8	2/4
Environment	No catastrophic change	Significant change; main problems 2052-2058	Little change	Some alarming, but no catastrophic change
Technology development	Dynamism of technological innovation is broad-based; communication and transportation growth		Heterogeneous, partly incompatible, interchange problems	Rapid diffusion of post-fossil technologies
Political development	Market philosophy	Emission regulations	Regional differences	Pollution sources tightly controlled
Citizens' values	Global orientation, pragmatic solutions	Regulatory approach in environmental issues	Autarky, regional orientation	Environmental and safety concerns
Customer preferences	Convenient and flexible service and mobility	Cheap and environmentally okay	Security concerns	Stigmatisation of fast/international patterns
Aircraft technology	New very large aircraft available	Like ULS + hydrogen powered AC	Different standards	Introduction of hydrogen powered AC
Safety & Security	High standards	High standards (regulation)	High effort to ensure security	High standards
Market Development	Deregulation, strong competition	Controlled liberalisation, medium competition	Dominance of national carriers	Decrease in the number of airlines
Air transport supply&demand	Very high increase	High increase	Low growth in interregional flights	Decrease
Airport & ATM Capacity	Constraints	Capacity regulated	Depending to regions	No constraints, but low profitability
Aviation Costs	Lower specific costs	Lower specific costs	Higher (security & standards)	Higher specific costs

