



Luchtvaart en klimaat in de EU

Werkgroep Toekomst Luchtvaart (WTL)

Luchtvaart en klimaat in de EU

Amsterdam, 1 maart 2013

Inhoud

Samenvatting	1
1. Luchtvaart in een opwarmend klimaat	2
2. Economische gevolgen van een groeistop in de luchtvaart	4
3. Duurzame groei met hogesnelheidstreinen	5
4. Drie segmenten van de EU vervoermarkt.	6
5. Groeistop op luchthavens van de EU	7
Appendix. Scrutiny of the aviation emission reduction goals	9
Introduction	9
I. Global warming and aviation climate goals	10
II. Bio kerosene	12
III. Annual efficiency improvement	14
IV. Reduction of GHG emissions in 2050	16
Bronnen	19
Afkortingen	20

Dit rapport is bestemd voor beleidsmakers. De Appendix is van belang voor experts die de wetenschappelijke onderbouwing van onze conclusies willen nagaan. De Engelstalige versies van het rapport is te downloaden op: www.toekomstluchtvaart.nl

Auteurs

Hans Buurma
Bernard Gerard
Jaap de Groot
Jaap de Jong

Overnemen van teksten is toegestaan. Gaarne bij citeren vermelden:

Buurma, H. et al., (2013) *Luchtvaart en klimaat in de EU*, WTL, www.toekomstluchtvaart.nl



Werkgroep Toekomst Luchtvaart
www.toekomstluchtvaart.nl
wergroep@toekomstluchtvaart.nl

Working Group Future of Aviation
www.aviationandclimate.com
discussion@aviationandclimate.com

Samenvatting

Aanzienlijke toename van CO₂-uitstoot luchtvaart vereist urgente ingreep

VN-organisatie ICAO en de luchtvaartindustrie hebben in 2010 maatregelen aangekondigd om de CO₂-uitstoot van een groeiende luchtvaart in 2050 te halveren ten opzichte van 2005. De toetsing in dit rapport wijst echter uit dat dit doel volstrekt onhaalbaar is. De uitstoot van broeikasgassen wordt niet verminderd, maar zal in 2050 *drie tot vier keer zo hoog worden* als in 2005. Zelfs zonder groei na 2020 zouden emissies en opwarmingseffecten in 2050 uiteindelijk vrijwel gelijk zijn aan die in 2005.

Deze onthutsende constatering wordt op grond van wetenschappelijke bronnen onderbouwd. ICAO en de luchtvaartindustrie overschatten de effecten van biokerosine en toekomstige brandstofbesparingen en pleiten desondanks voor een “duurzame groei” van de luchtvaart die juist slecht is voor het klimaat. Terwijl vooraanstaande wetenschappers nu al waarschuwen voor een te hoge opwarming van vier graden, zal de luchtvaart haar aandeel daarin nog aanzienlijk uitbreiden. De bijbehorende aantasting van de mondiale economie zal in dat geval ook de luchtvaart zelf treffen.

Geen nieuwe startbanen, meer hogesnelheidstreinen en minder vliegen

Dit rapport is een dringende oproep aan de EU en haar lidstaten om de Europese luchtvaartemissies te beperken door luchthavens niet meer uit te breiden. Het is onnodig, zelfs schadelijk om de luchtvaart met de economie te laten meegroeien. Er zijn andere mogelijkheden om op economische ontwikkelingen in te spelen zonder luchtvaartgroei en met aanzienlijk minder schade aan het klimaat.

Het internationale vervoer kan sterk worden uitgebreid door luchtvaart nu echt te integreren met het uitbreidende Europese netwerk van hogesnelheidstreinen. Treinen zullen binnen enige decennia op vrijwel volledig hernieuwbare elektriciteit rijden. Dit in tegenstelling tot vliegtuigen, die zelfs na 2050 *niet klimaatneutraal* kunnen worden. Zulke futuristische vliegtuigen bestaan zelfs nog niet op papier. Luchtvaartmaatschappijen kunnen een groot deel van hun Europese passagiers met hogesnelheidstreinen vervoeren en de vrijkomende luchthavencapaciteit inzetten voor een groeiende vraag naar zakelijk en maatschappelijk verkeer op langere afstanden. Versnelde inschakeling van hogesnelheidstreinen voor internationaal zakelijk verkeer is pure winst voor zowel de economie als het klimaat.

Vliegtuigen veroorzaken per passagierkilometer 17 keer zoveel opwarming als hogesnelheidstreinen. Treinen worden snel klimaatvriendelijker, vliegtuigen nauwelijks, dus het verschil wordt nog veel groter. Vliegen binnen West-Europa moet dringend ter discussie worden gesteld.

Bovendien zal zich wellicht een verschuiving voordoen van *het vrijetijdsverkeer naar het zakelijk en maatschappelijk belangrijke luchtverkeer.* De vrijetijdsmarkt is zeer prijsgevoelig. Als vliegen duurder wordt vanwege de steeds duurdere olie en hogere CO₂-emissieheffingen, zal afnemend vrijetijdsverkeer ruimte maken voor nog verdere groei van het zakelijk verkeer, zonder toename van luchtverkeer. Ook kunnen zakelijke en vrijetijdspassagiers worden gestimuleerd om meer gebruik te maken van *video conferencing* en af te zien van vluchten die nauwelijks aan de economie en samenleving bijdragen.

Conclusie: Europese regeringen moeten de uitbreiding van startbanen stoppen. Desondanks kan het zakelijke en maatschappelijk noodzakelijke vervoer een aanzienlijk groeipotentieel worden geboden.

1. Luchtvaart in een opwarmend klimaat

Opwarming. Het klimaat wordt warmer door uitstoot van broeikasgassen (vooral CO₂) uit menselijke activiteiten. De Wereldbank (2012) en Stern (2013) waarschuwen dat de wereld op weg is naar een opwarming van vier graden. Stern zegt dat sommige landen, zoals China, de ernst van de risico's beginnen te onderkennen, maar dat regeringen nu krachtig moeten optreden om hun economie te verleggen naar een technologie die minder energie-intensief is en duurzamer voor het milieu. Om de opwarming tot twee graden te beperken moet elk land, elke industrie en elk individu offers brengen, uiteraard ook de luchtvaartindustrie.

Bijdrage van de luchtvaart. De International Civil Aviation Organization (ICAO 2010b) heeft Resolution A37-19 over de duurzaamheid van luchtvaart uitgebracht. Zij merkt op dat de luchtvaartindustrie de collectieve verplichting op zich heeft genomen om de uitstoot van CO₂ te verminderen tot 50% in 2050 ten opzichte van 2005. ICAO geeft daarvoor de volgende maatregelen aan:

- Jaarlijkse brandstofbesparing van 2% van 2010 tot 2050
- Invoering van duurzame alternatieve brandstoffen (biokerosine) voor de luchtvaart

ICAO gaat uit van een “duurzame groei van de internationale luchtvaartindustrie” en stelt dat reductie-maatregelen de groei van het vervoer in ontwikkelende economieën niet negatief mogen beïnvloeden.

Kritische toetsing. In de Appendix *Scrutiny of the aviation emission goals* worden deze doelen kritisch tegen het licht gehouden, uitgaande van de volgende vragen:

-
1. Hoe effectief kunnen biobrandstoffen de CO₂-uitstoot van de luchtvaart verminderen?
 2. Hoe realistisch is de verwachting van een voortdurende brandstofbesparing van 2% per jaar tussen 2010 en 2050?
 3. Zullen biobrandstof en brandstofbesparingen de luchtvaartindustrie in staat stellen om de uitstoot van CO₂ te verminderen tot 50% in 2050 ten opzichte van 2005, indien de luchtvaart zou doorgaan met groeien? Wat te zeggen van de opwarming door CO₂ en niet koolstofgebonden broeikasgassen van luchtvaart?
-

Volgens het Internationale Energie Agentschap (IEA 2011) zal slechts een beperkte hoeveelheid bio-brandstof voor de mondiale luchtvaart beschikbaar zijn in 2050. Die zal vanwege het groeiend brandstofgebruik circa 21% tot 30% bedragen van de totale hoeveelheid benodigde brandstof in 2050. De efficiency van fossiele CO₂-reductie door dergelijke biobrandstoffen wordt geschat op 50%. Het reductie-effect zal dan slechts 10% tot 15% bedragen.

De verwachte 2% jaarlijkse brandstofbesparing is veel optimistischer dan de bevindingen van Peeters et al. (NLR 2005). De technologische ontwikkeling van straalvliegtuigen vanaf de jaren zestig is in zijn laatste fase, namelijk nu nog ongeveer 1% per jaar, geleidelijk afnemend tot jaarlijks 0,7% in 2050. Verbeteringen door zeer innovatieve technologie mogen niet voor 2050 worden verwacht. Ontwerpen van volledig klimaatneutrale vliegtuigen zijn onbekend.

Aan de hand van deze bevindingen, twee groeiscenario's van IPCC (1999) en de onderzoeksresultaten van Lee et al. (2009) over broeikasgassen van de luchtvaart, zijn schattingen gemaakt van brandstofgebruik, de CO₂-uitstoot en de opwarmende effecten van zowel CO₂ als niet koolstofgebonden broeikasgassen van luchtvaart in 2050. Als derde scenario is een denkbeeldige situatie meegenomen waarin de luchtvaart na 2020 niet meer groeit.

Conclusie van de toetsing. In een realistisch groeiscenario van IPCC zullen in 2050 *zowel de uitstoot van CO₂ als de gecombineerde opwarmingseffecten van alle broeikasgassen (inclusief niet koolstofgebonden) van luchtvaart bijna vier keer zoveel bedragen als in 2005.* Dit is het gevolg van het lagere reductie-effect van biobrandstoffen, de bescheiden brandstofbesparingen en een brandstofgebruik in 2050 van bijna vier keer de hoeveelheid in 2005. In een iets minder realistisch scenario van IPCC met een lagere groei

zullen de emissies en opwarmingseffecten in 2050 twee tot drie keer zo hoog zijn als 2005. Bij nulgroei na 2020 zouden de emissies en opwarmingseffecten in 2050 ongeveer gelijk zijn aan die in 2005. *Het doel van de luchtvaartindustrie om de CO₂-emissies in 2050 terug te brengen tot 50% van die in 2005 is alleen haalbaar als de luchtvaart na 2020 zou krimpen.*

Gevolgen van luchtvaartgroei. Het is onwaarschijnlijk dat een wereld, die veel moeite doet om zijn broeikasgasemissies in voldoende mate te reduceren, een dergelijke uitzondering van de luchtvaart zal aanvaarden. De vervoersector buiten de luchtvaart zal een gelijk speelveld eisen wat betreft reductieverplichtingen. Zij zal de uitzonderlijke positie waar de luchtvaart op aanstevent, niet accepteren. Vervoermiddelen als treinen, bussen en auto's zullen binnen enige decennia bijna volledig klimaatneutraal zijn. Straalvliegtuigen hebben dat vooruitzicht niet.

Intussen blijft de luchtvaart groeien en het broeikasgasprobleem steeds groter maken. Als dit een van de oorzaken zou worden van een opwarming van vier of meer graden, dan zou de luchtvaartindustrie niet alleen aan de instorting van de wereldeconomie bijdragen, maar ook aan zijn eigen ondergang. In zijn boek *Zes graden* zegt Mark Lynas (2007): "De instorting van de beschaving zal als de vernietigende drukgolf van een neutronenbom over de aardbol rollen". Zijn uitgesproken samenvatting is te horen op [Youtube](#).

Ambitieuze doelstellingen. Volgens CE Delft (Faber et al., 2009) is "een voldoende bijdrage aan de wereldwijde klimaatdoelen alleen mogelijk met een beperking van het vliegverkeer".

De combinatie van reductieplannen van de luchtvaartindustrie en ICAO toont een absurditeit: enerzijds een indrukwekkende maar feitelijk onhaalbare emissiereductie beloven en er anderzijds er van uitgaan dat de luchtvaart moet blijven groeien.

ICAO lijkt echter wel iets realistischer te zijn door toe te geven dat "het onwaarschijnlijk is dat het ambitieuze doel van de 2% jaarlijkse brandstofbesparing die mate van reductie zal opleveren die nodig is om de bijdrage van de luchtvaart aan klimaatverandering in absolute zin te stabiliseren en daarna te verminderen, en dat *ambitieuze doelstellingen* moeten worden overwogen die de luchtvaart duurzaam maken. (...) Om een duurzame luchtvaart te bevorderen moet in brede zin worden gewerkt aan technologie en normen, en zijn operationele en marktgerichte maatregelen (MBM: market-based measures) nodig om de uitstoot te verminderen." Klaarblijkelijk leiden dergelijke maatregelen tot kostenverhoging, maar ze zullen de luchtvaartgroei als zodanig niet direct begrenzen. De 'ambitieuze doelstellingen' van ICAO zouden eigenlijk gericht moeten zijn op een drastische beperking van de groei. Het is echter de vraag of de luchtvaartindustrie dat ooit zal aanvaarden.

Effectieve groeibeperking na 2020 zou minstens de toename van de uitstoot kunnen stoppen. Eigenlijk is zelfs dat onvoldoende om de toegezegde reductie van 50% CO₂ te realiseren, want die vereist een aanzienlijke krimp van de luchtvaart.

In 2011 heeft de Britse regering besloten de luchthavens van Londen niet verder uit te breiden om milieu en klimaat te sparen. Binnenlandse vluchten moesten door hogesnelheidstreinen worden vervangen. Een breekpunt in het politieke proces was de bevinding dat uitbreiding van luchthavens niet essentieel bleek te zijn voor een volgroeiende economie, vanwege de vele alternatieven om nieuwe werkgelegenheid te scheppen (Boon, CE Delft 2008).

In 2012 voerde de luchtvaartsector echter een lobby om een nieuwe luchthaven in de Theemsmond aan te leggen.

Conclusie: de luchtvaart moet op zijn minst na 2020 ophouden met groeien om de broeikasgasemissies niet te laten toenemen.

2. Economische gevolgen van een groeistop in de luchtvaart

Oppositie. Het opleggen van grenzen aan de groei zal op hevige oppositie stuiten, zowel van de luchtvaartindustrie als van politici, die beide luchtvaartgroei opvatten als een vanzelfsprekend onderdeel van economische groei. Het streven naar groei is stevig verankerd in de zakelijke strategie van de luchtvaartindustrie. Het adagium is “Groei moet, stilstand is achteruitgang”. Luchtvaartmaatschappijen, luchthavens en vliegtuigfabrikanten proberen constant hun winsten en aandeelhouderswaarden te verhogen. Sterke concurrentie en een prijsoorlog tussen luchtvaartmaatschappijen leiden tot smalle winstmarges, hoge brandstofprijzen zelfs tot verliezen. Luchtvaart betekent zoveel mogelijk passagiers naar zoveel mogelijk bestemmingen vervoeren tegen veel lagere tarieven dan die in andere vervoermodaliteiten. Grote hubs concurreren met elkaar om nog meer overstappende passagiers aan te trekken en hun aandeel in de wereldmarkt te vergroten.

Het economische argument. Een algemeen gebruikelijk argument is dat luchtvaart goed is voor de economie en met de economie moet meegroeien of zelfs dat de werkgelegenheid in gevaar zou komen als luchtvaart niet meer zou groeien. In ontwikkelingslanden met een lage industrialisatiegraad en weinig werkgelegenheid mag dat waar zijn, maar niet in welvarende ontwikkelde landen waarin een volgroeiende economie veel alternatieven biedt voor nieuwe werkgelegenheid en bedrijfsvestigingen die niet afhankelijk zijn van luchtvaartgroei. In de EU is bescherming van werkgelegenheid geen valide argument voor de uitbreiding van luchthavens (Boon et al., 2008). De Schipholregio sterk afhankelijk maken van luchtvaartgebonden bedrijfsleven brengt het risico met zich mee van een eenzijdige, conjunctuurgevoelige economie (WTL 2012).

Een groeistop van de luchtvaart zou wel nadelig kunnen zijn voor de economie en samenleving als een groeiende marktvaart van reizen met een *zakelijk of maatschappelijk doel* niet kan worden opgevangen. Zakenreizen leveren een directe bijdrage aan de economie, reizen met een maatschappelijk doel zijn goed voor de kwaliteit van de samenleving. Voor de vrijetijdsmarkt zou het nadeel van een groeistop minder groot zijn. Inkomend toerisme draagt weliswaar bij aan de welvaart van een land, maar uitgaand toerisme en vakantie reizen hebben weer een negatieve invloed op het bruto nationaal inkomen (Boon et al.). Bovendien zijn er veel alternatieven voor vrijetijdsvakanties die de welvaart en samenleving geen schade toebrengen.

Conclusie: Maatregelen die de luchtvaartgroei beperken, dienen de vervoermarkt voor zakelijke en maatschappelijke doeleinden te ontzien.

Politieke wil. De luchtvaartindustrie stelt bij publiek en overheid de noodzaak om te groeien voor als een macro-economisch vereiste. Op grond daarvan verwacht zij dat regeringen de luchtvaartgroei steunen. IATA (2010) zegt: “regeringen of luchthavens moeten in een adequate infrastructuur investeren om gelijke tred te houden met de vraag van luchtvaartmaatschappijen. (...) Er is een groot aantal redenen waarom luchthavens niet aan de vraag kunnen voldoen, maar gebrek aan politieke wil is waarschijnlijk de hoofdoorzaak.” Kan de luchtvaartindustrie voortzetting van overheidssteun verwachten met het oog op de toenemende opwarmingseffecten? Stel dat de politieke wil voor bescherming van het klimaat sterk genoeg is, zijn regeringen dan wel in staat de toename van de opwarming te stuiten door de luchtvaartgroei te beperken, zonder de economie en de kwaliteit van de samenleving schade toe te brengen?

Zeker zijn ze dat. Ze kunnen bijvoorbeeld de uitbreiding van startbanen en de toename van het aantal vluchten op luchthavens een halt toeroepen. Om de economie en de samenleving te beschermen, kunnen ze tegelijk internationale vervoersmodaliteiten ontwikkelen die duurzamer zijn dan luchtvaart. Zoals de hogesnelheidstrein.

3. Duurzame groei met hogesnelheidstreinen

Luchtvaart is niet het enige middel voor internationaal vervoer. Reizen naar nabijgelegen bestemmingen tot circa 800 km binnen Europa kunnen plaatsvinden met hogesnelheidstreinen (en tot 1200 km met supersnelle treinen) met een gelijke of lagere reistijd (figuur 1 en Faber et al., CE Delft 2009). Het hi-speed-netwerk van de EU heeft een enorme capaciteit, zodat het miljoenen overstappende passagiers kan accommoderen van de aanliggende grote luchthavens (figuur 2). Hogesnelheidstreinen worden dan veel intensiever gebruikt, waardoor de exploitatie verbetert en de momenteel nog wat hoge tarieven kunnen worden verlaagd.

Een groot voordeel is dat hogesnelheidstreinen nu al 17 keer minder opwarming veroorzaken dan vliegtuigen per passagierkm (tabel 1). Ze zullen, in tegenstelling tot vliegtuigen, bijna klimaatneutraal worden binnen enige decennia, wanneer ze door volledig hernieuwbare elektriciteit worden aangedreven. Het nu al aanzienlijke verschil wordt dus nog veel groter. Bovendien zal het pan-Europese vervoerssysteem niet onderhevig zijn aan de prijseffecten van steeds schaarser wordende olie. Vliegen binnen West-Europa moet dringend ter discussie worden gesteld.

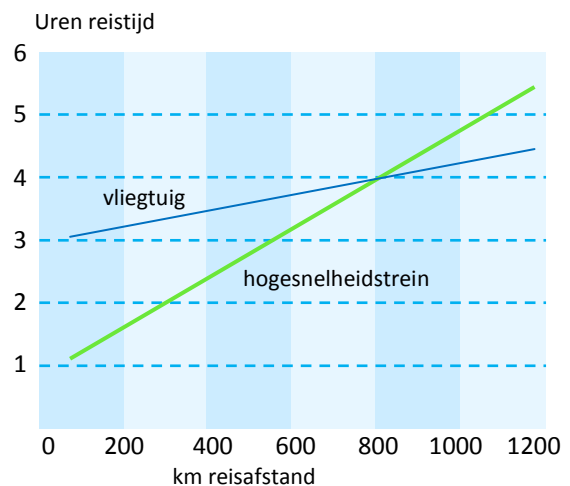
Tabel 1 Energiegebruik vervoer (Mc Kay 2009)

Vervoermiddel	Energie kWh/100pk
Auto's (1 passagier)	80
Auto's (2 passagiers)	40
Gemiddeld vliegtuig	51
Gemiddelde hogesnelheidstrein (Japan)	6

Hogesnelheidstreinen hebben 8,5 keer minder energie nodig per passagierkm dan vliegtuigen. Als de CO₂-uitstoot per ton brandstof van beide ongeveer gelijk is, zijn de CO₂-emissies van vliegtuigen per passagierkm 8,5 keer zo hoog als die van hogesnelheidstreinen.

Aangezien de broeikasgassen van vliegtuigen ongeveer twee keer zoveel opwarming veroorzaken als alleen CO₂, veroorzaken vliegtuigen per passagierkm *17 keer zoveel opwarming als hogesnelheidstreinen..*

Figuur 1. Reistijd van hogesnelheidstreinen versus vliegtuigen (Faber et al., CE Delft, 2009)



Figuur 2 Bereik van hogesnelheidstreinen van 1000 km rond de grote EU luchthavens



Conclusie: Het Europese netwerk van hogesnelheidstreinen biedt vier voordelen boven korte Europese vluchten:

- Grote capaciteit voor groei van het internationale vervoer
- Veel minder energiegebruik per passagierkm
- Aanzienlijk minder opwarmingseffecten die nog verder zullen verminderen
- Niet afhankelijk van steeds duurdere olie

4. Drie segmenten van de EU vervoermarkt.

Welke economische en maatschappelijke effecten heeft de combinatie van een niet groeiende luchtvaart en een wel groeiend vervoer per hogesnelheidstrein? Om deze vraag te beantwoorden kan de internationale vervoermarkt in de EU in drie segmenten worden verdeeld:

1. Het *Hi-speedsegment*: alle luchthavenpassagiers op bestemmingen binnen het bereik van het EU hispeed-netwerk waarmee de luchthavens verbonden zijn. Zie figuur 2 hierboven.
2. Het *Zakelijk/maatschappelijke segment* van luchthavenpassagiers op bestemmingen buiten het bereik van het hierboven genoemde EU hispeed-netwerk.
3. Het *Vrijetijdsegment* van luchthavenpassagiers die voor persoonlijke doeleinden reizen, eveneens op bestemmingen buiten het bereik van het hierboven genoemde EU hispeed-netwerk.

Segmenten op Schiphol. Om een indruk te krijgen van de omvang van deze segmenten is een schatting gemaakt voor Schiphol (Traffic Review 2011; zie tabellen 2A en B hieronder). Elk van de drie segmenten blijkt ongeveer een derde te omvatten van het totaal aantal van 50 miljoen passagiers. De verhoudingen kunnen in andere luchthavens van de EU anders liggen, maar de Hi-speed- en Vrijetijdsegmenten zullen ook daar vele miljoenen passagiers omvatten.

Tabel 2A Potentiële hi-speed passagiers Schiphol (2011)

Origin/ Destination	Mln pass.in 2011	Hi-speed poten- tieel per O/D	Hi-speed potent'l in mln pass
UK	7,3	80%	5,8
Spanje	4,3	50%	2,1
Duitsland	3,3	90%	3,0
Italië	2,7	75%	2,0
Frankrijk	2,2	90%	2,0
Zwitserland	1,5	75%	1,1
Denemrkn	0,6	50%	0,3
Oostenrijk	0,3	50%	0,2
Totaal	22,2		16,5

Tabel 2B Schatting omvang segmenten Schiphol (2011)

Het potentiële <i>Hispeedsegment</i> bedraagt 16,5 miljoen passagiers (Tabel 2A). Het aantal passagiers dat buiten bereik van hispeed reist bedraagt 50 miljoen totaal minus 16,5 miljoen hispeed, is 33,5 miljoen passagiers in 2011.
Het <i>Zakelijk/maatschappelijke segment</i> omvat de categorieën zakelijk (33%), Congres/studie (4%) en de helft van familiebezoek (10%), totaal (47% van 33,5 miljoen=) 15,7 miljoen passagiers. Het <i>Vrijetijdsegment</i> omvat alle overige passagiers (17,8 miljoen).
Elk van de drie segmenten omvat ongeveer <i>een derde van het totaal</i> .

Groei van hi-speed en zakelijk/maatschappelijk vervoer. Stel dat de economie een groeiende vraag vertoont naar zakelijk en maatschappelijk vervoer, hoe kunnen luchtvaartmaatschappijen die bedienen als luchthavens niet meer kunnen groeien en slots (vluchtvergunningen) schaars zijn? Ze kunnen een groot deel van hun Europese passagiers met hogesnelheidstreinen vervoeren en de vrijkomende luchthavencapaciteit inzetten voor een groeiende vraag naar zakelijk en maatschappelijk verkeer op langere afstanden. Daardoor kan het Zakelijk/maatschappelijke segment op EU luchthavens nog aanzienlijk groeien.

Er zal zich nog een groeimogelijkheid voor dit segment voordoen als de luchtvaarttarieven hoger worden, bijvoorbeeld wegens hogere toeslagen op broeikasgassen en verdubbelende olieprijsen (IMF, 2012). De vrijetijdsmarkt is prijsgevoeliger dan de zakelijke markt, dus zal de vraag naar lange vrijetijdstreizen afnemen of verschuiven naar alternatieve bestemmingen binnen Europa. Ondanks het beperkte aantal slots op luchthavens zal dit het zakelijk/maatschappelijke segment de mogelijkheid bieden tot relatieve groei. Het luchtvaartnetwerk behoudt zijn omvang, maar er vindt een verschuiving plaats van vrijetijdstreizen naar meer zakelijk en maatschappelijk vliegverkeer.

5. Groeistop op luchthavens van de EU

Luchthavencapaciteit beperken. De EC en de lidstaten van de EU vervullen met hun luchthavenbeleid een sleutelrol in het beheersen van de luchtvaartgroei. De Europese luchtvaart is een van de grootste ter wereld. Als investeringen in uitbreiding van luchthavens en startbanen uitblijven zal de toename van opwarmingseffecten binnen de perken blijven.

Door een verschuiving van niet-duurzame luchtvaart binnen Europa (17 keer zoveel opwarming, zie hoofdstuk 3) naar duurzame hogesnelheidstreinen, kan de klimaatvriendelijke kwaliteit van het internationale vervoer aanzienlijk groter worden. De EC en lidstaten moeten dan de politieke wil opbrengen om de groei van luchtvaart vanwege de bijbehorende opwarming te beperken.

De meeste hubs in de EU zijn momenteel aan de grenzen van hun baan- en luchtruimcapaciteit. De EC en lidstaten zouden voorgenomen uitbreidingen van luchtvaartfaciliteiten kritisch onder de loep moeten nemen, met het inzicht dat elke uitbreiding meer opwarming met zich meebrengt en dat de economische voordelen in de meeste gevallen beperkt zijn vanwege de alternatieve groeimogelijkheden voor het economisch en maatschappelijk belangrijke vervoer.

Aanbevolen stappen

1. Informeer ICAO en de mondiale luchtvaartindustrie over het twijfelachtige karakter van de huidige plannen om de uitstoot te beperken. Eis effectieve maatregelen (inclusief groeibeperking) die de broeikasgasemissie van luchtvaart in de komende decennia daadwerkelijk zullen verminderen.
2. Neem een belangrijke prikkel voor luchtvaartgroei weg, door af te zien van de uitbreiding van baan-capaciteit op luchthavens die aan hun grens zijn. In de maatschappelijke kosten/batenafwegingen van voorliggende uitbreidingen dienen alsnog de extra opwarmende effecten van de extra aan te trekken luchtvaart te worden meegenomen.
3. Investeer op korte termijn in hispeed-netwerken en de ondersteunende treinverbindingen, die met slechts geringe klimaatgevolgen verder kunnen groeien. Stimuleer een betere integratie van luchtvaartnetwerken met hispeed-netwerken. Een voorbeeld is het Belgisch/Nederlandse Air/Railticket systeem. In principe zou dit al spoedig kunnen gebeuren in dat deel van het hispeed-netwerk in Noordwest-Europa dat momenteel al uitstekend werkt. Spoor het publiek aan bij voorkeur gebruik te maken van hogesnelheidstreinen die aanzienlijk vriendelijker voor het klimaat zijn dan vliegtuigen. Schep wat betreft treintarieven een gelijk speelveld met die van luchtvaart binnen Europa. In april 2013 heeft SNCF de budget-hogesnelheidstrein *Ouigo* geïntroduceerd die met lowcost-luchtvaartmaatschappijen de prijsconcurrentie aangaat.
4. Voer caps (maximum aantal vluchten per jaar) en slotmanagement (start- en landingsvergunningen) in op alle commerciële internationale luchthavens in EU lidstaten, of ze nu wel of niet hun capaciteitsgrenzen hebben bereikt. Met caps wordt voorkomen dat onderbezette luchthavens luchtverkeer van overbezette luchthavens overnemen. Caps hebben positieve effecten op de duurzaamheid van het internationale EU-vervoer:
 - o Ze scheppen op alle concurrerende luchthavens een gelijk speelveld.
 - o Slotschaarste kan leiden tot hogere tarieven die luchtvaartmaatschappijen in staat stellen hun marges te verbeteren en hun marketing en kwaliteitsmanagement te richten op het minder prijsgevoelige zakelijk/maatschappelijke segment.
 - o Luchtvaartmaatschappijen zullen vanwege de slotschaarste bereid zijn hun EU vluchten door hi-speed verkeer te vervangen.
5. Stimuleer het publiek om meer gebruik te maken van digitale communicatiemiddelen en af te zien van vluchten die nauwelijks aan de economie en samenleving bijdragen.

Appendix. Scrutiny of the aviation emission reduction goals

Introduction

In this Appendix of the Report *Aviation and Climate in the EU* the statements of ICAO Resolution A-37 and the aviation industry on sustainable aviation as mentioned in Chapter 1 of the Report are scrutinized in the light of scientific references.

The need to reduce CO₂ and the relevant goals for reducing aviation emissions are shown in Chapter I. The effects of transition to bio kerosene are surveyed in Chapter II and those of fuel efficiency improvement in Chapter III. The resulting probable reduction of CO₂ and other non-CO₂ emissions are estimated in Chapter IV using some IPCC scenarios of aviation growth and fuel use increase.

I. Global warming and aviation climate goals

The climate is getting warmer due to greenhouse gas (GHG) emissions (especially of CO₂) caused by human activities. There still is a possibility to limit this warming to some two degrees, which is the lowest of various scenarios of IPCC (2007a, pages 791-792). This is supposed to be possible if the concentration of CO₂ in the atmosphere could stabilize to some 450 parts per million as from 2050. Various studies and models indicate that such stabilization would take place if GHG emissions of human activities are reduced quite substantially as from now on. See Figures 3 and 4 below.

Figure 3 Projected CO₂ emissions as a percentage of those in 2005, leading to stabilization of CO₂ concentration of 450 ppm (IPCC, 2007, SP450, Figure 10.22, page 792).

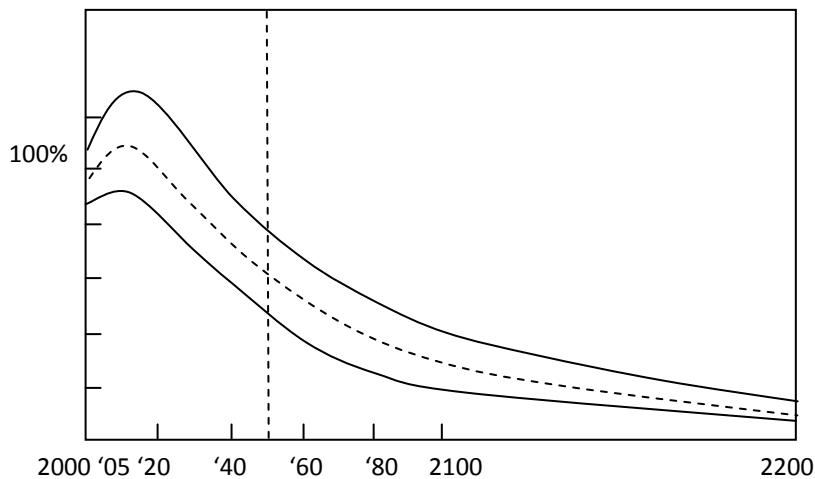
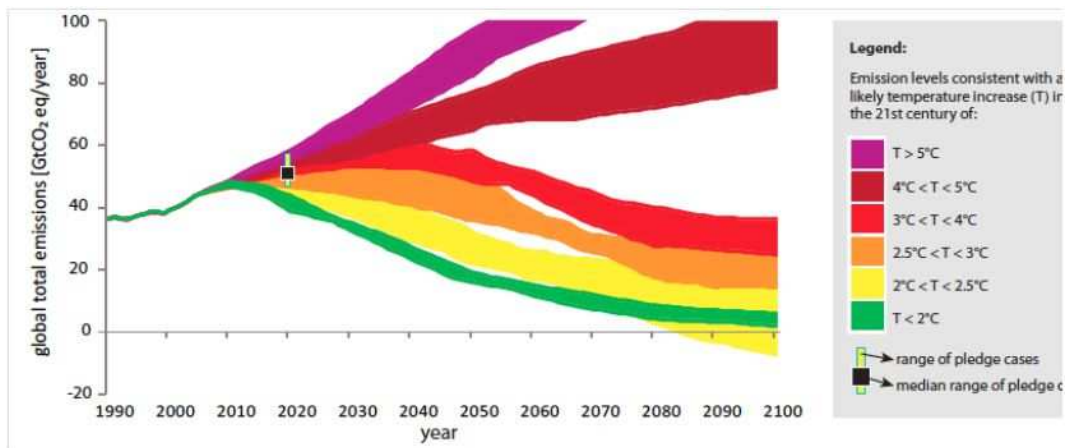


Figure 4 Emission levels consistent with a likely temperature rise. (Lee, 2012)



The “ETP 2010 BLUE Map Scenario of the OECD/IEA sets a target of 50% reduction in all energy-related CO₂ emissions by 2050 from 2005 levels.” (IEA 2011, Page 21). This scenario is aiming for “a significant increase in use of low carbon bio fuels (...) required by 2050 (...) to stabilize atmospheric greenhouse gases around 450 parts per million (ppm) to limit global temperature rise to below 2°C,”(IEA page 8).

Reduction of warming by aviation. The International Civil Aviation Organization (ICAO) published Resolution A37-19 (ICAO 2010b) on the sustainability of aviation. ICAO is noting the “collective commitments” of the “international aviation industry to continuously improve CO₂ efficiency by an average of 1.5 per cent per annum from 2009 until 2020, to achieve carbon neutral growth from 2020 and *reducing the carbon emissions by 50 per cent by 2050 compared to 2005 levels*”. Concerning CO₂ emissions this goal indicates the resolution of the aviation industry to at last reduce its carbon emissions in about the rate necessary to limit warming to two degrees. The aviation industry does not mention GHG emissions of aircraft other than CO₂ in this goal.

ICAO resolves in article 4 “that States and relevant organizations will work through ICAO to achieve a global annual average fuel efficiency improvement of 2 per cent until 2020 and an aspirational global fuel efficiency improvement rate of 2 per cent per annum from 2021 to 2050, calculated on the basis of volume of fuel used per revenue tonne kilometre performed”. Summarising, ICAO expects *a continuous annual fuel efficiency improvement of 2% from 2010 to 2050*. Next to improving fuel efficiency, ICAO is mentioning “*sustainable alternative fuels for aviation*” (Article 23g through i) as a measure to reduce CO₂ emissions.

In article 6 ICAO resolves: “that, without any attribution of specific obligations to individual States, ICAO and its member States with relevant organizations will work together to strive to achieve a collective medium term global aspirational goal of keeping the global net carbon emissions from international aviation from 2020 at the same level, taking into account: (...) (e) *the sustainable growth of the international aviation industry*. The impact of measures on growth of aviation is to be explored (article 8) but aviation growth is to be protected in developing countries, considering article 3.b: “emphasis should be on those policy options that will reduce aircraft engine emissions *without negatively impacting the growth of air transport especially in developing economies*”.

The scrutiny of these goals is based on the following questions:

-
1. How effectively could bio fuels reduce fossil CO₂ emissions of aviation? (Chapter II)
 2. How realistic is the expectation of a continuous annual fuel efficiency improvement of 2% from 2010 to 2050? (Chapter III)
 3. Would bio fuel and fuel efficiency improvement enable the aviation industry to reduce the carbon emissions by 50 per cent by 2050 compared to 2005 levels if aviation would continue to grow? What about warming effects of both CO₂ and non-carbon emissions? (Chapter IV)
-

II. Bio kerosene

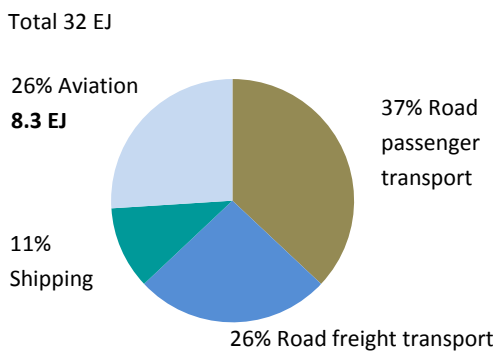
The scrutiny question is:

How effectively could bio fuels reduce fossil CO₂ emissions of aviation?

Lee et al (2009, p 3531) mention “fundamental questions of the economic and ecological viability of producing significant quantities of bio fuels, which are likely to find more practical uptake and usage in other transport sectors (Kahn-Ribeiro et al., IPCC 2007). In addition, there are increasing concerns over land-usage conflicts between food and fuel production in developing nations.”

An up-to-date comprehensive survey on available bio fuels and their effectiveness is made by OECD/IEA (2011). “Meeting the bio fuel demand in this roadmap would require (...) around 100 million hectares in 2050. This poses a considerable challenge given competition for land and feed stocks from rapidly growing demand for food and fibre.” (page 5). “To achieve the projected emission savings in the transport sector, ETP 2010 projects that sustainably produced bio fuels will eventually provide 27% of total transport fuel. Based on the BLUE Map Scenario, by 2050 bio fuel demand will reach 32 EJ” (page 21). According to the percentages in Figure 5, aviation is expected to be entitled for a bio kerosene share of 26% of these 32 EJ, being 8.3 EJ, independent of the actual fuel use.

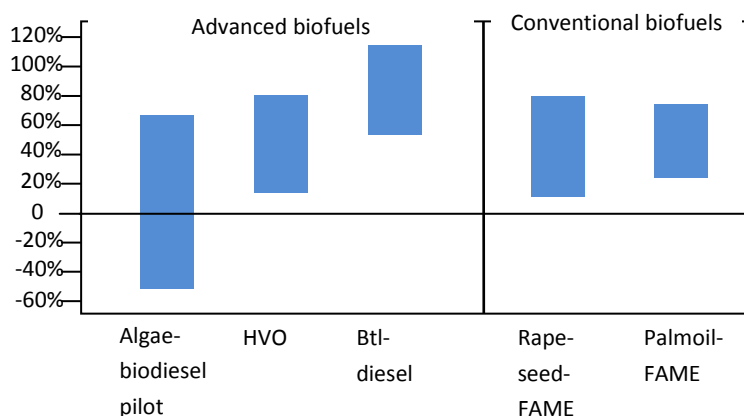
Figure 5 Global use of bio fuel in different transport modes in 2050 (Blue Map Scenario; IEA 2011 Fig 6)



million hectares in 2050. This poses a considerable challenge given competition for land and feed stocks from rapidly growing demand for food and fibre.” (page 5). “To achieve the projected emission savings in the transport sector, ETP 2010 projects that sustainably produced bio fuels will eventually provide 27% of total transport fuel. Based on the BLUE Map Scenario, by 2050 bio fuel demand will reach 32 EJ” (page 21). According to the percentages in Figure 5, aviation is expected to be entitled for a bio kerosene share of 26% of these 32 EJ, being 8.3 EJ, independent of the actual fuel use.

Concerning the actual percentage of life-cycle GHG emission savings by bio kerosene, this IEA survey refers to diesel replacements. According to Figure 6 below, the emissions reductions vary between 20% and 80%, averaging at 50%. They do not include emissions due to land use change bio production. For instance the land-use emissions of rapeseed biodiesel in some studies are some 40 g CO₂-equivalents per MJ. Consequently, these extra emissions would lower the emission reductions without

Figure 6 Life-cycle GHG balance of Diesel replacement bio fuels (IEA, 2011 pp 16-17)



land use change (20-80%) to about 13% - 52%. Therefore, the assumption of 50% emissions reduction by bio kerosene (without land use change effects) is rather realistic.

Note: The assessments exclude emissions from indirect land-use change. Emission savings of more than 100% are possible through use of co-products. BtL = biomass-to-liquids; FAME = fatty acid methyl esters; HVO = hydrotreated vegetable oil. Source: IEA analysis based on UNEP and IEA review of 60 LCA studies, published in OECD, 2008; IEA, 2009; DBFZ, 2009.

According to Lee et al.(page 3531) hydrogen powered aircraft would not emit CO₂ but “would produce more contrails than kerosene-powered aircraft because of increased water vapour emissions, which could potentially produce contrails that have a smaller optical depth than conventional contrails. Therefore, the benefit in terms of total RF of using LH2 fuel would only become apparent a few decades after introduction of this alternative fuel.” So hydrogen is not considered as a realistic option for bio kerosene.

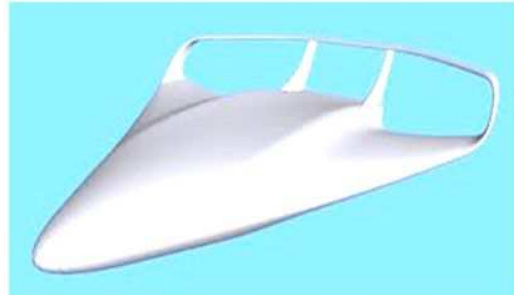
Conclusion: In 2050 global aviation will have a limited quantity of bio fuel at its disposal of 8.3 EJ of which the fossil CO₂ emission reduction efficiency will be some 50%. Hydrogen fuel is not a realistic option.

III. Annual efficiency improvement

The scrutiny question is:

How realistic is the expectation of a continuous annual fuel efficiency improvement of 2% from 2010 to 2050?

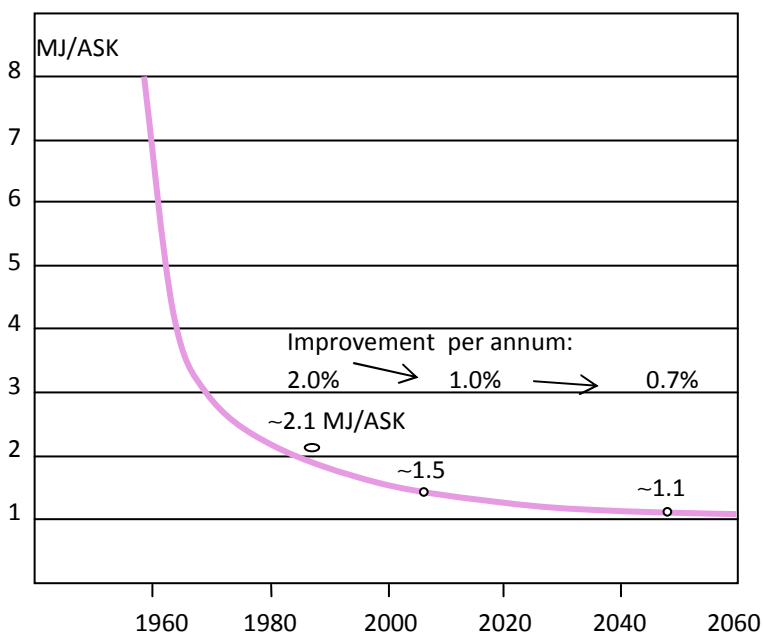
Lee et al. (page 3531) commented: “Whilst fuel efficiency of jet aircraft has been estimated to be improved by more than 60% over the past 40 years (...) in terms of emissions of CO₂ per passenger km (IPCC, 1999), many of these improvements have come from *step changes in technology* (e.g., turbojet-to-first generation turbofan engines such as those on B707/B727 and B747-100 aircraft and first-to-second-generation turbofans, e.g. those on B777 aircraft and its variants). Some efficiency gains have also come about through improved airframe aerodynamics and material changes that have reduced weight. In the near term, it is envisaged that most of the further improvements will be brought about through increased usage of lightweight materials.



According to the survey of Peeters et al. (2005) on improving fuel efficiency in the average jet fleet as from 1960, the annual improvements are decreasing following an asymptotic line approaching a “technical maturity around 2040”, followed by a very low annual improvement of fuel efficiency afterwards. From Peeters et al. (2005, page 22, graph in figure 10), it could be derived that the fuel efficiency between 1980 and 1990 improved 2% per year and between 1990 and 2005 1.5% per year. From 2005 it will initially improve by 1% per year, then gradually level off to 0.7% per year around 2050 and less afterwards. The total fuel use per ASK between 2005 and 2050 is estimated to be (1.1/1.5=) 73% of the level in 2005. Peeters’ graph is reproduced in Figure 7.

About the longer term between 2005 and 2050, Lee et al. (page 3531) comment: “IPCC (2007b) considered that more radical designs such as blended wing body and unducted-propfan engine aircraft (a large open-rotor blade) would be required to realize further step-change improvements (IPCC, 2007b).” Such technologic improvements are indeed expected in the EU by the research program of

Figure 7 Development of energy consumption MJ/ASK for the jet fleet. (Peeters et al., 2005, page 22, Figure 10)



Acare (2012) but the actual realization is still in its infancy. Certification, production and introduction in the total air fleet may take various decades. We conclude that such a step change after 2040 will not show in the total air fleet before 2060. Concepts of fully climate neutral airplanes presently do not exist.

The actual annual improvement of 2% between 1980 and 1990 was already leveling off to 1.5% after 1990. The innovation clearly has reached its

point of saturation. The assumption of ICAO of a continuing improvement of 2% per year as from 2005 would therefore be unlikely without those quite drastic technologic innovations not to be expected before 2060. If an advanced airplane like the Boeing Dreamliner (being some 20% more efficient) and concepts alike would be introduced into the global air fleet in some 20 years, still leaving a considerable percentage of less efficient older type planes, the annual improvement would be less than 1%. The improvement expectation of 1% in 2005, leveling to 0.7% in 2050 is more realistic.

Conclusion: The estimate of 2% annual fuel efficiency improvement up to 2050 is not at all realistic. The actual improvement will be 1% gradually decreasing to 0.7% in 2050. Improvements from very innovative technology are not to be expected before 2050. Concepts of fully climate neutral airplanes do not exist.

IV. Reduction of GHG emissions in 2050

The scrutiny question is:

Would bio fuel and fuel efficiency improvement enable the aviation industry to reduce the carbon emissions by 50 per cent by 2050 compared to 2005 levels if aviation would continue to grow? What about warming effects of both CO₂ and non-carbon emissions?

GHG emissions according to up-to-date science. Warming by aviation is described by IPCC (1999) and updated by Sausen et al. (2005), IPCC (2007b) and Fahey (2007). Lee et al. (2009) give a comprehensive and up to date insight of scientific knowledge on aviation in the global climate change.

The burning of kerosene in jet engines causes both fossil CO₂ emissions and at high altitudes non-CO₂ emissions. Lee et al. (page 3520): “Aviation emissions contribute to the radiative forcing (RF) of climate. Of importance are emissions of carbon dioxide (CO₂), nitrogen oxides (NO_x), aerosols and their precursors (soot and sulphate), and increased cloudiness in the form of persistent linear contrails and induced-cirrus cloudiness”. The CO₂ emissions are long-lived species that will cumulate in the atmosphere during many decades, whereas most non-CO₂ warming effects are short-lived and do not cumulate. (Lee et al. p 3523). Naturally, these effects will increase as aviation is growing. The IPCC estimates of the RF of aviation emissions in 1999 were updated by various studies, slightly increasing their scientific reliability. According to Lee et al. the total RF per year is about twice the RF of CO₂ alone.

Lee et al. (p 3530) calculated the increased emissions and resulting warming (RF) by aviation in 2050, based on aviation growth scenarios of IPCC and assumed technological improvements in the air fleet. No compensation of CO₂ by bio fuel was introduced. See Table 3 below. The amount of fuel burn in 2020 is based on an ICAO fleet forecast and the amounts in 2050 are based on four SRES storyline scenarios. The authors conclude that the total RF for these four scenarios are factors of approximately 4 and 3 times greater than total aviation RF in 2000. The estimate of year 2005 is introduced in Table 3 to compare to ICAO’s reference year. The increase of fuel use (2nd column in Table 3) is the result of both aviation growth and improved fuel efficiency of which the percentage is not given in these data.

Table 3 Aviation fuel usage and RFs for 2005, 2020 and 2050 (Lee et al. P 3530)

Year and scenario ¹	Fuel use Tg yr ⁻¹	CO ₂ emission Tg yr ⁻¹	RF CO ₂ mW m ⁻²	RF non-CO ₂ mW m ⁻²	RF total GHG ² mW m ⁻²
2005	232.4 ³	733 ³	28.0 ⁴	27.0	55.0
2020 ⁵	336.0	1060	40.8	43.6	84.4
2050 A1t1	816.0	2573	76.3	118.1	194.4
2050 A1t2	844.9	2665	77.7	105.3	183.0
2050 B2t1	568.8	1794	73.3	80.9	154.2
2050 B2t2	588.9	1857	74.5	72.0	146.5

1. According to IPCC scenarios A1 and B2

2. Excluding cirrus clouds from contrails

3. Lee et al. P 3525 Table 1

4. RF CO₂ and non-CO₂: Lee et al. p 3527 Table 2

5. According to ICAO prognosis

Growth of fuel use according to Peeters at al. In order to estimate the fuel use with an efficiency improvement according to Peeters et al., these findings (Chapter III above) had to be applied to the annual aviation growth that was assumed by Lee et al. in the scenarios in Table 3 above: (Lee et al. page 11) “the overall growth of aviation in scenario B2 is not greatly dissimilar to that of the mid-range IPCC (1999) scenario, Fa1, and the A1 scenario is likewise similar to the upper-range IPCC (1999 Table 9-10) scenario, Fe1.” These scenarios show gradually levelling growth percentages as shown in Table

4A. Scenario Fe1 (A1) is starting with 5.3% growth which is in agreement with the more up-to-date growth expectations of Lee et al. (page 3528). It is therefore considered as somewhat more realistic than scenario Fa1 (B2), which is based on a lower growth rate deriving from these expectations.

Extra scenario for no growth. To estimate the possibilities of limiting aviation growth, we added an extra scenario NAG (no aviation growth) based on A1 in 2005, assuming that the growth percentages will decrease up to 2020 and aviation will stop growing after 2020.

Introducing the efficiency improvement percentages of Peeters et al. In Table 4B the growth percentages of fuel use are calculated as the growth of aviation minus the improvement of fuel use as derived from Peeters et al., being 1% gradually decreasing to 0.7% (Figure 7 above). The increase of nominal fuel use in Table 4C is calculated for each year based on 232 Tg yr⁻¹ in reference year 2005 as given by Lee et al. in Table 3. The values for fuel use in scenarios A1 and B2 found in Table 4C are somewhat higher as those of Lee et al. in Table 3.

Table 4. Growth of aviation and fuel use

Year	4A			4B			4C		
	Annual aviation growth			Annual growth of fuel use incl. efficiency improvement 1% levelling to 0.7% (according to Peeters et al.)			Fuel use incl. efficiency improvement Tg yr ⁻¹		
	Scenario Fe1 (A1)	Scenario Fa1 (B2)	Scenario NAG	Scenario Fe1 (A1)	Scenario Fa1 (B2)	Scenario NAG	Scenario Fe1 (A1)	Scenario Fa1 (B2)	Scenario NAG
2005	5.3%	4.2%	5.3%	4.3%	3.2%	4.3%	232	232	232
2015	4.3%	3.4%	5.3%	3.3%	2.4%	4.3%	345	312	353
2020	3.8%	3.1%	0	2.8%	2.1%	-0.9%	407	353	396
2040	3.2%	2.5%	0	2.4%	1.7%	-0.8%	705	529	333
2050	3.1%	2.4%	0	2.4%	1.7%	-0.7%	894	627	301

Calculating GHG emissions based on fuel use and introduction of bio fuel. In Table 5 estimates are made of CO₂ emissions and RF in 2050, based on the following assumptions and calculations:

- 1) The values of CO₂ and RF of 2005 in Table 3 (Lee et al.) are the reference values.
- 2) The values for fuel use in Table 4C are also used as references.
- 3) The resulting CO₂ emissions and CO₂ RF in 2050 are lowered by the relevant compensation factors for bio fuel in Chapter II, according to the following calculations:
 - a. *Scenario A1t1*: 894Tg kerosene is (894*0.043=) 38.44 EJ of which a maximum of 8.3 EJ is bio fuel. The CO₂ compensation of this bio fuel is 50%, being 4.14 EJ. The non-compensated part of fuel will be (1-4.14/38.44)*894=797 Tg yr⁻¹. The CO₂ emissions of this are estimated as 797/816*2573 (Table 3)=2513 Tg yr⁻¹. The RF of CO₂ is estimated as 797/816 *76.3=74.5 mW m⁻²
 - b. *Scenario B2t1*: 627Tg kerosene is (627*0.043=) 26.96 EJ of which a maximum of 8.3 EJ is bio fuel. The CO₂ compensation of this bio fuel is 50%, being 4.14 EJ. The non-compensated part of fuel will be (1-4.14/26.96)*627=530 Tg yr⁻¹. The CO₂ emissions of this are estimated as 530/569*1794 (Table 3)=1671 Tg yr⁻¹. The RF of CO₂ is estimated as 530/569*73.3=68.3 mW m⁻².
 - c. *Scenario NAG after 2020*: 307Tg kerosene is (307*0.043=) 13.20 EJ of which a maximum of 8.3 EJ is bio fuel. The CO₂ compensation of this bio fuel is 50%, being 4.14 EJ. The non-compensated part of fuel will be (1-4.14/13.20)307=211 Tg yr⁻¹. The CO₂ emissions of this are estimated as 211/816*2573=665 Tg yr⁻¹. The RF of CO₂ is estimated as 211/816*76.3=20 mW m⁻².
- 4) The resulting RF of non-CO₂ emissions (not being compensated for) are estimated as follows, assuming that in this complex situation a linear approach is fair, using the fuel use figures of Tables 4 and 3 and the RF values of Table 3:
 - a. *Scenario A1t1*: (894/816)*118 (Table 3)= 129 mW m⁻².

- b. *Scenario B2t1*: $(627/569) \cdot 80.9$ (Table 3) = 89 mW m⁻²
 c. *Scenario NAG after 2020*: $(307/816) \cdot 118$ (Table 3) = 44 mW m⁻².

Table 5 Aviation fuel usage and RFs after implementation of fuel efficiency (Peeters et al.) and bio fuel compensation

Year and scenario	Fuel use Tg yr ⁻¹ Table 3	Fuel use Tg yr ⁻¹ Table 4	CO ₂ emission Tg yr ⁻¹	RF CO ₂ mW m ⁻²	RF non-CO ₂ mW m ⁻²	RF total GHG ¹ mW m ⁻²
2005	232	232	733	28	27	55
2050 A1t1	816	894	2513	75	129	204
2050 B2t1	568	627	1671	68	89	157
2050NAG2020	-	307	665	20	44	64

1. Excluding cirrus clouds from contrails

Increase of GHG emissions in the three scenarios. In the assumed scenario A1t1 the increase of CO₂ emissions in 2050 (4th column of Table 5) is 3.4 times those in 2005. The resulting RF of total GHG emissions in 2050 (last column of Table 5) is 4.1 times those in 2005.

In the assumed scenario B2t1 the increase of CO₂ emissions in 2050 (4th column of Table 5) is 2.3 times those in 2005. The resulting RF of total GHG emissions in 2050 (last column of Table 5) is 2.9 times those in 2005. The originating growth scenario of IPCC started at 4.2 % in 2005, which about one percent lower than the actual growth. This scenario was supposed to enable aviation to proportionally contribute to the emission reductions required to limit the warming to two degrees. However, it appears that even in this too optimistic scenario aviation will more than double its emissions rather than reduce them.

If aviation would stop growing after 2020, the CO₂ emissions in 2050 will be 0.9 times those in 2005. The RF of total GHG emissions are 1.2 times those in 2005. So the emissions roughly will be as they were in 2005. The goal of the aviation industry of 50% CO₂ emissions in 2050 compared to 2005 would require aviation to considerably decrease its fuel use as from 2020.

Conclusion: In a realistic IPCC growth scenario both the CO₂ emissions and the combined warming effects of all GHG emissions (including non-carbon GHG) of aviation will be in 2050 four times those in 2005. This is due to the lower reduction effect of bio fuel, a moderate fuel efficiency improvement and a fuel use in 2050 of four times of the use in 2005. In a somewhat less realistic IPCC scenario of moderated growth, the emissions and warming in 2050 would still be two to three times compared to 2005. In case of no growth as from 2020, the CO₂ emissions and warming effects will in 2050 be about the same as those in 2005. The aviation industry's goal to reduce CO₂ emissions in 2050 to 50% of those in 2005 could only be realized if the use of aviation fuels would shrink after 2020.

Bronnen

- ACARE, Advisory Council for Aviation Research and Innovation in Europe (2012). <http://www.acare4europe.org/>
- Boon, Bart; Marc Davidson, Jasper Faber, Dagmar Nelissen, Gerdien van de Vreede (2008). *The economics of Heathrow expansion*, Delft, CE Delft. http://www.ce.nl/publicatie/the_economics_of_heathrow_expansion/742
- Clean Sky 2012, . http://www.aviationweek.com/Article.aspx?id=/article-xml/AW_07_16_2012_p31-475986.xml
- Faber, J. André van Velzen and Gerdien van de Vreede, 2009, *Hoe groen kunnen we vliegen? (How green could we fly?)*, CE Delft, http://www.ce.nl/publicatie/hoe_groen_kunnen_we_vliegen/949
- Fahey, D.W., (2007) *The Assessment of Aviation Cloudiness* in IPCC Climate Change 2007 – The Fysical Science Basis. <http://www.icao.int/Meetings/EnvironmentalColloquium/Documents/2007-Colloquium/Fahey.pdf>
- IATA (2010), *Airport Slots - The Building Blocks of Air Travel* , <http://www.iata.org/publications/airlines-international/august-2010/Pages/06.aspx>
- ICAO (2010a) *Aircraft engine emissions*. <http://legacy.icao.int/env/ae.htm>
- ICAO (2010b) Resolution A37-19: *Consolidated statement of continuing ICAO policies and practices related to environmental protection – Climate change*. http://www.icao.int/safety/pbn/PBN%20references/Assembly%20Resolution%2037-11_%20PBN%20global%20goals.pdf
- IEA (2011) *Technology Roadmap - Bio fuels for Transport* OECD/IEA http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/bio_fuels_roadmap.pdf
- IMF Working Paper WP 12/109, Benes, J. et al., (2012) *The Future of Oil: Geology versus Technology*, <http://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2012/wp12109.pdf>
- IPCC (1999), *Aviation and the global atmosphere*, J.E.Penner, D.H.Lister, D.J.Griggs, D.J.Dokken, McFarland(Eds) <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/aviation/index.htm>
- IPCC (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis (AR4)*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- (a) Meehl, G.A., et al , Contribution of Working Group I, Chapter 10, *Global Climate Projections*, pages 791-792. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter10.pdf>
- (b) Kahn Ribero, S. et al. Contribution of Working Group III, Chapter 5 *Transport and its infrastructure*, pages 352-355. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4-wg3-chapter5.pdf>
- IPCC (2011) *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Chum, H. et al. Chapter 2, *Bioenergy* . Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pages 8, 277 and 261. <http://srren.ipcc-wg3.de/report>
- Mc Kay, David (2009) *Sustainable energy without the hot air*, p 120-121 <http://www.withouthotair.com/>
- Lee, David S. , David W. Fahey, Piers M. Forster, Peter J. Newton, Ron C.N. Wit, Ling L. Lim, Bethan Owena, Robert Sausen., (2009) *Aviation and global climate change in the 21st century*, *Atmospheric Environment* 43 (2009) 3520–3537, Elsevier. <http://www.tiaca.org/images/tiaca/PDF/IndustryAffairs/2009%20IPCC%20authors%20update.pdf>
- Lee, David S. (2012) *Aviation and Climate change: Impacts and Trends*. Manchester Metropolitan University, UK. http://www.transportenvironment.org/sites/te/files/media/David_Lee_presentation.pdf
- Lee's homepage: <http://www.cate.mmu.ac.uk/people/professor-david-lee/>
- Lynas, Mark (2007), *Six Degrees, our future on a hotter planet*, HarperCollins London, page 175. A summarising explanation by Lynas see: <http://www.youtube.com/watch?v=XK7sDet8fw>
- Manen, Ron van, presentation of Clean Sky at the RAI symposium 2012 of Platform Duurzame Luchtvaart (PDL), Utrecht, Netherlands. This is a Dutch organisation on sustainability of aviation. <http://www.duurzameluchtvaart.nl/>
- Peeters P.M, Middel J., Hoolhorst A. (2005) *Fuel efficiency of commercial aircraft. An overview of historical and future trends*. Nationaal Lucht- en Ruimtevaart Laboratorium NLR-CR-2005-669, Figure 10, page 22. http://www.transportenvironment.org/sites/default/files/docs/Publications/2005pubs/2005-12_nlr_aviation_fuel_efficiency.pdf
- Railteam <http://www.railteam.co.uk/high-speed-travel/sustainable-travel-through-europe/>
- Sausen et al. (2005) *Aviation radiative forcing in 2000: An update on IPCC (1999)*, *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 14, No. 4, 555-561 (August 2005) <http://docserver.ingentaconnect.com/deliver/connect/schweiz/09412948/v14n4/s13.pdf?expires=1357224145&id=72246027&titleid=1292&accname=Guest+User&checksum=AAFF8FE6E17D312734CE99F14E01FEE>
- Schiphol Traffic Review 2011, <http://www.schiphol.nl/B2B/Cargo/CargoNews2/2011TrafficReviewAvailable.htm>
- Stern, Nicolas (2013) *'I got it wrong on climate change – it's far, far worse'*. Interview at the World Economic Forum in Davos, The Guardian. <http://www.guardian.co.uk/environment/2013/jan/27/nicholas-stern-climate-change-davos>
- World Bank, 2012, *New Report Examines Risks of 4 Degree Hotter World by End of Century*. <http://climatechange.worldbank.org/content/climate-change-report-warns-dramatically-warmer-world-century>
- WTL, 2012, *Schiphol: van groei naar consolidatie*, <http://www.toekomstluchtvaart.nl/consolidatie.htm>

Afkortingen

ASK	Available Seat Kilometer
Acare	Advisory Council for Aeronautics Research in Europe
BtL	Biomass-to-liquids
CO ₂ eq.	CO ₂ equivalents
EC	Europese Commissie
EJ	Exajoule
FAME	Fatty Acid Methyl Esthers
GHG	Green House Gasses
Gt	Gigaton
HVO	Hydrotreated Vegetable Oil
IATA`	International Air Transport Association
ICAO	International Civil Aviation Organization
IEA	International Energy Agency
IMF	International Monetary Fund
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LCA	Life-cycle assessment (analysis; ecobalance, cradle-to-grave analysis)
MBM	Market-based Measures
MJ	MegaJoule (one million Joule)
mW	milliWatt
NAG	No Aviation Growth scenario
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
SRES	Special Report on Emission Scenarios (IPCC 2000)
Tg	Tera grams
UNEP	United Nations Environment Programme
PKM	Passenger Kilometers
Ppm	Parts per million
RF	Radiative Forcing