



Planbureau voor de Leefomgeving

# ONTWIKKELING LUCHTVAART EN CO<sub>2</sub>-EMISSIES IN NEDERLAND

Factsheet voor de Omgevingsraad Schiphol

## **Notitie**

**Gabrielle Uitbeijerse en Hans Hilbers**

**29 juni 2018**

PBL

## **Ontwikkeling luchtvaart en CO<sub>2</sub>-emissies in Nederland Factsheet voor de Omgevingsraad Schiphol**

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving  
Den Haag, 2018

PBL-publicatienummer: 3306

### **Contact**

Gabrielle.Uitbeijerse@pbl.nl  
Hans.Hilbers@pbl.nl

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Uitbeijerse, G.C.M. & H.D. Hilbers (2018), Ontwikkeling luchtvaart en CO<sub>2</sub>-emissies in Nederland. Factsheet voor Omgevingsraad Schiphol, Den Haag: PBL.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is vóór alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk gefundeerd.

# Inhoud

1	Inleiding	4
2	Volumeontwikkeling luchtvaart	4
3	Brandstofverbruik en CO <sub>2</sub> -emissies	5
4	Indicatie van efficiëntie-verbetering	7
5	Probleemschets klimaatimpact luchtvaart	10
	Literatuur	13

# 1 Inleiding

Op verzoek van de Omgevingsraad Schiphol (ORS) heeft het PBL onderzoek gedaan naar de omvang en ontwikkeling van de passagiersaantallen, het vrachtvolume, de afgelegde afstanden en de CO<sub>2</sub>-emissies van de luchtvaart in Nederland (in het bijzonder Schiphol). Deze notitie biedt feiten en cijfers als achtergrondinformatie bij de klimaatopgave. Ook andere emissies dan CO<sub>2</sub> zoals roetdeeltjes, ozon en waterdamp hebben een substantiële impact op het broeikaseffect; wat in het tekstkader op pagina 11 verder wordt uitgewerkt. De grootte van dit effect is echter onzeker. Daarom richt deze notitie zich op de CO<sub>2</sub>-emissies van de luchtvaart.

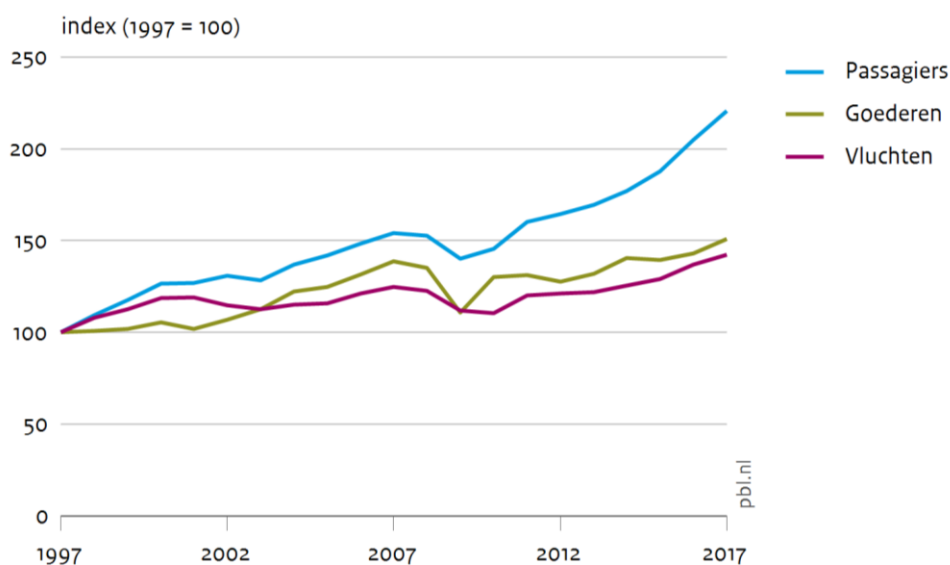
Deze notitie beschrijft enkele trends in de luchtvaart in de afgelopen twintig jaar. Paragraaf 2 laat zien hoe de volumes van passagiers en goederen op Schiphol zich hebben ontwikkeld. Paragraaf 3 brengt de verkoop van vliegtuigbrandstof in beeld, en geeft de bijbehorende omvang van de CO<sub>2</sub>-emissies weer. Paragraaf 4 geeft een indicatie van de ontwikkelingen in de efficiëntie door de ontwikkeling van luchtvaartvolumes naast die van brandstofverkoop te zetten. De laatste paragraaf schetst het aandeel van luchtvaart in de mondiale opgave om klimaatverandering tegen te gaan.

## 2 Volumeontwikkeling luchtvaart

Het aantal passagiers en de tonnen luchtvracht in Nederland zijn sterk gegroeid in de afgelopen twintig jaar. Onderstaande figuur en tabel geven de cijfers voor Schiphol weer: een groei van 120 procent van 31 miljoen reizigers in 1997 naar 68 miljoen in 2017. Het vrachtvolume is toegenomen met 51 procent, het aantal vluchten met 42 procent. Door de inzet van grotere vliegtuigen en de toegenomen bezettingsgraad is het aantal vluchten langzamer toegenomen dan het aantal passagiers en het vrachtvolume.

**Figuur 1.**

### Luchtvaartvolume op Schiphol



Bron: CBS

**Tabel 1. Luchtvaartvolumes op Schiphol**

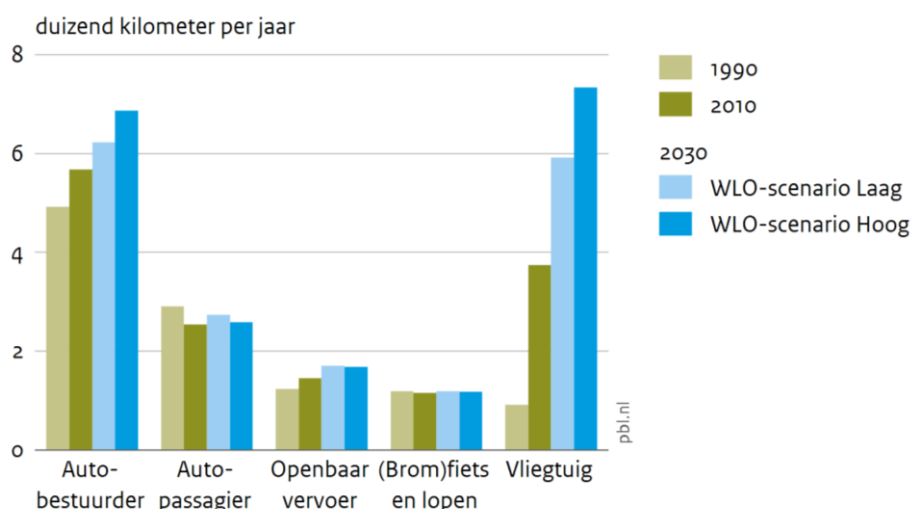
Jaar	1997	2007		2017	
			Groei ten opzichte van 1997		Groei ten opzichte van 1997
Vluchten (x 1000)	349	436	25%	497	42%
Passagiers (x mln)	31,0	47,7	54%	68,4	120%
Vracht (x 10.000 ton)	11,6	16,1	39%	17,5	51%

Bron: CBS

De toename van de luchtvaart is in twintig jaar veel sterker geweest dan de toename bij de andere vervoerwijzen (auto, trein, fiets). In de totale personenmobiliteit maken Nederlanders de meeste kilometers met de auto, maar daarna volgt het vliegtuig (zie figuur 2). Ter vergelijking, als dit groeitempo doorzet, zullen Nederlanders over circa 20 jaar meer kilometers per vliegtuig afleggen dan als automobilist. De laatste paragraaf van deze notitie gaat kort in op de verwachte groei.

**Figuur 2.**

**Mobiliteit per persoon per vervoerswijze**



Bron: PBL (2016), PBL & CPB (2015)

### 3 Brandstofverbruik en CO<sub>2</sub>-emissies

De CO<sub>2</sub>-emissies zijn af te leiden uit het aantal afgelegde kilometers en het brandstofverbruik per kilometer. Volgens ICCT (2015) stotten alle nieuwe vliegtuigen in 2008 gemiddeld 88 gram CO<sub>2</sub> uit per passagierskilometer<sup>1</sup>. Het verbruik per reizigerskilometer is bij korte vluchten duidelijk hoger dan bij lange vluchten. Over de 350 kilometer van Amsterdam naar

<sup>1</sup> Omgerekend van 28 g brandstof/passagierskilometer met de factor 3,157 kg CO<sub>2</sub> per kg kerosine.

Londen is de uitstoot nu gemiddeld 166 gram CO<sub>2</sub> per kilometer, over de 5800 kilometer van een reis naar New York is dat 59 gram CO<sub>2</sub> per kilometer (ICAO Carbon Emissions Calculator). Ter vergelijking, de gemiddelde Nederlandse personenauto stootte 174 gram CO<sub>2</sub> per kilometer uit in 2016 (CBS). Door de hoge snelheid legt een reiziger echter per vliegtuig veel kilometers af, waardoor de totale CO<sub>2</sub>-emissies van een reis veel groter zijn.

Bij luchtvaart wordt onderscheid gemaakt in nationaal en internationaal transport. Conform de IPCC-richtlijnen wordt de uitstoot door de internationale luchtvaart, met bestemming of herkomst in het buitenland, beleidsmatig niet aan landen toegedeeld. Deze uitstoot valt onder de verantwoordelijkheid van de VN-organisatie voor de burgerluchtvaart (ICAO). Desondanks is het informatief om de emissies van internationale luchtvaart in beeld te brengen. De hoeveelheid getankte brandstof (brandstofafzet/verkoop) in Nederland wordt gebruikt voor zowel nationale als internationale vluchten en geeft daarmee een goede indicatie voor de ontwikkeling van het brandstofverbruik en bijbehorende CO<sub>2</sub>-emissie. In Nederland kan bijna alle emissie van luchtvaart (99,8 procent) worden toebedeeld aan de internationale vluchten.

De combinatie van internationale en binnenlandse luchtvaart had in 2010 een aandeel van 1,5 procent<sup>2</sup> in alle directe mondiale broeikasgasemissies (CO<sub>2</sub>-equivalenten) (IPCC 2014). Van de CO<sub>2</sub>-emissies in 2012 werd 2,1 procent door luchtvaart veroorzaakt; 1,3 procent van de mondiale CO<sub>2</sub>-emissies kwam van *internationale* luchtvaart (EP 2015). Recentere studies naar de verhouding van luchtvaartemissies tot mondiale emissies zijn niet bekend.

#### *Ontwikkeling brandstofafzet en CO<sub>2</sub>-emissies*

In twintig jaar is de hoeveelheid getankte vliegtuigkerosine gestegen met 33 procent. De CO<sub>2</sub>-emissies die vrijkomen bij de verbranding van deze brandstof is daarmee evenredig toegenomen van 9,1 megaton CO<sub>2</sub> in 1997, via 11,3 in 2007 tot 12,1 megaton CO<sub>2</sub> in 2017, zoals te zien in figuur 3<sup>3</sup>. Om een idee te geven van de orde van grootte: dit is gelijk aan een derde van de uitstoot van broeikasgassen door binnenlands verkeer en vervoer (totaal 35,5 megaton CO<sub>2</sub>-equivalenten in 2016 (Schoots et al. 2017)). De nationale broeikasgasemissies voor alle sectoren samen worden in 2016 geraamd op 197 megaton CO<sub>2</sub>-equivalenten.

De brandstofafzet in Nederland geeft een beeld van het brandstofverbruik voor vluchten vanaf Nederland. Een vergelijkbare hoeveelheid zal nodig zijn voor de inkomende vluchten, zodat de weergegeven hoeveelheid brandstof representatief is voor de helft van alle vluchten van en naar Nederland. Overigens kunnen vliegtuigmaatschappijen redenen hebben om elders te tanken in plaats van op Nederlandse luchthavens, zoals op plekken waar de brandstof goedkoper is. Hiervoor is geen inschatting gemaakt. De brandstofverkoop kan daarmee zowel een overschatting als een onderschatting geven van het daadwerkelijk brandstofverbruik door vliegtuigen die Nederland aandoen.

Indicatief kan aangeduid worden hoe dit brandstofverbruik verdeeld is over passagiers en vrachtvervoer, en over Europese en intercontinentale bestemmingen. Als aangenomen wordt dat 100 kilogram vracht gelijk staat aan één passagier en we rekening houden met de vliegafstanden naar de bestemmingen, dan kan 23 procent van het brandstofverbruik toegerekend worden aan passagiers met Europese bestemmingen, 44 procent aan passagiers met intercontinentale bestemmingen, 2 procent aan vrachtvervoer naar Europese bestemmingen en 31 procent aan intercontinentaal vrachtvervoer.

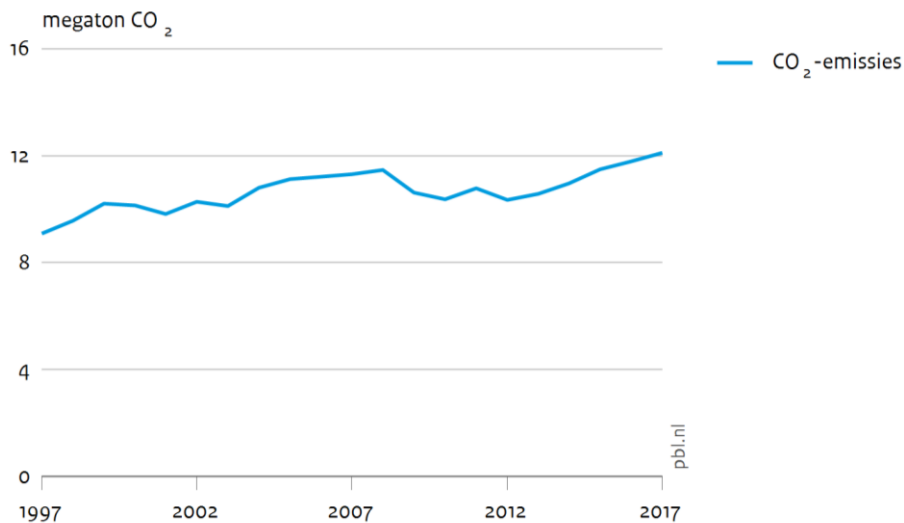
---

<sup>2</sup> Internationale vluchten hebben aandeel van 6,5% in de directe broeikasgasemissies van transport; nationale vluchten uit alle landen leveren 4,1% van alle transportemissies. Transport is verantwoordelijk voor 7.0 Gt CO<sub>2</sub>eq in 2010. Deze percentages zijn afgezet tegen de mondiale antropogene broeikasgasemissies van 49 (±4.5) GtCO<sub>2</sub>eq per jaar in 2010 (IPCC 2014).

<sup>3</sup> 72 kg CO<sub>2</sub> per GJ brandstof volgens de Nederlandse lijst van energiedragers en standaard CO<sub>2</sub>-emissiefactoren (RVO 2017).

**Figuur 3.**

### CO<sub>2</sub>-emissies van Nederlandse brandstofafzet in luchtvaart



Bron: brandstofafzet CBS, bewerking PBL

#### CO<sub>2</sub>-emissies van binnenlandse luchtvaart

Nationaal verkeer via de lucht – dus alleen binnenlandse vluchten – was in 2016 verantwoordelijk voor 30.000 ton CO<sub>2</sub> (0,03 megaton). Dat is 0,2 procent van de totale luchtvaartemissies. Onder de binnenlandse vluchten vallen bijvoorbeeld les- en oefenvluchten, privévluchten, rondvluchten en binnenlandse militaire vliegoperaties. Emissies door alle starts, landingen en/of taxiën van vliegtuigen op Nederlands grondgebied en het gebruik van interne transportmiddelen op vliegvelden worden beleidsmatig aan Nederland toegekend en vallen hier ook onder (CLO 2018).

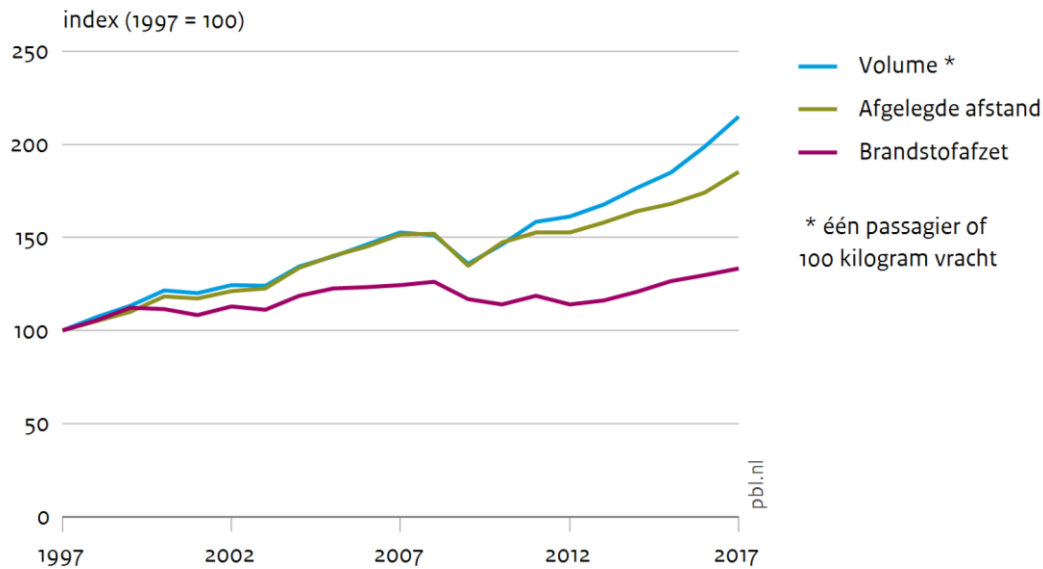
## 4 Indicatie van efficiëntieverbetering

De sterke groei in aantal passagiers en hoeveelheid vracht in de afgelopen 20 jaar was groter dan de groei in de brandstofverkoop. In de onderstaande figuur 4 zijn luchtvaartvolume en brandstofafzet naast elkaar gezet om de ontwikkeling hierin te vergelijken. De eenheid bij luchtvaartvolume is gelijk aan één passagier of 100 kilogram vracht. Op basis van het aantal passagiers en het vrachtvolume per bestemming en een schatting van de afstand op basis van de vliegtijden is een raming gemaakt van de ontwikkeling van de totaal afgelegde afstand.

Het luchtvaartvolume groeide met 115 procent, de totaal afgelegde afstand met 85 procent en de brandstofafzet met 33 procent. Het hoeveelheid getankte brandstof per volume-eenheid is met 38 procent gedaald van 2,9 petajoule in 1997 tot 1,8 petajoule in 2017. Het verschil in de ontwikkeling van volume en brandstofafzet is toe te schrijven aan een kleinere gemiddelde vliegafstand, verbeterde bezettingsgraad en brandstofefficiëntieverbetering van vliegtuigen.

**Figuur 4.**

**Volume, afgelegde afstand en brandstofafzet luchtvaart in Nederland**



Bron: CBS, bewerking PBL

*Kortere afstanden*

De kortere gemiddelde afstand komt doordat het vervoer naar Europese bestemmingen duidelijk sterker is toegenomen dan het intercontinentale vervoer. Figuur 4 laat zien dat met name vanaf 2010 de afgelegde afstand minder snel toeneemt dan het volume. De gemiddelde reisafstand is afgenomen met 14 procent.

In figuur 5 is te zien dat het aantal passagiers met een Europese bestemming of herkomst in twintig jaar van 21 miljoen naar 56 miljoen is gestegen (+165 procent). Het aantal intercontinentale reizigers groeide van 11 naar 20 miljoen (+86 procent). Inmiddels heeft 74 procent van de reizigers een Europese bestemming.

Een substantieel deel van de sterke groei naar Europese bestemmingen is gerealiseerd op de regionale luchthavens. Daar nam het aantal reizigers toe van 1 miljoen in 1998 tot 8 miljoen in 2017. Voor Schiphol zijn CBS-cijfers van het passagiersvervoer naar partnerluchthavens beschikbaar voor een meer gedetailleerde analyse. De sterkste groei zit niet op de korte vluchten (maximaal 1,5 uur), maar op de middellange vluchten (tussen 1,5 en 5 uur).

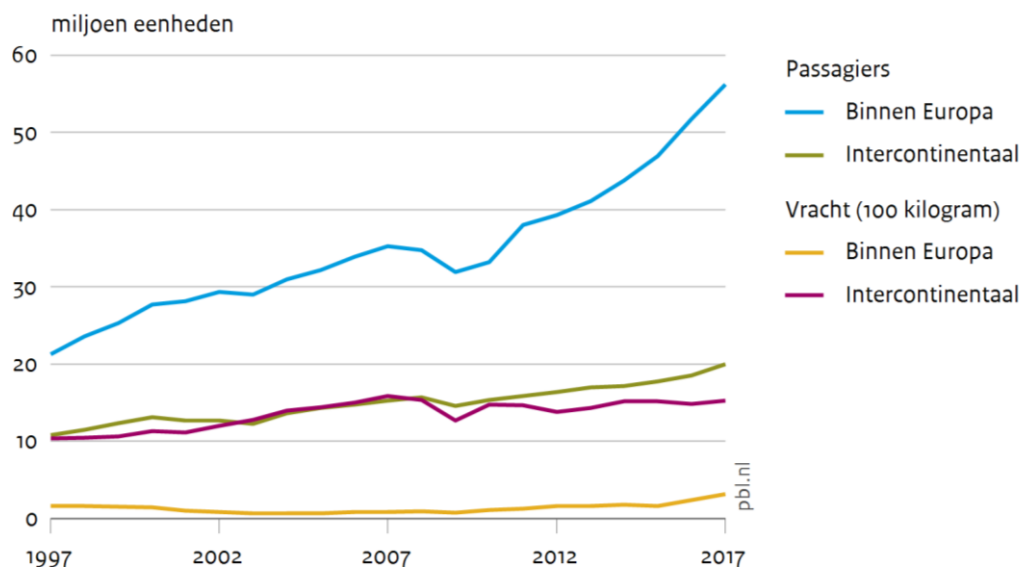
Figuur 5 laat ook bij vrachtvervoer een groei in vervoerd gewicht (in eenheden van 100 kilogram) naar Europese bestemmingen zien. Het vrachtvervoer naar Europese bestemmingen is tussen 1997 en 2017 gestegen van 1,6 miljoen eenheden naar 3,1 miljoen eenheden (+96 procent).

<sup>4</sup> De eenheid bij luchtvaartvolume is gelijk aan één passagier of 100 kilogram vracht.



**Figuur 5.**

### Luchtvaartvolume naar bestemming



Bron: CBS

Het intercontinentale vrachtvervoer is met 15 miljoen eenheden in 2017 omvangrijker, maar in dezelfde periode minder sterk toegenomen (+47 procent). Van het vrachtvervoer heeft nu 17 procent een Europese bestemming.

#### *Meer passagiers en vracht per vlucht*

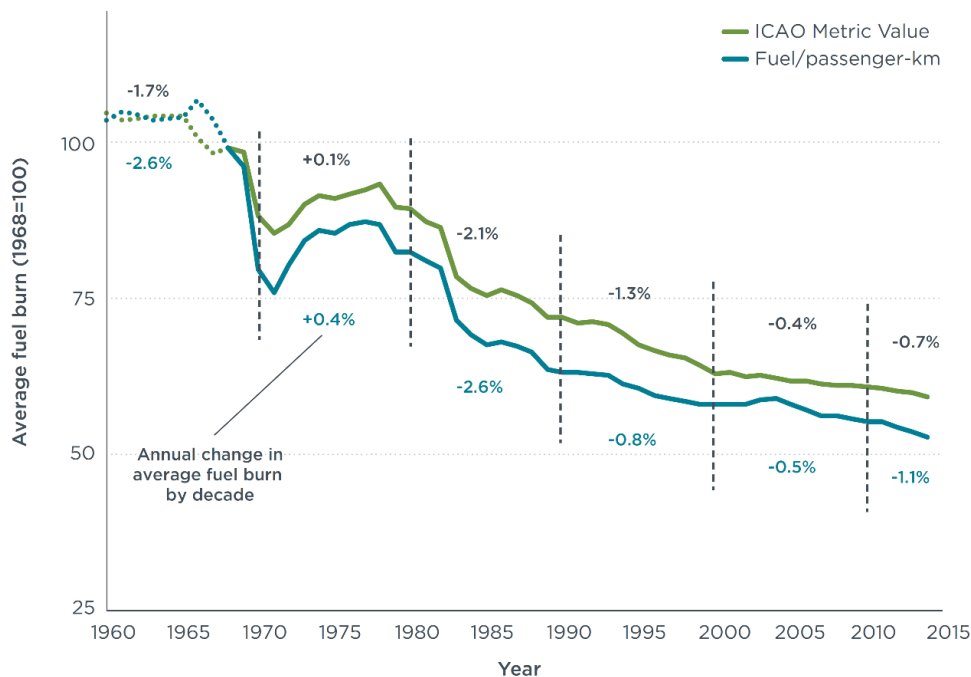
De toename van 55 procent meer volume-eenheden per vlucht in twintig jaar zal samenhangen met een toegenomen bezettingsgraad (hoger percentage van de stoelen bezet), een efficiëntere indeling (meer stoelen per m<sup>2</sup>) en mogelijk ook met de inzet van grotere vliegtuigen. Grotere vliegtuigen zijn qua brandstofverbruik niet per definitie efficiënter, vooral niet op de kortere afstanden. Een efficiëntere indeling en de hogere bezettingsgraad betekenen wel een lager brandstofverbruik per volume-eenheid. Met de ons bekende cijfers kunnen we deze drie factoren niet isoleren.

#### *Verbeterde efficiëntie van nieuwe vliegtuigen*

Naast de trend in daadwerkelijke brandstofafzet in het verleden, kunnen we ook een beeld schetsen van de technologische innovatie bij vliegtuigen, echter niet specifiek voor vliegtuigen van en naar Nederland of Schiphol. Tussen 1968 en 2014 fluctueerde de brandstofefficiëntie van vliegtuigen en de verbetering hierin sterk. Een mondiaal gemiddelde over deze lange termijn komt neer op 1,3 procent efficiëntieverbetering per jaar bij nieuwe vliegtuigen (ICCT 2015). Gedurende perioden van snelle verbetering, zoals in de jaren 1980, verbeterde de brandstofefficiëntie jaarlijks met 2,6 procent door nieuwe technologie en efficiënte vliegtuigontwerpprincipes. Vanaf 2010 is de gemiddelde verbetering 1,1 procent geweest. Uit figuur 6, overgenomen uit ICCT (2015), blijkt een totale verbetering van 45 procent in 2014 ten opzichte van 1968 te hebben plaatsgevonden. Het gemiddelde brandstofverbruik van alle nieuwe vliegtuigen is 10 procent gedaald van 2000 tot 2014 (brandstof/passagierskilometer).

Deze cijfers gelden voor de gemiddelde efficiëntie van geproduceerde vliegtuigen die in het betreffende jaar op de markt kwamen. Door de groei van luchtvaart (vraag) is er sprake van een versnelling van de vernieuwing van het vliegtuigpark. Hierdoor neemt de gemiddelde leeftijd van het vliegtuigpark af, waardoor de gemiddelde CO<sub>2</sub>-emissies per passagierskilometer over alle in bedrijf zijnde vliegtuigtypen sterker dalen.

**Figuur 6. Gemiddeld brandstofverbruik voor nieuwe commerciële vliegtuigen<sup>5</sup>**



Bron: Figuur 4 in ICCT (2015)

## 5 Probleemschets klimaatimpact luchtvaart

### *Klimaatakkoord Parijs: CO<sub>2</sub>-emissiebudget in 2050 beperkt*

Tijdens de klimaatconferentie in Parijs is eind 2015 afgesproken om de opwarming van de aarde te beperken tot ruim onder de 2°C, met een streven naar maximaal 1,5°C. De internationale afspraken over temperatuurstijging die in 2016 in de klimaatovereenkomst van Parijs zijn gemaakt stellen de wereld voor de grote opgave om de emissie van broeikasgassen vergaand terug te brengen. Eind 2017 publiceerde PBL een rapport met de implicaties van mondiale doelen voor nationale beleidsdoelstellingen (Van Vuuren et al. 2017). De klimaatdoelen uit het Parijsakkoord komen overeen met een maximale cumulatieve emissie vanaf 2015 van ongeveer 250-400 gigaton CO<sub>2</sub> voor maximale opwarming van 1,5°C of 600-1200 gigaton CO<sub>2</sub> voor maximaal 2°C. Dat betekent dat als alle jaarlijkse mondiale CO<sub>2</sub>-emissies vanaf 2015 opgeteld worden en het totaal onder het genoemde budget van 1200 gigaton CO<sub>2</sub> blijft, het waarschijnlijk is dat de opwarming van de aarde beperkt blijft tot maximaal 2°C.

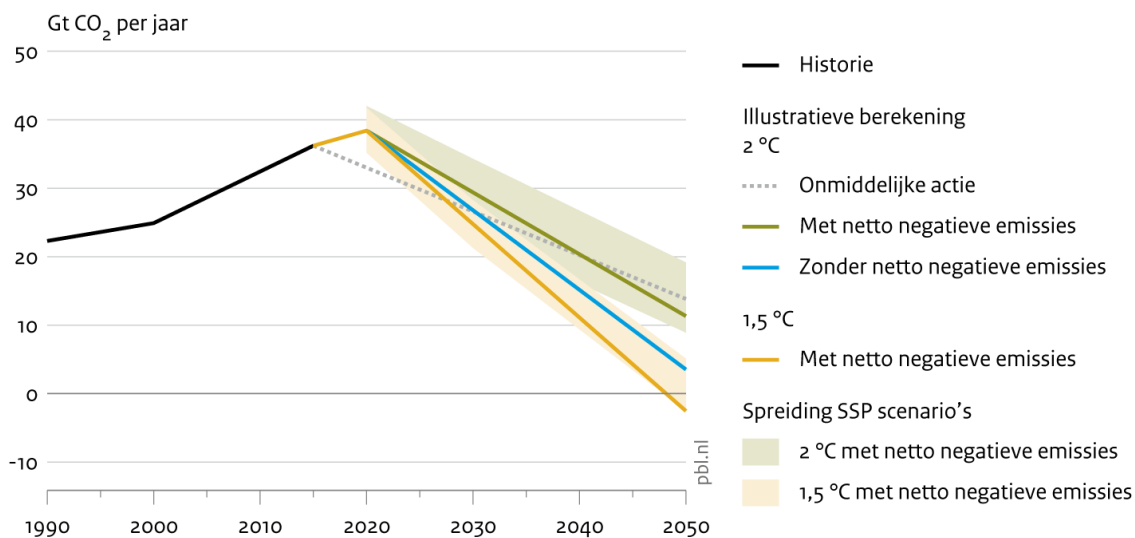
Om binnen het emissiebudget te blijven zal de mondiale emissie van CO<sub>2</sub> scherp moeten dalen, zoals figuur 7 illustreert. De snelheid hangt af van de gekozen doelstelling (maximaal 1,5 of 2°C opwarming) en een aanname of in de toekomst CO<sub>2</sub>-uitstoot gecompenseerd kan worden met negatieve emissies. Negatieve emissies ontstaan als er meer emissies worden vastgelegd (uit de lucht gehaald) dan worden geproduceerd. Een voorbeeld is bebossing op

<sup>5</sup> Bij de benadering van de 'ICAO Metric Value (MV)' is alleen het cruise-gedeelte van de vlucht berekend, terwijl 'Fuel/passenger-km' ook andere fases van de vlucht meeneemt, zoals landen en opstijgen. MV is een functie van de grootte van een vliegtuig, het cruise brandstofverbruik, en een benadering van het vloeroppervlak van het gedeelte onder druk.

grote schaal, of door de combinatie van gebruik van bio-energie met afvang en opslag van CO<sub>2</sub> (BECCS).

**Figuur 7.**

### Mondiale CO<sub>2</sub>-emissiepaden gebaseerd op Parijsakkoord



Bron: PBL

#### Klimaatimpact luchtvaart is meer dan CO<sub>2</sub>-emissies

De impact van luchtvaartemissies op het broeikaseffect, en daarmee op de opwarming van de aarde, is groter dan alleen de reguliere effecten van CO<sub>2</sub> in de lucht. Naast CO<sub>2</sub> veroorzaakt luchtvaart andere emissies.

De andere emissies die de luchtvaart veroorzaakt naast CO<sub>2</sub>-emissies zijn waterdamp, roetdeeltjes, stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>), koolwaterstoffen (HC) en zwaveloxiden (SO<sub>x</sub>). De laatste dragen bij aan de vorming van roetdeeltjes in de atmosfeer. De combinatie van waterdamp en roetdeeltjes leidt tot de vorming van condenssporen (contrails). De waterdamp condenseert door de lage temperaturen op de grote hoogte, waardoor kunstmatige wolken ontstaan. Dit kan het broeikaseffect versterken. De uitstoot van stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) door de luchtvaart beïnvloedt de concentraties van ozon (O<sub>3</sub>) en methaan (CH<sub>4</sub>).

Doordat de uitstoot van alle emissies hoog in de lucht plaatsvindt is de impact van de emissies op het broeikaseffect groter. De grootte van het effect is echter onzeker en ook afhankelijk van de andere emissies die door andere processen in de atmosfeer terechtkomen. Vanwege de variatie in levensduur van de verschillende emissies in de atmosfeer en lokale samenstelling van de lucht zijn de klimaateffecten van andere emissies niet proportioneel met CO<sub>2</sub>-emissie. Daardoor is er geen eenduidige factor die gebruikt kan worden als multiplier op CO<sub>2</sub>-emissies in de toekomst (Lee et al 2009; Scheelhaase et al. 2016). Studies ramen de totale impact tussen een factor 1,3 tot een factor 5 hoger (EP 2015, CE Delft/VU 2014).

De niet-CO<sub>2</sub>-impacts vinden overigens ook plaats bij toepassing van biobrandstof. Het is belangrijk om de extra impact van alle emissies op grote hoogte in gedachten te houden als bijdrage van luchtvaart in het kader van klimaatverandering.

### *Verwachte groei van luchtvaartvolumes*

Absolute reductie in totale CO<sub>2</sub>-emissies veroorzaakt door luchtvaart is in de afgelopen twintig jaar niet gerealiseerd, en ook niet voorzien in de komende tien tot twintig jaar. Eerste aanwijzing hiervoor is dat er nog geen afvlakking in de groei te zien is bij de waargenomen sterke groei van de luchtvaartvolumes zoals in de eerste paragraaf beschreven. Bovendien zijn de verwachtingen van de luchtvaartsector IATA en VN-organisatie ICAO dat de luchtvaartvolumes mondiaal blijven groeien in de komende decennia, met een bandbreedte van 4,2 tot 5,6 procent per jaar<sup>6</sup>. In Europa verwacht IATA een jaarlijkse groei van 2,3 procent van 2016 tot 2036. Langetermijnscenario's van PBL & CPB (2015) geven aan dat de vervoervraag in aantallen passagiers voor de luchtvaart in Nederland kan doorgroeien met 2 a 3 procent per jaar, oftewel met in totaal 110 tot 230 procent tussen 2013 en 2050.

Of de luchtvaart in deze mate groeit hangt ook af van de beschikbare capaciteit. In Nederland zijn er verschillende factoren die de groei van luchtvaart op korte termijn beperken. Fysische factoren zoals het aantal vliegtuigen per baan of vanwege veiligheidsrestricties op bepaalde afstand van elkaar in het luchtruim. Afspraken over geluidsoverlast zoals de Aldersafspraken begrenzen de groei van de luchtvaart op Schiphol en regionale luchthavens. Daardoor worden ook de CO<sub>2</sub>-emissies door de Nederlandse luchtvaart beperkt.

### *Consequenties van klimaatbeleid voor luchtvaart*

Ook van de luchtvaart zal deelname aan wereldwijd klimaatbeleid worden verwacht. De internationaal afgesproken maatregel CORSIA van ICAO is daarvan een eerste stap.

Om de CO<sub>2</sub>-emissies van luchtvaart te laten dalen zijn er een aantal mogelijkheden:

- het verminderen van de CO<sub>2</sub>-emissies per passagierskilometer door technologische en operationele verbeteringen;
- het gebruik van alternatieve brandstoffen zoals duurzame biobrandstoffen;
- het compenseren van CO<sub>2</sub>-uitstoot;
- het verminderen van de volumes en groei.

Bij een gunstige technologische ontwikkeling is een jaarlijkse reductie van 2 procent in brandstofverbruik per passagierskilometer tot 2050 denkbaar (CPB/PBL 2015). De efficiëntieverbetering bij een matige technologische ontwikkeling kan 0,6 procent per jaar bedragen (ICAO 2016). Bij operationele verbeteringen wordt gedacht aan bijvoorbeeld lagere vliegsnelheden en vaker toepassen van glijvluchten.

De inzet van duurzame brandstoffen zoals biobrandstoffen wordt beperkt door het maximaal beschikbare aanbod. De meerkosten hiervan zullen op den duur vergelijkbaar zijn met de kosten voor het compenseren van CO<sub>2</sub>-uitstoot. Nieuwe technologieën of biobrandstoffen worden toegepast als ze goedkoper zijn dan emissierechten (of conventionele kerosine die ook duurder kan worden). Logischerwijs zou een stijging in deze kosten, die overigens mondiaal gelijk zouden kunnen zijn, via luchthavens en luchtvaartmaatschappijen terechtkomen in de ticket- en vervoersprijzen.

Een lagere groei van de luchtvaart kan een direct gevolg zijn van internationale of nationale reguleringsmaatregelen, maar ook van hogere ticketkosten als gevolg van doorberekening van kosten van klimaatmaatregelen. Lopend onderzoek bij PBL verkent de mogelijke consequenties van klimaatbeleid voor luchtvaart nader.

---

<sup>6</sup> Forecast 2016-2036 (IATA 2017) en ICAO Environmental report 2016 (ICAO 2016) met verwachting van 2010-2030.

# Literatuur

- CBS Statline (Emissies naar lucht op Nederlands grondgebied; wegverkeer). Den Haag/Heerlen: Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS).
- CE Delft & VU (2014) Externe en infrastructuurkosten, een overzicht voor Nederland in 2010. Delft; Amsterdam: CE Delft; VU.
- CLO: Compendium voor de Leefomgeving. CBS, PBL, RIVM, WUR (2018). Emissies naar lucht door verkeer en vervoer, 2016. Indicator update: 5 april 2018. [www.clo.nl](http://www.clo.nl). Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Den Haag; PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag; RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven; en Wageningen University and Research, Wageningen.
- CPB/PBL (2015) Toekomstverkenning van Welvaart en Leefomgeving, cahier mobiliteit. Den Haag: Centraal Planbureau/ Planbureau voor de Leefomgeving.
- EP European Parliament (2015) Emission reduction targets for international aviation and shipping. IP/A/ENVI/2015-11 Directorate General for Internal Policies, Policy Department A: Economic and Scientific Policy.
- IATA (2017) 2036 Forecast Reveals Air Passengers Will Nearly Double to 7.8 Billion. Datum: 24 oktober 2017. <http://www.iata.org/pressroom/pr/Pages/2017-10-24-01.aspx>.
- ICAO (2016) On board a sustainable future. Environmental report 2016: Aviation and Climate Change. Produced by the Environment Branch of the International Civil Aviation Organization (ICAO).
- ICAO Carbon Emissions Calculator (<https://www.icao.int/environmental-protection/Carbon-Offset/Pages/default.aspx>).
- ICCT (2015) Fuel efficiency trends for new commercial jet aircraft: 1960 to 2014. Anastasia Kharina, Daniel Rutherford, Ph.D., International Council on Clean Transportation.
- IPCC (2014) Chapter 8 Transport in Climate change 2014, mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 599–670). Auteurs: Sims R.; R. Schaeffer; F. Creutzig; X. Cruz-Núñez; M. D'Agosto; D. Dimitriu; M. J. Figueroa Meza; L. Fulton; S. Kobayashi; O. Lah; A. McKinnon; P. Newman; M. Ouyang; J. J. Schauer; D. Sperling & G. Tiwari. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.: Cambridge University Press. Available at [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_full.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_full.pdf).
- Lee, D.S., et al. (2009) Aviation and global climate change in the 21st century. Atmospheric Environment. doi: 10.1016/j.atmosenv.2009.04.024.
- PBL (2016), Balans van de Leefomgeving 2016. Richting geven – Ruimte maken, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- RVO (2017) Nederlandse lijst van energiedragers en standaard CO<sub>2</sub>-emissiefactoren, versie januari 2017. Project 109749/BL2017, drs. P.J. Zijlema. Afgestemd met de Emissieregistratie (o.a. RIVM, CBS, PBL, RWS, TNO) en de Nederlandse Emissieautoriteit (NEa) en goedgekeurd door de WEM.
- Scheelhaase, J.D., K. Dahlmann, M. Jung, H. Keimel, H. Nieße, R. Sausen, M. Schaefer & F. Wolters (2016) How to best address aviation's full climate impact from an economic policy point of view? – Main results from AviClim research project. Transportation Research Part D 45:112–125.
- Schoots, K.; M. Hekkenberg en P. Hammingh (2017). Nationale Energieverkenning 2017. ECN-O--17-018. Petten: Energieonderzoek Centrum Nederland.
- Van Vuuren, D.P., P.A. Boot, J. Ros, A.F. Hof & M.G.J. den Elzen (2017) The implications of the Paris Climate Agreement for the Dutch climate policy objectives. Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague.