



FACTSHEET LUCHTVAART

September 2021

Context

De luchtvaart draagt bij aan de opwarming van de aarde door CO₂ emissie en door de uitstoot van andere niet-CO₂ stoffen met een netto opwarmend effect. Wie een vliegtuig maakt, draagt dus bij aan de opwarming van de aarde.

Bepalend voor de bijdrage van de luchtvaartemissies aan de klimaatverandering zijn:

- De mate waarin de emissies de stralingsbalans op aarde verstoren;
- Het moment van uitstoot (overdag / 's nachts);
- De atmosferische verblijftijd van de emissies;
- De verspreiding van de emissies door de atmosfeer (lokaal, regionaal, mondiaal);
- De lokale samenstelling van de lucht;
- De locatie (hoogte en lengte/breedtegraad) waar de emissies plaatsvinden;
- Interacties met andere luchtvaartemissies en met emissies die door andere processen (bijv. landbouw, industrie, wegverkeer) in de atmosfeer terechtkomen.

Emissie CO₂, broeikasgas met lange atmosferische verblijftijd

Door de verbranding van de fossiele brandstof kerosine komt CO₂ vrij. CO₂ heeft een lange atmosferische verblijftijd van meer dan 100 jaar.

CO₂ komt vrij bij:

- De productie van de brandstof (Well to Tank, WTT), én
- De verbranding van de brandstof (Tank to Wing, TTW)

De totale hoeveelheid CO₂ die vrijkomt bij de productie van de brandstof en de verbranding van de brandstof in de vliegtuigmotor wordt de Well-to-Wing (WTW) emissie genoemd.

De CO₂ emissie door de mondiale luchtvaart is verantwoordelijk voor circa 2-3% van de totale antropogene emissies.

Emissie niet-CO₂ stoffen met korte atmosferische verblijftijd

Naast CO₂ komen er uit de verbrandingsmotor van een vliegtuig waterdamp, stikstofoxiden (NO_x), zwaveloxiden (SO_x), roetdeeltjes en koolwaterstoffen (HC) vrij. Deze niet-CO₂ emissies hebben een korte atmosferische verblijftijd. In die korte tijd veranderen ze echter de chemische samenstelling van de atmosfeer en ze zorgen voor

veranderingen in de bewolking. Door deze veranderingen wordt de stralingsbalans van de aarde verstoord (Effective Radiative Forcing (ERF): een deel van deze door niet-CO₂ emissie veroorzaakte processen zorgt voor een opwarmend effect (een positieve stralingsforcering); een deel voor een afkoelend effect (een negatieve stralingsforcering).

De netto-impact van niet-CO₂-emissies in de luchtvaart is een opwarmend effect. Echter, kwantificering van de stralingsforcering (ERF), en daarmee kwantificering van de mate van opwarming/afkoeling op aarde, door deze processen kent grote onzekerheden.

De klimaatimpact van niet-CO₂ emissies met een korte atmosferische verblijftijd is niet lineair met de verbranding van brandstof in de atmosfeer, en dus niet lineair met de CO₂-emissie. Zo heeft een vliegtuig dat op grote hoogte vliegt per kilometer een kleiner klimaateffect door CO₂ emissie dan wanneer datzelfde vliegtuig op lage hoogte vliegt. De klimaateffecten van niet-CO₂ emissies kennen een tegengestelde trend: een vliegtuig dat op grote hoogte vliegt heeft per kilometer een groter klimaateffect door niet-CO₂ emissies dan wanneer datzelfde vliegtuig op lage hoogte vliegt.

Tijdens het taxiën en wanneer laag gevlogen wordt (zoals bij vluchten over korte afstanden), leiden niet-CO₂ emissies niet tot klimaateffecten.

Geschat wordt dat in 2018 de verstoring van de stralingsbalans (effectieve stralingsforcering) van luchtvaart voor tweederde (66%) werd bepaald door TTW niet-CO₂ emissies en voor een-derde (34%) door TTW CO₂-emissies (Lee D. e., 2021).

Luchtvaart emissies hebben een relatief klein aandeel in de totale antropogene emissies vergeleken bij andere antropogene bronnen. Toch kunnen luchtvaart emissies een relatief grote klimaatimpact hebben, omdat de luchtvaartemissies op hoogte per kg uitstoot meer impact op de stralingsforcering hebben dan emissies van de antropogene bronnen aan het aardoppervlak.

Omdat het klimaateffect van niet-CO₂ emissies bij vliegtuizen groot is, stelt Milieu Centraal voor om ondanks de onzekerheden in de kwantificering van de klimaatimpact van niet-CO₂ emissies de klimaatimpact van niet-CO₂ emissies mee te nemen in emissiefactoren voor luchtvaart: het negeren van de klimaatimpact van niet-CO₂ emissies zou een incompleet beeld geven van de totale bijdrage van vliegtuizen aan de opwarming van de aarde.

Metten van opwarming door luchtvaart

Er zijn verschillende meeteenheden om de opwarming van de aarde door de emissie van CO₂ en niet-CO₂ stoffen uit te drukken. De meest bekende en meest gebruikte meeteenheid om de opwarming van de aarde door een emissie uit te drukken is de GWP100, de Global Warming Potential over een periode van 100 jaar. De GWP100 is een relatieve maat voor de stralingsforcering die een broeikasgas veroorzaakt gedurende 100 jaar, ten opzichte van de stralingsforcering die CO₂ veroorzaakt gedurende 100 jaar.

GWP is door IPCC bedacht om het klimaateffect van verschillende broeikasgassen met lange atmosferische verblijftijden met elkaar te kunnen vergelijken door ze allemaal uit te drukken in CO₂-equivalenten. Voor het vergelijken van de klimaatimpact van broeikasgassen met heel verschillende atmosferische verblijftijden (zoals bij luchtvaart het geval is) is GWP minder geschikt, omdat er bij GWP geen rekening wordt gehouden met verschillen in de temperatuurverandering die de emissies kunnen veroorzaken. Daarnaast heeft GWP een lang "geheugen": GWP blijft de klimaateffecten door een (puls) emissie van broeikasgassen met een korte atmosferische verblijftijd meerekenen over lange periodes, ook als de atmosferische verblijftijd van deze broeikasgassen voorbij is en die puls emissie al uit de atmosfeer verdwenen is. Het grote voordeel van GWP (GWP100) is dat dit wereldwijd de meest gebruikte meetmethode is om klimaateffecten van verschillende producten, processen en activiteiten te berekenen en met elkaar te vergelijken.

Alternatieven voor GWP zijn meetmethoden op basis van:

- voorspelde temperatuurverschillen:
 - a) Global Temperature change Potential (GTP)
 - b) Average Temperature Response (ATR)
- Voorspelde Global Warming Potential* (GWP*): Bij GWP* wordt een continue emissie van broeikasgassen met een korte atmosferische verblijftijd over een bepaalde tijdsperiode omgerekend naar een eenmalige "puls" van CO₂.

Ook kan er gekozen worden voor andere tijdspannes, zoals 20 of 50 jaar in plaats van de meest gebruikte tijdhorizon van 100 jaar.

De keuze voor een bepaalde meetmethode en tijdhorizon is bepalend voor de kwantificering van de klimaatimpact

van niet-CO₂ luchtvaart emissies in relatie tot de klimaatimpact van CO₂ luchtvaart emissies:

- Niet-CO₂ emissies met een kortere atmosferische verblijftijd hebben bij op temperatuur gebaseerde meetmethodes (bv GTP of ATR) een lagere relatieve klimaatimpact¹ dan meetmethodes die naar de cumulatieve stralingsforcering kijken (bv GWP, GWP*), vanwege de thermische traagheid van de atmosfeer: er vindt niet direct een temperatuurverandering plaats als de stralingsbalans geforceerd wordt.
- Bij meetmethodes die naar de cumulatieve stralingsforcering kijken (bv GWP, GWP*) drukken niet-CO₂ emissies een zwaardere stempel op de klimaatimpact over een kortere tijdhorizon (bv 20 jaar) vanwege hun korte atmosferische verblijftijd dan wanneer over een langere periode wordt gekeken (bv 100 jaar).

De keuze voor een bepaalde metriek en tijdhorizon is afhankelijk van het doel. Om te bepalen in hoeverre bepaalde klimaatmaatregelen bijdragen aan de 1,5 / 2 graden doelstelling van het Klimaatakkoord van Parijs kunnen bijvoorbeeld het beste op temperatuur gebaseerde meetmethodes gekozen worden. Om de klimaatimpact van verschillende producten, processen of diensten (bijv. vlieguren ten opzichte van andere consumentenactiviteiten) met elkaar te kunnen vergelijken, is op moment van schrijven alleen GWP100 mogelijk, omdat kwantificering van klimaateffecten van andere consumentenactiviteiten op basis van andere meetmethodes en tijdshorizons nog nauwelijks / niet gedaan zijn.

Gerekend met de veelgebruikte GWP100 zorgen wereldwijd niet-CO₂ luchtvaartemissies netto voor ca 40% van de cumulatieve positieve stralingsforcering gedurende een periode van 100 jaar, en de CO₂ emissies voor 60%: CO₂eq/CO₂=1,7 (o.b.v. meetjaar 2018).

1. Voorstel Milieu Centraal meeteenheid en tijdhorizon

Milieu Centraal stelt voor om voor het berekenen van de klimaatimpact van vliegreizen de volgende meeteenheid en tijdhorizon te gebruiken: GWP100

GWP100 is de meest gebruikte en wereldwijd geaccepteerde meeteenheid en tijdhorizon. Milieu Centraal hecht grote waarde aan de vergelijkbaarheid van cijfers over de uitstoot van vliegen met andere consumentenactiviteiten. Ook voor reisorganisaties en compensatie aanbieders kan dit een belangrijke overweging zijn om eenduidige informatie over de klimaatimpact van vliegen aan hun klanten te kunnen geven.

Milieu Centraal realiseert zich dat GWP100 kanttekeningen kent voor het bepalen van de klimaatimpact van niet-CO₂ emissies met een korte atmosferische verblijftijd. Het niet meerekenen van de klimaatimpact van niet-CO₂ emissies wegens deze kanttekeningen vindt Milieu Centraal een incompleet beeld scheppen naar de reiziger over de klimaatimpact van vliegreizen. Ook het hanteren van een andere metriek/tijdshorizon dan de wereldwijd meest gebruikte metriek/tijdhorizon vindt Milieu Centraal niet wenselijk, omdat het kunnen vergelijken van de klimaatimpact van vliegen met andere consumentenactiviteiten voor eerder genoemde partijen van belang is.

2. Voorstel Milieu Centraal CO2 en niet-CO2 emissiefactoren

Het berekenen van de klimaatimpact van vliegereizen zou, vanwege het niet-lineaire verband tussen de klimaatimpact van CO2 en die van niet-CO2 emissies, idealiter een optelsom zijn van:

de klimaatimpact van WTW CO2 emissies + de klimaatimpact van WTW niet-CO2 emissies met een differentiatie naar vliegafstand (indirect vlieghoogte)

WTW CO2 emissie (lange atmosferische verblijftijd)

De WTW CO2 is rechtstreeks aan het brandstofverbruik gerelateerd en op basis van luchtvaartmodellen zoals het FEM van Breda University of applied sciences naar vluchtafstand te differentiëren. Paul Peeters van Breda University of applied sciences (Peeters, 2021) heeft op basis van het FEM formules ontwikkeld om de TTW CO2 emissie per zitplaatsklasse voor verschillende afstanden te berekenen. Zie onder 'emissiefactoren per reizigerskilometer'. De WTT emissie veroorzaakt circa 24% extra CO2 emissie voor de productie en distributie van de brandstof (CE Delft, 2021; EEA, 2020).

WTW niet-CO2 emissie (met korte atmosferische verblijftijd)

Op moment van schrijven zijn er echter nog geen luchtvaartmodellen die (openbare en) generiek geaccepteerde informatie geven over het klimaateffect van niet-CO2 emissies die onafhankelijk van CO2 emissies gemodelleerd is.

Wel geeft recent wetenschappelijk onderzoek (Lee D. e., 2021) aan dat in 2018 naar schatting de totale klimaatimpact van de mondiale luchtvaart door TTW CO2 en TTW niet-CO2 emissies op basis van GWP100 ca 1,7 keer zo hoog was als de klimaatimpact van TTW CO2 emissie alleen: $CO2eq/CO2 = 1,7$ (waarbij $CO2eq = CO2 + niet-CO2$). Daarbij moet opgemerkt worden dat deze factor van 1,7 een gemiddelde verhouding voor de mondiale luchtvaart betreft.

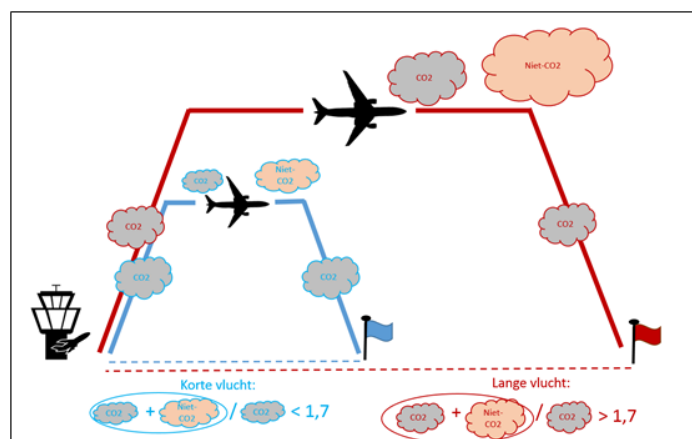
Op korte vluchten ligt de verhouding $CO2eq/CO2 < 1,7$, omdat op korte vluchten (zie figuur 1 hieronder):

- de LTO cyclus met een hoog brandstofverbruik en dus een hoge CO2 emissie een groot aandeel heeft op de totale vlucht, en

- er relatief kort op kruishoogte wordt gevlogen, waardoor er relatief weinig klimaateffecten van niet-CO2 emissies plaatsvinden.

Op lange vluchten ligt de verhouding $CO2eq/CO2 > 1,7$, omdat op lange vluchten (zie figuur 1 hieronder):

- de LTO cyclus met een hoog brandstofverbruik en dus een hoge CO2 emissie een kleiner aandeel heeft op de totale vlucht, en
- er relatief lang op kruishoogte wordt gevlogen en dus relatief veel klimaateffecten van niet-CO2 emissies plaatsvinden.



Figuur 1: schatting verhouding klimaatimpact $CO2eq/CO2$, uitgedrukt in GWP100, voor verschillende vluchtlengtes

Op dit moment kan de klimaatimpact van niet-CO2 emissies, uitgedrukt in GWP100, alleen geschat worden aan de hand van een ophoogfactor over de TTW CO2 emissie op basis van de gemiddelde mondiale verhouding tussen CO2 en niet-CO2 emissies in de luchtvaart in 2018 over alle afstanden. Een differentiatie in deze ophoogfactor naar vliegafstand is op basis van de huidige wetenschappelijke inzichten en beschikbare informatie uit luchtvaartmodellen niet mogelijk.

Milieu Centraal hanteert daarom op basis van GWP100 (Lee D. e., 2021) de volgende rekenmethode (o.b.v. de verhouding $CO2/niet-CO2$ emissie in 2018) voor het bepalen van de klimaatimpact van een gemiddelde vliegreis:

Klimaatimpact vliegreis = WTT CO2 emissie, gedifferentieerd naar afstand + TTW CO2 emissie, gedifferentieerd naar afstand + 0,7 x gemiddelde TTW CO2 emissie, niet gedifferentieerd naar afstand

waarbij:

- WTT CO2 emissie, gedifferentieerd naar afstand = 0,24 x TTW CO2 emissies, gedifferentieerd naar afstand (CE Delft, 2021; EEA, 2020), obv huidige brandstofmix
- TTW CO2 emissie, gedifferentieerd naar afstand = CO2 emissie door verbranding van brandstof in vliegtuigmotoren (3,15 kg CO2/kg brandstof (Peeters, 2021; EEA, 2020; NEa, 2021))
- TTW niet-CO2 emissie = 0,7 x gemiddelde TTW CO2 emissie (gebaseerd op (Lee D. e., 2021): GWP100 CO2eq/CO2 = 1,7)
- gemiddelde TTW CO2 emissie = gemiddelde TTW CO2 emissie, gemiddelde berekend over alle afstanden
- WTT niet-CO2 emissie is verwaarloosbaar (wat betreft klimaatteffect)

Let wel: In bovenstaande formule wordt de klimaatimpact van niet-CO2 emissies voor korte vluchten overschat, voor lange vluchten wordt de klimaatimpact van niet-CO2 emissies onderschat. Het gaat hier dus om een 'state of the art' formule, die op moment van schrijven de beste schatting kan geven van de totale klimaatimpact van een vliegreis.

Een volgende tussenstap (op weg naar een niet aan CO2 gerelateerde berekening voor niet-CO2 emissies) zou zijn om een verschillende ophoogfactor voor verschillende vluchtafstanden (of afstandklassen) te gebruiken.

Wanneer de mondiale verhoudingen tussen CO2 en niet-CO2 emissies in de luchtvaart veranderen ten opzichte van meetjaar 2018 en/of wetenschappelijke inzichten en/of ontwikkelingen in luchtvaartmodellen vragen om aanpassing van bovengenoemde keuzes zal Milieu Centraal bovenstaande keuzes uiteraard opnieuw onderzoeken.

Emissiefactoren per reizigerskilometer voor bepalen van persoonlijke klimaatvoetafdruk

Voor het bepalen van een persoonlijke klimaatvoetafdruk zijn emissiefactoren in CO2 equivalenten per reizigerskilometer bepaald. Met behulp van het luchtvaartmodel FEM van Breda University of applied sciences zijn TTW CO2 emissies van 5.473 vertrekkende (rechtstreekse) vluchten van de vijf belangrijkste luchthavens in Nederland gemodelleerd. Deze 5.473 vluchten zijn representatief voor het commerciële personenluchtvaartverkeer vanuit Nederland. De TTW CO2 emissiefactor per reizigerskilometer voor deze vluchten is bepaald op basis van:

- Brandstofverbruik per kilometer
- Gemiddelde omwegfactoren (verschil tussen werkelijk gevlogen afstand en grootcirkelafstand)

- Gewichtsallocatie tussen vracht en passagiers (conform ICAO methode)
- Allocatie o.b.v. cabineoppervlak tussen de verschillende zitplaatsklassen

Breda University analyseerde op basis van het FEM dat de TTW CO2 emissie per reizigerskilometer als een functie van Great Circle Distance (grootcirkelafstand) gekwantificeerd kan worden. De formule van de TTW CO2 emissiefactor voor een economy zitplaats ziet er als volgt uit:

$$EF_{Av} = \frac{(C_a * C_b + C_c * D_{GCD}^{C_d})}{(C_b + D_{GCD}^{C_d})} \quad (\text{kg CO}_2/\text{rkm})$$

Waarin:

EF_{Econ} = de gCO2-emissiefactor in kg CO2/rkm voor Economyclass

D_{GCD} = grootcirkelafstand

En waarvoor de volgende coëfficiënten zijn geschat:

C_a = 5,6577642

C_b = 2,7862227

C_c = 0,050489175

C_d = 0,87334063

Voor de andere zitplaatsklassen zijn de formules op te vragen bij Milieu Centraal.

Op basis van de in de vorige paragraaf genoemde formule om de totale klimaatimpact van een vliegreis door CO2 en niet-CO2 emissies te berekenen en de resultaten uit het model van Breda University zijn de emissiefactoren per reizigerskilometer bepaald:

Klimaatimpact per reizigerskm

= WTT CO2 emissie/reizigerskm, gedifferentieerd naar afstand + TTW CO2 emissie/reizigerskm, gedifferentieerd naar afstand + TTW niet-CO2 emissie/reizigerskm, niet gedifferentieerd naar afstand = 0,24 x TTW CO2 emissie/reizigerskm, gedifferentieerd naar afstand + TTW CO2 emissie/reizigerskm, gedifferentieerd naar afstand + 0,7 x gemiddelde TTW CO2 emissie/reizigerskm, niet gedifferentieerd naar afstand

Milieu Centraal heeft gekozen om voor het bepalen van de klimaatimpact van niet-CO2 emissies per reizigerskilometer uit te gaan van een gemiddelde ophoogfactor van de TTW CO2 emissie over alle afstanden, waarbij onderscheid gemaakt is tussen verschillende zitplaatsklassen.

Met deze keuze van Milieu Centraal wordt de klimaatimpact van niet-CO2 emissie over de korte afstanden weliswaar overschat en op lange afstanden onderschat, maar deze

overschatting respectievelijk onderschatting is kleiner dan wanneer de klimaatimpact van niet-CO2 emissies berekend wordt aan de hand van naar afstand gedifferentieerde TTW CO2 emissies.

In onderstaande tabel staan de emissiefactoren per zitplaatsklasse weergegeven en met een gewogen gemiddelde (het vetgedrukte cijfer). Om aan te sluiten bij de indeling in de drie afstandsklassen die het platform CO2emissiefactoren.nl gebruikt is er een indeling gemaakt voor deze drie afstandsklassen en van een gemiddelde vlucht (ongeacht afstandsklasse).

Emissiefactoren per reizigerskm gemiddeld over alle afstanden en opgesplitst naar zitplaatsklasse en afstandsklasse

Afstandsklasse en zitplaatsklasse	TTW CO2 emissie (in gram CO2/pkm)	WTT CO2 emissie (in gram CO2/pkm)	TTW niet-CO2 emissie (in gram CO2eq/pkm)	WTW totaal (in gram CO2eq/pkm)
<700 km	136	32	66	234
Economy	127	30	60	217
Economy plus	153	37	64	253
Business	180	43	120	343
First	1109*	265*	315*	1689*
700-2500 km	86	21	66	172
Economy	81	19	60	160
Economy plus	94	22	64	180
Business	135	32	120	288
First	429*	102*	315*	846*
>2500 km	74	18	66	157
Economy	59	14	60	133
Economy plus	63	15	64	142
Business	221	53	120	394
First	433	103	315	851
Gemiddelde alle afstanden	94	22	66	182
Economy	85	20	60	165
Economy plus	91	22	64	176
Business	172	41	120	333
First	450	108	315	873

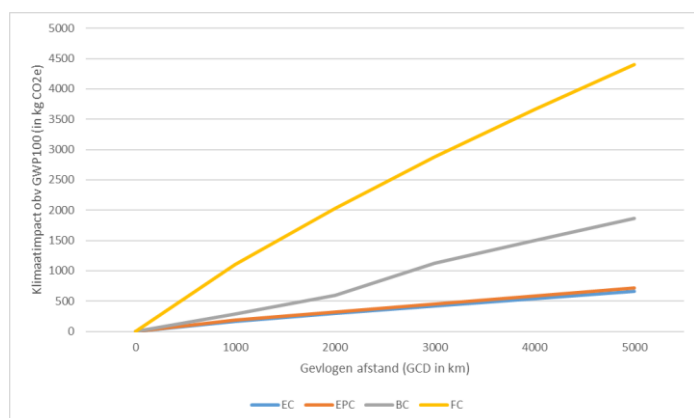
*First class stoelen komen zeer beperkt voor op vluchten onder de 2500 km. Het gaat hier om vluchten met zogenaamde Wide Body vliegtuigen, die na een langeafstandsvlucht een tussenstop maken op een Nederlandse luchthaven en daarna direct doorvliegen naar een luchthaven in de regio (bijv Brussel).

Lange vluchten hebben hogere klimaatimpact

De totale klimaatimpact van een vliegreis = klimaatimpact per reizigerskilometer x de gevlogen afstand

Omdat lange vluchten over lange afstanden gaan is, ondanks de lagere emissiefactor per reizigerskilometer op lange vluchten, de totale klimaatimpact van een vliegreis over langere afstanden groter dan die over korte afstanden: hoe langer de vlucht, hoe hoger de totale klimaatimpact van de reis. Zie figuur 2 hieronder.

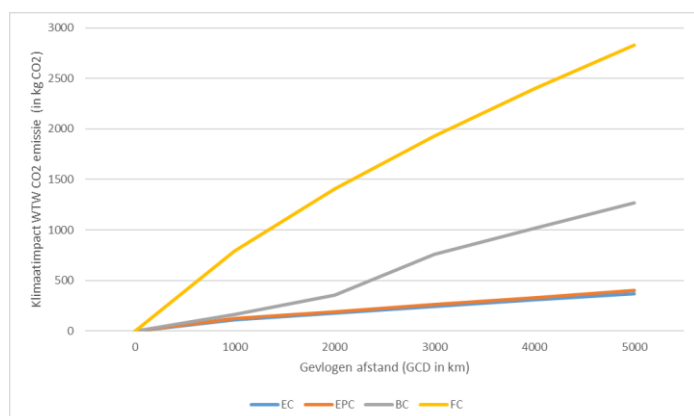
De klimaatimpact voor Businessclass (BC) en zeker voor First Class (FC) zitplaatsen is door het extra cabineoppervlak dat zij innemen veel hoger dan de klimaatimpact van Economy Class (EC) en Economy Premium (EPC) zitplaatsen.



Figuur 2: klimaatimpact (door CO2 en niet-CO2 emissies) van een vliegreis, naar vliegafstand, opgesplitst naar zitplaatsklasse

NB: First class komt nauwelijks voor op vluchten korter dan 2500 km.

Als alleen de klimaateffecten van CO2 emissie in ogenschouw worden genomen (en dus de niet-CO2 emissies buiten beschouwing worden gelaten), neemt de klimaatimpact van de vliegreis ook toe met toenemende vluchtafstand. Zie figuur 3 hieronder.



Figuur 3: klimaatimpact door WTW CO2 emissie (dus exclusief niet-CO2 emissies) van een vliegreis, naar vliegafstand, opgesplitst naar zitplaatsklasse

NB: First class komt nauwelijks voor op vluchten korter dan 2500 km.

Ontwikkelingen om klimaatimpact vliegen te verlagen

De luchtvaart is in de afgelopen decennia hard gegroeid en de prognose is dat deze groei doorzet. Tegelijk wordt er gezocht naar oplossingen om de klimaatimpact van de groeiende luchtvaart te verminderen. (Bijmengen van) biobrandstoffen en synthetische kerosine bieden mogelijkheden. Ook wordt geïnvesteerd in het ontwikkelen van nieuwe aandrijftechnieken zoals (batterij) elektrisch vliegen en vliegen op waterstof. Technische en economische beperkingen maken dat een grootschalige uitrol voor de commerciële luchtvaart op korte termijn niet haalbaar is. In vervolgonderzoek wil Milieu Centraal uitzoeken welke impact deze ontwikkelingen hebben op de emissiefactoren van vliegreizen.

GECITEERDE WERKEN

- Afstandscalculator. (2021). Afstandscalculator. Opgehaald van <https://nl.distance.to/>
- AHEV. (2019). Ontwerp Actieprogramma Hybride Elektrisch Vliegen (AHEV).
- AirfranceKLM. (2021). Universal Registration Document 2020.
- Airneth. (2019). Non-CO2 climate impacts of aviation. Den Haag.
- CAPA. (2021). Europe leads world aviation towards net zero carbon emissions. Opgehaald van <https://centreforaviation.com/analysis/reports/europe-leads-world-aviation-towards-net-zero-carbon-emissions-553358>
- CAPA. (2021, maart 18). European aviation braces for sustainable aviation fuel mandate. Opgehaald van <https://centreforaviation.com/analysis/reports/europe-an-aviation-braces-for-sustainable-aviation-fuel-mandate-554969>
- CBS. (2021). Hoeveel brandstof verbruikt de luchtvaart in Nederland? Opgehaald van <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/verkeer-en-vervoer/uitstoot-en-brandstofverbruik/brandstofverbruik-luchtvaart>
- CBS. (2021). Hoeveel uitstoot veroorzaakt de Nederlandse luchtvaart? Opgehaald van <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/verkeer-en-vervoer/uitstoot-en-brandstofverbruik/uitstoot-luchtvaart>
- CBS. (2021). Hoeveel uitstoot veroorzaakt de Nederlandse luchtvaart? Opgehaald van <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/verkeer-en-vervoer/uitstoot-en-brandstofverbruik/uitstoot-luchtvaart>
- CBS Statline. (2018). Emissies naar lucht door de Nederlandse economie; nationale rekeningen. Opgeroepen op maart 2021, van <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/83300NED/table?defaultview&dl=67B3>
- CBS Statline. (2021). Emissies naar lucht op Nederlands grondgebied; totalen. Opgehaald van <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/37221/table?ts=1621332970292>
- CE Delft. (2015). STREAM Personenvervoer 2014 - Studie naar TRansport Emissies van Alle Modaliteiten Emissiekentallen 2011. CE Delft.
- CE Delft. (2019). CO2-emissies van KLM en Schiphol.
- CE Delft. (2021). STREAM Goederenvervoer 2020 - Emissies van modaliteiten in het goederenvervoer.
- Chance Inc. (2021, april 19). Vliegtuigen die vliegen op CO2, is dat de toekomst? Opgehaald van <https://www.change.inc/energie/vliegtuig-co2-kerosine-brandstof-36071>
- Change Inc. (2020, november 12). Luchtvaartindustrie ziet kansen om in 2030 alleen op biobrandstof te vliegen. Opgehaald van <https://www.change.inc/mobiliteit/vliegtuig-biobrandstof-35065>
- CO2emissiefactoren.nl. (2019, april). Opgehaald van www.co2emissiefactoren.nl
- CO2emissiefactoren.nl. (2020). Lijst emissiefactoren - Personenvervoer. Opgehaald van <https://www.co2emissiefactoren.nl/lijst-emissiefactoren/>
- Duurzame Luchtvaarttafel. (2020). Nederland versnelt op duurzame luchtvaart. Opgehaald van <https://der78rjp0cfsg.cloudfront.net/uploads/files/akkoord-duurzame-luchtvaart/Def.versie-1.1-publieksvriendelijk-document-van-Akkoord-Duurzame-Luchtvaart.pdf>
- E4tech. (2019). Study on the potential effectiveness of a renewable energy obligation for aviation in the Netherlands. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- EASA. (2020). Updated analysis of the non-CO2 climate impacts of aviation and potential policy measures pursuant to EU Emissions Trading System Directive Article 30(4). European Commission.
- EEA. (2020). Train or plane? Transport and environment report 2020. European Environment Agency.
- EPA. (2018). Greenhouse Gas Inventory Guidance - Direct Emissions from Stationary Combustion Sources. United States Environmental Protection Agency.
- Europa-nu.nl. (2021). Europese aanpak klimaatverandering. Opgehaald van https://www.europa-nu.nl/id/vhesf063wxu9/europese_aanpak_klimaatverandering
- European Parliament. (2020, november 23). Sustainable aviation fuels. Opgehaald van [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document.html?reference=EPRS_BRI\(2020\)659361](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document.html?reference=EPRS_BRI(2020)659361)
- FlightRadar24. (2021). FlightRadar24. Opgehaald van <https://www.flightradar24.com/about>
- Fraunhofer ISI & CE Delft. (2020). Methodology for GHG Efficiency of Transport Modes. European Environment Agency.
- Greenseat. (2021). Greenseat. Opgehaald van <https://greenseat.nl/>
- ICAO. (2019). 2019 Environmental report - Aviation and environment. Opgehaald van <https://www.icao.int/environmental->

- protection/Documents/ICAO-ENV-Report2019-F1-WEB%20(1).pdf
- ICTT. (2020). CO2 Emissions from commercial aviation - 2013, 2018 and 2019. Opgehaald van <https://theicct.org/sites/default/files/publications/CO2-commercial-aviation-oct2020.pdf>
- InCompany Milieuvadvis. (2019). De potentie van synthetische kerosine als alternatieve brandstof voor de luchtvaart. Beraad Vlieg hinder Moet Minder.
- IPCC. (1999). Aviation and the global atmosphere. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (2013). Climate Change 2013 The Physical Science Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (2013). H8: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (2018). Radiative Forcing of Climate Change. Opgehaald van <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/TAR-06.pdf>
- IPCC. (2019). Climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Opgehaald van <https://www.ipcc.ch/srccl/>
- IPCC. (n.d.). Emission factor database - Civil Aviation. Opgehaald van https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/find_ef.php?ipcc_code=1.A.3.a.i&ipcc_level=4
- J. Dardenne & M. Mirolo, T. &. (2021, april 19). Telefonisch interview.
- Jungbluth, N. M. (2019). Recommendations for calculation of the global warming potential of aviation including the radiative forcing index. The International Journal of Life Cycle Assessment volume 24, 404-411.
- KiM. (2020). Klimateffecten in luchtvaart MKBA's. Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.
- Lee, D. e. (2021). The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. Atmospheric Environment 244 (2021) 117834.
- Lee, e. a. (2010). Transport impacts on atmosphere and climate: Aviation. Atmospheric Environment 44 (2010) 4678-4734.
- Luchtvaartindetoekomst.nl. (2021). Duurzame luchtvaart. Opgehaald van <https://luchtvaartindetoekomst.nl/ontwikkeling+luchtvaart/duurzame+luchtvaart+nieuw/default.aspx>
- Lynch, J. M. (2020). Demonstrating GWP*: a means of reporting warming-equivalent emissions that captures the contrasting impacts of short- and long lived climate pollutants. Environmental Research Letters 15.
- Maanen, P. m. (2021, mei). Feedback maatschappelijke ronde via mail.
- Milieu Centraal. (2019). Brondocument Personenvervoer 3.0. Ministerie van I&W. (2020). Verantwoord vliegen naar 2050 - Luchtvaartnota 2020-2050. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- Ministerie van IenW. (2020). Verantwoord vliegen naar 2050 - Luchtvaartnota 2020-2050. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- NEa. (2021). Updated monitoring rules for EU-ETS and CORSIA. (N. E. autoriteit, Redacteur) Opgehaald van <https://www.emissionsauthority.nl/topics/general---ets-aviation-and-corsia/updated-monitoring-rules-for-eu-ets-and-corsia>
- NLR. (2019). Drone op waterstof boven Nederland. Opgehaald van <https://www.nlr.nl/nieuws/drone-op-waterstof-boven-nederland/>
- NLR. (2020). Verkenning milieuscores voor de luchtvaart. Koninklijk Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum.
- Overheid.nl. (2019). Wijziging van de Wet belastingen op milieugrondslag (Wet vliegbelasting). Opgehaald van <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-35205-3.html>
- PBL. (2018). Kennisscan luchtvaartnota. Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL. (2018). Ontwikkeling luchtvaart en CO2-emissies in Nederland. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL. (2019). Parijsakkoord en luchtvaart - Mogelijke gevolgen van het Parijse klimaatakkoord voor de omvang van de luchtvaart via Nederland. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL. (2020). CO2-emissie van de luchtvaart op de lange termijn. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL. (2020). Klimaat- en Energieverkenning 2020. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Peeters, P. (2021). Emissiefactoren voor Nederlandse luchtvaartpassagiers .
- Persoonlijke mededeling Gabriëlle Uitbeijerse, P. (2021, april en mei). Telefonisch interview en feedback maatschappelijke ronde.
- Persoonlijke mededeling Koenraad Backers, S. N. (2021, maart 21). Telefonisch interview.
- Persoonlijke mededeling P. Peeters, B. U. (2021, mei). feedback maatschappelijke ronde.
- Persoonlijke mededeling Peter van Velthoven, K. (2021, april 11). Mailcontact.
- Persoonlijke mededeling Ton Sledsens, M. (2021, april 13).
- Persoonlijke mededeling Volker Grewe, D. (2021, april 8). Mailcontact.

- Rijksoverheid. (2020, maart 3). Van Nieuwenhuizen verplicht gebruik schonere brandstof luchtvaart . Opgehaald van <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2020/03/03/van-nieuwenhuizen-verplicht-gebruik-schonere-brandstof-luchtvaart>
- Rijksoverheid. (2021). CO₂-uitstoot luchtvaart verminderen. Opgehaald van <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/luchtvaart/co2-uitstoot-luchtvaart>
- Rijksoverheid. (2021). Klimaatbeleid. Opgehaald van <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatbeleid>
- Rijksoverheid. (2021). Vliegbelasting. Opgehaald van <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/milieubelastingen/vliegbelasting>
- RVO. (2020). Nederlandse lijst van energiedragers en standaard CO₂ emissiefactoren, versie januari 2020. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.
- RWS, Infomil. (2021). Broeikasgassen. Opgehaald van <https://www.infomil.nl/onderwerpen/luchtwater/lucht/ozon-en-f-gassen/broeikasgassen-0/>
- Scheelhaase, J. (2019). How to regulate aviation's full climate impact as intended by the EU council from 2020 onwards. *Journal of Air Transport Management* 75, 68-74.
- SeatGuru. (2021). Airline Seat Comparison Charts. Opgehaald van <https://www.seatguru.com/charts/generalcharts.php>
- Shine, K. (2018). IPCC Expert Meeting on Short-lived Climate Forcers Geneva 28-31 May 2018 - Emission metrics for SLCFs. Department of Meteorology, University of Reading, UK.
- SkyNRG. (2021). Duurzame vliegtuigbrandstof. Opgehaald van <https://skynrg.com/sustainable-aviation-fuel/saf/>
- Teoh, R. e. (2020). Mitigating the Climate Forcing of Aircraft Contrails by Small-Scale Diversions and Technology Adoption. *Environmental Science & Technology* , 2941–2950.
- TNO. (2020, april 12). When flying seems the only option. Opgehaald van https://www.linkedin.com/posts/casper-tigchelaar-053b04b_when-flying-seems-the-only-option-activity-6787458238653767680-FsUG
- Trees for All. (2021). Trees for All. Opgehaald van <https://treesforall.nl/>
- TU Delft. (2018). Elektrisch vliegen is voorlopig kansloos. Opgehaald van <https://www.tudelft.nl/delft-integraal/articles/elektrisch-vliegen-is-voorlopig-kansloos>
- Umwelt Bundesamt. (2020). Integration of Non-CO₂ Effects of Aviation in the EU ETS and under CORSIA. Dessau-Roßlau, Duitsland.
- WEF. (2020). Clean Skies for Tomorrow - Sustainable Aviation Fuels as a Pathway to Net-Zero Aviation.
- Wikipedia. (2021). Fare basis code. Opgehaald van https://en.wikipedia.org/wiki/Fare_basis_code