



Meest vervuilende vluchten

Analyse van het klimaateffect van KLM-
vluchten



Meest vervuilende vluchten

Analyse van het klimaateffect van KLM-vluchten

Dit rapport is geschreven door:
Christiaan Meijer en Jolien Meulepas

Delft, CE Delft, maart 2025

Publicatienummer: 25.240425.069

Opdrachtgever: Greenpeace

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Christiaan Meijer (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

	Samenvatting	3
1	Inleiding	4
	1.1 Aanleiding	4
	1.2 Doel en onderzoeksvragen	6
	1.3 Afbakening	6
	1.4 Leeswijzer	6
2	Totale emissies Nederlandse luchtvaart en rol KLM	7
	2.1 Nederlandse luchtvaart	7
	2.2 KLM Groep	7
3	Klimaateffecten kortste en langste vluchten	9
	3.1 Selectie kortste en langste vluchten	9
	3.2 Klimaateffecten kortste en langste vluchten	11
4	Meest vervuilende vluchten	19
	Referenties	22
A	Methode	24
	A.1 Totale emissies Nederlandse luchtvaart en rol KLM	24
	A.2 Meest vervuilende KLM-vluchten	24
B	Gebruikte data	27
C	Overzicht meest vervuilende vluchten	28
D	Klimaateffect kortste en langste vluchten	30
	D.1 Per vlucht	31
	D.2 Emissies (CO ₂ en non-CO ₂) per persoon	33
	D.3 Klimaateffect per passagier per km	38
	D.4 Gemiddelde klimaateffecten businessclass	43



Samenvatting

Achtergrond en doel van het onderzoek

Luchtvaart draagt wereldwijd 2,4% bij aan de CO₂-uitstoot. In Nederland heeft luchtvaart zelfs een aandeel van 6,2%. Naast CO₂-emissies veroorzaken non-CO₂-effecten van luchtvaart, zoals NO_x-emissies en contrails, ook een significante klimaatimpact. Om in lijn te komen met het Klimaatakkoord van Parijs is een snelle emissiereductie in de luchtvaart nodig. Technologische oplossingen gaan dit niet op tijd bieden, en daarom is er noodzaak voor vraagreductie. Vraagreductie werkt het meest effectief als beleid zich richt op de meest vervuilende vluchten.

In dat kader heeft Greenpeace CE Delft gevraagd om de in absolute en relatieve zin meest vervuilende vluchten van KLM in kaart te brengen. Meest vervuilend is in deze studie gedefinieerd als vluchten met de grootste klimaatimpact, waarbij we zowel CO₂- als non-CO₂-klimaateffecten meenemen voor de gehele route van een vlucht van Nederland tot de bestemmingsluchthaven.

Aandeel KLM in de CO₂-uitstoot van de Nederlandse luchtvaart

De KLM Groep, bestaande uit KLM Royal Dutch Airlines, KLM Cityhopper, Transavia en Martinair, is verantwoordelijk voor 54% van de CO₂-emissies van vertrekkende vluchten uit Nederland. Intercontinentale vluchten stoten het overgrote deel uit: 82% van de emissies van KLM Royal Dutch Airlines & KLM Cityhopper is afkomstig van intercontinentale vluchten.

Meest vervuilende vluchten

De absoluut meest vervuilende vluchten bevinden zich onder de verste bestemmingen die KLM aanbiedt. De vlucht naar de verst direct bereikbare bestemming, Buenos Aires, is het meest vervuilend, zowel voor de vlucht zelf (1.281 ton CO₂-eq.) als per passagier (3,75 ton CO₂-eq. per Economy Class-passagier). Ter vergelijking, deze klimaatimpact per passagier staat ongeveer gelijk aan de CO₂-uitstoot van een jaar lang eten en drinken, een jaar lang autorijden of een jaar lang het huis verwarmen van een gemiddeld Nederlands huishouden.

Korte vluchten hebben een veel lagere klimaatimpact. De klimaatimpact van een vlucht van Schiphol naar Buenos Aires is 92 keer zo groot als die van een vlucht naar Parijs. Dit is deels te verklaren doordat Buenos Aires veel verder weg ligt (de vogelvluchtafstand is 29 keer zo groot), maar ook doordat het non-CO₂-klimaateffect veel groter is op langere vluchten en op vluchten naar een bestemming met een hoge breedtegraad.

In relatieve zin hebben korte en lange vluchten een ongeveer gelijke klimaatimpact (rond de 0,25 kgCO₂-eq. per reizigerskilometer). Het CO₂-effect is per kilometer groter op de korte vluchten, doordat hier een groter deel van de vlucht bestaat uit landen, opstijgen, klimmen en dalen. Deze fasen zijn relatief energie-intensief en daarmee vervuilend. Maar het non-CO₂-effect is per kilometer juist weer hoger op de lange vluchten. Hierdoor komt het netto-effect ongeveer gelijk uit voor korte en lange vluchten.



1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In 2015 in Parijs kwam de wereld overeen om de opwarming van de aarde ruim onder de 2°C boven het pre-industriële niveau te houden en inspanningen te leveren om deze te beperken tot 1,5°C. Negen jaren later ging het jaar 2024 de boeken in als wereldwijd het warmste jaar sinds het begin van de metingen. De aarde ging voor het eerst door de grens van 1,5°C opwarming (Copernicus, 2025). Dit betekent niet meteen dat het Parijs-doel van 1,5°C niet meer gehaald kan worden, hiervoor wordt meestal niet gekeken naar losse jaren, maar naar de gemiddelde temperatuur over een langere periode.

Tegelijkertijd stapelt het bewijs zich op dat de fysieke gevolgen van een temperatuurstijging van 2°C boven het pre-industriële niveau onevenredig groter kunnen zijn dan die van een stijging van 1,5°C. Dit heeft deels te maken met zogenaamde kantelpunten in het klimaatsysteem. Aangezien dit systeem complex is en veel feedbackloops bevat, kan het overschrijden van een bepaalde (temperatuur)drempel indirect zeer grote en bijna onomkeerbare veranderingen in het bredere systeem veroorzaken. Enkele belangrijke voorbeelden van kantelpunten zijn (UCAR, ongoing):

- **Smelten van de poolijskappen.** Door het albedo-effect versterkt het verlies van ijsoppervlak zichzelf, waardoor het smelten van de Antarctische en/of Groenlandse ijskappen onomkeerbaar zou kunnen worden - net als de daarmee gepaard gaande enorme zeespiegelstijging.
- **Verzwakking van de Golfstroom.** Het smelten van ijskappen zou ook de oceaan-circulatiepatronen kunnen beïnvloeden door de instroom van koud zoet water. Dit zou met name kunnen leiden tot een onomkeerbare verzwakking of zelfs omkering van de Atlantische Golfstroom, wat fundamentele veranderingen in bestaande weerspatronen zou veroorzaken.
- **Instorting van het regenwoud.** Als de vernietiging van regenwouden, zoals in het Amazonegebied, het bijbehorende kantelpunt overschrijdt, kan het regenwoud zichzelf niet meer in stand houden en verder instorten, waardoor grote hoeveelheden CO₂ in de atmosfeer vrijkomen.

Gedeeltelijk door de mechanismen van kantelpunten maakt het een significant verschil in termen van verwachte gevolgen voor zowel de natuur als de mensheid om de opwarming van de aarde te beperken tot 1,5°C in plaats van slechts 2°C. Het toestaan van een temperatuurstijging tot 2°C in vergelijking met 1,5°C zou bijvoorbeeld:

- het aandeel van de wereldbevolking dat **ten minste één keer in de 5 jaar wordt blootgesteld aan een extreme hittegolf** kunnen verhogen van 14% naar 37% (Dosio et al., 2018);
- het aantal mensen dat zowel wordt blootgesteld aan **klimaat gerelateerde risico's als dat kwetsbaar is voor armoede** met enkele honderden miljoenen kunnen verhogen tegen 2050 (IPCC, 2018);
- het aandeel van de wereldbevolking dat wordt **blootgesteld aan een door klimaatverandering veroorzaakte toename van waterschaarste** met maximaal 50% kunnen verhogen (IPCC, 2018);
- het **zeer hoge uitstervingsrisico voor endemische soorten** in biodiversiteitshotspots kunnen verdubbelen (IPCC, 2022);
- de kans op een **ijsvrije Arctische regio** kunnen verhogen tot 1 op 10 jaar in plaats van 1 op 100 jaar (IPCC, 2018).

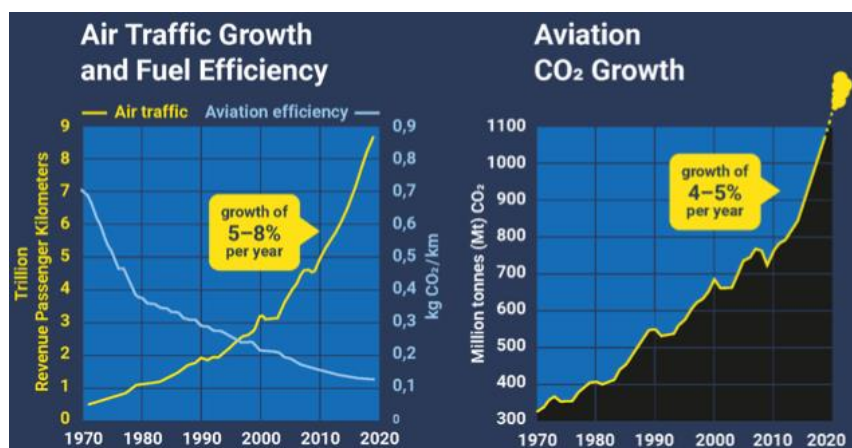


Bovendien zouden klimaateffecten zoals hierboven genoemd, tegen 2050 meer dan 200 miljoen mensen kunnen dwingen hun woonplaats te verlaten (World Bank, 2021). Dit kan ook leiden tot toegenomen migratiestromen naar regio's die beter in staat zijn zich aan te passen aan klimaatverandering, zoals Noord-Amerika en Europa (EP, 2022).

Deze voorbeelden illustreren het belang van het beperken van de opwarming van de aarde tot 1,5°C. Om dit doel binnen bereik te houden, zullen de broeikasgasemissies in de hele economie de komende jaren in een ongekend tempo moeten worden verminderd.

In 2019 had luchtvaart een bijdrage van 2,4% aan de wereldwijde CO₂-emissies. In een ontwikkeld land als Nederland heeft luchtvaart zelfs een bijdrage van 6,2%. Naast dit alles veroorzaken ook niet-CO₂-effecten, zoals de vorming van contrail-cirrus en NO_x-emissies op hoogte, een klimaatimpact. Het is zeer waarschijnlijk dat het aandeel van luchtvaart verder groeit in de toekomst, aangezien de emissies van veel andere sectoren aan het dalen zijn, terwijl de luchtvaart emissies nog steeds niet afnemen. Figuur 1 illustreert het verschil in snelheid tussen de wereldwijde groei van luchtvaart en de technologische verbeteringen leidende tot een hogere brandstofefficiëntie. De efficiëntie verbeteringen compenseren de groei van de luchtvaart maar deels. Netto is er over de periode van 1970 tot 2019 alsnog een gemiddelde groei van 4 tot 5% per jaar van de luchtvaart CO₂-uitstoot geweest.

Figuur 1 - Historische ontwikkeling van de wereldwijde luchtvaart groei, brandstofefficiëntie en CO₂-emissies tussen 1970 en 2019



Bron: Stay-grounded.org (Lee et al., 2021).

In 2022 is er door de 194 landen die lid zijn bij de International Civil Aviation Organisation (ICAO) een netto-nulemissiedoel afgesproken voor 2050 (ICAO, ongoing-b). Verdere uitwerkingen of verplichtingen ontbreken echter nog, waardoor er nog geen waarborging is van dit doel. Daarnaast is alleen een netto-nul 2050 doel niet voldoende. Het pad naar netto-nul toe is bepalend voor de wereldwijde temperatuurstijging, doordat CO₂ door zijn lange levensduur cumulatief opbouwt in de tijd. Het IPCC heeft uitgerekend wat de resterende wereldwijde koolstofbudgetten zijn passend bij bepaalde opwarmingsscenario's. In opdracht voor Schiphol zijn zowel door CE Delft (CE Delft, 2024) als NLR (NLR, 2024) de IPCC-budgetten vertaald naar resterende koolstofbudgetten voor de Nederlandse luchtvaart. Wat blijkt: als we willen richten op een maximaal 1,5°C wereldwijde opwarming wordt met het huidige niveau van emissies het luchtvaartbudget al opgebruikt in 2038. Een snelle reductie van de luchtvaart CO₂-emissies is daarom noodzakelijk. Om in lijn te komen met 1,5°C wereldwijde opwarming, zal in 2030 een emissiereductie van 30 tot 77% moeten

plaatsvinden ten opzichte van 2019. Technologische innovaties als elektrische- of waterstofvliegtuigen komen hiervoor te laat. Bestaande technologische oplossingen als meer Sustainable Aviation Fuel (SAF) bijmengen, werken met hogere kwaliteit SAFs of een modernere vloot zullen dit gat niet kunnen dichten (NLR, 2024). Daarom is vraagreductie nog de enige oplossing voor serieuze emissiereductie tot 2030. Dan resteert de vraag: welke vraag kan het beste gereduceerd worden? Het meest effectieve beleid richt zich vooral op het reduceren van de meest vervuilende vluchten. Welke vluchten dit zijn, is in deze studie onderzocht.

1.2 Doel en onderzoeksvragen

Greenpeace heeft CE Delft gevraagd om de in absolute en relatieve zin meest vervuilende vluchten van KLM in kaart te brengen. Meest vervuilend is in deze studie gedefinieerd als de grootste klimaatimpact, waarbij we zowel CO₂- als non-CO₂-klimaat effecten meenemen over de hele route van een vlucht van Nederland tot de bestemmingsluchthaven.

Voor dit onderzoek zijn drie subvragen gedefinieerd:

1. Wat is de totale CO₂-uitstoot van vertrekkende vluchten uit Nederland en wat is de rol van KLM hierin, zowel voor Europese als intercontinentale vluchten?
2. Hoe verhouden korte-afstandsvluchten zich tot lange-afstandsvluchten in termen van CO₂- en non-CO₂-uitstoot?
3. Welke specifieke bestemmingen van KLM zijn het meest vervuilend, zowel in absolute klimaatimpact als in relatieve klimaatimpact?

1.3 Afbakening

Deze studie focust zich op de CO₂- en non-CO₂-klimaat effecten van commerciële internationale vluchten vanaf Nederlandse luchthavens. KLM is hierbij als voorbeeld genomen, zijnde een grote in Nederland actieve luchtvaartmaatschappij met veel intercontinentale vluchten.

De CO₂-uitstoot is in deze studie berekend als de uitstoot van brandstof die wordt verbrand gedurende de vlucht (de zogeheten 'tank-to-wing' uitstoot). De non-CO₂-effecten zijn vergelijkbaar gemaakt met CO₂-effecten (in CO₂-equivalenten) door te kijken naar het gemiddelde klimaat effect over 100 jaar (GWP100).

1.4 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van de CO₂-emissies van de Nederlandse luchtvaart en de rol van de KLM Groep hierin. Voor het bepalen van de meest vervuilende vluchten kijken we specifiek naar de grootste dochtermaatschappij van de KLM Groep: KLM Royal Dutch Airlines. Hiervoor wordt in Hoofdstuk 3 een analyse gemaakt van het klimaat effect van een selectie van kortste en langste vluchten. Hoofdstuk 4 concludeert hieruit wat de meest vervuilende vluchten zijn. Bijlage A beschrijft de gebruikte methode voor dit onderzoek, Bijlage B de gebruikte data. Bijlage C geeft een overzicht van de klimaat impact van de meest vervuilende vluchten en Bijlage D geeft een uitgebreid overzicht van klimaat impact per vliegtuigtype.



2 Totale emissies Nederlandse luchtvaart en rol KLM

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de totale CO₂-emissies van de Nederlandse luchtvaart en de rol van KLM hierin. Er wordt in dit Hoofdstuk alleen gekeken naar CO₂-emissies door een gebrek aan data van non-CO₂-effecten op deze nationale scope. In de rest van het rapport wordt het totale klimaateffect inclusief non-CO₂-effecten bekeken. Verder gaat dit Hoofdstuk over de luchtvaartemissies in het jaar 2019, omdat dit het laatste representatieve jaar is. In de jaren na 2019 zijn nog sterk de effecten van de COVID-pandemie op de luchtvaartsector te zien.

2.1 Nederlandse luchtvaart

De totale CO₂-emissies van uit Nederland vertrekkende vluchten bedroegen 11,1 megaton CO₂ in 2019. De verdeling van deze emissies over de verschillende Nederlandse luchthavens wordt gegeven in Tabel 1.

Tabel 1 - CO₂-uitstoot van de vertrekkende vluchten per luchthaven

Luchthaven	CO ₂ -uitstoot (kiloton)
Schiphol Airport	10.488
Eindhoven Airport	348
Rotterdam The Hague Airport	132
Groningen Airport Eelde	13
Maastricht Aachen Airport	135

Bron: (CE Delft, 2023).

2.2 KLM Groep

De CO₂-emissies van KLM voor vanuit Nederland vertrekkende vluchten bedroegen 4,7 megaton in 2019. Dit is 43% van de totale Nederlandse luchtvaartemissies. KLM (ook vaak aangeduid met de Engelse naam KLM Royal Dutch Airlines) vormt de kern van de KLM Groep¹, waarvan ook dochterondernemingen KLM Cityhopper, Transavia en Martinair-deel uitmaken. De totale KLM Groep stootte in 2019 6,0 megaton CO₂ uit en vormt daarmee 54% van de Nederlandse luchtvaartemissies.

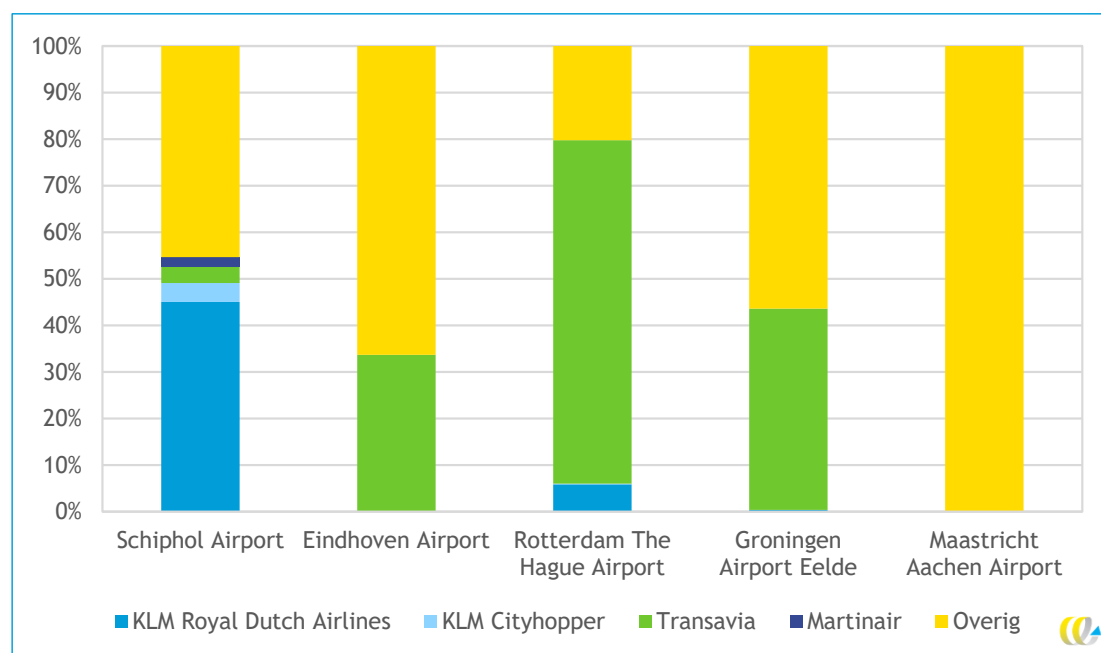
Bovenstaande gaat over de emissies van uit Nederland vertrekkende vluchten, echter zijn de terugvluchten ook van KLM. Voor de totale emissies van KLM moeten we daarom ook de emissies van de terugvluchten meenemen. Dit geeft 9,4 megaton CO₂ voor KLM Royal Dutch Airlines en 12,0 megaton CO₂ voor de KLM Groep (het dubbele van eerder genoemde emissies). Dit is in lijn met de cijfers uit hun eigen jaarrapport (KLM, 2023).

Het aandeel van de emissies van de KLM Groep verschilt sterk per luchthaven, zoals te zien is in Figuur 2. KLM Royal Dutch Airlines is sterk vertegenwoordigd op Schiphol met bijna de

¹ De KLM Groep is weer onderdeel van de Air France-KLM Group, echter door het zeer beperkte aantal vluchten van Air France in Nederland is dit verschil verwaarloosbaar.

helft van de emissies daar, op Rotterdam The Hague Airport heeft het ook nog een beperkt aandeel van 6%. Op de regionale luchthavens voert echter Transavia de boventoon met respectievelijk 34%, 74% en 43% op Eindhoven Airport, Rotterdam The Hague Airport en Groningen Airport Eelde. KLM Cityhopper en Martinair zijn voornamelijk actief op Schiphol, ze hebben daar een beperkt aandeel van de emissies met 4% en 2%. Op Maastricht Aachen Airport is de KLM Groep vrijwel niet vertegenwoordigd.

Figuur 2 - Aandeel van de KLM Groep in de CO₂-uitstoot per luchthaven



Bron: (CE Delft, 2023).

De dochterondernemingen van de KLM Groep hebben verschillende doelgroepen. Zo richt KLM Cityhopper zich uitsluitend op vluchten binnen Europa, Transavia richt zich op de randen van het Middellandse Zeegebied en populaire wintersportbestemmingen en Martinair richt zich vooral op vrachtvluchten en opleidingsvluchten. De grootste dochteronderneming KLM Royal Dutch Airlines richt zich zowel op Europese als intercontinentale bestemmingen.

Een onderverdeling van de emissies van KLM Royal Dutch Airlines & KLM Cityhopper voor Europese en intercontinentale vluchten wordt gegeven in Tabel 2. Vertrekkende vluchten met een intercontinentale bestemming stoten het overgrote deel van de emissies uit met 82%. Dit komt voornamelijk doordat intercontinentale vluchten door hun lange afstand per vlucht veel meer uitstoten.

Tabel 2 - CO₂-uitstoot KLM Royal Dutch Airlines & KLM Cityhopper van vertrekkende vluchten met een Europese of intercontinentale bestemming

Bestemming	CO ₂ -uitstoot (kiloton)	Aandeel
Europese vluchten	950	18%
Intercontinentale vluchten	4,207	82%

Bronnen: (CE Delft, 2023; EEA, 2025; NEa, 2018).

3 Klimaateffecten kortste en langste vluchten

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de klimaateffecten van de kortste en langste vluchten van KLM Royal Dutch Airlines & KLM Cityhopper (vanaf nu 'KLM'). In Paragraaf 3.1 wordt uitgelegd hoe de kortste en langste vluchten uit het KLM-netwerk zijn geselecteerd. Vervolgens geeft Paragraaf 3.2 weer wat de klimaateffecten zijn (zowel voor CO₂ als non-CO₂-emissies) van deze vluchten. Het klimaateffect wordt op drie verschillende manieren bekeken: per vlucht, per passagier en per reizigerskilometer. De laatste twee worden in dit hoofdstuk weergegeven voor een Economy-passagier. Voor een analyse per Business Class-passagier, zie Bijlage D.

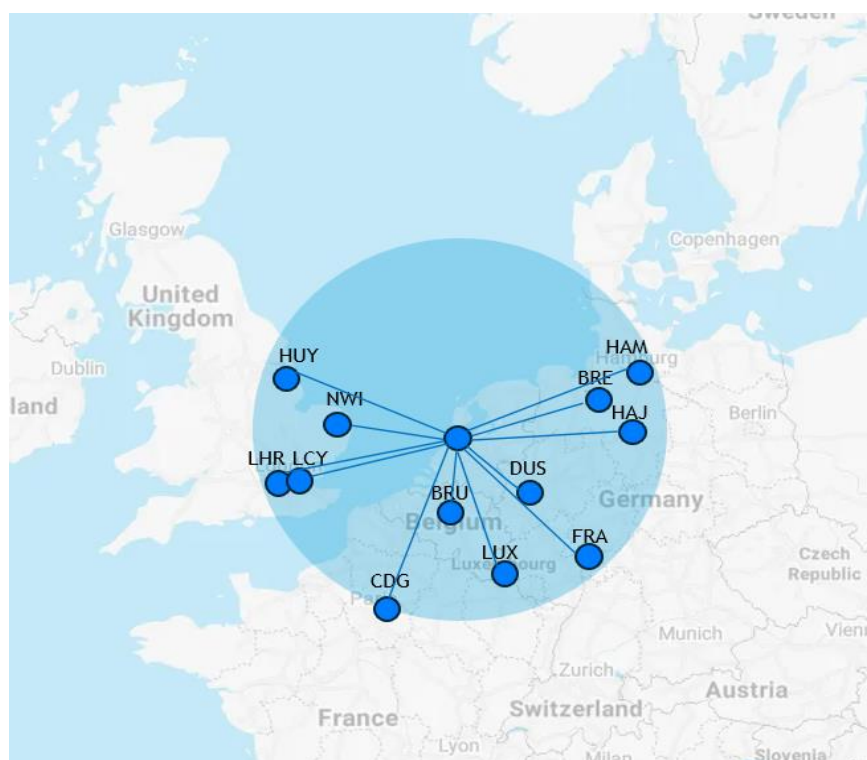
3.1 Selectie kortste en langste vluchten

Kortste vluchten

Figuur 3 is een kaart van Noordwest-Europa met daarop een overzicht van het directe bestemmingsnetwerk van KLM Royal Dutch Airlines & KLM Cityhopper binnen een straal van 400 km vanaf Schiphol. Elk bolletje representeert een luchthaven in het directe netwerk van KLM. De twaalf bestemmingen die binnen deze straal van 400 km vallen zijn geselecteerd. Deze bestemmingen en hun respectievelijke afstand tot Schiphol zijn weergegeven in Tabel 1.

De straal van 400 km is gekozen zodat alle grote luchthavens waarop frequent wordt gevlogen vanaf Schiphol, zoals Brussel, Düsseldorf, London Heathrow en Charles de Gaulle (Parijs), binnen de selectie vallen. Aan de andere kant is het juist ook interessant om de wat kleinere luchthavens die binnen deze straal liggen verder te onderzoeken, gezien deze door hun lagere vraag mogelijk met andere typen vliegtuigen bevoegen worden, wat weer kan leiden tot andere klimaateffecten.

Figuur 3 - Directe bestemmingsnetwerk KLM in Noordwest-Europa. De bestemmingen binnen de cirkel vallen binnen een radius van 400 km vanaf Schiphol, deze zijn geselecteerd als kortste vluchten



Bron: (FlightConnections, lopend).

Tabel 3 - Selectie kortste vluchten met hun respectievelijke vogelvluchtafstand tot Schiphol

Bestemming directe vlucht	Afstand (vogelvlucht) (km)
Brussel (BRU)	158
Düsseldorf (DUS)	178
Norwich (NWI)	239
Bremen (BRE)	283
Luxemburg (LUX)	315
Hannover (HAJ)	334
Londen City (LCY)	335
Frankfurt (FRA)	367
Humberside (HUY)	370
Londen Heathrow (LHR)	370
Hamburg (HAM)	379
Parijs (CDG)	398

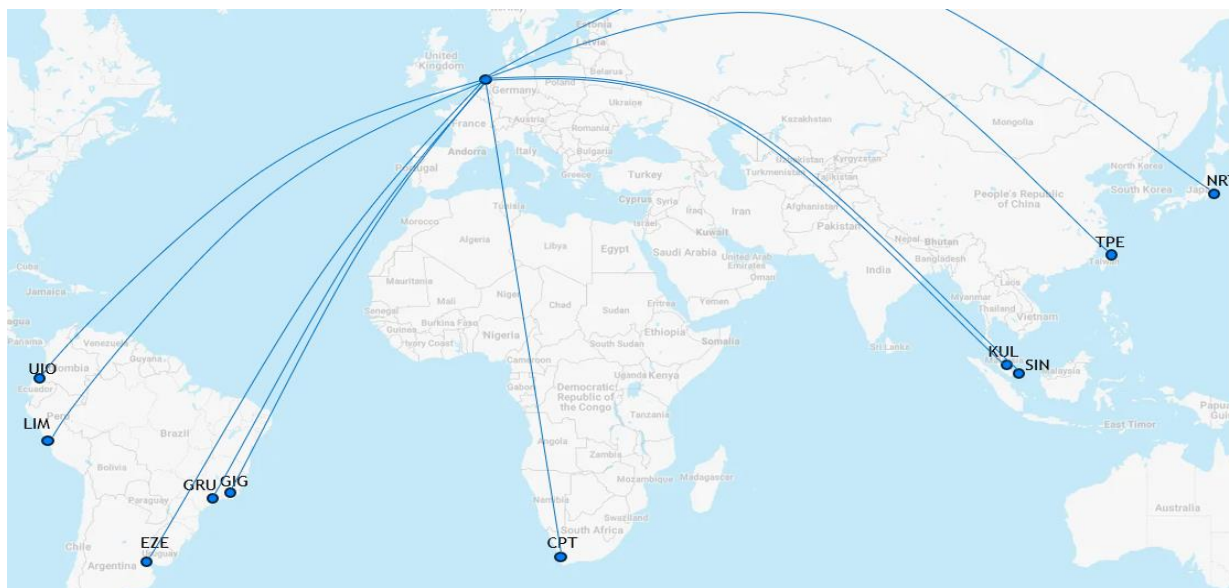
Bron: (KLM Royal Dutch Airlines, lopend-b) Distance.to (lopend).

Langste vluchten

Figuur 4 is een wereldkaart met daarop een overzicht van de top 10 verste bestemmingen op basis van hun vogelvluchtafstand tot Schiphol. Elke luchthaven is weergegeven met een bolletje. Deze top 10 verste bestemming is geselecteerd voor de langste vluchten. Ook Tabel 4 geeft deze geselecteerde verste bestemmingen weer, samen met hun respectievelijke vogelvluchtafstand tot Schiphol.

Er zijn nog bestemmingen die zelfs iets verder dan deze bestemmingen liggen. Om deze bestemmingen te bereiken is echter een transit-vlucht nodig. Bij een transit-vlucht wordt er eerst een tussenstop op een andere luchthaven gemaakt, waarbij een deel van de passagiers overstapt, terwijl een ander deel blijft zitten en weer met hetzelfde vliegtuig doorvliegt naar hun eindbestemming. Voor dit onderzoek zijn bestemmingen die alleen met een transit-vlucht bereikbaar zijn buiten de scope gelaten.

Figuur 4 - Directe wereldwijde bestemmingsnetwerk KLM. De 10 bestemmingen met de langste vogelvlucht-afstand vanaf Schiphol zijn geselecteerd. Transit bestemmingen vallen buiten de scope



Bron: (FlightConnections, lopend).

Tabel 4 - Selectie langste vluchten met hun respectievelijke vogelvluchtafstand tot Schiphol

Bestemming directe vlucht	Afstand (vogelvlucht) (km)
Tokio (NRT)	9.319
Taipei (TPE)	9.443
Quito (UIO)	9.552
Rio de Janeiro (GIG)	9.560
Kaapstad (CPT)	9.687
Sao Paulo (GRU)	9.775
Kuala Lumpur (KUL)	10.237
Singapore (SIN)	10.514
Lima (LIM)	10.520
Buenos Aires (EZE)	11.462

Bron: (KLM Royal Dutch Airlines, lopend-b) Distance.to (lopemd).

3.2 Klimaat effecten kortste en langste vluchten

In deze sectie worden de klimaat effecten van de geselecteerde kortste en langste vluchten weergegeven en toegelicht. Voor het bepalen van het klimaat effect worden zowel CO₂- als non-CO₂-effecten meegenomen. Wat non-CO₂-effecten zijn, en waarom het belangrijk is deze ook mee te nemen, wordt beknopt toegelicht in Tekstkader 1. Om de klimaat effecten te bepalen is een methode ontwikkeld: de CO₂-emissies zijn op basis van de Small Emitters

Tool (Eurocontrol, lopend) ingeschat en de non-CO₂-emissies op basis van de ANCO-tool (CE Delft & DLR, 2024). Een verdere toelichting van deze methode wordt gegeven in Bijlage A.

De klimaateffecten zijn voor drie verschillende scopes bepaald. In Paragraaf 3.2.1 worden de klimaateffecten gegeven in absolute hoeveelheid per vlucht, in Paragraaf 3.2.2 per passagier, en in Paragraaf 3.2.3 per reizigerskilometer.

KLM vliegt met verschillende typen toestellen naar eenzelfde bestemming. Om de resultaten hier overzichtelijk te houden is een gemiddelde genomen van de verschillende typen vliegtuigen die vliegen op eenzelfde bestemming. Een geheel overzicht van het klimaateffect per vliegtuigtype per bestemming is gegeven in Bijlage D.

Tekstkader 1 - Wat zijn non-CO₂-klimaateffecten en waarom zijn deze belangrijk?

Naast CO₂ komen er bij verbranding van kerosine in een vliegtuigmotor (gasturbine) ook andere gassen en deeltjes vrij. Dit zijn emissies van stikstofoxiden (NO_x), roetdeeltjes (nvPM), zwaveloxiden (SO_x), en waterdamp (H₂O). Deze emissies hebben op de grond een effect op de luchtkwaliteit en op de kruishoogte van vliegtuigen een effect op het klimaat. Op kruishoogte hebben deze emissies zowel chemische als fysische invloeden op de atmosfeer die bijdragen aan klimaatverandering. Deze emissies worden ook wel 'non-CO₂-klimaateffecten van luchtvaart' genoemd. Een rapport opgesteld voor (EASA et al., 2020) geeft een duidelijk overzicht hiervan.

De impact van deze non-CO₂-klimaateffecten zijn fors: in de internationale literatuur wordt geschat dat de opwarmende effecten van onder andere contrails en NO_x gemiddeld twee keer zo groot zijn als die van CO₂ (Lee et al., 2021). Er zijn echter nog grote onzekerheden over het precieze formaat van de non-CO₂-effecten. Wat wel vaststaat, is dat de effecten groot zijn. Om een totaalbeeld te krijgen van de klimaatimpact van luchtvaart is het daarom belangrijk om deze effecten ook mee te nemen.

De non-CO₂-klimaateffecten zijn verder afhankelijk van de atmosferische omstandigheden op koershoogte en zijn gemiddeld groter voor lange vluchten omdat deze vluchten een grotere gemiddelde koershoogte kennen. Ook vluchten met een oorsprong of bestemming op een hoge breedtegraad (zowel ver zuidelijk als noordelijk) kennen een grotere non-CO₂-klimaatimpact. (Dahlmann et al., 2021)

3.2.1 Klimaateffect per vlucht

De klimaateffecten worden weergegeven per bestemming in Figuur 5 voor de kortste vluchten en in Figuur 6 voor de langste vluchten. Hierin zijn de klimaateffecten van CO₂ en non-CO₂ apart weergegeven: voor CO₂ is dit met een blauwe kleur en voor non-CO₂ met een gele kleur. De vluchten zijn gerangschikt van kort naar lang van links naar rechts.

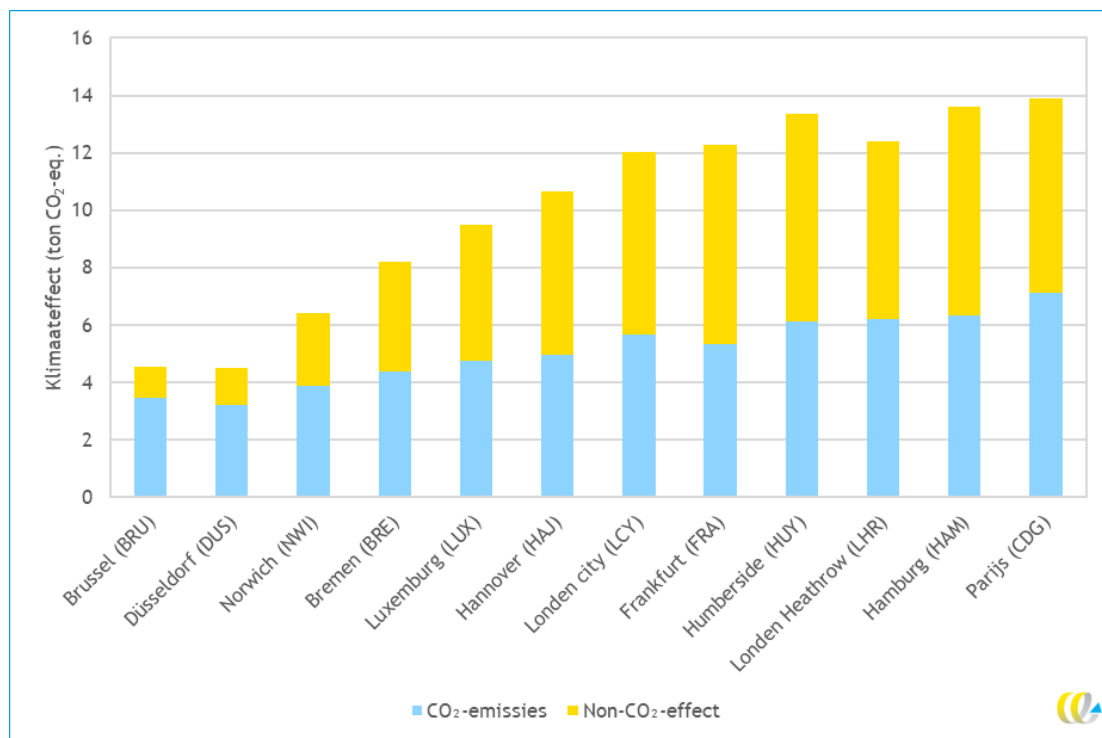
Bij de kortste vluchten, weergegeven in Figuur 5, is een algemene trend te zien waarbij zowel het CO₂- als non-CO₂-klimaateffect toeneemt naarmate de afstand groter wordt. Dit is begrijpelijk aangezien bij het vliegen naar een verdere bestemming meer brandstof wordt gebruikt en er hierdoor meer emissies vrijkomen. Ook is te zien dat het aandeel van non-CO₂ op het totale klimaateffect toeneemt naarmate de afstand groter wordt. Dit is in lijn met eerder onderzoek (Dahlmann et al., 2021), waaruit blijkt dat het non-CO₂-effect groter wordt naarmate de vluchtafstand toeneemt. Dit wordt verklaard doordat bij langere vluchten een groter deel van de vlucht op koershoogte is. Non-CO₂-effecten zijn aanzienlijk sterker op koershoogte dan op lagere hoogten, zoals bij het landen en opstijgen. De KLM-vlucht met het laagste absolute klimaateffect is de vlucht naar Düsseldorf met 4,5 ton CO₂-eq. Deze heeft een net iets lager klimaateffect dan de vlucht naar Brussel,



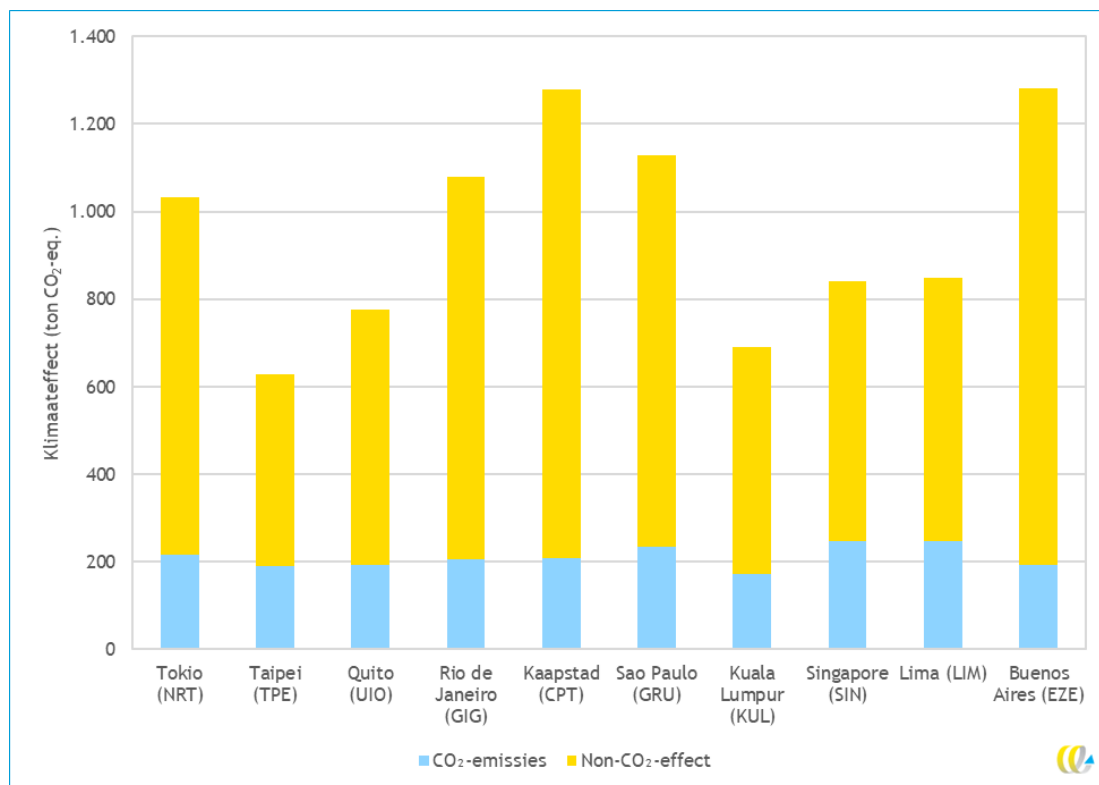
terwijl de afstand naar Düsseldorf net iets groter is. Dit wordt verklaard door het verschil in type vliegtuigen dat wordt gebruikt naar deze bestemmingen. Op de route naar Brussel worden deels grotere toestellen gebruikt, waardoor deze meer brandstof verbruiken. Aan de andere kant kunnen er hierdoor meer passagiers per vlucht vervoerd worden op deze route, waardoor de volgorde voor het klimaateffect per passagier wel weer anders uitvalt, zoals we zullen zien in Paragraaf 3.2.2. Voor de selectie van kortste vluchten is het klimaateffect naar Parijs het hoogst met 13,9 ton CO₂-eq., simpelweg omdat deze bestemming het verste weg ligt.

Op de langste vluchten, weergegeven in Figuur 6, is duidelijk te zien dat afstand niet de enige factor is die effect heeft op het totale klimaateffect. Zo komen de bestemmingen met het hoogste klimaateffect (Buenos Aires, Kaapstad en Sao Paulo) niet per se overeen met de verste bestemmingen (Buenos Aires, Lima en Singapore). Dit wordt grotendeels verklaard door het non-CO₂-effect, welke op deze verre afstanden het grootste deel van het totale klimaateffect omvat. Naast dat het non-CO₂-effect, zoals eerder werd uitgelegd, toeneemt met de vliegafstand is het non-CO₂-effect ook afhankelijk van de breedtegraad van de route. Zoals eerder onderzoek laat zien (Dahlmann et al., 2021) hebben bestemmingen met een hogere breedtegraad, zowel ver noordelijk of ver zuidelijk, een groter non-CO₂-effect. Het totale klimaateffect ligt het hoogst voor de vlucht naar Buenos Aires met 1.281 ton CO₂-eq., gevolgd door Kaapstad met 1.278 ton CO₂-eq.

Figuur 5 - Klimaateffect per vlucht van de kortste KLM-vluchten



Figuur 6 - Klimaateffect per vlucht van de langste KLM-vluchten



3.2.2 Klimaateffect per passagier

Hiervoor analyseerden we het klimaateffect van een vlucht. Omdat voor verschillende bestemmingen verschillende toestellen worden gebruikt, waarbij in het ene toestel meer passagiers passen dan in het andere, kan het dat de volgorde van het klimaateffect anders uitvalt per passagier. Daarom analyseren we in deze sectie het klimaateffect per passagier. In dit hoofdstuk presenteren wij het klimaateffect voor een Economy-passagier. Voor een aanvullende analyse van gemiddelde klimaateffecten voor een Business Class-passagier zie Bijlage D.4.

In Figuur 7 en Figuur 8 is het klimaateffect per passagier weergegeven van respectievelijk de selectie kortste en langste vluchten. De vluchten zijn gesorteerd van kort naar lang van links naar rechts. In Figuur 7 is een trend te zien waarbij het totale klimaateffect per passagier toeneemt naarmate de afstand toeneemt. Alleen voor de eerste drie bestemmingen uit de selectie, Londen Heathrow, Hamburg en Parijs, geldt dit niet en nemen de emissies per passagier juist weer af. Dit is te verklaren doordat er naar deze bestemmingen deels met grotere vliegtuigen gevlogen wordt. Het extra klimaateffect per vlucht van deze zwaardere vliegtuigen weegt niet op tegen het groter aantal passagiers dat hiermee vervoerd wordt, waardoor er netto per passagier een kleiner klimaateffect is. Het grootste klimaateffect per passagier voor de selectie kortste vluchten is naar Humberside met 140 kgCO₂-eq. Een stuk hoger dan voor Londen Heathrow, waarnaar de afstand even lang is (Tabel 3), met een gemiddeld klimaateffect per Economy Class-passagier van 71 kgCO₂-eq.

Het klimaateffect per Economy Class-passagier op de tien langste vluchten, weergegeven in Figuur 8, nemen minder duidelijk toe naarmate de afstand toeneemt. Ook hier is weer te zien dat het grote verschil op deze afstanden voornamelijk in de non-CO₂-effecten zit. Weer is Buenos Aires de bestemming met het grootste klimaateffect (3.750 kgCO₂-eq. per Economy Class-passagier). Kaapstad heeft per passagier een iets kleiner klimaateffect gekregen doordat naar deze bestemming deels grotere toestellen worden gebruikt. Om een indruk te geven van hoeveel CO₂-eq. dit is, is in Tekstkader 2 een vergelijking gegeven met gemiddelden.

Tekstkader 2 - Vergelijking CO₂-uitstoot met andere voorbeelden

Een vlucht naar Buenos Aires heeft een klimaateffect van 3,75 ton CO₂-eq. per Economy Class-passagier. Om een beter beeld te krijgen van hoeveel dit eigenlijk is geven wij hier een aantal voorbeelden ter vergelijking.

Een gemiddelde Nederlandse inwoner stoot 8,8 ton CO₂ uit per jaar, dit is bijna twee keer zo hoog als het wereldwijde gemiddelde met 4,6 ton CO₂ per persoon in 2022 (Our World in Data, lopend). Een enkele vlucht naar Buenos Aires heeft dus bijna een gelijke klimaatimpact aan wat een gemiddelde wereldburger in een jaar uitstoot, een retourvlucht staat bijna gelijk aan wat een Nederlander in een jaar uitstoot.

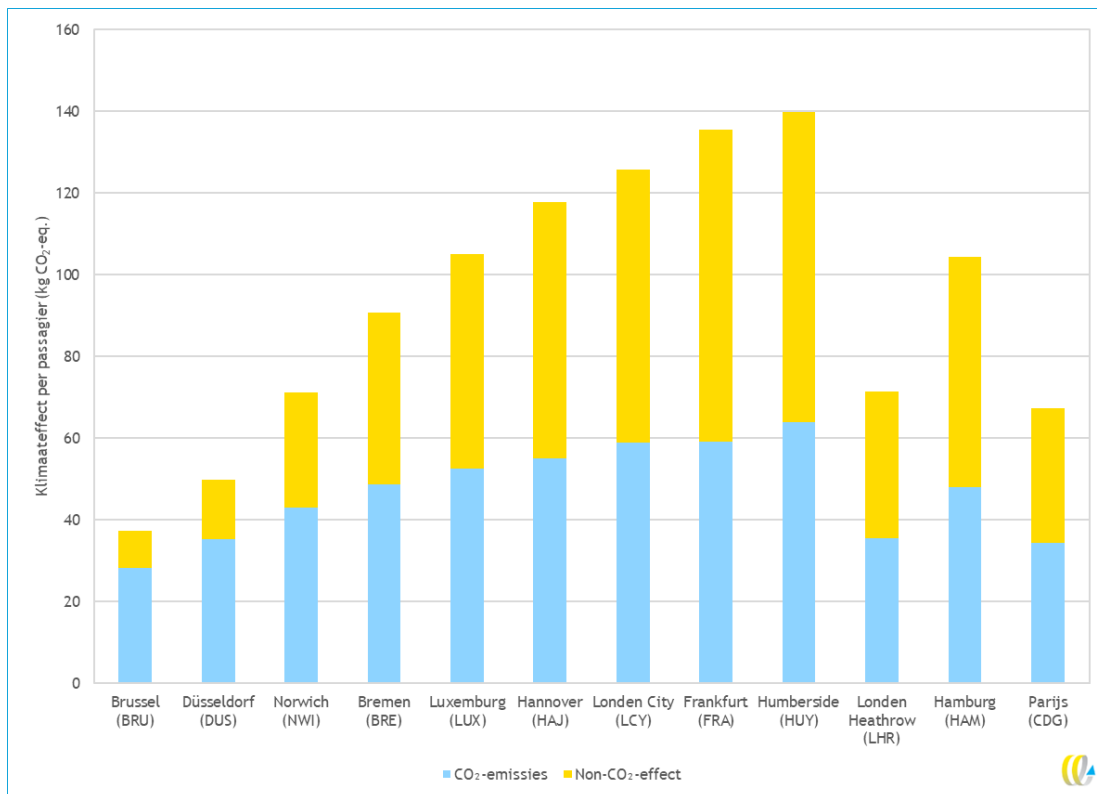
Een gemiddeld Nederlands huishouden stoot 18,5 ton CO₂ uit per jaar (Milieucentraal, 2024). Dit bestaat gemiddeld gezien uit:

- Eten en drinken: 4,1 kton CO₂.
- Auto, fiets en ov: 4,0 kton CO₂.
- Energie in huis: 3,3 kton CO₂.
- Spullen en kleding: 2,3 kton CO₂.
- Overige posten (woning; recreatie, cultuur en sport, collectieve voorzieningen en vliegen): 4,8 kton CO₂.

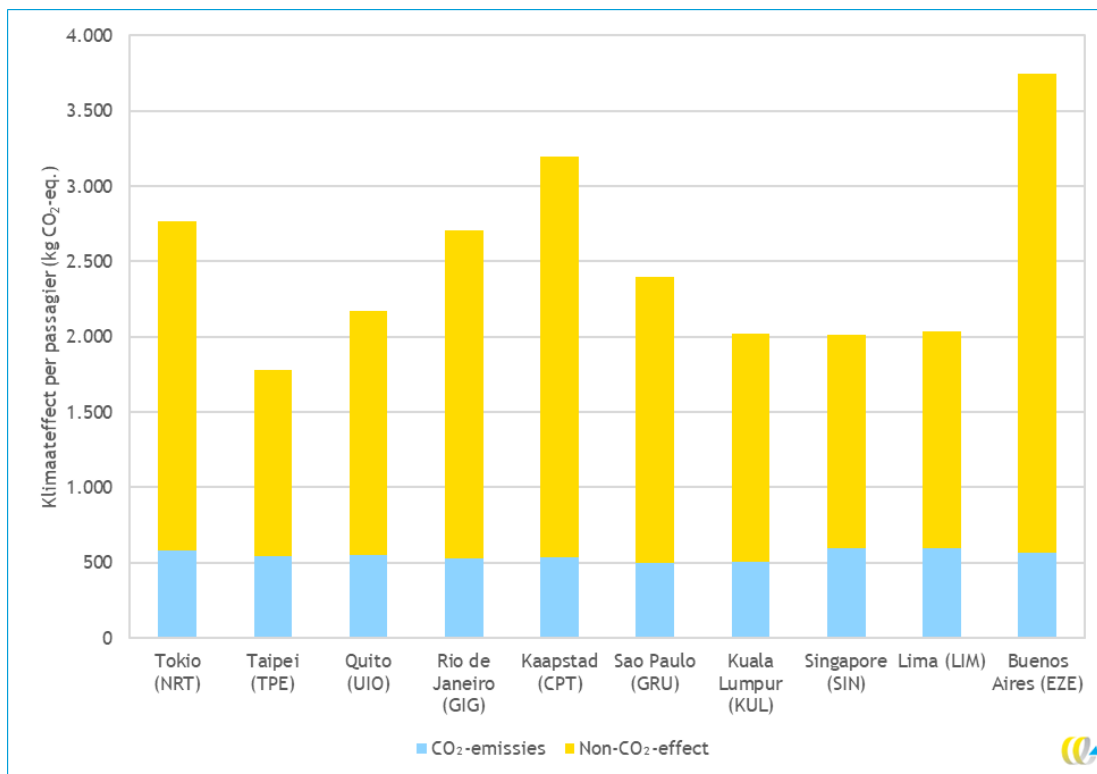
Oftewel, een enkeltje naar Buenos Aires heeft een ongeveer gelijke klimaateffect aan een jaar lang eten en drinken, een jaar lang autorijden of een jaar lang het huis verwarmen van een huishouden.



Figuur 7 - Klimateffect per passagier (Economy Class) van de kortste KLM-vluchten



Figuur 8 - Klimateffect per passagier (Economy Class) van de langste KLM-vluchten



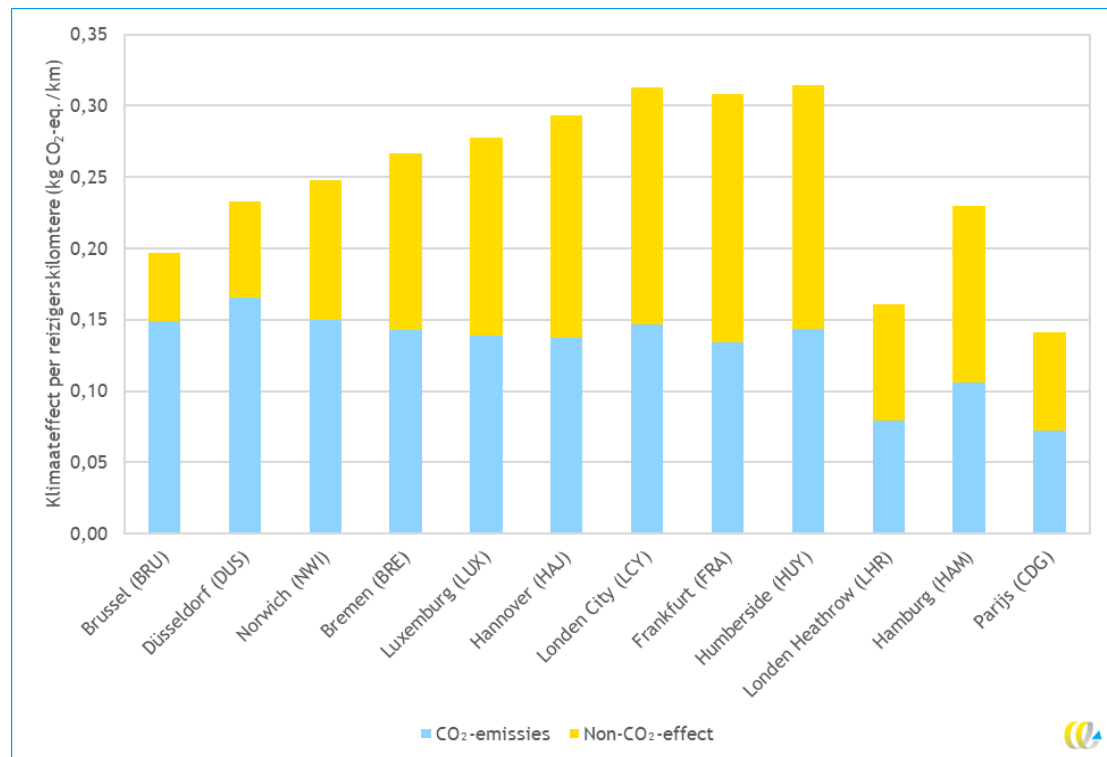
3.2.3 Klimaat-effect per reizigerskilometer

Naast het absolute klimaat-effect per vlucht en per passagier, is ook het relatieve klimaat-effect interessant. Hiervoor bekijken we in deze paragraaf het klimaat-effect per passagier per kilometer (ook wel reizigerskilometer genoemd).

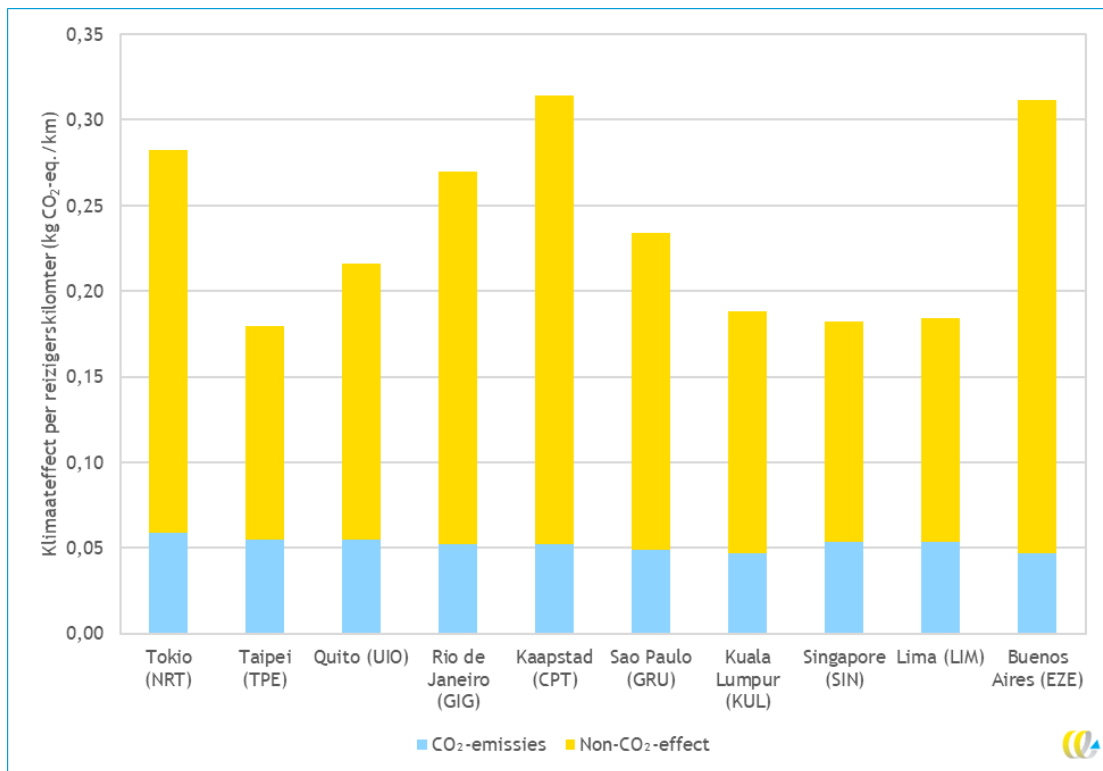
In Figuur 9 en Figuur 10 is het klimaat-effect weergegeven per reizigerskilometer voor een Economy Class-passagier. Laten we eerst alleen het CO₂-effect bekijken. Voor CO₂ is te zien dat het effect per reizigerskilometer eigenlijk vrij constant is. Voor de kortste vluchten ligt dit rond de 0,15 kgCO₂/km, alleen bij Londen Heathrow, Hamburg en Parijs ligt dit een stuk lager, dit komt zoals eerder benoemd door de grotere toestellen die hier gebruikt worden. Voor de langste vluchten ligt het klimaat-effect rond de 0,05 kgCO₂/km. Dit is significant lager dan bij de korte vluchten. De verklaring hiervoor is dat bij korte vluchten een groot deel van de vlucht bestaat uit landen, opstijgen, klimmen en dalen, en dat in deze fasen veel meer brandstof wordt verbruikt dan bij de cruise fase.

Als we nu ook de non-CO₂-klimaat-effecten bekijken, dan zien we vergelijkbare trends met hiervoor. De non-CO₂-effecten nemen over het algemeen toe bij langere afstanden, en ook bij vluchten naar bestemmingen met een hoge breedtegraad. Doordat de non-CO₂-effecten zoveel groter zijn bij de langste afstanden is het totale klimaat-effect per reizigerskilometer interessant genoeg weer redelijk vergelijkbaar voor de kortste en langste afstanden, met de meeste liggend rond de 0,20 tot 0,25 kgCO₂-eq./km.

Figuur 9 - Klimaat-effect per reizigerskilometer (Economy Class) voor de kortste vluchten



Figuur 10 - Klimateffect per reizigerskilometer (Economy Class) voor de langste vluchten



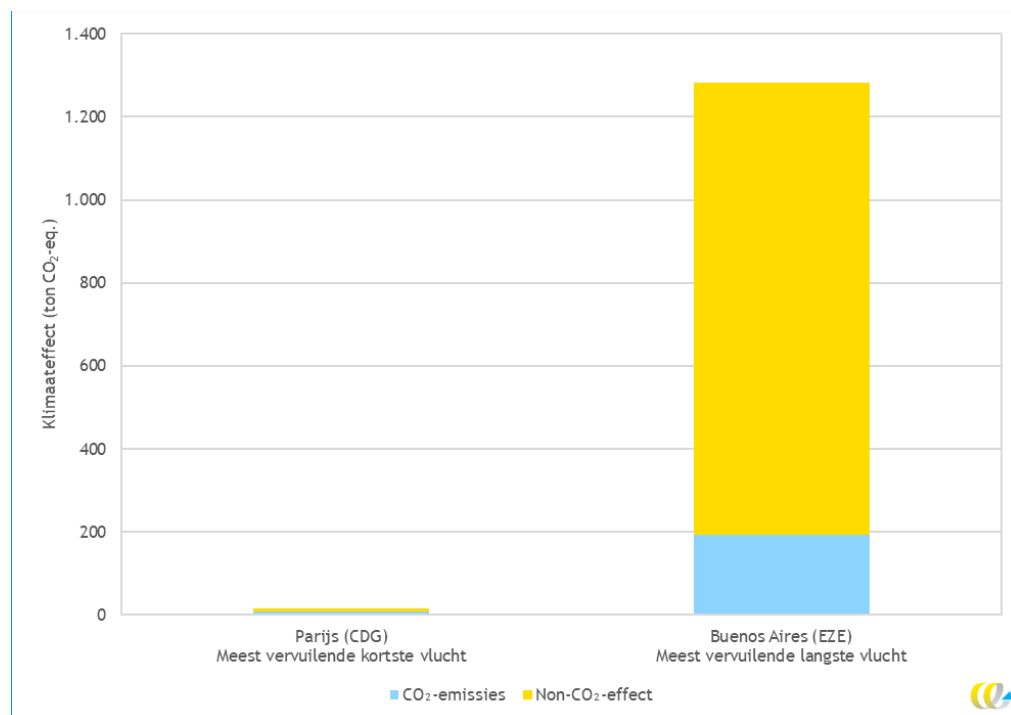
4 Meest vervuilende vluchten

Zoals in het vorige Hoofdstuk toegelicht bestaan er verschillende manieren om naar de meest vervuilende vluchten te kijken. De meest vervuilende vlucht kan worden bepaald in absolute zin, waarin zowel gekeken kan worden naar het klimaateffect van de vlucht zelf als naar het klimaateffect per passagier, of in relatieve zin waarin wordt gecompenseerd voor het aantal afgelegde kilometers. Dit Hoofdstuk concludeert wat de meest vervuilende vlucht is voor elk van deze scopes. Bijlage C geeft met tabellen nog een uitgebreider overzicht van de meest vervuilende vluchten.

Per vlucht

Figuur 11 geeft een overzicht van de meest vervuilende vluchten voor het klimaateffect per vlucht. Links is de meest vervuilende vlucht uit de selectie kortste vluchten weergegeven (Parijs), rechts die uit de selectie langste vluchten (Buenos Aires). De meest vervuilende vlucht met betrekking tot klimaatimpact per vlucht is duidelijk Buenos Aires, de verste direct bereikbare bestemming van KLM. Buenos Aires heeft ook duidelijk een vele malen hogere klimaateffect per vlucht dan Parijs. De klimaatimpact is zelfs 92 keer zo groot. Dit is voornamelijk te verklaren door de fors grotere afstand naar Buenos Aires dan naar Parijs. De vogelvluchtafstand naar Buenos Aires is 29 keer zo groot, waardoor er veel meer brandstof wordt verbruikt. Een verdere verklaring is dat de non-CO₂-klimaatimpact van lange vluchten veel groter zijn dan die van korte vluchten (lange vluchten vliegen langer op koershoogte waar non-CO₂-effecten sterker zijn) en de non-CO₂-klimaatimpact groter is voor vluchten naar bestemmingen met een hoge breedtegraad (Buenos Aires ligt ver op het zuidelijk halfrond).

Figuur 11 - Meest vervuilende vluchten in klimaatimpact per vlucht van selectie kortste (links) en langste vluchten (rechts)

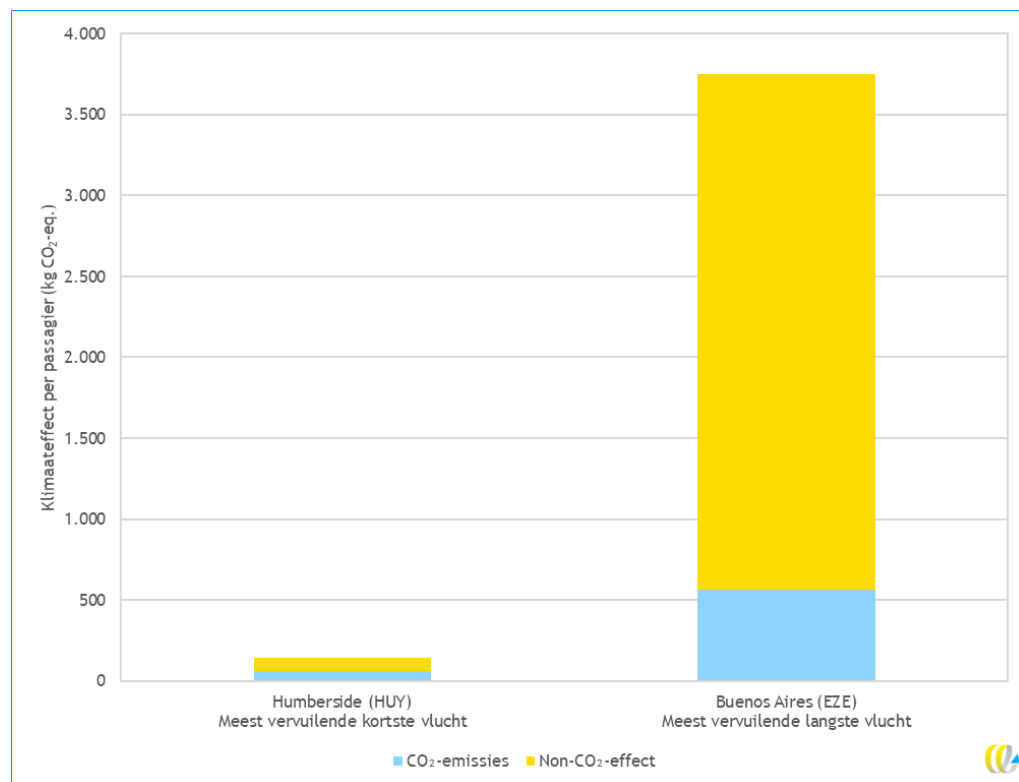


Per passagier

Figuur 12 toont de vluchten met de grootste klimaatimpact per passagier. Dit wordt weergegeven voor de selectie kortste vluchten en langste vluchten. De meest vervuilende vlucht in klimaatimpact per passagier is hier eveneens Buenos Aires. De meest vervuilende kortste vlucht is hier niet Parijs, zoals bij de klimaatimpact per vlucht, maar Humberside. Dit komt doordat Humberside een wat minder populaire bestemming is en hiervoor kleinere vliegtuigen worden gebruikt. Het klimaateffect per passagier komt hierdoor wat hoger te liggen.

De klimaatimpact per passagiers is eveneens vele malen groter (27 keer voor Economy Class) bij de langste vlucht, Buenos Aires, vergeleken met de korte vlucht Humberside. Dit wordt eveneens verklaard door de veel grotere afstand en hoge breedtegraad van Buenos Aires. Het verschil is wel iets kleiner geworden (vergeleken met de 92 keer klimaatimpact per vlucht), doordat er grotere toestellen worden gebruikt op deze lange afstanden, waardoor het klimaateffect over meer passagiers verdeeld wordt.

Figuur 12 - Meest vervuilende vluchten in klimaatimpact per passagier van de selectie kortste (links) en langste vluchten (rechts)

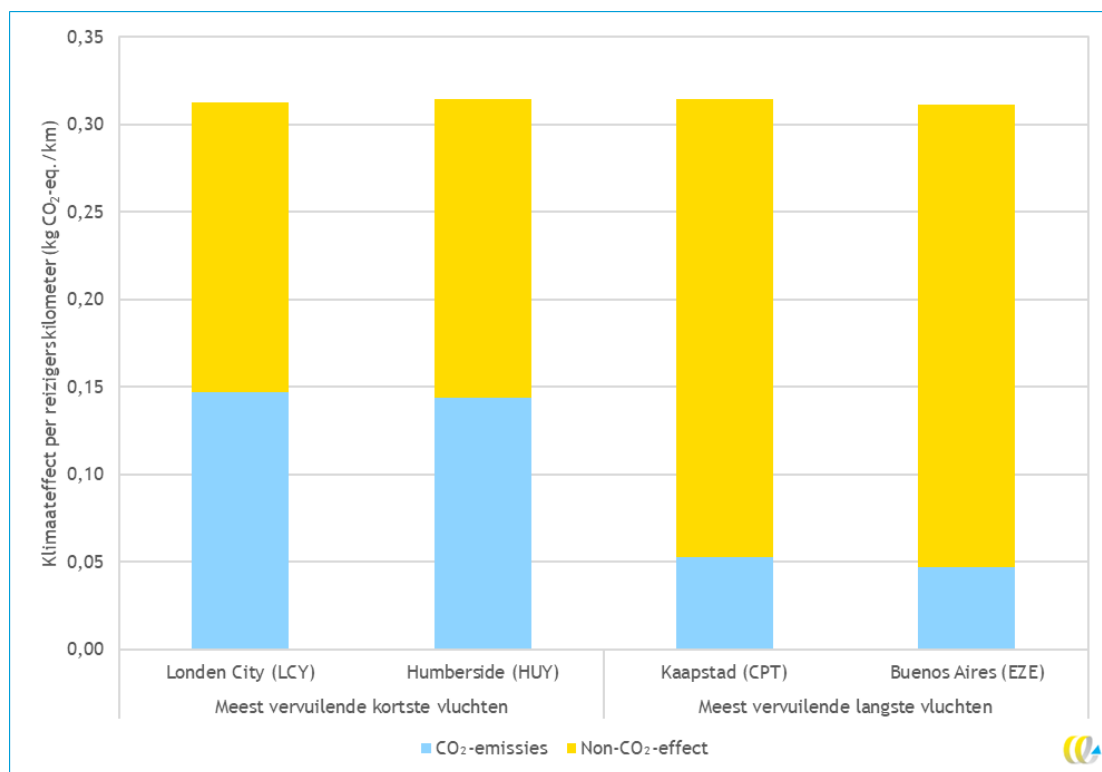


Per reizigerskilometer

De meest vervuilende vlucht kan ook relatief bekeken worden. In deze studie wordt daarvoor de klimaatimpact per passagier gecompenseerd voor het aantal afgelegde kilometers - waardoor we naar de klimaatimpact per reizigerskilometer kijken. In Figuur 13 is een overzicht gegeven van de vluchten met de grootste klimaatimpact per reizigerskilometer (hier twee bestemmingen voor kortste en langste vluchten omdat die deels een gelijke klimaatimpact hebben).

Hierin is te zien dat de lange en korte vluchten allemaal ongeveer een even grote klimaatimpact per reizigerskilometer hebben (0,31 kgCO₂/km). Dit is opvallend, aangezien we hiervoor aldoor zagen dat de klimaatimpact van de langste vluchten vele malen groter is dan die van de kortste vluchten. Relatief gezien geldt dit dus niet, en zijn veel korte en lange vluchten ongeveer even vervuilend. Als we specifiek kijken naar de CO₂-impact, dan zien we zelfs een tegenovergesteld effect. De korte vluchten hebben een grotere relatieve CO₂-impact (ca. 0,15 kgCO₂/km) dan de lange vluchten (ca. 0,05 kgCO₂/km). Dit wordt verklaard doordat bij de korte vluchten een groot deel van de vlucht uit opstijgen, landen, klimmen en dalen bestaat. Deze fasen zijn relatief energie-intensief en daarmee vervuilend. De totale relatieve klimaatimpact komt voor lange en korte vluchten alsnog ongeveer gelijk uit, doordat de non-CO₂-effecten juist weer relatief groter zijn op de lange afstanden.

Figuur 13 - Meest vervuilende vluchten in klimaatimpact per reizigerskilometer van de selectie kortste (links) en langste vluchten (rechts)



Referenties

- AirFranceKLMGroup. (2024). *Second quarter 2024*. https://www.airfranceklm.com/sites/default/files/2024-07/2024_q2_afklm_pressrelease_en_0.pdf
- CE Delft. (2023). *Co2-emissies van nederlandse luchtvaart*.
- CE Delft. (2024). *Carbon budget aviation*.
- CE Delft, & DLR. (2024). *Aviation non-co2 estimator (anco). A tool for quantifying the non-co2 climate impact of aviation*.
- Copernicus. (2025). *Copernicus: 2024 is the first year to exceed 1.5°c above pre-industrial level*. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/news-archive/copernicus-2024-is-the-first-year-to-exceed-1-5degc-above-pre-industrial-level#:~:text=europa.eu%20domain.-,Copernicus%3A%202024%20is%20the%20first%20year%20to%20exceed%201.5,C%20above%20pre%20industrial%20level&text=2024%20was%20confirmed%20by%20the,above%20its%20pre%20industrial%20level.>
- Dahlmann, K., Grewe, V., Matthes, S., & Yamashita, H. (2021). Climate assessment of single flights: Deduction of route specific equivalent co2 emissions. *International Journal of Sustainable Transportation*, 2021(1), 29-40. <https://doi.org/10.1080/15568318.2021.1979136>
- Distance.to. (lopend). *Afstand van ams*. <https://nl.distance.to/>
- Dosio, A., Mentaschi, L., Fischer, E.M., & Wyser, K. (2018). Extreme heat waves under 1,5 c and 2 c global warming. *Environmental Research Letters*, 13(054006). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aab827>
- EASA, D.S. Lee, Manchester Metropolitan University, & CE Delft. (2020). *Updated analysis of the non-co2 climate impacts of aviation and potential policy measures pursuant to the EU emissions trading system directive article 30(4), final report*.
- EEA. (2025). European union transaction log (eutl). In: European Environment Agency.
- EP. (2022). *The future of climate migration*. European Parliament (EP). [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2022/729334/EPRS_ATA\(2022\)729334_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2022/729334/EPRS_ATA(2022)729334_EN.pdf)
- Eurocontrol. (lopend). *Small emitters tool*. EUROCONTROL (European Organisation for the Safety of Air Navigation). Retrieved juni from <https://www.eurocontrol.int/tool/small-emitters-tool>
- FlightConnections. (lopend). *Klm vluchten en bestemmingen*. <https://www.flightconnections.com/nl/vluchten-klm-kl>
- ICAO. (ongoing-a). *Icao carbon emissions calculator*. International Civil Aviation Organization (ICAO). <https://www.icao.int/environmental-protection/Carbonoffset/Pages/default.aspx>
- ICAO. (ongoing-b). *Long term global aspirational goal (ltag) for international aviation*. ICAO. <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/LTAG.aspx>
- ICCT. (2020). *Co2 emissions from commercial aviation*.
- IPCC. (2018). *Special report: Global warming of 1.5c: Summary for policymakers*.
- IPCC. (2022). *Summary for policymakers: Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability*.
- KLM. (2023). *Annual report 2023*.
- KLM Royal Dutch Airlines. (lopend-a). *Vliegtuigtypes*. Retrieved 4-1-2025 from <https://www.klm.nl/information/travel-class-extra-options/aircraft-types>
- KLM Royal Dutch Airlines. (lopend-b). *Zoek een vlucht*. In: Lee, D.S., Fahey, D.W., Skowron, A., Allen, M.R., Burkhardt, U., Chen, Q., Doherty, S.J., Freeman, S., Forster, P.M., Fuglestvedt, J., Gettelman, A., De León, R.R., Lim,



- L.L., Lund, M.T., Millar, R.J., Owen, B., Penner, J.E., Pitari, G., Prather, M.J., & Wilcox, L.J. (2021). The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment*, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834>
- Milieucentraal. (2024). *Factsheet co2-voetafdruk huishoudens*.
- NEa. (2018). *Kennisgeving toewijzing broeikasgasemissierechten voor de luchtvaart voor de periode 2017-2023*.
- NLR. (2024). *Co2 reduction targets for amsterdam airport schiphol based on remaining IPCC co2 budgets up to 2050*.
- Our World in Data. (lopend). Meat consumption vs. Gdp per capita, 1990 to 2017. In Peeters, P., & Reinecke, T. (2021). *Berekening co2-emissiefactoren voor nederlandse luchtvaartpassagiers*.
- UCAR. (ongoing). *Key climate tipping points*. University Corporation for Atmospheric Research (UCAR) Centre for Science Education. <https://scied.ucar.edu/learning-zone/earth-system/climate-system/key-tipping-points>
- World Bank. (2021). *Climate change could force 216 million people to migrate within their own countries by 2050*. World Bank. <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2021/09/13/climate-change-could-force-216-million-people-to-migrate-within-their-own-countries-by-2050>



A Methode

A.1 Totale emissies Nederlandse luchtvaart en rol KLM

Voor de totale emissies van de Nederlandse luchtvaart, emissies per luchthaven en emissies van de KLM Groep per luchthaven hebben wij ons gebaseerd op eerder onderzoek (CE Delft, 2023). In dit eerdere onderzoek is met behulp van CIRIUM-data en de Small Emitters Tool (SET) voor het jaar 2019 de CO₂-emissies van vertrekkende vluchten vanaf Nederlandse luchthavens ingeschat. Wij hebben hiervan de geaggregeerde data gebruikt zoals vermeld in het openbare rapport.

De onderverdeling van CO₂-emissies voor vluchten met een Europese of intercontinentale bestemming van KLM Royal Dutch Airlines is als volgt berekend. Volgens de EU ETS Registry was de combinatie KLM Royal Dutch Airlines en KLM Cityhopper verantwoordelijk voor 1,9 Mton aan CO₂-emissies op hun Europese vluchten (EEA, 2025; NEa, 2018). Door hiervan de emissies van KLM Cityhopper te verminderen (KLM Cityhopper vliegt alleen Europees) weten we de emissies van KLM Royal Dutch Airlines voor Europese vluchten. De overige emissies van KLM Royal Dutch Airlines zijn emissies voor intercontinentale vluchten.

A.2 Meest vervuilende KLM-vluchten

Om te bepalen wat de meest vervuilende KLM-vluchten zijn, is gekeken naar de klimaat-effecten in zowel absoluut als relatieve zin. Voor dit onderzoek was er geen complete database van alle KLM-vluchten in een jaar beschikbaar. Echter, aangezien absoluut gezien lange vluchten het meest vervuilend zijn, en relatief de kortere vluchten, kon er toch een inschatting gemaakt worden op basis van een selectie kortste en langste KLM-vluchten.

A.2.1 Bepalen kortste en langste vluchten

De selectie van de kortste en langste vluchten is gemaakt aan de hand van de FlightConnections website (FlightConnections, lopend). Deze website geeft een duidelijk beeld van alle KLM-bestemmingen (zowel direct als met een transit). Door een straal van 400 km rondom Schiphol te tekenen (zie Figuur 3) zijn de kortste vluchten geselecteerd, namelijk alle directe connecties die binnen deze straal vallen. De selectie van langste vluchten is gemaakt door de top 10 verste bestemmingen uit FlightConnections (lopend) te halen (de verste bestemmingen op de kaart zijn vergeleken op hun vogelvluchtafstand tot Schiphol (Distance.to, lopend)).

Alle geselecteerde vluchten zijn via de KLM-website gecontroleerd (KLM Royal Dutch Airlines, lopend-b).

A.2.2 Berekening emissies vluchten

Voor het berekenen van de CO₂-emissies zijn er verschillende openbare CO₂-rekenmodellen beschikbaar. De keus van het model is van meerdere factoren afhankelijk. In dit onderzoek hebben wij gekozen voor de Small Emitters Tool (hierna genoemd 'SET'). De SET berekent de emissies op vluchtniveau en houdt daarbij ook rekening met het brandstofverbruik per vliegtuigtype. De tool sluit hiermee goed aan op het detailniveau wat van belang is binnen deze studie. Het is ook mogelijk om te kiezen voor omweg-gecorrigeerde afstanden of vogelvluchtafstanden. Bovendien zal het bepaalde details die te gedetailleerd zijn voor deze studie, zoals wind en weer en verschillende vluchtfasen, niet meenemen.

De KLM-website is gebruikt om de verschillende vliegtuigtypes die op een bestemming vliegen te noteren. Zowel de KLM-website als de ICAO Emissions Calculator (ICAO, ongoing-a) zijn gebruikt als controle op de berekende CO₂-emissies per passagier per bestemming.

Om de non-CO₂-klimaateffecten te berekenen hebben wij gebruik gemaakt van de ANCO-tool (CE Delft & DLR, 2024). Dit is een tool die gebruikt kan worden voor het kwantificeren van de non-CO₂-klimaateffecten van luchtvaart. De non-CO₂-factor die is gebruikt in de ANCO-tool voor de specifieke vlucht (oorsprong-bestemmingspaar en grootteklasse van het toestel) is gebruikt om de CO₂-emissies te berekenen met de SET.

Tekstkader 3 - Onzekerheden van CO₂-modellen

In dit tekstkader leggen we de belangrijkste factoren van onzekerheid in een CO₂-model toe.

Brandstofverbruik: de SET werkt met een gemiddeld brandstofverbruik per vliegtuigtype, hierin wordt geen onderscheid gemaakt voor verschillende motoren die hetzelfde vliegtuigtype kunnen gebruiken. Aangezien luchtvaartmaatschappijen vaak een contract afsluiten met een enkele motorleverancier, zou het kunnen dat hierdoor een afwijking ontstaat. Deze afwijking is maximaal in de orde van grootte van 10%.

Afstand: veel modellen gebruiken in de basis de vogelvluchtafstand (ook wel Great Circle Distance), dit is de kortste afstand tussen twee punten op een bol. Daadwerkelijk gevlogen afstanden kunnen afwijken hiervan. Uit de literatuur volgen voor deze afwijking omwegfactoren die de afstand wel 20% op korte vluchten en 5% op lange vluchten kunnen vergroten in Nederland. De correctiefactoren zijn groter op korte afstand doordat restricties in het luchtruim relatief een groter deel van de vlucht zijn (Peeters & Reinecke, 2021). Om rekening te houden met deze onzekerheid is de vogelvluchtafstand gecorrigeerd met omwegfactoren zoals weergegeven in Tabel 5.

Vluchtfasen: Er zijn verschillende fasen te onderscheiden van begin tot einde van een vlucht. Vaak wordt onderscheid gemaakt in Landing and Takeoff (LTO) en Climb, Cruise and Descent (CCD) fasen. De SET middelt de fasen uit door een berekening te maken van de gehele vlucht. Dit zorgt voor een beperkte onzekerheid van ongeveer 0,6 tot 1,2% van de totale CO₂.

Belading: De belading van een vliegtuig - zowel in het aantal passagiers als de hoeveelheid vracht - heeft effect op de CO₂-emissies van een vlucht. In deze studie is ervoor gekozen om voor vracht met een gemiddelde voor wereldwijde commerciële vluchten te werken. Daadwerkelijke belading van vracht per vlucht kunnen hier dus iets van afwijken. De bezettingsgraad is specifiek voor KLM genomen, waarmee het wordt verwacht een redelijk accurate inschatting te zijn voor de onderzochte vluchten.

Wind en weer: Weereffecten zijn van invloed op het totale brandstofverbruik. Zo is er standaard een oostelijke wind over de oceaan waardoor vluchten vanaf Nederland richting Amerika meer brandstof verbruiken over de heenweg dan over de terugweg. Ook is bekend dat bij vluchten richting het oosten juist dit effect weer andersom is. Deze effecten worden alleen in complexere modellen meegenomen, en valt daarom buiten de scope van deze studie. De daadwerkelijke emissies in de richting van Amerika zullen hierdoor wat hoger uitvallen, en die naar het oosten wat lager.

Energiedrager: Sustainable Aviation Fuels (SAF) hebben lagere lifecycle CO₂-emissies dan fossiele kerosine. In deze studie is het gebruik van SAF niet meegenomen. Op dit moment is het gebruik ook nog vrij beperkt (enkele procenten). Dit zal in de toekomst wel toenemen, mede door de bijmengverplichting volgend uit de Europese RefuelEU Aviation verordening.



Tabel 5 - Omwegfactoren per vluchtafstand

Vogelvluchtafstand (km)	Omwegfactor
0 tot 500	1,2
500 tot 1.000	1,15
1.000 tot 1.500	1,11
1500 tot 2.000	1,08
2.000 tot 30.000	1,05

Bron: (Peeters & Reinecke, 2021).

A.2.3 Toedeling vlucht-emissies aan passagiers

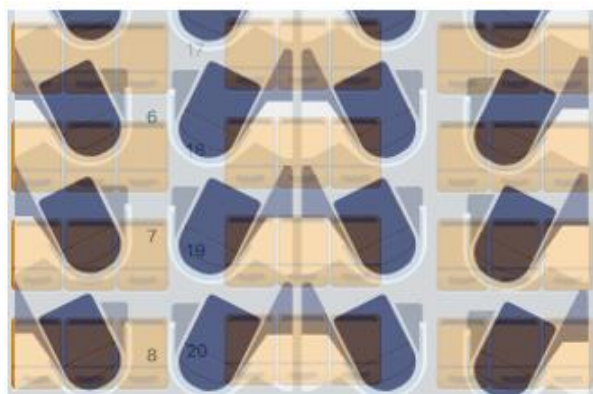
Drie factoren zijn van belang om de klimaateffecten voor de verschillende bestemmingen toe te delen aan passagiers: Het percentage CO₂-emissies toerekenen aan passagiers ten opzichte van belly cargo, de bezettingsgraad van een lucht en de toedeling van emissies naar verschillende passagiersklassen.

De uitsplitsing van emissies naar belly cargo en passagiers is gebaseerd op een ratio uit 2019 vanuit een studie over CO₂-emissies vanuit wereldwijde commerciële luchtvaart, wat uitkomt op een percentage CO₂-emissies toe te rekenen aan belly cargo van 8% (ICCT, 2020).

Voor de bezettingsgraad van KLM is gekeken naar het meest recente kental, uit de tweede helft van 2024. Hierin kennen de vluchten van KLM een bezettingsgraad in 2024 van 88% (AirFranceKLMGroup, 2024).

De toedeling van de emissies naar de verschillende reisklassen is gebaseerd op het stoeloppervlak per klasse. Zo is er via de KLM site een plattegrond beschikbaar van de stoelindeling per vliegtuigtype (KLM Royal Dutch Airlines, lopend-a). Door de stoelindelingen van Economy Class en Business Class over elkaar heen te plakken kon er een factor worden bepaald waarmee de emissies van een Economy Class-passagier zijn vermenigvuldigd om tot de emissies per Business Class-passagier te komen (zie Figuur 15 voor een voorbeeld van de methode).

Figuur 14 - Bepalen van het formaat Business Class ten opzichte van Economy Class voor een Boeing 787-9



Bron: (KLM Royal Dutch Airlines, lopend-b).

B Gebruikte data

Tabel 6 - Gebruikte data per toesteltype

KLM vliegtuig	ICAO Aircraft Type Designator	Premium comfort	Max. aantal passagiers	Aantal premium comfort stoelen	Aantal Businessclass-stoelen	Formaat premium comfort t.o.v. Economy Class	Formaat Business Class t.o.v. Economy Class	Totaal economy equivalent	ANCO Seat type
Boeing 737-700	B737		142	0	20	N.v.t.	1,5	152	152-201
Boeing 737-800	B738		186	0	20	N.v.t.	1,5	196	152-201
Boeing 737-900	B739		188	0	20	N.v.t.	1,5	198	152-201
Boeing 777-200ER	B772	Met premium comfort	288	24	35	1,5	3,3	382	302-600
Boeing 777-200ER	B772	Zonder premium comfort	320	0	34	N.v.t.	3,3	399	302-600
Boeing 777-300ER	B773	Met premium comfort	381	24	35	1,5	3,3	475	302-600
Boeing 777-300ER	B773	Zonder premium comfort	408	0	43	N.v.t.	3,3	509	302-600
Boeing 787-9	B789		294	21	30	1,5	2,8	357	252-301
Boeing 787-10	B78X		344	28	38	1,3	3	428	302-600
Airbus A321NEO	A21N		227	0	18	N.v.t.	1,7	240	202-251
Embraer 175	E175L		88	0	20	N.v.t.	1	88	101-151
Embraer 190	E190		100	0	20	N.v.t.	1	100	101-151
Embraer 195-E2	E295		132	0	20	N.v.t.	1	132	101-151

C Overzicht meest vervuilende vluchten

Per vlucht

Tabel 7 en Tabel 8 geven een ranglijst van de meest vervuilende korte en lange vluchten.

Tabel 7 - Overzicht meest vervuilende korte vluchten in klimaatimpact (ton CO₂-eq.)

Bestemming directe vlucht	CO ₂ -emissies	Non-CO ₂ -effect	Totaal klimaateffect
Parijs (CDG)	7.1	6.8	13.9
Hamburg (HAM)	6.3	7.3	13.6
Humberside (HUY)	6.1	7.3	13.4
Londen Heathrow (LHR)	6.2	6.2	12.4
Frankfurt (FRA)	5.3	6.9	12.3
Londen City (LCY)	5.6	6.4	12.0
Hannover (HAJ)	5.0	5.7	10.7
Luxemburg (LUX)	4.8	4.7	9.5
Bremen (BRE)	4.4	3.8	8.2
Norwich (NWI)	3.9	2.5	6.4
Brussel (BRU)	3.5	1.1	4.6
Düsseldorf (DUS)	3.2	1.3	4.5

Tabel 8 - Overzicht meest vervuilende lange vluchten in klimaatimpact (ton CO₂-eq.)

Bestemming directe vlucht	CO ₂ -emissies	Non-CO ₂ -effect	Totaal klimaateffect
Buenos Aires (EZE)	193	1.088	1.281
Kaapstad (CPT)	207	1.072	1.278
Sao Paulo (GRU)	235	894	1.129
Rio de Janeiro (GIG)	204	874	1.079
Tokio (NRT)	216	818	1.033
Lima (LIM)	247	602	850
Singapore (SIN)	247	593	840
Quito (UIO)	191	584	775
Kuala Lumpur (KUL)	173	518	691
Taipei (TPE)	189	439	629



Per passagier

Tabel 9 en Tabel 10 geven een ranglijst van de meest vervuilende korte en lange vluchten per passagier.

Tabel 9 - Overzicht meest vervuilende korte vluchten in klimaatimpact per economy passagier (kgCO₂-eq.)

Bestemming directe vlucht	CO ₂ -emissies	Non-CO ₂ -effect	Totaal klimaateffect
Humberside (HUY)	64	76	140
Frankfurt (FRA)	59	77	136
Londen City (LCY)	59	67	126
Hannover (HAJ)	55	63	118
Luxemburg (LUX)	53	53	105
Hamburg (HAM)	48	56	104
Bremen (BRE)	49	42	91
Londen Heathrow (LHR)	35	36	71
Norwich (NWI)	43	28	71
Parijs (CDG)	34	33	67
Düsseldorf (DUS)	35	14	50
Brussel (BRU)	28	9	37

Tabel 10 - Overzicht meest vervuilende lange vluchten in klimaatimpact per economy passagier (kgCO₂-eq.)

Bestemming directe vlucht	CO ₂ -emissies	Non-CO ₂ -effect	Totaal klimaateffect
Buenos Aires (EZE)	564	3.185	3.750
Kaapstad (CPT)	534	2.665	3.198
Tokio (NRT)	577	2.188	2.765
Rio de Janeiro (GIG)	527	2.179	2.706
Sao Paulo (GRU)	499	1.900	2.400
Quito (UIO)	552	1.617	2.169
Lima (LIM)	592	1.443	2.035
Kuala Lumpur (KUL)	506	1.515	2.022
Singapore (SIN)	592	1.420	2.012
Taipei (TPE)	546	1.234	1.779

Per reizigerskilometer

Tabel 11 en Tabel 12 geven een ranglijst van de meest vervuilende korte en lange vluchten per reizigerskilometer.

Tabel 11 - Overzicht meest vervuilende korte vluchten in klimaatimpact per reizigerskilometer (kg CO₂-eq./km) voor een economy passagier

Bestemming directe vlucht	CO ₂ -emissies	Non-CO ₂ -effect	Totaal klimaateffect
Humberside (HUY)	0.14	0.17	0.31
Londen City (LCY)	0.15	0.17	0.31
Frankfurt (FRA)	0.13	0.17	0.31
Hannover (HAJ)	0.14	0.16	0.29
Luxemburg (LUX)	0.14	0.14	0.28
Bremen (BRE)	0.14	0.12	0.27
Norwich (NWI)	0.15	0.10	0.25
Düsseldorf (DUS)	0.17	0.07	0.23
Hamburg (HAM)	0.11	0.12	0.23
Brussel (BRU)	0.15	0.05	0.20
Londen Heathrow (LHR)	0.08	0.08	0.16
Parijs (CDG)	0.07	0.07	0.14

Tabel 12 - Overzicht meest vervuilende lange vluchten in klimaatimpact per reizigerskilometer (kg CO₂-eq./km) voor een economy passagier

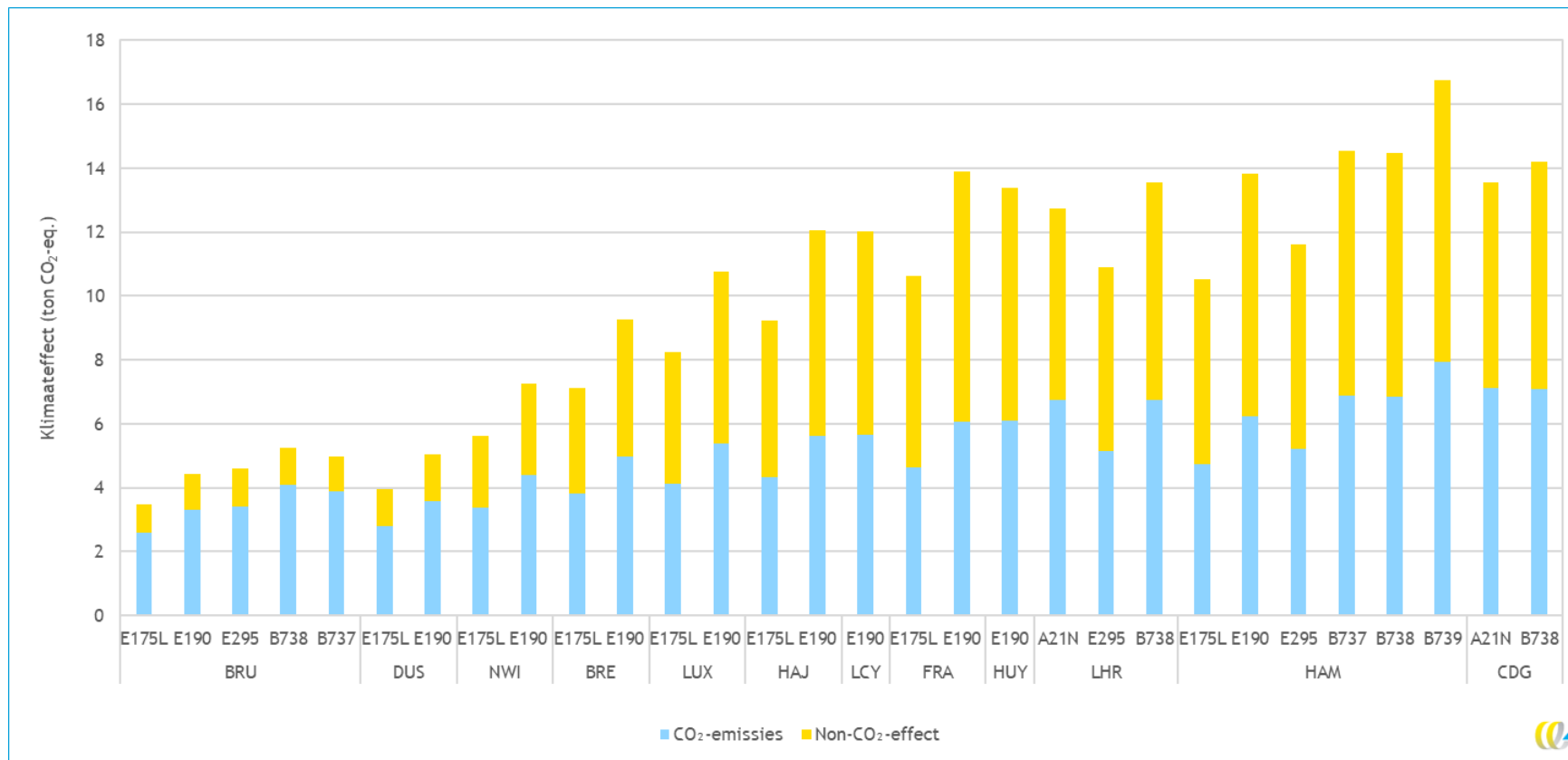
Bestemming directe vlucht	CO ₂ -emissies	Non-CO ₂ -effect	Totaal klimaateffect
Kaapstad (CPT)	0.05	0.26	0.31
Buenos Aires (EZE)	0.05	0.26	0.31
Tokio (NRT)	0.06	0.22	0.28
Rio de Janeiro (GIG)	0.05	0.22	0.27
Sao Paulo (GRU)	0.05	0.19	0.23
Quito (UIO)	0.06	0.16	0.22
Kuala Lumpur (KUL)	0.05	0.14	0.19
Lima (LIM)	0.05	0.13	0.18
Singapore (SIN)	0.05	0.13	0.18
Taipei (TPE)	0.06	0.12	0.18

D Klimaateffect kortste en langste vluchten

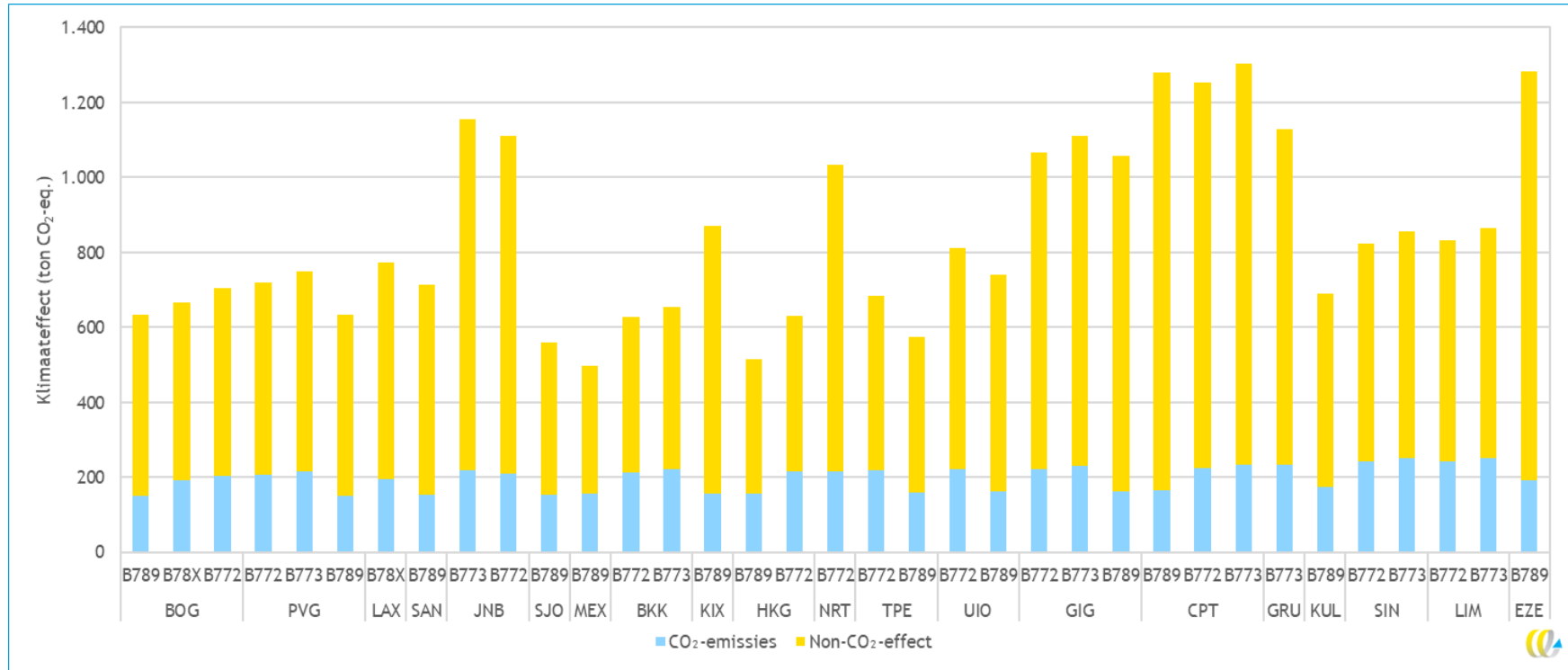
De figuren in dit hoofdstuk geven de klimaateffecten van de kortste en langste KLM-vluchten weer, per vliegtuigtype (zie Bijlage B voor het vliegtuigtype passend bij de vliegtuigcodes). De vluchten zijn gerangschikt van kort naar lang van links naar rechts. De klimaateffecten zijn voor drie verschillende scopes bepaald. In Bijlage D.1 worden de klimaateffecten gegeven in absolute hoeveelheid per vlucht, in Bijlage D.2 per passagier, en in Bijlage D.3 per passagier per kilometer. Bijlage D.4 geeft eenzelfde analyse als de paragrafen ervoor, maar dan gemiddeld over de vliegtuigtypes, voor Business Class-passagiers. De bestemmingen zijn gerangschikt van de meeste emissies naar de minste emissies van links naar rechts.

D.1 Per vlucht

Figuur 15 - Klimaat-effect per vlucht van de kortste KLM-vluchten

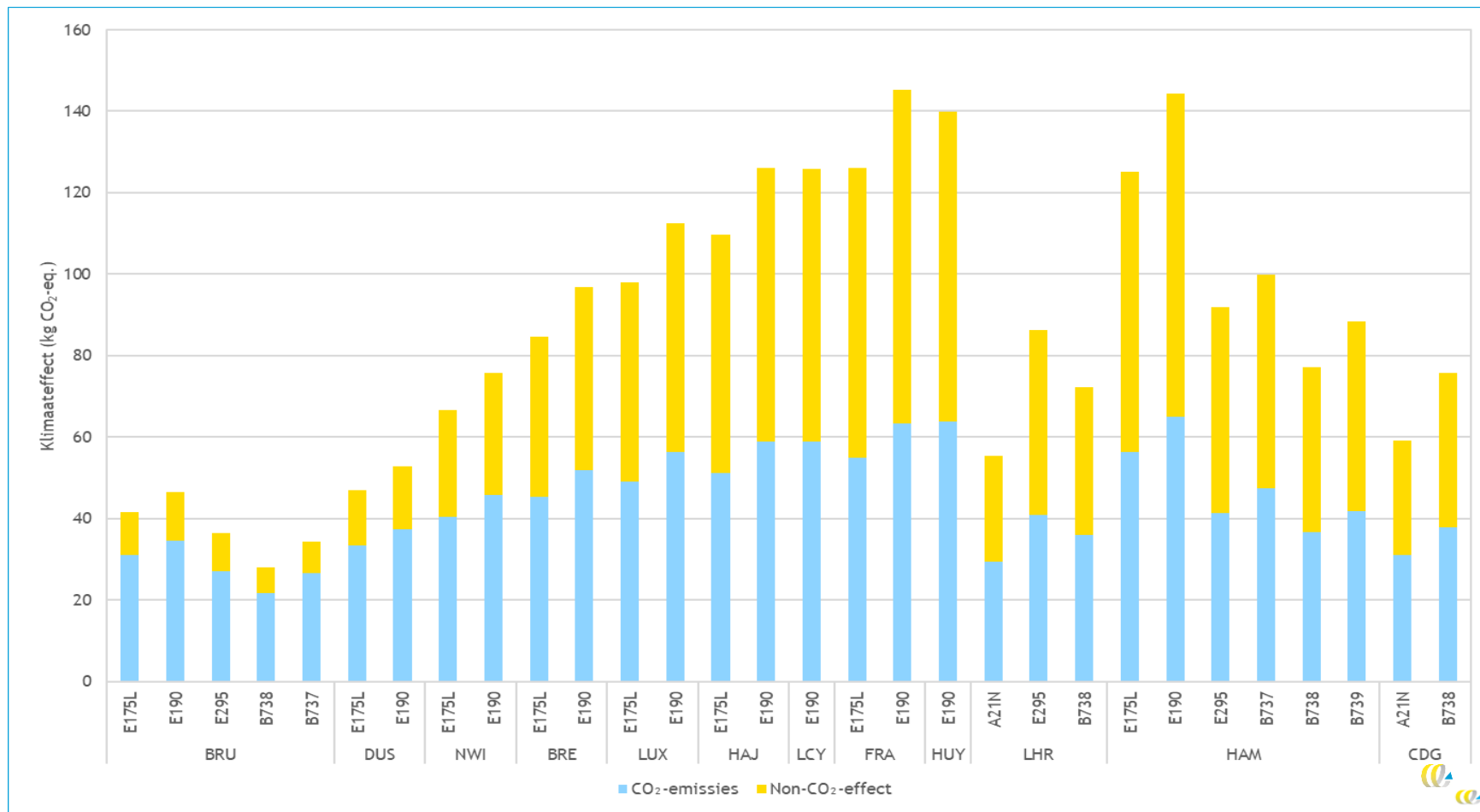


Figuur 16 - Klimaateffect per vlucht van de langste 20 KLM-vluchten

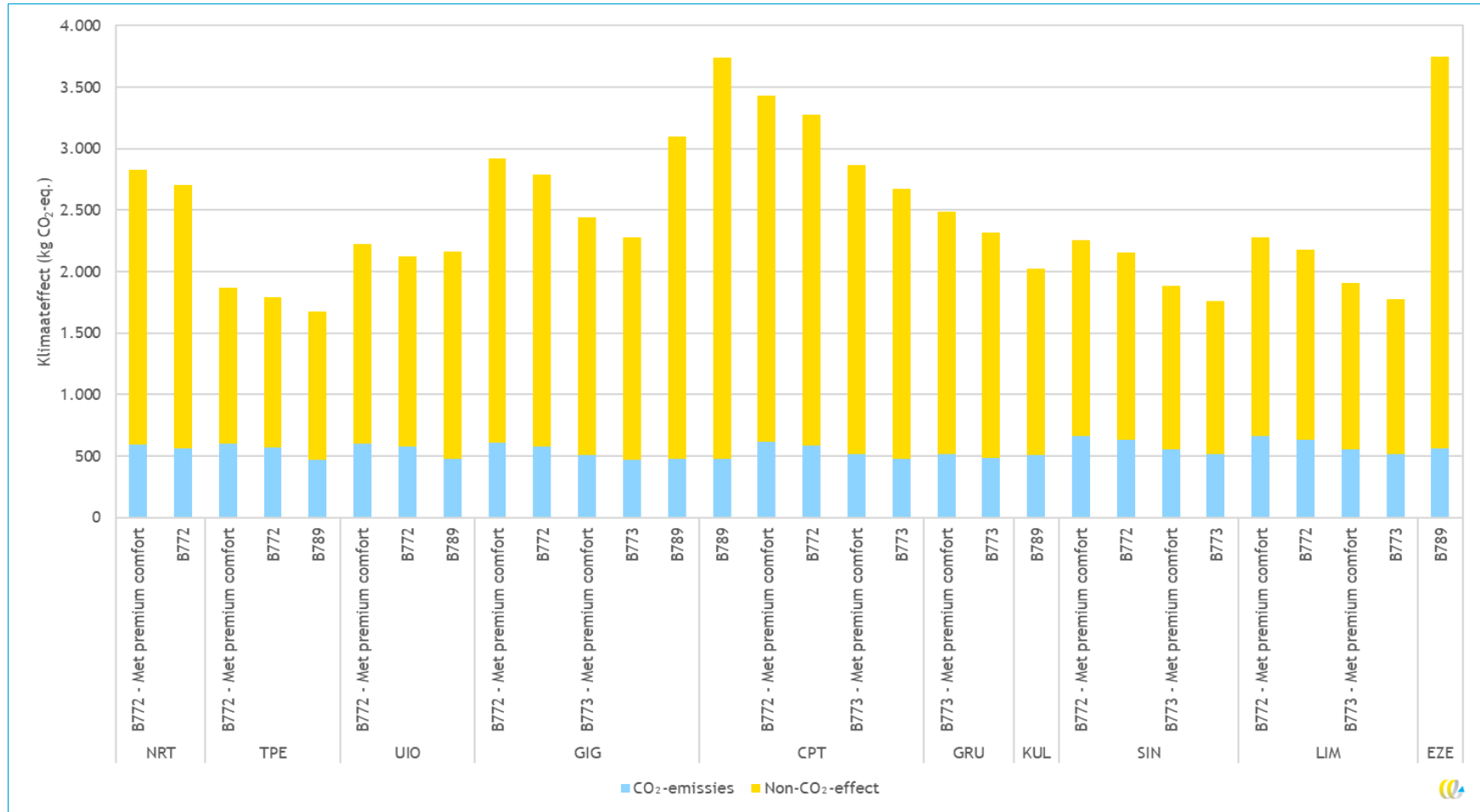


D.2 Emissies (CO₂ en non-CO₂) per persoon

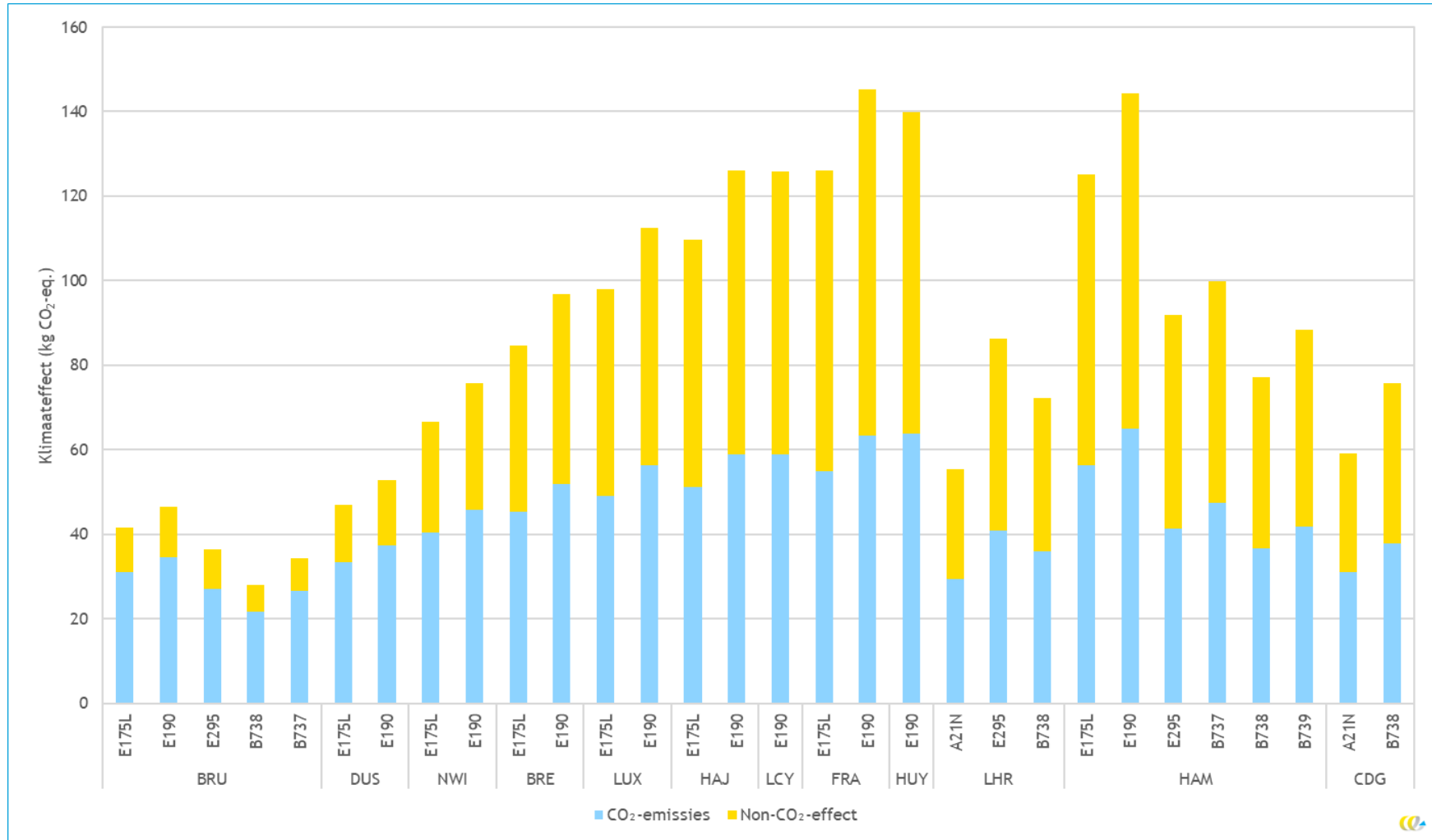
Figuur 17 - Klimaat-effect per Economy Class-passagier van de kortste KLM-vluchten



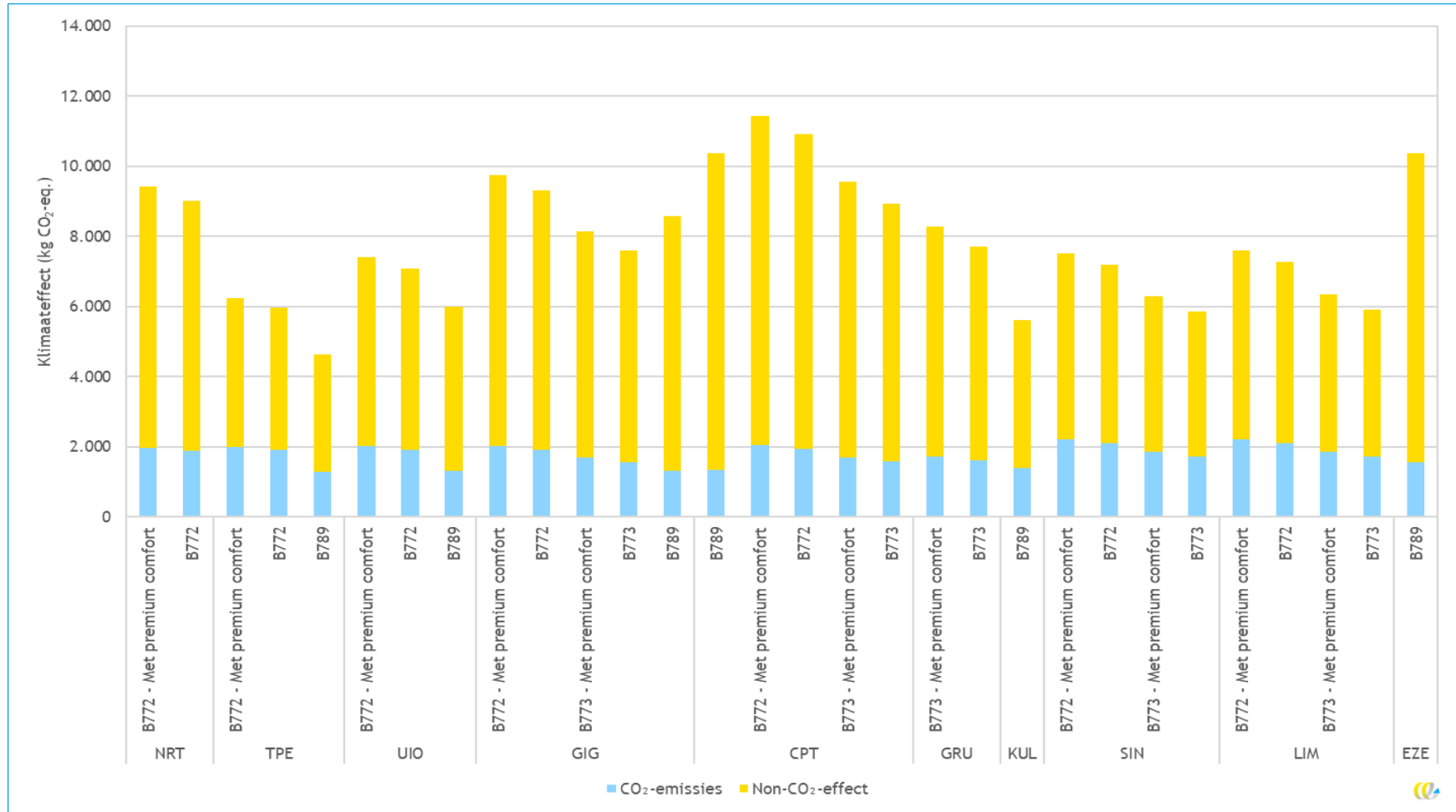
Figuur 18 - Klimateffect per Economy Class-passagier van de langste KLM-vluchten



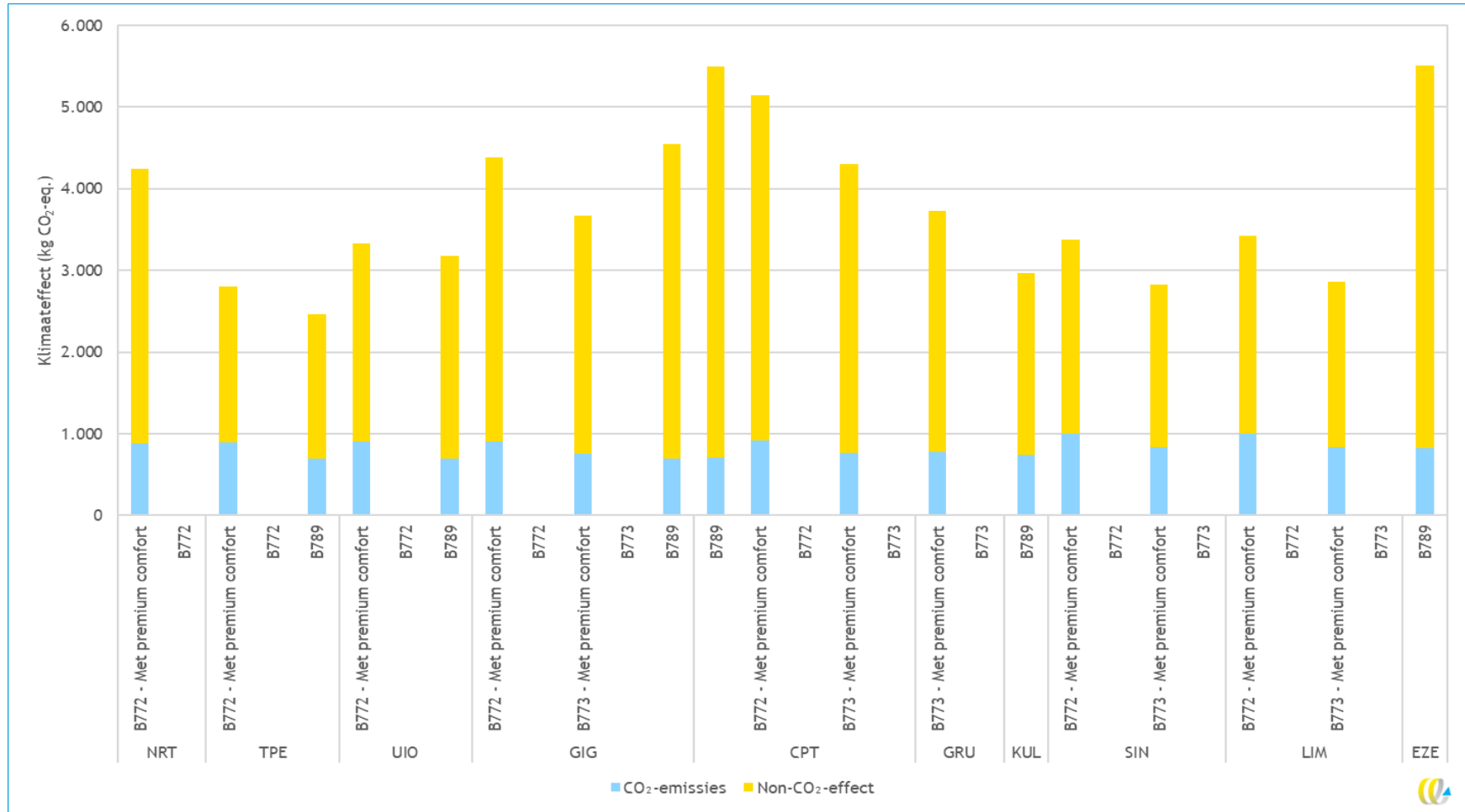
Figuur 19 - Klimaateffect per Business Class-passagier van de kortste KLM-vluchten per type vliegtuig



Figuur 20 - Klimaat-effect per Business Class-passagier van de langste KLM-vluchten per type vliegtuig

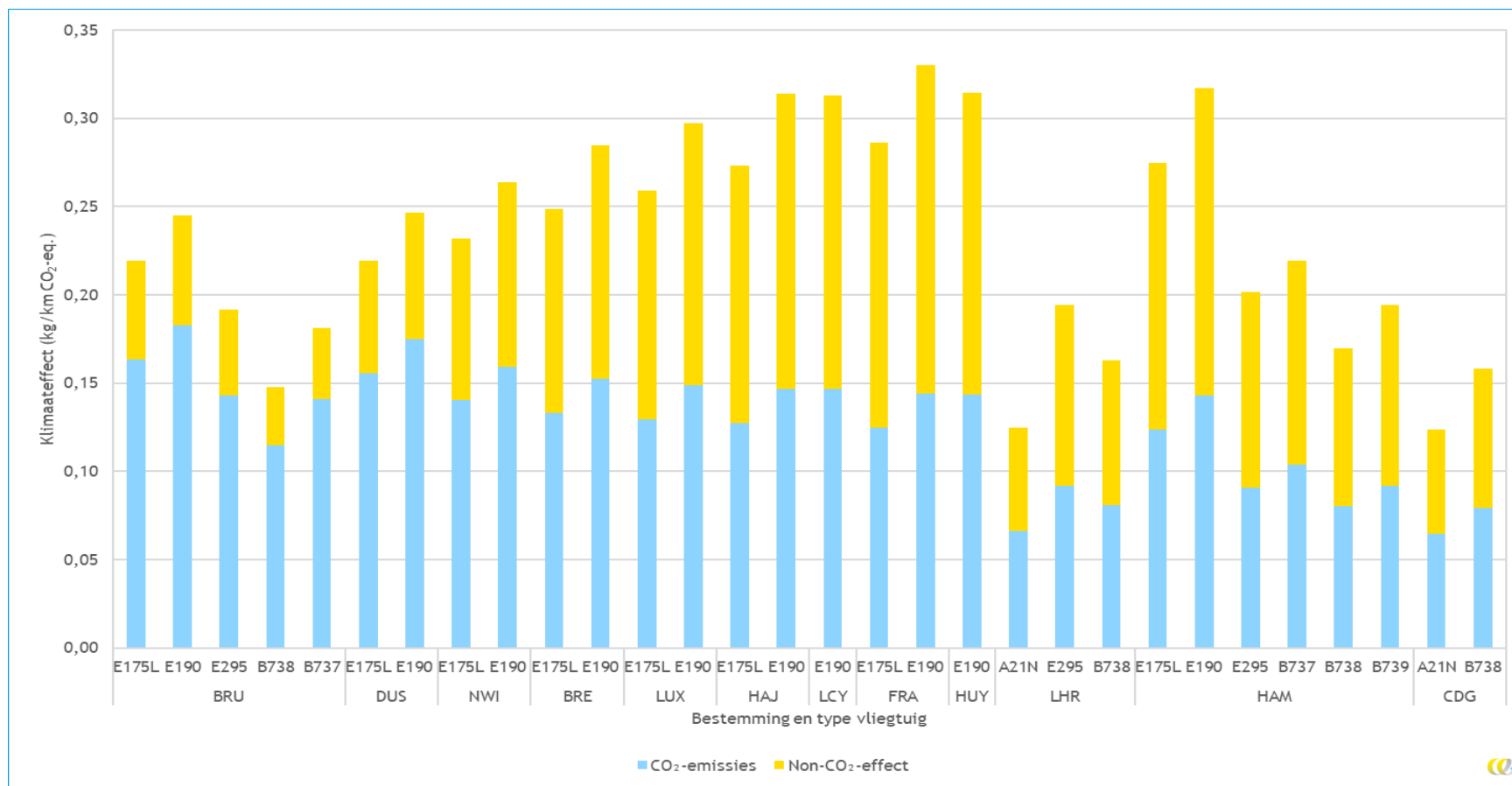


Figuur 21 - Klimaateffect per premium Comfort Class-passagier van de langste KLM-vluchten

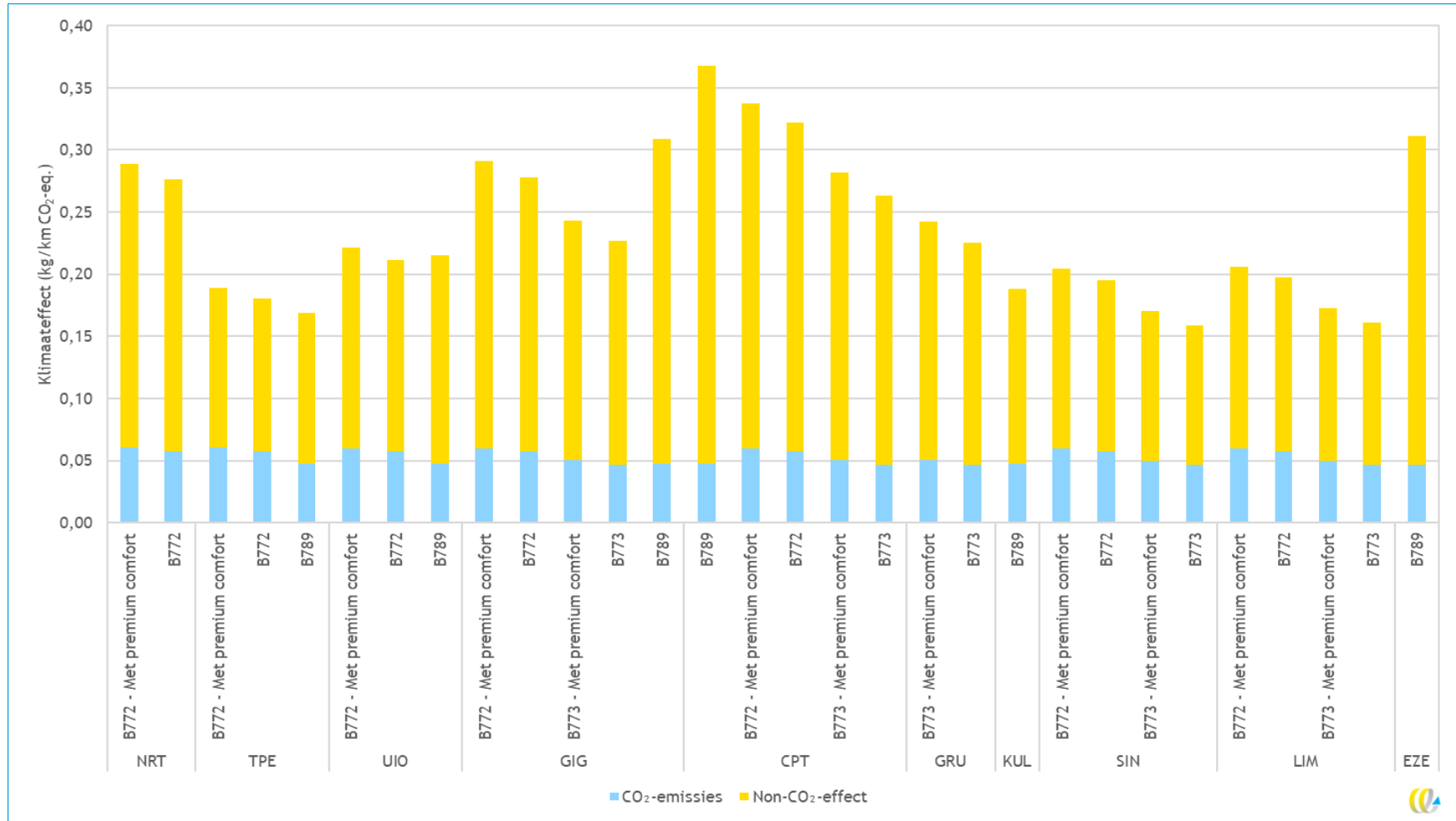


D.3 Klimateffect per passagier per km

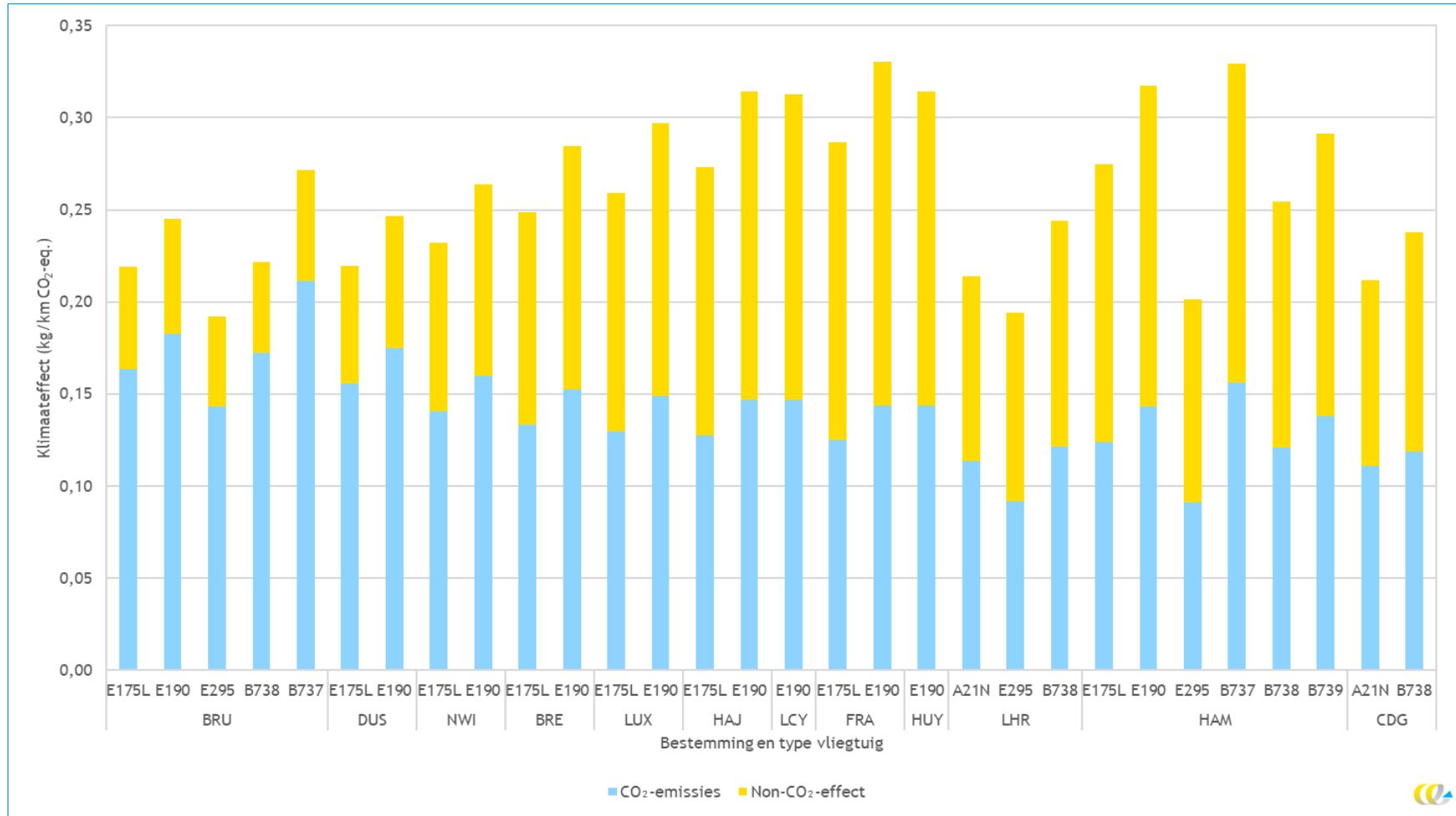
Figuur 22 - Klimateffect per Economy Class-passagier per km van de kortste KLM-vluchten



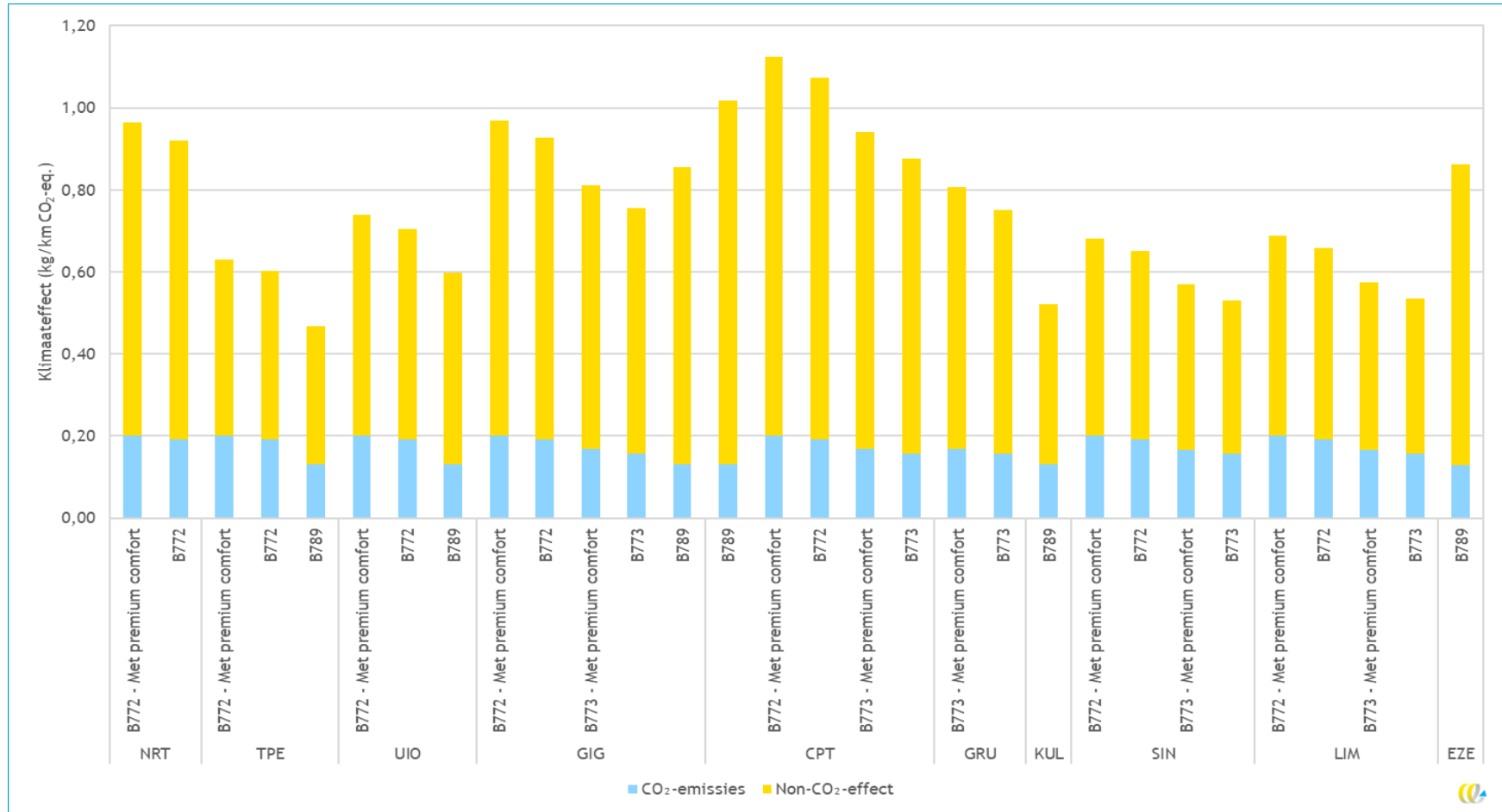
Figuur 23 - Klimaat-effect per Economy Class-passagier per km van de langste KLM-vluchten



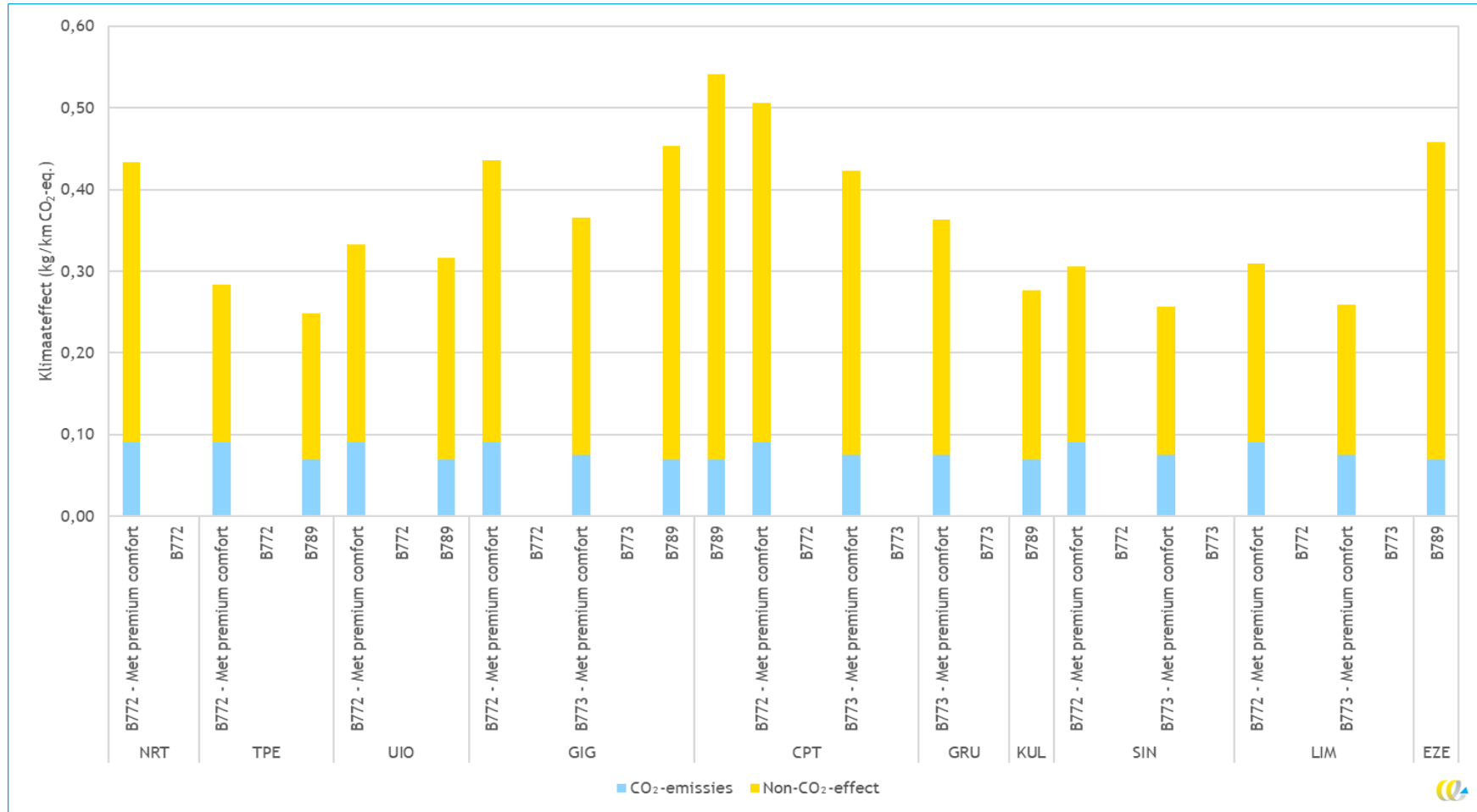
Figuur 24 - Klimaat-effect per Economy Class-passagier per km van de kortste KLM-vluchten per type vliegtuig



Figuur 25 - Klimaateffect per Business Class-passagier per km van de langste KLM-vluchten per type vliegtuig



Figuur 26 - Klimaateffect per premium Comfort Class-passagier per km van de langste KLM-vluchten



D.4 Gemiddelde klimaateffecten businessclass

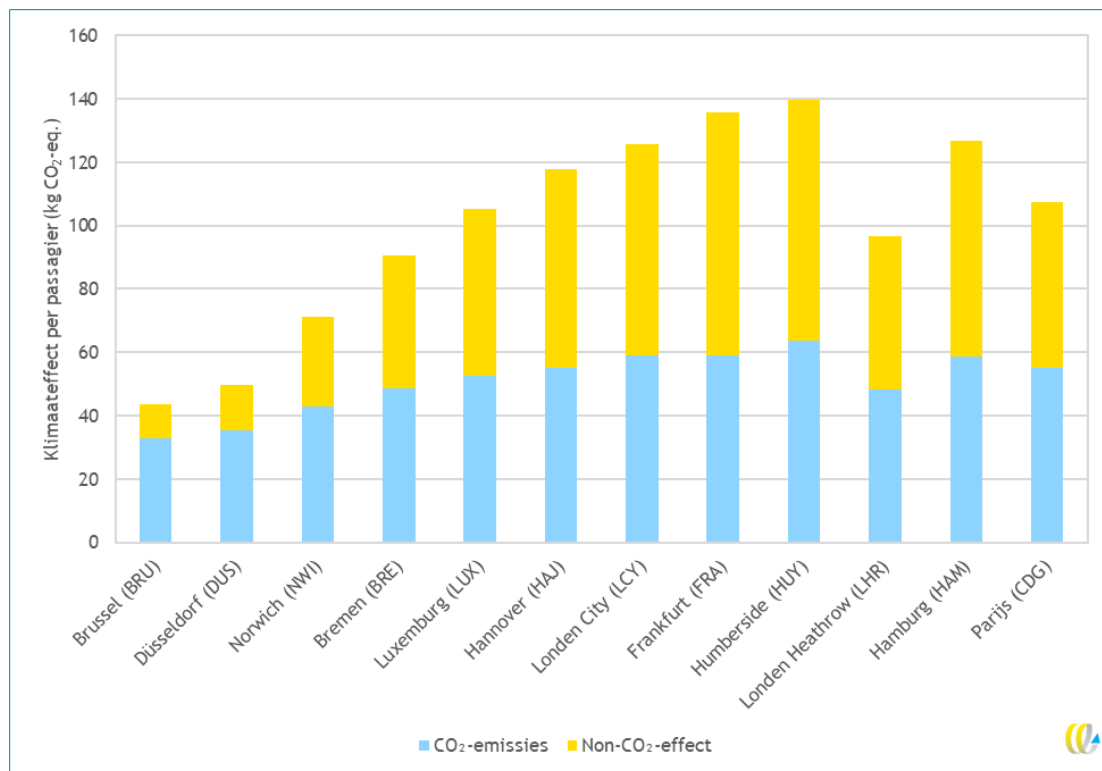
We hebben in een aanvullende analyse ook naar het klimaateffect voor Business Class-passagiers gekeken. Zowel de klimaateffecten per passagier als per reizigerskilometer worden hier gegeven.

Per passagier

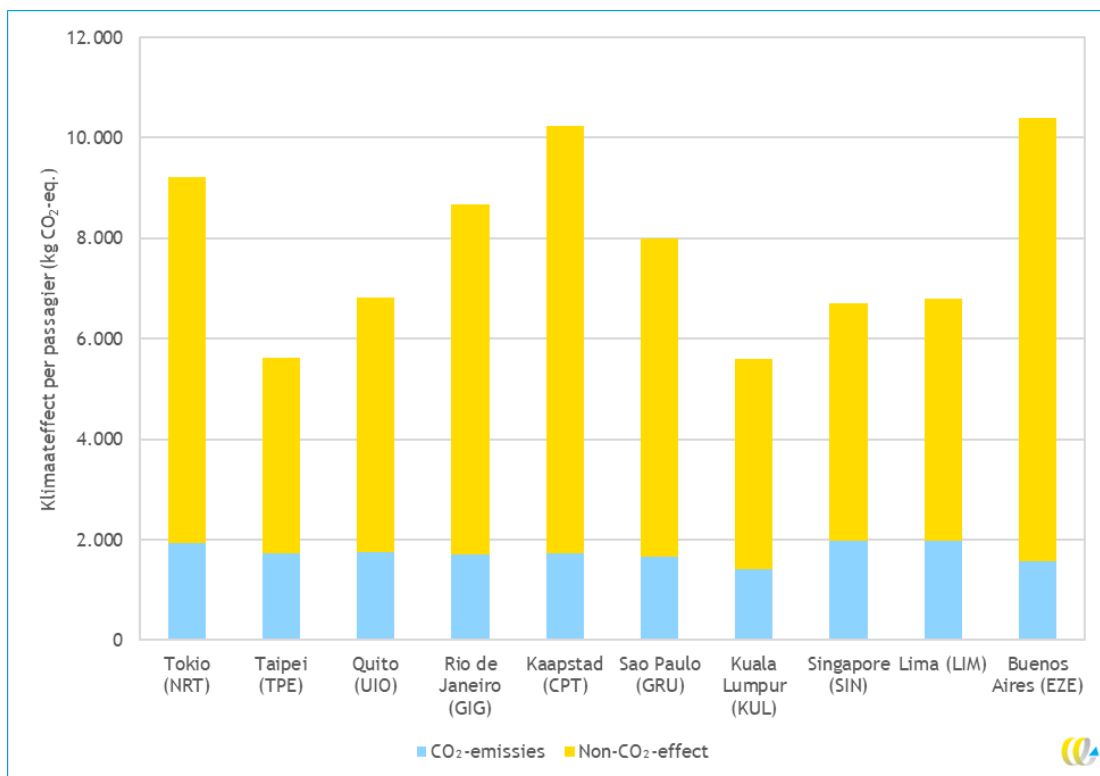
Het klimaateffect per Business Class-passagiers wordt weergegeven in Figuur 27 voor de kortste vluchten en Figuur 28 voor de langste vluchten. Op de korte afstand zijn er vrijwel geen verschillen te vinden tussen het klimaateffect van een Economy Class-passagier en een Business Class-passagier. Dit is te verklaren doordat er op deze afstanden met toestellen wordt gevlogen waarin een Economy Class-stoel vaak ongeveer evenveel ruimte inneemt als een Business-Class-stoel. Het grootste verschil is nog te zien naar de bestemming Parijs, waar de business plekken wel groter zijn, met een ongeveer 60% hoger klimaateffect.

Op de lange afstanden is dit verschil een stuk groter. Op deze afstanden worden vliegtuigen ingezet waarin het formaat van een Business Class-stoel ten opzichte van een Economy Class-stoel fors groter kan zijn, waardoor het klimaateffect per passagier ook een factor 2,8 tot 3,3 zo hoog is. Deze verschillen zijn voor de bestemming Kaapstad en Buenos Aires het grootst met een 7.041 kgCO₂-eq. en 6.634 kgCO₂-eq. hoger klimaateffect voor Business vs. Economy.

Figuur 27 - Klimaateffect per Business Class-passagier van de kortste KLM-vluchten gemiddeld



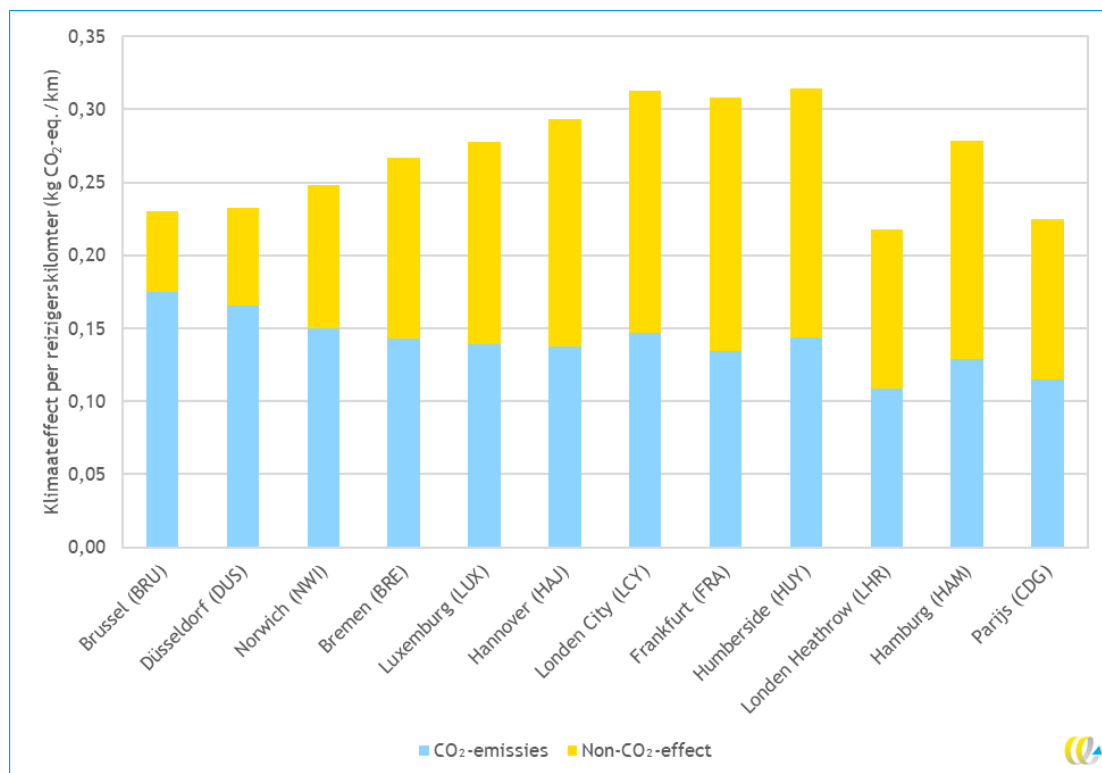
Figuur 28 - Klimaateffect per Business Class-passagier van de langste KLM-vluchten gemiddeld



Per reizigerskilometer

Voor het relatieve klimaateffect per Business Class-passagiers zie Figuur 29 en Figuur 30. Bij de kortste vluchten zijn de CO₂-emissies per reizigerskilometer ongeveer gelijk aan die van economy, omdat de businessclass-stoelen hier ongeveer even groot zijn. Maar voor de langste vluchten zien we een significante toename van het klimaateffect per reizigerskilometer.

Figuur 29 - Klimaateffect per reizigerskilometer (businessclass) voor de kortste vluchten gemiddeld



Figuur 30 - Klimaateffect per reizigerskilometer (businessclass) voor de langste vluchten gemiddeld

