
Vergelijking klimaatimpact van korte afstandsvluchten en alternatieven

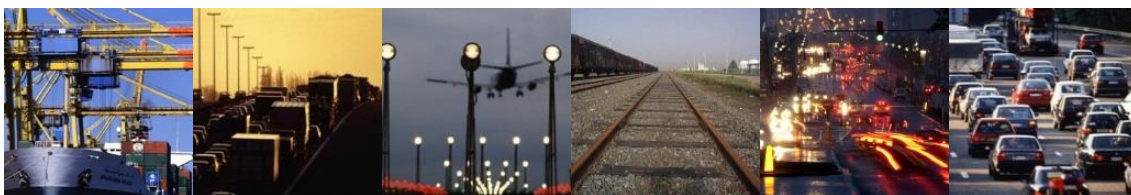
Studie voor :

Bond Beter Leefmilieu Vlaanderen
Tweekerkenstraat 47
1000 Brussel

Eindrapport

Datum: 4 februari 2022

Auteurs : Sebastiaan Boschmans, Inge Mayeres



Transport & Mobility Leuven
Diestsesteenweg 57
3010 Leuven
Belgium
<http://www.tmleuven.be>

Inhoud

Inhoud.....	2
Lijst van tabellen.....	3
Lijst van figuren.....	4
Afkortingen en symbolen.....	5
Management samenvatting.....	6
1 Inleiding.....	9
1.1 Doel van de studie.....	9
1.2 Context.....	9
1.3 Structuur van het rapport.....	13
2 De klimaatimpact van reizen naar populaire vliegbestemmingen.....	14
2.1 Methode.....	14
2.2 Selectie Europese bestemmingen vanuit België.....	20
2.3 De CO ₂ -uitstoot per reiziger van het vliegtuig, de trein en de langeafstandbus.....	21
3 Inschatting jaarlijkse reductie CO ₂ e-emissies.....	26
3.1 Methode.....	26
3.2 Resultaat.....	26
3.3 Bijkomende overwegingen.....	28
4 Referenties.....	33
Bijlage 1: Achtergrondinformatie.....	35
Bijlage 2: de resultaten voor de 25 bestemmingen.....	36
Emissies per reiziger (heen- en terugreis).....	36
Benadering van de totale emissies per jaar.....	49

Lijst van tabellen

Tabel 1: Schematisch overzicht per vervoermiddel	14
Tabel 2: EEA/EMEP guidebook: Emissiefactoren en brandstofverbruik voor A320.....	15
Tabel 3: Gemiddelde RFI-waarden voor verschillende afstandsklassen in de Ecopassenger tool....	17
Tabel 4: Selectie van vliegbestemmingen vanuit Belgische luchthavens – gegevens voor 2019.....	21
Tabel 5: Luchtvaart in het EU emissiehandelssysteem in 2019 - miljoen ton CO _{2e} en %	29
Tabel 6: Voorstel bijmengingsmandaat voor duurzame brandstoffen in de luchtvaart volgens het RefuelEU Aviation voorstel.....	31

Lijst van figuren

Figuur 1: Evolutie van de broeikasgasemissies van transport in de EU-27, totaal en per deelsector	10
Figuur 2: Eurocontrol: vluchten in 2019 en 2020 en vooruitzichten voor 2021-2027 (miljoen vluchten en ratio t.o.v. 2019; 2019 = 100 %)	11
Figuur 3: Eurobarometer 463: Hoeveel gebruikt u de trein voor internationale verplaatsingen?	11
Figuur 4: Eurobarometer 495: Welke van deze vervoermiddelen gebruikte u de laatste 12 maanden?	12
Figuur 5: Vooruitzichten voor de transportvraag in de EU – Referentiescenario 2020	12
Figuur 6: CO ₂ equivalente factoren voor de totale klimaatimpact die niet samenhangt met CO ₂ -emissies, als functie van de lengte van de vlucht en de gemiddelde breedtegraad	18
Figuur 7: Klimaatimpact over de levenscyclus van het vliegtuig, de trein en de langeafstandsbus (gCO _{2e} /reizigerskm) en aandeel van de impactcategorieën (%) – Duitsland, 2017	19
Figuur 8: Emissies in kg CO _{2e} per reiziger voor de reis Brussel – Wenen (heen en terug), met onzekerheidsinterval voor de klimaatschade van vluchten door andere stoffen dan CO ₂	22
Figuur 9: Emissies in kg CO _{2e} per reiziger voor de reis Brussel – Parijs (heen en terug)	23
Figuur 10: Gevoeligheidsanalyse naar bezettingsgraad voor Brussel-Parijs (heen- en terugreis)	24
Figuur 11: Gevoeligheidsanalyse naar bezettingsgraad voor Brussel – Barcelona (heen- en terugreis)	25
Figuur 12: Benaderende vergelijking van de jaarlijkse emissies van de vliegtuigreizen en de emissies indien de vliegtuigreizigers overstappen naar de trein of de bus (kton CO _{2e} per vervoermiddel) – Brussel-Amsterdam (heen & terug), 2019	27
Figuur 13: Benaderende vergelijking van de jaarlijkse emissies van de vliegtuigreizen en de emissies indien de vliegtuigreizigers overstappen naar de trein of de bus (kton CO _{2e} per vervoermiddel) – totaal voor alle bestemmingen* (heen & terug), 2019	28

Afkortingen en symbolen

CiC	Cirruswolken geïnduceerd door condensatiestrepen
CO ₂	Koolstofdioxide
CO ₂ e	CO ₂ equivalent
EU	Europese Unie
EU ETS	Europees Emissiehandelssysteem
HST	Hoge snelheidstrein
IC	Intercity
Kg	Kilogram
Km	Kilometer
Kton	Kiloton (1000 ton)
KWh	Kilowattuur
NM	Nautische mijl, zeemijl
NO _x	Stikstofoxiden
RFI	Radiative Forcing Index

Management samenvatting

In deze studie vergelijken we de klimaatimpact van het vliegtuig, de trein en de langeafstandbus voor 25 populaire vliegbestemmingen vanuit België. In onze analyse houden we zowel rekening met de uitlaatgasemissies tijdens de vlucht of rit als met de emissies die gepaard gaan met de productie, transmissie en distributie van de brandstoffen en elektriciteit. Deze laatste emissies zijn de zogenaamde emissies “van bron tot tank”.

Voor de vluchten over meer dan 450 km geven we daarnaast een indicatie van de bijkomende klimaatschade door de uitstoot van andere stoffen dan CO₂, met naast een centrale waarde ook een boven- en ondergrens.

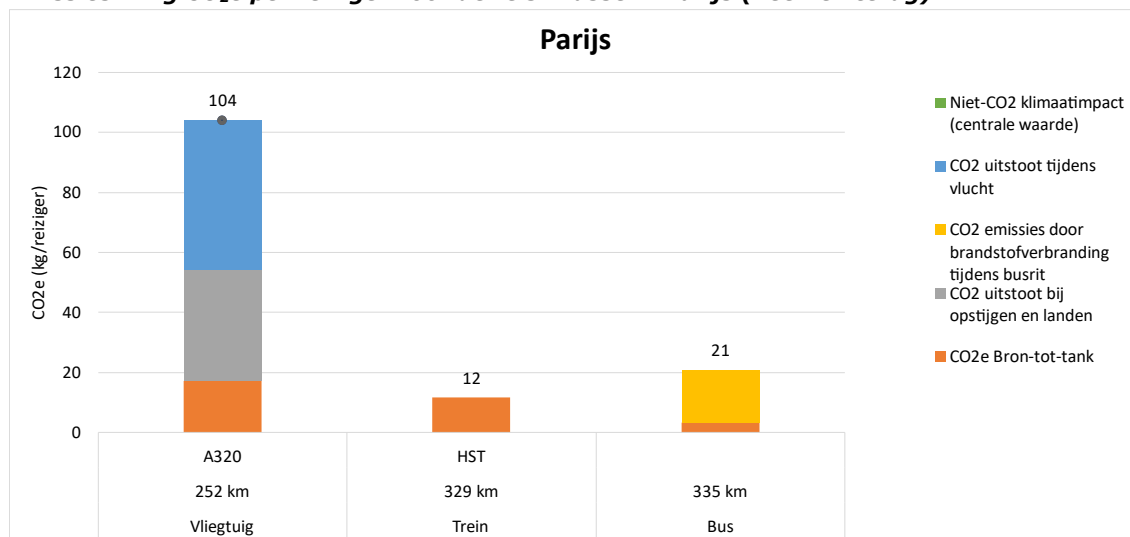
Eerst maken we de vergelijking per reiziger. Daarna gaan we in op de emissiereducties die men jaarlijks kan bekomen indien alle vliegtuigreizigers voor de 25 bestemmingen zouden overstappen van het vliegtuig naar de trein of de langeafstandsbus.

De klimaatimpact per reis

De volgende figuren geven de klimaatimpact van de drie vervoermiddelen voor twee van de 25 bestemmingen vanuit Brussel, namelijk Parijs en Wenen. Het gaat om de klimaatimpact per reiziger voor een heen- en terugreis.

De vlucht Brussel-Parijs is een voorbeeld van een korte afstandsvlucht. Voor deze bestemming zijn de emissies per reiziger met het vliegtuig 5 maal hoger dan met de bus, en bijna 9 maal hoger dan met de trein. Bij een korte vlucht is er geen klimaatimpact door andere stoffen dan CO₂. Het aandeel van de emissies tijdens het opstijgen en landen is in dit geval hoog.

Emissies in kg CO₂e per reiziger voor de reis Brussel – Parijs (heen en terug)

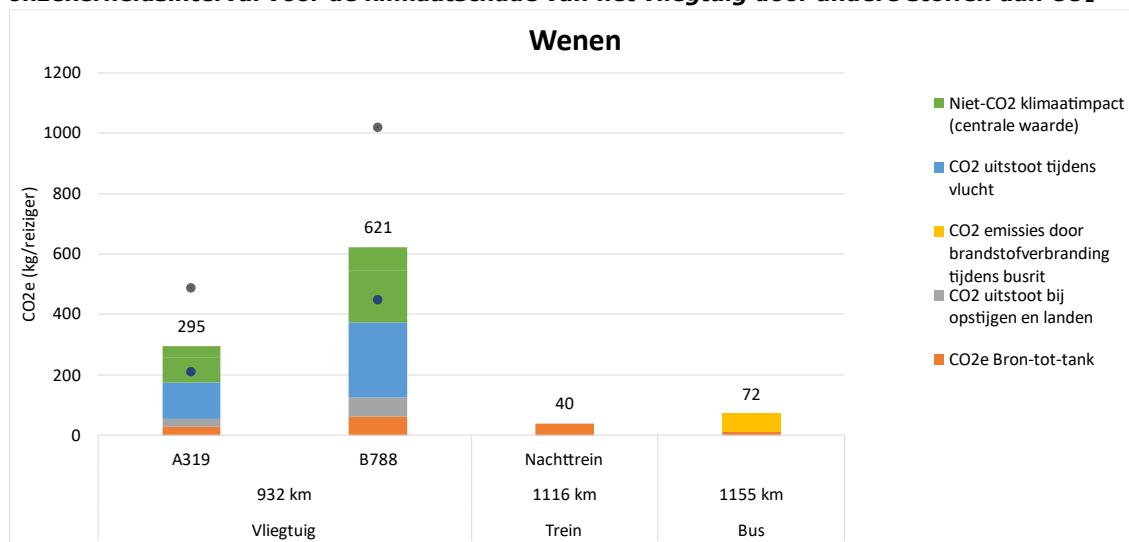


Bron: berekeningen TML

De vlucht Brussel-Wenen is een voorbeeld van een vlucht over een langere afstand. De klimaatimpact van een vliegtuigreis met een Airbus 319 naar Wenen is 4 maal groter dan wanneer men met de bus reist. In vergelijking met de (nacht)trein is de klimaatimpact van het vliegtuig meer dan 7 maal groter. Deze verhoudingen gaan uit van de centrale waarde voor de klimaatschade door andere stoffen dan CO₂. De stippen op de figuur geven de klimaatimpact van het vliegtuig weer

met een hogere en lagere inschatting van het effect door andere stoffen dan CO₂. De vergelijking tussen het vliegtuig en de trein/bus hangt daarnaast af van het vliegtuigtype.

Emissies in kg CO₂e per reiziger voor de reis Brussel – Wenen (heen en terug), met onzekerheidsinterval voor de klimaatschade van het vliegtuig door andere stoffen dan CO₂



Nota: Voor het vliegtuig geven de stippen de klimaatimpact weer met de ondergrens en bovengrens van de klimaatimpact door andere stoffen dan CO₂.

Bron: berekeningen TML

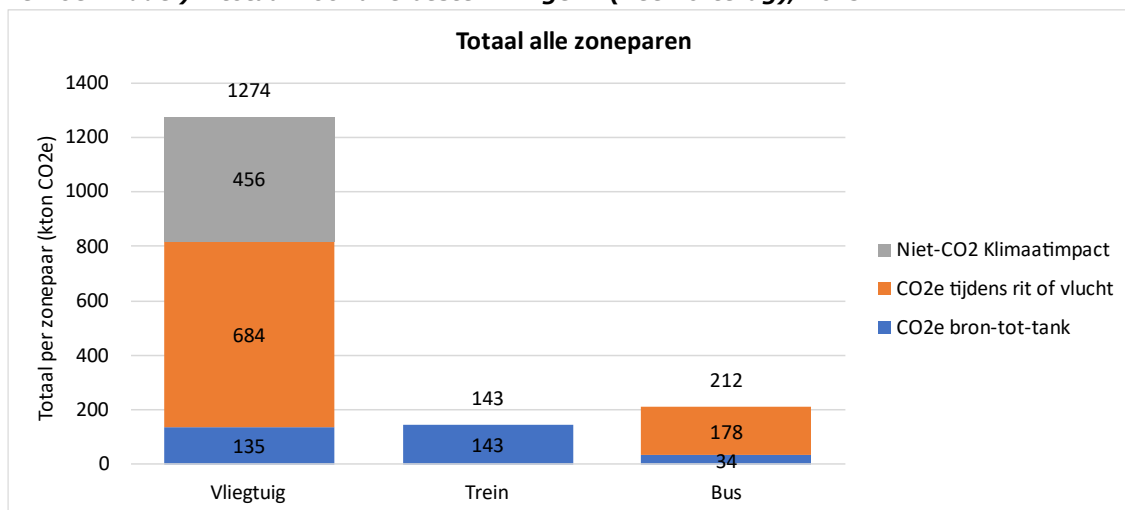
Wat is de impact van de bezettingsgraad? We deden simulaties met een lagere en hogere bezettingsgraad van respectievelijk 50 % en 95 %. In het voorbeeld van Parijs blijft de klimaatimpact van het vliegtuig het grootst. De rangschikking tussen de bus en de trein kan wel veranderen: zo is de klimaatimpact per reiziger bij een drukbezette bus kleiner dan die bij een trein met een lage bezettingsgraad.

Inschatting jaarlijkse emissiereductie van broeikasgassen

De volgende figuur geeft een indicatie van de daling van de broeikasgasemissies die men kan bekomen indien alle vliegtuigreizigers voor de verschillende bestemmingen overstappen naar de bus of de trein. Bij de berekening zijn we uitgegaan van een gemiddeld vliegtuig per zonepaar, een gemiddelde trein en bus, en van gemiddelde bezettingsgraden.

Bij een overstap naar de bus ligt het maximale jaarlijkse reductiepotentieel in 2019 rond de 1,06 miljoen ton CO₂e (CO₂-equivalenten) en bij een overstap naar de trein rond de 1,13 miljoen ton CO₂e. Het aantal extra treinen dat zou nodig zijn om alle luchtvaartpassagiers voor de bestemmingen te kunnen vervoeren bedraagt ongeveer 24 400 per jaar. Voor de bus is dit ongeveer 157 700 per jaar.

Benaderende vergelijking van de jaarlijkse emissies van de vliegtuigreizen en de emissies indien de vliegtuigreizigers overstappen naar de trein of de bus (kton CO₂e per vervoermiddel) – totaal voor alle bestemmingen* (heen & terug), 2019



*: exclusief reizen van en naar Innsbrück en Avignon

Bron: berekeningen TML

De uiteindelijke impact van een verschuiving van het vliegtuig naar de trein en/of de bus hangt daarnaast af van bijkomende factoren:

- Het bestaan van het Europees Emissiehandelssysteem (EU ETS) heeft implicaties voor de CO₂-reductie die men in Europa kan realiseren door een verschuiving van het vliegtuig naar de trein. De trein heeft per reiziger lagere emissies dan het vliegtuig. Indien er minder vluchten zijn tussen landen die onder het EU ETS vallen, en meer mensen de trein nemen, zullen de CO₂-emissies van deze reizen daardoor netto dalen. De emissierechten die hierdoor vrijkomen, zijn beschikbaar voor andere spelers onder het EU ETS, met respect voor het emissieplafond dat jaarlijks daalt.
- Indien het extra treinverkeer betekent dat er extra spoorinfrastructuur moet voorzien worden, dan moet men rekening houden met eventuele extra CO₂-emissies voor de constructie van de infrastructuur. Deze zijn sterk afhankelijk van het traject, en met name of er veel tunnels, bruggen, enz. moeten voorzien worden. Ze hangen ook af van de mate waarin de CO₂-intensieve materialen voor de aanleg van de spoorwegen (zoals bv. cement of staal) geleverd worden door sectoren die onder het emissieplafond van het EU ETS vallen. Voor sectoren onder het EU ETS moeten de bijkomende emissies gecompenseerd door een daling van de emissies bij andere spelers onder het ETS.
- Voor luchthavens met congestie, kan men verwachten dat de vrijgekomen capaciteit ingevuld worden door andere vluchten, in zoverre geen extra beleid wordt voorzien dat inzet op een daling van het aantal vliegbewegingen. Afhankelijk van de afstand van de bijkomende vluchten leidt dit tot extra klimaateffecten door andere stoffen dan CO₂. Indien de bijkomende vluchten niet onder het EU ETS vallen, leidt dit ook tot extra CO₂-emissies.

Tot slot wijzen we erop dat de cijfers die in deze studie worden voorgesteld, slechts een foto geven van de huidige situatie. Voor de drie vervoermiddelen kan men verwachten dat de emissies in de toekomst dalen. Sommige toekomstige ontwikkelingen op langere termijn kunnen een potentieel groot effect hebben op deze vergelijking.

1 Inleiding

1.1 Doel van de studie

Deze studie vergelijkt voor 25 courante vliegbestemmingen vanuit België de klimaatimpact van een reiziger die reist met het vliegtuig, de trein en de langeafstandbus.

Daarnaast geeft de studie een indicatie van de daling van de CO₂-emissies die men kan bekomen indien alle vliegtuigreizigers voor deze bestemmingen overstappen naar de bus of de trein.

1.2 Context

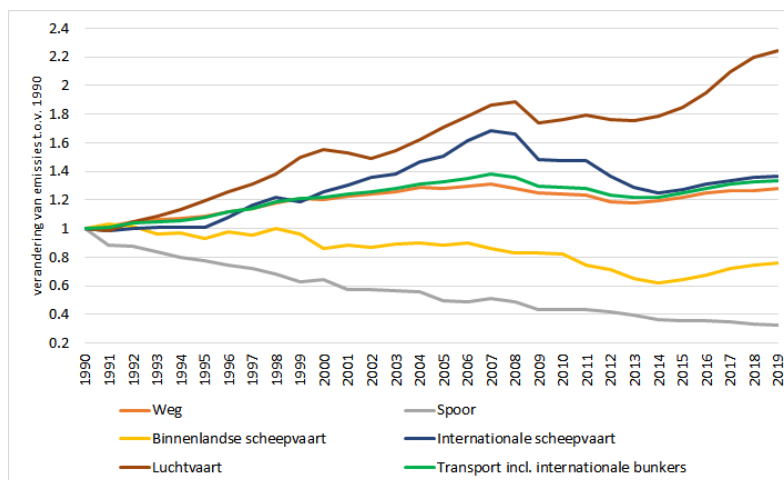
In de European Green Deal van september 2020 heeft de Europese Commissie voorgesteld om de doelstelling voor de reductie van de broeikasgasemissies in 2030 te verhogen tot ten minste 55 % ten opzichte van 1990. De Europese Raad heeft dit later bekrachtigd. In juni 2021 heeft de Raad van de EU de Europese Klimaatwet aangenomen. Daarin wordt de doelstelling van een klimaatneutrale Europese Unie (EU) tegen 2050 bij wet bepaald. Daarnaast neemt de Klimaatwet een collectieve, netto reductiedoelstelling op van de broeikasgasemissies met ten minste 55 % in 2030 ten opzichte van 1990. Klimaatneutraliteit betekent dat de EU tegen 2050 de netto-uitstoot van broeikasgassen tot nul herleidt.

Tot dusver zijn er geen overeenkomstige wettelijk verankerde sectorspecifieke reductiedoelstellingen in de klimaatwetgeving. Voor de transportsector stelt de Europese Green Deal evenwel als ambitie dat in 2050 de broeikasgasemissies van vervoer moeten dalen met 90 % ten opzichte van 1990 om de klimaatneutraliteit voor de economie als geheel te realiseren.

In juli 2021 heeft de Europese Commissie meer gedetailleerde voorstellen uitgebracht die moeten toelaten om de verhoogde ambitie uit te voeren en te verwezenlijken: het "Fit-for-55"-pakket. Indien de voorstellen aanvaard worden, zal dit belangrijke implicaties hebben voor de vervoermiddelen die het voorwerp uitmaken van deze studie: de luchtvaart en de andere vervoermiddelen die een alternatief kunnen bieden voor vluchten in Europa.

In 2019 stond de luchtvaart in voor 148 miljoen ton emissies van broeikasgassen (CO₂e) in de EU-27. Ten opzichte van 1990 zijn deze emissies meer dan verdubbeld (een stijging met meer dan 120 %), wat een veel sterkere groei is dan in de Europese transportsector in het algemeen (zie Figuur 1). In 2019 stond de burgerluchtvaart in voor bijna 13,5 % van de broeikasgasemissies van transport (incl. internationale bunkers) in de EU-27.

Figuur 1: Evolutie van de broeikasgasemissies van transport in de EU-27, totaal en per deelsector



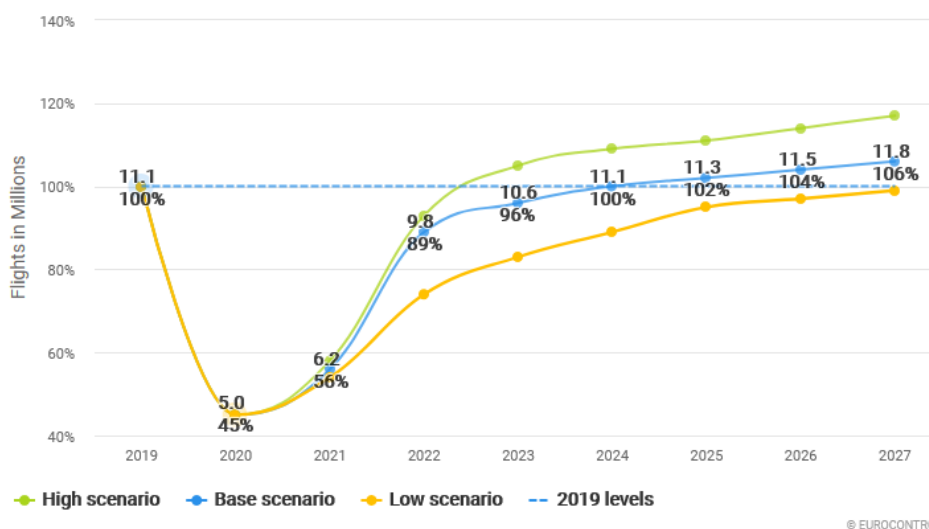
Bron: eigen bewerking op basis van EEA¹

De luchtvaart heeft ook klimaateffecten die niet gerelateerd zijn aan CO₂. Deze treden op als gevolg van een groot aantal chemische, microfysische, transport- en stralingsprocessen in de mondiale atmosfeer. De luchtvaart draagt bij tot de klimaatopwarming via de uitstoot van waterdamp, stikstofoxiden (NO_x) en roet, en via de condensatiestrepen en de cirruswolken die daaruit voortkomen. De productie van sulfaataerosolen heeft dan weer een afkoelend effect. De NO_x-emissies hebben enerzijds een opwarmend effect (via een ozonstijging op korte termijn) en anderzijds een afkoelend effect (via de afname van methaan en stratosferische waterdamp, en een afname van ozon op lange termijn). Indien men al deze effecten samen neemt, is het netto gevolg een opwarming van het klimaat. Een recente studie door Lee et al. (2021) geeft aan dat deze niet-CO₂ impacts in 2018 verantwoordelijk waren voor meer dan de helft (66 %) van het klimaateffect van de luchtvaart.

De COVID-19 crisis heeft een sterke impact gehad op het internationaal reisverkeer in Europa. Cijfers voor Eurocontrol geven aan dat het vliegverkeer in Europa in 2020 55 % lager lag dan in 2019. Voor 2021 verwacht Eurocontrol ook een daling, zij het iets lager, namelijk met 44 %. In het meest waarschijnlijke scenario schat Eurocontrol in dat het vliegverkeer tegen 2024 terugkeert naar het niveau van vóór de crisis (Figuur 2). Dit is natuurlijk afhankelijk van de verdere evolutie van de pandemie.

¹ <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>

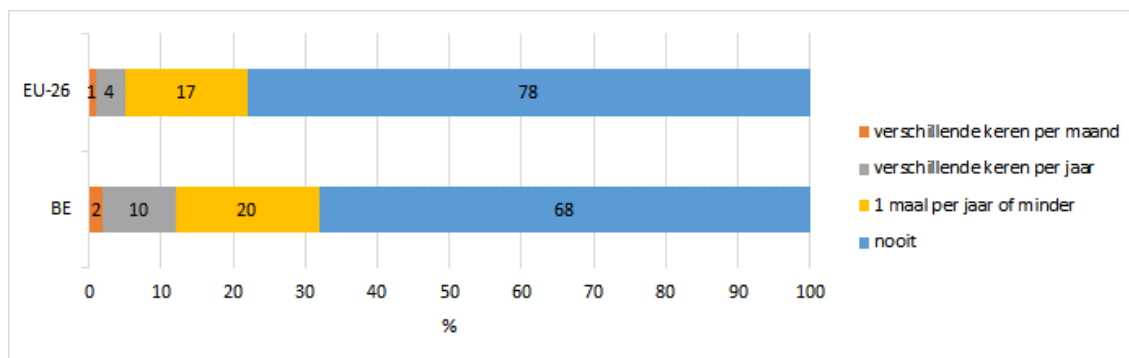
Figuur 2: Eurocontrol: vluchten in 2019 en 2020 en vooruitzichten voor 2021-2027 (miljoen vluchten en ratio t.o.v. 2019; 2019 = 100 %)



Nota: de figuur heeft betrekking op IFR-vluchten: vluchten volgens vliegvoorschriften voor luchtvaartnavigatie met behulp van instrumenten
Bron: Eurocontrol (15 oktober 2021)²

De bevragingen in het kader van de Eurobarometer 463 geven aan dat de Belgen in 2018 de trein slechts beperkt gebruikten voor hun internationale verplaatsingen (Figuur 3). In vergelijking met de gemiddelde Europeaan lag het internationaal treingebruik iets hoger bij de Belgen, wat te verklaren is door de grootte en ligging van ons land.

Figuur 3: Eurobarometer 463: Hoeveel gebruikt u de trein voor internationale verplaatsingen?

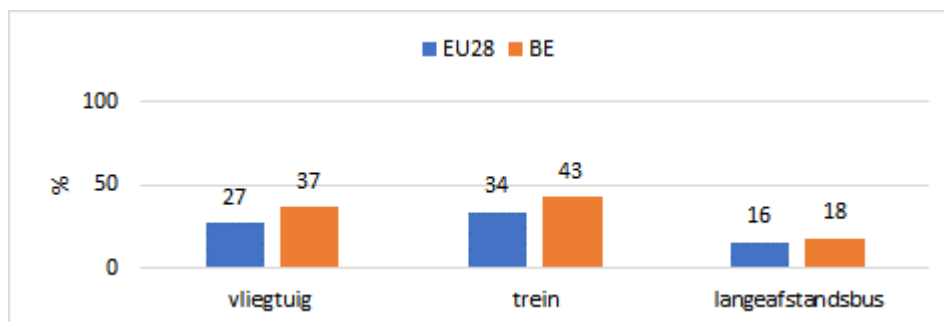


Nota: EU-26: EU-28 zonder Malta en Cyprus
Bron: eigen uitwerking op basis van Eurobarometer 463 (EC, 2018); bevraging in 2018

De Eurobarometer 485 (bevraging in 2019) geeft aan dat 37 % van de Belgen in het jaar voorafgaand aan de bevraging met het vliegtuig hadden gereisd, 43 % met de trein en 18 % met de langeafstandsbus. In vergelijking met de gemiddelde Europeaan maakten de Belgen meer gebruik van deze drie modi. Deze editie van de Eurobarometer maakt geen onderscheid tussen binnenlandse en internationale trips, waardoor de cijfers voor de trein niet vergelijkbaar zijn met die in de vorige figuur.

² <https://www.eurocontrol.int/publication/long-term-forecast-annual-numbers-ifr-flights-2040>, vooruitzichten gepubliceerd op 15 oktober 2021.

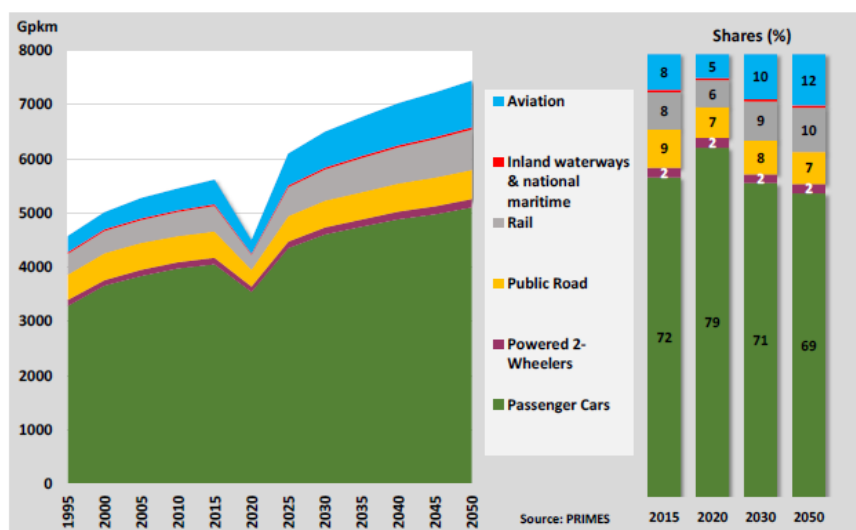
Figuur 4: Eurobarometer 495: Welke van deze vervoermiddelen gebruikte u de laatste 12 maanden?



Bron: eigen uitwerking op basis van Eurobarometer 485 (EC, 2019); bevraging in 2019

Met het huidige beleid geeft het Referentiescenario 2020 van de Europese Commissie voor de periode tot 2050 aan dat het aantal reizigerskilometer per vliegtuig verder zal groeien: in 2030 zouden er 13 % meer reizigerskm³ gevlogen worden dan in 2019, en 48 % meer in 2050. Voor de trein geeft het scenario ook een stijging van de reizigerskm, maar in mindere mate. Beide vervoermiddelen stijgen evenwel sterker dan de andere modi waardoor hun aandeel in de reizigerskm in de loop van de tijd toeneemt.

Figuur 5: Vooruitzichten voor de transportvraag in de EU – Referentiescenario 2020



Nota: Gpkm: miljard reizigerskm

Bron: EC (2021a)

Indien Europa de langetermijn klimaatdoelstellingen wil realiseren, moet reizen in Europa klimaatvriendelijker worden. Het “Fit-for-55” pakket omvat een aantal voorstellen gericht op de luchtvaart: een bijmengingsmandaat voor duurzame brandstoffen onder het ReFuel EU Aviation initiatief, de herziening van de Richtlijn Energiebelasting, de voorstellen voor de Europese emissiehandel, de herziening van de Richtlijn Hernieuwbare Energie en de Richtlijn betreffende de uitrol van infrastructuur voor alternatieve brandstoffen.

Daarnaast kan reizen in Europa ook duurzamer worden door een verschuiving naar vervoermiddelen met een kleinere klimaatimpact. In dit kader moet bv. het Europese jaar van het

³ Een reizigerskm is een kilometer afgelegd door een reiziger.

Spoor⁴ gezien worden, dat de trein als duurzaam transportmiddel in het licht wil zetten. Ook de BBL wil het potentieel van modale verschuivingen belichten met behulp van de onderliggende studie.

1.3 Structuur van het rapport

In Hoofdstuk 2 berekenen we de klimaatimpact van reizen vanuit België voor drie vervoermiddelen: de trein, het vliegtuig en de langeafstandbus. De analyse gebeurt voor 25 bestemmingen in Europa.

In Hoofdstuk 3 gaan we na wat de impact is op de CO₂-emissies indien de vliegtuigreizen tussen België en de 25 Europese bestemmingen zouden gebeuren met de trein of de langeafstandbus. We vullen deze berekening aan met een aantal bijkomende overwegingen die de uiteindelijke impact op de emissies mee zullen bepalen. Ook gaan we in op het huidige Europees beleid en op de voorstellen die de Europese Commissie in juli 2021 heeft gepubliceerd in het Fit-for-55 pakket.

⁴ https://europa.eu/year-of-rail/index_en

2 De klimaatimpact van reizen naar populaire vliegbestemmingen

In dit hoofdstuk berekenen we de klimaatimpact van reizen naar een aantal populaire vliegbestemmingen vanuit België. We vergelijken de klimaatimpact van een reis per vliegtuig met die van een reis per trein of langeafstandbus. In het eerste deel van dit hoofdstuk bespreken we de methodologie voor de analyse. Daarna lichten we de criteria toe voor de selectie van de bestemmingen. In Deel 2.3 bespreken we de resultaten van de analyse.

2.1 Methode

De methode voor de berekening van de CO₂-uitstoot is gelijkaardig aan degene die gebruikt werd in het TERM 2020 rapport “Train or Plane” dat recent gepubliceerd werd door het Europees Milieuagentschap en waaraan Transport & Mobility Leuven heeft meegewerkt (EEA, 2020).

De analyse houdt rekening met de volgende types van CO₂-emissies:

- De uitlaatgasemissies: deze treden op tijdens de verbranding van brandstoffen
- De emissies “van bron tot tank”: deze treden op tijdens de productie, transmissie en distributie van de brandstoffen of van de elektriciteit die gebruikt wordt door de vervoermiddelen

Daarnaast veroorzaakt de luchtvaart nog bijkomende klimaatschade door de uitstoot van andere stoffen dan CO₂.

Tabel 1: Schematisch overzicht per vervoermiddel

	Vliegtuig	Trein	Langeafstandbus
Uitlaatgasemissies	CO ₂ -emissies bij het opstijgen en landen CO ₂ -emissies tijdens het klimmen, cruisen en dalen	N.v.t.	CO ₂ -emissies bus
CO ₂ -emissies “van bron tot tank”	CO ₂ -emissies productie en distributie kerosine	CO ₂ -emissies productie, transmissie en distributie elektriciteit	CO ₂ -emissies productie en distributie diesel
Bijkomende klimaateffecten	Klimaatschade door andere stoffen dan CO ₂		

2.1.1 Uitlaatgasemissies

Vliegtuig

Voor elk van de bestemmingen bepaalden we de uitlaatgasemissies voor een vliegtuig dat courant gebruikt wordt voor de verbinding. We berekenden de uitlaatgasemissies op basis van Annex 5 van de EEA/EMEP richtlijnen voor het opstellen van de emissie-inventaris. Tabel 2 illustreert de onderliggende informatie voor een Airbus 320 233. Voor een vlucht van 350 NM⁵ (648 km) geeft dit een uitstoot van 9 164 kg CO₂. Het aandeel van het opstijgen en landen hierin is 25,5 % (op basis van de cijfers voor een drukke Europese luchthaven). De overige emissies treden op bij het klimmen, cruisen en dalen (de zogenaamde “Climb-Cruise-Descent” fase).

⁵ NM staat voor nautische mijl of zeemijl. Het is een eenheid van afstand die overeenkomt met 1852 m.

Tabel 2: EEA/EMEP guidebook: Emissiefactoren en brandstofverbruik voor A320

Type vliegtuig: A320 233 – Airbus		Meest frequent geobserveerde hoogte bij het cruisen (voet)	Geschatte parameters (gebaseerd op gegevens voor 2015)		
			Duur (u:mm:ss)	Brandstofverbruik (kg)	CO ₂ -emissie (kg)
Cyclus opstijgen en landen	Standaard voor een drukke Europese luchthaven (2015)		0:27:00	742,54	2338,99
	Standaard ICAO		0:32:54	816,17	2570,93
Climb – Cruise – Descent fase: lengte in NM	125	180	0:21:37	931,92	2935,54
	200	270	0:31:18	1356,45	4272,81
	250	280	0:37:44	1647,38	5189,25
	500	320	1:10:49	2946,00	9279,91
	750	360	1:45:05	4124,49	12992,15
	1000	380	2:18:37	5273,37	16611,12
	1500	380	3:25:45	7768,61	24471,13
	2000	380	4:32:47	10483,84	33024,10
	2500	380	5:39:50	12914,24	40679,96
	3000	380	6:46:01	15846,96	49917,60

Nota: 1NM = 1,852 km

Bron: Annex 5 van EEA (2019)

Langeafstandbus

De uitlaatgasemissies van de langeafstandbussen zijn gebaseerd op een studie van het Duitse Umweltbundesamt (Allekotte et al., 2020). De studie geeft een uitstoot van 26 gCO₂e/reizigerskm.

We bepaalden de afstand van de ritten met behulp van Google Maps. Daarbij hielden we rekening met het traject van de bussen langs eventuele tussenstops.

2.1.2 Emissies van bron tot tank

De CO₂-emissies van de productie en distributie van kerosine en diesel zijn overgenomen uit Knörr en Hüttermann (2016). De emissiefactoren zijn 0,63 kg CO₂/kg kerosine en 0,48 kg CO₂/kg diesel.

Bij de busverbindingen naar het Verenigd Koninkrijk gebeurt de oversteek van het Kanaal via een shuttletrein door de Eurotunnel. De berekening van de emissies van bron tot tank voor de bussen houdt rekening met de emissies van de trein voor dit deel van het traject.

Voor de CO₂-emissies van de productie, transformatie en distributie van elektriciteit rekenden we met de gemiddelde CO₂-intensiteit van de elektriciteitsproductie in de EU-28. In 2019 bedroeg deze 250 g CO₂e/kWh⁶. We baseerden het elektriciteitsverbruik van de trein op Schroten et al. (2019). Voor een hogesnelheidstrein geeft deze bron een gemiddeld verbruik van 20 kWh/treinkm, en voor een elektrische intercity trein 15 kWh/treinkm. Wegens gebrek aan informatie over de afstand die wordt afgelegd met de trein, wordt deze gelijkgesteld aan de afstand over de weg, waarbij we rekening hebben gehouden met het traject van de trein.

2.1.3 Klimatschade van luchtvaart door andere stoffen dan CO₂

Vluchten veroorzaken ook klimatschade via andere stoffen dan CO₂. Volgens Lee et al. (2021) stonden deze stoffen in 2018 in voor ongeveer 66 % van de klimatschade door de luchtvaart. Het gaat om de schade veroorzaakt door de emissies van:

- stikstofoxiden (NO_x): zij hebben een impact op de vorming van ozon, wat bijdraagt tot klimaatopwarming; daarnaast leiden zij tot de afbraak tot methaan, wat een afkoelend effect heeft
- roetdeeltjes
- zwaveloxiden
- waterdamp.

De emissies van deze stoffen leiden tot veranderingen in de chemische samenstelling van de atmosfeer en tot bewolking, waardoor het stralingsbudget verstoord wordt. Het recent artikel van Lee et al. (2021) geeft een goed overzicht van deze effecten. De netto-impact is klimaatopwarming, maar afhankelijk van de stof die men beschouwt, kan er een opwarmend of afkoelend effect optreden. Het grootste effect is gerelateerd aan de NO_x-emissies en cirruswolken die geïnduceerd worden door condensatiestrepen (CiC).

Voor de toekomst wijst EASA erop dat als de emissies van precursoren van troposferisch ozon verminderen in de andere sectoren en tegelijkertijd de NO_x-emissies door de luchtvaart toenemen, de klimatschade door de NO_x-emissies van de luchtvaart kan verminderen of zij een afkoelend effect kunnen krijgen. Het effect van NO_x hangt immers af van de achtergrondconcentraties van de andere pollutanten (EASA, 2020).

Over het algemeen kan men stellen dat de impact van de andere stoffen dan CO₂ afhankelijk is van de plaats van de emissies en de hoogte waarop gevlogen wordt, naast andere factoren zoals bv. het tijdstip van de dag en het weer. Dit is een verschil met de CO₂-emissies, waarvan de impact niet afhangt van deze factoren (Dahlmann et al., 2021).

Studies die de milieukosten van de luchtvaart trachten te vergelijken met die van andere vervoermiddelen houden op verschillende manieren rekening met de klimatschade verbonden aan de andere stoffen dan CO₂. Hieronder geven we een aantal voorbeelden.

- In het handboek over de externe kosten van transport van de Europese Commissie wordt aangenomen dat de totale klimaatimpact van de luchtvaart dubbel zo groot is als die van de CO₂-emissies tijdens de vlucht. Lee et al. (2021) geven aan dat de totale impact 3 maal zo groot is dan die van de CO₂-emissies.

⁶ EEA, Greenhouse gas emission intensity of electricity generation by country (https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity-9/#tab-chart_2, website geraadpleegd op 3 november 2021).

- Cox en Althaus (2019) berekenen de klimaatimpact van vluchten van werknemers van de Universiteit Zürich en passen een factor 2 toe op de emissies tijdens de cruise fase boven 9 km. Ze geven daarnaast een ondergrens en bovengrens voor deze factor, namelijk 1,3 en 3,6.
- Het TERM 2020 rapport past de drie waarden van Cox en Althaus toe op de CO₂-emissies tijdens de zogenaamde climb-cruise-descent fase (klim-cruise-daling) van individuele vluchten. Hierbij wordt vermeld dat dit een overschatting is omdat de afstand die op grote hoogte wordt afgelegd kleiner is. Dit is zeker het geval bij kortere vluchten.

Het werken met uniforme factoren kan een eerste indicatie geven van de extra klimaatimpact van de luchtvaart in haar geheel. Voor individuele trajecten is het echter te verkiezen om ook rekening te houden met de hoogte waarop er gevlogen wordt, de hoeveelheid uitstoot en, indien mogelijk, met de plaats waar er gevlogen wordt (Dahlmann et al., 2021).

- De Ecopassenger tool van de International Union of Railways (UIC) past een “Radiative Forcing Index” (RFI) van 3 toe op emissies op hoge hoogte, en dit voor vluchten vanaf 500 km (IFEU, 2016). De tool maakt aannames van de vluchten per afstandsklasse die op kritische hoogte (boven 9 km) vliegen. De RFI wordt enkel toegepast op de afstand tijdens de cruise-fase. De tool hanteert de volgende RFI-waarden:

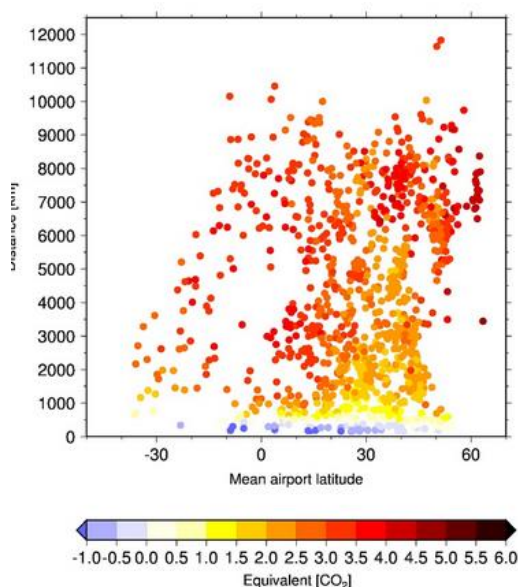
Tabel 3: Gemiddelde RFI-waarden voor verschillende afstandsklassen in de Ecopassenger tool

Afstandsklasse	Gemiddelde RFI-factor
500 km	1,27
625 km	1,47
750 km	1,6
1000 km	1,87
Meer dan 1000 km	2,5

Bron: IFEU (2016)

- Een recente studie van Dahlmann et al. (2021) geeft de totale klimaatimpact per vlucht weer van de NO_x-emissies, van de cirruswolken geïnduceerd door condensatiestrepen (CiC), en van waterdamp, en drukt dit uit in CO₂ equivalente factoren. Dit gebeurt op basis van een modelmatige analyse van meer dan 1000 vluchten. Figuur 6 toont hoe de CO₂ equivalente factor afhangt van de lengte van de vlucht en van de gemiddelde breedtegraad van de luchthavens van oorsprong en bestemming. In de meeste gevallen is de waarde positief (wat wijst op een netto opwarmend effect). Voor korte afstanden is de factor klein en in bepaalde gevallen negatief. Dat komt overeen met een netto afkoelend effect. Voor korte afstanden, onder de 500 km, wordt er op lage hoogte gevlogen. Op deze hoogte is het te warm voor de vorming van condensatiestrepen en is ook de impact van waterdamp klein. De impact van de NO_x-emissies is in deze gevallen negatief, omdat zij op deze hoogte eerder beperkt bijdragen tot ozonproductie en een groter negatief effect hebben op de vernietiging van methaan, vooral in tropische regio's. Naarmate de vluchtafstand toeneemt en naarmate men verder van de tropen vliegt, wordt klimaatfactor voor NO_x positief en groter.

Figuur 6: CO₂ equivalente factoren voor de totale klimaatimpact die niet samenhangt met CO₂-emissies, als functie van de lengte van de vlucht en de gemiddelde breedtegraad



Bron: Dahlmann et al. (2021)(vierde luik van Figuur 9)

Dahlmann et al. (2021) hebben functies geschat om de CO₂ equivalentie te berekenen van NO_x, CiC en waterdamp. De A330-200 op basis waarvan de functies werden geschat, is een typisch vliegtuig voor langere afstanden. De auteurs geven aan dat de functies kunnen verschillen voor andere vliegtuigen, als de emissies of de typische vluchtprofielen van die vliegtuigen verschillen van die van de A330-200. Daarom zijn de functies niet direct inzetbaar voor onze studie.

Op basis van het literatuuroverzicht berekenen we de niet-CO₂ gerelateerde impact in dit rapport als volgt:

- Voor de vluchten over een korte afstand: klimaatschade niet-CO₂ = 0.
- Voor de langere vluchten gebruiken we dezelfde aanpak als in het TERM 2020 rapport:

Klimaat schade niet-CO₂ =

 - klimaatschade CO₂ tijdens Climb-Cruise Descent x 1 (centrale waarde)
 - klimaatschade CO₂ tijdens Climb-Cruise Descent x 0,3 (ondergrens)
 - klimaatschade CO₂ tijdens Climb-Cruise Descent x 2,6 (bovengrens)

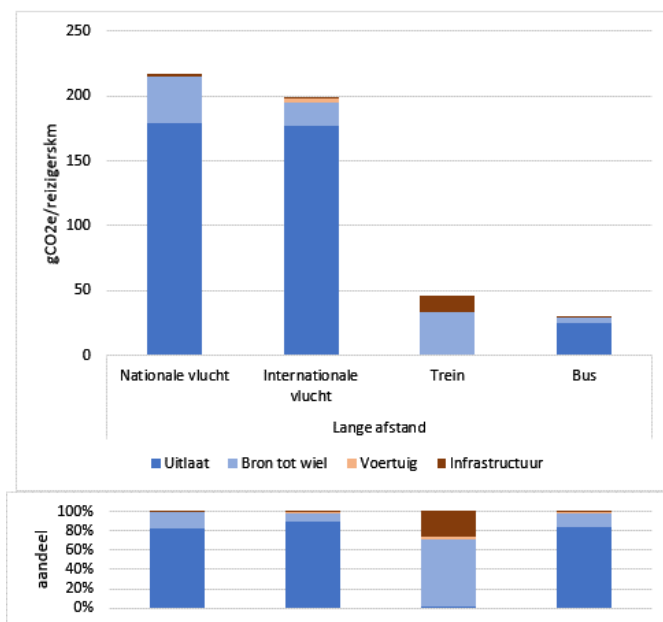
We rekenen hierbij vluchten tot 450 km als korte afstandsvluchten.

2.1.4 **Levenscyclus analyse**

Een levenscyclus analyse houdt naast deze effecten ook rekening met de klimaatimpact van de infrastructuur en van de productie, het onderhoud en het levenseinde van de vliegtuigen, treinen en bussen. Een recente studie van het Duitse Umweltbundesamt geeft een indicatie van het belang van deze elementen bij de beoordeling van de klimaatimpact van de drie vervoermiddelen (Allekotte et al., 2020). Figuur 7 geeft de broeikasgassen per reizigerskm voor nationale en internationale vluchten, de trein en bus op langeafstand. Het onderste deel van de figuur geeft aan dat het aandeel van de broeikasgassen verbonden aan de infrastructuur en de voertuigen beperkt is voor de luchtvaart en de langeafstandbus. Met deze elementen is de klimaatimpact slechts 1 tot 3 % hoger dan zonder. Voor de trein is de bijdrage van de broeikasgassen van de voertuigen en vooral de

infrastructuur relatief belangrijker: de klimaatimpact met deze elementen is in Duitsland 40 % hoger dan wanneer men enkel de emissies van bron tot tank beschouwt.

Figuur 7: Klimaatimpact over de levenscyclus van het vliegtuig, de trein en de langeafstandsbus (gCO₂e/reizigerskm) en aandeel van de impactcategorieën (%) – Duitsland, 2017



Bron: eigen uitwerking op basis van Allekotte et al. (2020)

2.1.5 Van klimaatimpact per voertuig naar impact per reiziger

We berekenen de klimaatimpact van de verplaatsingen per reiziger. Hiertoe delen we emissies per voertuig door het gemiddeld aantal reizigers per voertuig.

We doen de volgende aannames voor de bezettingsgraden en capaciteiten:

- Vliegtuig:
 - de gemiddelde bezetting op de verbinding, op basis van Eurostat data voor 2019 (indicator avia_par_be)
 - de typische capaciteit van de verschillende vliegtuigtypes, op basis van de websites van de constructeurs (zie Bijlage 1)
- Trein:
 - een gemiddelde bezettingsgraad van 66 % voor hogesnelheidstreinen en 36 % voor intercity treinen, op basis van Schrotten et al. (2019)
 - een capaciteit van 500 voor beide treintypes, op basis van dezelfde bron
- Langeafstandsbus: een bezettingsgraad van 57 %, op basis van Allekotte et al. (2020).

De emissies per reiziger hangen sterk af van de bezettingsgraad van het vervoermiddel. Daarom wordt er voor twee bestemmingen ook een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op deze parameter, voor een bezettingsgraad van 50 % en 95 %.

2.2 Selectie Europese bestemmingen vanuit België

Dit rapport vergelijkt de klimaatimpact voor 25 Europese bestemmingen. We hebben de bestemmingen op basis van de volgende criteria geselecteerd:

- De populariteit van de bestemming: Eurostat geeft cijfers over het aantal reizigers en vluchten tussen de belangrijkste Belgische luchthavens en de rest van Europa (in de dataset avia_par_be). De databank omvat zowel bestemmingen die in de EU liggen als erbuiten. De selectie is gebeurd op basis van de cijfers voor 2019, aangezien het vliegverkeer in Europa in 2020 sterk beïnvloed werd door de COVID-19 pandemie.
- Een aantal bijkomende bestemmingen die worden aangevlogen vanuit regionale luchthavens indien die niet worden bediend vanuit Brussels Airport.
- De beschikbaarheid van een alternatieve verbinding met de trein en/of de langeafstandbus. Dit werd afgeleid uit informatie die beschikbaar is op de website van Trainline, voor twee weekdays en één zaterdag in november.
- De kwaliteit van de alternatieve verbindingen, gemeten op basis van kenmerken zoals de tijdsduur, het aantal overstappen of de beschikbaarheid van een nachttrein. Voor bestemmingen waarvoor er geen nachttrein beschikbaar is, worden enkel de bestemmingen opgenomen waarvoor de maximale reistijd per trein twaalf uur is en er maximum drie overstappen zijn.
- De beschikbaarheid van voldoende informatie om de analyse uit voeren.

Tabel 4 geeft een overzicht van de 25 bestemmingen. De tabel geeft voor het luchtverkeer van en naar deze Europese steden informatie over het aantal vluchten, het aantal reizigers, de gemiddelde bezettingsgraad, de afstand per vliegtuig en het vliegtuigtype waarvoor de analyse wordt uitgevoerd.

Voor de langeafstandbus en de trein gebeurt de analyse voor de ritten tussen Brussel en de steden dichtbij de buitenlandse luchthavens in de vorige tabel. Voor deze twee vervoermiddelen zijn er geen data beschikbaar van het aantal reizigers dat momenteel reist van en naar deze bestemmingen.

Tabel 4: Selectie van vliegbestemmingen vanuit Belgische luchthavens – gegevens voor 2019

		Aantal vluchten (heen en terug)	Aantal reizigers (heen en terug)	Gemiddelde bezettingsgraad	Afstand per vliegtuig (km)	Typisch vliegtuig-type
Brussel	Barcelona/El prat	5964	952169	89%	1093	A320
	London Heathrow	5816	675607	72%	351	A333
	Geneva	5612	615005	71%	562	A320
	Frankfurt/Main	5799	578559	69%	302	A320
	Berlin	4171	512987	79%	648	A320
	Wien	4540	486177	67%	932	B788
	Muenchen	4585	439029	71%	598	A320
	Milano/Malpensa	3711	430943	79%	670	B738
	Nice	2918	385835	82%	866	A320
	Praha/Ruzyne	2971	333833	74%	710	A320
	Zurich	3381	324112	67%	483	A320
	Amsterdam/Schiphol	3526	281568	80%	158	E175
	Lyon Saint Exupery	3220	261219	77%	596	A319
	Manchester	2378	247115	59%	560	B788
	Hamburg	1835	196919	75%	490	A320
	Paris	1614	196076	70%	252	A320
	Toulouse/Blagnac	1787	188527	75%	860	A319
	Marseille	1375	152139	80%	852	A319
	Edinburgh	1289	146670	81%	781	A320
	Birmingham	1761	132236	79%	469	A319
Nantes Atlantique	1205	86699	78%	626	E175	
Bordeaux	717	82952	79%	786	A319	
Charleroi	Bologna	1071	182248	90%	851	B738
	Carcassonne	937	155214	88%	830	B738
Antwerpen	Innsbrück	*	*	70%	810	E190
	Avignon	**	**	70%	665	E190

* geen data beschikbaar; ** deze bestemming wordt pas sinds 2021 bediend vanuit Antwerpen
Bron: TML op basis van Eurostat (avia_par_be), flightplandatabase.com en www.flightradar24.com

2.3 De CO₂-uitstoot per reiziger van het vliegtuig, de trein en de langeafstandbus

In dit deel vergelijken we de klimaatimpact van de drie vervoermiddelen voor twee bestemmingen vanuit Brussel, namelijk Wenen en Parijs. Het gaat om de klimaatimpact per reiziger, voor een heen- en terugreis. De resultaten voor de overige bestemmingen worden weergegeven in Bijlage 2. De resultaten zijn afgeleid uitgaande van de bezettingsgraden besproken in Deel 2.1.5. Aan de hand van een gevoeligheidsanalyse voor twee bestemmingen illustreren we de impact van andere veronderstellingen over de bezettingsgraden.

Voorbeeld 1: Brussel-Wenen

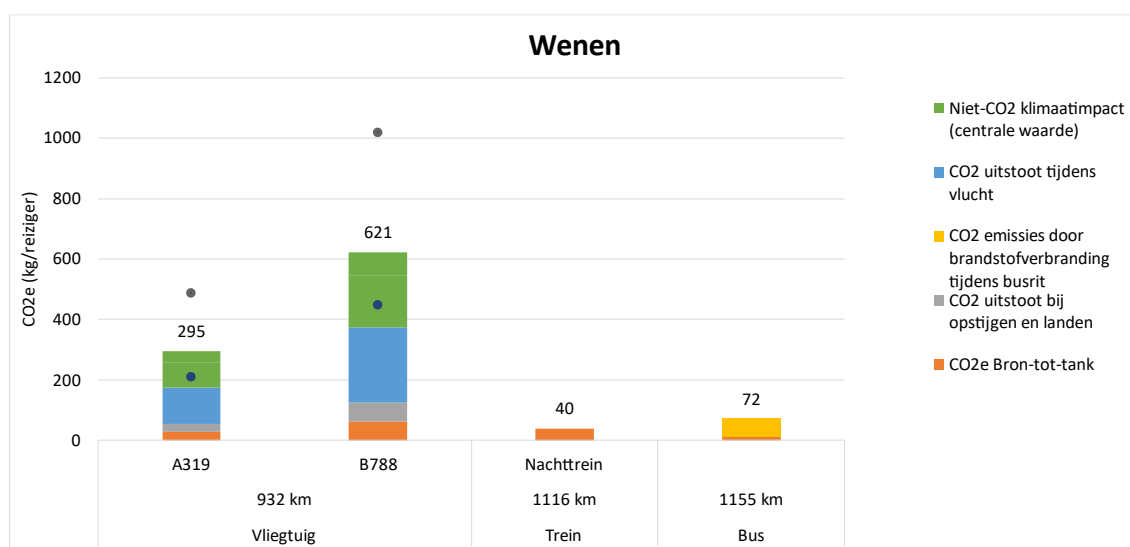
Figuur 8 geeft een overzicht van de emissies per reiziger in CO₂-equivalenten (CO₂e) voor de drie vervoermiddelen.

Voor Wenen zijn er twee vliegtuigtipes die de vliegtuigmaatschappijen courant gebruiken nl. de Airbus A319 en de Boeing B788. De figuur geeft de klimaatimpact die verbonden is aan:

- de CO₂-emissies gedurende de productie van de brandstof (bron-tot-tank)(oranje)
- de CO₂-emissies tijdens het opstijgen en landen (grijs)
- de CO₂-emissies tijdens de vlucht (blauw)
- de klimaatimpact door andere stoffen dan CO₂ (groen).

De laatste twee componenten dragen meer bij tot de totale klimaatimpact van de reis per emissies van CO₂-equivalenten dan de andere factoren. De berekening van de emissies resulteert in een totale uitstoot per reiziger van respectievelijk 295 kg en 621 kg CO₂-equivalenten voor de A319 en de B788. Voor deze inschatting is er gewerkt met de gemiddelde waarde voor de klimaatimpact van de andere stoffen dan CO₂. De figuur geeft ook de lage en hoge inschatting aan met een stip.

Figuur 8: Emissies in kg CO₂e per reiziger voor de reis Brussel – Wenen (heen en terug), met onzekerheidsinterval voor de klimaatschade van vluchten door andere stoffen dan CO₂



Nota: Voor het vliegtuig geven de stippen de klimaatimpact weer met de ondergrens en bovengrens van de klimaatimpact door andere stoffen dan CO₂.

Bron: berekeningen TML

De Boeing B788 is een groot vliegtuig dat meer uitstoot dan de Airbus A319, een compacter vliegtuig. Voor eenzelfde bezettingsgraad zijn de emissies per reiziger sterk verschillend. Voor de andere bestemmingen waar verschillende vliegtypes ingezet worden zijn de verschillen niet steeds even groot.

We nemen aan dat het treintraject tussen Brussel en Wenen wordt afgelegd met de nachttrein. Het energieverbruik van deze trein wordt verondersteld gelijkaardig te zijn aan dat van een intercity-trein. Op basis hiervan volgt dat de emissies per treinreiziger gelijk zijn aan 40kg CO₂e (heen en terug). Dit is aanzienlijk lager dan voor een reis met het vliegtuig. Met een A319 is de klimaatimpact van het vliegtuig 7,3 maal groter dan die van de trein. Voor de trein treden er enkel emissies op bij

de productie en distributie van elektriciteit. Meestal zijn elektromotoren in treinen ook veel efficiënter dan de verbrandingsmotoren in vliegtuigen.

Het derde vervoermiddel in Figuur 8 is de langeafstandsbus. De emissies van een heen- en terugreis worden ingeschat op 72 kgCO_{2e} per reiziger. Dit is ook substantieel lager dan voor het vliegtuig. Met een A319 is de klimaatimpact van het vliegtuig 4 maal groter dan die van de langeafstandsbus. De klimaatimpact van de langeafstandsbus is 80 % hoger dan met de trein. Voor de bus zijn de emissies opgebouwd uit twee factoren: bron-tot-tank emissies en emissies geproduceerd door verbranding van brandstof.

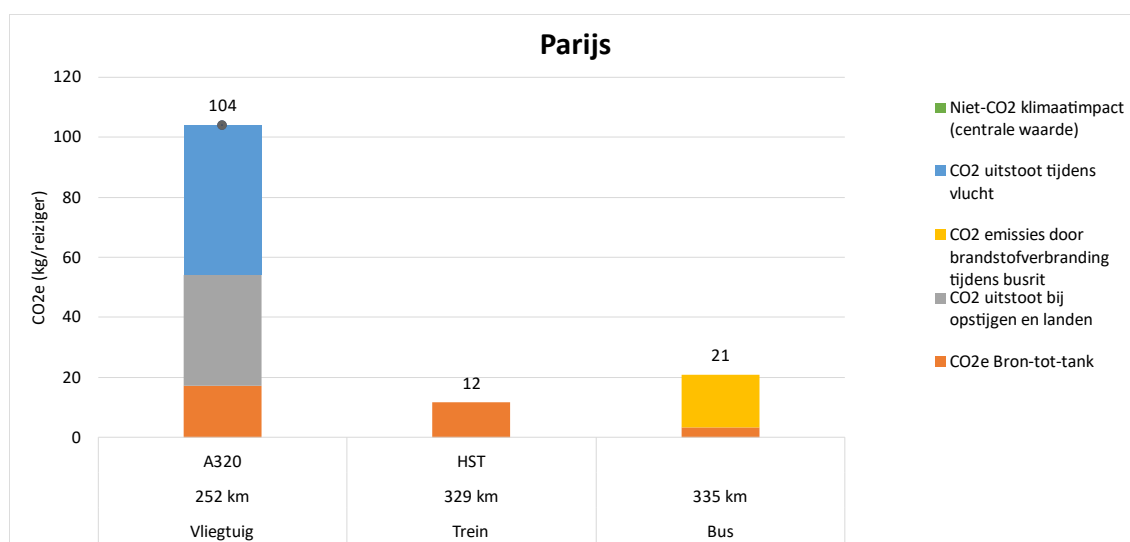
Belangrijk is ook om te vermelden dat de afstand van het traject met de verschillende vervoermiddelen ook een invloed heeft op de emissies. In dit voorbeeld is de afstand afgelegd van oorsprong tot bestemming voor een vliegtuig kleiner dan voor de trein of de langeafstandsbus. Dit heeft een verlagend effect op de emissies voor het vliegtuig.

Voorbeeld 2: Brussel-Parijs

De afstand met het vliegtuig tussen Brussel en Wenen is iets meer dan 930 km. Voor vluchten over een korte afstand zijn er voor het vliegtuig twee verschillen met de analyse hierboven. Dit kan geïllustreerd worden voor de bestemming Parijs (zie Figuur 9), met een vliegafstand van ongeveer 250 km. Het eerste verschil bij een kortere vlucht is dat er geen klimaatimpact is door andere stoffen dan CO₂ (zie Deel 2.1.3). Het tweede verschil is dat het aandeel van de emissies van het opstijgen en landen in de CO₂-emissies groter is dan bij een langere vlucht.

Voor deze bestemming zijn de emissies per reiziger met het vliegtuig 5 maal hoger dan met de bus, en 8,7 maal hoger dan met de trein.

Figuur 9: Emissies in kg CO_{2e} per reiziger voor de reis Brussel – Parijs (heen en terug)



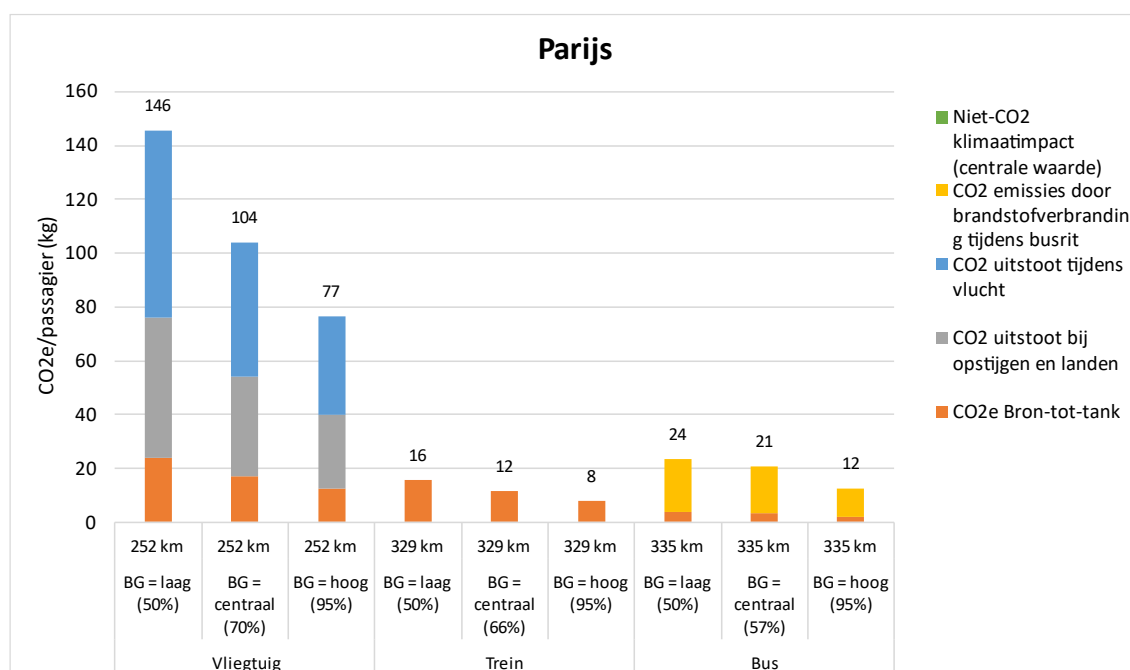
Bron: berekeningen TML

Gevoeligheidsanalyse voor verschillende bezettingsgraden

Figuur 10 en Figuur 11 geven aan wat de impact is van de veronderstellingen over de bezettingsgraden voor de vergelijking tussen de vervoermiddelen. De eerste figuur geeft dit weer voor Brussel-Parijs (korte afstand), en de tweede voor Brussel-Barcelona (langere afstand). De resultaten met de bezettingsgraden uit de voorgaande berekeningen worden vergeleken met die voor een lagere bezettingsgraad van 50 % en een hoge bezettingsgraad van 95 %.

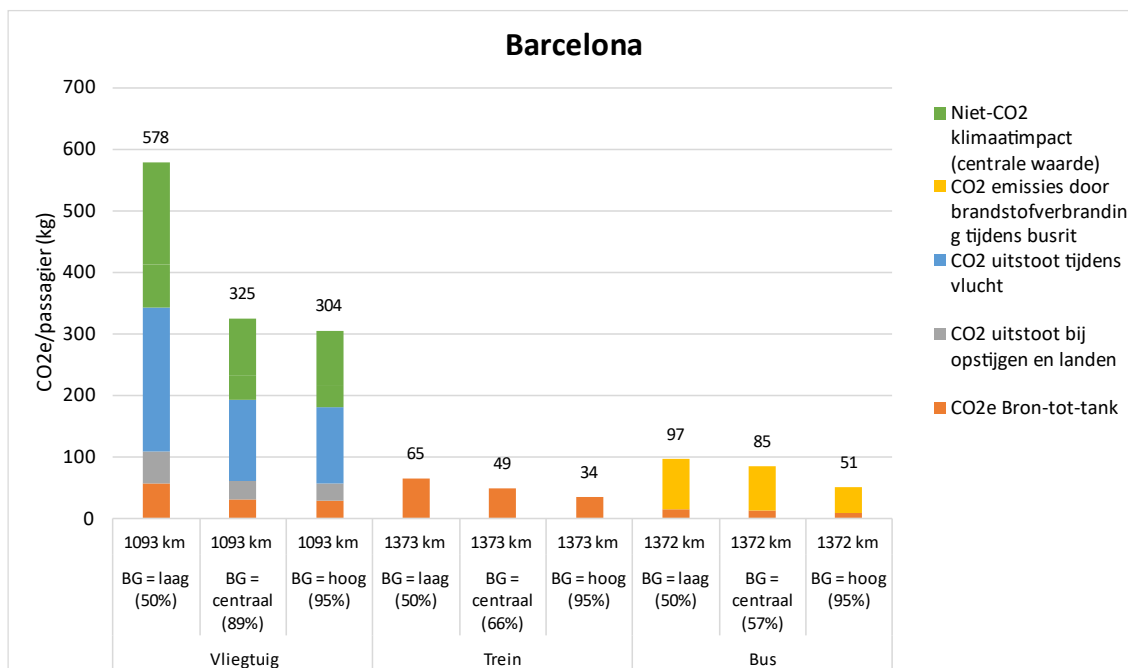
De klimaatimpact per reiziger van een vervoermiddel verandert logischerwijze lineair wanneer het aantal reizigers per voertuig verandert. Hierdoor kan het zijn dat de onderlinge verhouding tussen de verschillende voertuigen met de laagste emissies voor het traject wijzigt. Een bus met een hoge bezettingsgraad kan resulteren in lagere emissies per reiziger in vergelijking met een trein met een lage bezettingsgraad zoals ook te zien is in de figuren.

Figuur 10: Gevoeligheidsanalyse naar bezettingsgraad voor Brussel-Parijs (heen- en terugreis)



BG: bezettingsgraad
Bron: Berekeningen TML

Figuur 11: Gevoeligheidsanalyse naar bezettingsgraad voor Brussel – Barcelona (heen- en terugreis)



BG : bezettingsgraad

Bron: berekeningen TML

3 Inschatting jaarlijkse reductie CO₂e-emissies

In dit hoofdstuk maken we een inschatting van de jaarlijkse reductie van de CO₂e-emissies die men kan realiseren indien alle vliegtuigreizen naar de verschillende bestemmingen en terug zouden gebeuren via de trein of de langeafstandsbus. Hierna bespreken we eerst de werkwijze voor deze berekening, om vervolgens dieper in te gaan op de resultaten.

Dit alles kaderen we in een bredere context, waarbij rekening gehouden wordt met o.a. het Europees emissiehandelssysteem, het “Fit-for-55” pakket of de implicaties van een capaciteitsuitbreiding van de infrastructuur voor de andere modi.

3.1 Methode

We hebben voor deze berekening de volgende stappen doorlopen:

- De inschatting van de CO₂-emissies van het vliegtuigverkeer gebeurde op basis van de Eurostat informatie over het aantal heen- en terugvluchten per jaar, en de emissies per vlucht van een representatief vliegtuig voor elk zonepaar. Daarnaast houden we ook rekening met de klimaatimpact die veroorzaakt wordt door andere stoffen dan CO₂ (voor de vluchten > 450 km)
- De extra kilometers van de trein of de langeafstandsbus die nodig zijn door de modale verschuiving naar deze modi is ingeschat door het aantal vliegtuigreizigers te delen door het gemiddeld aantal reizigers per trein of bus. Hiervoor wordt gerekend met een bezettingsgraad van 66 % voor de trein en 57 % voor de langeafstandsbus, de centrale waarden uit Hoofdstuk 2. Er wordt ook rekening gehouden met het verschil in trajectlengte tussen de trein/bus in vergelijking met het vliegtuig. Vervolgens worden de CO₂-emissies van de extra treinen en bussen berekend.

Avignon werd in 2019 niet bediend vanuit Antwerpen. Voor het aantal reizigers tussen Innsbrück en Antwerpen zijn er geen publieke gegevens beschikbaar. Daarom worden deze twee bestemmingen niet opgenomen in de analyse.

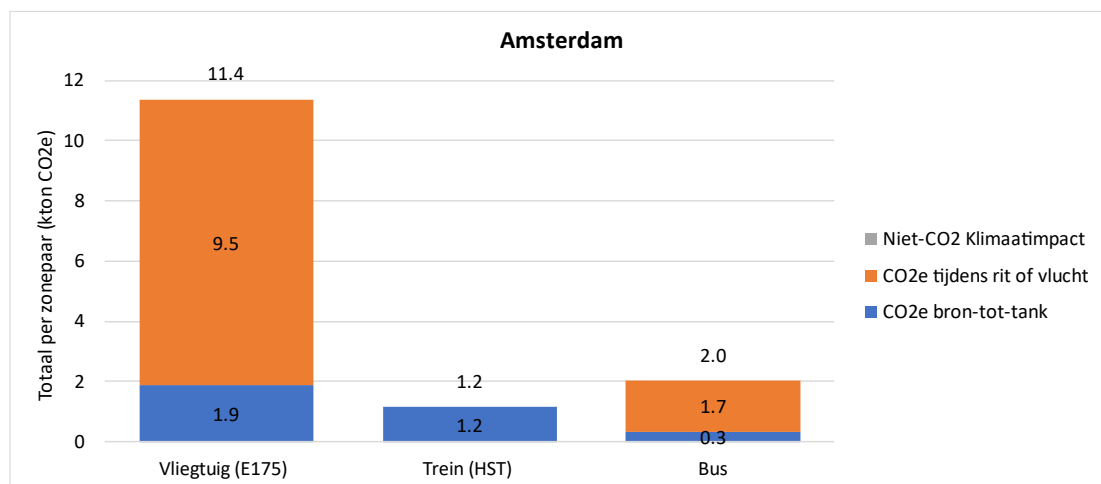
De berekeningen zijn benaderend. De reden hiervoor is dat er onvoldoende informatie is om rekening te kunnen houden met de kenmerken van elk individueel vliegtuig, individuele trein of bus, en met de bezettingsgraden van de individuele ritten.

3.2 Resultaat

Figuur 12 geeft het resultaat van de berekening voor de bestemming Amsterdam, met 3526 vluchten en 281 568 reizigers (heen en terug) in 2019. Vermits het gaat om een bestemming op korte afstand wordt er geen klimaatimpact opgenomen van andere stoffen dan CO₂. Het voorbeeld van Amsterdam wordt hier besproken, omdat het een bestemming is waarvoor men zeer gemakkelijk kan overschakelen op een ander vervoermiddel dan het vliegtuig. De CO₂-emissies die daarmee zouden kunnen bespaard worden zijn ongeveer 9000 ton per jaar, indien iedereen overstapt naar de langeafstandsbus, en ongeveer 10 000 ton per jaar, indien iedereen overstapt naar de trein (hoge snelheidstrein), gegeven het aantal reizigers per bus en trein dat voorheen werd aangenomen. Het aantal extra treinen dat daarvoor zou moeten worden ingezet bedraagt ongeveer

850 per jaar, of gemiddeld ongeveer 2,5 extra treinen per dag op het traject Brussel-Amsterdam. Het aantal bussen per jaar is ongeveer 5500 of gemiddeld iets meer dan 15 bussen per dag.

Figuur 12: Benaderende vergelijking van de jaarlijkse emissies van de vliegtuigreizen en de emissies indien de vliegtuigreizigers overstappen naar de trein of de bus (kton CO₂e per vervoermiddel) – Brussel-Amsterdam (heen & terug), 2019

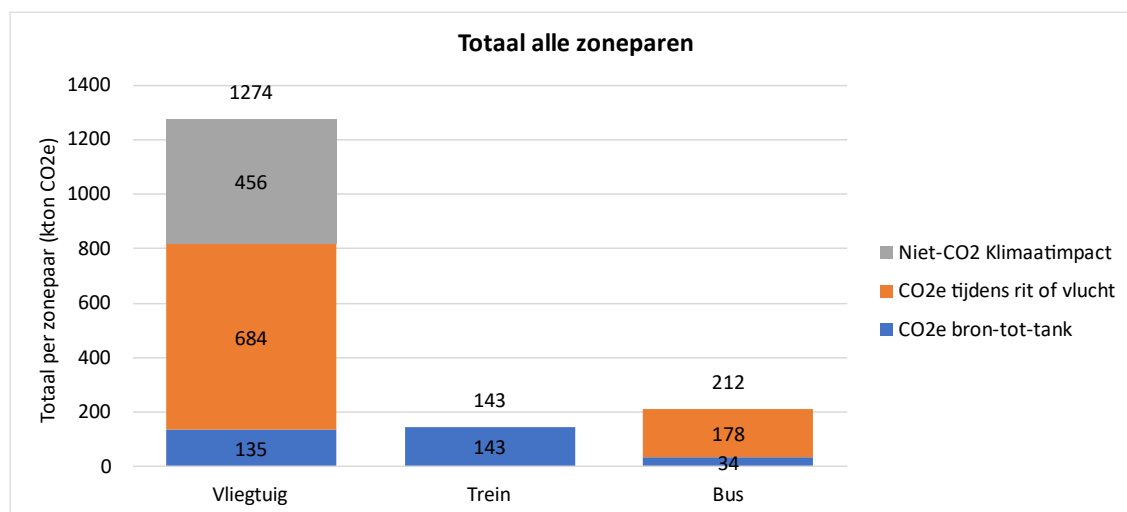


Nota: HST: hoge snelheidstrein

Bron: berekeningen TML, op basis van gemiddelde bezettingsgraden

Voor de andere bestemmingen worden de resultaten opgenomen in Bijlage 2. Figuur 13 geeft een overzicht van de impact van een verschuiving van de luchtvaartpassagiers naar de trein of de bus voor alle zoneparen samen. Zoals hierboven aangegeven, is deze berekening slechts voor 23 bestemmingen gebeurd, aangezien voor Innsbrück en Avignon geen gegevens beschikbaar zijn bij Eurostat. Er wordt hierbij ook, zoals eerder aangegeven, gebruik gemaakt van één typisch vliegtuig per bestemming. In deze figuur wordt ook de impact van de niet-CO₂-emissies op het klimaat meegenomen en dit voor de bestemmingen boven 450 km. Dit maakt dat het maximale reductiepotentieel voor de bus rond de 1,06 miljoen ton CO₂e ligt en voor de trein rond de 1,13 miljoen ton CO₂e. Het aantal extra treinen dat zou nodig zijn om alle luchtvaartpassagiers voor deze bestemmingen te kunnen vervoeren bedraagt ongeveer 24 400 per jaar. Voor de bus is dit bij benadering 157 700 per jaar. Hierbij is gerekend met gemiddelde bezettingsgraden.

Figuur 13: Benaderende vergelijking van de jaarlijkse emissies van de vliegtuigreizen en de emissies indien de vliegtuigreizigers overstappen naar de trein of de bus (kton CO₂e per vervoermiddel) – totaal voor alle bestemmingen* (heen & terug), 2019



* exclusief reizen van en naar Innsbrück en Avignon

Bron: berekeningen TML

3.3 Bijkomende overwegingen

De bovenstaande berekening laat toe om een vergelijking te maken tussen de klimaatimpact van de drie vervoermiddelen voor een aantal populaire bestemmingen in Europa. De uiteindelijke impact van een verschuiving van het vliegtuig naar de trein en/of de bus hangt echter af van bijkomende factoren. Elk van die factoren wordt hieronder kort besproken.

Daarnaast gaan we in op een aantal toekomstige evoluties die de vergelijking tussen de drie vervoermiddelen kunnen beïnvloeden.

3.3.1 Factoren die de uiteindelijke impact op de CO₂e-emissies van een modale verschuiving naar de trein en/of de bus bepalen

We identificeren drie factoren: het Europees emissiehandelssysteem, de vraag of de beschikbare capaciteit van de alternatieve vervoermiddelen volstaat of niet, en de invloed van congestie op luchthavens.

Het Europees emissiehandelssysteem

Zowel het vliegverkeer binnen de Europese Economische Ruimte als het treinverkeer vallen onder het Europees emissiehandelssysteem (EU Emission Trading Scheme, of EU ETS). Voor het treinverkeer is dat op een indirecte wijze, namelijk via het verbruik van elektriciteit die wordt opgewekt door elektriciteitscentrales die vallen onder de Europese Emissiehandel.

- Het EU ETS heeft betrekking op installaties die veel energie verbruiken (electriciteitscentrales en industriële installaties) en de luchtvaartmaatschappijen voor de vluchten binnen de Europese Economische Ruimte die de EU-27, Liechtenstein, Noorwegen en IJsland omvat.
- Er is een link met een gelijkaardig systeem in Zwitserland; sinds 1 januari 2021 bestaat er een apart systeem voor het Verenigd Koninkrijk. Vluchten vanuit de Europese Economische Ruimte naar het Verenigd Koninkrijk vallen onder het EU ETS, en vluchten van het Verenigd

Koninkrijk naar de Europese Economische Ruimte vallen onder het systeem van het Verenigd Koninkrijk.

- Het plafond voor de luchtvaart in het EU ETS is vastgelegd op 95% van de gemiddelde emissies in 2004-2006.
- 82% van emissierechten die onder dit plafond vallen voor de luchtvaart worden gratis toegekend, 3 % vormt een speciale reserve voor nieuwe toetreders en de rest wordt geveild (15%).
 - Het impact assessment rond de aanpassing van het EU ETS in het kader van Fit-for-55 (EC, 2021b) haalt een studie aan naar de doorrekening van de opportuniteitskosten van gratis emissierechten. Die studie, die keek naar de andere sectoren die voordien gratis emissierechten kregen, geeft aan dat een groot deel werd doorgerekend aan de klanten. Het is niet onmogelijk dat dit ook gebeurt in de luchtvaart.
 - Gratis emissierechten betekenen niet dat de luchtvaartmaatschappijen geen prikkel hebben om hun emissies te verminderen. Emissierechten die ze niet nodig hebben kunnen ze immers verkopen op de markt voor emissierechten.

Tabel 5: Luchtvaart in het EU emissiehandelssysteem in 2019 - miljoen ton CO₂e en %

Geverifieerde emissies	Verandering t.o.v. 2018 (%)	Emissierechten luchtvaart			Verschil tussen geverifieerde emissies en emissierechten luchtvaart
		Gratis toewijzing	Gratis allocatie uit reserve voor nieuwe toetreders	Geveilde emissierechten luchtvaart	
68,2	1%	31,3	1,1	5,5	30,3

Bron: EC (2020), Carbon market report 2020 (COM(2020) 740 final)

De overige emissierechten voor de luchtvaart moeten aangekocht worden bij de andere sectoren van het EU ETS. Ongeveer 52 % van de rechten die gebruikt werden in de luchtvaart in 2019 werd aangekocht.

Eind oktober 2021 lag de prijs van een emissierecht op ongeveer 60 euro/ton CO₂.

Het bestaan van het EU ETS heeft implicaties voor de CO₂-reductie die men in Europa kan realiseren door een modale verschuiving van het vliegtuig naar de trein. De trein heeft per reiziger lagere emissies dan het vliegtuig. Indien er minder vluchten zijn tussen landen die onder het EU ETS vallen, en meer mensen de trein nemen, zullen de emissies van deze reizen daardoor dalen. Hierdoor komen emissierechten vrij die beschikbaar zijn voor andere spelers onder het EU ETS, met respect voor het emissieplafond.

Voor vliegtuigen houdt het emissiehandelssysteem nog geen rekening met de klimaatimpact die gerelateerd is aan de uitstoot van andere stoffen dan CO₂. Hiervoor speelt het mechanisme van het EU ETS dus niet.

Het EU ETS omvat op dit ogenblik nog niet de emissies van de langeafstandsbussen die op diesel rijden, waardoor het mechanisme dat hierboven beschreven werd ook niet speelt bij een overstap van het vliegtuig naar de bus. Het mechanisme zou wel spelen indien de ritten gebeuren met elektrische bussen, wat op dit ogenblik echter nog niet het geval is.

Capaciteit van de alternatieve vervoermiddelen

Aangezien de studie zich focust op bestemmingen binnen Europa met een groot aantal reizigers, kan een verschuiving van het vliegtuig naar de trein of de langeafstandbus een grote toename betekenen van het verkeer met deze modi. Indien dit extra verkeer niet kan opgevangen worden met de bestaande capaciteit, zou de capaciteit dus moet uitgebreid worden. Indien dit bij de trein betekent dat er extra spoorinfrastructuur moet voorzien worden, dan gaat dat gepaard met extra CO₂-emissies voor de constructie van de infrastructuur. In welke mate dit gebeurt, is sterk afhankelijk van het traject, en met name of er veel tunnels, bruggen, enz. moeten voorzien worden. Wat ook meespeelt is of de CO₂-intensieve materialen voor de aanleg van de spoorwegen (zoals bv. cement of staal) geproduceerd worden door sectoren die onder het EU ETS vallen of niet (andere sectoren, of import).

Slots

Voor luchthavens met congestie, waar de vraag naar slots het aanbod overtreft, wat het geval is voor heel wat luchthavens in deze studie, kan men verwachten dat de vrijgekomen slots ingevuld worden door andere vluchten, in zoverre geen extra beleid wordt voorzien dat inzet op een daling van het aantal vliegbewegingen. Afhankelijk van de afstand van de bijkomende vluchten leidt dit tot extra klimaateffecten door andere stoffen dan CO₂. En indien de bijkomende vluchten niet onder het EU Emissiehandelssysteem vallen (met name vluchten van en naar luchthavens buiten de Europese Economische Ruimte, Zwitserland en het Verenigd Koninkrijk), leidt dit ook tot extra CO₂-emissies.

3.3.2 Toekomstige evoluties

De emissies van de vervoermiddelen die we hebben berekend in Hoofdstuk 2 en 3 zullen in de toekomst veranderen, onder andere onder invloed van het bestaand beleid. Zo zal bv. de koolstofintensiteit van de elektriciteitsproductie in de toekomst verder dalen, of worden er doelstellingen vooropgesteld voor een groter gebruik van duurzame brandstoffen in transport met strengere voorwaarden waaraan de brandstoffen moeten voldoen. Ook ondersteunen de Europese Commissie en nationale overheden onderzoek en ontwikkeling naar bv. nieuwe brandstoffen of nieuwe voertuigtechnologieën. Potentieel kan dit op de langere termijn de vergelijking tussen de vervoermiddelen fundamenteel beïnvloeden, zoals bv. wanneer korte afstandsvluchten zouden uitgevoerd worden met elektrisch aangedreven vliegtuigen.

Om haar langetermijn klimaatdoelstellingen te kunnen behalen heeft de Europese Commissie in de zomer van 2021 het Fit-for-55 pakket voorgesteld. Het beleidsproces hierover is nog aan de gang. Het is echter nuttig om hier een kort overzicht te geven van een aantal voorstellen die een impact kunnen hebben op de broeikasgasemissies van de drie vervoermiddelen uit deze studie: aanpassingen aan het EU emissiehandelssysteem, het ReFuel EU Aviation initiatief, en aanpassingen aan de Energie Belasting Richtlijn.

- Aanpassingen aan het **EU emissiehandelssysteem**
 - In het voorstel worden alle emissierechten voor de luchtvaart geveild, zoals ook het principe is voor de andere sectoren; het aandeel dat geveild wordt, wordt geleidelijk aan opgevoerd, tot 100 % vanaf 2027. Het plafond voor de emissies van de luchtvaart wordt verminderd met 4,2 % per jaar. Indien aanvaard, zullen de wijzigingen van toepassing zijn voor alle vluchten die in deze studie geanalyseerd worden. Het Fit-for-55 pakket neemt echter geen maatregelen op voor de vermindering van de klimaatimpact door andere stoffen dan CO₂ die besproken werd in Deel 2.1.3.

- Men stelt voor om een bijkomend emissiehandelssysteem in te richten voor gebouwen en wegtransport dat betrekking heeft op de CO₂-emissies van brandstofverbranding. Het is opgevat als een apart upstream-systeem dat de brandstofleveranciers zal reguleren in plaats van de huishoudens en de bestuurders van voertuigen. Indien dit ingevoerd wordt, zullen langeafstandsbussen op diesel onder dit systeem vallen. Dit heeft gevolgen voor de kostprijs van deze modus, wat leidt tot een extra prikkel om te vergroenen, een lagere transportvraag, of een combinatie van beide.
- Herziening van de **Energie Belasting Richtlijn**: het voorstel omvat onder meer de invoering van een minimum accijns voor brandstoffen en elektriciteit gebruikt voor vliegtuigen.
 - De richtlijn heeft betrekking op brandstoffen en elektriciteit gebruikt voor vliegtuigen binnen de EU
 - De minimum niveaus starten bij 0 en nemen elk jaar toe met een tiende van de finale minimum niveaus, over een periode van 10 jaar. Er wordt een minimum niveau van 0 gebruikt voor duurzame biobrandstoffen en biogas, brandstoffen met lage koolstof, hernieuwbare brandstoffen van niet-biologische oorsprong en elektriciteit voor de periode van 10 jaar.
 - Het minimale niveau voor kerosine is 10.75 euro/Gigajoule. Dit is hetzelfde als voor benzine en diesel.
 - Vrijstelling voor vluchten die alleen vracht vervoeren
 - Indien dit goedgekeurd wordt, zal er geleidelijk aan een belasting op kerosine ingevoerd worden voor vluchten binnen de EU. Een dergelijke belasting verhoogt de brandstofprijs, wat leidt tot meer reductie-inspanningen door de luchtvaart, een lagere transportvraag of een combinatie van beide.
- Het **Refuel EU Aviation** initiatief: er wordt een bijmengingsmandaat opgelegd voor de luchtvaart, met een minimum aandeel van duurzame brandstoffen dat oploopt in de tijd. De percentages zijn van toepassing op het volume brandstof.

Tabel 6: Voorstel bijmengingsmandaat voor duurzame brandstoffen in de luchtvaart volgens het RefuelEU Aviation voorstel

	Duurzame brandstof luchtvaart	Synthetische brandstoffen luchtvaart
1 januari 2025	2%	
1 januari 2030	5%	0.7%
1 januari 2035	20%	5%
1 januari 2040	32%	8%
1 januari 2045	38%	11%
1 januari 2050	63%	28%

Bron: Europese Commissie, COM(2021) 561 final

De brandstoffen moeten voldoen aan een aantal duurzaamheidsvereisten om te kunnen meetellen voor het bijmengingsmandaat: voldoende reductie van broeikasgassen en geen brandstoffen die grondstoffen gebruiken die kunnen dienen als voedsel en voeder waarvoor er een groot risico op indirect landgebruik bestaat.

De brandstoffen zijn drop-in brandstoffen: synthetische brandstoffen, geavanceerde biobrandstoffen (RED II, Annex IX, Deel A) en biobrandstoffen gebaseerd op grondstoffen uit Deel B van Annex IX van RED II (afvalolie en vetten)

Dergelijke bijmengingsmandaten hebben twee effecten op de emissies van de luchtvaart: via de lagere CO₂-emissies van de brandstoffen, en via hun impact op de brandstofprijs. Een hogere brandstofprijs leidt tot minder brandstofverbruik, door reductie-inspanningen in de luchtvaart, een lagere vraag naar luchttransport, of een combinatie van beide. Duurzame brandstoffen kunnen daarnaast ook een rol spelen in het verminderen van de niet-CO₂ gerelateerde klimaatimpact van de luchtvaart (EASA, 2020). De mate waarin dit kan wordt volop onderzocht (zie bv. DLR, 2021).

Naast deze drie voorstellen zullen ook de herziening van de Richtlijn Hernieuwbare Energie (via de doelstelling voor transport), de Energie-efficiëntierichtlijn, en de herziening van de Effort Sharing Legislation een impact hebben op de milieuperformantie van transport.

De cijfers die in deze studie worden voorgesteld, geven dus slechts een foto van de huidige situatie. Voor de drie vervoermiddelen kan men verwachten dat de emissies in de toekomst dalen. Sommige toekomstige ontwikkelingen op langere termijn kunnen een potentieel groot effect hebben op de vergelijking tussen de drie vervoermiddelen.

4 Referenties

Allekotte, M., F. Bergk, K. Biemann, C. Deregowski, W. Knörr, H.-J. Althaus, D. Sutter, D. and T. Bergmann (2020), Ökologische Bewertung von Verkehrsarten, 156/2020, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Germany.

Cox, B. and H.-J. Althaus (2019), How to include non-CO₂ climate change contributions of air travel at ETH Zurich, Study on behalf of the Mobility Platform of ETH Zurich, INFRAS, Bern, Switzerland.

Dahlmann, K., V. Greweh, P. Matthes and H. Yamashita (2021), Climate assessment of single flights: Deduction of route specific equivalent CO₂ emissions, International Journal of Sustainable Transportation.

DLR (2021), Significantly lower climate impact of contrails when using sustainable fuels (https://www.dlr.de/content/en/articles/news/2021/02/20210617_significantly-lower-climate-impact-when-using-sustainable-fuels.html).

EASA (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, European Aviation Safety Agency (EASA).

EC (2019), Handbook on the external costs of transport, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

EC (2020), Carbon market report 2020 (COM(2020) 740 final).

EC (2021a), EU Reference Scenario 2020. Energy, transport and GHG emissions - Trends to 2050, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

EC (2021b), Commission Staff Working Document, Impact Assessment Report Accompanying the document Proposal for a Directive Of The European Parliament And Of The Council amending Directive 2003/87/EC as regards aviation's contribution to the Union's economy-wide emission reduction target and appropriately implementing a global market-based measure, SWD(2021) 603 final.

EEA (2019), EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 — technical guidance to prepare national emission inventories, EEA Report No 13/2019, EEA. (<https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>).

EEA (2020), Transport and environment report 2020, Train or Plane, EEA Report No 19/2020, Europe Environment Agency, Copenhagen, Denmark.

EC, 2018, Flash Eurobarometer 463 — Europeans' satisfaction with passenger rail services, European Commission, Brussels.

EC, 2019, Special Eurobarometer 485 – Passenger rights, European Commission, Brussels.

IFEU (2016), EcoPassenger Environmental Methodology and Data, Update 2016, IFEU, Heidelberg/Hannover.

Knörr, W. and R. Hüttermann (2016), *Ecopassenger — environmental methodology and data — update 2016*, Institute for Energy and Environmental Research, Heidelberg/Hanover, Germany.

Lee et al. (2021), The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018, *Atmospheric Environment* 244, 117834.

Schroten, A., et al. (2019), *Transport taxes and charges in Europe — an overview study of economic internalisation measures applied in Europe*, European Commission, Brussels.

Bijlage 1: Achtergrondinformatie

De volgende tabel geeft informatie over de typische capaciteit van de verschillende vliegtuigtypes.

Vliegtuigtype	Afkorting	Maximum capaciteit	Typische capaciteit	Bron
Airbus A319	A319neo	160	120 - 150	Airbus website ⁷
Airbus A320	A320	189	150 - 180	Airbus website ⁸
Boeing 737-800	B738	189	162 - 189	Boeing website ⁹
Embraer 190/195	E190	114	96-100-114	Embraer website ¹⁰
Boeing 787-8 Dreamliner	B788	248	248	Boeing website ¹¹
Bombardier CRJ-900	CRJ9	76	76	Seatguru website ¹²
Airbus A330-300	A333	440	250-290	Airbus website ¹³
Embraer ERJ-175	E175	80	76-80	Seatguru website ¹⁴

⁷ <https://www.airbus.com/aircraft/passenger-aircraft/a320-family/a319neo.html>

⁸ <https://www.airbus.com/aircraft/passenger-aircraft/a320-family/a320neo.html>

⁹ <https://www.boeing.com/commercial/737ng/>

¹⁰ <https://www.embraercommercialaviation.com/commercial-jets/e190/>

¹¹ <https://www.boeing.com/commercial/787/#/technical-specs>

¹² https://www.seatguru.com/airlines/Delta_Airlines/Delta_Airlines_Canadair_CRJ900_C.php

¹³ <https://www.airbus.com/aircraft/passenger-aircraft/a330-family/a330-300.html>

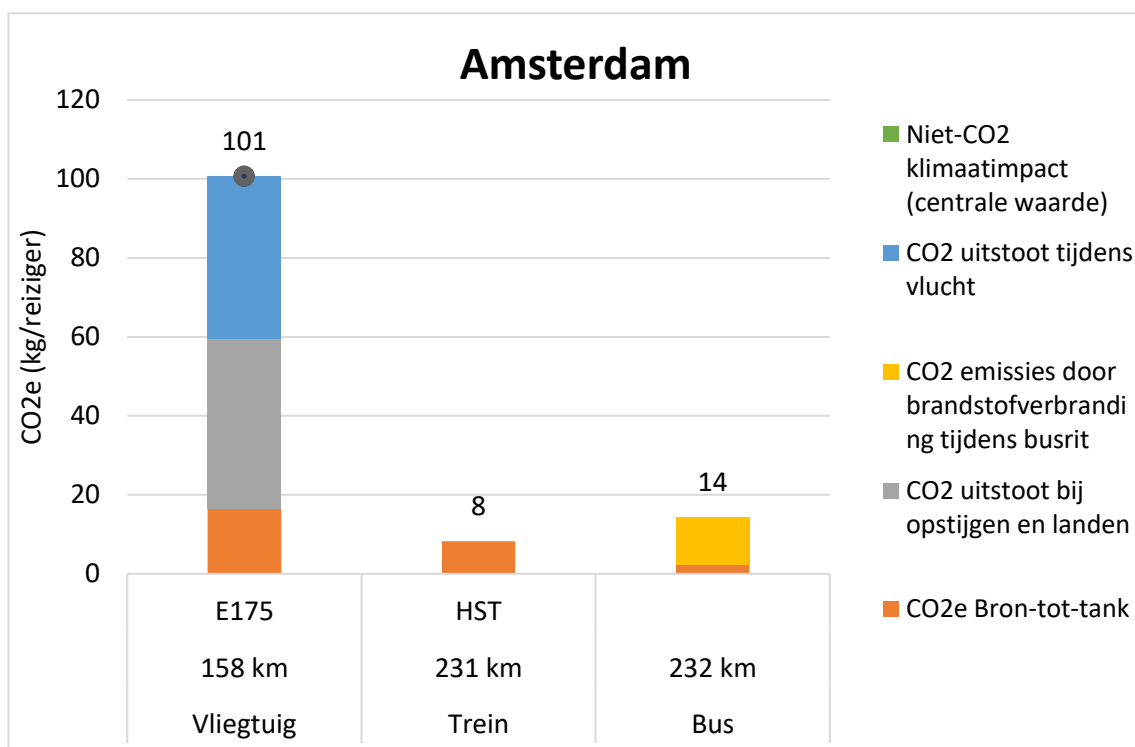
¹⁴ https://www.seatguru.com/airlines/American_Airlines/American_Airlines_Embraer_EMB-175.php

Bijlage 2: de resultaten voor de 25 bestemmingen

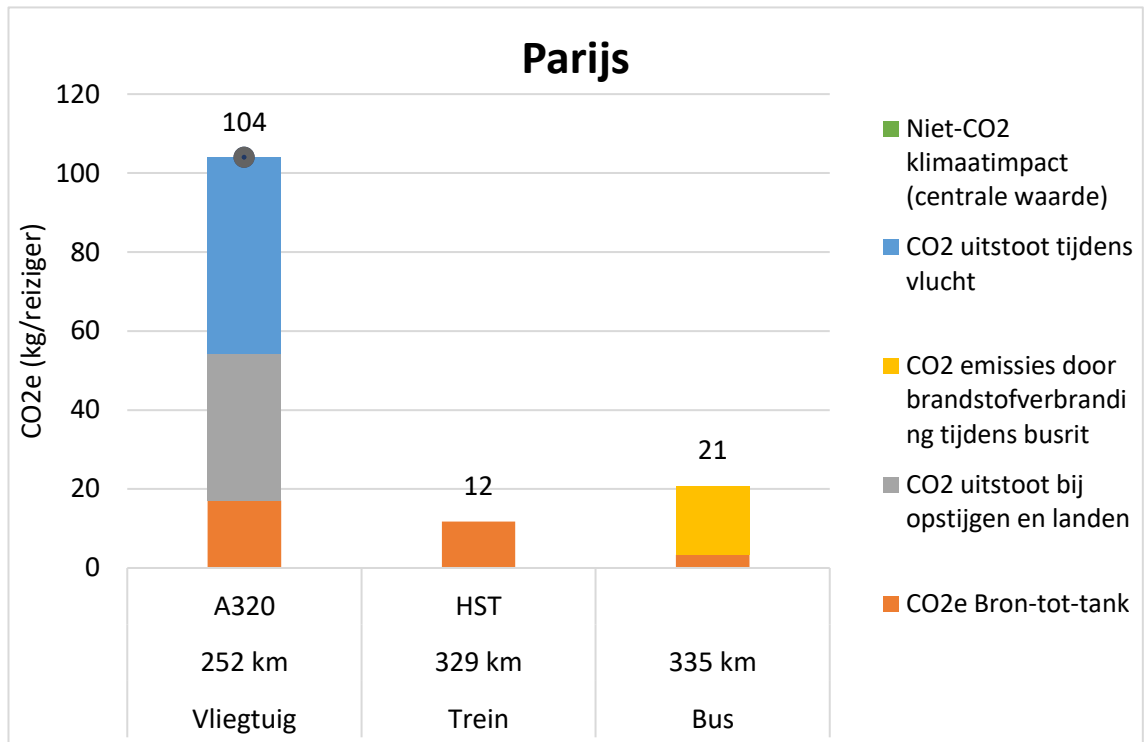
Emissies per reiziger (heen- en terugreis)

Voor elk van de 25 bestemmingen uit Tabel 4 geven de volgende figuren de CO₂e-emissies per reiziger (in kg CO₂e per reiziger) voor een heen- en terugreis per vliegtuig, trein en bus. De bestemmingen zijn gerangschikt volgens de afstand per vliegtuig.

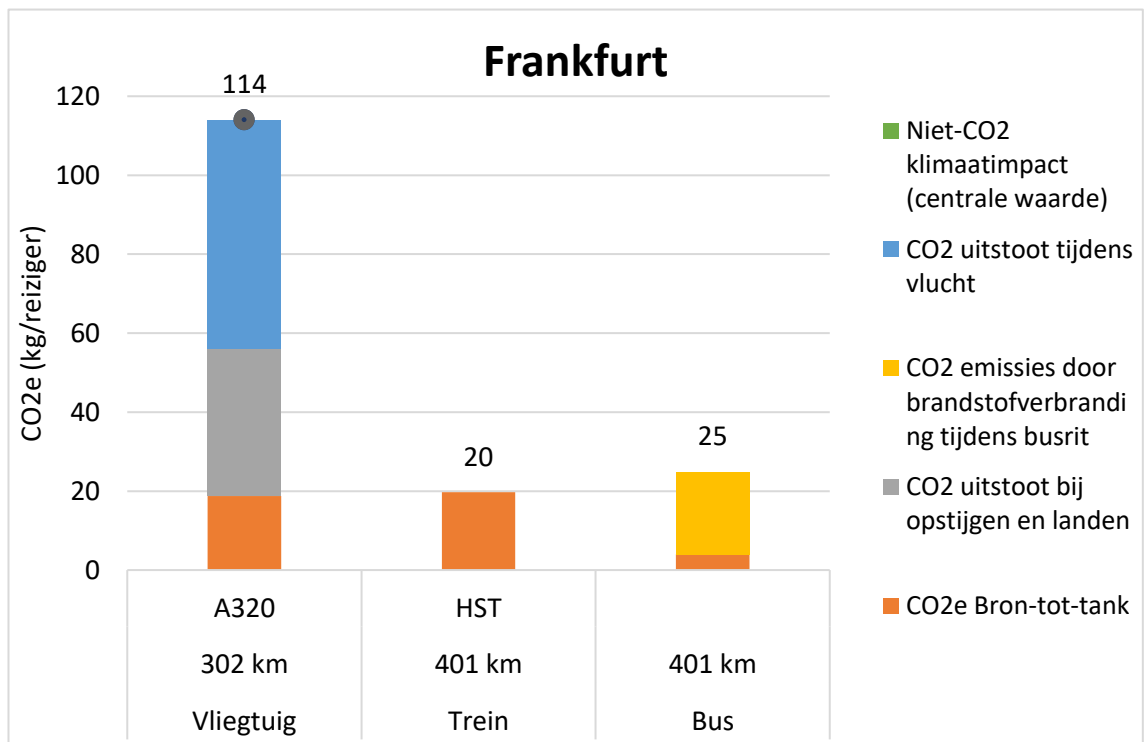
Amsterdam



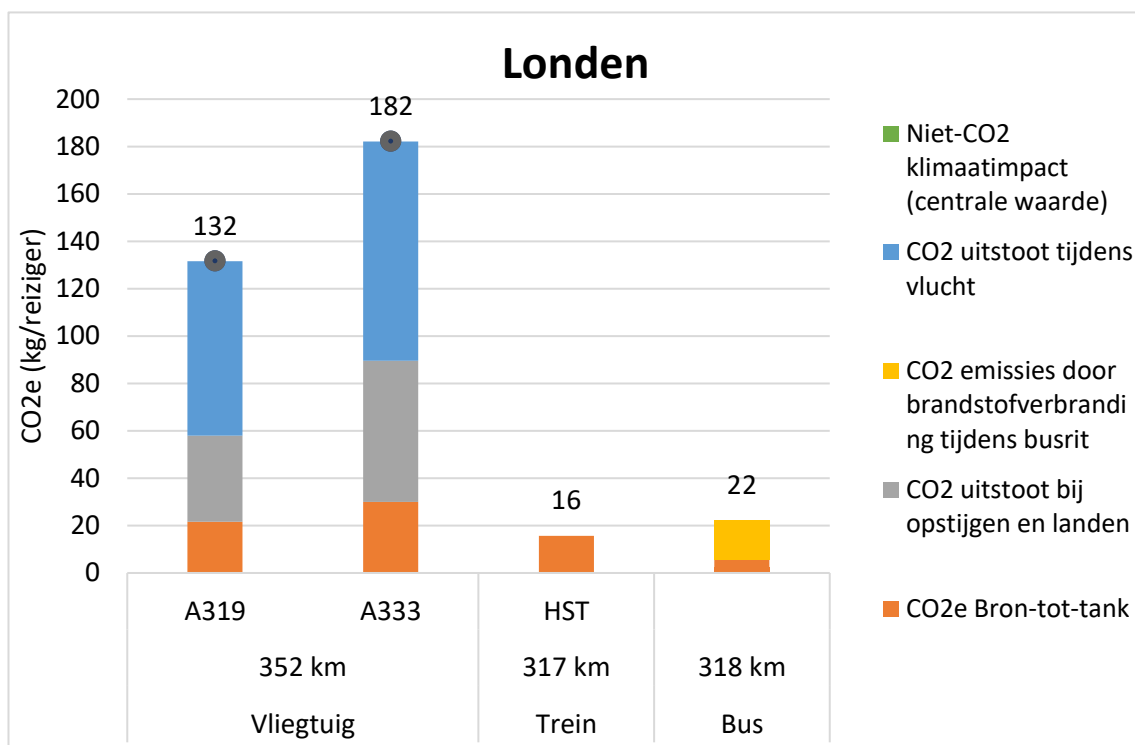
Parijs



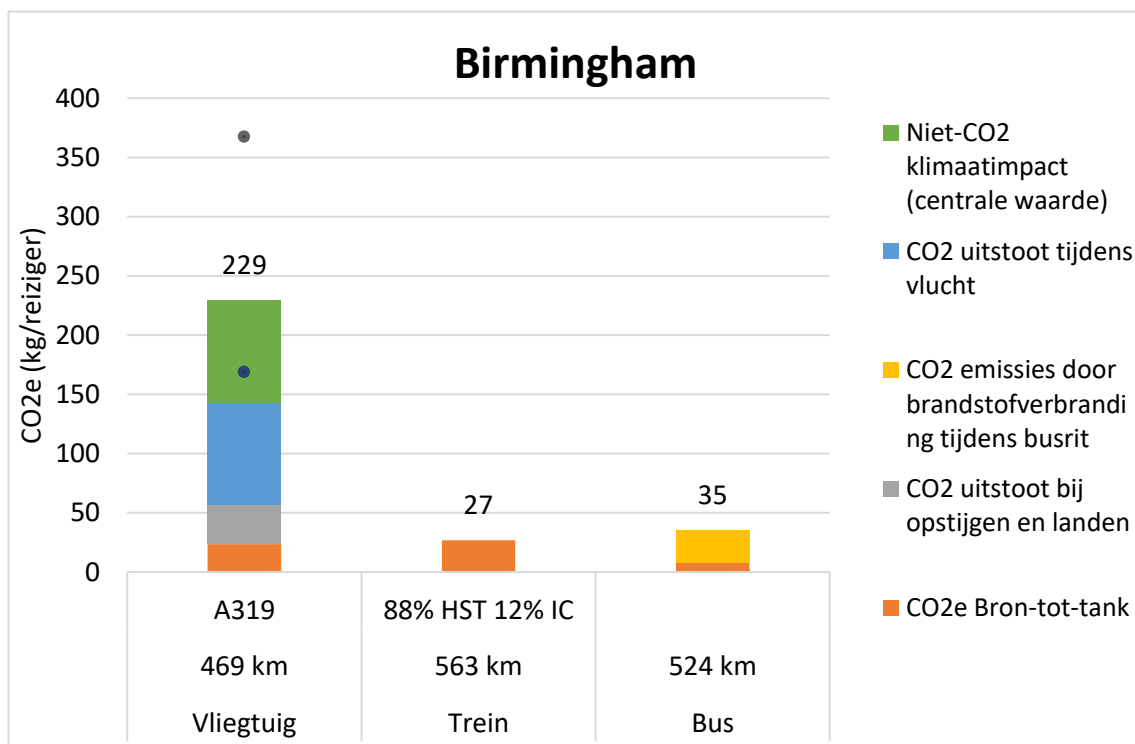
Frankfurt am Main



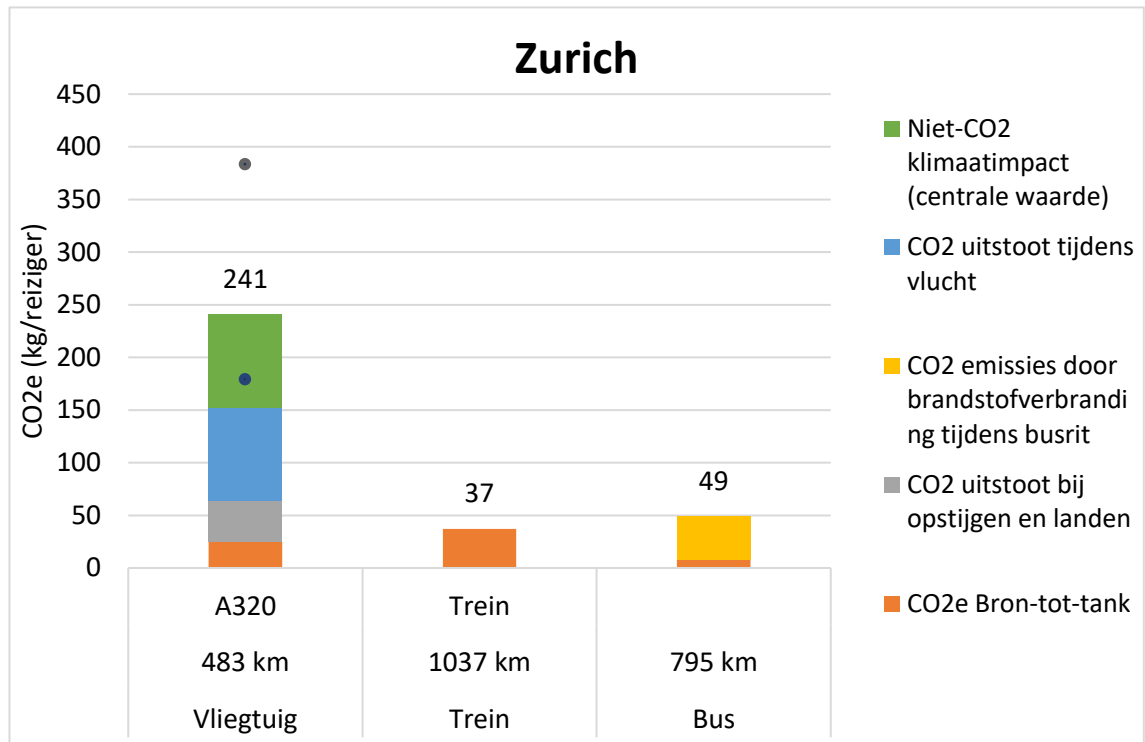
London



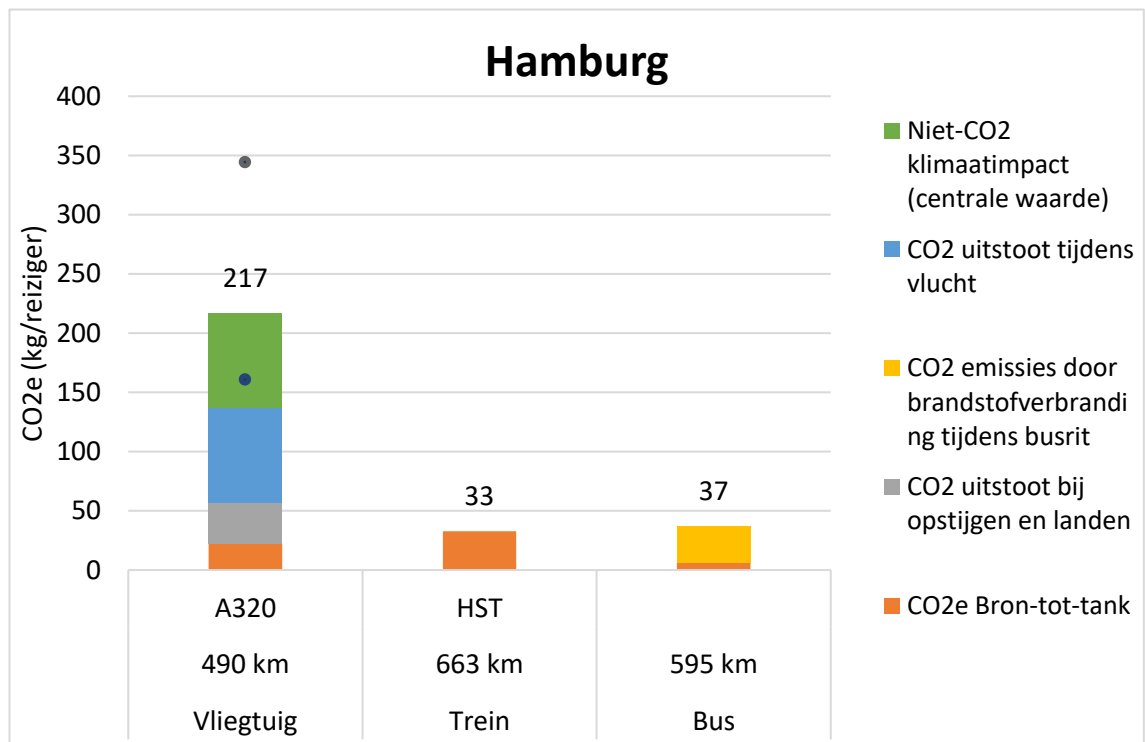
Birmingham



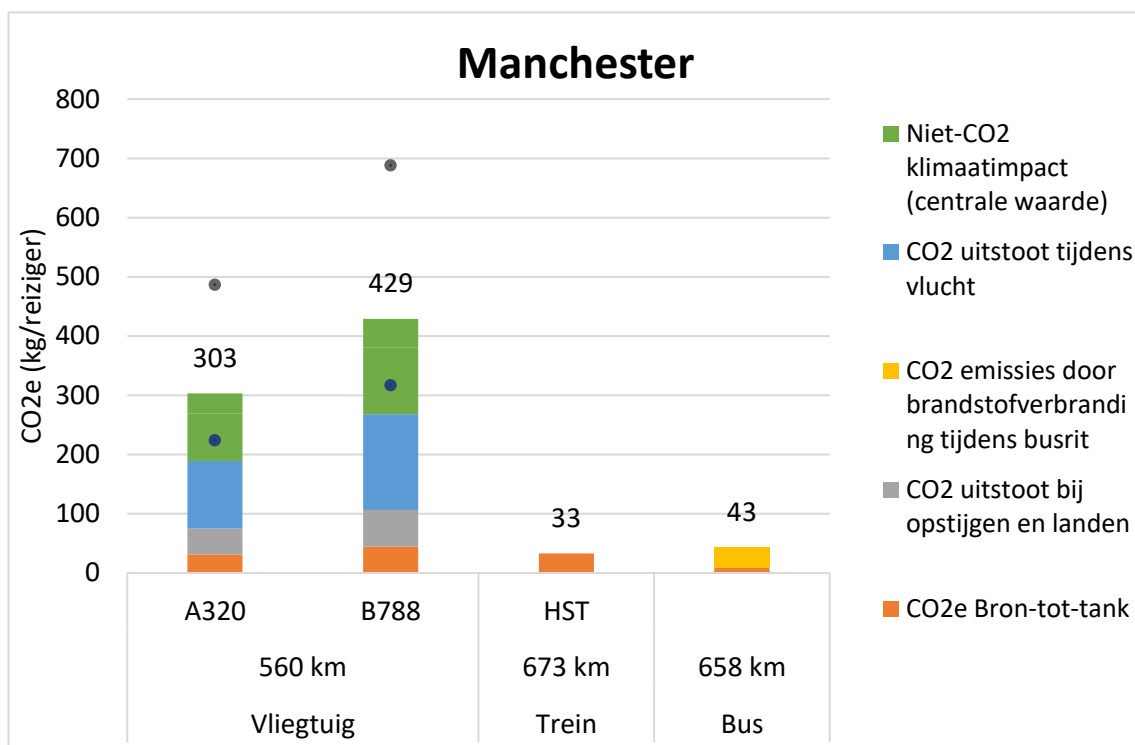
Zürich



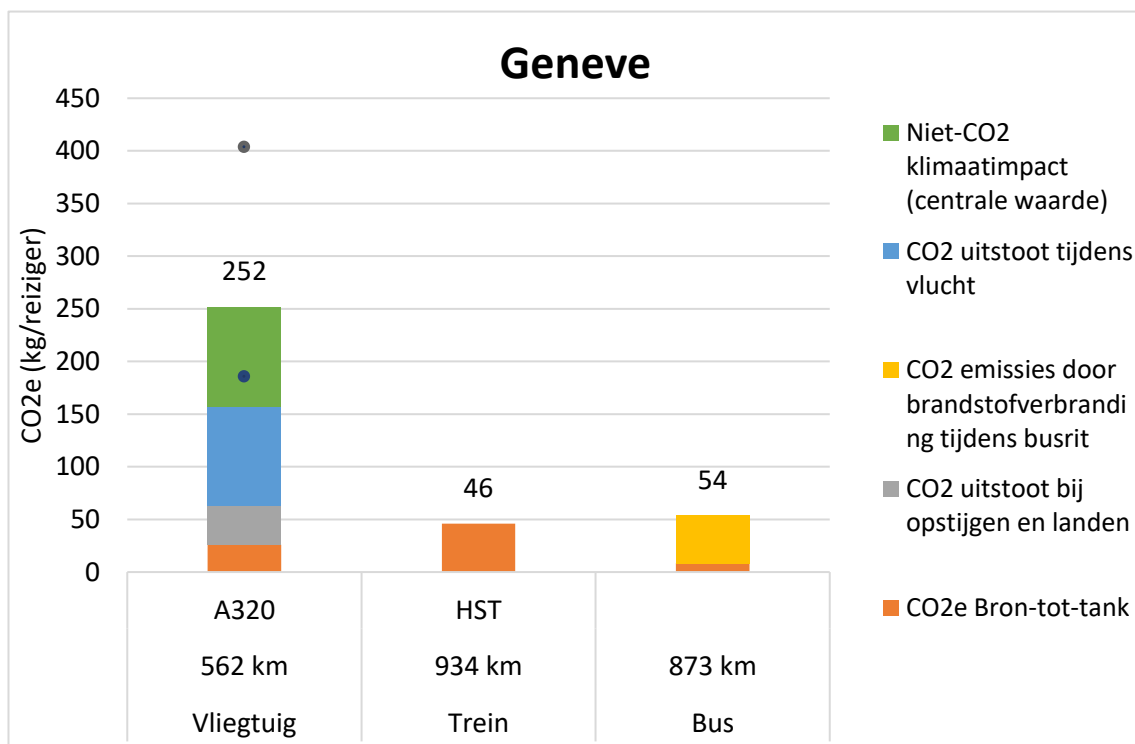
Hamburg



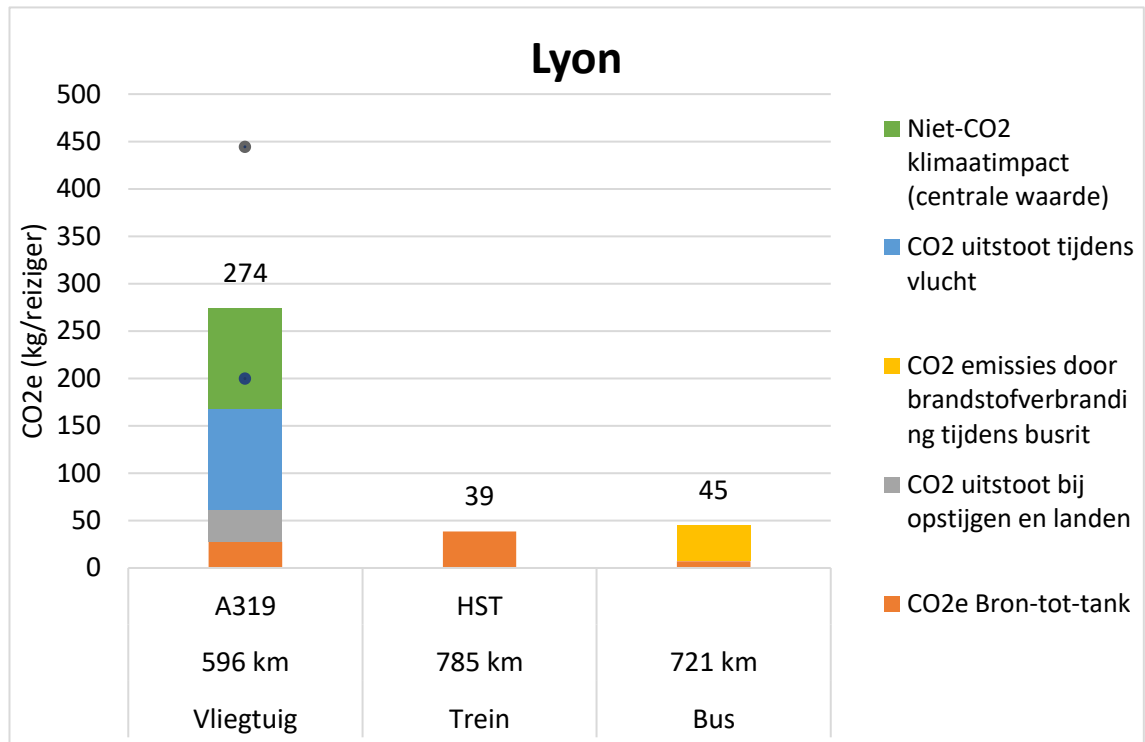
Manchester



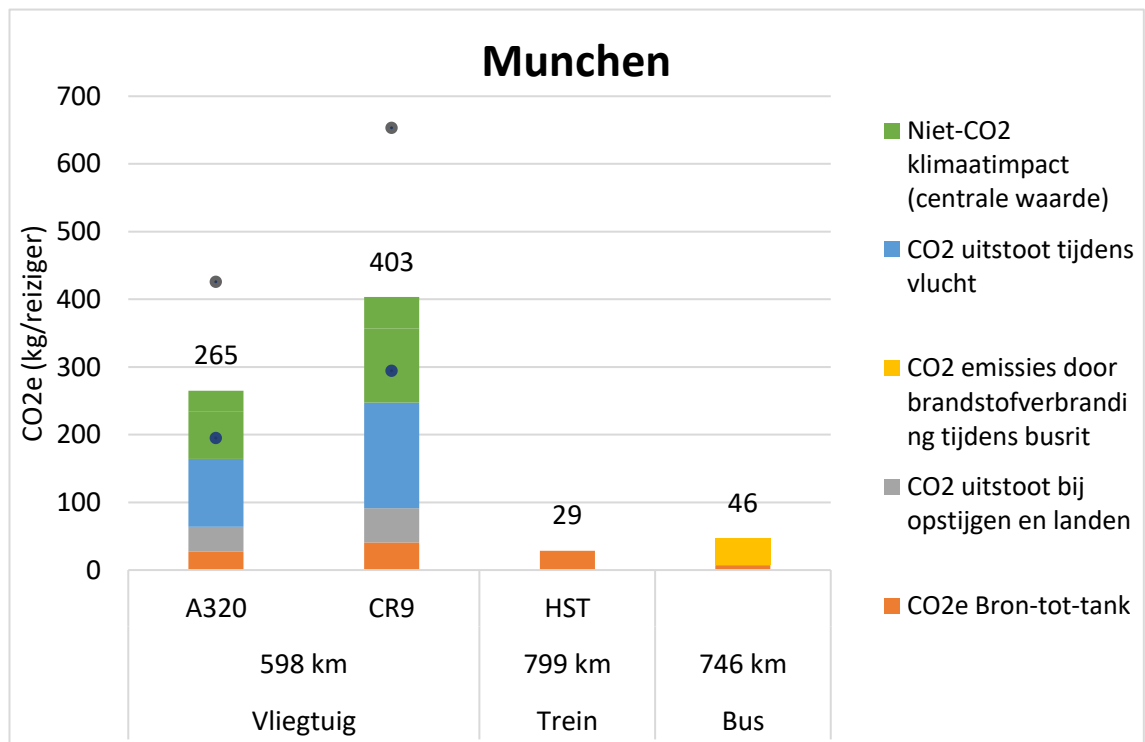
Genève



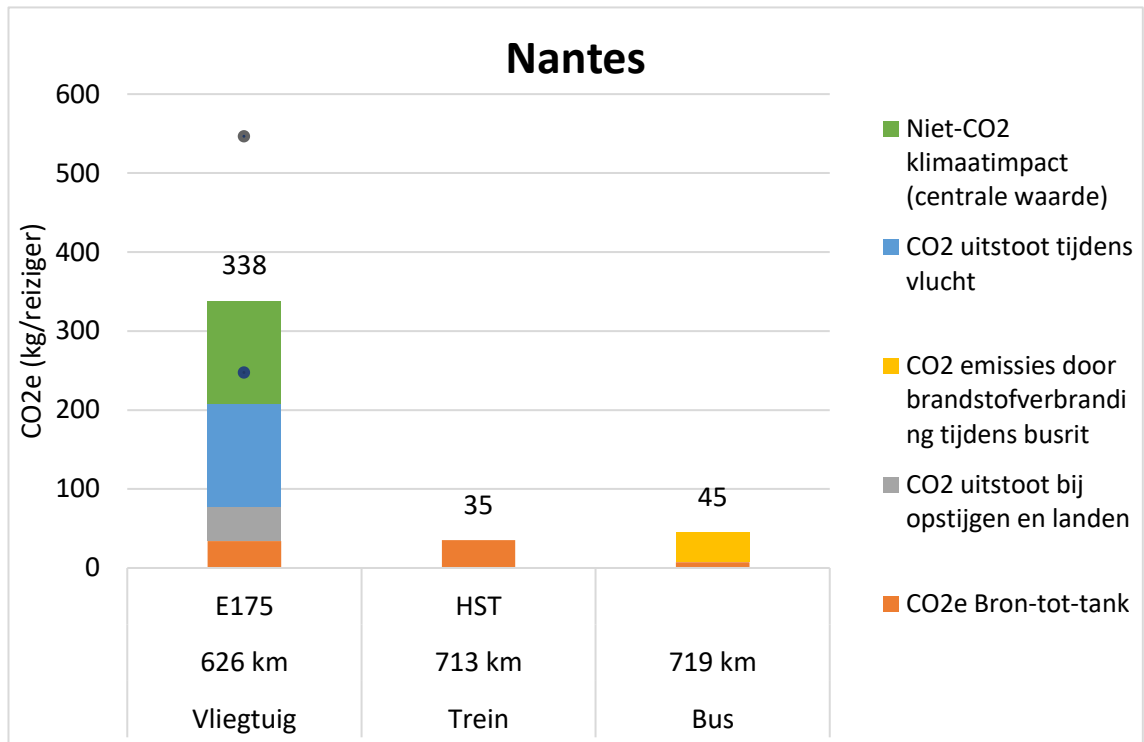
Lyon



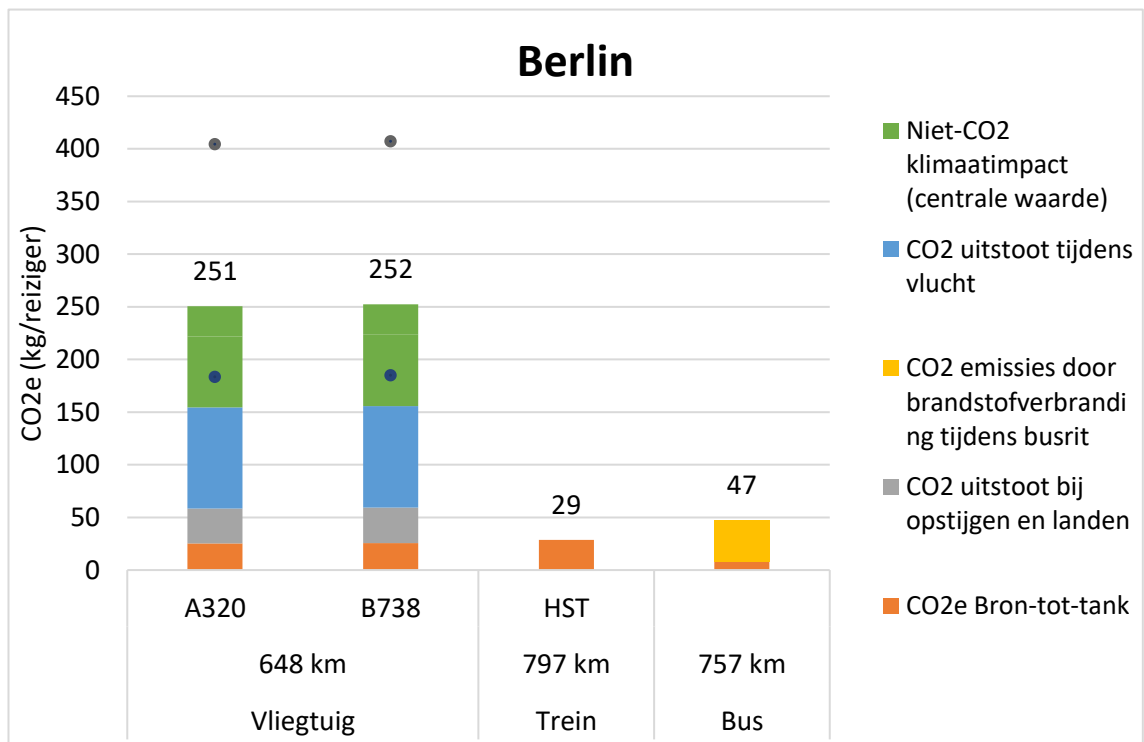
München



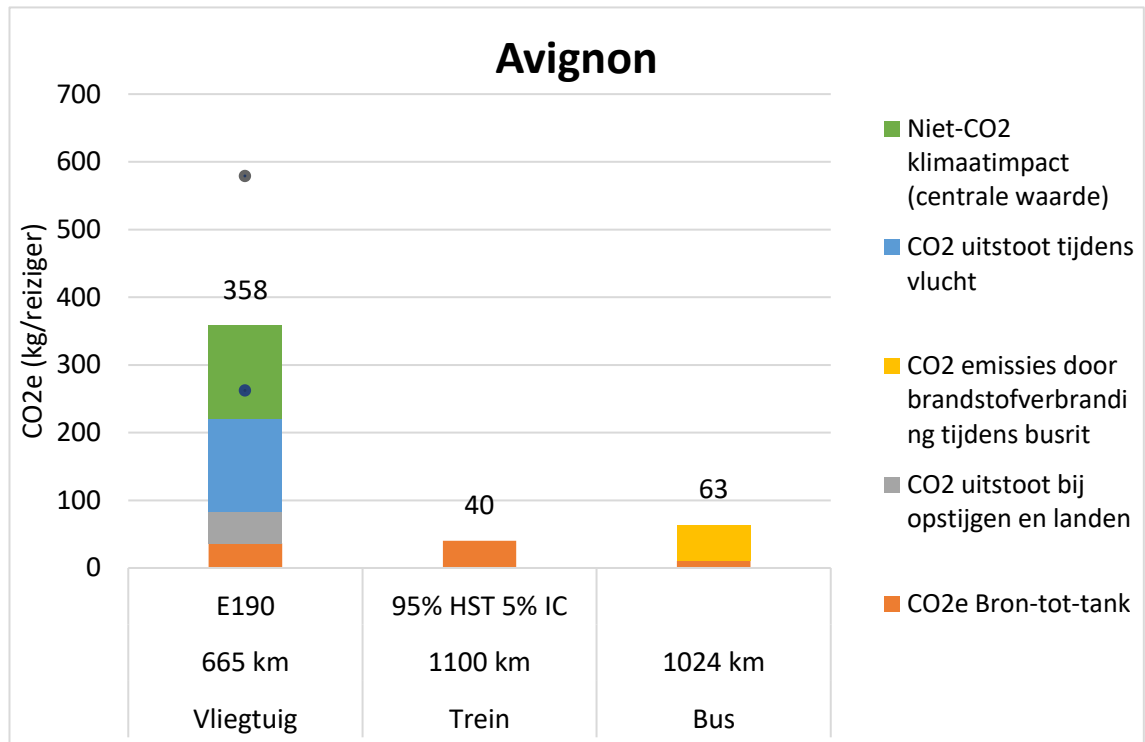
Nantes



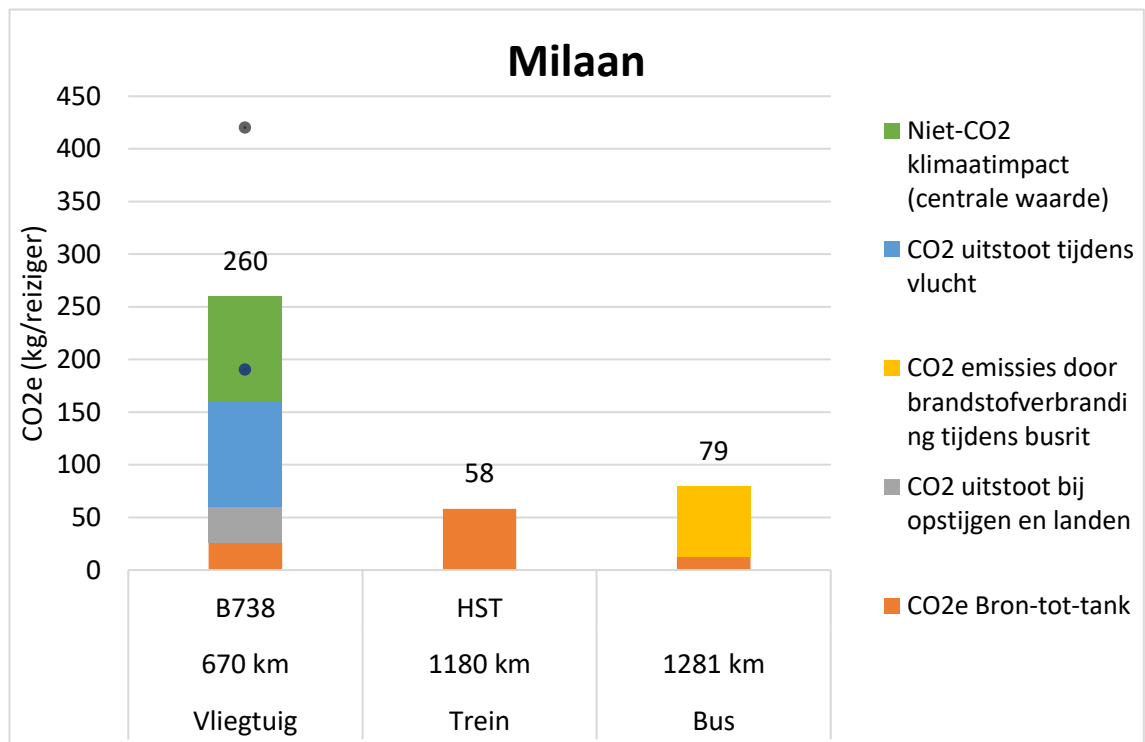
Berlijn



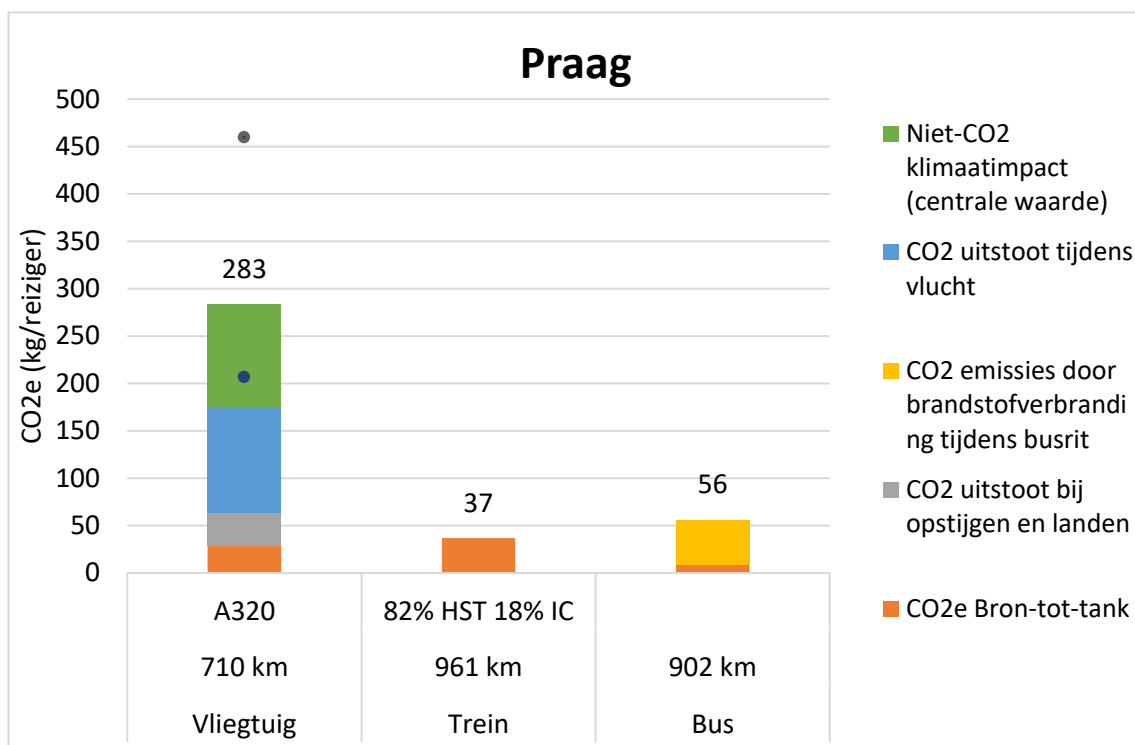
Avignon



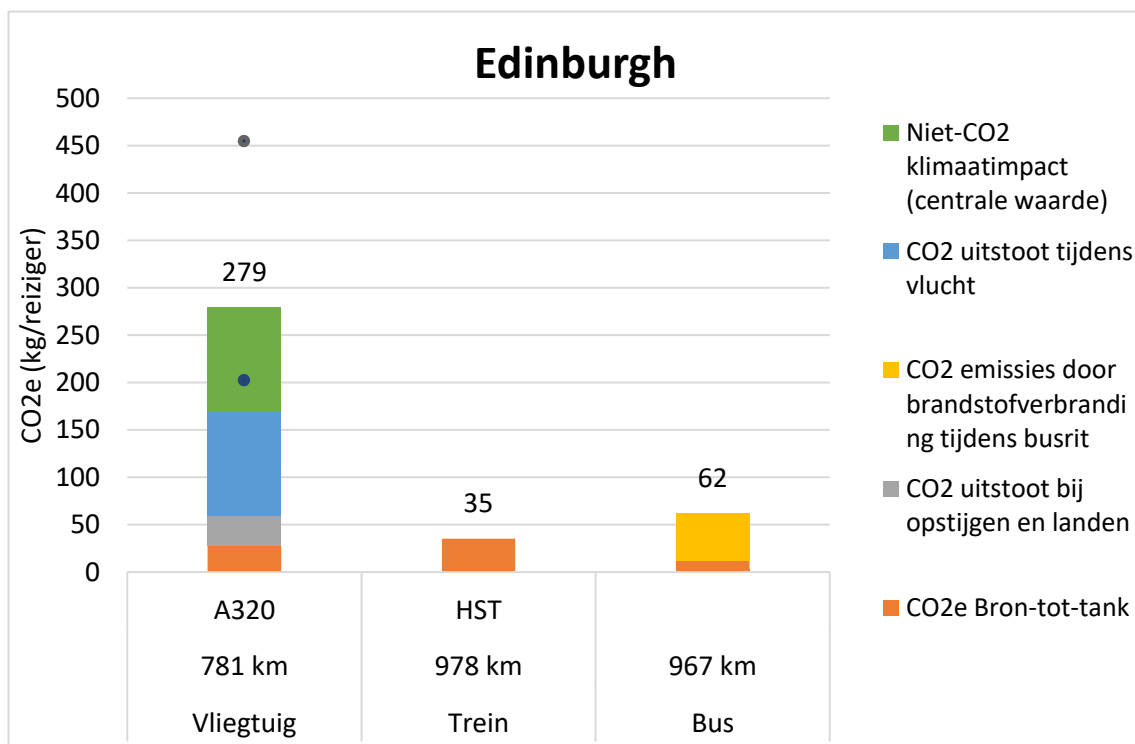
Milaan



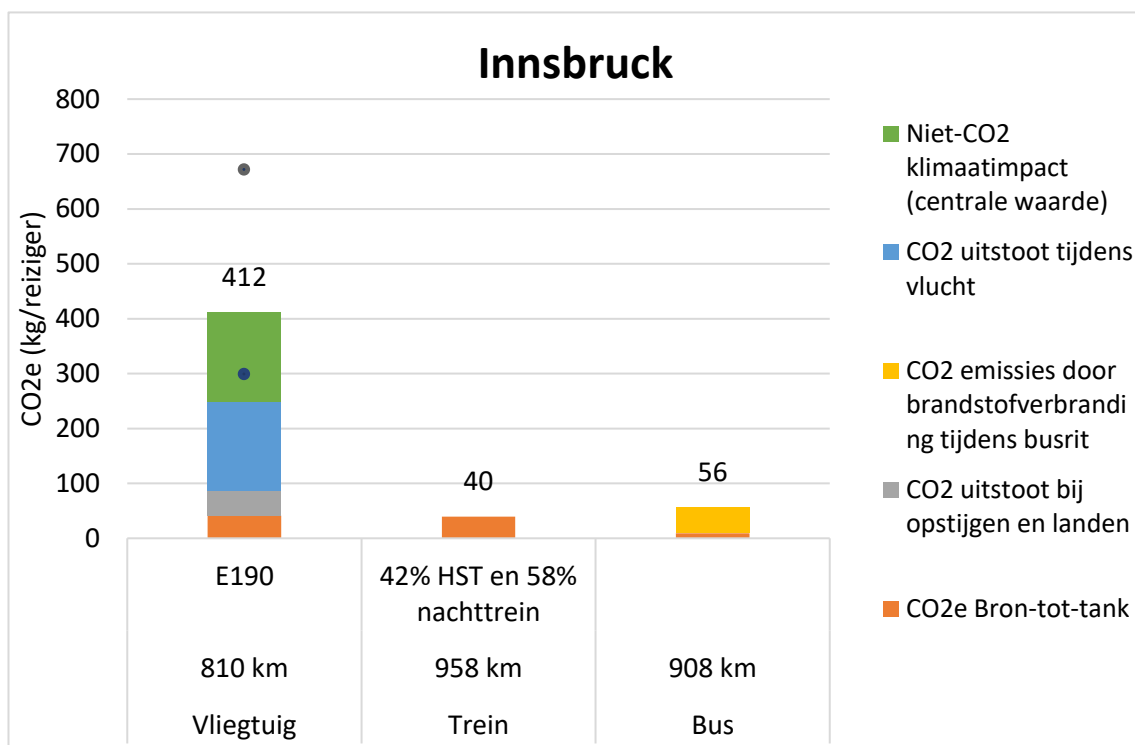
Praag



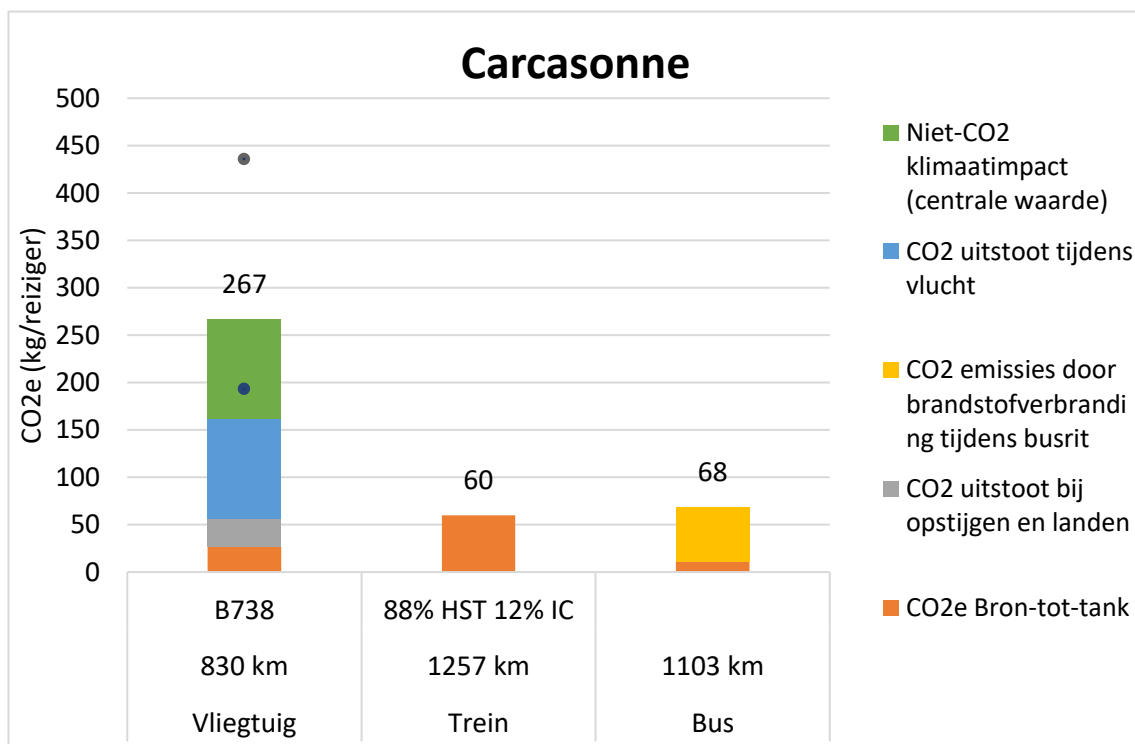
Edinburgh



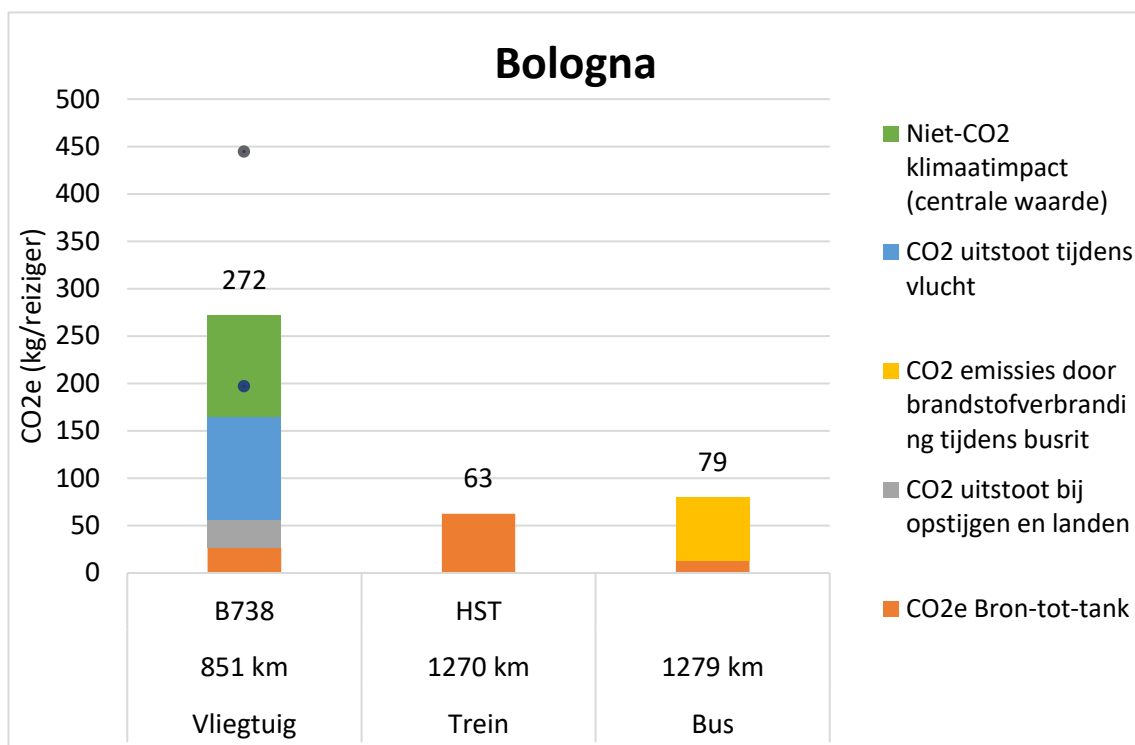
Innsbrück



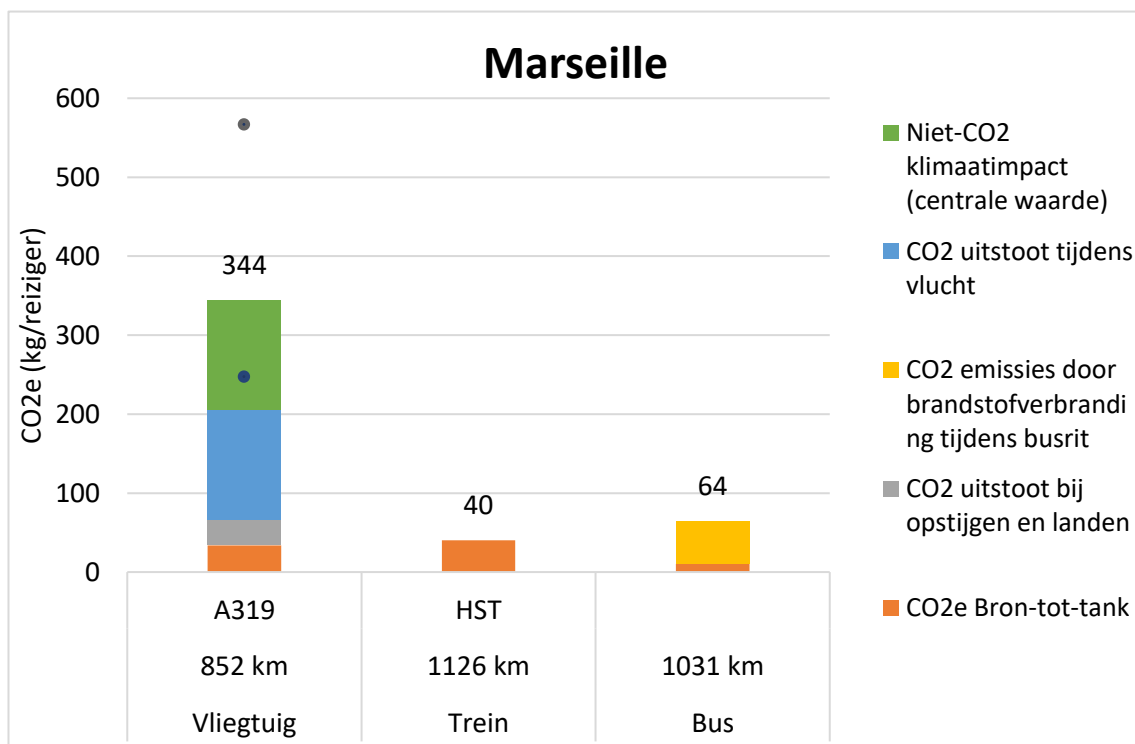
Carcassonne



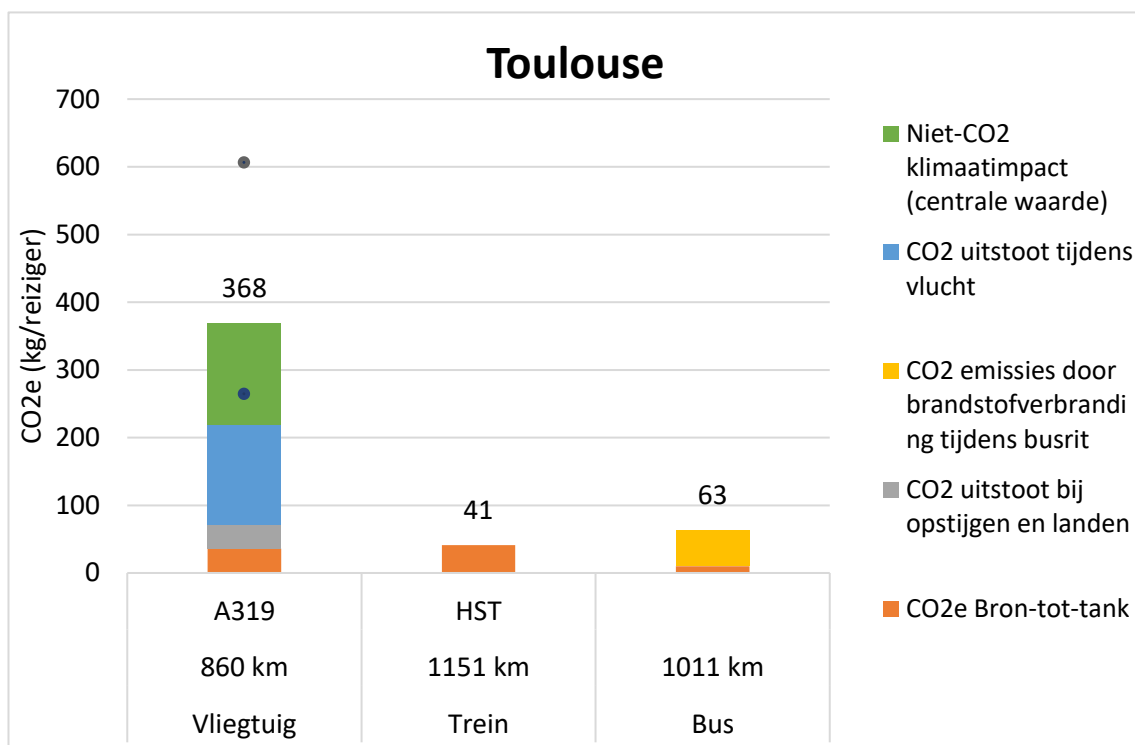
Bologna



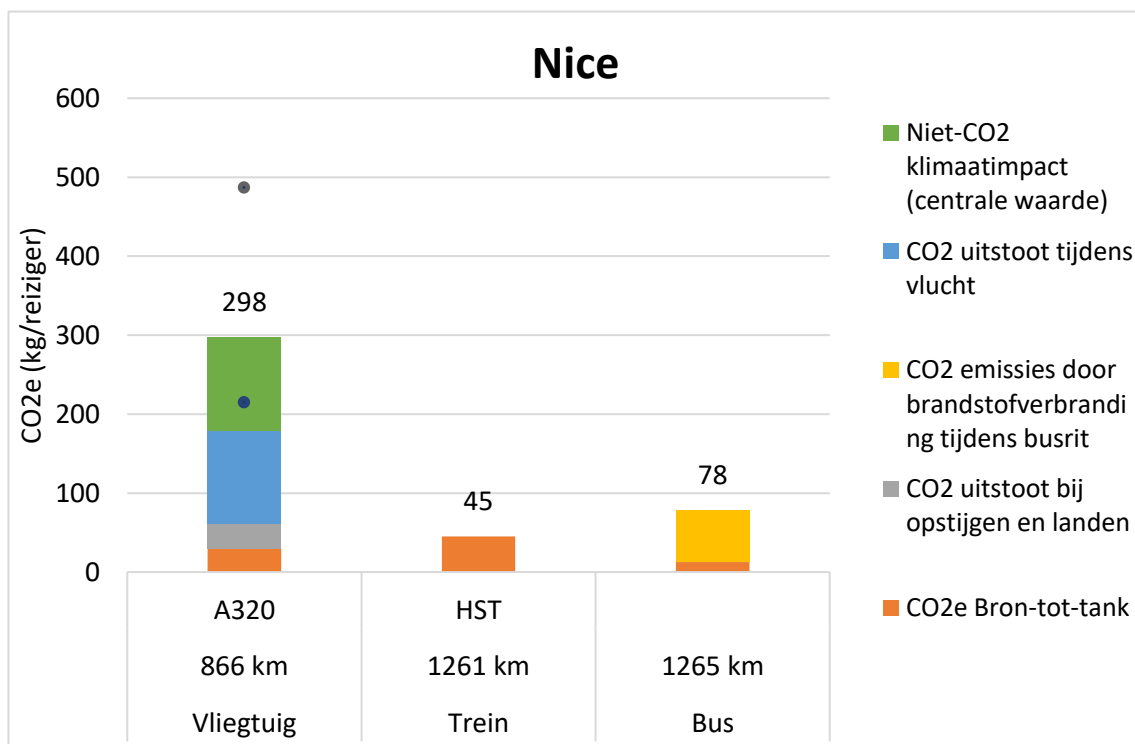
Marseille



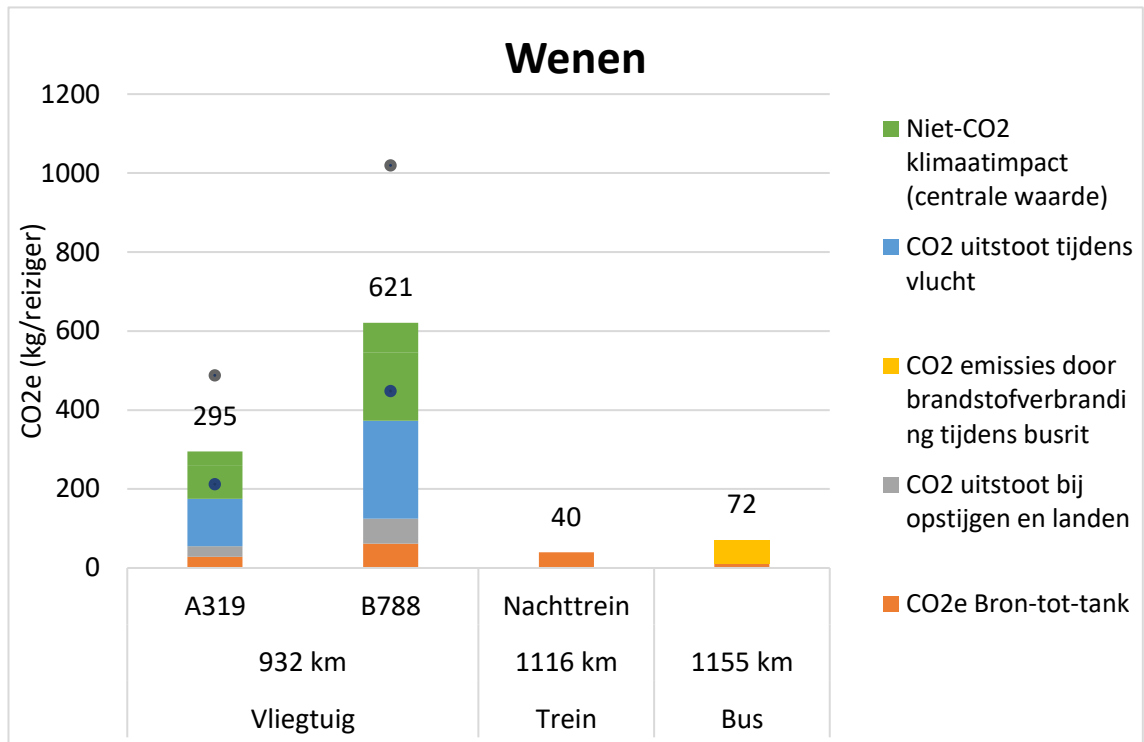
Toulouse



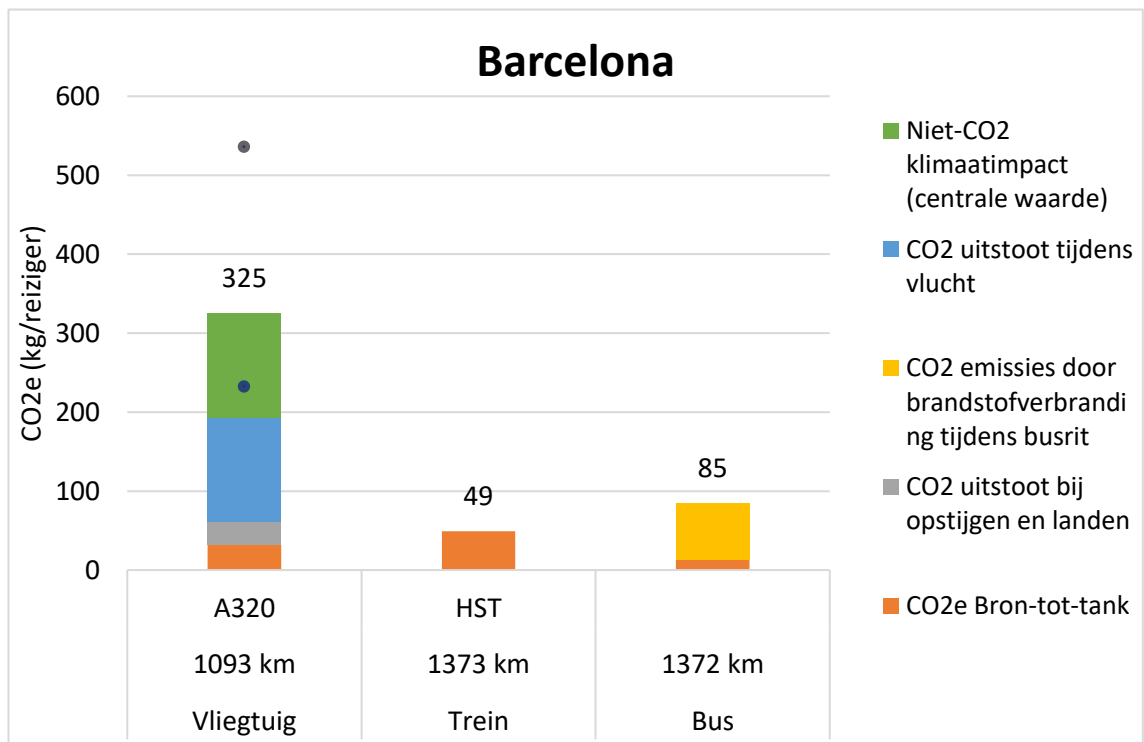
Nice



Wenen



Barcelona

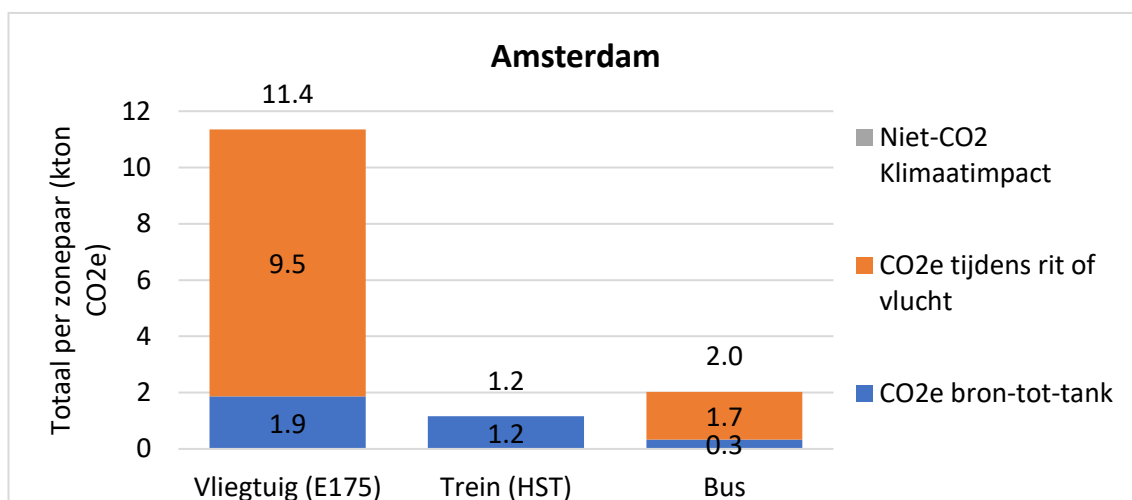


Benadering van de totale emissies per jaar

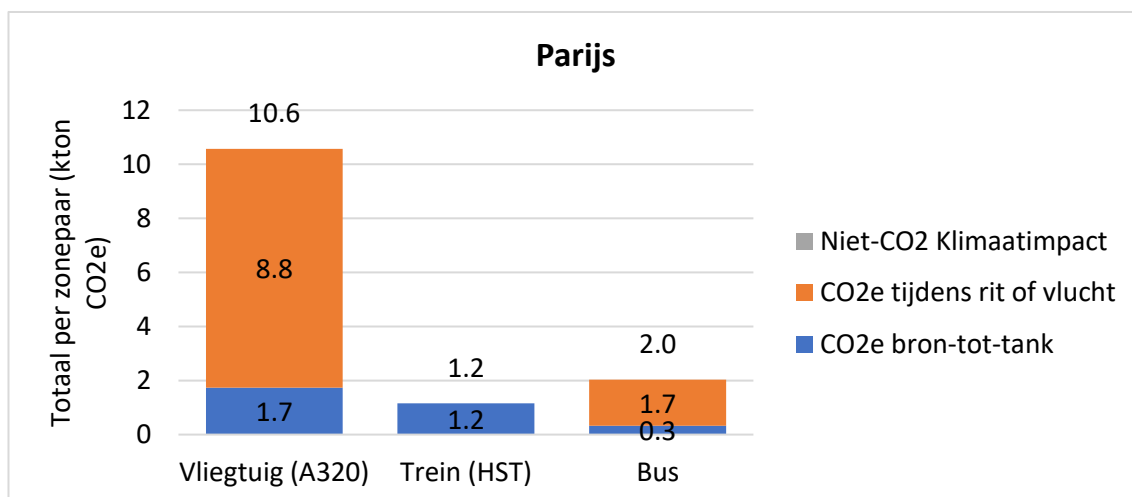
De volgende figuren geeft voor 2019 een benadering van de jaarlijkse CO₂e-emissies (in kton CO₂e) van de vliegtuigreizen (heen en terug) voor de verschillende bestemmingen. Deze emissies worden vergeleken met de emissies die zouden optreden indien alle vliegtuigreizigers de trein of de bus zouden nemen in plaats van het vliegtuig. De berekeningen zijn benaderend omdat er wordt uitgegaan van gemiddelde vliegtuigen, treinen en bussen, en van gemiddelde bezettingsgraden.

De bestemmingen zijn gerangschikt volgens de afstand per vliegtuig.

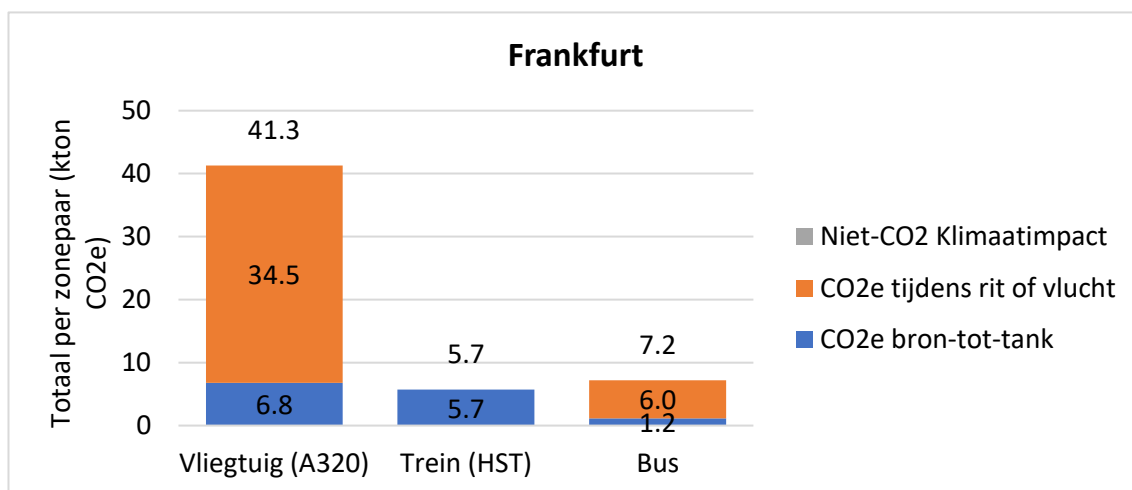
Amsterdam



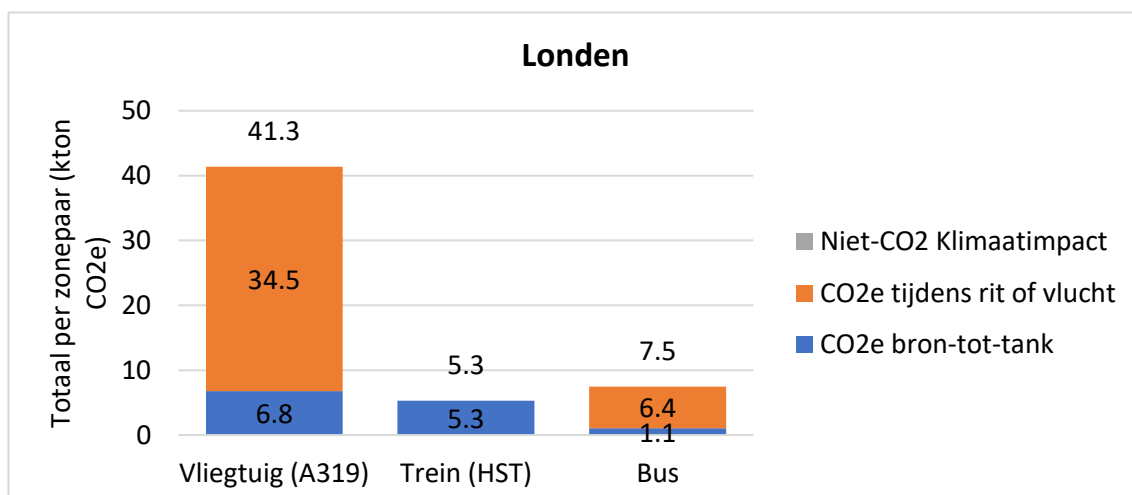
Parijs



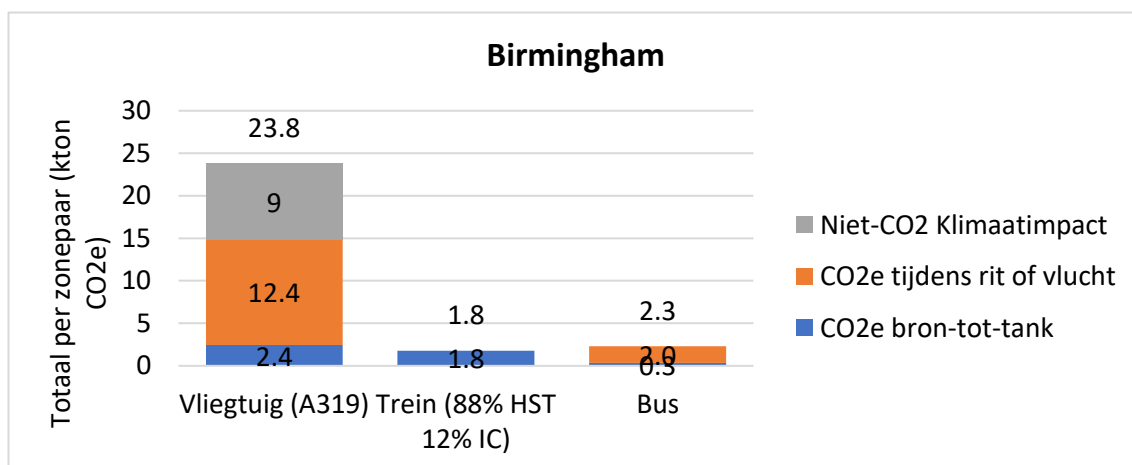
Frankfurt am Main



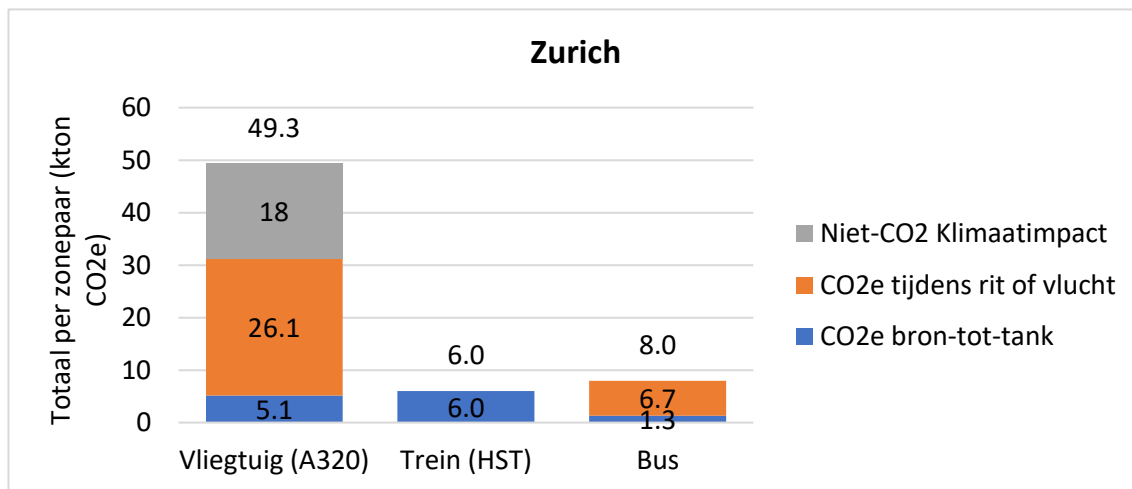
London



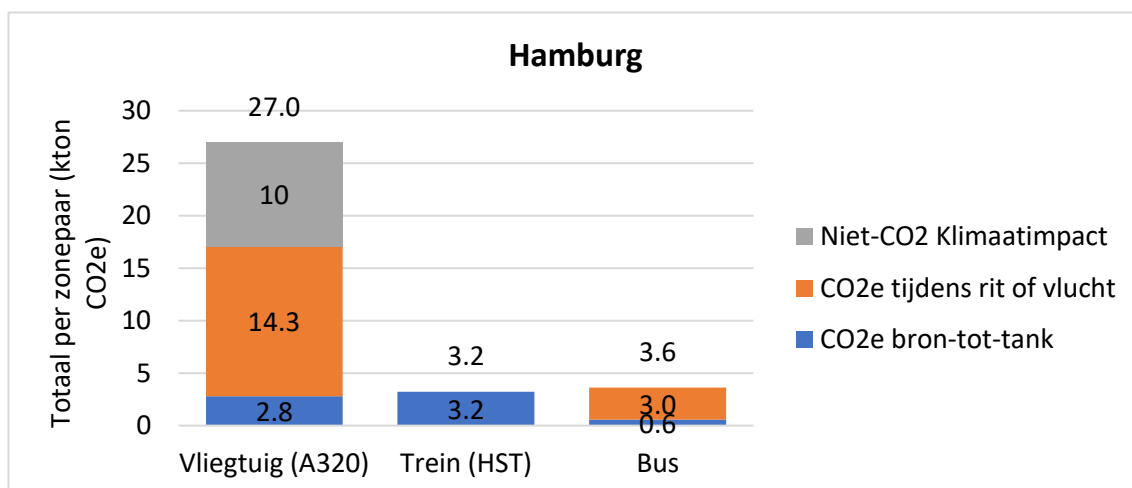
Birmingham



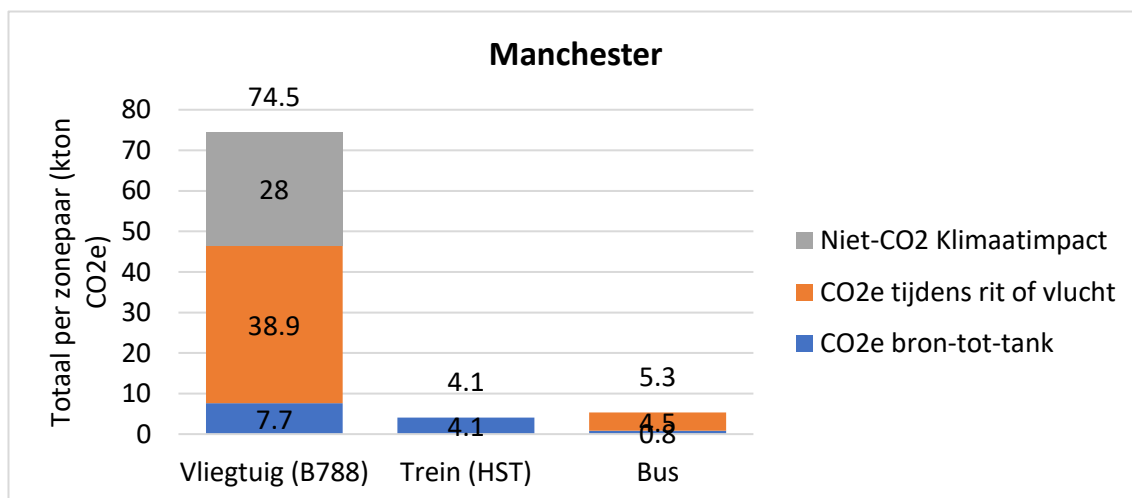
Zürich



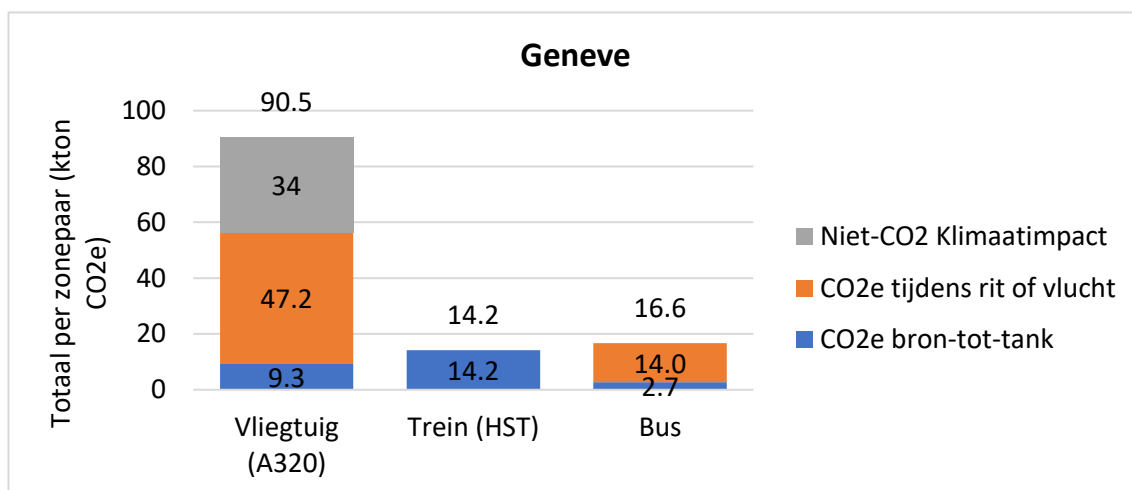
Hamburg



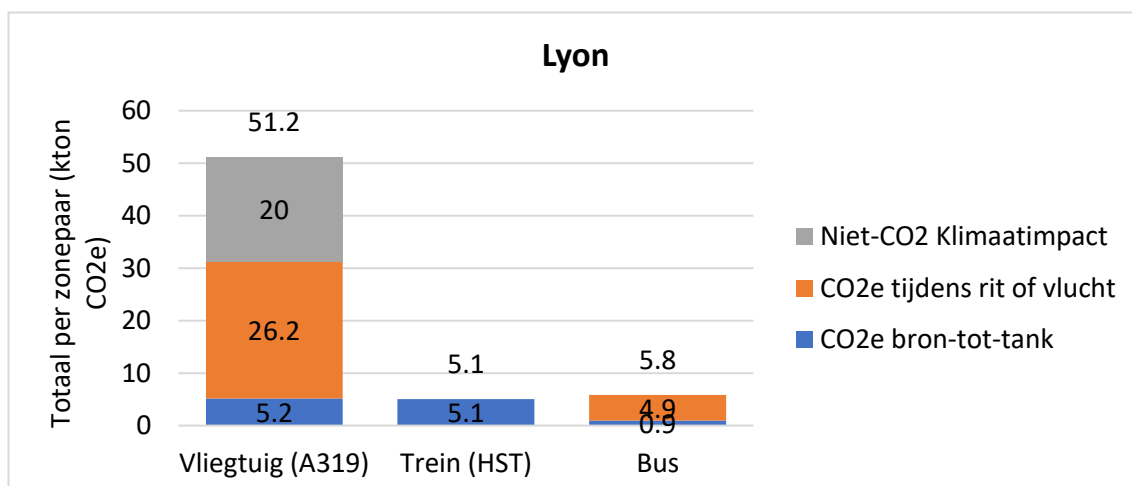
Manchester



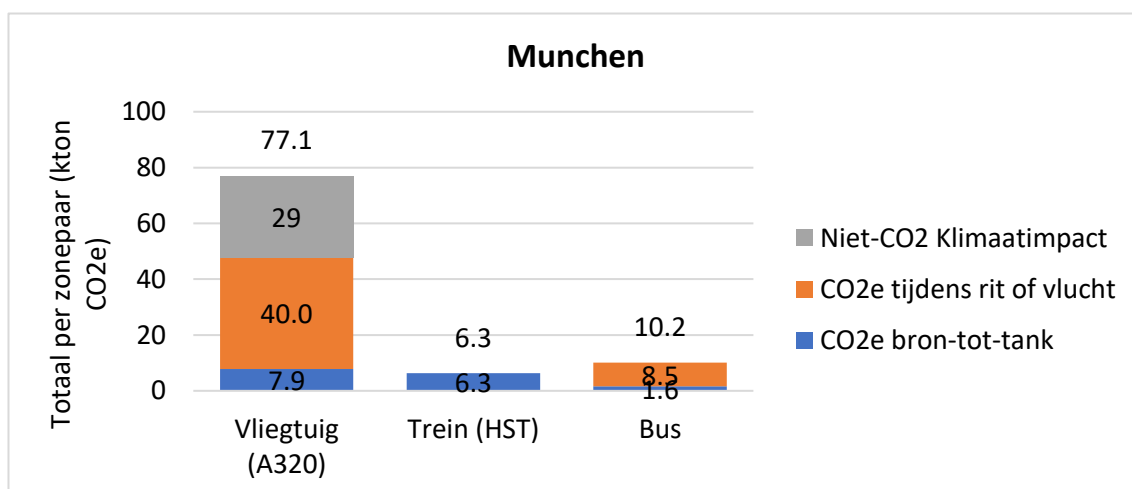
Genève



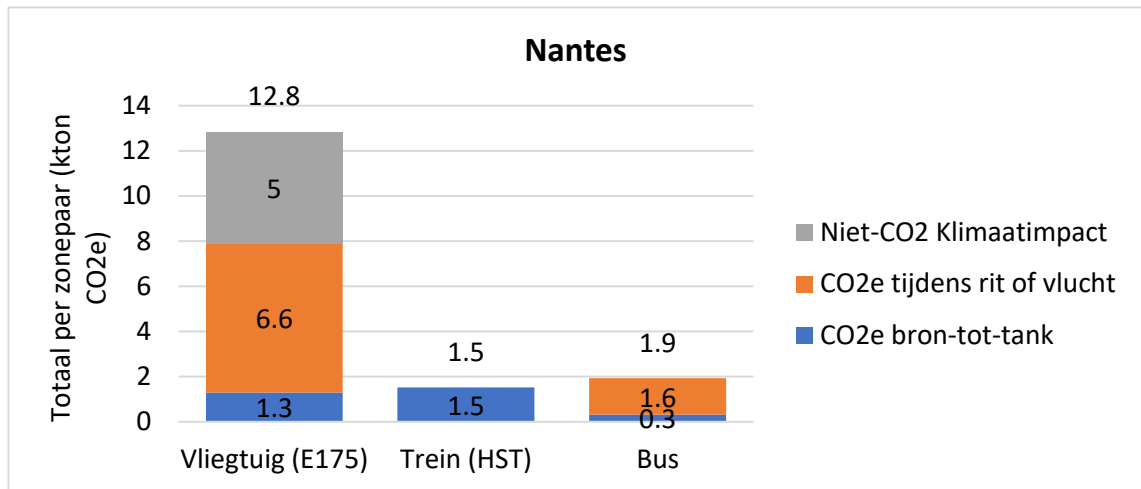
Lyon



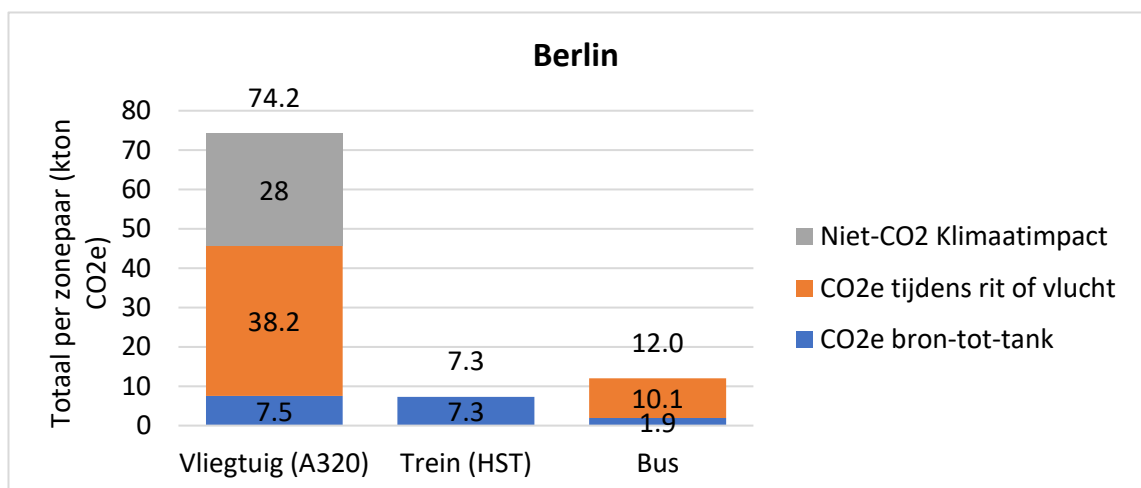
München



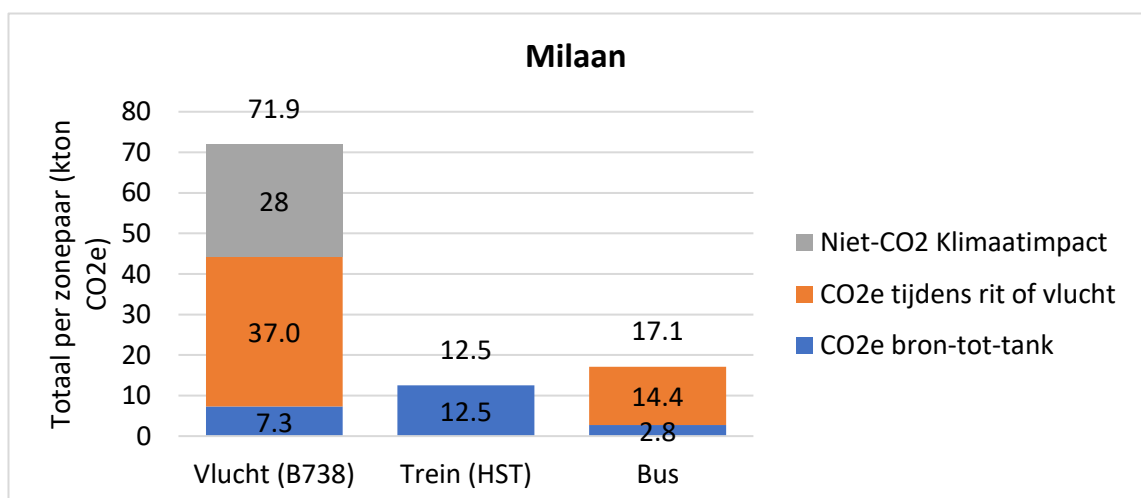
Nantes



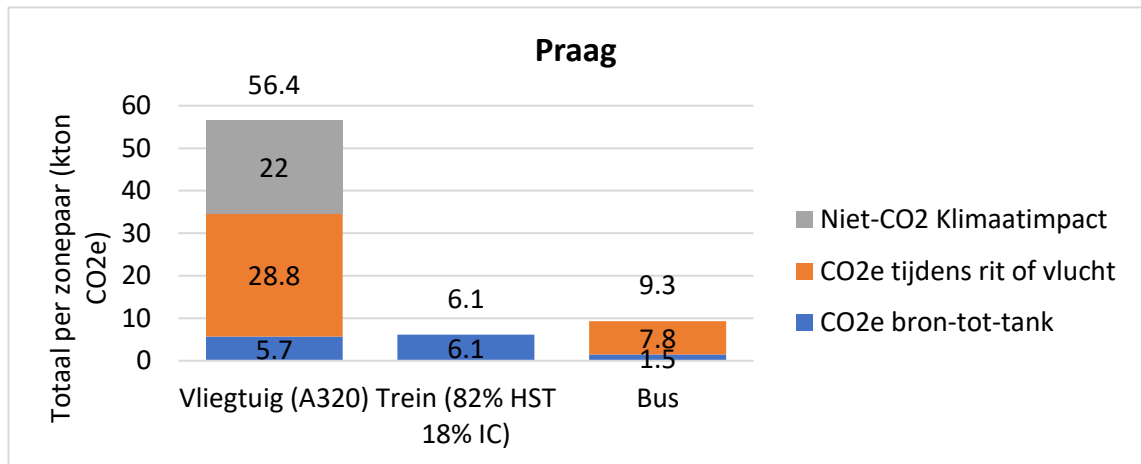
Berlijn



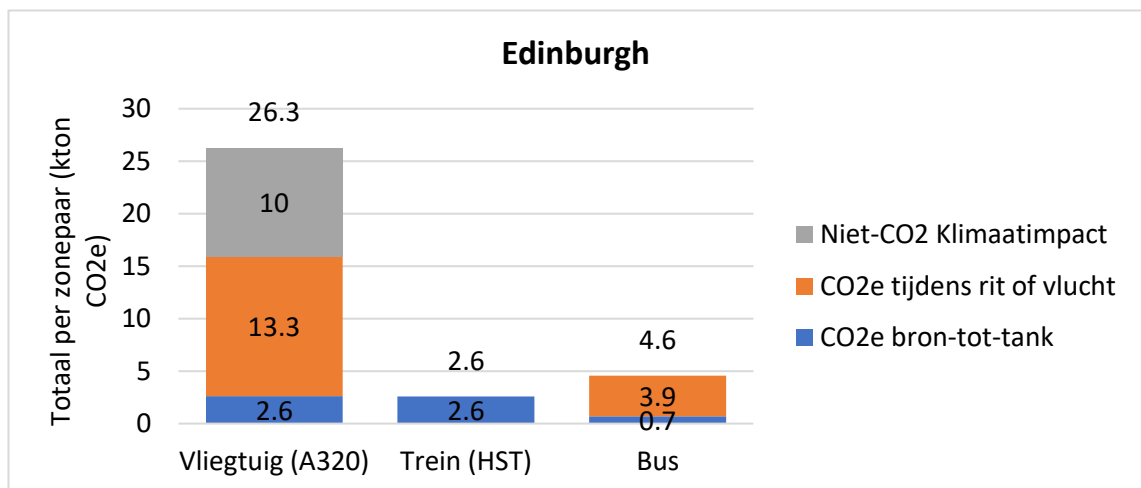
Milaan



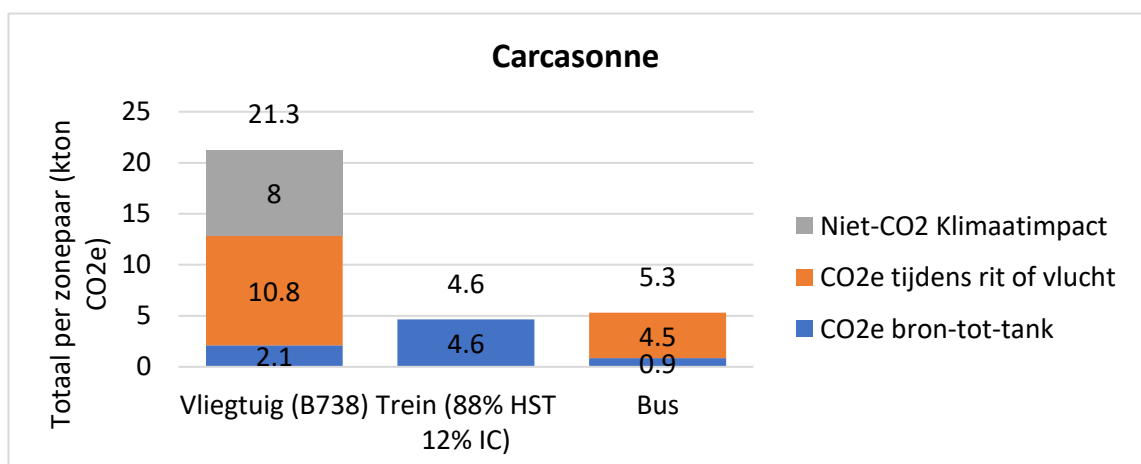
Praag



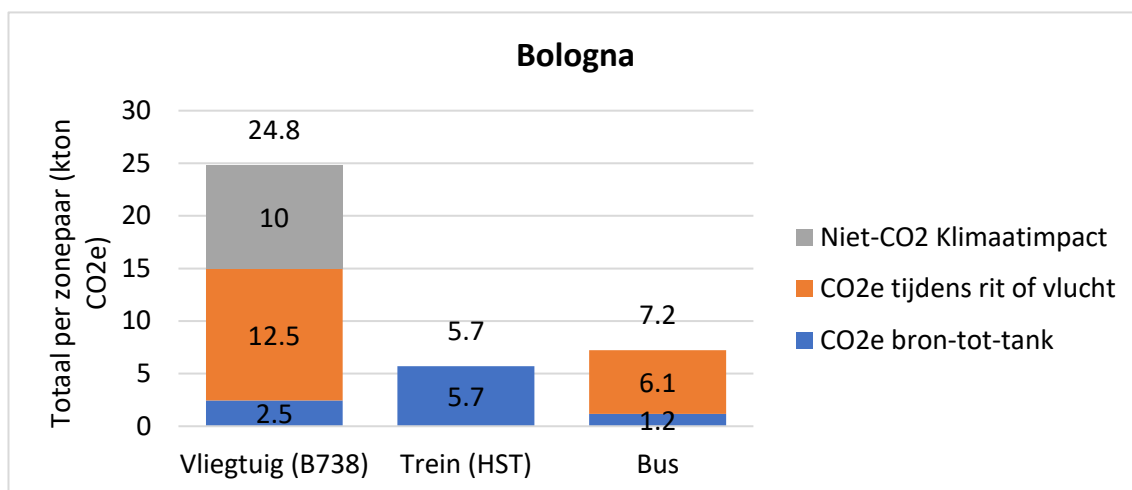
Edinburgh



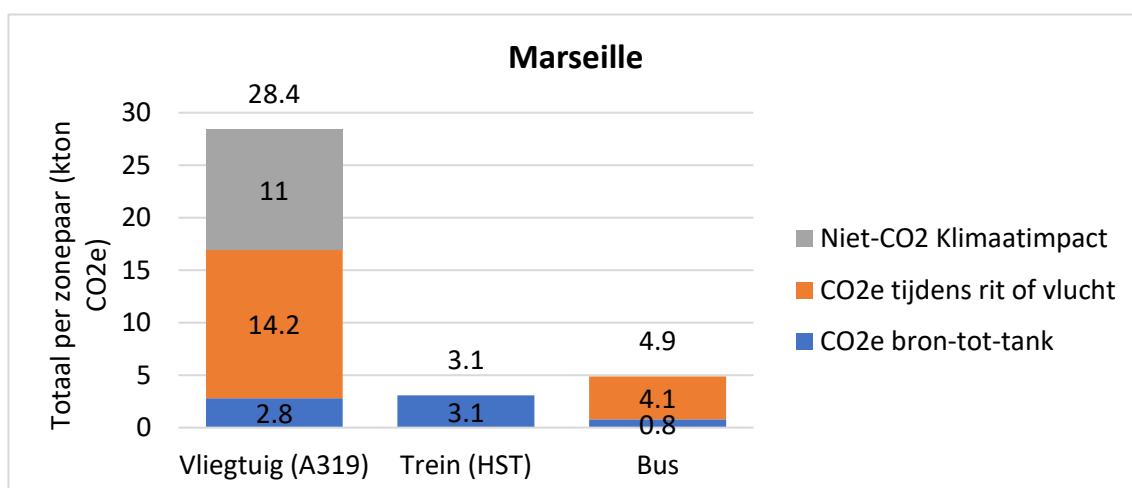
Carcassonne



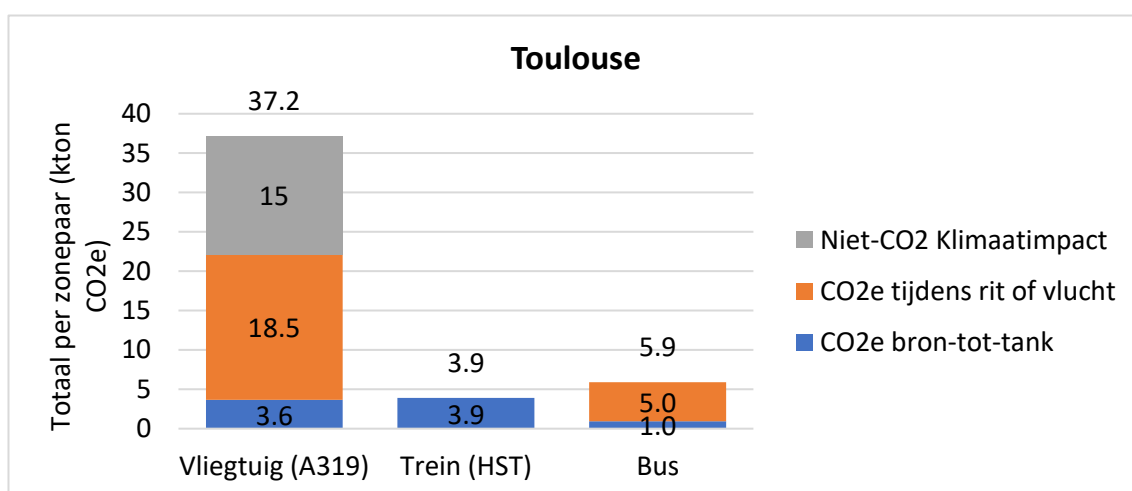
Bologna



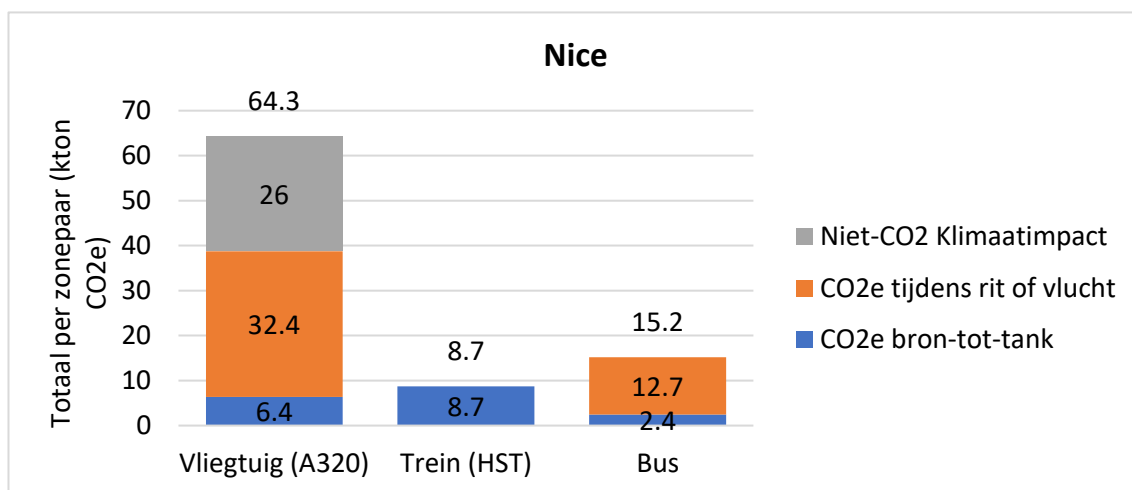
Marseille



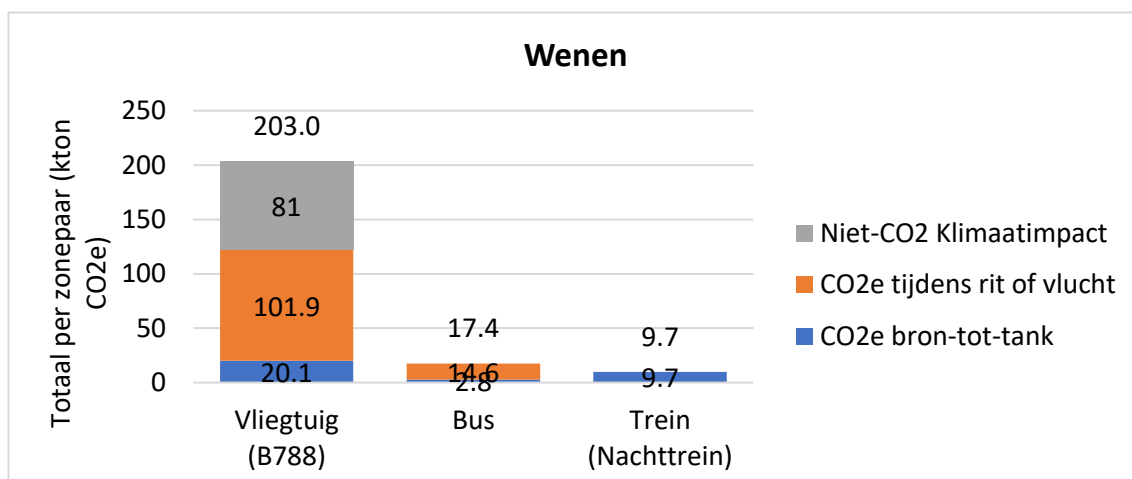
Toulouse



Nice



Wenen



Barcelona

