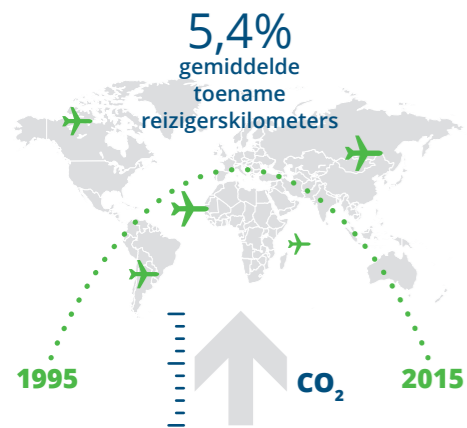


Deze factsheet beschrijft feiten over duurzaamheid met focus op CO<sub>2</sub>-uitstoot tijdens de vlucht\*. Hierbij wordt uitgegaan van gegevens van vóór de coronacrisis (1 maart 2020).

## Vliegtuigen worden steeds zuiniger, waarom gaat de CO<sub>2</sub>-uitstoot dan toch omhoog?



1. Een modern passagiersvliegtuig voor de middellange tot lange afstand (zoals de A330neo-900, met een bezettingsgraad van 80%) is met een verbruik van iets meer dan drie liter per honderd reizigerskilometers zuiniger<sup>1</sup> dan een standaard benzineauto met twee passagiers<sup>2</sup>.
2. Door incrementele, stapsgewijze ontwikkelingen en geleidelijke vlootvervanging wordt vliegen elk jaar zo'n 1,5% zuiniger (per reizigerskilometer)<sup>3-5</sup>. Ook de toegenomen bezettingsgraad – van 70% in 2000 tot ruim 80% in 2019<sup>6</sup> – draagt hieraan bij.
3. Tussen 1995 en 2015 nam het wereldwijde aantal reizigerskilometers in de luchtvaart echter met gemiddeld 5,4% toe, waardoor de CO<sub>2</sub>-uitstoot elk jaar alsnog toeneemt<sup>7</sup>.

## Hoe zit het precies met de CO<sub>2</sub>-uitstoot?

4. CO<sub>2</sub> levert wereldwijd de grootste individuele bijdrage aan de klimaateffecten van de luchtvaart. Klimaateffecten anders dan door CO<sub>2</sub> veroorzaakt – zoals NO<sub>x</sub> (stikstofoxiden), roetdeeltjes en waterdamp (met als gevolg condenssporen en cirrusbewolking) – worden in deze factsheet niet expliciet meegenomen. Volgens de meest recente schattingen is het klimaateffect van de luchtvaart hierdoor ruim twee keer zo hoog<sup>8</sup>.
5. Vanaf Schiphol is 75% van de vluchten een relatief korte vlucht (tot 2000 km) die samen 16% van de CO<sub>2</sub> uitstoten. De resterende 25% zijn lange vluchten die 84% van de CO<sub>2</sub> uitstoten<sup>9</sup>.
6. De uitstoot van de getankte fossiele kerosine op de Nederlandse internationale luchthavens droeg in 2018 voor ruim 6% bij aan de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot voor Nederland<sup>10-12</sup>. Wereldwijd is die bijdrage door de luchtvaart 2 à 3%<sup>13,14</sup>.

## Is elektrisch vliegen een oplossing?



7. Elektrische aandrijving biedt de flexibiliteit om de configuratie – zoals aantallen en posities van propellers of fans – te wijzigen waardoor vliegtuigen stiller kunnen zijn dan hun overeenkomstige, met kerosine aangedreven variant.
8. Er zijn verschillende vormen van hybride elektrische vliegtuigen mogelijk. Bijvoorbeeld door alleen bij de start gebruik te maken van elektrische aandrijving. Hiermee kan het geluid en de uitstoot rond luchthavens verminderd worden. De totale brandstof- en uitstootbesparing hangt af van de configuratie van het vliegtuig en de vluchtafstand.
9. De hoeveelheid energie die in een luchtvaartwaardige accu kan worden opgeslagen (143 Wh per kg<sup>15</sup>) is op dit moment bijna 90 keer minder dan de energie in een kilogram kerosine.
10. Gebaseerd op de huidige accutechnologie zal volledig elektrisch vliegen, vanwege het hoge extra gewicht en volume aan accu's, hoogstwaarschijnlijk worden ingezet voor vluchten van ca. 500 tot 1000 km, met maximaal 19 passagiers<sup>16</sup>.

## Wat komt er kijken bij vliegen op waterstof?



11. Een belangrijke technische uitdaging is de opslag van waterstof in het vliegtuig. Dit kan in vloeibare vorm bij zeer lage temperatuur (-253 °C<sup>17</sup>), of in gasvorm onder zeer hoge druk (700 bar<sup>17</sup>). Een sterke tank of isolatie brengt extra gewicht met zich mee.
12. Het gunstige aan waterstof als energiedrager is dat het per kilogram drie keer zo veel energie bevat als kerosine<sup>17,18</sup>. Waterstof neemt per kilogram (in vloeibare vorm) wel vier keer zo veel volume in en als gasvorm onder hoge druk wel 10 keer zo veel volume<sup>17</sup>, wat ongunstig is.
13. Waterstof kan voor de voortstuwing direct verbrand worden in een gasturbine of met een brandstofcel omgezet worden in elektriciteit voor het aandrijven van een elektromotor (in beide gevallen geldt 40-45% energie-efficiëntie voor een groot vliegtuig<sup>19,20</sup>). Afhankelijk van de configuratie kan een vliegtuig op waterstof tot enkele duizenden kilometers afleggen.
14. Vloeibaar aardgas (LNG, *liquified natural gas*) kan als opmaat dienen op weg naar luchtvaart op waterstof<sup>21</sup>. Dit komt met name door de grote beschikbaarheid, de reeds bestaande infrastructuur en de relatief gunstige energiedichtheid<sup>22</sup>. Ook is het de enige energiedrager die qua prijs in de buurt komt van kerosine<sup>23</sup>.

## Wat kunnen we met 'Sustainable Aviation Fuels' (SAF)?



15. Langeafstandsvluchten zijn met de huidige toestelconcepten/configuraties alleen haalbaar met energiedragers op basis van koolwaterstoffen zoals conventionele, bio- of synthetische kerosine<sup>20</sup>.
16. Biokerosine wordt verkregen uit de raffinage van biomassa<sup>24</sup>. Duurzame synthetische kerosine wordt met (groene) elektriciteit gesynthetiseerd uit H<sub>2</sub> (waterstof) en afgevangen CO<sub>2</sub><sup>25,26</sup>.
17. Huidige vliegtuigen kunnen zonder aanpassingen en binnen de huidige regelgeving gebruik maken van SAF in een mengverhouding tot 50% met conventionele kerosine. Voor hogere bijmengpercentages moeten mogelijk aanpassingen worden gedaan aan de motor en het brandstofsysteem<sup>27</sup>. Volgens IATA bestaat minder dan 1% van de wereldwijd getankte kerosine uit SAF<sup>28</sup>.
18. De grondstoffen en productieprocessen moeten voldoen aan strikte duurzaamheidscriteria<sup>29</sup>. Over de levenscyclus kan de CO<sub>2</sub>-balans van SAF flink lager liggen dan van fossiele kerosine (van 85% tot wel 100% CO<sub>2</sub>-reductie voor biokerosine<sup>36</sup> en synthetische kerosine<sup>37</sup>).
19. Voor de productie van een kilogram synthetische kerosine (energie-inhoud: 12 kWh) is drie tot vier keer zoveel energie aan elektriciteit nodig<sup>20,30</sup>.
20. In 2019 verbruikte de luchtvaartsector ongeveer vier miljoen ton kerosine voor vluchten uit Nederland<sup>10,11</sup>. Het produceren van deze hoeveelheid aan synthetische kerosine zou bijna tien keer de totale productie aan groene stroom in Nederland (21,8 miljard kWh in 2019) vereist hebben<sup>31</sup>.
21. Biokerosine is op dit moment drie à vier keer duurder dan fossiele kerosine. Synthetische kerosine is vijf à zes keer duurder. Daarnaast zijn opschaling van de productie en de beschikbaarheid van grondstoffen momenteel beperkende factoren voor het gebruik van SAF<sup>20,32-35</sup>.

# Bronnen bij de **FACTSHEET DUURZAME ALTERNATIEVEN VOOR KEROSINE**

1. Fuel economy in aircraft [Internet]. Wikipedia. Available from: <http://en.wikipedia.org/wiki/Fuel%20economy%20in%20aircraft>
2. Toelichting methodologie pilot brandstofprijsberekening. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland; 2020 Jan pp. 1–3.
3. Zheng XS, Rutherford D. Fuel burn of new commercial jet aircraft: 1960 to 2019. ICCT; 2020 Aug pp. 1–25.
4. Penner JE, Lister DH, Griggs DJ, Dokken DJ. Aviation and the Global Atmosphere. A special report of IPCC working groups I and III. IPCC. 1999.
5. Yin F, Rao AG. A review of gas turbine engine with inter-stage turbine burner. Progress in Aerospace Sciences.
6. IATA. World Air Transport Statistics 2020 [Internet]. Available from: <https://www.iata.org/contentassets/a686ff624550453e8bf0c9b3f7f0ab26/wats-2020-mediakit.pdf>
7. Long-Term Traffic Forecasts. ICAO; 2018 Apr pp. 1–17.
8. Lee DS, Fahey DW, Skowron A, Allen MR, Burkhardt U, Chen Q, et al. The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. Atmospheric Environment. 2020 Sep;:117834–1.
9. Peerlings B. Interne analyse. Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum; 2020.
10. CBS. Motorbrandstoffen; afzet in petajoule, gewicht en volume. opendata. cbs.nl.
11. van den Berg M, Zuidema J, Oudman F, Driessen C. Emissiereductiepotentieel in de Nederlandse Luchtvaart. Royal HaskoningDHV; 2019 Mar pp. 1–36.
12. Uitbeijerse G, Hilbers H. Ontwikkeling Luchtvaart en CO<sub>2</sub>-emissies in Nederland. Planbureau voor de Leefomgeving; 2018 Oct pp. 1–13.
13. Graver B, Zhang K, Rutherford D. CO<sub>2</sub> emissions from commercial aviation, 2018. ICCT; 2019 Sep pp. 1–13.
14. Volker G, Bock L, Burkhardt U, Dahlmann K, Gierens K, Hüttenhofer L, et al. Assessing the climate impact of the AHEAD multi-fuel blended wing body. Meteorologische Zeitschrift. 2017 Dec 8;:26:711–25.
15. Batteries Systems and BMS [Internet]. [cited 2020 Oct 22]. Available from: <https://www.pipistrel-aircraft.com/aircraft/electric-flight/batteries-systems-and-bms/>
16. ICAO Stocktaking Seminar on aviation in-sector CO<sub>2</sub> emissions reductions. 2020. a.o. Robert Thomson, Roland Berger: <http://www.icao.int/Meetings/Stocktaking2020>
17. Standard Chemistry Handbooks.
18. Rao AG, Yin F. A hybrid engine concept for multi-fuel blended wing body. Singh R, editor. Aircraft Eng & Aerospace Tech. 2014 Sep 30;86(6):483–93.
19. Yin F, Rao AG. Performance analysis of an aero engine with inter-stage turbine burner. Aeronautical Journal. 2017 Sep 4;121:1605–26.
20. Hydrogen-powered aviation : a fact-based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050. Publications Office of the European Union; 2020 Jul.
21. Rao AG. AHEAD: Paving the Way for Next Generation Aircraft and Engine. 2015.
22. Gangoli Rao, A., Yin, F. and Werij, H. "Energy transition in aviation: the role of cryogenic fuels", Aerospace, Vol.7 (12), pp.181, 2020. <https://doi.org/10.3390/aerospace7120181>
23. Current price development oil and gas [Internet]. [cited 2020 Nov 23]. Available from: <https://www.dnvgl.com/maritime/lng/current-price-development-oil-and-gas.html>
24. van Dyk S, Saddler J, Boshell F, Saygin D, Salgado A, Seleem A. Biofuels for aviation. International Renewable Energy Agency; 2017 Dec pp. 1–52.
25. Endres C. Renewable Aviation Fuels - Assessment of Three Selected Fuel Production Pathways. 2012. pp. 1–10.
26. Herron J, Kim J, Upadhye A, Huber G, Maravelias C. A general framework for the assessment of solar fuel technologies.
27. Beyersdorf A, Anderson B. An overview of the NASA alternative aviation fuel experiment (AAFEX). 2020. pp. 21–5.
28. Sustainable Aviation Fuels Fact sheet. IATA; 2019 Dec pp. 1–2.
29. Final recast Renewable Energy Directive for 2021-2030 in the European Union. ICCT; 2018 Jul.
30. Power-to-Liquids: Potentials and Perspectives for the Future Supply of Renewable Aviation Fuel. German Environment Agency; 2016 Sep pp. 1–36.
31. Productie groene elektriciteit in stroomversnelling [Internet]. 2020 [cited 2020 Oct 25]. Available from: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2020/10/productie-groene-elektriciteit-in-stroomversnelling>
32. de Jong S, van Stralen J, Londo M, Hoefnagels R, Faaij A, Junginger M. Renewable jet fuel supply scenarios in the European Union in 2021-2030 in the context of proposed biofuel policy and competing biomass demand. GCB Bioenergy. John Wiley & Sons, Ltd; 2018 Jun 21;10(9):661–82.
33. Pavlenko N, Searle S, Christensen AA. The cost of supporting alternative jet fuels in the European Union. ICCT; 2019 Mar pp. 1–20.
34. Overheidsmaatregelen biokerosine. CE Delft; 2017 Jun pp. 1–113.
35. IATA Sustainable Aviation Fuel Roadmap. IATA; 2015 pp. 1–119.
36. SkyNRG: <https://skynrg.com/press-releases/klm-skyng-and-shv-energy-announce-project-first-european-plant-for-sustainable-aviation-fuel/>
37. Hydrogen-powered aviation - A fact-based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050: [https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/FCH%20Docs/20200720\\_Hydrogen%20Powered%20Aviation%20report\\_FINAL%20web.pdf](https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/FCH%20Docs/20200720_Hydrogen%20Powered%20Aviation%20report_FINAL%20web.pdf)