



Dedicated to innovation in aerospace

NLR-TR-2022-341 | oktober 2022

Energiebehoefte voor synthetische kerosine voor de Nederlandse luchtvaart in 2030 en 2050

Kennis voor Beleid



Koninklijke NLR - Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

Energiebehoefte voor synthetische kerosine voor de Nederlandse luchtvaart in 2030 en 2050



Probleemstelling

Naar verwachting kunnen duurzame vliegtuigbrandstoffen (ook bekend als *sustainable aviation fuel* of SAF) een belangrijke bijdrage leveren aan het reduceren van de netto CO₂-uitstoot van de luchtvaart. Er wordt een flinke bijdrage verwacht van synthetische SAF.

Duurzame synthetische kerosine wordt geproduceerd uit groene waterstof (geproduceerd uit hernieuwbare elektriciteit) en CO₂, die wordt afgevangen uit de lucht. Ook dat proces maakt gebruik van hernieuwbare energie. Deze studie onderzoekt de hoeveelheid hernieuwbare energie die nodig is voor de productie van deze brandstoffen.

RAPPORTNUMMER

NLR-TR-2022-341

AUTEUR(S)

E.S. van der Sman

J.A. Melkert

B. Peerlings

RUBRICERING RAPPORT

ONGERUBRICEERD

DATUM

oktober 2022

KENNISGEBIED(EN)

Duurzame

luchtvaartoperaties

Externe Luchtvaart

Veiligheid en

beleidsondersteuning

TREFWOORD(EN)

SAF

Synthetische brandstof

Energiebehoefte

Beschrijving van de werkzaamheden

Dit rapport geeft een verwachting van de totale hoeveelheid vliegtuigbrandstof voor de Nederlandse luchtvaart in 2030 en 2050. Op basis daarvan is de verwachte hoeveelheid synthetische SAF bepaald, alsmede de daarvoor benodigde hernieuwbare elektriciteit. Tot slot is onderzocht hoeveel kerncentrales en/of windturbines er nodig zijn om die hoeveelheid hernieuwbare elektriciteit op te wekken.

Resultaten en conclusies

Rekening houdende met een groei van het aantal vluchten van 0,8% per jaar en efficiëntieverbeteringen door nieuwe technologie en operationele verbeteringen, is de brandstofbehoefte van de Nederlandse luchtvaart in 2030 en 2050 geschat op 3,5 en 3,1 Mt.

Afhankelijk van het aandeel synthetische SAF dat wordt gebruikt, naar schatting tussen de 0,7% en 1,6% in 2030 en 28% en 44% in 2050, varieert de behoefte aan synthetische SAF voor de Nederlandse luchtvaart tussen de 0,025 en 0,06 Mt in 2030, en 0,86 en 1,37 Mt in 2050.

Om de hoeveelheid in 2030 benodigde synthetische SAF te produceren is 0,7 tot 1,6 TWh (2,4 – 5,6 PJ) nodig. In 2050 is de energiebehoefte naar schatting 23 tot 36 TWh (83 – 131 PJ). Indien deze energie wordt opgewerkt met state-of-the-art kerncentrales, zijn er daar in 2030 0,06 tot 0,13 van nodig, en in 2050 1,91 tot 3,03. Alternatief vergt dat in 2030 17 tot 40 windturbines van 12 MW en in 2050 ongeveer 590 tot 935 turbines nodig.

Toepasbaarheid

De resultaten van deze studie gelden voor de Nederlandse luchtvaart. Daaronder worden alle commerciële vliegtuigen vertrekend vanaf Nederlandse luchthavens verstaan.

NLR

Anthony Fokkerweg 2

1059 CM Amsterdam

p) +31 88 511 3113

e) info@nlr.nl i) www.nlr.nl



Dedicated to innovation in aerospace

NLR-TR-2022-341 | oktober 2022

Energiebehoefte voor synthetische kerosine voor de Nederlandse luchtvaart in 2030 en 2050

Kennis voor Beleid

AUTEUR(S):

E.S. van der Sman

J.A. Melkert

B. Peerlings

NLR

TU Delft

NLR

Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het NLR (en de aan dit project bijdragende partners).

EIGENAAR	NLR + partner(s)
NLR DIVISIE	Aerospace Operations
VERSPREIDING	Beperkt
RUBRICERING TITEL	ONGERUBRICEERD

GOEDGEKEURD DOOR:		DATUM
AUTEUR	E.S. van der Sman	24-10-2022
REVIEWER	B. Peerlings	24-10-2022
BEHERENDE AFDELING	M.H. Nagelsmit	31-10-2022

Inhoudsopgave

Afkortingen	4
1 Introductie	5
2 Brandstofbehoefte	6
2.1 Totale brandstofbehoefte luchtvaart	6
2.2 Hoeveelheid synthetische kerosine in 2030 en 2050 in twee scenario's	6
3 Energiebehoefte	8
3.1 Efficiëntie van het productieproces en het productpalet	8
3.2 Energiebehoefte voor de productie van synthetische kerosine	8
3.3 Hoeveelheid windmolens en/of kerncentrales	9
4 Conclusie	11
5 Referenties	12

Afkortingen

ACRONIEM	OMSCHRIJVING
CO ₂	Koolstofdioxide
DLT	Duurzame Luchtvaarttafel
EU	Europese Unie
FT	Fischer-Tropsch
GWh	Gigawattuur
Mt	Megaton (= miljoen ton = miljard kilogram)
MW	Megawatt
NLR	Royal NLR - Netherlands Aerospace Centre
PJ	Petajoule
PtL	Power-to-Liquid
SAF	Sustainable Aviation Fuel
TWh	Terawattuur

1 Introductie

Om de netto CO₂-uitstoot van de luchtvaart om laag te brengen, wordt een flinke bijdrage verwacht van duurzame vliegtuigbrandstof, ook bekend als *sustainable aviation fuel* of SAF (van der Sman, Peerlings, Kos, Lieshout, & Boonekamp, 2021; Meerstadt, Peerlings, van der Sman, & Tojal Castro, 2021; Kos, et al., 2022; ATAG, 2020; ATAG, 2021; ICAO, 2022). Er bestaan ruwweg twee categorieën SAF: SAF uit biomassa (ook wel als ‘biobrandstof’ of ‘bio-kerosine’ aangeduid) en synthetische SAF. Die laatste categorie SAF wordt geproduceerd uit groene waterstof (geproduceerd uit hernieuwbare elektriciteit) en CO₂, die wordt afgevangen uit de lucht. Ook dat proces maakt gebruik van hernieuwbare energie. Als de hele productiecycclus zonder CO₂-uitstoot plaatsvindt, is synthetische SAF een CO₂-neutrale brandstof.

Omdat er een directe relatie bestaat tussen de hoeveelheid synthetische SAF die kan worden geproduceerd en de hoeveelheid hernieuwbare energie die beschikbaar is (of, vanuit een ander perspectief bekeken: nodig is), ligt één vraag duidelijk voor de hand:

Hoeveel energie is nodig voor de productie van synthetische SAF voor de Nederlandse luchtvaart?

Dit rapport geeft daar beknopt antwoord op voor de zichtjaren 2030 en 2050. Hoofdstuk 2 behandelt de brandstofbehoefte, waarvan een deel wordt ingevuld door (synthetische SAF). Op basis van die resultaten, behandelt hoofdstuk 3 vervolgens de energiebehoefte. Sectie 3.3 in het bijzonder drukt die energiebehoefte uit in aantallen windmolens en/of kerncentrales. Hoofdstuk 4, tot slot, vat de belangrijkste uitkomsten samen bij wijze van conclusie.

2 Brandstofbehoefte

Dit hoofdstuk analyseert de (verwachte) brandstofbehoefte van de Nederlandse luchtvaart in 2030 en 2050. Met 'Nederlandse luchtvaart' wordt bedoeld: commerciële vliegtuigen vertrekkend van een Nederlandse luchthaven.

2.1 Totale brandstofbehoefte luchtvaart

In 2018 werd in Nederland 3,9 megaton (Mt) kerosine getankt (CBS, 2021); zo'n 6,5% van het Europese totaal van ongeveer 60 Mt¹. Op basis van de studie *Destination 2050* (van der Sman, Peerlings, Kos, Lieshout, & Boonekamp, 2021), wordt geschat dat het Europese kerosineverbruik in 2030 afneemt naar 55 Mt in 2030 en 51 Mt in 2050. Het kerosineverbruik neemt af dankzij de inzet van nieuwe technologie, operationele (efficiëntie)verbeteringen en het effect van prijsstijgingen op vraag (t.g.v. de verhoogde inzet van duurzame brandstoffen en de toepassing van economische maatregelen²). Het scenario houdt rekening met een groei van het aantal vluchten van 0,8% per jaar.

Specifiek voor Nederland wordt geschat dat de kerosinebehoefte afneemt van 3,9 Mt in 2018 naar 3,5 Mt in 2030 en 3,1 Mt in 2050. Het Nederlandse aandeel ten opzichte van de totale Europese behoefte daalt licht (van 6,5% in 2018 naar 6,1% in 2050). Dit is een gevolg van de verwachting (van onder andere EUROCONTROL) dat de Nederlandse luchtvaart minder groeit dan het Europese gemiddelde. Deze cijfers houden nog geen rekening met het recent aangekondigde plafond van 440.000 vliegtuigbewegingen voor Schiphol.

2.2 Hoeveelheid synthetische kerosine in 2030 en 2050 in twee scenario's

Duurzame kerosine (SAF) omvat zowel synthetische brandstoffen als geavanceerde biobrandstoffen. Beide zorgen voor een aanzienlijke vermindering van de netto CO₂-uitstoot. In deze notitie zijn twee scenario's uitgewerkt voor de inzet van SAF tot 2050. Het lage scenario is in lijn met het *ReFuelEU Aviation* voorstel en het hoge scenario komt overeen met ambities die zijn uitgesproken aan de Duurzame Luchtvaarttafel (DLT).

Het *ReFuelEU Aviation* initiatief is bedoeld om het aanbod van en de vraag naar duurzame vliegtuigbrandstoffen in de EU te stimuleren. Dit is een voorgestelde verordening waarbij Europa via een bijmengverplichting van duurzame luchtvaartbrandstoffen de netto CO₂-emissies van de luchtvaartsector wil reduceren. Het percentage duurzame luchtvaartbrandstoffen neemt over tijd toe van 6% in 2030 naar 63% in 2050 (Raad van de Europese Unie, 2022). Synthetische kerosine moet een deel van het totale SAF-mandaat invullen. Het synthetische deel zal oplopen van 0,7% in 2030 naar 28% in 2050. In deze analyse komt dat overeen met 0,025 Mt in 2030 en 0,86 Mt in 2050.

¹ Op basis van *Destination 2050* (van der Sman, Peerlings, Kos, Lieshout, & Boonekamp, 2021). Kerosineverbruik op basis van CO₂-uitstoot voor vluchten vertrekkend uit EU27, Verenigd Koninkrijk en EFTA.

² In *Destination 2050* zijn specifiek het EU ETS en CORSIA gemodelleerd, met CO₂-prijzen die richting 2050 oplopen naar 160€/tCO₂ (CORSIA) en 315€/tCO₂ (EU ETS).

Nederland heeft in het Ontwerpakkoord Duurzame Luchtvaart een ambitie uitgesproken van 14% SAF in 2030 en 100% in 2050 (Werkgroep Duurzame Brandstoffen, 2021). Omdat de DLT in haar ambities geen onderscheid maakt tussen verschillende vormen van SAF, gaat deze analyse ervan uit dat het aandeel synthetische kerosine (ten opzichte van totale hoeveelheid SAF) ook in het scenario 'Hoog' gelijk blijft aan het relatieve aandeel als voorgesteld door ReFuelEU Aviation: 1,6% synthetisch in 2030 en 44% in 2050. In deze analyse komt dat overeen met 0,06 Mt in 2030 en 1,37 Mt in 2050.

In combinatie met de eerder geschatte totale kerosinebehoefte resulteren deze percentages tot onderstaande hoeveelheden benodigde synthetische kerosine. De netto CO₂-uitstoot is berekend door een reductie van 99,9% over de levenscyclus aan te nemen. Deze hoge emissiereducties kunnen bereikt worden dankzij het *Power-to-Liquid* productieproces in combinatie met groene waterstof en CO₂-opvang uit de lucht.

Tabel 1: Brandstofbehoefte van de Nederlandse luchtvaart in 2030 en 2050 onder twee scenario's

	2030		2050	
	Laag (ReFuelEU)	Hoog (DLT)	Laag (ReFuelEU)	Hoog (DLT)
Totale kerosinebehoefte (Mt)	3,5		3,1	
Aandeel duurzame brandstof (SAF)	6%	14%	63%	100%
Aandeel synthetische brandstof (t.o.v. totale kerosine behoefte)	0,7%	1,6%	28%	44%
Aandeel synthetische brandstof (t.o.v. totale hoeveelheid SAF)	12%		44%	
Behoeft synthetische SAF (Mt)	0,025	0,06	0,86	1,37
Netto CO ₂ -uitstoot (Mt)	0,000025	0,00006	0,00086	0,00137

In de schatting van de totale kerosinebehoefte op basis van *Destination 2050* is uitgegaan van een reductie van vraag, als gevolg van toenemende kosten – onder andere vanwege de hogere kostprijs van duurzame brandstof. Het in *Destination 2050* geschatte aandeel SAF (6% in 2030 en 66% in 2050, gekeken naar energiebehoefte) is in lijn met het aandeel SAF in scenario 'Laag'. Het aandeel SAF is fors hoger in het scenario 'Hoog'. Het is aannemelijk dat, wanneer er meer SAF wordt getankt, het vraageffect ook toeneemt. Daarvoor is niet gecorrigeerd. Dat betekent dat de totale hoeveelheid luchtvaartactiviteit, en daarmee de totale kerosine-, SAF- en synthetische kerosinebehoefte, in scenario 'Hoog' mogelijk overschat zijn.

3 Energiebehoefte

Op basis van de in hoofdstuk 2 bepaalde brandstofbehoefte, wordt in dit hoofdstuk de behoefte aan hernieuwbare elektriciteit in kaart gebracht. Sectie 3.1 behandelt efficiënties van het productieproces van synthetische SAF, op basis waarvan sectie 3.2 de totale behoefte aan hernieuwbare elektriciteit bepaalt. In sectie 3.3 worden die totalen, uitgedrukt in petajoule (PJ) en terawattuur (TWh), omgerekend naar aantallen windmolens en/of kerncentrales.

3.1 Efficiëntie van het productieproces en het productpalet

Synthetische kerosine wordt gemaakt van CO₂, water en hernieuwbare energie door middel van het *Power-to-Liquid* (PtL)-productieproces. De efficiëntie van het PtL-productieproces via de Fisher-Tropsch (FT)-route in combinatie met CO₂-afvang uit de lucht ligt momenteel rond de 44% bij hoge temperatuur elektrolyse en rond de 37% bij lage temperatuur elektrolyse (Schmidt, Zittel, Weindorf, & Raksha, 2016). Naar verwachting zal de efficiëntie een paar procentpunt toenemen richting 2050. Deze efficiëntie is een maat voor de hoeveelheid benodigde energie ten opzichte van de totale hoeveelheid energie in de brandstoffen die middels het FT-proces wordt geproduceerd. In deze notitie wordt een efficiëntie van 44% in 2030 en 45% in 2050 aangenomen.

Het is belangrijk om te benadrukken dat niet alle brandstof die op deze manier geproduceerd wordt, kerosine is. Door het productieproces te optimaliseren kan er maximaal 50% kerosine gemaakt worden (Sustainable Aviation, 2020b). Het FT-proces levert in eerste instantie een parafine op (wasachtige stof). Deze moet in een raffinageproces uitgesplitst (gekraakt) worden in diverse soorten duurzame brandstoffen. In dit proces worden dus bijvoorbeeld ook synthetische stookolie en synthetische diesel geproduceerd. In de berekening is er rekening mee gehouden dat ook deze producten een waarde hebben en niet als afval worden afgevoerd. Het is de verwachting dat nog heel lang dit soort duurzame brandstoffen een plek hebben in de Nederlandse energiemix.

3.2 Energiebehoefte voor de productie van synthetische kerosine

De energiebehoefte is afhankelijk van de efficiëntie van het productieproces (44%-45%) in combinatie met de verbrandingswaarde van kerosine (42,8 MJ/kg) (Schmidt, Zittel, Weindorf, & Raksha, 2016). De energiebehoefte voor de productie van synthetische kerosine in het laag scenario is gelijk aan 0,7 TWh in 2030 en 23 TWh in 2050. Uitgedrukt in petajoule is dat gelijk aan 2,4 PJ in 2030 en 83 PJ in 2050³. Voor het hoog scenario is de energiebehoefte voor de productie van synthetische kerosine gelijk aan 1,6 TWh (5,6 PJ) in 2030 en 36 TWh (131 PJ) in 2050.

³ 1 Terawattuur [TWh] = 3,6 Petajoule [PJ].

Tabel 2: Benodigde energie voor de productie van de behoefte aan synthetische SAF voor de Nederlandse luchtvaart in 2030 en 2050 onder twee scenario's

	2030		2050	
	Laag (ReFuel EU)	Hoog (DLT)	Laag (ReFuel EU)	Hoog (DLT)
Hoeveelheid synthetische brandstof (Mt)	0,025	0,06	0,86	1,37
Energetische efficiëntie van productieproces (energie naar brandstoffen)	44%		45%	
Benodigde energie (PJ)	2,4	5,6	83	131
Benodigde energie (TWh)	0,7	1,6	23	36

3.3 Hoeveelheid windmolens en/of kerncentrales

De kerncentrale in Borssele levert een vermogen van 495 MW. Daarmee kan ze een jaarlijkse elektriciteitsproductie van 4 TWh leveren. Deze kerncentrale is naar de maatstaven van vandaag een heel kleine centrale. Een nieuwe ontwikkeling is de ontwikkeling van heel kleine centrales, de zogenaamde *Small Modular Reactor*. Onder andere Rolls Royce biedt deze aan, met een vermogen van 470 MW. Gemiddeld leveren de huidige centrales in de wereld 2 tot 3 keer zoveel vermogen. Dat loopt op tot een vermogen van ruim 8 GW voor de huidige grootste centrale. Deze grootste centrale levert dan in de orde van grootte 60 TWh aan elektriciteit per jaar. In onze berekeningen gaan we uit van typische centrales van 3 keer Borssele, met een vermogen van 1455 MW en 12 TWh aan jaarlijkse elektriciteitsproductie (International Atomic Energy Agency, 2022).

Tabel 3: Benodigde hoeveelheid kerncentrales voor de opwek van energie voor de productie van de behoefte aan synthetische SAF voor de Nederlandse luchtvaart in 2030 en 2050 onder twee scenario's

	2030		2050	
	Laag (ReFuel EU)	Hoog (DLT)	Laag (ReFuel EU)	Hoog (DLT)
Hoeveelheid kerncentrales (state of art, 12TWh/yr)	0,06	0,13	1,91	3,03
# kerncentrales (Borssele / <i>Small modular reactor</i> , 4TWh/yr)	0,17	0,39	5,73	9,09
# kerncentrales (Kashiwazaki-Kariwa, Japan, 60.5TWh/yr)	0,01	0,03	0,38	0,60

Moderne windturbines zitten in de klasse van 10-14 MW vermogen⁴. Voor onze berekeningen nemen we een 12 MW turbine aan. Een windturbine levert niet continu dit vermogen. Dit is afhankelijk van de heersende wind en de locatie van de turbine. Daarom wordt gerekend met een equivalent aantal vollasturen per jaar. Hiermee vertalen we de jaarproductie naar een equivalent aantal uren in een jaar dat de turbine zijn nominale vermogen levert. Gemiddeld is het zo dat er gerekend kan worden met 30-45% van de tijd. Voor onze berekeningen nemen we hiervan een gemiddelde aan van 37%. In de loop der jaren is dit percentage omhoog gegaan. Het is de verwachting dat dit met meer wind op zee nog verder zal toenemen; in de berekening is daar echter niet vanuit gegaan. Een 12 MW turbine levert dus per jaar $12 \text{ MW} \times 0,37 \times 365 \text{ dagen} \times 24 \text{ uur per dag} = 38,89 \text{ GWh}$.

⁴ Siemens Gamesa SG 11-200 DD, 11 MW en SG14-236DD, 14 MW.

Om een inschatting te kunnen maken van het ruimtebeslag moeten we ook kijken naar hoe dicht deze windturbines bij elkaar geplaatst kunnen worden. De website Wind op Zee (Rijksoverheid, n.d.) geeft hiervoor een richtgetal van 10 MW per vierkante kilometer. Hiermee kunnen we het ruimtebeslag uitrekenen waarbij we alleen uitgaan van windturbines op zee. We kunnen dan ook een inschatting maken van welk deel van het Nederlandse deel van de Noordzee hiervoor nodig zou zijn. Het Nederlandse deel van de Noordzee is volgens dezelfde website 57.800 vierkante kilometer groot. Het deel van de Noordzee dat gebruikt kan worden voor windturbines beslaat 18.000 vierkante kilometer (Kuijers, et al., 2018). Het oppervlak wat daarvan nodig zou zijn voor de luchtvaart ligt in 2050 tussen de 3,9% en 6,2%.

Tabel 4: Benodigde hoeveelheid windturbines voor de opwek van energie voor de productie van de behoefte aan synthetische SAF voor de Nederlandse luchtvaart in 2030 en 2050 onder twee scenario's

	2030		2050	
	Laag (ReFuel EU)	Hoog (DLT)	Laag (ReFuel EU)	Hoog (DLT)
Hoeveelheid windturbines (12MW, 37% full equivalent rated power)	17	40	589	935
# km ² windturbine (10MW/km ²)	20,63	48,15	706,71	1121,76
% van 18.000 km ²	0,1%	0,3%	3,9%	6,2%

4 Conclusie

Rekening houdende met een groei van het aantal vluchten van 0,8% per jaar en efficiëntieverbeteringen door nieuwe technologie en operationele verbeteringen, is de brandstofbehoefte van de Nederlandse luchtvaart in 2030 en 2050 geschat op 3,5 en 3,1 Mt.

Afhankelijk van het aandeel synthetische SAF dat wordt gebruikt, naar schatting tussen de 0,7% en 1,6% in 2030 en 28% en 44% in 2050, varieert de behoefte aan synthetische SAF voor de Nederlandse luchtvaart tussen de 0,025 en 0,06 Mt in 2030, en 0,86 en 1,37 Mt in 2050.

Om de hoeveelheid in 2030 benodigde synthetische SAF te produceren is 0,7 tot 1,6 TWh (2,4 – 5,6 PJ) nodig. In 2050 is de energiebehoefte naar schatting 23 tot 36 TWh (83 – 131 PJ). Indien deze energie wordt opgewerkt met state-of-the-art kerncentrales, zijn er daar in 2030 0,06 tot 0,13 van nodig, en in 2050 1,91 tot 3,03. Alternatief vergt dat in 2030 17 tot 40 windturbines van 12 MW en in 2050 ongeveer 590 tot 935 turbines nodig.

Tabel 5: Brandstofbehoefte van de Nederlandse luchtvaart in 2030 en 2050 onder twee scenario's en bijbehorende energiebehoefte, uitgedrukt in petajoule (PJ), terawattuur (TWh), hoeveelheid kerncentrales en hoeveelheid windturbines

	2018	2030		2050	
Totale kerosinebehoefte (Mt)	3,9	3,5		3,1	
		Laag (ReFuelEU)	Hoog (DLT)	Laag (ReFuelEU)	Hoog (DLT)
Aandeel duurzame brandstof (SAF)		6%	14%	63%	100%
Aandeel synthetische brandstof (t.o.v. totale kerosine behoefte)		0,7%	1,6%	28%	44%
Aandeel synthetische brandstof (t.o.v. totale hoeveelheid SAF)		12%		44%	
Behoefte synthetische SAF (Mt)		0,025	0,06	0,86	1,37
Energetische efficiëntie van productieproces (energie naar brandstoffen)		44%		45%	
Benodigde energie (PJ)		2,4	5,6	83	131
Benodigde energie (TWh)		0,7	1,6	23	36
Hoeveelheid kerncentrales	State of the art, 12 TWh/jaar	0,06	0,13	1,91	3,03
	Borssele / <i>Small modular reactor</i> , 4 TWh/jaar	0,17	0,39	5,73	9,09
	Kashiwazaki-Kariwa (Japan), 60,5 TWh/jaar	0,01	0,03	0,38	0,60
Hoeveelheid windturbines (12MW, 37% full equivalent rated power)		17	40	589	935
# km ² windturbine (10MW/km ²)		20,63	48,15	706,71	1121,76
% van 18.000 km ²		0,1%	0,3%	3,9%	6,2%

5 Referenties

- ATAG. (2020). *Waypoint 2050*. Air Transport Action Group.
- ATAG. (2021). *Waypoint 2050 - Second edition*. Air Transport Action Group. Opgehaald van <https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/climate-action/waypoint-2050/>
- CBS. (2021). *Motorbrandstoffen; afzet in petajoule, gewicht en volume, 1946-april 2021*. Opgeroepen op juni 22, 2022, van StatLine: <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/83406NED/table?dl=6A3E0>.
- ICAO. (2022). *Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal (LTAG) for International Civil Aviation CO2 Emission Reductions*. International Civil Aviation Organization Committee on Aviation Environmental Protection.
- Kos, J., Peerlings, B., Lim, M., Lammen, W., Posada Duque, J., & van der Sman, E. (2022). *Novel propulsion and alternative fuels for aviation towards 2050 : Promising options and steps to take (TRANSCEND Deliverable D3.2)*. Amsterdam, the Netherlands: Royal Netherlands Aerospace Centre. Opgehaald van <https://reports.nlr.nl/items/b1c336dd-afc5-48e9-8b97-796a65edcda3>
- Kuijers, T., Hocks, B., Wijnakker, R., Frijters, E., Hugtenburg, J., Joppe, V., . . . Boxmeer, B. (2018). *Klimaat-Energie-Ruimte: Ruimtelijke Verkenning Energie en Klimaat*.
- Meerstadt, C., Peerlings, B., van der Sman, E., & Tojal Castro, M. (2021). *Feedstocks for sustainable aviation fuels in the Netherlands : A review of feedstock sustainability and availability and identification of knowledge gaps for policy making*. Amsterdam, the Netherlands: Royal Netherlands Aerospace Centre. Opgehaald van <https://reports.nlr.nl/items/0bec87b5-a50d-447f-8a25-83dbd5ff0766>
- Raad van de Europese Unie. (2022, juni 2). Regulation of the European Parliament and of the Council on ensuring a level playing field for sustainable air transport. Brussel, België. Opgehaald van <https://www.consilium.europa.eu/media/56725/st09805-xx22.pdf>
- Rijksoverheid. (sd). *Hoeveel ruimte gebruikt wind op zee?* Opgehaald van Wind op zee: <https://windopzee.nl/onderwerpen/wind-zee/hoeveel-ruimte/>
- Schmidt, P., Zittel, W., Weindorf, W., & Raksha, T. (2016). *Renewables in Transport 2050: Empowering a sustainable mobility future with zero emission fuels from renewable electricity - Europe and Germany*. Frankfurt am Main, Duitsland: FVV - Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e.V. (Research Association for Combustion Engines). Opgehaald van https://www.researchgate.net/publication/292143392_FVV_Study_Renewables_in_Transport_2050_Empowering_a_sustainable_mobility_future_with_zero_emission_fuels_from_renewable_electricity
- Sustainable Aviation. (2020b). Sustainable Aviation Fuels Road-Map - Fueling the future of UK aviation.
- van der Sman, E., Peerlings, B., Kos, J., Lieshout, R., & Boonekamp, T. (2021). *Destination 2050: A Route To Net Zero European Aviation*. Amsterdam, the Netherlands: Royal Netherlands Aerospace Centre - NLR.
- Werkgroep Duurzame Brandstoffen. (2021, maart 8). WDB Action programme. Rijksoverheid. Opgehaald van <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2021/03/08/bijlage-1-wdb-action-programme-nl>



Dedicated to innovation in aerospace

Koninklijke NLR - Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

Het onderzoekscentrum Koninklijke NLR werkt op objectieve en onafhankelijke wijze met zijn partners aan een betere wereld van morgen. NLR biedt daarbij innovatieve oplossingen en technische expertise en zorgt voor een sterke concurrentiepositie van het bedrijfsleven.

NLR is ruim 100 jaar een kennisorganisatie met de diepgewortelde wil om te blijven vernieuwen en zet zich in voor een duurzame, veilige, efficiënte en effectieve lucht- en ruimtevaart.

De combinatie van diepgaand inzicht in de klantbehoefte, multidisciplinaire expertise en toonaangevende onderzoeksfaciliteiten, maakt snel innoveren mogelijk. NLR vormt in binnen- en buitenland de spilfunctie tussen wetenschap, bedrijfsleven en overheid, en overbrugt de kloof tussen fundamenteel onderzoek en toepassingen in de praktijk. Daarnaast werkt NLR als Groot Technologisch Instituut ruim tien jaar in de TO2-federatie samen aan toegepast onderzoek in Nederland.

Vanuit de hoofdvestigingen in Amsterdam en Marknesse en twee satellietvestigingen, draagt NLR bij aan een veilige en duurzame maatschappij en werkt met partners in vele (defensie)programma's, onder andere aan complexe composieten constructies voor verkeersvliegtuigen en aan doelgericht gebruik van het F-35-jachtvliegtuig. Daarnaast geeft NLR invulling aan Nederlandse en Europese (klimaat)doelstellingen conform de Luchtvaartnota, de European Green Deal, Flightpath 2050, en door deelname aan programma's zoals Clean Sky en SESAR.

Voor meer informatie bezoek: www.nlr.nl

Postal address

PO Box 90502
1006 BM Amsterdam, The Netherlands
e) info@nlr.nl i) www.nlr.org

Royal NLR

Anthony Fokkerweg 2
1059 CM Amsterdam, The Netherlands
p) +31 88 511 3113

Voorsterweg 31
8316 PR Marknesse, The Netherlands
p) +31 88 511 4444