



Verkenning van Maatschappelijke Effecten van Waterstof- en Elektrische Luchtvaarttechnologieën

**Verkenning naar de maatschappelijke kosten en
baten van duurzame luchtvaart in zowel Nederland
als het Caraïbische deel van het Koninkrijk**

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Rotterdam, 25 April 2025

Verkenning van Maatschappelijke Effecten van Waterstof- en Elektrische Luchtvaarttechnologieën

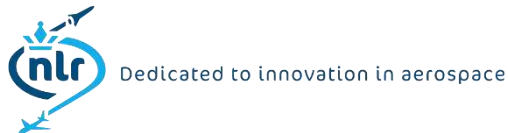
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Rotterdam, 25 april 2025

Bescherming persoonlijke levenssfeer



In samenwerking met:



Managementsamenvatting

Vraagstelling

De luchtvaartsector staat wereldwijd voor de uitdaging om te verduurzamen. Om de luchtvaart stiller en schoner te maken zijn de volgende innovaties van belang: batterij-elektrisch vliegen, vliegen op waterstof en (Sustainable Aviation Fuel) SAF. Dit onderzoek richt zich op volledig batterij-elektrische- en waterstoftechnologieën omdat deze een volledig duurzaam alternatief kunnen bieden.

Deze studie, in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, onderzoekt de betekenis van batterij-elektrische aandrijving en aandrijving met waterstof voor verduurzaming van de luchtvaart in Nederland en het Caribisch deel van het Koninkrijk.¹ De studie past in het beleid van 'Luchtvaartnota 2020-2050', waarin ambities voor duurzaamheid en innovatie van de luchtvaart zijn opgenomen, en sluit ook aan bij het internationale beleid omtrent verduurzaming, in het bijzonder het Fit for 55-pakket, de Europese Green Deal en de mondiale doelstellingen van CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation).

Het doel is zodoende de maatschappelijke baten van deze vormen van duurzamere luchtvaart te verkennen, en waar mogelijk te kwantificeren (uit te drukken in euro). Leidende onderzoeksvragen voor deze studie zijn:

- Welke maatschappelijke kosten en baten brengen (volledige) waterstof- en batterij elektrisch aangedreven vliegtuigen met zich mee; zoals voor de werkgelegenheid, emissie en connectiviteit? We beoordelen impacts op stakeholders en hun rol in de business case.
- Wat zijn de gevolgen op de leefomgeving, zoals geluidsoverlast, luchtkwaliteit en ecologie? Die zetten we om in maatschappelijke effecten met gekende MKBA-kengetallen.
- Wat zijn de economische kansen, zoals voordelen voor toerisme en handel, en hoe kan een haalbare business case voor stakeholders worden voorbereid?

Aanpak

Er zijn twee alternatieve scenario's opgesteld. Eén short-range scenario met kleine toestellen en één short-medium range scenario met middelgrote toestellen. Beide scenario's zijn onderzocht voor één-op-één vervanging door batterij-elektrische en waterstofvliegtuigen.

Omdat de technologische mogelijkheden en capaciteiten nog onzeker zijn, vormen de twee specifieke scenario's een verkenning. Als de technologische inzichten veranderen, bv. grotere stoelcapaciteit of een andere range, dan kan de verkenning tot andere resultaten leiden.

Het referentiesituatie voor deze studie bestaat uit alle commerciële lijnvluchten tot 1,500 km van en naar de Nederlandse luchthavens en die van en naar het Caribisch deel van het koninkrijk. Het referentiescenario is gebaseerd op de dienstregeling van 2024. Vrachtvluchten en General Aviation³ zijn buiten beschouwing gelaten.

¹ Het Caribisch deel van het Koninkrijk der Nederlanden bestaat uit zes eilanden. Aruba, Curaçao en Sint-Maarten zijn, net als Nederland, zelfstandige landen. Bonaire, Sint-Eustatius en Saba, zijn bijzondere gemeenten van Nederland.

³ General Aviation (GA) verwijst naar alle burgerluchtvaart buiten de commerciële lijndiensten en militaire operaties. Dit omvat een breed scala aan luchtvaartactiviteiten, zoals privévluchten, zakenvluchten, vliegtraining, luchtfotografie,

Scenario 1 – short range met toestellen van 9 tot 30 passagiers

- **Batterij-elektrische vliegtuigen**
 - met een capaciteit van 30 passagiers en een bereik van 200 kilometer
 - met een capaciteit van 9 passagiers en een bereik van 400 kilometer
- **Waterstofvliegtuigen** met een capaciteit van 19 passagiers en een bereik van 500 kilometer

Scenario 2 – short-medium range met middelgrote toestellen

- **Batterij-elektrische vliegtuigen** met een capaciteit van 90 passagiers en een bereik van 800 kilometer.
- **Waterstofvliegtuigen** met een capaciteit van 90 passagiers, maar een groter bereik van 1,500 kilometer.

Resultaten

Markt voor duurzame vliegtuigen

In welke mate zouden vliegtuigen kunnen worden vervangen door duurzame alternatieven?

Voor Schiphol is scenario 1 (één-op-één vervanging door kleine toestellen) nauwelijks relevant omdat het over grote deel van de toestellen op Schiphol groter zijn. Scenario 2 (inzet van middelgrote toestellen) heeft de potentie is om tot 3% van het aantal vliegbewegingen (van de 500.000) één-op-één te vervangen met elektrische vliegtuigen. Op het kansrijke segment voor één-op-één vervanging, vluchten tot 1,500 km in 2024, zijn de vervangingspotenties tot 17% voor elektrisch. Dat gaat dan over ca. 16,500 vluchten op jaarbasis in Nederland, bijna eenzijdig op Schiphol. Als waterstofluchtvaart doorbreekt, zou de potentie van één-op-één vervanging met waterstofaandrijving toenemen tot ca. 5% van alle vluchten, en 14% van het kansrijke segment vluchten tot 1,500 km.

Tabel S1 Aantal routes (van segment 1,500 km vluchten) dat vervangen kan worden op Schiphol door elektrische of waterstofvluchten, en additionele routes met elektrische vliegtuigen

	Scenario 1 toestellen 9-30 passagiers			Scenario 2 middelgrote toestellen		
	(Deels) vervangen routes*	Vervangen vliegbewegingen*	Additionele routes	(Deels) vervangen routes**	Vervangen vliegbewegingen**	Additionele routes
Elektrisch	0	0	1	43	16,500	28 ⁴
Waterstof	0	0	-	80	23,000	-

* % t.o.v. het netwerk binnen het gestelde maximum bereik per energiedrager (400km elektrisch, 500 km waterstof)

** % t.o.v. het netwerk binnen het gestelde maximum bereik per energiedrager (800km elektrisch, 1500 km waterstof)

Beide scenario's zullen geen effecten op regionale luchthavens hebben omdat zij vliegtuigen met een capaciteit groter dan 90 stoelen afhandelen. Deze kunnen nog niet vervangen worden door batterij-elektrisch of waterstof binnen de kaders van deze studie.

medische evacuatie, landbouwvluchtvaart en sport- en recreatievluchten. GA wordt meestal uitgevoerd met kleinere vliegtuigen, helikopters en business jets en speelt een belangrijke rol in mobiliteit, regionale connectiviteit en economische activiteiten.

⁴ Er zou vraag kunnen zijn voor additionele routes met minimaal een 9-zitter, maar die worden economisch en operationeel niet realistisch geacht vanwege de beperkingen op Schiphol waardoor lijnen met kleinere toestellen minder haalbaar zijn.

In het [Caribische deel van het Koninkrijk](#) is er naar verhouding [meer potentie](#) om vluchten [één-op-één](#) te [vervangen](#), en kunnen er ook meer nieuwe (elektrische) routes worden geopend. Omdat het eilanden zijn, is er geen modal-shift naar weg- en spoorverkeer. Op St. Eustatius zouden alle commerciële vluchten (in 2024) één-op-één kunnen vervangen kunnen worden door volledig batterij-elektrische of waterstofvliegtuigen, wat zou neerkomen op honderden tot maximaal enkele duizenden vluchten per jaar.

Daarnaast is er netwerk-potentie om elf nieuwe routes te openen; als vervanging van de huidige langere [hub-and-spoke](#) connectiviteit. Op Aruba, Bonaire en Curaçao vormen de inter-eiland vluchten, een significant deel van het aantal vliegbewegingen (>60%), ze zijn zo ook interessant voor één-op-één vervanging door elektrische dan wel door waterstofvliegtuigen. Op Aruba zien we het grootste besparingspotentieel op reistijd bij invoering van elektrisch vliegen. Op St. Maarten zijn minder vliegbewegingen die vervangen kunnen worden (iets meer dan 20%). Voor het hele Caribische deel van het Koninkrijk gaat het in totaal om een [vervangingspotentieel van duizenden vluchten per jaar](#).

Geschatte maatschappelijke impact

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de geschatte directe en indirecte maatschappelijke effecten van de inzet van deze twee duurzame technologieën. Directe effecten hebben met name betrekking op (kortere) reistijden en lagere exploitatiekosten. Indirecte effecten zijn deels economisch van aard en hebben deels betrekking op klimaat- en omgevingseffecten. Waar mogelijk zijn de effecten gekwantificeerd (in euro).⁵

Voor Nederland zouden de jaarlijkse maatschappelijke baten kunnen oplopen tot € 61 mln (het gaat hierbij uitsluitend om scenario 2, scenario 1 is niet relevant voor Schiphol). Duurzame vliegtuigen zouden in het Caribisch deel van het Koninkrijk ca. € 8 mln. (scenario 1) aan jaarlijkse maatschappelijke baten kunnen opleveren.

Reistijdeffecten

Door de nieuwe directe verbindingen (die voorheen enkel economisch te opereren waren middels een tussenstop) die met elektrische vliegtuigen in het Caribisch gebied mogelijk worden, kunnen passagiers profiteren van [kortere vluchttijden](#). Deze gelden zowel voor scenario 1 als scenario 2. Voor Schiphol (scenario 2) zijn deze effecten beperkt vanwege het uitgebreide directe netwerk.

Exploitatieresultaat

Het exploitatieresultaat van luchthavens, luchtvaartmaatschappijen en de maakindustrie kan verbeteren omdat exploitatiekosten (OPEX) voor volledig elektrische vliegtuigen mogelijk lager zijn dan bij traditionele vliegtuigen, en CO₂-emissievrije vluchten een voordeel opleveren door het ontbreken van ETS verplichtingen. ETS is het Europese handelssysteem in CO₂. Luchtvaartmaatschappijen moeten certificaten verwerven op de ETS-markt. De besparing is onzeker, daarom zijn deze effecten kwalitatief geduid.

Indirecte effecten

⁵ Op basis van kengetallen van Maatschappelijke Kosten-Batenanalyses

Werkgelegenheid en innovatie

De introductie van duurzame luchtvaarttechnologieën creëert **nieuwe banen** in de vliegtuiproductie, de onderliggende innovatie, het onderhoud en de uitbreiding van de energievoorziening. Nederland zou kunnen profiteren van een voortrekkersrol in de ontwikkeling van deze technologieën, omdat Nederlandse kennisinstellingen een goede positie hebben in de ontwikkeling naar elektrische en waterstof aangedreven vliegtuigen. In het Caribisch gebied kunnen verbeterde luchtverbindingen een positief effect hebben op de arbeidsmarkt, vooral door een toename van het toerisme en in de logistiek. Het biedt bij uitstek de gelegenheid voor een eerste implementatie van (hybride)elektrische luchtvaart.

Agglomeratie-effecten

Elektrisch vliegen of op waterstof kan nieuwe markten ontsluiten en de concurrentiepositie van luchthavens versterken. Dit geldt vooral voor het Caribisch gebied, waar **bewoners en toeristen**, als gevolg van de **verbeterde connectiviteit** sneller en milieuvriendelijker tussen de eilanden reizen.

Tabel S2 Overzicht van **jaarlijkse maatschappelijke effecten** (in mln. euro)

Maatschappelijke effecten	Caribisch deel van het Koninkrijk		Nederland	
	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
Directe effecten				
Reistijdeffecten (connectiviteit), waarvan:	€ 6	€ 11	€ 0	€ 2
- reistijd vliegtuig	€ 1	€ 3	€ 0	€ 0
- wachttijd lay-over	€ 5	€ 8	€ 0	€ 2
Exploitatieresultaat, van:				
- luchthavens	-	-	-	+
- luchtvaartmaatschappijen	-	+	-	+
- maakindustrie	0	0	+	+
Indirecte effecten				
Werkgelegenheid (in FTE)	+	+	+	+
Agglomeratie-effecten (toerisme en handel)	+	+	+	+
Verdienvermogen (o.a. export)	0	0	+	+
Klimaat effecten en omgevingseffecten				
Broeikasgasemissies (CO ₂ -emissies)	€ 1	€ 5	€ 0	€ 0
Niet-CO ₂ klimaat effecten	€ 1	€ 1 - 16	€ 0	€ 58
Luchtkwaliteit (stikstof)	€ 0	€ 0	€ 0	€ 1
Geluid	+	+	0	+
Natuur	PM	PM	PM	PM
Totale maatschappelijke effecten	€ 8	€ 16 - 32	€ 0	€ 61

Kosten en investeringsbehoefte

De investeringskosten voor aanpassing infrastructuur, zoals laadstations, waterstofopslag en luchthaventechologie zijn omvangrijk. De (eenmalige) kapitaaluitgaven (**CAPEX**) omvatten de ontwikkeling en aanschaf van **nieuwe vliegtuigen**, luchthaven-aanpassingen en **infrastructuurinvesteringen**.

Verschillende toeleveranciers (OEM's) investeren nu al miljarden in waterstof- en elektrische vliegtuigen. De verwachte verkoopprijs van een passagiersvliegtuig op batterijen hangt af van verschillende factoren, zoals grootte, bereik, batterijtechnologie en productievolume. Op basis van huidige industrie-inschattingen en aankondigingen van vliegtuigfabrikanten kan een inschatting gemaakt worden dat verkoopprijzen rond 10-20 mln. kunnen liggen voor kleine toestellen (9-20 zitters), oplopend tot € 15-20 mln. voor grotere capaciteiten (30 stoelen) en € 20-60 mln. voor capaciteiten boven de 50 stoelen. Zeker als de range ook moet toenemen kan de kost geschat worden op ruim deze bedragen. De kosten voor retrofitting dan wel een geheel nieuw toestel kunnen voor luchtvaartmaatschappijen ook al oplopen van €10 mln. tot € 30 mln. per waterstoftoestel (Destination 2050).

Factoren die de prijs beïnvloeden zijn batterijkosten (belangrijke kostenfactor, maar deze zullen dalen met verbeteringen in solid-state en energie-dichte batterijen), certificering (kunnen de initiële prijs opdrijven) en schaalvoordelen (de eerste generatie modellen zal duurder zijn; prijzen kunnen dalen bij grootschalige productie).

Daarnaast vergen de nieuwe toestellen ook aanpassingen aan de infrastructuur welke kosten met zich meebrengen. Elektrische laadpalen worden momenteel geschat op zo'n 1,7-2,5 miljoen euro per megawatt (Driessen & Hak 2021, 2 miljoen euro per megawatt (van Oosterom 2021)), met hogere kosten voor het aanleggen van de waterstofinfrastructuur.

De exploitatiekosten (OPEX) zijn voor elektrische toestellen mogelijk lager dan bij traditionele vliegtuigen door mogelijk lagere onderhoudskosten. De gebruikers zullen mogelijk besparen op de kosten gerelateerd aan het Europese EU Emissions Trading System (EU ETS) voor CO₂-uitstoot. Luchtvaartmaatschappijen hebben mogelijk een [besparing op hun brandstofkosten](#) door inzet van deze duurzame vliegtuigen. Waterstofvliegtuigen brengen zoals aangegeven waarschijnlijk hogere onderhoudskosten met zich mee en ook de brandstof is duurder dan conventionele brandstof. Deze [onzekere onderhoudskosten](#) zouden tot ca. 50% meer kunnen bedragen dan voor conventionele toestellen (McKinsey & Company, 2020).

[Klimaat effecten](#)

In Scenario 1 kunnen een beperkt aantal korte afstandsvluchten geëlektrificeerd worden. Dat leidt tot bescheiden CO₂-reductie. In Scenario 2 komen meer vluchten in aanmerking, met langere afstanden per vlucht. Dat kan leiden tot een grotere emissievermindering met een reductie potentieel, op het segment vluchten tot 1500 km, van maximaal [9% voor CO₂](#) en [7% voor NO_x](#). uitstoot. Ook de [niet-CO₂-klimaat effecten](#) nemen af met ca. 10%.

In het [Caribisch deel van het Koninkrijk](#) leidt de vervanging van conventionele vluchten (scenario 1) tot een reductiepotentieel van [10% CO₂](#) en 6% NO_x. Bij realisatie van [Scenario 2](#) kan de reductie oplopen tot [30% voor CO₂](#) en 22% voor NO_x. [Niet-CO₂-klimaat effecten](#) nemen af, in verhouding tot de CO₂ reductie.

[Lucht kwaliteit](#)

Duurzame luchtvaarttechnieken dragen bij aan [schonere lucht](#). In het Caribisch gebied kan de NO_x-uitstoot van de 'Landing and Take-off' (LTO)-cycli afnemen met 16-21% in scenario 1 en tot 32% in scenario 2. Voor Nederland is de reductie beperkter, met 6% in scenario 2. Elektrische vluchten elimineren directe NO_x- en fijnstofemissies. Met de inzet van zwaardere elektri-

sche vliegtuigen kan lokaal extra uitstoot van fijnstof ontstaan door meer slijtage van banden en landingsbanen

Geluidseffecten

Het wordt verwacht dat elektrische en waterstofvliegtuigen **minder geluid** produceren dan conventionele toestellen. In het Caribisch gebied is dit beter merkbaar dan in Nederland doordat het aantal vliegbewegingen dat vervangen kan worden groter is ten opzichte van het totale verkeer. In Nederland is het effect beperkt omdat grotere toestellen dominant blijven.

Natuur en ruimtegebruik

De impact op **natuur** en ruimte verschilt per regio. In Nederland draagt de luchtvaart slechts weinig bij aan stikstofdepositie en heeft reductie beperkt impact. In het Caribisch gebied is er minder uitstoot van stikstof uit andere bronnen en heeft een reductie van de emissies uit de luchtvaart positieve effecten op kwetsbare ecosystemen zoals koraalriffen en mangroven.

De transitie naar duurzame luchtvaart brengt **ruimtelijke uitdagingen** met zich mee. Vooral op eilanden kan de infrastructuur voor waterstofproductie (Clean Sky 2, 2020⁶) en elektrische netwerken concurreren met andere vormen van landgebruik. De afhankelijkheid van hernieuwbare energie wordt cruciaal. De grootschalige inzet van waterstof en elektriciteit in de luchtvaart vraagt om voldoende energie (EASA, 2022⁷; IATA, 2021⁸) en daar zal concurrentie met andere sectoren zoals industrie en huishoudens in zijn.

Daarnaast heeft de productie van batterijen en waterstof aanzienlijke **milieueffecten** binnen de **supply chains**. Dit proces vergt grote hoeveelheden grondstoffen en is energie-intensief, wat kan leiden tot extra ecologische druk (EEA, 2020⁹).

Inzichten

De overstap naar waterstof en elektrisch vliegen vraagt om een gecoördineerde aanpak tussen overheden, industrie en investeerders om zowel de economische als maatschappelijke voordelen optimaal te realiseren. In Nederland ligt er ook een kans voor het technologisch onderzoek, het opschalen van startups in duurzame technologieën en het prioritair toedelen van slots aan duurzame luchtvaartmaatschappijen. In het Caribisch gebied kunnen verbeterde luchtverbindingen de arbeidsmarkt stimuleren, vooral in sectoren als toerisme en logistiek. Het **rapport Electric flight in the Kingdom of the Netherlands**¹⁰ identificeert het Caribisch gebied al met een verduurzamingspotentieel.

Vier typen stakeholders die een cruciale rol spelen in een succesvolle implementatie van waterstof- en batterij-elektrisch vliegen zijn de (Nederlandse) luchtvaartmaatschappijen, luchthavens, vliegtuigbouwers en luchtvaart autoriteiten. Zij werken in een ecosysteem dat in volgende figuur is verbeeld. Deze figuur illustreert de samenhang van onderwijs (trainingen, kennisdeling), infrastructuur (elektrisch netwerk, faciliteiten voor waterstof) en economische keuzes (transportkeuzes). Veel zal in de komende jaren afhangen van de technologische

⁶ Clean Sky 2 (2020). Hydrogen-Powered Aviation: A Fact-Based Study of Hydrogen Technology, Economics, and Climate Impact.

⁷ EASA (2022). *Environmental Report 2022*. European Union Aviation Safety Agency.

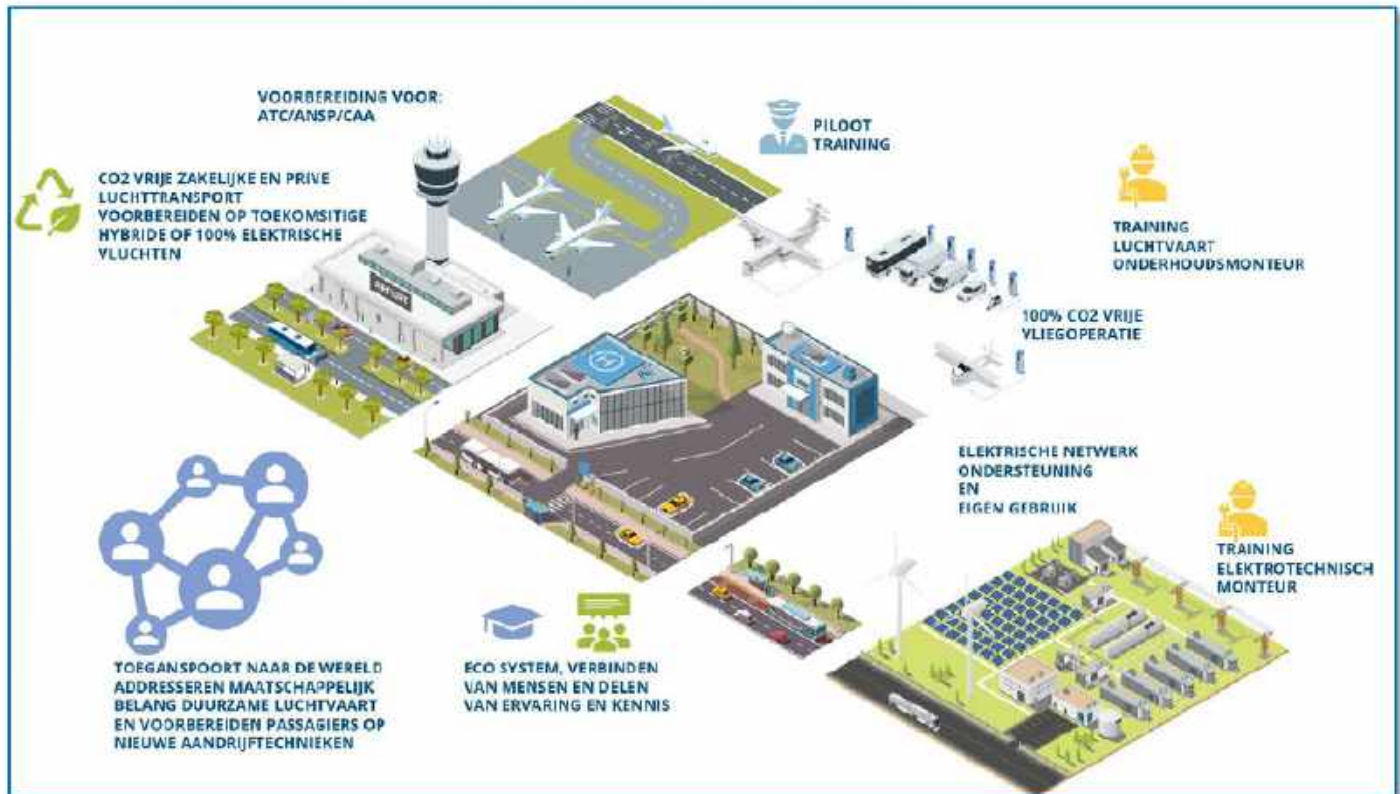
⁸ IATA (2021). *Net Zero Roadmap*. International Air Transport Association

⁹ EEA (2020). *The Environmental Impact of Electric Batteries*. European Environment Agency.

¹⁰ <https://open.overheid.nl/repository/ronl-f5b5b66a0570563a5c5051b74919618f7ea39468/1/pdf/bijlage-2-roadmap-electric-flight-naco-nlr-report.pdf>

ontwikkeling, de prijsstelling van de technologieën en de vraag ernaar door luchtvaartmaatschappijen en luchthavens. De transitie omvat tal van facetten die sector overstijgend zijn. Bijvoorbeeld tussen energievoorziening en luchtvaart. Tussen onderwijs, R&D en industrie. Afstemming tussen partijen is cruciaal, bijvoorbeeld tussen luchthavens en luchtvaartmaatschappijen, en ook tussen onderwijs en maakindustrie, en met de energieproducenten.

Figuur S1: Luchthaven als centrale plaats voor duurzaamheidspotentieel



Inhoudsopgave

Managementsamenvatting	3
Resultaten.....	4
Leeswijzer	11
 1 Methodiek: verkenning van kansen en kwantificering effecten	12
1.1 Twee technologische scenario's als verkenning.....	12
1.2 Referentie: het 2024 netwerk als basis.....	18
1.3 Bepalen van omgeving- en klimaateffecten	23
1.4 Externe en indirecte effecten	28
 2 Verkenning impact op Nederland	33
2.1 Belanghebbenden in de business case duurzame luchtvaart	33
2.2 Referentie en twee scenario's voor Nederland.....	41
2.3 Impact op klimaat en omgeving	47
2.4 Indirecte effecten.....	53
 3 Verkenning impact op Caribisch deel van het Koninkrijk	58
3.1 Belangrijke belanghebbenden in de business case duurzame luchtvaart Caribisch deel van het Koninkrijk.....	58
3.2 Referentie en twee scenario's voor het Caribische deel van het Koninkrijk...	68
3.3 Impact op klimaat en omgeving	83
3.4 Indirecte effecten.....	89
 4 Resultaten en inzichten	93
Inzichten	93
Samenvattend.....	99
 Appendix A – Resultaten connectiviteitsanalyse.....	100
 Appendix B – Stakeholderanalyse	113
 Appendix C – Kaarten Natuurgebieden	117
 Appendix D – MKBA-methodiek als basis	120

Leeswijzer

In [hoofdstuk 1](#) wordt de aanleiding en de vraagstelling van de studie toegelicht. De methodiek bestaat uit het in beeld brengen van de kansen voor duurzame luchtvaart en hoe de effecten worden gemeten.

[Hoofdstuk 2](#) beschrijft de belanghebbenden van duurzame luchtvaart in Nederland. Als uitgangspunt wordt het netwerk in 2024 beschreven. Daarna worden twee scenario's met verduurzaming van korte en middellange vluchten met potentie voor 1-1 vervanging toegelicht. Ook wordt de impact op connectiviteit bekeken, waarbij zowel bestaande als potentiële nieuwe routes worden geanalyseerd. Eventuele reistijdwinst en verbeterde bereikbaarheid komen hier ook aan bod.

[Hoofdstuk 3](#) richt zich op het Caribisch deel van het Koninkrijk en wat daar nodig is om tot duurzame luchtvaart te komen. Dezelfde analyses als in hoofdstuk 2 worden hier uitgevoerd met andere uitkomsten dan het vasteland van Nederland.

In [hoofdstuk 4](#) worden de belangrijkste resultaten en inzichten van de studie gepresenteerd. De mogelijke implicaties om de transitie naar duurzame luchtvaart te maken, worden besproken.

De [appendices A](#) tot en met D bevatten aanvullende informatie ter ondersteuning van het rapport. Deze omvatten methodologische toelichting, gedetailleerde resultaten van de analyses en kaarten van relevante natuurgebieden. Deze bijlagen bieden extra verdieping voor lezers die specifieke aspecten van de studie verder willen bestuderen.

1 Methodiek: verkenning van kansen en kwantificering effecten

De luchtvaartsector staat wereldwijd voor de uitdaging om te verduurzamen. En de transitie om de uitstoot te verminderen gaat gepaard met het accommoderen van de groeiende vraag naar luchtvervoer. Innovatieve technologieën, zoals waterstof- en batterij-elektrische vliegtuigen, bieden mogelijk op middellange termijn veelbelovende perspectieven om duurzamer te opereren. Deze technologieën hebben effecten voor werkgelegenheid, connectiviteit en de directe leefomgeving. En er zijn vraagstukken voor op het gebied van economische haalbaarheid, beleidsvorming en technische innovatie. Het punt op de horizon is gezet, maar het pad ernaartoe is nog onzeker.

- In dit onderzoek is het doel gesteld de maatschappelijke baten van waterstof en elektrisch vliegen te verkennen en kwantificeren (uit te drukken in Euro's).

Het richt zich specifiek op wat zowel Nederland als het Caribisch deel van het Koninkrijk kan verwachten. Gezien de unieke kenmerken en uitdagingen van deze twee contexten worden ze afzonderlijk geanalyseerd, met dezelfde maatstaven.

Deze verkennende studie heeft als doel inzicht te verkrijgen in de volgende kernvragen:

- Welke maatschappelijke kosten en baten brengen waterstof- en batterij-elektrische vliegtuigen met zich mee, zoals op het gebied van werkgelegenheid, emissies en connectiviteit? We beoordelen impacts op stakeholders en hun rol in de business case.
- Wat zijn de gevolgen op de leefomgeving, zoals geluidsoverlast, luchtkwaliteit en ecologie? Die zetten we ook om in maatschappelijke effecten met gekende MKBA-kengetallen.
- Wat zijn de economische kansen, zoals voordelen voor toerisme en handel, en hoe kan een haalbare business case voor stakeholders worden voorbereid?

Met deze analyse wordt beoogd samenwerkingspartners en beleidsmakers een beter begrip te bieden van de potentie en uitdagingen van deze duurzame luchtvaarttechnologieën. Dit inzicht ondersteunt de beleidsvorming en investeringsbeslissingen.

1.1 Twee technologische scenario's als verkenning

De luchtvaartsector werkt aan verschillende technologische innovaties. Om de luchtvaart stiller en schoner te maken zijn de volgende innovaties van belang: batterij-elektrisch vliegen, vliegen op waterstof en SAF.

In deze studie ligt de **focus** uitsluitend op volledig **batterij-elektrische en waterstoftechnologieën**, omdat deze volledig duurzame alternatieven kunnen bieden. SAF wordt buiten beschouwing gelaten, omdat het direct toepasbaar is in de huidige luchtvaart, en daarnaast nog

steeds een aanzienlijke klimaatimpact heeft tijdens de verbranding. Hybride technologieën, die een combinatie vormen van batterijen en waterstof met conventionele brandstoffen, zijn niet meegenomen omdat er nog altijd uitstoot zal zijn. Deze hybride technologieën zijn slechts gedeeltelijk duurzaam en passen niet binnen de focus op volledig emissievrije alternatieven.

In de volgende paragrafen worden de kenmerken van batterij-elektrische en waterstoftechnologie in de luchtvaart besproken. De range en capaciteiten van deze technologische ontwikkelingen zijn nog niet op realistische testen gegrond. Op basis van de huidige kennis zijn aannames over elektrisch en waterstofvliegen gemaakt en zijn twee scenario's ontwikkeld.

Omdat de technologische mogelijkheden en capaciteiten nog onzeker zijn, vormen de twee specifieke scenario's een verkenning. Als de technologische inzichten veranderen, bv. grotere stoelcapaciteit of een andere range, dan kan de verkenning tot andere resultaten leiden.

1.1.1 Technologische outlook, met kennis van 2024

Doorkijk naar batterij-elektrische luchtvaarttechnologie

Net zoals in de auto-industrie is er binnen de luchtvaart een groeiende focus op elektrificatie van de aandrijving. Bij de volledig batterij-elektrische technologie wordt alle benodigde energie voor een vlucht opgeslagen in een accu, ofwel batterij.

De huidige technologische ontwikkelingen richten zich voornamelijk op de kleine luchtvaart, General Aviation¹¹, met een focus op korte afstandsvluchten. Momenteel worden deze batterij-elektrische vliegtuigen zeer beperkt gebruikt voor opleidingsvluchten.

In de nabije toekomst, tot 2035, wordt verwacht dat de luchtvaartsector zich richt op de ontwikkeling van elektrische en hybride-elektrische vliegtuigen voor korte afstanden. Deze toestellen zullen naar verwachting een bereik hebben tot ongeveer 500 kilometer en plaats bieden aan maximaal 9 passagiers. Ze zijn met name geschikt voor regionale verbindingen, 'short haul en regional' genoemd¹², en kunnen bijdragen aan een vermindering van CO₂-uitstoot en geluidsoverlast.

Een ambitieuzer voorbeeld is fabrikant [Elysian](#), die werkt aan een vliegtuig met een bereik van 800 kilometer en een capaciteit van 90 stoelen. Dit zou een significante stap voorwaarts betekenen voor de regionale luchtvaart, aangezien het grotere afstanden kan overbruggen en meer passagiers kan vervoeren.

Een belangrijk [voordeel](#) van volledig batterij-elektrische vliegtuigen is dat ze geen directe emissies gedurende de vlucht veroorzaken en dat ze naar verwachting lagere operationele

¹¹ General Aviation (GA) verwijst naar alle burgerluchtvaart buiten de commerciële lijndiensten en militaire operaties. Dit omvat een breed scala aan luchtvaartactiviteiten, zoals privévluchten, zakenvluchten, vliegtraining, luchtfotografie, medische evacuaties, landbouwluchtvaart en sport- en recreatievluchten. GA wordt meestal uitgevoerd met kleinere vliegtuigen, helikopters en business jets en speelt een belangrijke rol in mobiliteit, regionale connectiviteit en economische activiteiten.

¹² Volgens IATA worden vluchten als short-haul beschouwd tot ca. 1.500 km, medium-haul tussen 1.500-4.000 km en long-haul vanaf 4.000 km. Regionale vluchten vallen doorgaans onder short-haul en bestrijken afstanden tot ca. 800 km. Het is belangrijk op te merken dat er geen uniforme standaard bestaat voor deze classificaties; verschillende organisaties en luchtvaartmaatschappijen kunnen afwijkende definities hanteren.

kosten hebben dan vliegtuigen die op kerosine vliegen. Dit komt door de verwachte lagere onderhoudskosten en de lagere energieprijzen ten opzichte van kerosine. Hoewel exacte cijfers van vliegtuigfabrikanten momenteel ontbreken, wordt verwacht dat de [kostenbesparing](#) op den duur kan leiden tot lagere ticketprijzen in vergelijking met conventionele vluchten¹³. Dit biedt voordelen voor passagiers en opent ook een markt voor nieuwe routes. Vooral verbindingen die met traditionele kerosinevliegtuigen economisch niet haalbaar zijn, zouden met batterij-elektrische vliegtuigen wel rendabel kunnen worden.

Ten tijde van schrijven heeft CE Delft een onderzoek uitgevoerd getiteld 'Climate Change Impact Analysis of Electric Aviation'¹⁴. Deze analyse concentreert zich grotendeels op de klimaatinvloeden van elektrisch aangedreven vliegtuigen, maar maakt vergelijkbare marktanalyse. 'This analysis shows that the application of electric aviation can make a considerable contribution to reducing climate change impacts on the sector in which short haul flights are responsible for 19% of total emissions.'

Naast volledig batterij-elektrische vliegtuigen worden hybride batterij-elektrische vliegtuigen ontwikkeld. Hierbij wordt naast de batterij een andere energiedrager gebruikt voor de voortstuwing van het vliegtuig. Als dat conventionele brandstoffen zijn, dan leidt dat tot uitstoot van emissies. Omdat deze studie zich focust op volledig duurzame alternatieven worden de karakteristieken van hybride batterij-elektrische vliegtuigen niet verder meegenomen.

De ontwikkeling en implementatie van dergelijke technologieën brengt aanzienlijke [uitdagingen](#) met zich mee. Volgens experts van de TU Delft is het waarschijnlijk dat na 2030 elektrisch vliegen op de markt komt. Er zijn nog beperkingen in batterijtechnologie en het gewicht van batterijen. Bovendien wordt verwacht dat in 2050 slechts 2% van het energieverbruik in de commerciële luchtvaart afkomstig zal zijn van elektriciteit, terwijl kerosine (al dan niet met bijmengen van SAF) de voorkeur blijft houden voor langeafstandsvluchten vanwege de hoge energiedichtheid. Daarnaast benadrukt een rapport van Deloitte¹⁵ dat de transitie naar duurzame luchtvaarttechnologieën tijd en aanzienlijke investeringen vergt. De implementatie van elektrische vliegtuigen zal waarschijnlijk geleidelijk verlopen, met een focus op korte afstandsvluchten en regionale routes.

Technische uitdagingen zijn:

- Batterijen kunnen per kilogram minder energie opslaan dan kerosine, waardoor [vliegtuigen zwaarder](#) worden bij dezelfde energiebehoefte. Dit hogere gewicht beperkt zowel de passagiers- en vrachtcapaciteit als het maximale vliegbereik van batterij-elektrische vliegtuigen.
- Tegelijkertijd biedt de elektrische aandrijving wel een [hogere efficiëntie](#) dan conventionele straalmotoren. Ondanks dit, zal het totale startgewicht van batterij-elektrische vliegtuigen wel hoger liggen dan conventionele vliegtuigen, wat een barrière vormt voor luchthavens met een korte landingsbaan.

Daarnaast weegt een lege batterij evenveel als een volle. Dat vormt een beperkende factor voor de hoeveelheid passagiers die over een bepaalde afstand vervoerd kan worden. Toestellen aangedreven door traditionele fossiele brandstoffen verbranden deze tijdens de

¹³ [About Us – Eviation](#)

¹⁴ [Climate Change Impact Analysis of Electric Aviation - CE Delft - EN](#)

¹⁵ [Het Europese luchtvaartlandschap in 2040 | Deloitte Nederland](#)

vlucht, waardoor deze lichter wordt gedurende de vlucht. In het geval van elektrische aandrijving zal het landingsgestel en structuur van het toestel zwaarder uitgevoerd zijn vanwege het hogere landingsgewicht, wat ten koste gaat van de effectieve lading die kan worden meegenomen.

Samenvattend, hoewel er veelbelovende ontwikkelingen zijn in elektrische luchtvaarttechnologieën voor korte afstanden, zullen grootschalige implementatie waarschijnlijk pas op de langere termijn gerealiseerd worden. Met een actuele blik op kansrijke initiatieven mag een bereik van ca. 400-500 km kan verwacht worden voor elektrisch vliegen, op de horizon 2030-2040. Veel zal afhangen van de combinatie bereik en zitcapaciteit. Deze zijn vaak in conflict met elkaar. De huidige verwachtingen zijn in de volgende tabel samengevat.

Figuur 1.1 Voorbeelden volledig batterij-elektrische vliegtuigen momenteel in ontwikkeling

Toekomstig elektrisch toestel	Bereik (km)	Aantal passagiers	Verwachte certificatie
Eviation Alice ^{16*}	460	9	2027
Elysian E9X ¹⁷	800	90	2033
Heart Aerospace ES-30 ^{18**}	200	30	2029
Vaeridion Microliner ¹⁹	500	9	2029
Embraer E9-FE ²⁰	370	9	2035

* Ten tijde van de publicatie van dit rapport heeft Eviation een orderboek van ca. 5 Mld. USD. Echter, op dit moment pauzeert Eviation de verdere ontwikkeling van het toestel.

** Dit vliegtuig wordt ontwikkeld als hybride toestel, maar de fabrikant specificeert wel een volledig batterij-elektrisch bereik. De hybride specificaties zijn voor deze studie niet meegenomen.

Doorkijk op luchtvaart en waterstoftechnologie

Waterstof wordt beschouwd als een veelbelovende alternatieve brandstof voor de luchtvaart, mede dankzij de hogere energiedichtheid (per kilogram) in vergelijking met kerosine. Het is een andere techniek dan de batterij-elektrische toestellen. Om waterstof effectief te kunnen opslaan en gebruiken, moet het in vloeibare vorm worden gehouden. Dit vereist koeling onder hoge druk, wat complexe, technische innovatie met zich meebrengt. Bovendien is waterstof licht ontvlambaar, waardoor strenge veiligheidsprotocollen en uitgebreide tests noodzakelijk zijn voordat de technologie veilig en gecertificeerd kan worden ingezet in de luchtvaart.

Waterstof kan op verschillende manieren worden toegepast:

- **Brandstofceltechnologie:** Waterstof wordt omgezet in elektriciteit via een brandstofcel, die vervolgens elektrische motoren aandrijft.
- **Directe verbranding:** Waterstof kan direct worden verbrand in een aangepaste straalmotor, waarvoor modificaties aan de huidige generatie motoren nodig zijn.

¹⁶ <https://www.eviation.com/aircraft/>

¹⁷ <https://www.elysianaircraft.com/>

¹⁸ <https://heartaerospace.com/es-30/>

¹⁹ <https://vaeridion.com/>

²⁰ <https://embraercommercialaviationsustainability.com/wp-content/uploads/2021/11/Spec-Energia-Electric.pdf>

Waterstoftechnologie bevindt zich nog voornamelijk in de testfase, maar het is een veelbelovende oplossing. In de komende twintig jaar zal de nadruk liggen op het aanpassen van bestaande vliegtuigen, ook wel retrofitting genoemd, door ze uit te rusten met waterstofsyste men. Dit biedt een snellere manier om waterstoftechnologie op grotere schaal te implementeren, zonder de noodzaak om geheel nieuwe vliegtuigen te ontwikkelen. Het aanpassen van bestaande modellen maakt het mogelijk om de infrastructuur en technologie op kleinere schaal in te voeren, voordat volledig nieuwe ontwerpen op de markt komen. Deze benadering zal waarschijnlijk de overgang naar waterstof aangedreven luchtvaart versnellen.

Een concrete voorloper is [ZeroAvia²¹](#), een pionier in waterstof-aangedreven luchtvaart. ZeroAvia heeft al een 19-zitter ontwikkeld die gebruik maakt van waterstof als brandstof, met een bereik van ongeveer 550 kilometer. Dit toestel is gericht op korte afstands vluchten, een belangrijk segment voor waterstof, aangezien de energiebehoefte voor langere afstanden met de huidige waterstoftechnologie nog te groot is. De fabrikant [test](#) dit vliegtuig momenteel en hoopt dat het in de komende jaren operationeel zal zijn. Een succesvolle test en het verkrijgen van een marktaandeel vormen een opstap in de richting van grotere commerciële waterstof-vliegtuigen.

De [Eviation Alice²²](#) is een volledig elektrisch passagiersvliegtuig, ontworpen voor korte afstands vluchten tot 1.000 kilometer. Het toestel biedt plaats aan negen passagiers; het heeft een voorziene snelheid van 460 km/u. Zo biedt het een alternatief voor regionale turboprops en is het gericht op regionale vluchten en korte routes die normaal gesproken worden uitgevoerd met bijvoorbeeld een Cessna Caravan of Beechcraft King Air. De eerste testvlucht vond plaats in september 2022, en actueel zijn er ca. 600 orders²³ geplaatst voor 5 Mld. USD.

[Airbus](#) heeft ambitieuze plannen voor de toekomst van waterstof in de luchtvaart. Het bedrijf heeft eerder aangekondigd dat het tegen 2035 een waterstof aangedreven vliegtuig op de markt te willen brengen. Recent is deze outlook bijgesteld²⁴ en zal de vermarkting vertraging opleveren. Airbus werkt aan verschillende ZEROe concepten, variërend van kleinere regionale vliegtuigen tot grotere commerciële toestellen. De verwachting is dat het kleinste model, gericht op korte- en middellangeafstands vluchten, als eerste beschikbaar zal zijn. Dit toestel, dat een bereik van ongeveer 2.000 kilometer kan hebben, zou de eerste stap zijn naar bredere acceptatie van waterstof in de luchtvaart.

Hoewel waterstof veelbelovend is, zijn er nog aanzienlijke [uitdagingen](#) te overwinnen. De opslag van waterstof in vliegtuigen, het ontwikkelen van geschikte brandstofcellen en de bouw van de benodigde infrastructuur op luchthavens zijn allemaal aspecten die de implementatie vertragen. Bovendien moet de kostenstructuur van waterstof, zowel voor de technologie als voor de brandstof, concurreren met die van traditionele brandstoffen zoals kerosine.

²¹ [Home - ZeroAvia](#)

²² <https://www.eviation.com/>

²³ [UrbanLink orders up to 20 Eviation Alice electric aircraft](#)

²⁴ [Airbus stelt waterstofvliegtuig met vijf tot tien jaar uit | Luchtvaartnieuws](#)

In tegenstelling tot batterij-elektrische vliegtuigtechnologie wordt er voor waterstofvliegtuigtechnologie op dit moment nog verwacht dat dit *niet leidt tot betere exploitatie*. Dit is vooral gedreven door de hogere verwachte kosten van waterstof als energiedrager, ook nog in de toekomst.^{25,26} Waar batterij-elektrische vliegtuigen dus mogelijk nieuwe routes/markten zouden kunnen bedienen vanuit een kostenperspectief, zal dit voor waterstof minder kansen bieden op basis van de huidige kennisgeving rondom waterstof. De volgende tabel geeft een overzicht van de huidige inzichten over de productie van toestellen op waterstof.

Figuur 1.2 Voorbeelden van waterstofvliegtuigen die momenteel in ontwikkeling zijn

Toekomstig waterstofvliegtuig	Bereik (km)	Aantal passagiers	Verwachte eerste test(vlucht)
ZeroAvia ²⁷	550	19	2025 (retrofit)
ZeroAvia	1,850	50-90	2027 (retrofit)
Airbus ZEROe ²⁸	1,850	<100	2035

Er is wereldwijd veel aandacht voor waterstof als toekomstig alternatief voor fossiele brandstoffen. Als deze tests en ontwikkelingsprojecten succesvol zijn, zou waterstoftechnologie de komende decennia de luchtvaartsector aanzienlijk kunnen transformeren. Op de langere termijn, 2040-2050, zou deze technologie kunnen doorbreken. Dit zou ook kunnen resulteren in een alternatief aanbod voor middelgrote toestellen met een zitcapaciteit van 50-100 stoelen. Daarna kan verwacht worden dat ook grotere toestellen op de markt komen.

1.1.2 Twee scenario's als handvat voor de verkenning

Er zijn voor dit onderzoek twee verkennende scenario's opgesteld met kleine en middelgrote toestellen. Beide scenario's gaan uit van een verkenning met of batterij-elektrische of waterstofvliegtuigen. Deze is gebaseerd op realistische, maar onzekere, inzichten in huidige technologische vooruitgang en gepubliceerde specificaties van vliegtuigfabrikanten.

Daarbij wordt aangenomen dat vliegtuigen met de gespecificeerde kenmerken in een bepaald jaar operationeel zijn. Deze jaartallen zijn essentieel voor het verder verkennen van maatschappelijke effecten. Het gaat hierbij niet om een exacte voorspelling, maar om een verkenning op basis van technologische trends en beschikbare data.

De scenario's worden in dit onderzoek vergeleken met een referentiescenario, de status van de netwerken van Nederland en de Cariben in 2024, om de impact op verschillende aspecten te beoordelen, zoals connectiviteit, infrastructuur, geluid, klimaat, economie en werkgelegenheid.

²⁵ <https://www.lazard.com/research-insights/levelized-cost-of-energy-levelized-cost-of-storage-and-levelized-cost-of-hydrogen-2021/>

²⁶ [Green hydrogen will be far more expensive than previously thought up to 2050: BloombergNEF | Hydrogen Insight](https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-09-01-green-hydrogen-will-be-far-more-expensive-than-previously-thought-until-2050-bloomberg-nef-hydrogen-insight)

²⁷ <https://zeroavia.com/>

²⁸ <https://www.airbus.com/en/innovation/energy-transition/hydrogen/zeroe>

Scenario 1 – short range met kleine toestellen

- **Batterij-elektrische vliegtuigen**
 - met een capaciteit van 30 passagiers en een bereik van 200 kilometer
 - met een capaciteit van 9 passagiers en een bereik van 400 kilometer
- **Waterstofvliegtuigen** met een capaciteit van 19 passagiers en een bereik van 500 kilometer

Scenario 2 – short-medium range met middelgrote toestellen

- **Batterij-elektrische vliegtuigen** met een capaciteit van 90 passagiers en een bereik van 800 kilometer.
- **Waterstofvliegtuigen** met een capaciteit van 90 passagiers, maar een groter bereik van 1,500 kilometer.

De aannames in deze studie zijn in de volgende tabel samengevat.

Figuur 1.3 Overzicht van de gehanteerde verkennende scenario's

	Referentie	Scenario 1 kleine toestellen	Scenario 2 middelgrote toestellen
Referentiejaar – routenetwerk	2024	2024	2024
Referentiejaar – routenetwerk	1,500 km	1,500 km	1,500 km
Referentiejaar – technologie	2024	2035	2050
Maximaal bereik volledig batterij-elektrisch (km)	n.v.t.	400 (9 pax) 200 (30 pax)	800
Maximale capaciteit volledig batterij-elektrisch (stoelen)	n.v.t.	9 pax (400 km) 30 pax (200 km)	90
Maximaal bereik waterstof (km)	n.v.t.	500	1,500
Maximale capaciteit waterstof (stoelen)	n.v.t.	19	90

1.2 Referentie: het 2024 netwerk als basis

De connectiviteit van een luchthaven wordt gedefinieerd als de mate waarin deze is verbonden met andere luchthavens via geplande lijndiensten, chartervluchten en privédiensten. Simpel gezegd: hoe meer bestemmingen worden aangedaan en hoe frequenter de vluchten, des te hoger de connectiviteit. Frequentie verbindingen vergemakkelijken het vervoer van passagiers van plek A naar plek B, wat op zijn beurt bijdraagt aan sociale en economische voordelen. Denk hierbij aan het eenvoudiger bezoeken van familie, betere toegang tot gespecialiseerde zorg, versterkte kennisuitwisseling en stimulering van toerisme.

Het openen van nieuwe luchtverbindingen vergroot deze voordelen en draagt bij aan een verbeterde connectiviteit. Duurzamere vliegtuigen kunnen dit proces ondersteunen doordat ze mogelijk kostenefficiënter zijn dan conventionele toestellen.

In dit onderzoek wordt de connectiviteit geanalyseerd op basis van publieke data over in 2024 geplande lijndiensten. Hierbij wordt onderzocht:

- Welke routes momenteel gevlogen worden.
- Welke routes in de toekomst kunnen worden vervangen door batterij-elektrische en/of waterstofvliegtuigen.
- Welke nieuwe routes kunnen worden geopend om de connectiviteit te verbeteren.

1.2.1 Methodologie

Om een duidelijk beeld te krijgen van de huidige connectiviteit is een referentienetwerk opgesteld op basis van lijndienstschema's per luchthaven voor het jaar 2024. De gegevens zijn afkomstig van Diio Mi²⁹ en bevatten uitsluitend geplande commerciële passagiersvluchten, gebaseerd op vaste routes en dienstregelingen. Chartervluchten, General Aviation en vrachtluchten zijn niet meegenomen.

De gegevens zijn vervolgens gefilterd om alleen routes binnen het maximale bereik van de scenario's en met een reguliere frequentie te behouden. Incidentele vluchten zijn uitgesloten. Waar nodig zijn de gegevens aangevuld met publiekelijk beschikbare informatie van luchtvaartmaatschappijen en luchthavens. Dit referentienetwerk biedt een gedetailleerd overzicht van vluchtfrequenties, vliegtuigtypen en stoelcapaciteit en vormt de basis voor verdere analyses.

Met dit referentienetwerk is per scenario onderzocht:

1. Welke bestaande vluchten één-op-één vervangen kunnen worden door volledig batterij-elektrische of waterstofvliegtuigen. Dus bij behoud van de huidige connectiviteit.
2. In dit onderzoek wordt ook bekeken of er voldoende vraag is om nieuwe directe routes te openen met volledig batterij-elektrische vliegtuigen, waarbij specifiek wordt gekeken naar markten die momenteel niet direct worden bediend vanwege hoge kosten, maar in de toekomst mogelijk wel interessant kunnen zijn dankzij lagere operationele kosten.

De analyse is uitgevoerd op basis van de capaciteits- en bereiklimieten zoals beschreven in 1.1. Bij vervanging is aangenomen dat conventionele vluchten één-op-één worden vervangen door luchtvaartmaatschappijen.

²⁹ Cirium. (z.d.). *Diio Mi*. Geraadpleegd op 26 november 2024, van <https://www.cirium.com/analytics-services/diio-mi/>

Het vervangen van één vlucht door meerdere (kleinere) duurzame vluchten (bijvoorbeeld twee vluchten van 90 passagiers in plaats van één van 180) is niet uitgesloten, maar wordt minder waarschijnlijk geacht vanwege de volgende redenen:

- **Economische haalbaarheid:** Een kleiner vliegtuigtype betekent minder passagiers en daardoor lagere inkomsten per vlucht. Dit kan tot op zekere hoogte hogere ticketprijzen vereisen, wat commercieel onaantrekkelijk is, zelfs met mogelijk lagere operationele kosten van batterij-elektrische vliegtuigen. Voor nieuwe luchtvaartmaatschappijen kan de economische situatie anders liggen, omdat zij mogelijk markten gaan bedienen die bestaande maatschappijen niet aanboren.
- **Capaciteitsbeperkingen op het vasteland:** Vooral luchthavens in Nederland, Schiphol, Eindhoven en Rotterdam, hebben beperkte slot-capaciteit. Dit maakt het onrealistisch om deze luchthavens te bedienen met frequentere vluchten uitgevoerd door kleinere vliegtuigtypen. In het Caribisch deel van het Koninkrijk en op Groningen en Maastricht, waar dergelijke beperkingen niet bestaan, zijn de drempels lager voor het toevoegen van nieuwe vluchten.

Daarnaast wordt verwacht dat er bij de vervanging van potentiële routes een zekere volgorde-lijkheid bestaat in de voorkeur voor batterij-elektrische vliegtuigen ten opzichte van waterstofvliegtuigen. Dit hangt samen met de verwachte lagere (operationele) kosten van volledig batterij-elektrische toestellen. Hierdoor zullen luchtvaartmaatschappijen in scenario 1 vanuit kostenopgumpunt eerder geneigd zijn om routes tot 400 kilometer batterij-elektrisch uit te voeren in plaats van met waterstofvliegtuigen. Binnen dit scenario liggen de grootste kansen voor waterstofvluchten dan ook bij afstanden tussen 400 en 500 kilometer.

In scenario 2 verschuiven de kansen voor waterstofvluchten naar afstanden tussen 800 en 1,500 kilometer, gezien de maximaal gestelde bereiklimieten.

De luchtvaartsector in [Nederland](#) heeft tussen 2020 en 2024 een opmerkelijke groei doorgeemaakt, zowel in passagiersaantallen als in vliegtuigbewegingen. In 2020, tijdens de coronapandemie, reisden ongeveer 23 miljoen passagiers via Nederlandse luchthavens, een scherpe daling ten opzichte van de ruim 81 miljoen in 2019. Dit aantal steeg naar 29 miljoen in 2021 en bereikte 61,3 miljoen in 2022. In 2023 werden 71,3 miljoen passagiers vervoerd, en in 2024 groeide dit verder naar 76,2 miljoen passagiers, bijna 7% meer dan in 2023, maar nog steeds 6% minder dan in 2019.³⁰

Het aantal vliegtuigbewegingen in het handelsverkeer vertoonde een vergelijkbare trend. In 2020 werden 258 duizend vluchten geregistreerd, wat toenam tot 303 duizend in 2021. In 2022 steeg dit aantal naar 463 duizend, en in 2023 werden 506 duizend vluchten genoteerd, een stijging van ruim 9% ten opzichte van het voorgaande jaar. In 2024 werden 537 duizend vluchten in het handelsverkeer uitgevoerd, een toename van ruim 6% ten opzichte van 2023³¹.

De luchtvaart in het [Caribisch Nederland](#) heeft zich sterk hersteld na de coronapandemie. In 2020 daalde het aantal passagiers met 60% tot 183.000, maar groeide daarna naar 504.000 in 2023, 10% meer dan in 2019. Het aantal vliegtuigbewegingen volgde een vergelijkbare trend, met een stijging van 12.600 in 2020 naar 22.800 in 2023 (+15% t.o.v. 2022). Bonaire verwerkte 89% van de passagiers, terwijl Sint-Eustatius (+40%) en Saba (+17%) in 2023 sterke groei lieten zien.³² Flamingo Airport³³ op Bonaire verwerkte in 2023 ruim 447 duizend passagiers, wat neerkomt op 89 procent van alle passagiers in het Caribisch gebied. Dit is bijna 4 procent meer dan in 2022 en ruim 16 procent meer dan in 2019.

Voor de luchthavens van Aruba, Curaçao en St-Maarten is een vergelijkbaar beeld te herkennen. Waarbij de luchthaven Reina Beatrix op Aruba³⁴ in 2020 een totaal aantal individuele passagiers kende van 476.236, in 2021 952.866, in 2022 1.207.587, in 2023 1.368.129 en 1.681.308 in 2024. Een herstel ten opzichte van 2020 van meer dan 250%.

Deze cijfers illustreren het herstel en de groei van de Nederlandse luchtvaartsector in de periode 2020-2024, hoewel de aantallen nog niet op alle luchthavens het niveau van vóór de pandemie hebben bereikt.

Of deze trends ook representatief zijn voor de komende decennia is onzeker. Daarom is het zichtjaar 2024 als referentiepunt genomen en op basis hiervan een MKBA-analyse uitgevoerd. Indien de sector in de komende decennia verder groeit, kan de 1-op-1-substitutie enerzijds toenemen door een hoger aantal vluchten, maar anderzijds afnemen doordat marktdruk leidt tot de inzet van grotere toestellen op routes waar momenteel regional en short-haul vliegtuigen worden gebruikt.

³⁰ [Vliegtuigbewegingen en handelsverkeer op Nederlandse luchthavens, 1997-2023 | Compendium voor de Leefomgeving](#)

³¹ [Vliegtuigbewegingen en handelsverkeer op Nederlandse luchthavens, 1997-2023 | Compendium voor de Leefomgeving](#)

³² [Ruim 60 procent minder luchtvaartpassagiers op Caribisch Nederland in 2020 | Nieuwsbericht | Rijksdienst Caribisch Nederland](#)

³³ [Meer luchtvaartpassagiers Caribisch Nederland in 2023 | CBS](#)

³⁴ <https://www.airportaruba.com/airport-statistics>

Van vraagvolumes naar routes

Naast het vervangen van bestaande vluchten is gekeken naar het potentieel om nieuwe routes te openen met volledig batterij-elektrische vliegtuigen. Voor waterstof wordt verwacht dat er geen nieuwe routes komen omdat de kosten van vliegen met waterstof minder concurrerend is dan batterij-elektrische alternatieven. Volgens vliegtuigbouwers bieden de lagere verwachte operationele kosten van batterij-elektrische vliegtuigen een betere economische basis. Het ontwikkelen van nieuwe verbindingen kan daardoor dus een positieve impact door krijgen.

Voor de analyse is gebruik gemaakt van 2024-boekingsgegevens van [SABRE](#), een van de grootste boekingsplatformen voor vliegtickets. Deze data geeft inzicht in de vraag naar vluchten en vanuit elke luchthaven binnen het maximale bereik van de scenario's. Naast boekingen via SABRE's systemen zijn de gegevens aangevuld met geschatte boekingen van andere platformen. Het gaat hierbij om vluchten die op één ticket zijn geboekt. Boeking met losse tickets, waarbij passagiers via een luchthaven reizen en opnieuw in moeten checken, worden niet in deze dataset meegenomen.

Er is onderzocht welke bestemmingen momenteel alleen met één of meerdere tussenstops bereikbaar zijn en mogelijk direct aangeboden kunnen worden. In de huidige netwerken wordt vaak gebruikgemaakt van een [hub-and-spoke structuur](#), waarbij passagiers vanuit kleinere (meer regionale) luchthavens via een centrale hub naar hun eindbestemming reizen. Bij inzet van batterij-elektrische toestellen met lagere operationele kosten kunnen directe vluchten economisch haalbaar worden.

De luchthavens zijn ingedeeld in drie categorieën op basis van vraag:

- Voldoende vraag om minimaal een wekelijkse vlucht met een 9-zits toestel; het is dus aannemelijk dat deze nieuwe route levensvatbaar is.
- Voldoende vraag om minimaal een tweewekelijkse vlucht met een 9-zits toestel; het is dus tot op een zeker hoogte aannemelijk dat deze nieuwe route levensvatbaar is.
- Minder vraag dan nodig om een tweewekelijkse vlucht uit te voeren met een 9-zits toestel; het is dus minder aannemelijk dat deze nieuwe route levensvatbaar is.

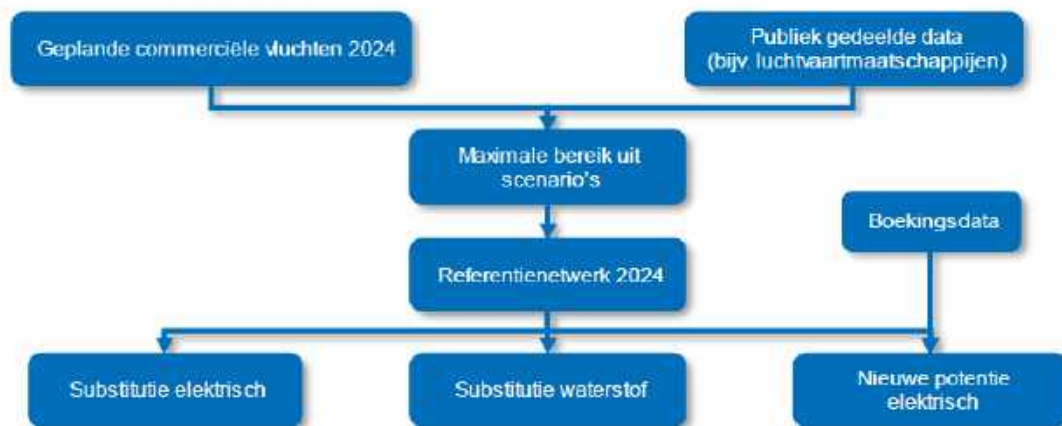
Deze vraag kan mogelijk nog toenemen zodra een route wordt geopend. Nieuwe routes genereren vaak extra vraag, omdat ze reizigers aantrekken die voorheen niet gebruik maakten van deze verbindingen, of doordat nieuwe aansluitingen mogelijk worden gemaakt.

Beperkingen voor analyse Nederlandse vasteland

Bij de analyse voor het Nederlandse vasteland is aangenomen dat nieuwe elektrische routes binnen een straal van 300 kilometer de connectiviteit niet significant verbeteren. Dit komt doordat deze routes direct concurreren met bestaande alternatieven zoals trein- en wegvervoer, die vergelijkbare reistijden bieden. Daarom zijn deze potentiële nieuwe bestemmingen buiten beschouwing gelaten.

Daarnaast zijn ook treinstations in de dataset beschikbaar als potentiële nieuwe 'bestemmingen'. Als een treinstation zich op een locatie bevindt waar een luchthaven commercieel vluchten kan aanbieden binnen het maximale elektrische bereik van 800 kilometer, werd dit meegenomen als een kansrijke bestemming.

Figuur 1.4 Overzicht van de methode van de connectiviteitsanalyse



1.3 Bepalen van omgeving- en klimaateffecten

1.3.1 Methodiek evaluatie klimaat, luchtkwaliteit en geluid

Bij het beoordelen van de effecten op het klimaat, de lokale luchtkwaliteit en geluid ligt de focus op het vervangen van fossiele vluchten middels de karakteristieken van de technologieën in de twee scenario's. De impactanalyse bouwt voort op het vorige hoofdstuk.

De 'Werkwijzer luchtvaart specifieke MKBA's'³⁵ van SEO Economisch Onderzoek benadrukt het belang van het meenemen van milieueffecten in maatschappelijke kosten-batenanalyses (MKBA's) voor de luchtvaartsector. Deze effecten omvatten de uitstoot van schadelijke stoffen zoals CO₂, stikstofoxiden en fijnstof, die bijdragen aan klimaatverandering en luchtvervuiling. Daarnaast wordt geluidsoverlast genoemd als een factor die de gezondheid en het welzijn van omwonenden van luchthavens negatief kan beïnvloeden.

Klimaateffecten

Voor de berekening van de directe klimaateffecten wordt gebruikgemaakt van de [BeyondCO₂-tool](#), die inzicht biedt in de CO₂- en NO_x-uitstoot per route en vliegtuigtype. Doordat volledig batterij-elektrische vliegtuigen en vliegtuigen met waterstofbrandstofcel geen CO₂ en (zo goed als geen) NO_x uitstoten is de mogelijke klimaatwinst gelijk aan de uitstoot van de fossiele vluchten die kunnen worden vervangen geschat.

De impact van [niet-CO₂-emissies](#) wordt ingeschat aan de hand van Thor et al. 2023 waarop ook de [Aviation Non-CO₂ Estimator \(ANCO\)](#) van CE Delft³⁶ is gebaseerd. Hierbij worden CO₂-equivalentfactoren ingeschat op basis van locatie en vliegafstand en stoelklasse. Door deze factoren te vermenigvuldigen met de CO₂-uitstoot kan de totale equivalente CO₂-uitstoot (CO₂e) in AGWP₁₀₀ worden bepaald, die zowel CO₂- als niet-CO₂-effecten omvat. De klimaatimpact van de verhoogde wateruitstoot door waterstofbrandstofcellen wordt voor de korte afstanden en geringe vlieghoogte in deze studie als verwaarloosbaar klein beschouwd.

³⁵ [2021-43-werkwijzer-luchtvaartspecifieke-mkbas.pdf](#)

³⁶ <https://ce.nl/publicaties/aviation-non-co2-estimator-anco/>

Het waarderen van deze effecten gebeurt op basis van efficiënte CO₂-prijzen. In lijn met de werkwijzer voor MKBA's worden de milieuprijzen van CE Delft uit 2017 gebruikt. Recent is update van deze prijzen gepubliceerd in het Handboek Milieuprijzen³⁷. Via een gevoeligheidsanalyse wordt de impact van deze nieuwe prijzen doorerekend.

De waardering van milieuprijzen is afhankelijk van:

- **Klimaatdoelstelling:** de efficiëntieprijs is afhankelijk van de gestelde doelstelling. We maken onderscheid tussen huidig beleid en beleid dat is gericht op maximaal twee graden temperatuurstijging. De efficiëntieprijs reflecteert de kostprijs van de benodigde maatregelen die nodig zijn om de gestelde doelstelling te bereiken. Conform de MKBA Leidraad is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op de efficiënte prijzen behorend bij de 2-graden onzekerheidsverkenning.
- **WLO (Welvaart en Leefomgeving) -scenario:** de ontwikkeling van de economie heeft een grote invloed op de wereldwijde uitstoot. In een WLO Hoog scenario zijn klimaatdoelstellingen ambitieuzer omdat de economie harder groeit en er dus meer reductie maatregelen nodig zijn. Meer maatregelen vragen een hogere efficiënte prijs. Het tegenovergestelde is van toepassing op het WLO Laag scenario. Daarom zijn er verschillende prijzen voor WLO hoog en WLO Laag scenario.

Het uitgangspunt voor het bepalen van de klimaateffecten is 'WLO Hoog (huidig beleid)'. Hiervoor geldt een waardering van € 156 en € 249 per ton CO₂ in respectievelijk 2035 en 2050. Voor de specifieke uitgangspunten van andere WLO-scenario's verwijzen we naar Appendix D. In Tabel 4.3. wordt het jaarlijkse effect voor broeikasgasemissies en overige niet-CO₂ klimaateffecten voor scenario 1 en 2 gepresenteerd, variërend tussen € 0,7 (scenario 1) en € 4,7 (scenario 2) miljoen per jaar. We corrigeren voor de Caribische eilanden niet voor de richtlijnen vanuit de Europese Unie rondom Sustainable Aviation Fuel (SAF) en internalisatie van klimaateffecten via Europees emissiehandelssysteem (ETS).

Waardering van niet-CO₂ klimaateffecten

Niet-CO₂ klimaateffecten bestaan onder andere uit stikstofoxiden (NO_x), waterdamp (H₂O), zwaveloxiden (SO_x) en contrails. Deze emissies drukken we uit in zogeheten CO₂-equivalenten, welke metriekafhankelijk zijn. Het gaat voornamelijk om effecten op grotere hoogte (boven 3,000 voet). Niet-CO₂ klimaateffecten kunnen op twee manieren worden gekwantificeerd:

- Impactbepaling per type effect;
- Generieke opslag van CO₂-effecten.

In deze studie is niet gekozen voor een generieke opslag van niet-CO₂-effecten op CO₂-effecten. Wel is specifiek voor de uitstoot van stikstofoxiden een voorzichtige inschatting gemaakt. In dit onderzoek is de werkwijze van de ANCO-tool gebruikt, i.e. de CO₂e-estimator van Thor et al. 2023, met specifieke equivalentiefactoren voor niet-CO₂ effecten per stoelklasse en route.³⁸

Op twee onderdelen wordt afgeweken bij het moneteriseren van de effecten:

- Correctie voor ontwikkeling Sustainable Aviation Fuel (SAF)
- Internalisatie van klimaateffecten in het Europees emissiehandelssysteem (ETS).

³⁷ CE Delft (2023), Handboek Milieuprijzen 2023 ([link](#))

³⁸ The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018 (Lee et al., 2019)

In Appendix D is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op basis van de voorgeschreven variatie in opslagfactoren (tussen de 1 en 4) evenals de impactberekening van niet-CO₂ emissies op basis van Thor et al. 2023.

De lezer moet zich beseffen dat de [wetenschappelijke inzichten rond de impact van non-CO₂](#) nog sterk in ontwikkeling zijn. Hoewel Thor et al. 2023 meer gedetailleerd inzicht geeft in de impact van niet-CO₂ effecten dan een vaste, generieke CO₂-equivalentfactor, is voorzichtigheid met aannames geboden. De studie van Thor et al. 2023 richt zich met name op grotere vliegtuigen dan de vliegtuigen waarmee binnen het Caribisch deel van het Koninkrijk wordt gevlogen. Ook vliegen deze vliegtuigen gemiddeld hoger en verder dan de vliegtuigen binnen het Caribisch deel van het Koninkrijk waar in deze studie naar gekeken wordt.

Zonder correctie geeft de studie hoge niet-CO₂-equivalentie factoren voor de vluchten in het Caribisch gebied (10,7 gemiddeld) in vergelijking tot de niet-CO₂-equivalentie factoren voor het Europees-Nederlandse gebied. Dit komt voornamelijk door de geschatte impact van [contrails](#). De impact van contrails beschouwend voor vergelijkbare vluchten binnen de overige clusters ([short flight, mid-latitude](#)) in de Thor-studie en de als beperkt geschatte impact van contrails in de Tropen (Yin et al., 2023, op basis van [algorithmic climate change functions](#) en Engberg et al. 2025, op basis van [CoCiP-grid](#)) is de non-CO₂-emissiefactor voor de vluchten in het Caribisch deel van het Koninkrijk gereduceerd.

Samen met de niet gereduceerde equivalentie factoren geven deze de (grote) marge aan voor de niet-CO₂-klimaatimpact.

[Sustainable Aviation Fuel \(SAF\)](#)

Wetgeving vanuit de Europese Unie verplicht luchtvaartmaatschappijen SAF bij te mengen om CO₂-emissies te beperken³⁹. Dit start in 2025 met 2% en loopt geleidelijk op tot 70% in 2050. In onze berekeningen zullen we de CO₂-emissies in Nederland corrigeren voor deze EU-bijmengverplichtingen.

[Europese emissiehandelssysteem \(ETS\)](#)

De luchtvaartsector valt gedeeltelijk onder het Europese emissiehandelssysteem ETS. De ETS-prijs wordt bepaald door vraag en aanbod waarbij het aantal rechten over tijd afneemt. De markt bepaalt vervolgens de prijs die over tijd fluctueert. De ETS-prijs reflecteert niet de efficiëntieprijs. De door ons gehanteerde ETS-prijs is afkomstig van de WLO-scenario's van het PBL uit 2016.

Door de invoering van het ETS worden (een deel van) de kosten geïnternaliseerd omdat luchtvaartmaatschappijen rechten moeten kopen. Tot 2026 wordt een deel van de rechten gratis vergeven. Omdat deze kosten reeds zijn geïnternaliseerd in de ticketprijzen wordt niet de volledige CO₂-prijs berekend om zo dubbeltellingen te voorkomen.

³⁹ ReFuelEU Aviation Initiative, [2021/0205](#)

Bij de waardering van broeikasgasemissies (CO₂) zijn aangepast voor geïnternaliseerde kosten van ETS. Het ETS geeft geen waarde voor de niet-CO₂ klimaateffecten. Deze correctie op basis van de ETS prijs is daarom niet van toepassing op de niet-CO₂-effecten. De waardering van niet-CO₂ effecten wordt gebaseerd op de geldende CO₂ prijs en equivalentiefactoren op basis van Thor et al. 2023.

Luchtkwaliteit

De verwachte effecten op de lokale luchtkwaliteit worden geschat op basis van vermeden **No_x-emissies** binnen de **Landing and Take-off-cyclus (LTO)**, tot een hoogte van 3.000 voet (ongeveer 900 meter). Emissies op lage hoogte hebben de grootste impact op de lokale luchtkwaliteit en vormen een nuttige indicator bij vergelijking met de referentiesituatie. Naast motoremissies spelen ook slijtage van banden en remmen een rol bij de luchtkwaliteit. Deze impact wordt kwalitatief beoordeeld.

Geluidseffecten

De effecten op geluid worden kwalitatief beoordeeld op basis van het aantal en type vervangen vluchten, ondersteund door **expert judgement**. Omdat elektrische en waterstofvliegtuigen nog in ontwikkeling zijn, is een kwantitatieve analyse op basis van beschikbare publieke data momenteel niet mogelijk.

Algemene aannames

In alle gevallen wordt aangenomen dat luchtvaartmaatschappijen bij één-op-één vervanging kiezen voor duurzame vliegtuigen met een vergelijkbare passagierscapaciteit als in de referentiesituatie. Nieuwe routes die in **scenario 1 en 2** worden geopend, zijn niet meegenomen in deze analyse.

1.3.2 Methodiek evaluatie omgevingseffecten (natuur en landschap) en ruimtegebruik

Rondom luchthavens bevinden zich belangrijke natuurgebieden, zoals de ecosystemen van de Caribische eilanden, **Nederlands Natuurnetwerk (NNN)**-gebieden en **Natura 2000-gebieden**, evenals de bebouwde omgeving en waardevolle landschappen.

De beoordeling is gebaseerd op een kwalitatieve methode, ondersteund door **expert judgement** en diverse bronnen. Gezien de scope van deze beoordeling, worden deze aspecten beoordeeld door middel van deskundig oordeel op basis van deskresearch.

Invloed van vliegverkeer op de natuur

Startend, landend en overvliegend vliegverkeer kan de kwaliteit van de natuur in de (wijde) omgeving van luchthavens beïnvloeden. De belangrijkste factoren die hierbij een rol spelen, zijn:

- **Stikstofemissies** door vlieg- en grondverkeer. Stikstofgevoelige Habitats kunnen zowel op korte als lange afstand van een luchthaven worden aangetast door extra stikstofdepositie. Een toename van vluchten kan leiden tot meer negatieve effecten op kwetsbare natuurgebieden en soorten. De inzet van elektrische en waterstofvliegtuigen ter vervanging van fossiele toestellen vermindert stikstofemissies, wat in vergelijking met de referentie een positief effect kan hebben.
- **Lichtemissies van luchthavens en vliegverkeer**. Verlichting is essentieel voor een veilige werking. Hoewel het effect van de overstap van elektrisch en waterstof vliegen naar verwachting geen significante verandering zal hebben in de lichtemissies van het luchtverkeer, kan het wel indirect gevolgen hebben voor de omringende natuur in het geval deze overstap extra ruimtebehoefte creëert bij extra exploitatie, installatie van extra faciliteiten voor batterijladingen en/of waterstofproductie (vooral op de eilanden).
- **Indirecte emissies**. De bouw van deze faciliteiten kan leiden tot extra ruimtegebruik en mogelijk impact hebben op het landschap. Bovendien kunnen indirecte emissies ontstaan tijdens de productie en het transport van waterstof, afhankelijk van de gebruikte energiebronnen en efficiëntie van de processen.

In deze studie inventariseren we ecologisch gevoelige gebieden in de nabijheid van luchthavens, waaronder Natura 2000-gebieden en andere nationaal aangewezen gebieden met een hoge biodiversiteit (bijvoorbeeld gebieden die zijn aangewezen als onderdeel van het Natuurnetwerk Nederland of NNN evenals andere gebieden die erkend zijn om hun rijke biodiversiteit op het eilanden). Op basis van substitutieaannames maken we een kwalitatieve beoordeling van de mogelijke impact op deze gevoelige gebieden.

Invloed van vliegverkeer op het landschap

Landschappen, gevormd door de interactie tussen natuur en menselijke activiteiten, zijn een essentieel onderdeel van het culturele erfgoed in zowel het Europese als het Caribische deel van Nederland (Bonaire, Sint-Eustatius en Saba). Deze diverse en waardevolle landschappen zijn door de eeuwen heen beïnvloed door menselijke activiteiten zoals stedelijke ontwikkeling en veenafgraving. De integratie van luchthavens, vooral bij uitbreidingen, kan aanzienlijke gevolgen hebben voor het omliggende landschap. Vliegtuigen die starten, landen of overvliegen, kunnen de natuur en het landschap in de wijde omgeving van luchthavens beïnvloeden.

De belangrijkste factor die hierbij een rol speelt, is de **visuele verstoring door infrastructuurontwikkeling**: de aanwezigheid van luchthaveninfrastructuur, zoals start- en landingsbanen, gebouwen en verlichting, kan het visuele karakter van het landschap aantasten. Dit geldt zowel voor de directe omgeving van de luchthaven als voor gebieden onder aanvliegroutes. Uitbreidingen van luchthavens versterken deze visuele impact.

Ruimtelijke eisen van de luchtvaartsector

De luchtvaartsector vraagt om aanzienlijke fysieke ruimte voor zowel lucht- als landzijde faciliteiten, waaronder:

- Start- en landingsbanen, opstelplaatsen, terminals, hangars en opslagfaciliteiten.
- Spoor- en weginfrastructuur, parkeerterreinen en distributiehallen.
- Indirect ruimtegebruik door geluids- en veiligheidszones, obstakelbeperkingen en radaroperaties.

De opkomst van elektrisch en waterstof aangedreven luchtvaart brengt nieuwe ruimtelijke eisen met zich mee:

- Elektrische vliegtuigen vereisen laadstations en grotere onderhoudsruimtes om batterij-systemen te ondersteunen.
- Waterstofvliegtuigen hebben gespecialiseerde infrastructuur nodig voor productie, opslag en distributie van waterstof, evenals veiligheidszones vanwege de risico's die samenhangen met waterstof.

1.4 Externe en indirecte effecten

Ondanks dat dit geen pure MKBA is, maar een verkenning, proberen we de effecten zo goed mogelijk in te schatten op bestaande kengetallen en onderzoek. Verder onderzoek en ontwikkeling van technologie is nodig om deze effecten nauwkeuriger in kaart te brengen. Het gaat dan om de directe kosten en baten van luchtvaartmaatregelen, de indirecte effecten en de externe effecten. Indirecte effecten zijn de bredere economische en sociale gevolgen van de luchtvaart die zich buiten de directe gebruikerskring uitstrekken. Externe effecten zijn de onbedoelde gevolgen van luchtvaartactiviteiten die niet direct door de betrokken partijen worden gedragen, zoals milieu-impact of geluidsoverlast.

Indirecte effecten

Indirecte effecten zijn vaak economischer van aard en betreffen de bredere invloed van de luchtvaartsector op de regionale en nationale economie. Luchtvaart kan bijvoorbeeld zorgen voor groei in de werkgelegenheid, zowel direct op luchthavens als indirect in de toeleveringsketen (zoals de bouw van vliegtuigen, onderhoud en catering). Het draagt ook bij aan toerisme en handel, die op hun beurt de economische ontwikkeling bevorderen.

Daarnaast kunnen indirecte effecten ook betrekking hebben op mobiliteit en bereikbaarheid, aangezien de luchtvaart een cruciale rol speelt in het verbinden van regio's en landen. Dit kan leiden tot een grotere markttoegang voor bedrijven en meer mogelijkheden voor regionale economische ontwikkeling.

In een MKBA moet de waardering van deze externe en indirecte effecten zorgvuldig worden uitgevoerd om de volledige impact van luchtvaartmaatregelen te begrijpen en een weloverwogen beleidsbeslissing te nemen. Het is essentieel dat alle kosten en baten, zowel direct als indirect, adequaat worden meegewogen om een realistisch beeld te krijgen van de maatschappelijke waarde van luchtvaartprojecten.

Externe effecten

Een belangrijk aspect van de MKBA voor de luchtvaart is de impact op het milieu. Vliegtuigen stoten schadelijke stoffen uit, zoals CO₂, stikstofoxiden en fijnstof, wat bijdraagt aan klimaatverandering en luchtvervuiling. De luchtvaart veroorzaakt geluidsoverlast, wat nadelige effecten kan hebben op de gezondheid en het welzijn van mensen die in de nabijheid van luchthavens wonen.

Andere externe effecten kunnen betrekking hebben op de biodiversiteit en het landschap. Bijvoorbeeld, de uitbreiding van luchthavens of de bouw van nieuwe infrastructuur kan leiden tot verlies van natuurgebieden en veranderingen in lokale ecosystemen.

1.4.1 Daling in reistijd door ontstaan van directe connectiviteit

In voorgaande secties is de connectiviteit voor Nederland en het Caribisch gebied in kaart gebracht. Gegeven de gestelde randvoorwaarden is het namelijk aannemelijk dat – als gevolg van elektrische en waterstofvluchten – de connectiviteit tussen enkele herkomst/ bestemming relaties zal veranderen. Impliciet worden hiermee dus de gedragsreacties van passagiers ingeschat, hetgeen directe invloed heeft op de gegeneraliseerde reiskosten/tijd. Door het vervangen van hub-and-spoke door directe vluchten ontstaat reistijdbesparing. In deze analyse wordt de verandering van reistijd (gegeven de toekomstige connectiviteit) berekend:

- **Reistijdeffecten vanwege directe vluchten:** Dit betreft de verandering in reistijd door directe verbindingen (punt-punt). Passagiers kunnen immers profiteren van kortere vluchttijden doordat de indirecte route (met een mogelijke omweg) via een andere luchthaven vervalst. Wel zijn de reistijdeffecten afhankelijk van de aannames omtrent vliegsnelheid (Bijlage D).
- **Reistijdeffecten vanwege wachttijd (lay-over):** Dit effect betreft de reistijdeffecten voor passagiers die anders via een andere luchthaven (hub) zouden reizen. Door nieuwe directe verbindingen wordt de totale reistijd verminderd doordat overstaptijden komen te vervallen.

Reistijdeffecten vanwege wachttijd (lay-over)

De gemiddelde wachttijd tijdens lay-overs zijn in kaart gebracht. Hierbij is gebruik gemaakt van actuele wachttijden. Vervolgens is een gewogen gemiddeld bepaald per gebied op basis van de jaarlijkse passagiers per route. Dit geeft een beeld van de (gemiddelde) wachttijd per passagier. Voor specifieke uitgangspunten van deze berekening verwijzen wij naar Appendix-D.

Waardering van reistijdeffecten

De waardering van reistijdeffecten wordt uitgevoerd door veranderingen in reistijd te koppelen aan de waarde die reizigers toekennen aan deze tijd, bekend als de Value of Time (VoT). In deze analyse hebben we voor de waardering van (veranderde) vliegtijd gebruik gemaakt van de geactualiseerde reistijdwaardering van het KiM (2023)⁴⁰. Een recent onderzoek door het KiM (2024) geeft eveneens een schatting van de wachttijd (Value of waiting time), waarbij de waardering voor niet-zakelijke reizigers en zakelijke reizigers wordt ingeschat op respectievelijk € 28 en € 51 euro. In onderstaande tabel wordt de reistijdwaarderingen van deze reisonderdelen gepresenteerd.

⁴⁰ KiM (2023), Nieuwe waarderingskengetallen voor reistijd, betrouwbaarheid en comfort ([link](#))

Figuur 1.5 Overzicht van reistijdwaarderingen KiM (prijspeil 2022)

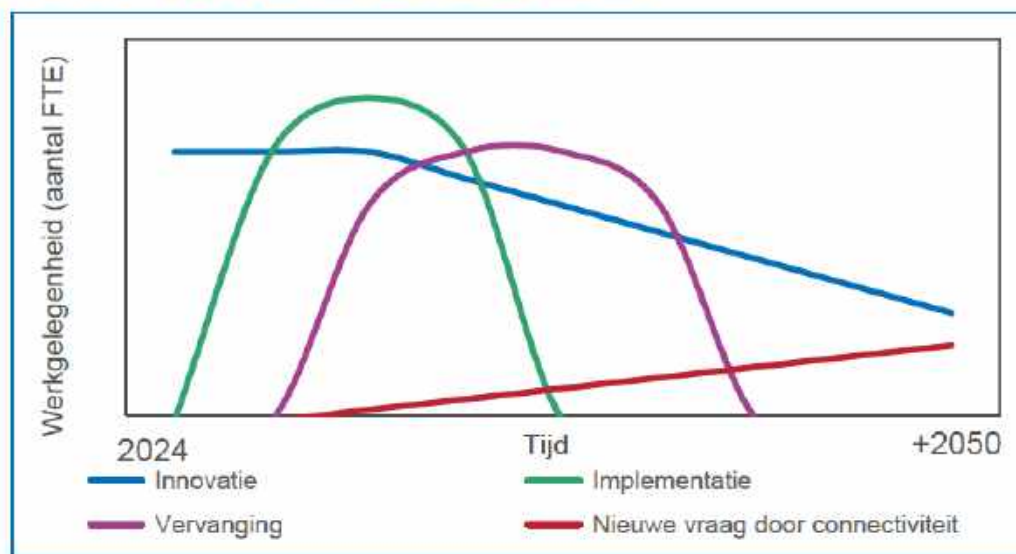
Motief	Zakelijk	Overig Niet-zakelijk	Gemiddeld
Reistijdwaardering KiM (2023)	€ 21,7	€ 10,7	€ 12,5
Wachttijd (stop-over)	€ 51	€ 28	-

1.4.2 Indirecte effecten: banen en innovatie

Werkgelegenheid: een transitie pad, en op lange termijn stimulans tot meer banen

De komst van duurzame luchtvaart heeft als een van de indirecte effecten een groei in werkgelegenheid voor de luchtvaartsector. Het doorgaan van een transitie naar een nieuwe technologie voor vliegen betekent dat er meer werkgelegenheid is om de transitie te faciliteren. De MKBA-werkwijzer⁴¹ stelt 'Maatregelen en investeringen die niet specifiek gericht zijn op de arbeidsmarkt, zoals het geval is bij maatregelen en investeringen in de luchtvaartsector, zullen de werkgelegenheid doorgaans niet of nauwelijks verhogen.' Vanwege het belang van het effect op werkgelegenheid in de maatschappelijke discussie wordt wel inzicht geboden in de (potentiële) werkgelegenheidseffecten.

Figuur 1.6 Impact op werkgelegenheid over de tijd per fase



Bron: Consortium (2024)

In Figuur 1.6 is zichtbaar hoe de werkgelegenheid zich zal ontwikkelen door de komst van duurzame luchtvaart per fase.

⁴¹ Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (n.d.). Duurzame luchtvaart: Maatschappelijke kosten-batenanalyse [PDF]. Geraadpleegd op 26 november 2024, van <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-1e458edc-5f6d-4086-8d07-39f270808fc0/pdf>

Innovatie: Werkgelegenheid in R&D en onderwijs

De introductie van duurzame luchtvaarttechnologieën begint bij innovatie, een fase waarin onderzoek en ontwikkeling centraal staan. Elektrisch vliegen richt zich op de ontwikkeling van batterijen, lichtgewicht materialen en elektrische aandrijfsystemen. Er komen banen voor luchtvaarttechnici, ingenieurs en datawetenschappers. Voor waterstofvliegtuigen ligt de focus op chemische processen, veilige opslag en de integratie van brandstofcellen, met werkgelegenheid voor chemisch ingenieurs en veiligheidsexperts.

In Nederland speelt deze innovatie zich voornamelijk af in technologische hubs zoals Delft en Eindhoven, waar universiteiten, luchtvaartbedrijven en andere technologiebedrijven samenwerken. Op de Caribische eilanden is de schaal kleiner, maar er ontstaan kansen door projecten die technologieën aanpassen voor korte routes tussen de eilanden. Daarnaast groeit de werkgelegenheid in het onderwijs, met nieuwe opleidingen in duurzame luchtvaarttechnologie. Universiteiten, hogescholen en mbo's in Nederland zullen hiervoor extra docenten en trainers aannemen, terwijl ook op de Cariben ruimte ontstaat voor lokale scholingsprogramma's.

Implementatie: Werkgelegenheid in infrastructuur en logistiek

De implementatie van duurzame technologieën vraagt om grootschalige aanpassingen in infrastructuur. In Nederland wordt elektrische infrastructuur uitgerold op grote luchthavens zoals Schiphol en Eindhoven, met werkgelegenheid voor technici, ingenieurs en bouwpersoneel. Op de Caribische eilanden ligt de nadruk op kleinschalige elektrische voorzieningen op luchthavens zoals Bonaire en Curaçao. Voor waterstoftechnologie is de aanleg van opslagfaciliteiten een belangrijke bron van werkgelegenheid, vooral in Nederland waar chemische expertise en complexe installaties vereist zijn. Op de Cariben blijven deze projecten kleinschaliger, en bieden ze werkgelegenheid in bouw en logistiek.

Naast infrastructuur is er behoefte aan personeelstraining. Technisch personeel moet worden opgeleid om met nieuwe technologieën te werken, wat banen creëert voor trainers en opleiders in beide regio's. Deze fase markeert een belangrijke overgang naar operationele toepassingen, waarbij nieuwe vaardigheden nodig zijn voor het beheer van zowel elektrische als waterstofsysteem.

Vervanging: werkgelegenheid door duale operaties

Tijdens de vervangingsfase opereren conventionele en duurzame vliegtuigen tijdelijk naast elkaar, wat leidt tot extra werkgelegenheid. Onderhoudspersoneel is nodig voor beide systemen, met name in Nederland waar een grotere luchtvloot wordt onderhouden. Elektrische vliegtuigen vragen om technici met kennis van batterijen en elektrische systemen, terwijl waterstofvliegtuigen gespecialiseerde vaardigheden vereisen voor brandstofcellen en opslag.

Ook de grondafhandeling op luchthavens ziet een toename in banen. Personeel moet omgaan met zowel fossiele brandstoffen als nieuwe energiebronnen zoals waterstof en elektriciteit. Dit geldt voor Nederland, waar grote luchthavens een complexe operatie hebben, en voor de Caribische eilanden, waar kleinere luchthavens meer kleinschalige maar veelzijdige vaardigheden vragen.

Daarnaast leidt de kleinere capaciteit van duurzame vliegtuigen tot een toename in het aantal vluchten. Dit resulteert in meer banen voor piloten en cabinepersoneel. Vooral op de Caribische eilanden, waar inter-eilandvluchten een groot aandeel hebben, is deze groei relevant. Het trainen van nieuw personeel en het aanpassen van bestaande trainingsprogramma's vormen een extra bron van werkgelegenheid.

Nieuwe vraag (banen) door verbeterde connectiviteit

De verbetering van connectiviteit dankzij duurzame technologieën genereert werkgelegenheid door extra vluchten en economische activiteiten. In Nederland betekent dit meer banen in operationele functies zoals grondafhandeling, ticketverkoop en luchtverkeersleiding. Daarnaast profiteert de zakelijke luchtvaartsector, wat indirect banen creëert in logistiek en zakelijke dienstverlening.

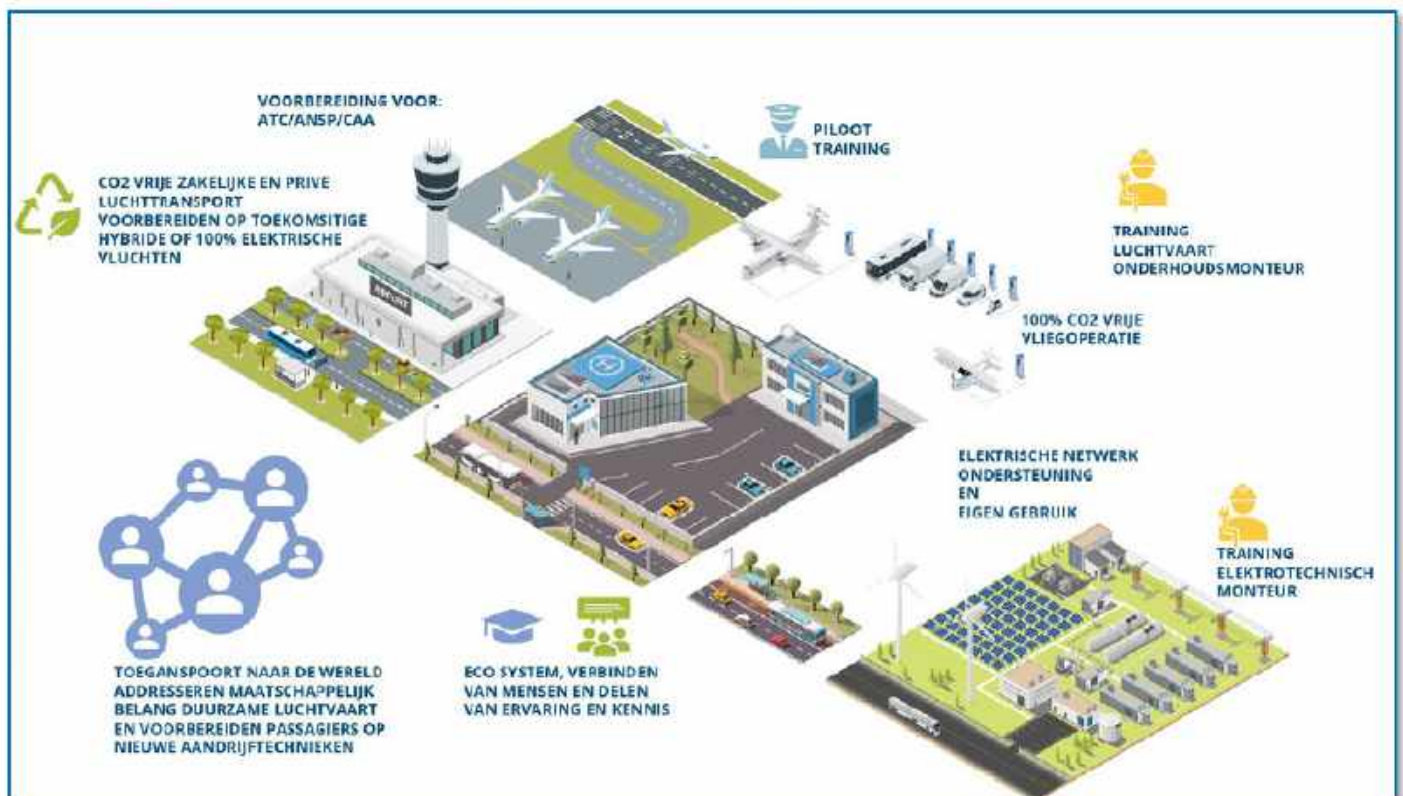
In het Caribische gebied leidt betere connectiviteit tot groei in toerisme, wat indirect werkgelegenheid genereert in hotels, horeca en transportsectoren. Luchthavens zoals St. Maarten, Aruba en Curaçao kunnen fungeren als hubs voor inter-eilandvluchten, waardoor extra banen ontstaan in de luchtvaart en ondersteunende sectoren. De verbeterde bereikbaarheid versterkt de regionale economie en biedt kansen voor lokale gemeenschappen.

2 Verkenning impact op Nederland

2.1 Belanghebbenden in de business case duurzame luchtvaart Nederland

Om de implementatie van volledig batterij-elektrische en waterstof aangedreven luchtvaart mogelijk te maken, zijn verschillende belanghebbenden betrokken. Deze zijn samen te vatten in drie onderdelen van de markt: **fabrikanten** (Original Equipment Manufacturers, OEM's), **gebruikers** (luchtvaartmaatschappijen en MRO's) en **luchthavens**. Daarnaast zijn er ook stakeholders zoals autoriteiten, luchtverkeersleiding, trainingsinstituten, energieproducenten en -leveranciers, en netbeheerders welke een belangrijke rol spelen in het realiseren van de geschetste scenario's.

Figuur 2.1 Luchthaven als centrale plaats voor duurzaamheidspotentieel



In de Figuur 2.1 zijn de belangrijkste belanghebbenden weergegeven die bij een volwaardig ecosysteem voor de duurzame luchtvaart als geschetst in de scenario's passen. Allereerst moeten de batterij-elektrische en waterstofvliegtuigen geproduceerd worden, door de OEMs. Om deze daadwerkelijk op de markt te krijgen, moeten ook certificeringsautoriteiten worden betrokken. Eenmaal op de markt is het aan de luchtvaartmaatschappijen om in deze vliegtuigen te investeren [en personeel op te leiden zodat de vliegtuigen geopereerd kunnen worden](#). Piloten, crew en onderhoudspersoneel moeten worden bijgeschoold voor dit type vliegtuigen. De luchthaven moet ingericht zijn voor de batterij-elektrische en/of waterstofvliegtuigen. Daarvoor moeten laad- en/of vulstations en de net- en leveringsinfrastructuur gereed zijn. Het inrichten van het benodigde ecosysteem voor de geschetste scenario's gaat zodoende gepaard met interacties tussen vele partijen en vraagt forse investeringen (CAPEX) en leidt tot andere exploitatielasten (OPEX).

CAPEX (Capital Expenditure, (eenmalige) kapitaaluitgaven)

CAPEX verwijst naar de [initiële investeringen](#) die noodzakelijk zijn om een project op te zetten. Dit zijn de uitgaven die gedaan moeten worden om bijvoorbeeld nieuwe vliegtuigen aan te schaffen, luchthavens aan te passen voor de integratie van duurzame technologieën, of investeringen in infrastructuur zoals laadstations voor elektrische vliegtuigen, waterstoftanks, en vernieuwde terminals. Deze kosten zijn typisch groot en eenmalig, maar essentieel voor het realiseren van duurzame luchtvaartdoelen. Voor de stakeholders zoals OEMs, luchtvaartmaatschappijen en luchthavens kunnen deze investeringen aanzienlijke financiële middelen vereisen.

OEMs zijn de fabrikanten die nieuwe vliegtuigen ontwikkelen en produceren, of bestaande vliegtuigen aanpassen (retrofitten) om deze geschikt te maken voor duurzame technologieën zoals waterstof of elektrische aandrijving. Bij de [OEMs](#) gaat het bijvoorbeeld om de kosten voor het ontwikkelen van nieuwe, duurzame vliegtuigen of voor retrofitting van bestaande vliegtuigen, zodat ze kunnen vliegen op alternatieve brandstoffen zoals waterstof. Voor [luchtvaartmaatschappijen](#) betreft dit bijvoorbeeld de aanschaf van vliegtuigen die geschikt zijn voor duurzame brandstoffen of de retrofitting van de huidige vloot. [Luchthavens](#) zullen aanzienlijke CAPEX hebben voor het aanpassen van hun infrastructuur, zoals het bouwen van waterstofstations of het aanpassen van bestaande faciliteiten om deze nieuwe technologieën te ondersteunen.

OEMs

Het ontwikkelen en retrofitten van vliegtuigen voor het gebruik van duurzame brandstoffen, zoals waterstof, vereist hoge kapitaaluitgaven. Dit komt niet alleen door de technologische innovaties die nodig zijn, maar ook door de aanpassingen aan luchthavens en infrastructuur, evenals de noodzaak om certificeringsprocessen opnieuw te doorlopen. De financiële investering varieert sterk.

In de Destination 2050-roadmap⁴² wordt de ontwikkeling van een regionaal waterstofvliegtuig op basis van retrofit geschat op €5 miljard. Dit is ongeveer de helft van de kosten van een nieuw vliegtuig van vergelijkbare grootte dat nog steeds op kerosine vliegt. Hoewel retrofitten financieel aantrekkelijker kan zijn, brengt deze aanpak technische beperkingen met zich mee, zoals een kleinere actieradius door de noodzaak om grote waterstoftanks in de cabine te plaatsen.

⁴² [DESTINATION 2050 Roadmap 2025.pdf](#)

Een andere optie is de ontwikkeling van een volledig nieuw waterstofvliegtuig. Volgens Destination 2050 worden de ontwikkelingskosten van geheel nieuwe waterstofvliegtuigen geschat op een factor drie hoger dan die van een conventioneel kerosinevliegtuig. Dit betekent dat de kosten voor een klein tot middelgroot toestel kunnen oplopen tot €10 tot €15 miljard.

Ter vergelijking: naar verluid zou de ontwikkeling van de Boeing 787 Dreamliner ca. 32 Mld. USD en de Airbus A350 15 Mld. USD bedragen. Dit laat zien dat de investering voor een geheel nieuw waterstofvliegtuig van vergelijkbare of zelfs grotere orde is dan die van de huidige generatie conventionele vliegtuigen.

Hoe deze R&D investeringen in daadwerkelijke verkoopprijzen terecht zullen komen is nog onzeker op dit moment.

Luchtvaartmaatschappijen

Luchtvaartmaatschappijen moeten investeren in de [aanschaf](#) van duurzame vliegtuigen en de aanpassing van hun bestaande vloot ([retrofit](#)).

De aanschaf van retrofitted waterstofvliegtuigen wordt in Destination 2050 geschat op een vergelijkbare grootorde als die van nieuwe kerosinevliegtuigen. De kosten voor retrofitted waterstofvliegtuigen (met ongeveer 58 passagiers) worden in de roadmap geschat op €25 miljoen, terwijl de kosten voor de [aanschaf van geheel nieuwe waterstofvliegtuigen](#) worden [geschat](#) op €20 tot [€30 miljoen](#).

Echter, de onderhoudskosten voor waterstofvliegtuigen worden volgens McKinsey & Company⁴³ (2020) geschat als 50% hoger dan de kosten voor het onderhoud van conventionele vliegtuigen. Aan de andere kant kunnen elektrische vliegtuigen, volgens Driessen & Hak, naar verwachting worden aangeschaft voor enkele miljoenen, met onderhoudskosten die lager liggen dan die van conventionele kerosinevliegtuigen.

De verwachte verkoopprijs van een passagiersvliegtuig op batterijen hangt af van verschillende factoren, zoals grootte, bereik, batterijtechnologie en productievolume. Op basis van huidige industrie-inschattingen en [aankondigingen van vliegtuigfabrikanten](#) kan een inschatting gemaakt worden dat verkoopprijzen rond 10-20 mln. kunnen liggen voor kleine toestellen (9-20 zitters), oplopend tot € 15-20 mln. voor grotere capaciteiten (30 stoelen) en € 20-60 mln. voor capaciteiten boven de 50 stoelen. Zeker als de range ook moet toenemen kan de kost geschat worden op ruim deze bedragen.

Factoren die de prijs beïnvloeden zijn:

- **Batterijkosten:** Momenteel een belangrijke kostenfactor, maar deze zullen dalen met verbeteringen in solid-state en energie-dichte batterijen.
- **Certificering:** De certificeringskosten voor nieuwe vliegtuigtypes kunnen de initiële prijs opdrijven.
- **Schaalvoordelen:** De eerste generatie modellen zal duurder zijn; prijzen kunnen dalen bij grootschalige productie.

⁴³ McKinsey & Company. (2020). Hydrogen-powered aviation: A fact-based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050.

De aanschaf van duurzame vliegtuigen door operators kan een investering van €100 miljoen tot €500 miljoen per maatschappij vereisen, oplopend voor grotere maatschappijen die tientallen vliegtuigen in hun vloot willen vervangen. Dit kan variëren afhankelijk van de omvang van de vloot en het type technologie.

Luchthavens

Luchthavens zullen kapitaal uitgeven voor de installatie van laadstations voor elektrische vliegtuigen, waterstoftanks en het aanpassen van hun terminals en infrastructuur om te voldoen aan de eisen van vliegtuigen en brandstoffen voor de duurzame luchtvaart⁴⁴.

Investerings in luchthavens voor de integratie van waterstoftechnologieën hebben een groot-orde van enkele miljoenen (Destination 2050), dit hangt echter sterk af van de benodigde hoeveelheid waterstof per dag op de luchthaven; mocht een liquefactie-installatie benodigd zijn op de luchthaven zelf doet dit de kosten sterk stijgen.

De kosten voor infrastructuur om elektrische vliegtuigen te faciliteren hangen ook sterk af van de benodigde hoeveelheid energie, en worden geschat op 1,7-2,5 miljoen euro per megawatt (Driessen & Hak, 2021⁴⁵) en 2 miljoen euro per megawatt (van Oosterom 2021⁴⁶).

Investerings in luchthavens voor de integratie van duurzame technologieën kunnen dus, afhankelijk van de omvang van de luchthaven en het niveau van de benodigde aanpassingen, oplopen.

OPEX (Operational Expenditure, Operationele Uitgaven)

OPEX betreft de **doorlopende kosten** die verbonden zijn aan het operationeel houden van het systeem. Dit omvat de dagelijkse uitgaven die nodig zijn om vliegtuigen, luchthavens en luchtvaartmaatschappijen operationeel te houden.

Voor **OEMs** betekent dit de kosten van productie van de duurzame vliegtuigmodellen, evenals de voortdurende ontwikkeling van nieuwe technologieën. **Luchtvaartmaatschappijen** hebben operationele kosten voor brandstof (waarbij duurzame brandstoffen mogelijk duurder zijn in de startfase), onderhoud van de vliegtuigen, personeel, en overige operationele kosten. Ook **luchthavens** hebben operationele kosten, die onder andere bestaan uit de kosten voor het beheren van luchthavenfaciliteiten, energieverbruik (met name als ze overschakelen naar duurzame energie), en onderhoud van de infrastructuur.

Potentiële Inkomsten

Daarnaast zijn er ook **potentiële inkomsten** die de verschillende stakeholders kunnen genereren uit hun investeringen in duurzame luchtvaart.

Voor **OEMs** kunnen de inkomsten voortkomen uit de verkoop van vliegtuigen die geschikt zijn voor duurzame technologieën of door het retrofitten van vliegtuigen. **Luchtvaartmaatschappijen** kunnen profiteren van potentiële inkomsten uit een nieuw klantenbestand, via passagiers die louter duurzaam willen vliegen ofwel via passagiers op nieuwe routes die mogelijk kunnen

⁴⁴ [Duurzame luchtvaart vraagt slimme investeringen - NAG](#)

⁴⁵ Driessen, C., & Hak, M. (2021). Electric flight in the Kingdom of the Netherlands: Roadmap. NACO & NLR

⁴⁶ van Oosterom, S. (2021). Investment Optimized Airport Infrastructure for Battery and Hydrogen Canister Swaps. Delft, the Netherlands: Delft University of Technology. Retrieved from <http://resolver.tudelft.nl/uuid:237762d9-6feb-42e9-b513-23bcba5055d7>

worden ingericht. Bij 1-1 vervanging kan ook een kostenreductie op de ETS heffingen gerealiseerd worden. **Luchthavens** kunnen nieuwe inkomsten genereren door te fungeren als hubs voor duurzame luchtvaartmaatschappijen, door luchtverkeersdiensten aan te bieden en door bijvoorbeeld de aanleg van faciliteiten voor alternatieve brandstoffen, zoals waterstof, te financieren via havengelden. Daarnaast kunnen luchthavens ook profiteren van subsidies of belastingvoordelen die gepaard gaan met de transitie naar duurzamere operaties.

Samenvattend geeft volgende tabel een overzicht van de financiële implicaties van duurzame luchtvaart voor de belangrijkste stakeholders. Elk van de betrokken partijen heeft aanzienlijke kapitaal- en operationele uitgaven, maar er zijn ook aanzienlijke potentiële inkomsten te behalen uit de veranderende marktomstandigheden, de groeiende vraag naar duurzame oplossingen, en de ondersteunende maatregelen van overheden.

Figuur 2.2 Verkenning impacts op OEM, luchtvaartmaatschappijen en luchthavens

NL	CAPEX	OPEX	Potentiële inkomsten
OEM	Aanzienlijke kapitaaluitgaven in R&D voor de ontwikkeling van waterstof en elektrische vliegtuigen	Productie van de duurzame vliegtuigmodellen. Geen majeure afwijking ten opzichte van conventionele toestellen. Mogelijk nog efficiencywinst.	Frontrunner verkoop van vliegtuigen die geschikt zijn voor duurzame technologieën.
€	Kan oplopen tot Mld. EUR	In het begin van de introductie van de nieuwe technologieën zal de OPEX zeker nog niet lager liggen dan conventionele vliegtuigen. Hoe meer de technologie zich ontwikkelt, zullen de productiekosten iets zakken.	Mark-up door frontrunner, hoge toegevoegde waarde op R&D
Luchtvaartmaatschappij	Aanzienlijke kapitaaluitgaven in vervanging van de bestaande vloot door nieuwe technologieën. Kapitaalvernietiging kan optreden bij vervanging voortijdig de economische levensduur	Luchtvaartmaatschappijen hebben OPEX in de vorm van brandstof (waarbij duurzame brandstoffen mogelijk duurder zijn in de startfase), onderhoud van de vliegtuigen, personeel- en opleidingskosten, en andere operationele kosten.	Potentiële inkomsten uit een nieuw klantenbestand. Bij 1-1 vervanging kan ook een kostenreductie op de ETS heffingen gerealiseerd worden.
€	Aanzienlijke uitgaven van rond de tientallen miljoenen per toestel	De operationele kosten van elektrische vliegtuigen kunnen op termijn lager zijn door lagere onderhoudskosten, aangezien elektromotoren minder bewegende delen hebben.	Daling van ETS kosten, en prijszetting voor duurzaamheid. Mogelijk nieuwe duurzame markten aanboren met elektrische vliegtuigen; een

NL	CAPEX	OPEX	Potentiele inkomsten
		De prijs van kerosine ten opzichte van elektriciteit speelt hierbij ook een rol. McKinsey & Company (2020) schatte het onderhoud 50% duurder dan bij kerosine-vliegtuigen.	nichemarkt en dus niche inkomstenbron
Luchthaven	Installatie van laadstations voor elektrische vliegtuigen, waterstoftanks en het aanpassen van hun terminals en infrastructuur.	Kosten voor het beheren van luchthavenfaciliteiten, energieverbruik (met name als ze overschakelen naar duurzame energie), en onderhoud van de infrastructuur. Uitbreiding van scope activiteiten.	
€	Afhankelijk van de omvang. Voor elektrische infrastructuur: in het begin zal het tot enkele miljoenen kosten, in verdere ontwikkeling waarschijnlijk meer. ⁴⁷ Kosten waterstof lopen significant sneller op door veel grotere infrastructuur benodigd (minimum tientallen miljoenen), maar is ook afhankelijk van welke faciliteiten er op de luchthaven geplaatst worden (Destination 2050, 2025)	Beheer en onderhoud van energie-installaties en opwekking zal hoger zijn omdat het 'nieuwe' specialismes betreft. Als ook de energietransitie doorzet, dan zullen de OPEX daarmee meegaan en licht dalen.	

Drie type-stakeholders die een cruciale rol spelen in een succesvolle implementatie van waterstof- en batterij-elektrisch vliegen zijn de Nederlandse luchtvaartmaatschappijen, luchthavens en vliegtuigbouwers. De huidige initiatieven van deze belanghebbenden op het gebied van batterij-elektrisch en waterstofvliegen worden in onderstaande secties nader toegelicht.

2.1.1 Luchtvaartmaatschappij Nederland

Luchtvaartmaatschappijen in Nederland zullen moeten bijdragen aan de implementatie van waterstof- en elektrische vliegtuigen in de toekomst door te investeren in nieuwe, duurzamere, toestellen. KLM en Transavia hebben eerder interesse getoond in elektrische vliegtuigen zoals de Microliner van Vaeridion en de ES-30 van Heart Aerospace, die geschikt zouden zijn voor

⁴⁷ Electric flight in the Kingdom of the Netherlands, NACO, 2021

korte regionale vluchten. De KLM-vliegschool laat de aspirant piloten kennismaken met Elektrische vliegtuigen door ook uren te vliegen op de elektrische toestellen van E-flight in Teuge. Om beter inzicht te krijgen in de benodigde aanpassingen en het vaststellen van de randvoorwaarden vanuit de luchtvaartmaatschappij, zijn KLM en haar dochtermaatschappijen aangesloten bij verschillende initiatieven.

Luchtvaartmaatschappijen, de toekomstige gebruikers van elektrische en waterstofvliegtuigen, voeren al kosten-batenanalyses uit om het rendement te onderzoeken. Hierin worden de investeringen van de nieuwe vliegtuigen meegenomen, inclusief de kosten voor een vernieuwde opleiding van piloten en ander personeel, en het integreren van de alternatieve brandstoftoestellen in het netwerk.

2.1.2 Luchthaven Nederland

Nederlandse luchthavens spelen een cruciale rol bij de implementatie van elektrische en waterstofvliegtuigen. De hoofdtak van luchthavens is het aanpassen van de infrastructuur zoals de laadstations voor elektrische vliegtuigen, waterstof-tankstations bouwen voor opslag en distributie van vloeibare of gasvormige waterstof en onderhoudsfaciliteiten.

Luchthavens moeten zich ook voorbereiden op de benodigde aanpassingen in de opleidingen voor grondpersoneel en brand-/calamiteitenbestrijding voor het afhandelen van alternatieve brandstofvliegtuigen. Samenwerking met luchtvaartmaatschappijen en vliegtuigbouwers is hierbij van groot belang. Om meer inzicht te krijgen in de benodigde aanpassingen en het vaststellen van de randvoorwaarden, regelgeving en certificering worden diverse testen en demonstraties uitgevoerd via verschillende initiatieven.

Aanpassing infrastructuur

Om het huidige luchtvaartstelsel te veranderen van kerosine naar duurzame energiedragers, zijn veranderingen nodig in de hele energieketen. Het gaat dan om fysieke veranderingen aan de opslag, laad- of tankmogelijkheden op luchthavens.

Elektrische infrastructuur

Voor de elektrische luchtvaart is het van belang dat er snelladers aangekocht en geplaatst worden door de luchthaven die elektrische vliegtuigen snel kunnen opladen. Ze moeten vergelijkbaar worden met gebruikelijke afhandeltijden (turn-around times). Het gebruik van Megawatt Charging Systems is noodzakelijk om binnen aanzienlijke tijd te kunnen opladen. De luchthavens willen een universele oplader gebruiken. Hiervoor heeft de SAE International (Society of Automotive Engineers) het Aircraft Energy Storage Charging Committee (SAE AE7D) opgericht om standaarden en richtlijnen voor energieopslag en laadsystemen voor vliegtuigen vast te stellen. Over deze standaardisering wordt vervolgens besloten en in regelgeving vastgelegd door luchtvaartautoriteiten EASA (European Union Aviation Safety Agency) en FAA (Federal Aviation Administration).

De huidige netcongestie, waar luchthavens ook mee te maken kunnen hebben, is een probleem voor de voorziene groei van de vraag naar elektriciteit die sterk groeit met de introductie van elektrische vliegtuigen. Om operationele vertragingen te voorkomen moet het elektriciteitsnet gezamenlijk met de energiesector worden versterkt. Daarnaast kan lokale energieop-

wekking (zonne- en windenergie) met opslag, batterijbuffers of slimme laadsystemen met demand-response technieken worden ingezet.

Naast de fysieke inpassing van de laadinfrastructuur is het ook van belang dat grondpersoneel van de luchthaven geschoold wordt in de juiste werkwijzen voor het opladen van elektrische vliegtuigen. Momenteel is het niet mogelijk om een elektrisch vliegtuig onbeheerd op te laden. Binnen het EU-project TULIPS, waar o.a. Schiphol Airport en Rotterdam The Hague Airport aan bijdragen, wordt momenteel onderzoek gedaan naar, en getest met het opladen van elektrische vliegtuigen zonder supervisie. Daarnaast moet ook de brandweer omgeschoold worden voor een veilige afhandeling in noodsituaties.

Waterstofinfrastructuur

De inpassing van waterstofinfrastructuur is op te delen in waterstofproductie, transport en distributie, en opslagfaciliteiten. Vloeibare waterstof dient te allen tijde onder -253°C te blijven en heeft strikte veiligheidseisen voor transport en opslag op het vliegveld. Afhankelijk van de hoeveelheid benodigde waterstof zijn keuzes te maken over de levering en distributie. De keuze is tussen inzet van cryogene tankwagens of aanleg van een pijpleidinginfrastructuur. Het aanleggen van pijpleidingen betreft een hogere investering, maar kent lagere exploitatielasten en is op de lange termijn mogelijk preferabel.

2.1.3 Vliegtuigbouwer Nederland

Vliegtuigbouwers spelen een sleutelrol in de succesvolle implementatie van elektrische en waterstofvliegtuigen. Er moeten efficiënte elektrische aandrijfsystemen ontworpen worden met lichtgewicht batterijen en waterstof-elektrische motoren die veilig en krachtig genoeg zijn voor commerciële luchtvaart. Tijdens het ontwerpproces moet al worden samengewerkt met de FAA en EASA) om vliegtuigen gecertificeerd te krijgen. Proefvluchten in samenwerking met luchthavens en luchtvaartmaatschappijen dragen bij aan een succesvolle implementatie.

Het HAPSS-consortium (Hydrogen Aircraft Powertrain and Storage System)⁴⁸, werkt gezamenlijk met 15 andere partijen aan de ontwikkeling van een waterstof-elektrisch systeem voor vliegtuigen. Het doel is om in 2028 de eerste emissievrije passagiersvlucht op waterstof te realiseren. Dit systeem zet vloeibare waterstof om in elektriciteit om het vliegtuig aan te drijven zonder CO₂-uitstoot.

ZeroAvia, een Brits bedrijf, heeft een juridische entiteit in Nederland opgericht om samenwerkingen met Nederlandse luchthavenorganisaties te versterken. Dit stelt het bedrijf in staat om nauwer samen te werken met partners zoals KLM, Rotterdam The Hague Airport en Shell bij de ontwikkeling van waterstof-elektrische vluchten en de bijbehorende infrastructuur.

Directe Werkgelegenheid

De productie van een commercieel vliegtuig vereist een breed scala aan gespecialiseerde vaardigheden en arbeidskrachten. Voor de bouw van één vliegtuig kunnen de directe werkgelegenheidseffecten variëren, afhankelijk van de complexiteit van het toestel en de betrokken technologieën. Hoewel specifieke cijfers per vliegtuigtype kunnen verschillen, wordt geschat

⁴⁸ bestaande uit onder andere Fokker GKN Aerospace, TU Delft en het Koninklijk Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

dat de directe werkgelegenheid voor de bouw van één vliegtuig kan variëren van 1.000 tot 5.000 manuren.⁴⁹

De bouw van een commercieel vliegtuig leidt tot werkgelegenheid en economische waarde. Het proces vereist duizenden manuren voor ontwerp, productie, testen en ondersteuning, en levert honderden miljoenen tot miljarden euro's aan economische waarde op door de gehele productieketen heen. Het is echter nog te bezien of een OEM toestellen in Nederland zal bouwen. Maar zelfs als dat niet gebeurt, kan er ingezet worden op de toeleverende maakindustrie.

Indirecte Werkgelegenheid

Naast de directe werkgelegenheid heeft de vliegtuigproductie aanzienlijke indirecte effecten:

- **Leveranciers:** De productie van een vliegtuig omvat duizenden onderdelen, waarvan de meeste door verschillende toeleveranciers wereldwijd worden geleverd. Het gaat om duizenden extra banen in de toeleveringsketen.
- **Ondersteunende industrieën:** Er zijn ook banen in onderhoud, logistiek en infrastructuur (zoals de bouw van productiefaciliteiten).⁵⁰ In 2023 steeg de toegevoegde waarde van het vervoer door de lucht in Nederland naar €3,6 miljard, een stijging van ruim 13% ten opzichte van het voorgaande jaar. In 2023 waren er ongeveer 23.000 FTE's werkzaam in het vervoer door de lucht. Dit betekent dat de gemiddelde toegevoegde waarde per FTE €156.000 bedraagt. Voor specifieke segmenten zoals MRO kan deze waarde hoger liggen, met bijna €185.000 per FTE.⁵¹

Hoewel specifieke cijfers per vliegtuigtype kunnen variëren, wordt geschat dat de indirecte werkgelegenheid voor de bouw van één vliegtuig kan oplopen tot tientallen duizenden manuren.

Toegevoegde Waarde (Economische Impact)

De economische waarde van de productie van een vliegtuig is aanzienlijk:

- **Waardetoevoeging per vliegtuig:** De totale economische waarde van de productie van een vliegtuig wordt gemeten als toegevoegde waarde van de bedrijven in verschillende stadia van de productie. Voor een groot vliegtuig, zoals een Boeing 787 of Airbus A320, kan de toegevoegde waarde oplopen tot honderden miljoenen euro's.
- **Invloed op de Brede Economie:** De luchtvaartindustrie heeft een multipliereffect; de aanwezigheid van een vliegtuigfabrikant kan de productiviteit in andere sectoren verhogen, zoals toerisme, handel en transport.

2.2 Referentie en twee scenario's voor Nederland

Dit onderzoek richt zich op de vijf Nederlandse luchthavens die commerciële passagiersvluchten aanbieden: Schiphol, Eindhoven, Rotterdam, Maastricht en Groningen.

⁴⁹ [Sectorplan-Luchtvaart-2013-2015-DEEL-1-ARBEIDSMARKTANALYSE-1.pdf](#)

⁵⁰ 'Economische effecten Schiphol' (SEO Economisch Onderzoek, 2020): Dit rapport bespreekt de directe en indirecte economische effecten van Schiphol, inclusief werkgelegenheid en toegevoegde waarde

⁵¹ [Hoe belangrijk is de luchtvaart voor onze economie? | CBS](#)

De actuele gegevens van deze vijf luchthavens worden visueel weergegeven met behulp van twee overzichtskaarten per luchthaven.

Deze kaarten laten zien:

- Welke **bestaande routes 1-1 vervangen** kunnen worden door volledig batterij-elektrische of waterstofvliegtuigen. Hierbij kan het gaan om een deel van de vluchten naar een bestemming, bv. als er ook grotere vliegtuigen op dezelfde route worden ingezet.
- Welke **nieuwe bestemmingen** mogelijk kunnen worden toegevoegd aan het routenetwerk door de inzet van volledig batterij-elektrische vliegtuigen. Dit biedt extra mogelijkheden voor betere connectiviteit ten opzichte van het referentienetwerk van 2024.

2.2.1 Schiphol (AMS)

Schiphol, de grootste luchthaven van Nederland, fungeert als een belangrijke hub en biedt uitgebreide connectiviteit, inclusief doorverbindingen. Hierdoor kunnen vluchten vanaf kleinere regionale luchthavens in het buitenland worden gevuld met overstappende passagiers, in plaats van alleen reizigers met Amsterdam als eindbestemming.

Elektrische vluchten met kleine toestellen: beperkte mogelijkheden op AMS

Scenario 1: Geen voorziene kansen voor 1-1 vervanging

Lijnvlucht luchtvaartmaatschappijen zetten op dit moment op Schiphol geen toestellen van 30 stoelen of minder in, omdat dit commercieel onrendabel is in combinatie met de strikte slotrestricties en hoge(re) havengelden. In scenario 1 is het daarom niet mogelijk om bestaande vluchten te vervangen door elektrische alternatieven.

Door de beperkte capaciteit van kleinere toestellen is het lastig om deze op grote luchthavens zoals Schiphol in te zetten voor lijnvluchten. Slechts één nieuwe potentiële route, naar het Duitse Waddeneiland Sylt (GWT), zou in dit scenario kunnen worden geopend.

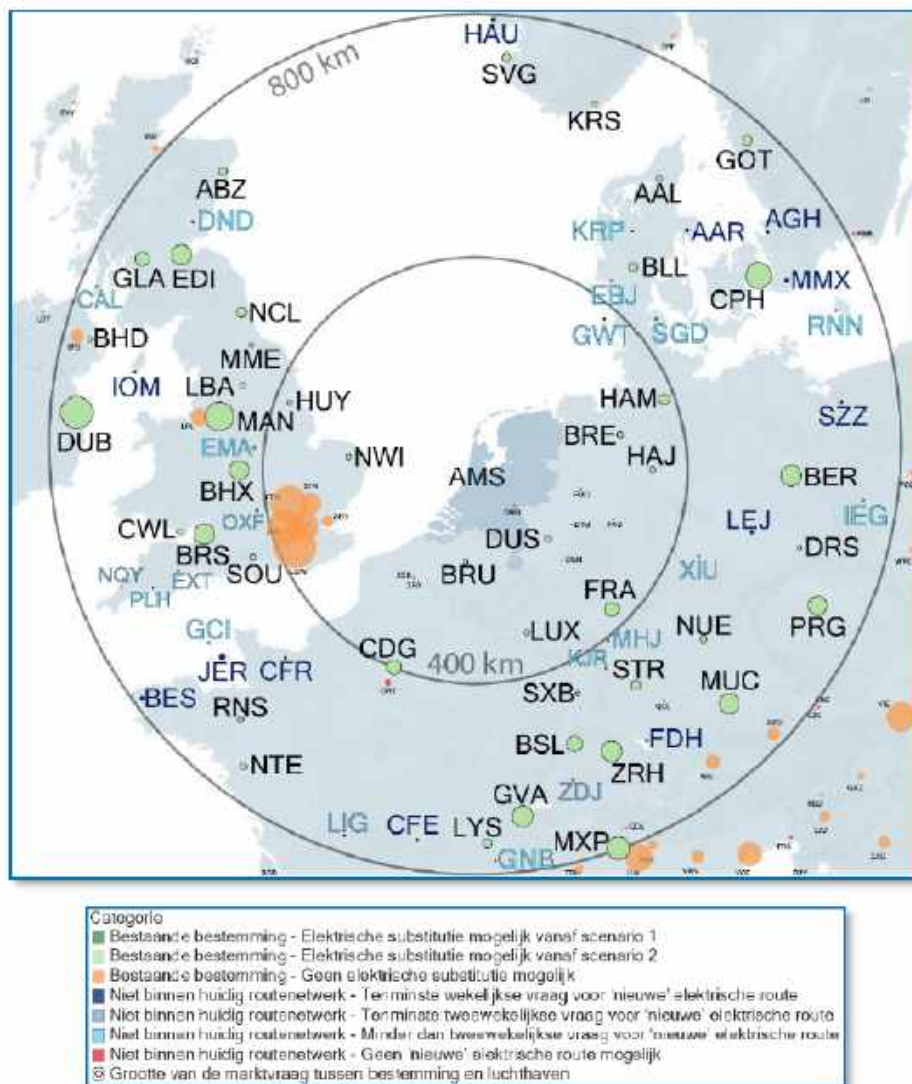
Scenario 2: Toegenomen mogelijkheden

In scenario 2 kunnen op Schiphol 43 van de 53 bestemmingen binnen 800 kilometer worden bediend met vliegtuigen van 90 stoelen of minder, wat neerkomt op ongeveer 16.500 jaarlijkse vliegbewegingen. Dit betreft zowel grote Europese luchthavens zoals Parijs, Kopenhagen, Frankfurt en Dublin als regionale luchthavens zoals Rennes, Hannover en Aalborg. Opvallend is dat er voor geen enkele route naar Londense luchthavens (Heathrow, City, Gatwick en Stansted) kleinere toestellen zijn ingepland, terwijl dit bij andere grote Europese luchthavens wel het geval is.

Over het algemeen geldt dat elektrische vliegtuigen vaker kunnen worden ingezet op routes naar regionale luchthavens dan op routes naar grotere luchthavens. Dit komt doordat op grotere luchthavens vaak grotere vliegtuigen (>90 stoelen) nodig zijn om aan de hogere vraag te voldoen.

In totaal zouden er in scenario 2, 27 nieuwe routes geopend kunnen worden, waarvan 12 voldoende vraag tonen voor minimaal een wekelijkse vlucht met een 9-zits elektrisch vliegtuig. Echter, vanwege de slotrestricties op Schiphol is het onwaarschijnlijk dat deze nieuwe routes daadwerkelijk gerealiseerd worden.

Figuur 2.3 Overzichtskaart Amsterdam/Schiphol (AMS) voor elektrische vluchten



Waterstofvluchten: op de lange termijn meer kansen voor AMS

Alle routes die kunnen worden uitgevoerd met batterij-elektrische vliegtuigen, zijn ook geschikt voor waterstofvliegtuigen. Dit gaat uit van de veronderstelling dat waterstofvliegtuigen dezelfde passagierscapaciteit bieden als de kleinere elektrische toestellen.

Voor scenario 1 is geen 1-1 vervanging mogelijk, omdat het referentienetwerk geen vluchten omvat die worden uitgevoerd met 19-zits toestellen.

Uit de analyse blijkt dat in totaal 80 routes binnen een straal van 1,500 kilometer 1-1 vervangen kunnen worden door waterstofvliegtuigen. Dit is een aanzienlijk deel van de 106 bestemmingen die momenteel worden aangedaan binnen dit bereik.

In scenario 2 kunnen met waterstofvliegtuigen ook bestemmingen in landen zoals Spanje, Kroatië en Polen worden bediend, zoals weergegeven in [Figuur 3.3](#).

Figuur 2.4 Aantal routes dat vervangen kan worden op Schiphol door elektrische of waterstof-vluchten, of potentieel nieuw aangevlogen kan worden door elektrische vliegtuigen

	Scenario 1			Scenario 2		
	(Deels) vervangen routes*	Vervangen vliegbewegingen*	Additionele routes	(Deels) vervangen routes**	Vervangen vliegbewegingen**	Additionele routes
Elektrisch	0 (0%)	0 (0%)	1	43 (81%)	16,500 (17%)	28
Waterstof	0 (0%)	0 (0%)	-	80 (75%)	23,000 (14%)	-

*percentage ten opzichte van het netwerk binnen het gestelde maximum bereik per energiedrager (400km elektrisch, 500 km waterstof)

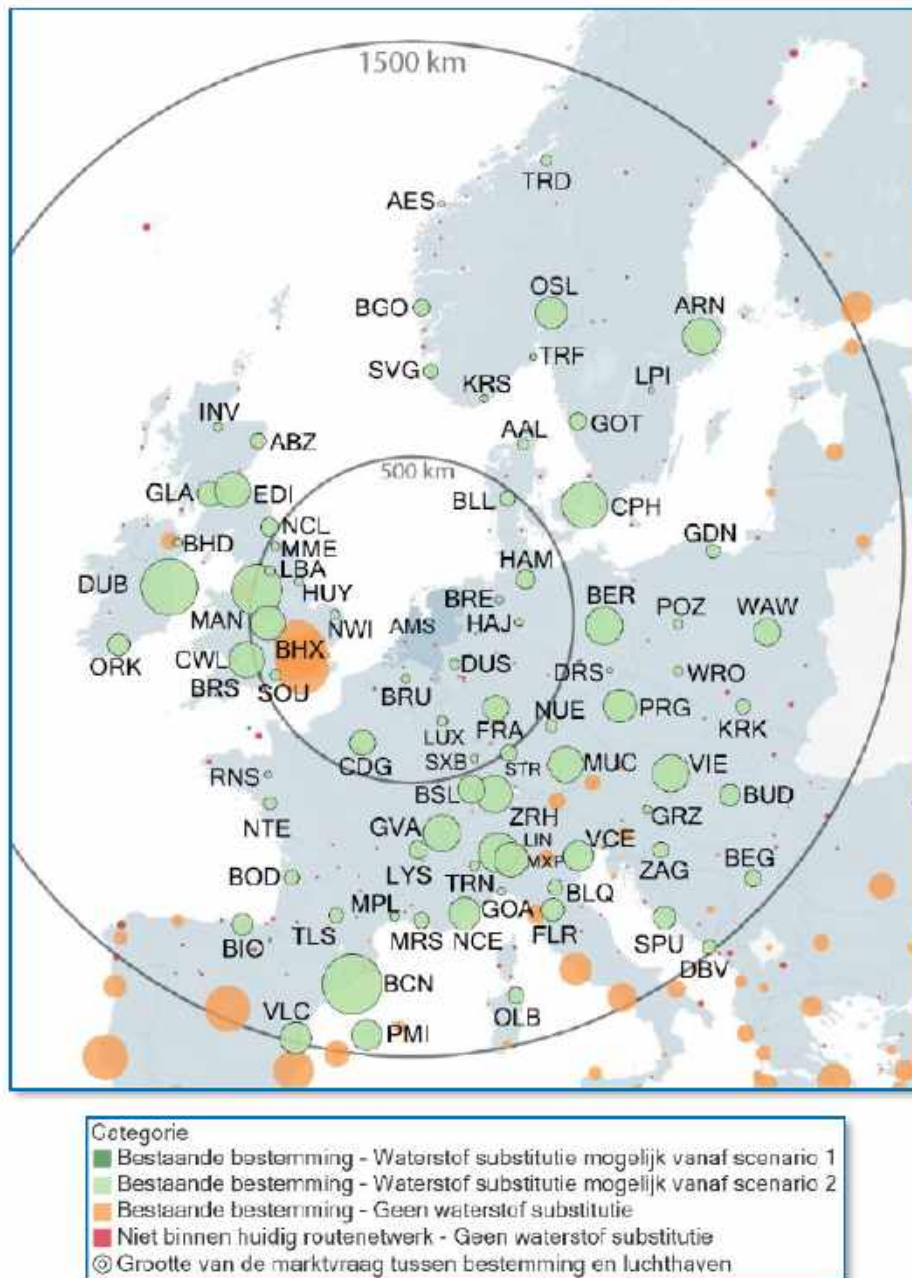
**percentage ten opzichte van het netwerk binnen het gestelde maximum bereik per energiedrager (800km elektrisch, 1500 km waterstof)

Invloed op connectiviteit AMS beperkt, gezien er vooral 1-1 substitutie optreedt

Er zijn 28 potentiële nieuwe routes geïdentificeerd. Het gaat dan om connectiviteit via kleinere luchthavens in landen zoals Denemarken, Duitsland en het Verenigd Koninkrijk.

Het aantal bestemmingen groeit dan met zo'n 10% gezien vanaf het huidige totaal aantal routes van ruim 270. Dit zou dus ook betekenen dat veel wereldwijde bestemmingen ontsloten kunnen worden met deze potentiële kleinere nieuwe luchthavens binnen het Schiphol netwerk.

Figuur 2.5 Overzichtskaart Amsterdam/Schiphol (AMS) voor waterstofvluchten



2.2.2 Eindhoven (EIN), Rotterdam (RTM), Maastricht (MST) & Groningen (GRQ)

Geen significante 1-1 potentie tot vervanging vanaf EIN, RTM, MST, GRQ

Een belangrijk aspect is dat de regionale luchthavens sterk afhankelijk zijn van schaalvoordelen, vooral voor vakantievluchten. Dit betekent dat grotere vliegtuigen worden ingezet om kosten per passagier te minimaliseren. Omdat deze toestellen doorgaans een hogere capaciteit hebben dan de maximale 90 stoelen die in de scenario's is vastgesteld, wordt verwacht op regionale luchthavens geen substitutie plaatsvindt. Bovendien spelen capaciteitsbeperkingen, zoals slots en geluidsnormen, een rol, vooral op Eindhoven Airport en Rotterdam The Hague Airport, wat de inzet van deze vliegtuigen kan belemmeren.

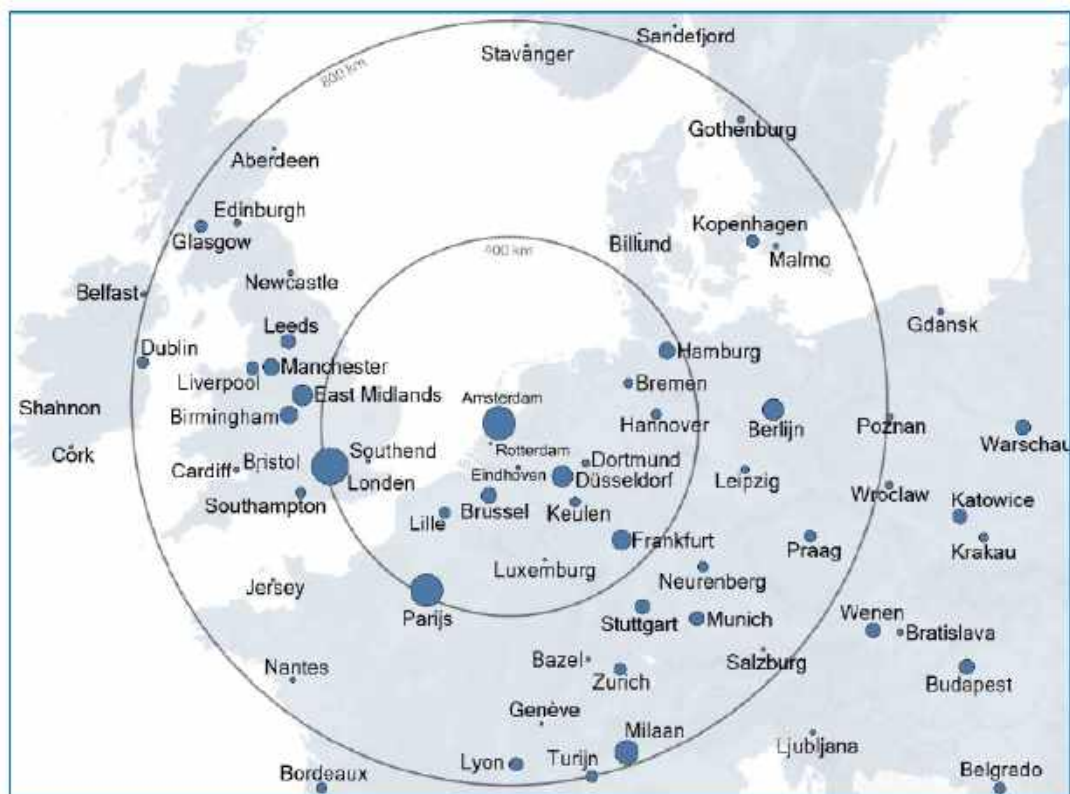
Zoals in de introductie neergezet zijn enkel commerciële lijnvluchten beoordeeld. De vracht en General Aviation is in dit onderzoek niet beoordeeld op substitutiemogelijkheden.

Er is één uitzondering waarbij in scenario 2 vluchten vervangen kunnen worden door een waterstofvliegtuig of een elektrisch alternatief: enkele chartervluchten vanuit Groningen naar Zweeds Lapland.

Geen significante impact op connectiviteit EIN, RTM, MST, GRQ

Vluchten vanaf de vier regionale luchthavens van Nederland hebben één gemeene deler: het commerciële luchtverkeer biedt vrijwel alleen point-to-pointvluchten aan. Dit betekent dat passagiers direct van de vertrekluchthaven naar hun eindbestemming reizen, zonder overstap. Op basis van de gebruikte boekingsdata zijn er geen aanvullende routes geïdentificeerd die momenteel met een elektrisch vliegtuig kunnen worden uitgevoerd. Dit sluit echter niet uit dat in de toekomst nieuwe routes geopend kunnen worden. Met de verwachting dat batterij-elektrische vluchten goedkoper kunnen worden uitgevoerd (OPEX), kunnen mogelijk nieuwe markten worden aangeboord. Verder onderzoek is nodig om deze kansen te bevestigen.

Figuur 2.6 Overzichtskaart van de grootste luchthavens van Europa



© Grootte van de luchthaven (naar passagiersaantallen)

2.3 Impact op klimaat en omgeving

De overgang naar deze twee technologieën in de luchtvaart brengt aanzienlijke veranderingen met zich mee, niet alleen op het gebied van emissies en geluidsproductie, maar ook voor de bredere impact op het klimaat en de leefomgeving.

Klimaat- en omgevingseffecten van elektrische- en waterstofvliegtuigen zijn verkend.

1. **Klimaat effecten (2.3.1):** Reducties in CO₂- en non-CO₂ emissies en hun impact op klimaatverandering.
2. **Omgevingseffecten (2.3.2):** Verbeteringen in luchtkwaliteit (fijnstof), vermindering van geluidshinder (2.3.3) en de bescherming van kwetsbare natuurgebieden (2.3.4).
3. **Ruimtelijke implicaties:** De eisen aan infrastructuur voor waterstof- en elektrische technologieën en de gevolgen voor landgebruik. (2.3.4)

Klimaat effecten omvatten de uitstoot van stoffen die bijdragen aan klimaatverandering, waarbij CO₂ de bekendste is. Daarnaast dragen emissies van stikstofoxiden (NO_x), roetdeeltjes en waterdamp bij aan klimaatverandering, vooral wanneer deze op grote hoogte worden uitgestoten. Deze stoffen verstoren de energiebalans bijvoorbeeld door wolkvorming. Hoewel de kennis over deze niet-CO₂-effecten nog in ontwikkeling is, wordt de globale klimaatimpact als zeer groot ingeschat - tot wel 2 tot 4 keer groter dan het effect van CO₂ alleen (AirClim 2016, Lee et al. 2021).

In de onderstaande paragrafen wordt voor het Nederlandse vasteland **alleen scenario 2** met middelgrote duurzame vliegtuigen besproken. Dit omdat er in scenario 1, dat uitging van kleine duurzame vliegtuigen, op Schiphol en de regionale luchthavens geen grootschalige substitutie kan plaatsvinden.

2.3.1 Klimaat impact

Deze studie richt zich op commerciële vluchten die in aanmerking komen voor één-op-één vervanging door duurzamere vliegtuigen, zoals batterij-elektrische vliegtuigen en vliegtuigen met een waterstofbrandstofcel. Zoals besproken in hoofdstukken 2 en 3, worden in het meest ambitieuze scenario (scenario 2 voor 2050) gekeken naar vluchten tot 1,500 kilometer met een maximale capaciteit van 90 passagiers. Deze vluchten worden op het moment van schrijven uitsluitend uitgevoerd vanaf Schiphol. Alle genoemde percentages zijn ten opzichte van de vluchten tot 1500 km, niet ten opzichte van het totale verkeer.

In het **referentiescenario** zorgen **alle vluchten van en naar Nederland** met een afstand tot **1,500 kilometer**, in 2024, voor een uitstoot van circa **1,4 megaton CO₂** en 6 kiloton NO_x.⁵² De gemiddelde CO₂-equivalentfactor voor de vluchten binnen deze analyse (tot 1,500 km) bedraagt gemiddeld 2,8. Dit leidt tot een aanvullend klimaat effect bovenop de 'gewone' CO₂-uitstoot van 2,44 megaton CO₂e.

⁵² Voor 5% van de vluchten ontbreekt informatie, waardoor niet kan worden vastgesteld of ze 1-1 vervangbaar zijn. Deze vluchten zijn wel meegenomen in het referentiescenario.

In scenario 2 kunnen vluchten tot 800 kilometer worden vervangen door elektrische vliegtuigen en vluchten tot 1,500 kilometer door waterstofvliegtuigen. Ten opzichte van de referentie vermindert de uitstoot in Scenario 2 met 9% CO₂ en 7% NO_x.

Daarnaast zijn de niet-CO₂-klimaat effecten veroorzaakt door waterdamp, stikstofoxiden en wolkvorming een belangrijke factor. Het gaat om 10% reductie ten opzichte van de referentie. De vervanging resulteert in een verwachte daling van de emissies ten opzichte van het referentiescenario (tot 1,500 km) met ca. 120 kt CO₂ (-9%), 400 t NO_x (-22%) en 230 kt non-CO₂ (uitgedrukt in CO₂e, -10%).

In het referentiescenario worden 160.367 vluchten uitgevoerd, met een uitstoot van circa 1.400 kt CO₂, 6.050 ton NO_x en 2.400 kt CO₂-equivalent aan niet-CO₂-effecten. In Scenario 2 wordt een combinatie van elektrische en waterstof aangedreven vliegtuigen ingezet. Dit leidt tot 22.983 vluchten en resulteert in een afname van ca. 120 kt CO₂, 400 ton NO_x en 230 kt CO₂-equivalent aan non-CO₂-effecten. De niet-CO₂-emissiefactor groeit van 2,8 in het referentiescenario naar 3,0.

Figuur 2.7 CO₂, NO_x en non-CO₂ uitstoot per scenario voor alle vluchten CO₂ en NO_x-reducties per scenario voor alle vluchten tot 1,500 km van en naar Schiphol

Scenario	Aantal vluchten	CO ₂ [kt]	NO _x [t]	Non-CO ₂ [kt CO ₂ e]	non-CO ₂ EF
Referentie	160.367	1.400	6.050	2.400	2.8
Scenario 1					
E ≤9 PAX / ≤400 km	0	-	-	-	-
E 10≤30 PAX / ≤200 km	0	-	-	-	-
H ₂ ≤19 PAX / ≤500 km	0	-	-	-	-
Totaal	0	-	-	-	-
Scenario 2					
E ≤90 PAX / ≤800 km	16.243	-70	-240	-110	2.6
H ₂ ≤90 PAX / ≤1,500 km	6.740	-50	-160	-120	3.6
Totaal	22.983	-120	-400	-230	3.0

Waardering van klimaatimpact

Vervolgens zijn deze effecten ook gemonetariseerd. Ze hebben een jaarlijkse impact tot 58 mln. EUR voor scenario 2.

Figuur 2.8 Jaarlijkse klimaat- en omgevingseffecten Nederland (in mln. euro)

Klimaat en omgevingseffecten	Nederland	
	Scenario 1	Scenario 2
Klimaat effecten		
Broeikasgasemissies (CO ₂ emissies)	€ 0,0	€ 0,0
Niet-CO ₂ klimaat effecten	€ 0,0	€ 58,0
Totaal	€ 0,0	€ 58,0

2.3.2 Impact op luchtkwaliteit

De uitstoot van stoffen zoals stikstofdioxide (NO₂), fijnstof (PM₁₀ en PM_{2,5}) en ultrafijnstof (UFP) heeft een negatieve invloed op de lokale luchtkwaliteit. Daarnaast kan langdurige blootstelling aan Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS), zoals benzeen, naftaleen en formaldehyde, kan ernstige gezondheidsproblemen veroorzaken, waaronder kanker. Vooral uitstoot tot een hoogte van 900 meter is bepalend voor de luchtkwaliteit, omdat het effect afneemt naarmate de afstand tussen de emissiebron en de ontvanger groter wordt⁵³.

Referentiescenario en impact scenario's

In het referentiescenario veroorzaken alle commerciële vluchten van en naar Nederland met een vluchtafstand tot 1,500 kilometer samen een uitstoot van ca. 550.000 kg NO_x tijdens de Landing and Take-off (LTO)-cyclus. In scenario 2 kunnen 23.000 vluchten worden vervangen door duurzamere vliegtuigen, wat neerkomt op 14% van alle vluchten tot 1,500 km. Deze één-op-één vervanging leidt tot een daling van de NO_x-uitstoot tijdens de LTO-cyclus met circa 34 ton, een reductie van 6% voor dit segment.

Hoewel het totale aantal vluchten gelijk blijft, wordt verwacht dat de fijnstofconcentraties nabij de landingsbanen zal toenemen door bandenslijtage, vanwege het hogere gemiddelde gewicht van duurzame vliegtuigen. Volgende tabel toont de NO_x-uitstoot tijdens de LTO-cyclus per scenario voor vluchten tot 1,500 kilometer.

Figuur 2.9 NO_x-reducties tijdens LTO per scenario voor alle vluchten tot 1,500 km van en naar Schiphol

Scenario	Aantal vluchten	NO _{x, LTO} [t]
Referentie	160.367	550
Scenario 1		
E ≤ 9 seats / ≤ 400 km	0	-
E 10 ≤ 30 seats / ≤ 200 km	0	-
H ₂ ≤ 19 seats / ≤ 500 km	0	-
Totaal	0	-
Scenario 2		
E ≤ 90 seats / ≤ 800 km	16.243	-24
H ₂ ≤ 90 seats / ≤ 1,500 km	6.740	-10
Totaal	22.983	-34

⁵³ [Beperkte bijdrage vliegtuigen aan luchtkwaliteit in omgeving luchthavens | Nieuwsbericht | Luchtvaart in de toekomst](#)

Voordelen van volledig batterij-elektrische en waterstofvliegtuigen

Batterij-elektrische vliegtuigen en vliegtuigen met een waterstofbrandstofcel hebben een belangrijk voordeel ten opzichte van conventionele vliegtuigen: ze stoten tijdens de vlucht geen NO₂, PM10, PM2,5, of ZZS uit. Wel kan lokaal de emissie van fijnstof toenemen door slijtage van banden, remmen en de landingsbaan door het gewicht van het elektrische vliegtuig.

Invloed van grote en kleine vliegtuigen

Grote vliegtuigen hebben een sterker negatief effect op de luchtkwaliteit dan kleine vliegtuigen, maar het verschil is minder uitgesproken dan wat betreft de klimaatimpact. Hierdoor heeft de één-op-één vervanging van kleine vliegtuigen, zoals onderzocht in deze studie, een relatief groter positief effect op de luchtkwaliteit dan op het klimaat.

Impact scenario's op luchtkwaliteit Nederland

De verbetering van de luchtkwaliteit door de inzet van duurzame vliegtuigen is een ander positief effect. In Nederland is de reductie beperkt, met slechts 6% in Scenario 2. Het effect op stikstof is op basis van emissiekengetallen in het Handboek Milieuprijzen 2023 gewaardeerd. In onderstaande Tabel wordt het jaarlijkse effect op luchtkwaliteit van Nederland weergegeven, waarbij het jaarlijkse effect varieert tussen € 0 (scenario 1) en € 1,2 (scenario 2) miljoen per jaar.

Figuur 2.10 Jaarlijks luchtkwaliteit Nederland (in mln. euro)

Lokale luchtkwaliteit (stikstof)	Nederland	
	Scenario 1	Scenario 2
NO _x (landing-and-take-off)	€ 0,0	€ 1,2

2.3.3 Impact op geluid

Geluid is een bekend omgevingsprobleem dat hinder en slaapverstoring kan veroorzaken. Zowel akoestische factoren, zoals de sterkte en toon van het geluid, als niet-akoestische factoren, zoals tijdstip, locatie, persoonlijke gevoeligheid en de relatie tot de geluidsbron, spelen hierbij een belangrijke rol. De algemene verwachting is dat batterij-elektrische vliegtuigen en vliegtuigen met een waterstofbrandstofcel aanzienlijk stiller zullen zijn dan vergelijkbare vliegtuigen met conventionele zuiger- of gasturbinemotoren. Dit komt doordat elektromotoren minder geluid produceren dan verbrandingsmotoren.

Toch blijven andere geluidsbronnen bestaan, zoals romp- en landingsgestelgeluiden ([airframe noise](#)) en het geluid van propellers. Daarnaast kunnen bij de inzet van waterstofvliegtuigen nieuwe geluidsbronnen ontstaan, zoals die van de brandstofcellen. Voor deze studie is geen kwantitatieve data beschikbaar om deze effecten afzonderlijk te berekenen.

Impact scenario's op geluidbelasting Nederland

In het referentiescenario vinden er ruim 160.000 vluchten tot 1.500 km plaats, met de 2024 data als basis.

In [scenario 2](#) worden bijna 23.000 vluchten vervangen door duurzamere luchtvaart. Dit is 14% van het aantal vluchten tot 1500 km. Het aandeel van 14% betreft de kleinste en naar verwachting meeste stille vliegtuigen uit het scenario. Hierdoor wordt slechts een bescheiden vermindering van geluidshinder van de vluchten tot 1,500 km verwacht. Dit effect wordt nog verder gemaskeerd door de aanwezigheid van grotere en lawaaierige vliegtuigen op Schiphol. Stiltegebieden en Natura 2000-regio's ervaren minimale verbetering, waardoor de bredere impact op ecosystemen aanzienlijk blijft.

Effect van het aantal vluchten en geluidsspreiding

Hoewel stillere vliegtuigen op zichzelf een positief effect op geluidsbelasting kunnen hebben, speelt ook het aantal vluchten een rol. Een toename in het aantal vliegbewegingen ten opzichte van de referentie kan de hinder vergroten, zelfs bij een verlaging van de geluidsbelasting per vlucht. Bovendien kan een daling van de geluidsbelasting van vluchten tot 1,500 kilometer worden gemaskeerd door het geluid van grotere, luidere vliegtuigen met een groter bereik.

Niet-akoestische impact

De niet-akoestische impact van duurzame luchtvaart hangt sterk af van hoe burgers deze transitie ervaren:

- **Positieve perceptie:** Wanneer omwonenden duurzame vliegtuigen als veilig ervaren en tevreden zijn over de introductie ervan, kan dit leiden tot een positieve beleving van minder hinder. Ook een positieve associatie met duurzaamheid en vertrouwen in duurzame luchtvaart versterkt dit effect.
- **Negatieve perceptie:** Als omwonenden de nieuwe vliegtuigen als onveilig beschouwen of ontevreden zijn over de implementatie, kan dit de hinderbeleving negatief beïnvloeden. Wantrouwen ten aanzien van duurzaamheidsclaims vanuit de luchtvaart of weerstand tegen duurzaamheid kan de negatieve impact vergroten.

Geluidsimpact op de natuur

Nederland beschikt over een aanzienlijk aantal aangewezen stiltegebieden, verspreid over het hele land, waaronder enkele in de nabijheid van luchthavens (zie Appendix C). Stiltegebieden zijn gebieden waar de rust centraal staat en waar het geluidsniveau idealiter niet boven de 40 decibel uitkomt.

Hoewel de regelgeving rondom stiltegebieden primair gericht is op geluidsoverlast veroorzaakt door menselijke activiteiten op de grond (zoals industrie, verkeer en recreatie), is de luchtvaart in principe niet vrijgesteld van de potentieel negatieve effecten op deze gebieden. De afwezigheid van specifieke wettelijke beperkingen voor overvliegende vliegtuigen betekent niet dat er geen impact is.

2.3.4 Impact op de natuur

De implementatie van elektrische en waterstofvliegtuigen kan bijdragen aan een verlaging van stikstofemissies en daarmee aan de bescherming van kwetsbare natuurgebieden en soorten. De effectiviteit hiervan hangt echter sterk af van het percentage vluchten dat wordt vervangen en de regionale context. In Nederland is de impact in beide scenario's beperkt. In Nederland, een grotere vermindering van emissies en geluid biedt kleine verbeteringen in de kwaliteit van het landschap. Echter, het aanhoudende luchtverkeer nabij culturele en landschappelijke gebieden beperkt significante voordelen voor de natuurlijke en historische landschappen.

In Nederland draagt de luchtvaart slechts 0,1% bij aan de stikstofdepositie in Natura 2000 gebieden, terwijl landbouw goed is voor 50% en wegverkeer voor 6,6%^{54 55 56}. Zelfs bij significante reducties in luchtvaartemissies blijven andere sectoren domineren.

Nederland beschikt over een uitgebreid netwerk van beschermde natuurgebieden, waaronder Natura 2000-gebieden en het Natuurnetwerk Nederland (NNN) (voorheen de ecologische hoofdstructuur). Bovendien, heeft Nederland ongeveer 650.000 hectare stilte gebieden.

Emissies onder de 3.000 voet (900 meter) door landen, taxiën en opstijgen hebben de grootste invloed op stikstofdepositie in de directe omgeving van luchthavens. Emissies boven de 3.000 voet verspreiden zich over een groter gebied, maar dragen ook bij aan de stikstofbelasting. Toename van vliegtuigbewegingen, met name rond Schiphol en regionale luchthavens, leidt tot een hogere stikstofdepositie en verslechtering van kwetsbare natuurgebieden en biodiversiteit.

Impact scenario's op natuur en biodiversiteit en ruimte Nederland

Natuur en biodiversiteit

Hoewel de inzet van elektrische en waterstoftechnologieën in de luchtvaart positieve effecten heeft op stikstofdepositie, moeten deze inspanningen worden beschouwd binnen het bredere kader van andere emissiebronnen en mogelijke indirecte effecten, zoals verhoogde uitstoot door toerisme gerelateerd wegverkeer.

In dit scenario 2 wordt 14% van de vluchten tot 1,500 kilometer vervangen door duurzamere vliegtuigen, wat leidt tot een CO₂-reductie van 8,6% en een NO_x-reductie van 6,7% voor dit segment. Hoewel dit een positief resultaat is, blijft het grootste deel van de vluchten onveranderd. Hierdoor neemt de totale stikstofemissie slechts marginaal af en is de impact op kwetsbare natuurgebieden en soorten minimaal.

Ruimtegebruik

De transitie naar duurzame luchtvaart door de inzet van elektrische en waterstofvliegtuigen brengt zowel kansen als uitdagingen met zich mee op het gebied van ruimtegebruik. Hoewel

⁵⁴ [Stikstofdepositie | RIVM](#)

⁵⁵ [Sector mobiliteit en stikstofdepositie - feiten en cijfers](#)

⁵⁶ Het hier genoemde percentage van 0,1% betreft specifiek de stikstofdepositie veroorzaakt door vliegtuigen van en naar Nederlandse luchthavens. Hierbij bestaan onzekerheden in de precieze toerekening van emissies op grotere hoogte aan specifieke bronnen op de grond. Het Adviescollege Stikstofproblematiek (Remkes, 2020) schat de totale bijdrage van de gehele luchtvaart (inclusief internationaal verkeer en emissies boven de 3.000 voet) tussen de 0,73% en 1,1%. Zie: <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-330a2e27db7d2a4af4b85a3a6d01d8a1ae059ce9/pdf> (Pagina 50 - 51).

deze technologieën bijdragen aan de vermindering van emissies, vereisen ze ook aanvullende infrastructuur, wat nieuwe ruimtelijke vraagstukken oplevert.

De overgang naar duurzamere luchtvaarttechnologieën in scenario 2 leidt tot een intensiever ruimtegebruik, vooral als energie en waterstof lokaal worden geproduceerd. Dit brengt specifieke uitdagingen met zich mee:

- **Waterstofproductie-installaties:** Deze vereisen relatief veel ruimte, wat op eilanden met beperkte landoppervlakte extra druk kan leggen op bestaande landgebruiken.
- **Infrastructuurontwikkeling:** Naast waterstof- en elektrische laadfaciliteiten kan extra infrastructuur nodig zijn voor energieopwekking en -opslag, wat de ruimtelijke druk verder vergroot.

De ruimtelijke uitdaging wordt groter als energie en waterstof lokaal worden geproduceerd, omdat dit aanzienlijke ruimte vraagt. Naast directe effecten, zoals de aanleg van waterstof-installaties en laadstations, kunnen er ook indirecte effecten ontstaan, zoals intensiever landgebruik in andere regio's voor energie- en batterijproductie. Het volledige effect van deze veranderingen is moeilijk te beoordelen zonder een uitgebreide levenscyclusanalyse (LCA).

Indirect emissies en ruimtegebruik

Voor elektrische luchtvaart zijn geavanceerde batterijen en elektrische aandrijfsystemen essentieel, waarvoor grondstoffen zoals lithium, kobalt en nikkel nodig zijn. De winning en verwerking ervoor kunnen negatieve milieueffecten hebben, waaronder CO₂-uitstoot en ruimtegebruik. Daarnaast is de productie van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen noodzakelijk, wat ruimte inneemt voor bijvoorbeeld zonne- en windparken. De bouw van deze faciliteiten kan leiden tot extra ruimtegebruik en mogelijk impact hebben op het landschap. Bovendien kunnen indirecte emissies ontstaan tijdens de productie en het transport van waterstof, afhankelijk van de gebruikte energiebronnen en efficiëntie van de processen.

Hoewel deze indirecte emissies en het ruimtegebruik significant kunnen zijn, is een gedetailleerde kwantificering hiervan buiten het bereik van deze studie. Een uitgebreide levenscyclusanalyse (LCA) zou nodig zijn om de volledige milieu-impact van deze upstream-activiteiten te evalueren. Desalniettemin is het belangrijk om deze factoren in overweging te nemen bij de overgang naar duurzame luchtvaart, om ervoor te zorgen dat de netto milieuvoordelen daadwerkelijk worden gerealiseerd.

2.4 Indirecte effecten

Naast de reistijd zijn er ook nog indirecte effecten door de transitie. Deze indirecte effecten zijn werkgelegenheidseffecten, effecten op toerisme en handel en exportkansen voor de Nederlandse industrie. Deze effecten zullen kwalitatief beschreven worden.

2.4.1 Reistijdeffecten Nederland

In deze studie richten we ons specifiek op de reistijdeffecten die ontstaan door de introductie van (potentiële) nieuwe directe verbindingen als gevolg van elektrische vluchten. We richten ons uitsluitend op reistijdeffecten die het gevolg zijn van een verbeterde connectiviteit, gedreven door twee aspecten: reistijdeffecten door directe vluchten. Een kortere reistijd ontstaat

doordat direct naar de bestemming wordt gevlogen, waarbij in de referentie een omweg via andere luchthavens plaatsvindt. Daarnaast gaat het om de vliegsnelheid, die lager ligt bij duurzame vliegtuigen (Bijlage D). En reistijdeffekten worden bepaald door afname van de wachttijd door het wegvallen van overstaptijden bij hub-luchthavens.

In Scenario 2 worden elektrische en waterstofvliegtuigen ingezet, wat leidt tot een aanzienlijke verandering, vooral op Schiphol. Hier daalt de totale vliegafstand met 9.901 km, terwijl de reistijd paradoxaal genoeg toeneemt met 6.514 uur. Dit kan wijzen op een vervanging van langere vluchten door duurzamere, maar tragere alternatieven. Voor de andere luchthavens, zoals Eindhoven, Rotterdam, Maastricht en Groningen, blijven zowel de vliegafstand als de reistijd ongewijzigd in beide scenario's.

Figuur 2.11 Afstand/reistijdeffekten vanwege directe vluchten (in km en uren)

	Vliegafstand (in kilometers)		Reistijd (in uren)	
	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
Nederland				
Amsterdam / Schiphol	-798	-9.901	-12	6.514
Eindhoven (EIN)	0	0	0	0
Rotterdam (RTM)	0	0	0	0
Maastricht (MST)	0	0	0	0
Groningen (GRQ)	0	0	0	0

Opmerking: een negatieve waarde voor vliegafstand en reistijd betekent dat de gemiddelde vliegafstand en reistijd afneemt t.o.v. het alternatief (vliegen met een conventioneel toestel en stop-over)

Op basis van de huidige uitgangspunten – vliegsnelheden van huidige en duurzame toestellen evenals de bestemmingsmatrix – constateren we dat de lagere verwachte snelheid van een duurzaam toestel (een deel van de) reistijdeffekten wegneemt of zelfs leiden tot een (beperkt) reistijdverlies. Ondanks dat een directe verbinding een kortere vliegafstand heeft, zal de reistijd naar verwachting niet 1-op-1 afnemen. Er is aanvullend onderzoek nodig naar de verwachte reistijdeffekten van een duurzaam toestel ten opzichte van een conventioneel toestel. In Bijlage D worden toegepaste uitgangspunten weergegeven.

Vanuit een connectiviteitsperspectief wordt geen significante verandering verwacht door de inzet van deze alternatieven op de regionale luchthavens in Nederland. Daarmee bestaat de jaarlijkse reistijd voor Nederland uitsluitend uit de connectiviteitsverandering op Schiphol.

In scenario 2 nemen de mogelijkheden toe en kunnen naar schatting jaarlijks circa 16.500 vliegbewegingen worden bediend met elektrische en waterstof toestellen. Daarmee neemt de som van reistijdeffekten toe tot respectievelijk € 2 mln. per jaar.

Figuur 2.12 Jaarlijks reistijdeffect per reisonderdeel in scenario 1 en 2 (in mln. euro)

Reistijdeffekten	Nederland	
	Scenario 1	Scenario 2
Vliegtijd	€ 0	€ 0
Wachttijd	€ 0	€ 2
Totaal	€ 0	€ 2

Opmerking: effecten zijn afgerond op miljoenen.

2.4.2 *Werkgelegenheidseffecten, effecten op toerisme en handel en exportkansen*

De komst van duurzame luchtvaart heeft als een van de indirecte effecten een groei in werkgelegenheid binnen de luchtvaartsector. De transitie naar nieuwe technologieën vraagt om extra arbeidskrachten, niet alleen in de operationele fase maar ook tijdens innovatie, implementatie en infrastructuraanpassing.

De MKBA-werkwijzer stelt dat maatregelen in de luchtvaartsector doorgaans niet direct gericht zijn op het verhogen van werkgelegenheid. Echter, gezien de maatschappelijke relevantie van dit onderwerp, geven we hier een inschatting van de potentiële effecten op de werkgelegenheid.

De eerste fase van de overgang naar duurzame luchtvaart richt zich op **innovatie**, een periode waarin nieuwe technologieën worden ontwikkeld en getest. Dit proces creëert werkgelegenheid op verschillende gebieden:

- Elektrisch vliegen vereist de ontwikkeling van batterijen, lichtgewicht materialen en elektrische aandrijfsystemen. Dit leidt tot extra banen voor ingenieurs, datawetenschappers en luchtvaarttechnici die zich bezighouden met de optimalisatie van deze technologieën.
- Waterstofvliegtuigen vragen om uitgebreid onderzoek naar chemische processen, veilige opslag en de integratie van brandstofcellen in vliegtuigen. Dit resulteert in extra werkgelegenheid voor chemisch ingenieurs, veiligheidsexperts en technici gespecialiseerd in alternatieve brandstoffen.
- Onderwijs en opleiding spelen een cruciale rol in de overgang naar duurzame luchtvaart. Universiteiten en hogescholen in Nederland, met name in Delft en Eindhoven, zullen extra docenten en trainers nodig hebben om toekomstige luchtvaartprofessionals op te leiden.

In de **implementatiefase** wordt duurzame luchtvaarttechnologie geïntegreerd in de bestaande infrastructuur. Dit vereist grootschalige aanpassingen aan luchthavens en logistieke processen, wat op zijn beurt werkgelegenheid creëert:

- Er is behoefte aan waterstof en elektrische laadstations. Dit vraagt om de inzet van technici, ingenieurs en bouwpersoneel voor de aanleg van de nieuwe infrastructuur.
- Voor waterstoftechnologie is de aanleg van opslagfaciliteiten een belangrijke bron van werkgelegenheid. In Nederland vraagt dit om chemische expertise en complexe installaties, terwijl in het Caribisch gebied kleinere, maar gespecialiseerde teams nodig zijn voor de opslag en distributie van waterstof.
- Naast de fysieke infrastructuur is er ook behoefte aan personeelstraining. Technisch personeel moet worden opgeleid om met nieuwe technologieën te werken, wat extra banen creëert voor trainers en opleiders in zowel Nederland als de Caribische regio.

Tijdens de [vervangingsfase](#) opereren conventionele en duurzame vliegtuigen tijdelijk naast elkaar. Dit brengt extra werkgelegenheid met zich mee, omdat verschillende systemen tegelijkertijd moeten worden beheerd en onderhouden:

- Onderhoudspersoneel zal zowel conventionele als duurzame vliegtuigen moeten ondersteunen. Elektrische vliegtuigen vereisen technici met specifieke kennis van batterijen en elektrische systemen, terwijl waterstofvliegtuigen gespecialiseerde vaardigheden vragen op het gebied van brandstofcellen en veilige opslag.
- Grondafhandelingspersoneel moet omgaan met een mix van traditionele brandstoffen en nieuwe energiebronnen zoals elektriciteit en waterstof.
- Omdat duurzame vliegtuigen vaak een kleinere passagierscapaciteit hebben, zullen er meer vluchten nodig zijn om dezelfde vervoersvraag te dekken. Dit leidt direct tot een toename van het aantal banen voor piloten en cabinepersoneel.

Deze additionele groei van werkgelegenheid hangt af van de implementatiesnelheid, en of de banencreatie vervanging of aanvulling is. Er mogen ca. 1.000 tot 2.000 extra banen voor piloten en cabinepersoneel worden verwacht in de operationele fase, als er 16.500 elektrische (17%) of 23.000 (14%) waterstofbewegingen per jaar zou gerealiseerd worden (bij realisatie van de technische capaciteiten in scenario 2). Dat zou tot enkele honderden banen in onderhoud (MRO) kunnen leiden (deels additioneel deels vervanging), afhankelijk van de vlootgrootte en onderhoudsbehoefte. Tot slot zijn er indirecte banen voor training, infrastructuur en logistieke ondersteuning.

Als de invoering van duurzame luchtvaart ook leidt tot een directe stijging van de werkgelegenheid binnen de luchtvaartsector zelf, door uitbreiding van het aanbod, stimuleert dit ook indirecte werkgelegenheid. In Nederland betekent dit meer banen in operationele functies zoals grondafhandeling, ticketverkoop en luchtverkeersleiding. Daarnaast kan de zakelijke luchtvaartsector profiteren van verbeterde verbindingen, wat op zijn beurt werkgelegenheid genereert in logistiek en zakelijke dienstverlening.

2.4.3 Exportkansen liften mee met connectiviteit

De verbeterde connectiviteit door de implementatie van duurzame luchtvaarttechnologieën biedt aanzienlijke exportkansen, vooral voor Nederland, dat al een sterke positie heeft in de toeleverende industrie voor de wereldwijde luchtvaartsector. Volgens het rapport [Luchtvaart in Transitie \(LiT\)](#)⁵⁷ kan Nederland zijn marktaandeel vergroten door zich te richten op nichemarkten zoals composieten, thermoplasten, elektrische systemen en thermische technologieën

In [Scenario 1](#) kan de export van innovatieve vliegtuigonderdelen en bijbehorende technologieën worden gestimuleerd door de ontwikkeling van elektrische vliegtuigen voor korte afstanden. Nederlandse bedrijven, met een sterke focus op geavanceerde materialen en systemen, kunnen profiteren van de groeiende vraag naar lichtgewicht materialen en energiezuinige vliegtuigonderdelen. Deze ontwikkelingen zullen de concurrentiepositie van Nederlandse toeleveranciers versterken, aangezien zij oplossingen kunnen bieden die passen bij de toenemende vraag naar duurzame luchtvaartoplossingen.

⁵⁷ Roland Berger. (2024). *Luchtvaart in Transitie – Theory of Change*. Amsterdam, Nederland: Nationaal Groeifonds.

Scenario 2 biedt nog meer mogelijkheden doordat technologieën zoals waterstofvliegtuigen commercieel rijp zijn en een groter bereik hebben. De technologische innovaties die voortkomen uit het LiT-programma, zoals waterstof aandrijflijnen en nieuwe fabricagemethoden, kunnen internationaal worden vermarkt. Nederlandse bedrijven kunnen hierdoor een grotere rol spelen in de wereldwijde supply chain van duurzame vliegtuigen, met name op gebieden zoals retrofit-activiteiten en onderhoud, reparatie en revisie (MRO) van waterstofvliegtuigen.

De exportkansen worden verder versterkt door de strategische focus op samenwerking binnen de EU en deelname aan programma's zoals Clean Aviation. Hierdoor worden Nederlandse technologieën en concepten niet alleen lokaal toegepast, maar ook opgenomen in bredere Europese en mondiale projecten. Deze internationale samenwerking verhoogt de zichtbaarheid en geloofwaardigheid van Nederlandse innovaties en stimuleert de export van hoogwaardige producten en diensten.

3 Verkenning impact op Caribisch deel van het Koninkrijk

3.1 Belangrijke belanghebbenden in de business case duurzame luchtvaart Caribisch deel van het Koninkrijk

Net als op het vasteland van Nederland zijn er vergelijkbare stakeholders aan zet in het Caribisch deel van het Koninkrijk. Het gaat fabrikanten (OEM's), gebruikers (luchtvaartmaatschappijen en eindklanten), luchthavens en luchtvaart autoriteiten. Hieronder volgt een verkenning van de verschillende componenten die van belang zijn voor de belanghebbenden (stakeholders, investeerders, gebruikers).

De stakeholdertypes vallen grotendeels samen met de analyse voor het Nederlandse vasteland, zoals in 2.1 uitgewerkt. De Original Equipment Manufacturers (OEM) is niet zo ver ontwikkeld zoals in de EU en is er geen productie. Wel zijn er bedrijven voor onderhoud, reparatie en revisie (Maintenance, Repair, and Overhaul, MRO) van vliegtuigen en opleidingsinstituten. Verder zijn er luchthavens met ondersteunende diensten en luchtvaart autoriteiten met elk hun eigen verantwoordelijkheid.

CAPEX (Kapitaaluitgaven)

CAPEX verwijst naar de [initiële investeringen](#) die noodzakelijk zijn om een project op te zetten.

- Er is een zeer beperkt tot geen economisch ecosysteem met een R&D cluster op de eilanden aanwezig waar de luchtvaartindustrie op kan voortbouwen.
- De luchtvaartmaatschappijen moeten investeren in de aanschaf van duurzame vliegtuigen, de aanpassing (retrofit) van hun bestaande vloot en de benodigde infrastructuur voor duurzame brandstoffen. Elektrisch vliegen heeft meer potentieel dan waterstof, aangezien er momenteel geen bestaand kenniscluster of basisinfrastructuur voor waterstof is, en er daarnaast ruimtelijke vraagstukken spelen. De ontwikkeling van elektriciteit via zonne-energie biedt volop mogelijkheden. De aanschaf van duurzame vliegtuigen vereist een investering enkele tientallen tot 100 miljoen euro, afhankelijk van de omvang van de vloot en de gekozen technologie.
- Luchthavens moeten de infrastructuur voor duurzame luchtvaart faciliteren, zoals de installatie van laadstations voor elektrische vliegtuigen, waterstoftanks en het aanpassen van hun terminals en infrastructuur.⁵⁸

⁵⁸ [Duurzame luchtvaart vraagt slimme investeringen - NAG](#)

OPEX (Operationele kosten)

OPEX betreft de **doorlopende kosten** die verbonden zijn aan het operationeel houden van het systeem. Dit omvat de dagelijkse uitgaven die nodig zijn om vliegtuigen, luchthavens en luchtvaartmaatschappijen operationeel te houden.

- **Luchtvaartmaatschappijen** hebben operationele kosten (OPEX) in de vorm van brandstof (waarbij duurzame brandstoffen mogelijk duurder zijn in de startfase), onderhoud van de vliegtuigen, personeelskosten, en andere operationele kosten.
- **Luchthavens** hebben operationele kosten, die onder andere bestaan uit de kosten voor het beheren van luchthavenfaciliteiten, energieverbruik (met name als ze overschakelen naar duurzame energie), en onderhoud van de infrastructuur.

Potentiële Inkomsten

De luchtvaartsector speelt al een belangrijke rol in het Caribisch gebied, vooral vanwege het toerisme. De toerismesector draagt aanzienlijk bij aan de werkgelegenheid en het bruto binnenlands product (bbp) van de eilanden. Hoewel er geen specifieke cijfers beschikbaar zijn, is het duidelijk dat de luchtvaartindustrie als geheel essentieel is voor de economieën van de Caribische eilanden.

Luchtvaartmaatschappijen kunnen profiteren van potentiële inkomsten uit een nieuw klantenbestand, omdat passagiers steeds meer geïnteresseerd raken in duurzame luchtvaart. Bovendien kunnen ze mogelijk profiteren van overheidssteun, belastingvoordelen of subsidies voor het gebruik van duurzame brandstoffen. Bij 1-1 vervanging kan ook een kostenreductie op de ETS heffingen (in de EU) gerealiseerd worden. **Luchthavens** kunnen nieuwe inkomsten genereren door te fungeren als hubs voor duurzame luchtvaartmaatschappijen, door verhoogde luchtverkeersdiensten aan te bieden en door bijvoorbeeld de aanleg van faciliteiten voor alternatieve brandstoffen, zoals waterstof, te financieren. Daarnaast kunnen luchthavens ook profiteren van subsidies of belastingvoordelen die gepaard gaan met de transitie naar duurzamere luchtvaart.

Samenvattend geeft volgende tabel een overzicht van de financiële implicaties van duurzame luchtvaart voor de belangrijkste stakeholders. Elk van de betrokken partijen (OEM's, luchtvaartmaatschappijen, luchthavens) heeft aanzienlijke kapitaal- en operationele uitgaven, maar er zijn ook aanzienlijke potentiële inkomsten te behalen uit de veranderende marktomstandigheden, de groeiende vraag naar duurzame oplossingen, en de ondersteunende maatregelen van overheden. Door deze kosten en baten te kwantificeren, kan een solide business case worden opgebouwd voor de transitie naar duurzame luchtvaart, wat belangrijk is voor het succes van de sector op de lange termijn.

Figuur 3.1 Verkenning impacts op OEM, luchtvaartmaatschappijen en luchthavens

Caribisch deel NL	CAPEX	OPEX	Potentiële inkomsten
OEM	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
Luchtvaartmaatschappij	Aanzienlijke kapitaaluitgaven in vervanging van de bestaande vloot door nieuwe technologieën. Kapitaalvernietiging kan	Luchtvaartmaatschappijen hebben OPEX in de vorm van brandstof (waarbij duurzame brandstoffen mogelijk duurder zijn in de startfase), onderhoud van	Potentiële inkomsten uit een nieuw klantenbestand. Bij 1-1 vervanging kan ook een kostenreductie op de

Caribisch deel NL	CAPEX	OPEX	Potentiele inkomsten
	optreden bij vervanging voortijdig de economische levensduur.	de vliegtuigen, personeelskosten, en andere operationele kosten. Er zijn indicaties dat elektrische toestellen op termijn goedkoper kunnen zijn per stoelkm. Training van MRO.	ETS heffingen gerealiseerd worden.
€	Omvang afhankelijk van grootte toestel, mogelijk rond de 25-30 mln. euro per toestel	Tot 10% besparing per stoelkm.	Duurzaamheidsopslag in ticketverkoop en betalingsbereidheid. Vermijden van (toekomstige) belastingen op emissies.
Luchthaven	Installatie van laadstations voor elektrische vliegtuigen, waterstoftanks en het aanpassen van hun terminals en infrastructuur.	Kosten voor het beheren van luchthavenfaciliteiten, energieverbruik (met name als ze overschakelen naar duurzame energie), en onderhoud van de infrastructuur. Uitbreiding van scope activiteiten.	Verkoop van energie als additionele inkomstenstroom. Kunnen nieuwe inkomsten genereren door bijvoorbeeld de aanleg van faciliteiten voor alternatieve brandstoffen en verkoop energie (al dan niet lokaal opgewekt).
€	Tussen €0.5 en 2 mln afhankelijk van de omvang voor elektrische infrastructuur in de eerste fase, daarna mogelijk iets meer door grotere installaties. Waterstof sterk afhankelijk van welke faciliteiten er op de luchthaven geplaatst worden.	Beheer en onderhoud van energie-installaties en opwekking zal hoger zijn omdat het 'nieuwe' specialismes betreft. Als ook de energietransitie doorzet, dan zullen de OPEX daarmee meegaan en licht dalen.	

Drie type-stakeholders die een cruciale rol spelen in een succesvolle implementatie van waterstof- en batterij-elektrisch vliegen zijn de Nederlandse luchtvaartmaatschappijen, luchthavens en vliegtuigbouwers. De huidige initiatieven worden in onderstaande secties nader toegelicht.

3.1.1 Luchtvaartmaatschappij Cariben

In de toekomst wordt verwacht dat de luchtvaartactiviteiten in de Caribische eilanden toenemen. Dat vraagt om een uitbreiding van de regionale vloot. Wat een kans biedt tot het aanpassen van de vloot aan nieuwe technologieën. Volgens een rapport van Deloitte⁵⁹ zou het aantal luchtverkeersbewegingen tegen 2050 met minstens 19% kunnen stijgen voor de ABC-eilanden (Aruba, Bonaire en Curaçao) en met 14% voor de SSS-eilanden (Saba, Sint-Eustatius en Sint-Maarten) om te voldoen aan de vraag naar kortere vluchten.

De beredeneerde investeringskosten voor vervanging van de vloot

Naar verwachting zijn het de lokale maatschappijen zoals bijvoorbeeld Divi Divi, Winair en Z-Air, die uiteindelijk overgaan tot het incorporeren van elektrische vliegtuigen in hun operatie.

De eerste twee lokale maatschappijen bevestigen ook in gesprek⁶⁰ dat indien het technisch mogelijk is, gecertificeerd en wel, en het totale kostenplaatje lager is dan de huidige operatie ze graag over gaan naar een elektrisch toestel.

Omdat het **incorporeren van nieuwe toestellen** in een bestaande vloot operationele aanpassingen vraagt de verwachting dat deze introductie geleidelijk zal gaan. De kosten bestaan dus niet alleen uit aanschaf van een nieuw toestel. Maar behelzen ook opleiding van piloten en aanpassen van de AOC. De in deze studie beschouwde duurzame toestellen zijn nog volop in ontwikkeling daardoor is de benodigde investering moeilijk te kwantificeren. Als uitgangspunt is genomen dat een derde tot de helft van de vloot wordt vervangen door batterij-elektrische toestellen. Hiermee kan de investering op basis van aanwezige expert-judgement bij Ecorys als volgt worden **beredeneerd**.

Op basis van leeftijd en mogelijke beschikbaarheid van alternatieve elektrisch toestellen zijn de eerste kandidaten voor vervanging de Britten-Norman Islander (9 passagiers) en de DHC-6 Twin Otter (19 passagiers). De gemiddelde leeftijd van deze toestellen is meer dan 40 jaar oud.⁶¹ Door de hoge leeftijd zullen de onderhoudskosten relatief hoog zijn ten opzichte van nieuwe toestellen.

Figuur 3.2 DHC-6 Twin Otter & Britten-Norman Islander (Divi-Divi air)



⁵⁹ [Het Europese luchtvaartlandschap in 2040 | Deloitte Nederland](#)

⁶⁰ Gesprekken gevoerd met directie van zowel Winair als Divi Divi

⁶¹ www.planespotters.net

Winair' s Vloot

- Huidige vloot: 6 toestellen (5 Twin Otters en 3 ATR 42-500's)
- Aanschafkosten voor 1-1 substitutie van [1/3 tot 1/2] van de vloot:
 - a. 1/3 vervanging (2 toestellen):
 - 2 toestellen x €30-50 mln.⁶² = €60-100 miljoen
 - b. 1/2 vervanging (3 toestellen):
 - 3 toestellen x €30-50 miljoen = €90-150 miljoen

Divi Divi Air

- Huidige vloot: 7 toestellen (3 Britten-Norman BN-2 Islanders en 4 De Havilland Canada DHC-6 Twin Otters)
- Aanschafkosten voor 1-1 substitutie van [1/3 tot 1/2] van de vloot:
 - a. 1/3 vervanging (2 toestellen):
 - 2 toestellen x €15-50 miljoen = €30-100 miljoen
 - b. 1/2 vervanging (3 toestellen):
 - 3 toestellen x €15-50 miljoen = €45-150 miljoen

Z Air

- Huidige vloot: 6 toestellen (1 Embraer ERJ 140LR, 3 Saab 340's, en 2 Learjets)
- Aanschafkosten voor 1-1 substitutie van [1/3 tot 1/2] van de vloot:
 - a. 1/3 vervanging (2 toestellen):
 - 2 toestellen x €30-50 miljoen = €60-100 miljoen
 - b. 1/2 vervanging (3 toestellen):
 - 3 toestellen x €30-50 miljoen = €90-150 miljoen

Afhankelijk van de mate van vervangingen kan de investering voor deze drie maatschappijen samen al variëren tussen **€100 miljoen en €500 miljoen**. Dit geeft een beeld van de mogelijke investeringsbandbreedte voor de overstap naar elektrische vliegtuigen in de Caribische regio, al is de ratio van 1-1 vervanging, het tijdspad en de werkelijke verkoopprijzen nog onzeker. Ook zijn alle transitiekosten hiermee nog niet inzichtelijk.

OPEX: de operationele kosten van een (hybride)elektrisch vliegtuig

De operationele kosten van een elektrisch vliegtuig zijn nog niet goed bekend omdat er nog weinig ervaring is opgedaan. Anno 2025 is het nog niet haalbaar om een volledige dienstregeling met elektrische vliegtuigen uit te voeren omdat de grotere vliegtuigen (meer dan 10 passagiers) nog niet beschikbaar zijn. Op dit moment zijn er verschillende prototypes in het certificatieproces die zodra dat proces met succes is afgerond op de markt kunnen komen.

Op dit moment is er één EASA- en FAA-goedgekeurd toestel beschikbaar, de Pipistrel Velis Electro. Dit twee persoons GA toestel is niet geschikt voor commercieel transport van passagiers, maar bij uitstek geschikt voor lesvluchten en het voorbereiden van het lokale ecosysteem. Zo zien we dat de vliegschool Eflight⁶³ in Teuge en het project Electrify⁶⁴ de vleugels uitslaat naar andere velden en daarmee ook een transitie naar elektrische luchtvaart in gang zet. Het is nog wachten op de grotere gecertificeerde toestellen om daadwerkelijk

⁶² De CAPEX kosten voor een elektrisch toestel zijn nu nog niet bekend. Voor een vergelijkbaar toestel zou de prijs per toestel, in de beginfase van productie, kunnen variëren tussen \$30 miljoen en \$50 miljoen. Batterijen vormen een aanzienlijk deel van de kosten voor elektrische vliegtuigen. Ook lopen de ontwikkelkosten in de miljarden.

⁶³ <https://www.lelystadairport.nl/elektrisch-vliegen-tussen-lelystad-airport-en-schiphol/>

⁶⁴ <https://www.electrify.store/>

onderbouwde inschattingen te maken voor CAPEX en OPEX. Ook werden de kosten voor bemanning bijvoorbeeld op hetzelfde geschat, maar is niet meegenomen in deze analyse.

Zowel een eerder onderzoek⁶⁵ in opdracht van het ministerie van I&W, uitgevoerd door Royal NLR en NACO als een calculatie van bijvoorbeeld Vaeridion tonen een reductie van operationele kosten aan. Zo zijn de kosten voor energie en onderhoud lager, zoals te zien is in de onderstaande tabel waarvan de gegevens zijn aangeleverd door Vaeridion.⁶⁶ Hierbij wordt uitgegaan van de prijs voor Jet-A: 4.50 USD/Gal, Elektriciteit: 0,21 USD/kWh, Batterijprovisie: 600 USD/kWh en 2.000 vluchten per jaar.

Figuur 3.3 Geschatte kosten voor een vlucht van 65NM

Kosten voor een vlucht van 65NM [USD]	Vaeridion Microliner 9 pax	Britten Norman, BN2 9 pax	Twin Otter DH6-400 19 pax
Energie	28	135	290
Onderhoud	71	144	180
Accu vervanging	63	0	0
Opgeteld	162	279	470
Kosten per stoel	18	31	25

De operationele kosten per 100 km voor de verschillende vliegtuigen, zowel fossiel als elektrisch aangedreven, voor deze scope, zijn als volgt beredeneerd:

Twin Otter (DHC-6)

De Twin Otter⁶⁷ heeft een brandstofverbruik van ongeveer 0,3Gal/km bij cruise. Gezien de gemiddelde brandstofprijs van €4,50/Gal voor vliegtuigbrandstof, bedragen de geschatte brandstofkosten per 100 kilometer €135.

ATR 42-500

De ATR 42-500⁶⁸ heeft een brandstofverbruik van ongeveer 0,6Gal/km in cruise. Met dezelfde brandstofprijs komen de brandstofkosten per 100 kilometer uit op €250-300 per 100 km.

Elektrisch aangedreven vliegtuigen

Voor de elektrisch aangedreven vliegtuigen variëren de kosten sterk afhankelijk van het energieverbruik, dat tussen de 50 kWh en 100 kWh per 100 km ligt. De exacte verbruikscijfers zijn nog niet gekend, maar een Pipistrel⁶⁹ (wat een klein GA toestel is) zit rond de 12 kWh per 100 km. De energieprijzen in de regio is ca. €0,20 per kWh.

Bij een minimaal verbruik van 50 kWh per 100 km, bedragen de kosten voor het elektrisch vliegtuig €10 per 100 km. Bij een maximaal verbruik van 100 kWh per 100 km, bedragen de kosten €20 per 100 km.

⁶⁵ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2022/02/18/bijlage-2-roadmap-electric-flight-naco-nlr-report>

⁶⁶ Gesprekken gevoerd met de directie van Vaeridion

⁶⁷ https://en.wikipedia.org/wiki/De_Havilland_Canada_DHC-6_Twin_Otter

⁶⁸ <https://www.atr-aircraft.com/wp-content/uploads/2020/07/42-500.pdf>

⁶⁹ De Pipistrel is een bekende fabrikant van lichte vliegtuigen, en hun elektrische toestellen zoals de Pipistrel Alpha Electro en de Pipistrel Velis Electro zijn ontworpen voor trainingsdoeleinden en andere lichte vliegoperaties.

⁷⁰ De Pipistrel Velis Electro, het eerste volledig elektrische vliegtuig dat gecertificeerd is door EASA en FAA, heeft een energieverbruik van ongeveer 12 kWh per uur. Het vliegtuig heeft een kruissnelheid van ongeveer 160 km/u en een bereik van 100 tot 150 km, afhankelijk van de vliegomstandigheden en het gewicht. ([EASA.A.573 - Virus SW 121 | EASA](#))

Uit deze cijfers blijkt dat de operationele kosten voor elektrisch vliegen, met name de kosten voor aandrijving, aanzienlijk lager (factor 10) zouden kunnen zijn dan die voor fossiele brandstof aangedreven vliegtuigen. Dit verschil in operationele kosten maakt de overstap naar elektrisch vliegen financieel aantrekkelijker, vooral op lange termijn, wanneer de initiële investeringskosten en andere transitie-uitgaven worden meegenomen.

De lagere brandstofkosten van elektrische vliegtuigen kunnen bijdragen aan een significante verlaging van de totale operationele kosten voor luchtvaartmaatschappijen, mits de implementatie van de benodigde infrastructuur en de aanschaf van de elektrische vliegtuigen haalbaar zijn binnen de budgettaire en operationele kaders van de luchtvaartmaatschappijen.

3.1.2 Luchthaven Cariben

Binnen het thema duurzame luchtvaart speelt de luchthaven zelf een centrale rol. Immers, bijna alle elementen binnen het luchtvaart ecosysteem hebben een directe of indirecte relatie met die luchthaven. De meeste voorzieningen voor de vliegoperatie zelf zijn hier te vinden.

De vliegtuigen vertrekken en komen aan, worden voorzien van nieuwe energie en passagiers, die vervolgens gedurende bepaalde tijd zich bevinden in het terminal gebouw en reizen tussen woonplaats het gebouw. Binnen het kader van de luchthaven in zijn geheel zijn vele potentiële verduurzamingsinitiatieven mogelijk of kan een bijdrage geleverd worden aan de verduurzaming van het luchtvaart ecosysteem.

Een luchthaven kent verschillende inkomstenbronnen, zo zijn daar de inkomsten per vliegtuig(landing), maar ook de passagiers betalen via het ticket een bepaalde vergoeding aan de luchthaven. Daarnaast is er voor de kleinere luchthavens de lokale overheid die bijspringt in de operationele kosten. Bij grotere passagiersaantallen en besparingen op uitgaven, bijvoorbeeld op energie, ontstaat er budget om investeringen te plegen.

Kosteninschatting van de noodzakelijke elektrische laad infrastructuur

Om een kosteninschatting te maken voor de benodigde investering in elektrische laadinfrastructuur op de luchthaven, zijn drie fasen onderscheiden. Indien in eerste instantie kleinere toestellen worden ingezet, kan de benodigde vermogenscapaciteit en daarmee de initiële investering beperkt blijven.

- Fase 1 (2026): We gaan ervan uit dat één toestel met 2 tot 9 inzittenden gelijktijdig op een opstelplaats laadt. Hiervoor verwachten we een vermogensvraag van circa 50-400 kW.
- Fase 2 (2030): In deze fase rekenen we op grotere toestellen met 19 inzittenden dat gelijktijdig op een opstelplaats laadt. De verwachte vermogensvraag bedraagt circa 900 kW.
- Fase 3 (2035): Hier gaan we ervan uit dat zowel een kleine toestellen (2-9 inzittenden) als een grote toestellen (19 inzittenden) gelijktijdig opladen. De totale vermogensvraag komt dan uit op circa 900 kW + 400 kW.

Indien bestaande opstelplaatsen worden aangepast voor elektrische vliegtuigen, zullen ingrijpende infrastructurele aanpassingen nodig zijn. Als ervoor wordt gekozen om elektrische vliegtuigen op specifieke nieuwe locaties af te handelen, kan de benodigde investering aanzienlijk lager uitvallen.

Om laadstations te installeren, moet de netaansluiting worden geüpgraded voor de hogere stroomvraag, en zijn grondwerkzaamheden nodig voor nieuwe elektriciteitskabels. De bestaande opstelplaatsen moeten worden aangepast voor de laadstations. Deze kostenraming bevat een schatting van de infrastructuurkosten voor de luchthaven, maar sommige kostenfactoren, zoals mogelijke aanvullende eisen voor brandbestrijding, zijn niet meegenomen. De benodigde infrastructuur en verwachte investeringen worden in de onderstaande tabel weergegeven.

		Fase 1 (2026)	Fase 2 (2030)	Fase 3 (2035)
Noodzakelijke infrastructurele aanpassingen	Aantal gelijktijdig geparkeerde elektrische toestellen	1	1	2
	Aantal laadstations per luchthaven	1	1	2
	Verwachte vermogensvraag	400kW	900kW	1,3MW
		Fase 1 [€]	Fase 2 [€]	Fase 3 [€]
Verwachte kosten Per fase per luchthaven	Kabels en aansluiting op het elektriciteitsnet van het eiland, inclusief grondwerk	100.000	50.000	50.000
	Aanpassing vliegtuig opstelplaats tbv laadstations	100.000	100.000	200.000
	Kosten van een laadstation (inclusief gelijkrichter en installatieservices)	350.000	800.000	1.150.000
	Energieopslag om gegenereerde energie te bufferen om de piekvraag te kunnen verwerken	50.000	100.000	150.000
	Risicofactor van 30% ivm complexiteit met betrekking tot de bouw op de eilanden	200.000	350.000	500.000
	Totaal (afgerond)	1.000.000	1.500.000	2.200.000

Bron: Roadmap Electric flight in the Kingdom of the Netherlands & RHDHV

Opm.: De prijsstelling van de aansluitinstallatie en het laadstation zijn gebaseerd op informatie verkregen uit eerdere projecten uitgevoerd door RHDHV voor de elektrische busstations in Amsterdam en op de luchthaven van Lelystad. De raming van de grondwerken en de renovatie van de opstelplaatsen zijn ingeschat met behulp van de eenheidsprijzen van Bonaire en Aruba Airport.

Grootorde

Investerings in luchthavens voor de integratie van duurzame technologieën (laadpalen en infra) zijn ca. € 0,5 tot 10 mln., afhankelijk van de omvang van de luchthaven en het niveau van de benodigde aanpassingen.

Met een geschatte jaarlijkse aanvullende budgetruimte van ongeveer 1 mln. EUR zouden de luchthavens binnen 1 decennium de kosten van drie laadpalen per luchthaven voor elektrisch vliegen (als te schatten is op EUR 0,5-5 miljoen) te dekken; zonder rekening te houden met operationele kosten, onderhoud of andere investeringen. Dit toont aan dat externe financie-

ring, zoals overheidssubsidies of private investeringen, nodig zou zijn om dergelijke infrastructuurprojecten te realiseren.

Ze kunnen het compenseren door ook additionele omzetstromen, en marge, te verkennen. Zoals eigen opwek van energie en verkoop ervan (aan de buurt en lokale laadpalen).

Op de luchthaven opwekken van zonne-energie

In de nabije toekomst zullen alternatieve energiebronnen moeten worden ingezet om de duurzaamheidsdoelen te bereiken. Niet alleen de algemene energieproductie, maar ook de luchtvaartsector moet en zal zijn energieverbruik radicaal aanpassen. We zien echter dat naast het algemene toegenomen elektriciteitsverbruik op de eilanden ook de luchtvaartsector meer elektriciteit zal gaan gebruiken. Het genereren van de 'gratis' zonne-energie biedt een win-win-situatie door de energiebehoefte van het eiland te ondersteunen en koolstofvrije mobiliteit mogelijk te maken.

Een typische middelgrote luchthaven in de regio zoals bijvoorbeeld de luchthaven van Aruba, Curaçao of Sint-Maarten verbruikt jaarlijks ongeveer 10-15 GWh⁷⁰ aan energie. Dit omvat terminalgebouwen, bagage-afhandelingssystemen, vliegveldverlichting systemen en luchtverkeersleiding. Het nutsbedrijf rekent voor dit verbruik in totaal ongeveer 3-5 miljoen euro op jaarbasis. Met een zonne-installatie van 8-10 MWp kan echter ongeveer dezelfde 15 GWh worden geproduceerd om van die specifieke installatie een 'netvraag'-neutrale luchthaven te maken.

Figuur 3.5 Potentiële locatie zonnepanelen op luchthaven terminal



Dit betekent echter niet dat de luchthaven met zonnepanelen volledig zelfvoorzienend is; er is nog steeds een aansluiting op het elektriciteitsnet nodig om de luchthaven gedurende de afwezigheid van de zon van energie te voorzien. Dit zou nog steeds niet een optimale oplossing zijn. Om de mogelijke overproductie gedurende de dag en de netto energie vraag gedurende de avonden op te kunnen vangen is een accu-installatie noodzakelijk. Dit betekent dat, naast het eigen gebruik, het eilandnet kan worden ondersteund door het leveren van stroom uit het batterijsysteem in tijden van nood. Voorwaarde voor deze regeling is dat er een goede

⁷⁰ Op basis van gesprekken met lokale Airport Authorities

en operationele samenwerking tot stand komt met het lokale nutsbedrijven. Er zijn reeds 40KWh accu systemen (voldoende voor het laden van een klein GA vliegtuig) op de markt voor minder dan 50.000Euro.

Stel dat voor een dergelijk project een stevige initiële investering nodig is, dan zou met de zonne-instraling en mogelijke verkoop van energie de tijd om de investering terug te verdienen ongeveer 10 jaar bedragen⁷¹. De grotere Caribische luchthavens hebben vlakke ruimte op hun terrein (ongeveer 8ha is voldoende) op bijvoorbeeld gebouwen of naast de start- en landingsbaan beschikbaar om de bovengenoemde capaciteit aan zonnepanelen te kunnen installeren.

Een vergelijkbare TNO⁷² berekening⁷³ voor een generiek solar project geeft aan dat tussen de 10 en 20 MWp aanvullend nodig is voor de grotere eilanden in de regio. Dit levert circa 40GWh/jaar op. Kosten voor een typische grondgebonden solar installatie varieert tussen de 2-4USD/Wp. Daaruit volgt een noodzakelijk investering van 20-40 miljoen. Een accu system kost ca. 500.000/MW. Gemiddelde kosten voor de energie is ca. 30ct/kWh. 40GWh representeert 40.000.000kWhx0,3ct is ca. 12mln/jaar aan elektriciteit. Dat verrekenen met afschrijving, andere kosten, inefficiëntie en doorlopende stroom afname. Dan kunnen we aannemen dat ca. 10-20% per jaar overblijft. Veilige aanname dat dan na 10x1,2-2,4mln de initiële aanschaf is gedekt. Dit komt overeen met de voornoemde periode van ca. 10 jaar voor een specifieke luchthaven installatie.

Onderdeel	Kengetallen	Kosten	Opbrengsten	Toelichting
Zonnepanelen (grondgebonden)	10-20 MWp capaciteit	\$2-4 per Wp	40 GWh/jaar stroomproductie	8 ha ruimte nodig, bijv. op gebouwen of naast de startbaan
Accusysteem		\$20-40 miljoen	~€12 miljoen/jaar	O.b.v. €0,30/kWh
	Voorbeeld: 40 kWh voor €50.000			Genoeg voor het laden van klein GA-vliegtuig
Totale investering		~€20-40 miljoen (plus accu's)		Inclusief panelen en batterijopslag
Terugverdientijd	10 jaar		€1,2-2,4 miljoen/jaar winst	Aangenomen dat 10-20% rendement overblijft na kosten & afschrijving
Oppervlaktebehoefte	±8 hectare			Beschikbaar op grote Caribische luchthavens
Energieprijs	0,30 €/kWh			Huidige marktkosten energie

⁷¹ Globalsolaratlas.info

⁷² TNO 2024 P10219 De energietransitie in Aruba, Curaçao en Sint-Maarten

⁷³ TNO 2021 R11513 Opties voor klimaat neutrale energievoorziening in Caribisch Nederland

3.2 Referentie en twee scenario's voor het Caribische deel van het Koninkrijk

Hieronder worden de kansen voor duurzame luchtvaart voor de zes luchthavens in het Caribische deel van het Koninkrijk besproken. De uitgebreidere resultaten van dit deel terug te vinden in Appendix A.

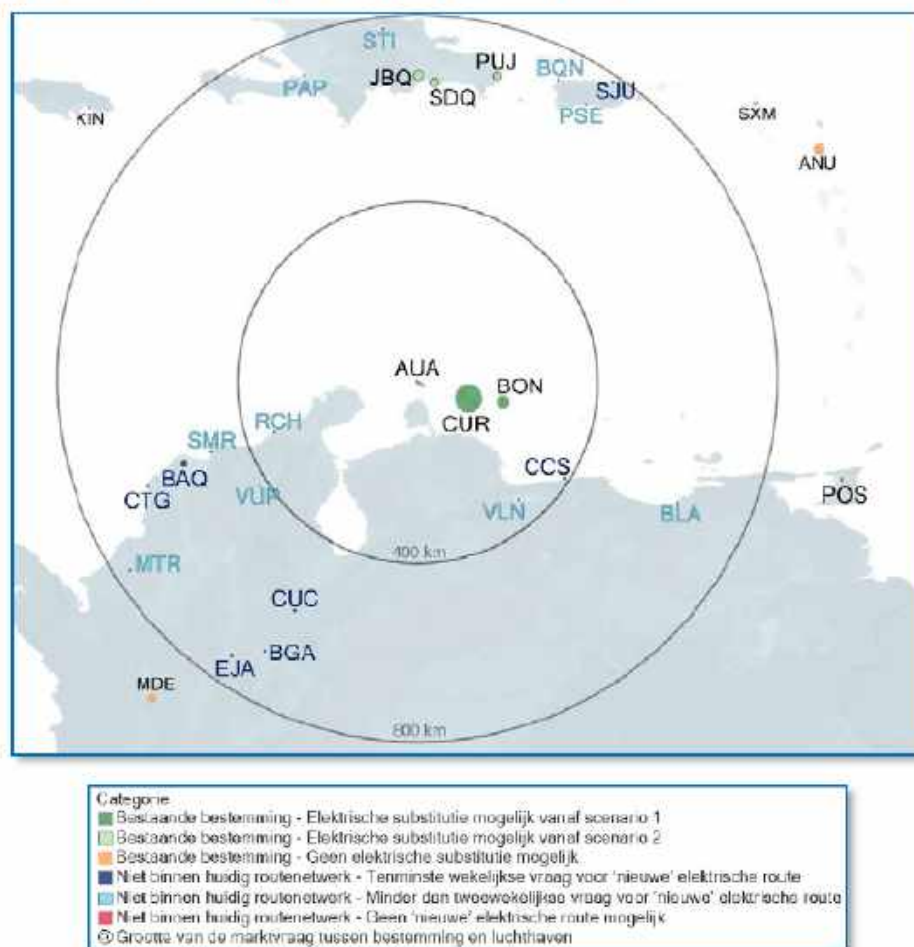
3.2.1 Aruba (AUA)

De grootste luchthaven (naar passagiersaantallen) ligt op Aruba en heeft vooral veel vluchten naar Noord-Amerika, de andere Caribische eilanden en naburige Zuid-Amerikaanse landen.

Elektrische vluchten zijn kansrijk gezien het huidige netwerk

Binnen het **scenario 1** kunnen er binnen een straal van 400 km alle bestaande routes geëlektrificeerd worden, zie Figuur 3.6. Hierbij gaat het om de twee verbindingen naar de 'zuster-eilanden' Bonaire (BON) en Curaçao (CUR) die beide ook binnen de 200 kilometer straal vallen. In totaal gaat het hierbij om zo'n 5.300 vliegbewegingen per jaar.

Figuur 3.6 Overzichtskaart Aruba (AUA) voor elektrische vluchten



Er is potentie voor het toevoegen van bestemmingen in het netwerk

In scenario 1 met kleine vliegtuigen zijn drie potentiële nieuwe bestemmingen die kunnen worden aangevlogen (afhankelijk van bilaterale overeenkomsten, in 2025 zijn er geen luchtverbindingen van Aruba naar Venezuela):

- **Caracas (CCS)**, de hoofdstad van Venezuela, zou volgens de gebruikte data minimaal één wekelijkse vlucht met een 9-zits toestel kunnen ondersteunen.)
- **Riohacha (RCH) en Valencia (VLN)** zouden minder dan een tweewekelijkse vlucht kunnen vullen op basis van de huidige vraag.

Bij verdere technologische ontwikkelingen, zoals beschreven in scenario 2 met middelgrote vliegtuigen en een groter bereik, komen drie aanvullende routes in aanmerking voor substitutie: **Santo Domingo (JBQ en SDQ)** en **Punta Cana (PUJ)**.

- Voor SDQ kan ongeveer 60% van het totale aantal vluchten worden vervangen, aangezien meerdere luchtvaartmaatschappijen op deze route actief zijn en ook grotere toestellen (>90 stoelen) inzetten. Dat zijn ca. 160 jaarlijkse vliegbewegingen.
- De routes naar JBQ en PUJ kunnen volledig worden gesubstitueerd, wat neerkomt op ca. 400 jaarlijkse vliegbewegingen.

Daarnaast biedt scenario 2 mogelijkheden om veertien nieuwe bestemmingen te openen. Deze richten zich vooral op de Colombiaanse markt, met daarnaast vraag naar verbindingen met luchthavens in Puerto Rico.

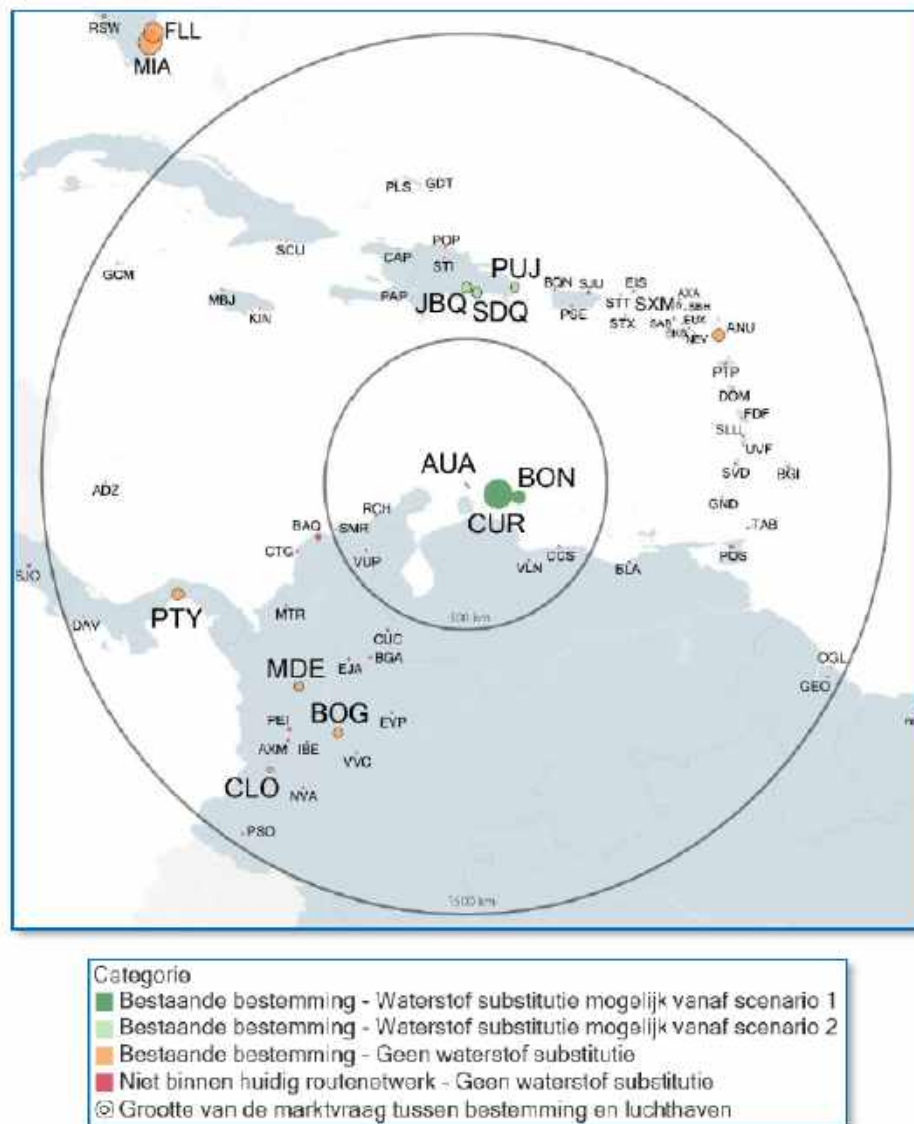
Waterstofvluchten worden kansrijk

Een vergelijkbare situatie doet zich voor bij het vervangen van vluchten door waterstofvliegtuigen. In scenario 1 betreft dit opnieuw de kortere vluchten naar Bonaire en Curaçao. In scenario 2 komen daar, naast de drie luchthavens in de Dominicaanse Republiek, ook vluchten naar St. Maarten (SXM) bij. Deze worden uitgevoerd in combinatie met Curaçao, wat neerkomt op ongeveer 400 jaarlijkse vliegbewegingen.

Voor routes naar grotere Zuid-Amerikaanse luchthavens is het onwaarschijnlijk dat deze worden vervangen door waterstofvliegtuigen. Dit komt doordat deze routes momenteel worden bediend met grotere vliegtuigtypen, die buiten de capaciteiten van de geschetste scenario's vallen.

Een overzicht van de waterstofbestemmingen is te vinden in Figuur 3.7.

Figuur 3.7 Overzichtstaart Aruba (AUA) voor waterstofvluchten

**Impact op de connectiviteit: meer direct aanbod wordt mogelijk**

De impact van volledig batterij-elektrische en waterstofvliegtuigen op Aruba is per scenario samengevat in Figuur 3.2.

- **Scenario 1 kleine vliegtuigen:** In dit scenario kunnen alle bestaande routes worden vervangen, wat het merendeel van de vliegbewegingen naar bestemmingen binnen het maximale bereik (400 kilometer) dekt. Als daarnaast de drie potentiële nieuwe routes elektrisch worden uitgevoerd, dan is meer dan een verdubbeling van het aantal routes binnen deze afstand.
- **Scenario 2 middelgrote vliegtuigen:** Net als scenario 1 kunnen alle bestaande routes binnen 400 kilometer worden vervangen, wat een groot deel van de vliegbewegingen binnen 800 kilometer vertegenwoordigt. Het grotere bereik van waterstofvliegtuigen maakt het mogelijk om ook grotere Zuid-Amerikaanse luchthavens te bedienen. Hierdoor wordt het aandeel van vervangbare routes binnen 1,500 kilometer iets minder dan de helft, maar dit omvat nog steeds ongeveer 62% van alle vliegbewegingen. De 17 potentiële nieuwe routes zouden het aantal bestemmingen van ruim 30 significant kunnen verhogen.

Figuur 3.8 Aantal routes dat vervangen kan worden op Aruba door elektrische of waterstofvluchten, of potentieel nieuw aangevlogen kan worden door elektrische vliegtuigen

	Scenario 1 kleine vliegtuigen			Scenario 2 middelgrote vliegtuigen		
	(Deels) vervangen routes*	Vervangen vliegbewegingen*	Additionele Routes	(Deels) vervangen routes	Vervangen vliegbewegingen	Additionele Routes
Elektrisch	2 (100%)	5.300 (92%)	3	5 (100%)	5.860 (85%)	17
Waterstof	2 (100%)	5.300 (92%)	-	6 (46%)	6.260 (62%)	-

*percentage ten opzichte van het netwerk binnen het gestelde maximum bereik per energiedrager (400km elektrisch, 500 km waterstof)

Percentage ten opzichte van het netwerk binnen het gestelde maximum bereik per energiedrager (800km elektrisch, 1500 km waterstof)

3.2.2 Bonaire (BON)

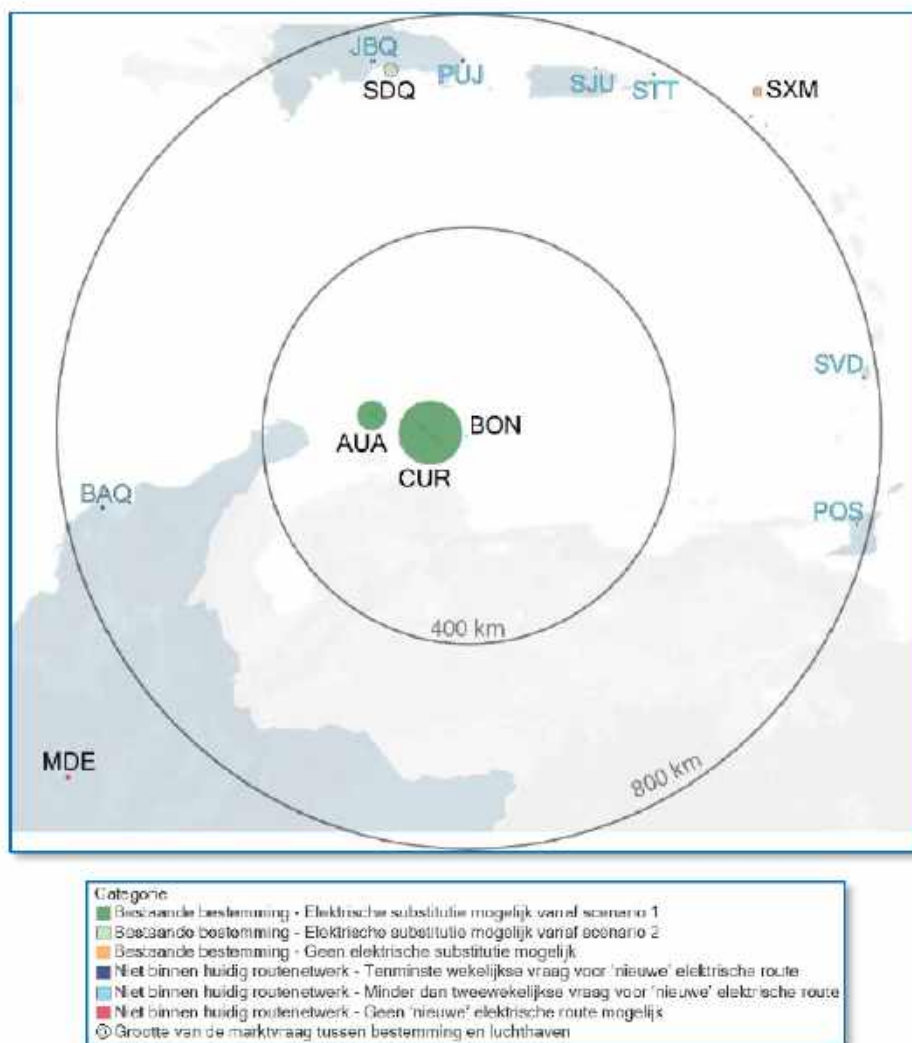
Als grootste bijzondere gemeente van Nederland, beschikt Bonaire ook over een luchthaven met verbinding naar de zuster ABC-eilanden en St. Maarten. Daarnaast worden er ook vluchten naar de Dominicaanse Republiek en de Verenigde Staten uitgevoerd.

Elektrische vluchten zijn kansrijk gezien het huidige netwerk

Net als op Aruba, kunnen de kortere vluchten naar Curaçao en Aruba vanaf Bonaire geëlektrificeerd worden binnen scenario 1, zie volgende Figuur. Dit betreft voor de luchthaven op Bonaire ongeveer 7.000 jaarlijkse vliegbewegingen.

In scenario 2 kunnen ook alle vluchten naar Santo Domingo (SDQ) geëlektrificeerd worden (ongeveer 100 jaarlijkse bewegingen). Binnen dit tweede scenario is er ook potentieel om zeven nieuwe routes te openen. Barranquilla (BAQ) toont volgens de huidige data de meeste vraag, met voldoende interesse voor minimaal één wekelijkse vlucht met een elektrische 9-zitter.

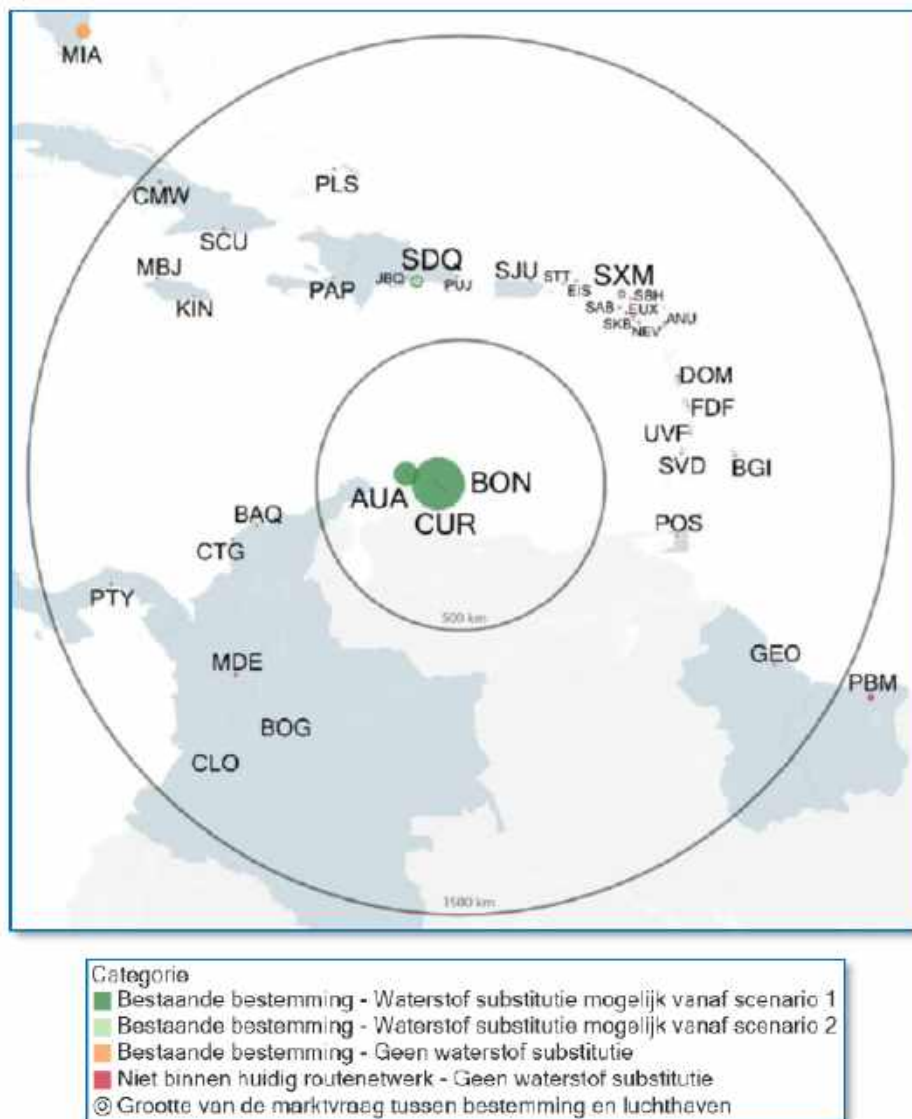
Figuur 3.9 Overzichtskaat Bonaire (BON) voor elektrische vluchten



Waterstofvluchten kunnen, enkel kijkend naar het netwerk

Met waterstofvliegtuigen kunnen de(zelfde) routes naar Aruba en Curaçao gevlogen worden als bij scenario 1. In scenario 2 komt naast Santo Domingo, ook St. Maarten (in combinatie met Curaçao) hierbij als te vervangen route zoals afgebeeld in figuur 3.10. Met de toevoeging van deze luchthaven komen er zo'n 300 vliegbewegingen bij die op waterstof gesubstitueerd kunnen worden.

Figuur 3.10 Overzichtstaart Bonaire (BON) voor waterstofvluchten



Positieve impact op de directe connectiviteit mogelijk

De mogelijke substitutie door duurzame vluchten is hoog. In beide scenario's kunnen alle huidige bestemmingen binnen het referentienetwerk vervangen worden. Dit geldt zowel voor volledige batterij-elektrische als waterstofvliegtuigen.

Het aantal vliegbewegingen dat vervangen kan worden ligt boven de 90%. Mochten de additionele elektrische routes allemaal gevlogen worden, dan zou dit een verdrievoudiging van het aantal bestemmingen betekenen en daarmee de connectiviteit voor Bonaire significant verbeteren. Ook kijkende naar het totaal aantal bestemmingen, ongeacht bereik, zouden de additionele routes significante impact kunnen hebben ten opzichte van de in totaal 11 routes vanaf Bonaire.

Figuur 3.11 Aantal routes dat vervangen kan worden op Bonaire door elektrische of waterstofvluchten, of potentieel nieuw aangevlogen kan worden door elektrische vliegtuigen

	Scenario 1			Scenario 2		
	(Deels) vervangen routes*	Vervangen vliegbewegingen*	Additionele Routes	(Deels) vervangen routes	Vervangen vliegbewegingen	Additionele Routes
Elektrisch	2 (100%)	7.000 (95%)	-	3 (100%)	7.100 (93%)	7
Waterstof	2 (100%)	7.000 (95%)	-	4 (100%)	7.400 (97%)	-

*percentage ten opzichte van het netwerk binnen het gestelde maximum bereik per energiedrager (400km elektrisch, 500 km waterstof)

Percentage ten opzichte van het netwerk binnen het gestelde maximum bereik per energiedrager (800km elektrisch, 1500 km waterstof)

3.2.3 Curaçao (CUR)

De laatste van de ABC-eilanden, Curaçao, heeft net als de andere twee benedenwindse eilanden connectiviteit met de regio in de vorm van vooral de zustereilanden en de Dominicaanse Republiek. Daarnaast zijn er vluchten van Curaçao naar Barranquilla (BAQ) en Caracas (CCS).

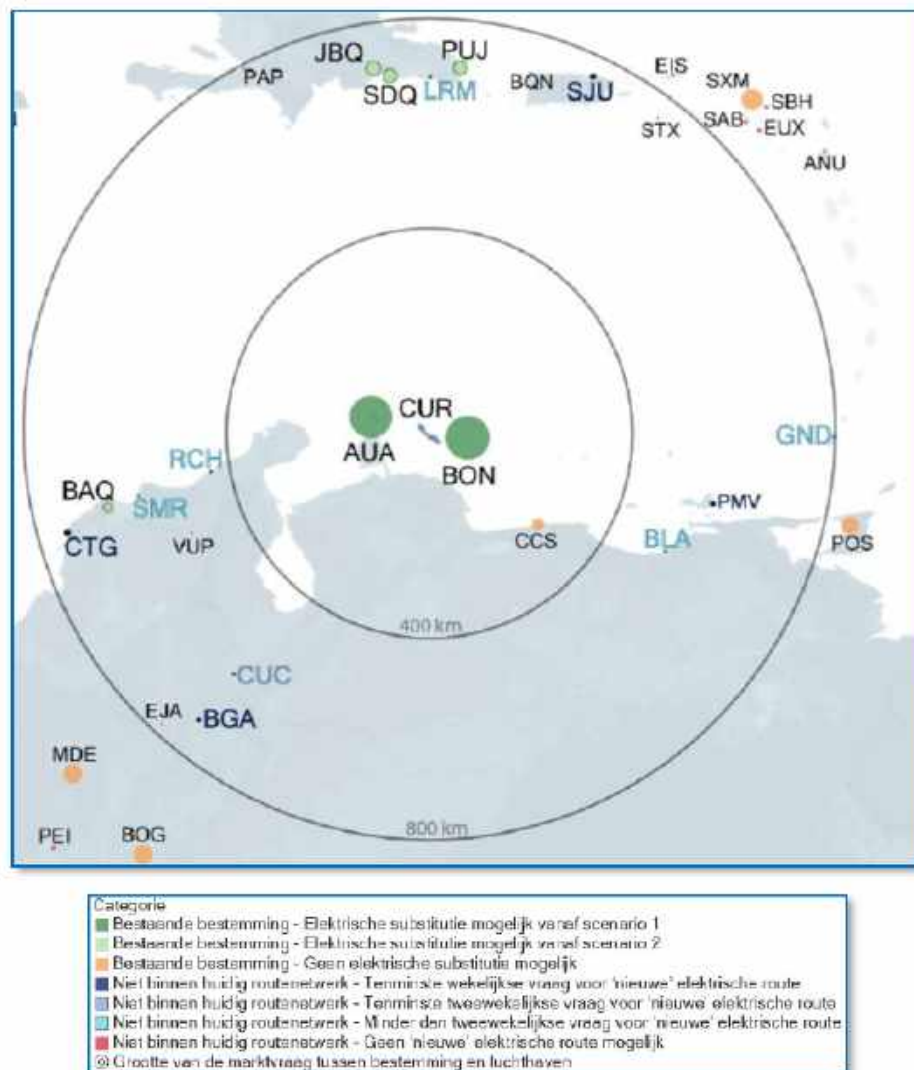
Elektrische vluchten zijn kansrijk

Naast de vluchten naar Aruba en Bonaire (ruim 12.000 jaarlijkse vliegbewegingen ter substitutie), vallen ook de vluchten naar Caracas binnen het bereik van scenario 1. Maar deze vluchten worden uitgevoerd met een groter vliegtuigtype dat niet snel kan worden gesubstitueerd door batterij-elektrisch.

In scenario 2 kunnen drie bestemmingen in de Dominicaanse Republiek en Barranquilla met batterij-elektrische vliegtuigen worden gevlogen (zie Figuur 3.9). Dit betreft ongeveer 750 jaarlijkse vliegbewegingen naar deze bestemmingen. Net als op Aruba kan niet al het verkeer naar Santo Domingo (SDQ) worden vervangen vanwege het gebruik van grotere vliegtuigen (>90 stoelen) op deze route, waardoor slechts 60% van de vluchten vervangbaar is.

In scenario 2 kunnen volgens de gebruikte data nieuwe elektrische routes worden geopend naar negen bestemmingen. Vier van deze bestemmingen tonen voldoende vraag om minimaal één keer per week een retourvlucht te rechtvaardigen met een 9-zits volledig batterij-elektrisch vliegtuig: Cartagena (CTG), Bucaramanga (BGA), San Juan (SJU) en Porlamar (PMV).

Figuur 3.12 Overzichtskaart Curaçao (CUR) voor elektrische vluchten

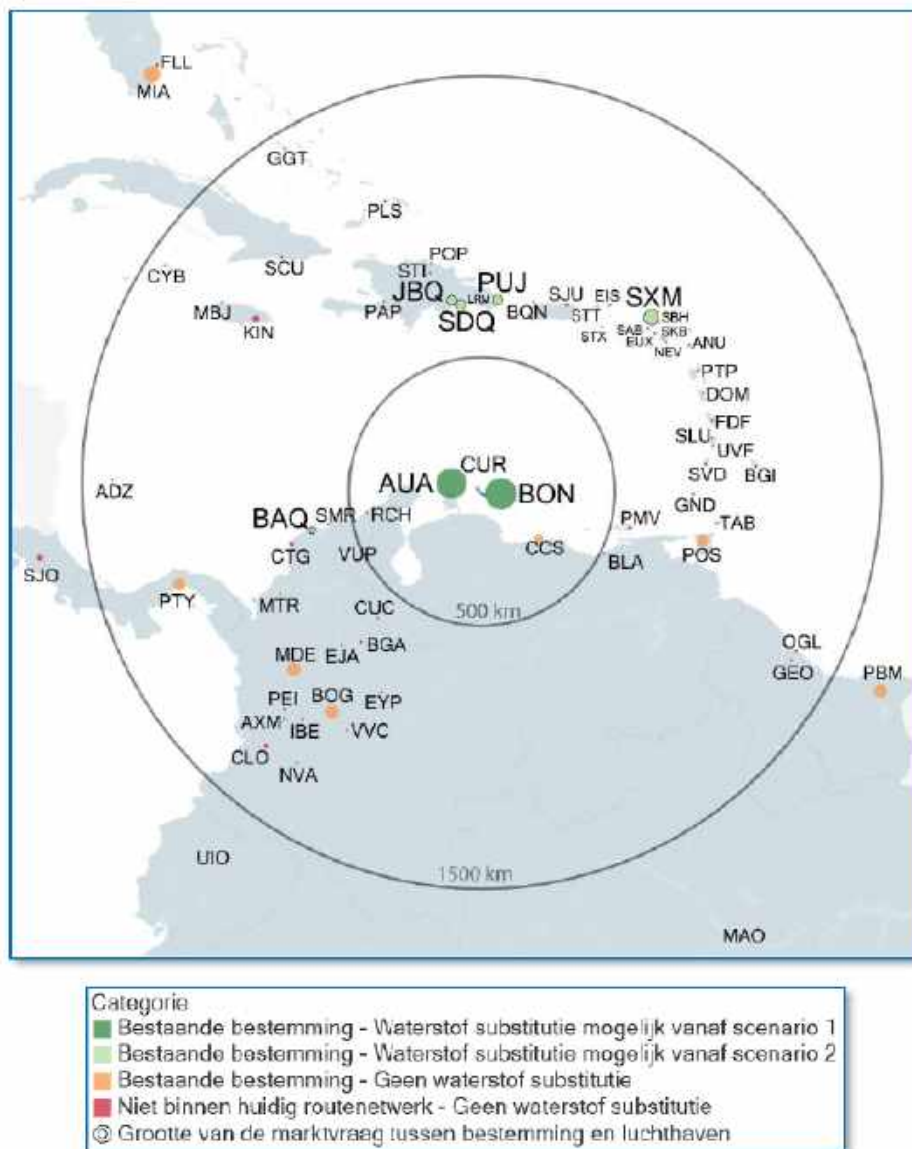


Waterstofvluchten, een genuanceerd beeld

Net als op de zuster ABC-eilanden kunnen in scenario 1 de vluchten naar Aruba en Bonaire worden vervangen door batterij-elektrische vliegtuigen (zie Figuur 3.13). In scenario 2 komen daar de drie bestemmingen in de Dominicaanse Republiek, Barranquilla (ongeveer 160 jaarlijkse vliegbewegingen), en St. Maarten bij. Voor St. Maarten gaat het om een extra substitutie van ongeveer 1.400 jaarlijkse vliegbewegingen. Vanwege de aard van de route zijn dit ongeveer 700 bewegingen van en naar SXM en 700 bewegingen van/naar BON/AUA.

De grotere Zuid-Amerikaanse steden, zoals Bogota, Medellín, en Panama, kunnen niet één-op-één worden vervangen door duurzame vliegtuigen vanwege de grote vliegtuigtypen die momenteel op deze routes worden ingezet. Dit geldt ook voor de hub van Caribbean Airlines in Port-of-Spain (POS).

Figuur 3.13 Overzichtstaart Curaçao (CUR) voor waterstofvluchten



Positieve impact op de directe connectiviteit mogelijk

De impact van het vervangen van huidige routes in scenario 1 is aanzienlijk, met name door het grote aantal vliegbewegingen dat geëlektrificeerd kan worden. Echter, de connectiviteit zelf blijft onveranderd.

In scenario 2 kan de connectiviteit wel verbeteren door het toevoegen van nieuwe routes. Dit zou kunnen resulteren in een verdubbeling van het aantal bestemmingen binnen 800 kilometer (en ruim +30% ten opzichte van het totaal aantal bestemmingen). Alleen al door substitutie kan in dit scenario meer dan 60% van alle vliegbewegingen worden verduurzaamd. Zie Figuur 3.14 voor de verdere details.

Figuur 3.14 Aantal routes dat vervangen kan worden op Curaçao door elektrische of waterstofvluchten, of potentieel nieuw aangevlogen kan worden door elektrische vliegtuigen

	Scenario 1 kleine vliegtuigen			Scenario 2 middelgrote vliegtuigen		
	(Deels) vervangen routes*	Vervangen vliegbewegingen*	Additionele routes	(Deels) vervangen routes	Vervangen vliegbewegingen	Additionele routes
Elektrisch	2 (67%)	12.300 (88%)	-	6 (75%)	10.050 (67%)	9
Waterstof	2 (67%)	12.300 (88%)	-	7 (54%)	11.450 (64%)	-

*percentage ten opzichte van het netwerk binnen het gestelde maximum bereik per energiedrager (400km elektrisch, 500 km waterstof)

percentage ten opzichte van het netwerk binnen het gestelde maximum bereik per energiedrager (800km elektrisch, 1500 km waterstof)

PM. Alle percentages ten opzichte van het segment tot 1,500 km

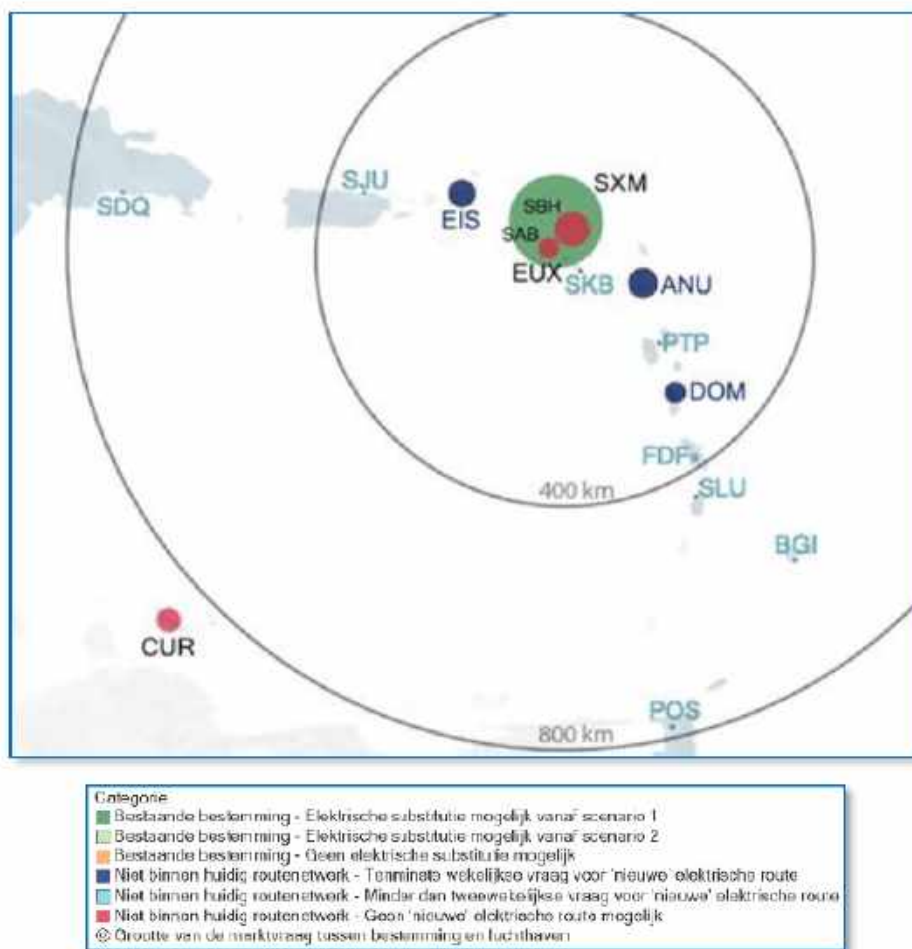
3.2.4 St. Eustatius (EUX)

Vanaf de FD Roosevelt-luchthaven op St. Eustatius wordt momenteel slechts één reguliere commerciële route aangeboden: St. Maarten (SXM). Dit is tevens de enige route die kan worden geëlektrificeerd of vervangen door een waterstofvliegtuig. Dit betreft ruim 2.700 jaarlijkse vliegbewegingen, wat 100% van alle geplande commerciële vluchten vanaf deze luchthaven vertegenwoordigt.

Alle doorverbindingen verlopen momenteel via St. Maarten. Aangezien veel eindbestemmingen binnen het maximale elektrische bereik vallen, biedt dit kansen om nieuwe directe vluchten te realiseren en de overstap via St. Maarten overbodig te maken. Mogelijke directe routes omvatten onder andere naar de Britse Maagdeneilanden (EIS), Antigua (ANU) en Dominica (DOM). Volgens de huidige data zou elk van deze routes voldoende vraag hebben voor minimaal één wekelijkse vlucht met een 9-zits elektrisch vliegtuig (zie Figuur 3.11).

Voor vier andere potentiële bestemmingen binnen scenario 1—San Juan (SJU), St. Kitts (SKB), Pointe-à-Pitre (PTP) en Fort-de-France (FDF)—is de vraag voldoende voor minder dan een tweewekelijkse vlucht met een vergelijkbaar toestel. In scenario 2 komen hier nog vier aanvullende potentiële routes bij. Als al deze nieuwe routes worden geopend, zou de connectiviteit aanzienlijk verbeteren: van slechts één bestemming naar een totaal van 12. Dit betekent een enorme toename ten opzichte van de huidige situatie.

Figuur 3.15 Overzichtskaart St. Eustatius (EUX) voor elektrische vluchten



Figuur 3.16 Aantal routes dat vervangen kan worden op St. Eustatius door elektrische of waterstofvluchten, of potentieel nieuw aangevlogen kan worden door elektrische vliegtuigen

	Scenario 1			Scenario 2		
	(Deels) vervangen routes*	Vervangen vliegbewegingen*	Additionele routes	(Deels) vervangen routes	Vervangen vliegbewegingen	Additionele routes
Elektrisch	1 (100%)	2.700 (100%)	7	1 (100%)	2.700 (100%)	11
Waterstof	1 (100%)	2.700 (100%)	-	1 (100%)	2.700 (100%)	-

*percentage ten opzichte van het netwerk binnen het gestelde maximum bereik per energiedrager (400km elektrisch, 500 km waterstof)

percentage ten opzichte van het netwerk binnen het gestelde maximum bereik per energiedrager (800km elektrisch, 1500 km waterstof)

3.2.5 Saba (SAB)

De luchthaven op Saba staat bekend om de kortste commerciële landingsbaan ter wereld. Hierdoor kunnen alleen specifieke kleine vliegtuigtypen er landen en opstijgen. Nieuwe technologische ontwikkelingen, zoals volledig batterij-elektrische vliegtuigen, brengen doorgaans zwaardere systemen met zich mee. Batterijen hebben relatief veel massa, wat een belangrijk aandachtspunt is voor de operationele haalbaarheid op deze luchthaven. Voor waterstofvliegtuigen is minder bekend over het gewicht, maar een toename in startgewicht ligt voor de hand door de benodigde waterstoftanks en -systemen.

Een verhoogd startgewicht heeft gevolgen voor de minimale vereiste baanlengte van een vliegtuig. Dit vormt een uitdaging voor de luchthaven van Saba, waar de beschikbare baanlengte zeer beperkt is. Hoewel de route naar St. Maarten binnen het gestelde bereik valt, is vervanging door een elektrisch of waterstofvliegtuig technisch niet mogelijk. Hierdoor verandert ervan uit technologisch en connectiviteitsperspectief niets, aangezien nieuwe potentiële routes eveneens niet haalbaar zijn.

3.2.6 St. Maarten (SXM)

De luchthaven van St. Maarten (SXM) speelt een belangrijke rol als hub voor verbindingen binnen het noordelijke Caribisch gebied en naar de omliggende eilanden. Het biedt een uitgebreid netwerk naar andere Caribische eilanden en grotere steden in Zuid- en Noord-Amerika.

De vluchten naar Saba en St. Barths kunnen met de huidige stand der techniek (2024) niet vervangen worden door de aanwezige korte start- en landingsbaan op deze bestemmingen.

Elektrische vluchten: enkele kansrijke mogelijkheden binnen scenario 1

Voor de omliggende eilanden kunnen zes routes worden geëlektrificeerd: St. Eustatius (EUX), Anguilla (AXA), St. Kitts (SKB), Nevis (NEV), Antigua (ANU) en de Britse Maagdeneilanden (EIS). Al deze bestemmingen worden direct aangevlogen met vliegtuigtypes met minder dan 30 stoelen, liggen binnen een straal van 200 kilometer en kwalificeren zich dus voor substitutie. In totaal gaat het om 6.700 jaarlijkse vliegbewegingen.

Antigua en de Britse Maagdeneilanden worden daarnaast bediend als tussenstop op andere routes. In scenario 1 kunnen deze vluchten nog niet worden vervangen vanwege het gebruik van iets grotere vliegtuigtypen voor deze specifieke vluchten. Er kunnen vijf nieuwe bestemmingen worden geopend, waaronder luchthavens in de Britse Maagdeneilanden, de Amerikaanse Maagdeneilanden, en Guadeloupe (PTP).

Scenario 2: uitgebreide mogelijkheden door groter bereik en meer capaciteit

In scenario 2, waarin elektrische vliegtuigen een groter bereik en meer capaciteit hebben, kunnen aanvullende routes worden vervangen. Directe vluchten die in aanmerking komen, zijn onder andere:

- San Juan (SJU) in Puerto Rico.
- Santo Domingo (JBQ en SDQ) en Punta Cana (PUJ) in de Dominicaanse Republiek.

Voor Santo Domingo (SDQ) wordt verwacht dat 25% van de vluchten kan worden vervangen door een duurzamer vliegtuig vanwege het gebruik van grotere vliegtuigtypen (>90 stoelen). Voor San Juan (SJU) geldt een vervangingsfactor van ongeveer 5% van de vluchten. In totaal gaat het om ongeveer 700 jaarlijkse vliegbewegingen.

Daarnaast kunnen in scenario 2 meerdere tussenstoproutes (stop-over) worden vervangen door elektrische alternatieven. Dit geldt voor bestemmingen zoals:

- Antigua (ANU), Britse Maagdeneilanden (EIS), Dominica (DOM), Martinique (FDF), Saint Lucia (SLU), Barbados (BGI) en Saint Vincent en de Grenadines (SVD).
- Samen vertegenwoordigen deze routes ongeveer 2.400 vliegbewegingen. Door geplande uitbreidingen van Winair wordt verwacht dat dit aantal in de nabije toekomst verder zal toenemen.⁷⁴

Naast vervanging laten de gegevens zien dat alle genoemde bestemmingen, met uitzondering van SVD, ook voldoende vraag hebben om directe routes te rechtvaardigen. Dit zou de connectiviteit van St. Maarten verbeteren, omdat tussenstops worden vermeden. Tegelijkertijd kan dit een negatief effect hebben op de algehele connectiviteit binnen het Caribisch gebied, omdat tussenstoproutes zouden verdwijnen, wat directe verbindingen tussen andere eilanden beperkt. Verder biedt scenario 2 mogelijkheden om vier nieuwe routes te openen naar: Puerto Rico (BQN en MAZ), Saint Lucia (UVF) en Grenada (GND).

Waterstofvluchten: Extra substitutiemogelijkheden

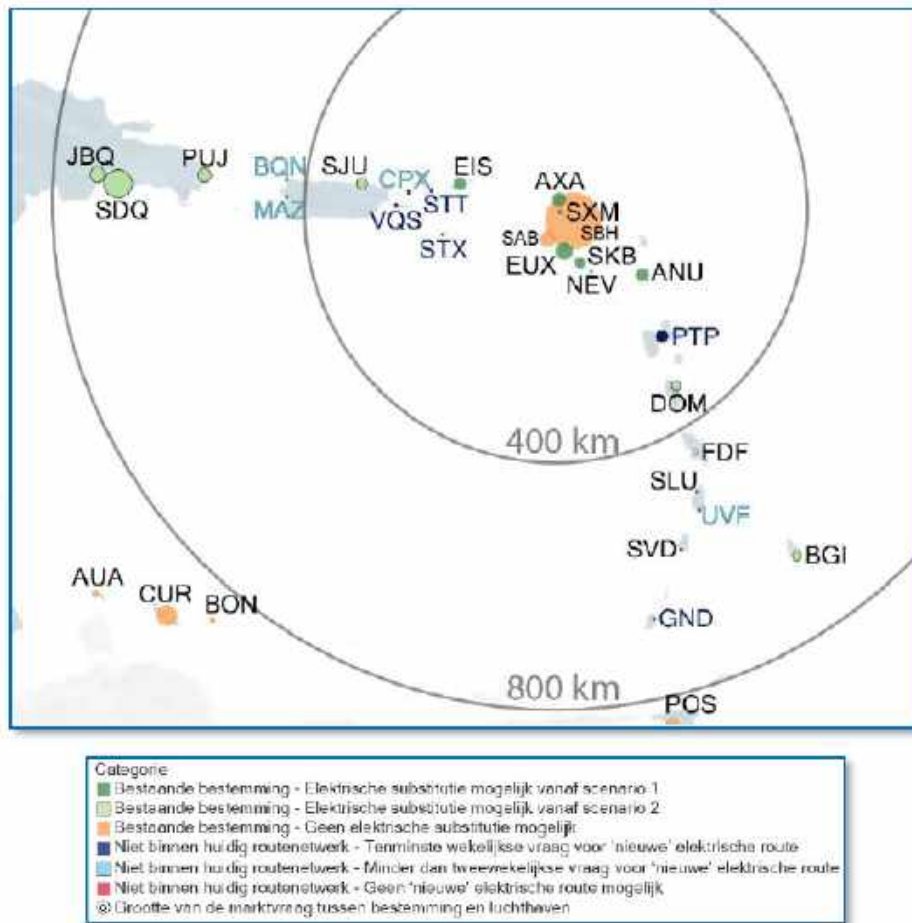
Alle bestemmingen die met volledig batterij-elektrische vliegtuigen kunnen worden vervangen, kunnen ook met waterstofvliegtuigen worden bediend binnen dezelfde scenario's. Daarnaast biedt scenario 3 extra mogelijkheden, waaronder:

- Twee derde van de directe vluchten naar Port of Spain (POS).
- Alle vluchten naar twee Haïtiaanse bestemmingen: Port-au-Prince (PAP) en Cap-Haïtien (CAP).
- Huidige routes tussen St. Maarten en de ABC-eilanden.

Met deze toevoegingen komen er ruim 1.100 jaarlijkse vliegbewegingen bij die in scenario 2 door waterstofvliegtuigen kunnen worden gesubstitueerd.

⁷⁴ <https://www.luchtvaartnieuws.nl/nieuws/categorie/2/airlines/winair-drie-nieuwe-routes-in-het-winterseizoen-extra-atr-onderweg>

Figuur 3.17 Overzichtskaart St. Maarten (SXM) voor elektrische vluchten



Impact op de connectiviteit positief, als directe connecties ontstaan

Dankzij de hub functie van St. Maarten (SXM) heeft de luchthaven relatief veel bestemmingen binnen de maximale afstanden van scenario 1. Echter, niet alle luchthavens worden bediend met kleinere toestellen (< 30 stoelen) of zijn geschikt voor duurzame commerciële vliegtuigen, zoals Saba (SAB) en St. Barths (SBH). Hierdoor kan ongeveer de helft van de routes worden vervangen. Wanneer gekeken wordt naar het aantal potentiële vliegbewegingen dat vervangen kan worden, ligt het aandeel lager. Dit komt doordat de route naar St. Barths, zeer frequent wordt gevlogen, maar niet kan worden vervangen. Hierdoor blijft het percentage vervangbare vliegbewegingen in scenario 1 onder de 20%. Wel kan het aantal bestemmingen met de toevoeging van nieuwe routes worden uitgebreid, wat zou leiden tot een potentiële groei van 50% in bestemmingsaantal.

In scenario 2 ligt het percentage te vervangen routes hoger, omdat meer bestemmingen binnen het maximale bereik en de grotere capaciteiten van elektrische vliegtuigen vallen. Dit verhoogt ook het aandeel vervangbare vliegbewegingen tot ongeveer 25%. Bovendien biedt scenario 2 de mogelijkheid om het aantal bestemmingen verder te vergroten door nieuwe routes toe te voegen. Dit kan resulteren in negen extra bestemmingen, wat neerkomt op een toename van ruim 50% in het totale bestemmingsaantal binnen het gestelde maximale bereik. Ten opzichte van het totaal aantal bestemmingen, ongeacht bereik, is de impact iets minder: zo'n 20%.

Figuur 3.18 Aantal routes dat vervangen kan worden op St. Maarten door elektrische of waterstofvluchten, of potentieel nieuw aangevlogen kan worden door elektrische vliegtuigen

	Scenario 1			Scenario 2		
	(Deels) vervangen routes*	Vervangen vliegbewegingen*	Additionele routes	(Deels) vervangen routes	Vervangen vliegbewegingen	Additionele routes
Elektrisch	6 (60%)	6.700 (16%)	5	15 (88%)	9.800 (22%)	9
Waterstof	6 (50%)	6.700 (15%)	-	21 (88%)	10.900 (24%)	-

*percentage ten opzichte van het netwerk binnen het gestelde maximum bereik per energiedrager (400km elektrisch, 500 km waterstof)

percentage ten opzichte van het netwerk binnen het gestelde maximum bereik per energiedrager (800km elektrisch, 1500 km waterstof)

3.2.7 Impact op connectiviteit: samengevat

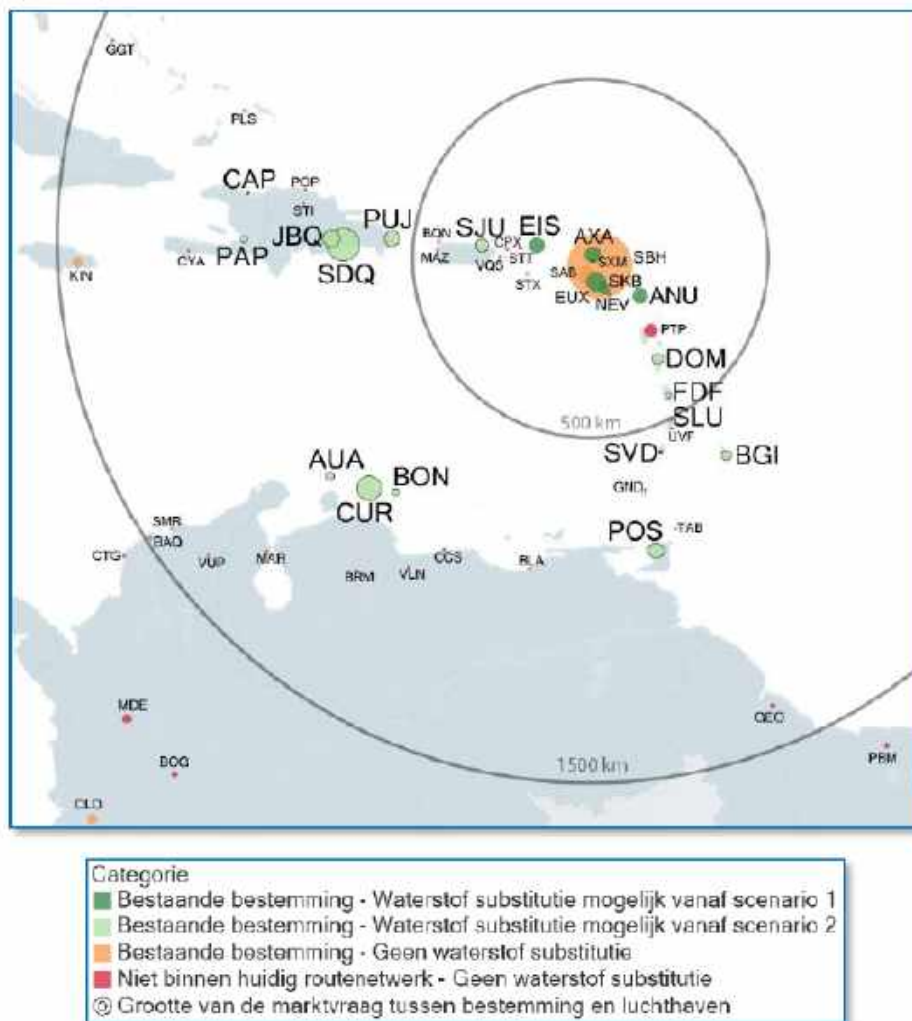
Het één-op-één vervangen van routes door batterij-elektrische of waterstofvliegtuigen heeft geen directe invloed op de connectiviteit. Er zijn echter aanzienlijke verschillen tussen luchthavens en regio's in het aantal potentiële vliegbewegingen dat kan worden vervangen.

Binnen de Caribische luchthavens valt op dat St. Maarten achterblijft wat betreft het aandeel vervangbare vliegbewegingen. Voor de ABC-eilanden en St. Eustatius ligt dit percentage boven de 60%, terwijl St. Maarten niet verder komt dan 24%. Dit is opvallend, omdat het totaal aantal vliegbewegingen op St. Maarten vergelijkbaar is met dat van Curaçao.

Wanneer nieuwe routes worden geopend naar de potentiële bestemmingen, kan de connectiviteit wél aanzienlijk verbeteren:

- St. Eustatius zou de grootste impact ervaren, aangezien de luchthaven momenteel slechts één route aanbiedt. Het aantal bestemmingen zou hier tot wel 12 keer kunnen toenemen.
- Voor de ABC-eilanden zou de connectiviteit met Colombia, de Dominicaanse Republiek en Puerto Rico verbeteren door de toevoeging van nieuwe elektrische routes.
- Voor St. Maarten kunnen nieuwe routes betere verbindingen opleveren met de Maagdeneilanden en nog niet ontsloten Caribische eilanden in het oosten. Daarnaast biedt het direct bedienen van bestemmingen die nu nog via stop-over routes worden aangedaan extra mogelijkheden om de connectiviteit te versterken.

Figuur 3.19 Overzichtskaart St. Maarten (SXM) voor waterstofvluchten



3.3 Impact op klimaat en omgeving

In het referentiescenario zorgen de 46.000 vluchten van, naar en binnen het Caribische deel van het Koninkrijk met een afstand tot 1,500 kilometer voor een uitstoot van ca. 60 kiloton CO₂ en ca. 260 ton NO_x. De equivalente CO₂-uitstoot inclusief niet-CO₂-klimaat effecten is zeer sterk afhankelijk van de aannames rond de impact van **contrails** zoals toegelicht in 4.1.1. De gemiddelde CO₂-equivalentfactor voor de vluchten binnen deze analyse (tot 1,500 km) ligt hierdoor tussen de 1,6 en 10,7. Dit leidt tot een aanvullend klimaat effect bovenop de 'gewone' CO₂-uitstoot van ca. 40 tot 600 kiloton CO₂e.

3.3.1 Klimaatimpact

CO₂ klimaateffecten

In **scenario 1** kunnen vluchten tot 400 kilometer worden vervangen door elektrische vliegtuigen en vluchten tot 500 kilometer door waterstofvliegtuigen. Van de ruim 46.000 in het referentiescenario komen ongeveer 20.000 vluchten op basis van afstand en stoelcapaciteit in aanmerking voor vervanging. Er wordt aangenomen dat de gemiddelde bezettingsgraad voldoende ruimte biedt om ook de Saab 340 vluchten met 33 stoelen te vervangen door elektrische 30-zitters.

De vervanging resulteert in een verwachte daling van de emissies ten opzichte van het referentiescenario (tot 1,500 km) met ca. 5 kt CO₂ (-8%), 12 t NO_x (-5%) en 0,1 tot 0,7 kt non-CO₂ (uitgedrukt in CO₂e, -0,1% tot -0,3%).

In **scenario 2** kunnen vluchten tot 800 kilometer worden vervangen door elektrische vliegtuigen en vluchten tot 1,500 kilometer door waterstofvliegtuigen. Op basis van afstand en stoelcapaciteit komt ruim 42.000 vluchten (91%) van de vluchten uit het referentiescenario in aanmerking om vervangen te worden.

De vervanging resulteert in een verwachte daling van de emissies ten opzichte van het referentiescenario (tot 1,500 km) met circa 17,5 kt CO₂ (-28%), 55 t NO_x (-21%) en 3 tot 65 kt non-CO₂ (uitgedrukt in CO₂e, -8% tot -11%).

Overzicht van de impact van de twee scenario's in het Caribisch gebied

Figuur 3.20 vat de reducties per scenario samen. In de referentie worden 46.347 vluchten uitgevoerd met een uitstoot van ca. 60 kt CO₂, 260 ton NO_x en een non-CO₂-effect tussen 40 en 600 kt CO₂-equivalent.

Figuur 3.20 Uitstoot van CO₂, NO_x en non-CO₂ (uitgedrukt in CO₂e via GWP₁₀₀) per scenario voor alle vluchten tot 1,500 km van, naar en in het Caribisch deel van het Koninkrijk

Scenario	Aantal vluchten	CO ₂ [kt]	NO _x [t]	Non-CO ₂ [kt CO ₂ e]	non-CO ₂ EF
Referentie	46.347	60	260	40 tot 60	1,6 - 10,7
Scenario 1					
E ≤9 PAX / ≤400 km	0	-	-	-	-
E 10≤30 PAX / ≤200 km	19.794	-5	-12	-0,1 tot -0,3	1,0 - 1,1
H ₂ ≤19 PAX / ≤500 km	0	-	-	-	-
Totaal	19.794	-5	-12	-0,1 tot -0,7	1,0 - 1,1
Scenario 2					
E ≤90 PAX / ≤800 km	22.711	-10,5	-30	-1,2 tot -11,1	1,1 - 2,1
H ₂ ≤90 PAX / ≤1,500 km	1.326	-7	-25	-1,9 tot -54,0	1,3 - 8,6
Totaal	24.037	-17,5	-55	-3 tot -65	1,2 - 4,5

De meeste vliegbewegingen vinden plaats op Aruba, Curaçao, en Sint-Maarten, waardoor deze drie luchthavens het grootste potentieel bieden voor verduurzaming. Vooral op Curaçao en Sint-Maarten zijn veel vluchten geschikt voor vervanging door elektrische of waterstofvliegtuigen.

gen. Ook op de luchthavens van Bonaire en Sint-Eustatius kan een groot deel, of zelfs alle vluchten tot 1,500 km, worden vervangen. Echter, het totale aantal vluchten op deze luchthavens in dit segment is lager, waardoor de klimaatimpact relatief klein is.

Niet-CO₂ klimaateffecten

In Figuur 3.21 wordt het jaarlijkse effect voor niet-CO₂ klimaateffecten voor scenario 1 en 2 gepresenteerd, variërend tussen € 1,3 (scenario 1) en € 0,7 en 16 (scenario 2) miljoen per jaar, een ratio 1:2 met de broeikasgasemissies.

In Appendix D is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op basis van de voorgeschreven variatie in opslagfactoren (tussen de 1 en 4) evenals de impactberekening van niet-CO₂ emissies middels Thor et al. 2023.

Figuur 3.21 Jaarlijkse klimaat- en omgevingseffecten Caribisch gebied (in mln. euro)

Klimaat en omgevingseffecten	Caribische eilanden	
	Scenario 1	Scenario 2
Klimaateffecten		
Broeikasgasemissies (CO ₂ emissies)	€ 0,7	€ 4,7
Niet-CO ₂ klimaateffecten	€ 0,1	€ (0,7-16)
Totaal	€ 0,8	€ (5,4 - 20,7)

3.3.2 Impact op luchtkwaliteit

In het referentiescenario veroorzaken alle commerciële vluchten van, naar en binnen het Caribische deel van het Koninkrijk met een vluchtafstand tot 1,500 kilometer samen een uitstoot van ca. 27 ton NO_x tijdens de **Landing and Take-off (LTO)**-cyclus. Door het gemiddeld hogere gewicht van de elektrische vliegtuigen is de verwachting dat de fijnstofconcentratie door **Touch down-emissies** zal toenemen.

In **scenario 1** komen 20.000 vluchten in aanmerking voor vervanging door duurzamere vliegtuigen. Dit vertegenwoordigt 43% van alle vluchten tot 1,500 km. Door deze vervanging neemt de NO_x-uitstoot tijdens de LTO-cyclus af met ca. 4 ton, een reductie van 14% voor dit segment.

In **scenario 2** komen ruim 24.000 vluchten in aanmerking voor vervanging door duurzamere vliegtuigen, wat neerkomt op 52% van alle vluchten tot 1,500 km. Dit resulteert in een daling van de NO_x-uitstoot tijdens de LTO-cyclus met ca. 7 ton, een reductie van 24% voor dit segment.

Figuur 3.22 NO_x-reducties tijdens LTO per scenario voor alle vluchten tot 1,500 km van, naar en in het Caribisch deel van het Koninkrijk

Scenario	Aantal vluchten	NO _{x,LTO} [t]
Referentie	46.347	27
Scenario 1		
E ≤9 PAX / ≤400 km	0	-
E 10≤30 PAX / ≤200 km	19.794	-4

H ₂ ≤19 PAX / ≤500 km	0	-
Totaal	19.794	-4
Scenario 2		
E ≤90 PAX / ≤800 km	22.711	-6
H ₂ ≤90 PAX / ≤1,500 km	1.326	-1
Totaal	24.037	-7

Op St. Eustatius wordt in beide scenario's alle vluchten 1-1 vervangen. Het totale aantal vluchten vanaf deze luchthavens is echter relatief beperkt. Absoluut gezien wordt de grootste winst verwacht op Sint-Maarten. Daarnaast bieden ook Curaçao en Aruba, door het grote aantal vluchten, significant potentieel voor verdere afnames.

Impact scenario's op luchtkwaliteit Caribische eilanden

In deze verkennende studie wordt stikstof (NO_x tijdens de LTO-cyclus) onderzocht en gekwantificeerd als lokale luchtkwaliteit. Overige effecten (denk aan geluidshinder en natuur) worden in volgende sectie kwalitatief beschreven. Het effect op stikstof is op basis van gestandaardiseerde emissiekengetallen gewaardeerd.⁷⁵ In Figuur 3.23. wordt het jaarlijkse effect op luchtkwaliteit voor de Caribische eilanden weergegeven, waarbij het jaarlijkse effect varieert tussen € 0,2 (scenario 1) en € 0,3 (scenario 2) miljoen per jaar.

Figuur 3.23 Jaarlijkse luchtkwaliteit Caribische eilanden (in mln. euro)

Lokale luchtkwaliteit	Caribische eilanden	
	Scenario 1	Scenario 2
NO _x (landing-and-take-off)	€ 0,2	€ 0,3

3.3.3 Impact op geluid

In het referentiescenario vinden er ruim 46.000 vluchten tot 1,500 km plaats.

In **scenario 1** worden 20.000 vluchten hiervan vervangen door duurzamere luchtvaart. De verwachting is dat de geluidshinder hierdoor merkbaar afneemt met name voor vertrekkende vluchten. Dit resulteert ook in een merkbare vermindering van geluidsoverlast nabij natuurlijke Habitats. Kwetsbare gebieden zoals de Bubali Wetlands op Aruba ervaren enige verlichting van geluidsdruk, wat gunstig is voor het ecologische evenwicht en de biodiversiteit.

In **scenario 2** worden 24.000 vluchten (52% van het totaal) hiervan vervangen door duurzame luchtvaart. Ondanks de toename van het gemiddelde gewicht, is de verwachting dat de geluidsbelasting merkbaar zal afnemen met name voor vertrekkende vluchten. Stillere, duurzame vliegtuigen tot een aanzienlijke afname van geluidsoverlast nabij natuurgebieden. In tegenstelling tot scenario 1 neemt het totale aantal vliegbewegingen niet toe, wat het positieve effect op Habitats versterkt. Belangrijke biodiversiteitshotspots zoals het Arikok National Park op Aruba en de mangrovebossen van Bonaire worden beter beschermd tegen akoestische verstoringen. Dit draagt bij aan het behoud van soorten die gevoelig zijn voor geluid, zoals vogels en marien leven.

⁷⁵ CE Delft (2023), Handboek Milieuprijzen 2023 ([link](#))

3.3.4 Impact op de natuur

Het referentiescenario

Aruba

De natuur op Aruba staat, evenals vele andere eilanden, onder zware druk door klimaatverandering, toerisme en stedelijke ontwikkeling. Belangrijke ecosystemen, zoals koraalriffen, mangroven en droge bossen, vertonen achteruitgang door vervuiling, sedimentatie en zeespiegelstijging. Toerisme en luchtvaart dragen indirect bij aan milieuproblemen door verhoogde afvalproductie, uitstoot van broeikasgassen en habitatfragmentatie⁷⁶. Maatregelen zoals de National Biodiversity Strategy and Action Plan (NBSAP)⁷⁷ en beschermde mariene gebieden helpen de natuur te behouden.

BES-Eilanden

De biodiversiteit van Bonaire, Saba en Sint-Eustatius is van wereldwijde waarde maar staat onder druk door overbegrazing, kustontwikkeling en invasieve soorten⁷⁸. De ecosystemen leveren cruciale diensten, zoals visserij en kustbescherming, maar worden bedreigd door klimaatverandering en onvoldoende beheer. Een rapport van Wageningen Universiteit dat in 2025 verschijnt⁷⁹, zal deze uitdagingen verder beschrijven.

Curaçao

Curaçao heeft unieke ecosystemen, zoals koraalriffen en mangroven, die essentieel zijn voor de biodiversiteit en economie. Luchtvaart en toerisme versterken echter milieuproblemen, zoals habitatverlies en vervuiling. Riffen rond stedelijke gebieden hebben tot 80% van hun dekking verloren door vervuiling en klimaatverandering. Initiatieven zoals het Christoffelpark en het Curaçao Marine Park proberen deze impact te beperken⁸⁰.

Kwetsbare natuurgebieden en landschappen op en rond de Caribische eilanden

Rond luchthavens liggen waardevolle natuurgebieden, zoals:

- Aruba: Arikok National Park en Bubali Wetlands.
- Bonaire : Bonaire National Marine Park.
- Curaçao: Christoffel National Park.
- Saba : Saba National Marine Park.
- Sint Eustatius: The Quill and Boven National Park.
- Sint Maarten: Man of War Shoal National Marine Park.

Ruimtegebruik

De beperkte omvang van de BES-eilanden, Curaçao, Sint-Maarten en Aruba, in combinatie met de afhankelijkheid van toerisme, maakt de impact van luchthavens op het ruimtegebruik extra relevant. Luchthavens nemen een aanzienlijk deel van het beschikbare landoppervlak in beslag, wat leidt tot directe habitatvernietiging en fragmentatie. De huidige hoge bevolkingsdichtheid, het intensieve toerisme en de industriële activiteiten zetten een aanzienlijke druk op de beperkte ruimte van de eilanden, met negatieve gevolgen voor de kwetsbare ecosystemen.

⁷⁶ Coral Reefs Baseline Study for Aruba, 2019; OP Coral Disease Outbreak, 2023 Build with Nature, 2019; SOP Mangrove Maintenance, 2023; Vermeij et al., 2019

⁷⁷ SDG Indicators Report, 2021; Aruba NBSAP, 2024

⁷⁸ <https://www.dcbd.nl/resource/2589>

⁷⁹ <https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/kennisonline-onderzoeksprojecten-lvvn/kennisonline/staat-van-de-natuur-caribisch-nederland-2024.htm>

⁸⁰ <https://www.cbs.cw/environment>

Verwacht wordt dat zowel het aantal inwoners als toerisme in de toekomst zullen toenemen. Deze groei zal naar verwachting leiden tot druk op de uitbreiding van de reeds aanwezige luchthavens. In ons referentiescenario resulteert dit in een negatief toekomstperspectief voor het landgebruik.

Impact van de scenario's op natuur en biodiversiteit, en ruimte Cariben

De implementatie van elektrische en waterstofvliegtuigen kan bijdragen aan een verlaging van stikstofemissies en daarmee aan de bescherming van kwetsbare natuurgebieden en soorten. De effectiviteit hiervan hangt echter sterk af van het percentage vluchten dat wordt vervangen en de regionale context.

In het Caribisch gebied, met name op kleinere eilanden, kan de vermindering van geluidsoverlast door elektrische vliegtuigen helpen bij het behoud van natuurlijke en culturele landschappen, wat de esthetische ervaring voor zowel bewoners als toeristen ten goede komt.

Vliegtuigen zelf dragen nauwelijks bij aan lichtvervuiling; de belangrijkste bronnen zijn luchthavenverlichtingssystemen zoals start- en landingsbaanverlichting, taxibanen en grondoperaties. De adoptie van elektrische of waterstofaandrijving verandert niets aan de behoefte aan deze infrastructuur, omdat deze essentieel blijft voor veilige operaties. Hoewel elektrificatie en waterstoftechnologie aanzienlijke voordelen bieden op het gebied van uitstoot en geluid, blijft hun effect op het verminderen van lichtvervuiling verwaarloosbaar. Hierdoor blijft de impact op duisternisgebieden in zowel scenario 1 als scenario 2 vrijwel onveranderd.

In het Caribische deel van het Koninkrijk verminderen beide scenario's de geluidshinder, waarbij scenario 2 de grootste voordelen biedt. Dankzij het hogere vervangingspercentage en de afwezigheid van grote, luidruchtige vliegtuigen profiteren natuurlijke Habitats in deze regio aanzienlijk meer. Wat lichtvervuiling betreft, zijn de verschillen tussen de scenario's verwaarloosbaar voor zowel Nederland als het Caribisch deel van het Koninkrijk, aangezien vliegtuigen geen significante bronnen van lichtemissie zijn en de behoefte aan bestaande luchthavenverlichting niet verandert.

Ruimtegebruik

De transitie naar duurzame luchtvaart door de inzet van elektrische en waterstofvliegtuigen brengt zowel kansen als uitdagingen met zich mee op het gebied van ruimtegebruik. Hoewel deze technologieën bijdragen aan de vermindering van emissies, vereisen ze ook aanvullende infrastructuur, wat nieuwe ruimtelijke vraagstukken oplevert, zowel in Nederland als in het Caribisch deel van het Koninkrijk.

In het Caribisch gebied wordt in scenario 1 ongeveer 28% van de vluchten vervangen door duurzamere vliegtuigen. Dit vereist de ontwikkeling van infrastructuur zoals laadstations voor elektrische vliegtuigen en mogelijk faciliteiten voor waterstofproductie. Aangezien de beschikbare ruimte op de eilanden beperkt is, kan deze extra infrastructuur leiden tot concurrentie met andere landgebruiken en druk uitoefenen op kwetsbare ecosystemen.

De overgang naar duurzamere luchtvaarttechnologieën in scenario 2 leidt tot een intensiever ruimtegebruik, vooral als energie en waterstof lokaal worden geproduceerd. Dit brengt specifieke uitdagingen met zich mee, met name in het Caribisch gebied:

- **Waterstofproductie-installaties:** Deze vereisen relatief veel ruimte, wat op eilanden met beperkte landoppervlakte extra druk kan leggen op bestaande landgebruiken.
- **Infrastructuurontwikkeling:** Naast waterstof- en elektrische laadfaciliteiten kan extra infrastructuur nodig zijn voor energieopwekking en -opslag, wat de ruimtelijke druk verder vergroot.

De implementatie van elektrische en waterstofvliegtuigen kan in beide scenario's leiden tot intensiever ruimtegebruik op de eilanden. De uitdaging wordt groter als energie en waterstof lokaal worden geproduceerd, omdat dit aanzienlijke ruimte vraagt. Naast directe effecten, zoals de aanleg van waterstofinstallaties en laadstations, kunnen er ook indirecte effecten ontstaan, zoals intensiever landgebruik in andere regio's voor energie- en batterijproductie. Het volledige effect van deze veranderingen is moeilijk te beoordelen zonder een uitgebreide levenscyclusanalyse (LCA).

Indirect emissies en ruimtegebruik

De overgang naar elektrische en waterstofluchtvaart vereist aanzienlijke veranderingen in de toeleveringsketen en infrastructuur, wat kan leiden tot indirecte emissies en ruimtegebruik. Voor elektrische luchtvaart zijn geavanceerde batterijen en elektrische aandrijfsystemen essentieel, waarvoor grondstoffen zoals lithium, kobalt en nikkel nodig zijn. De winning en verwerking van deze materialen kunnen negatieve milieueffecten hebben, waaronder CO₂-uitstoot en ruimtegebruik.

Daarnaast is de productie van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen noodzakelijk, wat ruimte inneemt voor bijvoorbeeld zonne- en windparken. De bouw van deze faciliteiten kan leiden tot extra ruimtegebruik en mogelijk impact hebben op het landschap. Bovendien kunnen indirecte emissies ontstaan tijdens de productie en het transport van waterstof, afhankelijk van de gebruikte energiebronnen en efficiëntie van de processen. Hoewel deze indirecte emissies en het ruimtegebruik significant kunnen zijn, is een gedetailleerde kwantificering hiervan buiten het bereik van deze studie. Een uitgebreide levenscyclusanalyse (LCA) zou nodig zijn om de volledige milieu-impact van deze upstream-activiteiten te evalueren. Desalniettemin is het belangrijk om deze factoren in overweging te nemen bij de overgang naar duurzame luchtvaart, om ervoor te zorgen dat de netto milieuvordelen daadwerkelijk worden gerealiseerd.

3.4 Indirecte effecten

3.4.1 Reistijdeffecten Caribische eilanden

De reistijdeffecten van een verbeterde connectiviteit komen door:

- **directe vluchten:** Dit betreft de verandering in reistijd door directe verbindingen (punt-punt). Passagiers kunnen immers profiteren van kortere vluchttijden doordat de indirecte route (met een mogelijke omweg) via een andere luchthaven vervalt. Wel zijn de reistijdeffecten afhankelijk van de aannames omtrent vliegsnelheid (Bijlage D).
- **wachttijd (lay-over):** Dit effect betreft de reistijdeffecten voor passagiers die anders via een andere luchthaven (hub) zouden reizen. Door nieuwe directe verbindingen wordt de totale reistijd verminderd doordat overstaptijden komen te vervallen.

In praktijk is voor dit onderzoek – aan de hand van Appendix A – de (netto) reductie van kilometers evenals het effect op reistijd berekend. Deze berekeningen zijn uitgevoerd op route niveau en vervolgens geaggregeerd weergegeven per luchthaven. Voor specifieke uitgangspunten van deze berekening verwijzen wij naar Appendix D.

Figuur 3.24 Netto - afstand/reistijdeffecten vanwege directe vluchten (in km en uren)

	Vliegafstand (in kilometers)		Reistijd (in uren)	
	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
Caribisch deel van het Koninkrijk				
Aruba (AUA)	-4.720	-22.750	-10.198	-22.104
Bonaire (BON)	0	-10.893	0	-1.731
Curacao (CUR)	0	-8.348	0	-10.141
St. Eustatius (EUX)	-810	-790	-3.198	-3.388
Saba (SAB)	0	0	0	0
St. Maarten (SXM)	-770	-9.030	-263	-641

Opmerking: een negatieve waarde voor vliegafstand en reistijd betekent dat de gemiddelde vliegafstand en reistijd afneemt t.o.v. het alternatief (vliegen met een conventioneel toestel en stop-over) ..

3.4.2 Effecten op toerisme Caribische eilanden

Huidige situatie en trends

Momenteel is de luchtvaart verantwoordelijk voor ongeveer 2,5% van de wereldwijde CO₂-uitstoot, met een stijgende trend in de afgelopen decennia⁸¹. Tegelijkertijd groeit de vraag naar duurzaam toerisme, waarbij reizigers steeds vaker kiezen voor milieuvriendelijke opties en bestemmingen die duurzaamheid hoog in het vaandel hebben staan. Deze trend wordt ondersteund door een toenemend bewustzijn van de ecologische voetafdruk van reizen en de impact op klimaatverandering.

Impact van scenario's op toerisme

In **Scenario 1** biedt de introductie van elektrische vliegtuigen een unieke kans om het concept van **duurzaam island hopping**⁸² in het Caribische gebied verder te ontwikkelen. Hoewel elektrische vliegtuigen in dit scenario beperkingen kennen in bereik en passagierscapaciteit sluit dit aan op de behoeften van de regionale luchtvaart waar relatief korte afstanden tussen eilanden de norm zijn.

Door een voortrekkersrol te spelen in duurzame luchtvaart kan het Caribisch gebied zichzelf positioneren als een pionier in milieuvriendelijk toerisme. Dit sluit naadloos aan op de groeiende vraag naar ecotoerisme, waarbij reizigers expliciet kiezen voor bestemmingen die duurzaamheidsprincipes omarmen. Een elektrisch vliegtuig biedt bovendien enkele belangrijke voordelen die direct relevant zijn voor het Caribische toerisme zoals rustiger en comfortabeler reizen en lagere operationele kosten met impact op de vraag.

⁸¹ Deloitte. (n.d.). *Europe aviation landscape in 2040*. Deloitte. Geraadpleegd op 22 november 2024, van <https://www.deloitte.com/nl/nl/industries/transportation/analysis/europe-aviation-landscape-in-2040.html>

⁸² Innovation Origins. (2024). *Een op de vijf vluchten kan makkelijk met een elektrisch vliegtuig*. Innovation Origins. Geraadpleegd op 22 november 2024, van <https://innovationorigins.com/nl/een-op-de-vijf-vluchten-kan-makkelijk-met-een-elektrisch-vliegtuig-en-aan-de-rest-wordt-al-gewerkt/>

Ze maken een kwaliteitsverbetering mogelijk, via directe verbindingen tussen eilanden zoals Aruba, Bonaire, en Curaçao, evenals andere kleinere eilanden zoals St. Eustatius, Saba en St. Maarten. Hierdoor kan de toeristische aantrekkingskracht van het Caribisch gebied worden vergroot, zonder de impact op het milieu te verhogen⁸³.

Kleinere eilanden, die voorheen niet of beperkt bereikbaar waren, kunnen profiteren van de toegenomen connectiviteit. Dit betekent meer toeristen die overnachten in lokale accommodaties, gebruik maken van restaurants, en deelnemen aan culturele of recreatieve activiteiten.⁸⁴

Ondanks de potentiële voordelen zijn er ook uitdagingen verbonden aan de transitie naar duurzame luchtvaart in de toerismesector. Een toename van het toerisme kan leiden tot milieubelasting en druk op kwetsbare ecosystemen, vooral in afgelegen gebieden. Daarnaast zijn er aanzienlijke investeringen nodig in infrastructuur en technologie om de implementatie van duurzame luchtvaart mogelijk te maken. Er bestaat ook een risico dat hogere operationele kosten worden doorberekend aan consumenten, wat kan leiden tot hogere ticketprijzen en mogelijk een afname van de vraag naar vliegreizen.

3.4.3 Effecten op handel als bijvangst

Versterking van regionale handel

De introductie van elektrische vliegtuigen met een bereik van maximaal 400 kilometer in Scenario 1 maakt het mogelijk om goederen efficiënter te transporteren tussen eilanden. Door frequente verbindingen tussen nabijgelegen bestemmingen krijgen bedrijven betere toegang tot markten, wat met name belangrijk is voor eilanden die afhankelijk zijn van de import en export van goederen. Verse producten, ambachtelijke items en andere regionale export kunnen sneller en betrouwbaarder worden vervoerd, waardoor de economische positie van kleine ondernemers wordt versterkt. Daarnaast zorgt de inzet van elektrische vliegtuigen voor lagere transportkosten door verminderde brandstof- en onderhoudskosten. Dit kan luchtvracht aantrekkelijker maken voor kleine bedrijven en startups, wat bijdraagt aan een dynamischere regionale economie.

Integratie in wereldwijde supply chains

Scenario 2, dat de technologie van duurzame vliegtuigen in 2050 verder ontwikkelt, biedt nog meer mogelijkheden. Met een groter bereik tot 1,500 kilometer en een hogere capaciteit zouden de eilanden en afgelegen gebieden nauwer kunnen worden geïntegreerd in de wereldwijde supply chains. Verder onderzoek is nodig om deze potentiële effecten in kaart te brengen. De verbeterde connectiviteit stimuleert bovendien regionale samenwerking, bijvoorbeeld door gezamenlijke handelsnetwerken en collectieve exportinitiatieven.

⁸³ World Travel & Tourism Council, Simpson, J., & Cserep, K. (2023). *SUSTAINABLE AVIATION FUEL: Opportunities & Implications for Tourism Destinations*. <https://wtcc.org/Portals/0/Documents/Reports/2023/WTTC-Sustainable-Aviation-Fuel-Report-2023.pdf>

⁸⁴ <https://centreforaviation.com/analysis/reports/will-e-flight-take-off-building-a-business-case-for-latin-america-and-the-caribbean-693626>

Duurzaamheidsvoordelen in handel

Naast deze economische voordelen biedt de inzet van duurzame vliegtuigen ook belangrijke duurzaamheidsvoordelen. De inzet van stillere en schonere vliegtuigen kan bijdragen aan een duurzaam bedrijfsimago. Hoe groot dit effect daadwerkelijk is, moet nog verder worden onderzocht. Dit is een belangrijke troef voor bedrijven die zich richten op duurzaamheid als kernwaarde in hun bedrijfsstrategie. Bovendien veroorzaakt het stillere karakter van deze vliegtuigen minder geluidsoverlast, wat bijdraagt aan een betere leefomgeving voor gemeenschappen rondom vliegvelden.

4 Resultaten en inzichten

De luchtvaartsector staat wereldwijd voor een verduurzamingsopgave in de vorm van technologische innovatie, tegen de achtergrond van een groeiende vraag naar luchtvervoer. Met de inzet van twee technologieën, batterij-elektrische en waterstofvliegtuigen, zal mogelijk een significante stap kunnen worden gezet in de richting van een klimaatvriendelijkere luchtvaart. Ook kunnen deze technologieën kansen creëren voor de lucht gebonden connectiviteit op korte en middellange afstanden. Al hebben ze grote investeringen nodig voor ze in gebruik kunnen worden genomen door luchtvaartmaatschappijen.

Van de uiteindelijke impact van deze technologieën is nog weinig bekend. De verkennende studie die voor u ligt heeft daarom tot doel proactief de maatschappelijke baten van deze technologieën in kaart te brengen, een onderbouwde verkennende impactschatting te ontwikkelen en verkennende businesscases op te bouwen.

Inzichten

Potentie tot één-op-één vervanging van vluchten met alternatieve technologieën

Voor het Nederlandse vasteland blijkt uit de analyse dat er enkel voor de luchthaven van Schiphol kansen liggen om bestaande lijnvluchten één-op-één te vervangen met de technologische verwachtingen binnen de scenario's.

Voor Schiphol zijn er mogelijkheden om bestaande lijnvluchten één-op-één te vervangen met elektrische of waterstofvluchten. Dat geldt alleen voor scenario 2 met de inzet van middelgrote toestellen. De potentie is om tot 3% van het aantal vliegbewegingen (van de 500.000) één-op-één te vervangen met elektrische vliegtuigen (dat is in scenario 2 met toestellen tot 90 stoelen). Op het kansrijke segment voor één-op-één vervanging, vluchten tot 1,500 km in 2024, zijn de vervangingspotenties tot 17% voor elektrisch. Dat gaat dan over ca. 16,500 vluchten op jaarbasis in Nederland, bijna eenzijdig op Schiphol. Als waterstofluchtvaart doorbreekt, zou de potentie van één-op-één vervanging met waterstofaandrijving toenemen tot ca. 5% van alle vluchten, en 14% van het kansrijke segment vluchten tot 1,500 km. Scenario 1, dat uitgaat van vervanging door kleine toestellen, is voor Schiphol niet effectief.

Figuur 4.1 Aantal routes (van segment vluchten tot 1,500 km) dat vervangen kan worden op Schiphol door elektrische of waterstofvluchten, of potentieel nieuw aangevlogen kan worden door elektrische vliegtuigen

	Scenario 1			Scenario 2		
	(Deels) vervangen routes*	Vervangen vliegbewegingen*	Additionele routes	(Deels) vervangen routes**	Vervangen vliegbewegingen**	Additionele routes
Elektrisch	0 (0%)	0 (0%)	1	43 (81%)	16,500 (17%)	28
Waterstof	0 (0%)	0 (0%)	-	80 (75%)	23,000 (14%)	-

*percentage ten opzichte van het netwerk binnen het gestelde maximum bereik per energiedrager (400km elektrisch, 500 km waterstof)

**percentage ten opzichte van het netwerk binnen het gestelde maximum bereik per energiedrager (800km elektrisch, 1,500 km waterstof)

PM.: Alle effecten, in percentages, zijn bepaald relatief ten opzichte van de referentie (alle vluchten tot 1,500 km) en niet ten opzichte van al het verkeer vertrekkend vanaf de geanalyseerde luchthavens.

Voor de regionale luchthavens van Nederland zien we gegeven de capaciteiten in de 2 scenario's, en huidige netwerken en kenmerken daarvan, géén potentie voor het één-op-één vervangen. Dit doordat deze nu enkel worden aangevlogen met vliegtuigen met een capaciteit groter dan 90 stoelen.

Wel liggen er kansen voor het ontwikkelen van nieuwe routes met deze nieuwe toestellen. Vanwege slotbeperkingen wordt de kans klein geacht dat nieuwe routes zullen worden geopend vanaf Schiphol, Eindhoven of Rotterdam. Echter gaan er al stemmen op voor ruimere interpretatie van capaciteitsplanning op luchthavens om elektrisch/waterstof te stimuleren binnen de geldende kaders. Deze overweging is voor deze studie buiten beschouwing gelaten.

In het [Caribische deel van het Koninkrijk](#) is er naar verhouding [meer potentie](#) om vluchten [één-op-één](#) te [vervangen](#), en kunnen er ook meer nieuwe (elektrische) routes worden geopend. Dit komt vanwege de geografische situatie. Waar in het vasteland van Europa concurrentie van weg- en spoorverkeer is ziet men dit niet in een archipel. Hierdoor is de voorgestelde één op één substitutie makkelijker te beredeneren omdat er geen markt-afvloeiing naar andere modaliteiten is.

Op Aruba, Bonaire en Curaçao vormen de inter-eiland vluchten, een significant deel van het aantal vliegbewegingen (>60%), ze zijn zo ook interessant voor één-op-één vervanging door elektrische dan wel door waterstofvliegtuigen. Op St. Maarten ligt het aandeel potentiële één-op-één te vervangen vliegbewegingen lager (maar nog altijd op iets meer dan 20%), hoger dan op het Nederlandse vasteland. Dit zou alle samen dus kunnen leiden tot een [vervangings-potentieel van duizenden vluchten per jaar](#) voor de eilanden.

Op St. Eustatius zouden alle (in 2024) commerciële vluchten één-op-één kunnen vervangen kunnen worden, vermoedelijk door elektrische technieken gegeven de beperkte ervaring met waterstof op de eilanden, wat zou neerkomen op honderden tot maximaal enkele duizenden vluchten per jaar. Maar er is ook de netwerk-potentie om elf nieuwe routes te openen; als vervanging van de langere [hub-and-spoke](#) connectiviteit die ze nu realiseren.

Geschatte impact op klimaat en omgeving

De inzet van deze twee technologieën biedt de luchtvaartsector mogelijkheden om maatschappelijke baten te realiseren. Dit omvat de reductie van CO₂-uitstoot, stikstofoxiden (NO_x), fijnstof en geluidsoverlast. Deze emissies kunnen met MKBA-kengetallen ook in EUR uitgedrukt worden. Volgende tabel vat de kwantificering (waar mogelijk) van de directe en indirecte effecten per scenario samen. Jaarlijks zou de impact voor de maatschappij kunnen oplopen van 0 tot 61 mln. EUR, afhankelijk van de capaciteiten van de nieuwe technologieën. Scenario 1 betreft vooral het Caribisch deel van het Koninkrijk en kan tot 8 mln. EUR maatschappelijke baten per jaar opleveren. Scenario 2 zou ook voor Nederland een potentie betekenen en kan tot 61 mln. EUR per jaar opleveren.

Figuur 4.2 Overzicht van jaarlijkse maatschappelijke effecten (in mln. euro)

Maatschappelijke effecten	Caribisch deel van het Koninkrijk		Nederland	
	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
Directe effecten				
Reistijdeffecten (connectiviteit), waarvan:	€ 6	€ 11	€ 0	€ 2
- reistijd vliegtuig	€ 1	€ 3	€ 0	€ 0
- wachttijd lay-over	€ 5	€ 8	€ 0	€ 2
Exploitatieresultaat, van:				
- luchthavens	-	-	-	+
- luchtvaartmaatschappijen	-	+	-	+
- maakindustrie	0	0	+	+
Indirecte effecten				
Werkgelegenheid (in FTE)	+	+	+	+
Agglomeratie-effecten (toerisme en handel)	+	+	+	+
Verdienvermogen (o.a. export)	0	0	+	+
Klimaat effecten en omgevingseffecten				
Broeikasgasemissies (CO ₂ -emissies)	€ 1	€ 5	€ 0	€ 0
Niet-CO ₂ klimaat effecten	€ 1	€ 1 - 16	€ 0	€ 58
Luchtkwaliteit (stikstof)	€ 0	€ 0	€ 0	€ 1
Geluid	+	+	0	+
Natuur	PM	PM	PM	PM
Totale maatschappelijke effecten	€ 8	€ 16 - 32	€ 0	€ 61

De onderverdeling van de impacts is als volgt:

Klimaat effecten

In de scenario's kunnen enkel de korte afstandsvluchten worden geëlektrificeerd of vervangen door waterstofvluchten, welke een beperkt deel van het totaal aantal vluchten en de totale klimaatimpact van de Nederlandse luchtvaart omvat. In Nederland zijn de maatschappelijke effecten beperkt voor scenario 1, met nauwelijks meetbare baten (€ 0 mln.). In scenario 2 ontstaan, kunnen ook langere vluchten worden vervangen en zijn de effecten groter, met totale baten van € 61 mln. jaarlijks). Het verschil komt door verbeterde connectiviteit, een positief exploitatieresultaat (luchthavens en luchtvaartmaatschappijen), en de toename van het verdienvermogen. Daarnaast zijn de klimaat effecten in scenario 2 duidelijker, met grotere reducties in niet-CO₂-klimaat effecten en een lichte verbetering van de luchtkwaliteit.

- Voor het **Nederlandse vasteland** kan enkel in scenario 2 vervanging van vluchten binnen het segment vluchten tot 1,500 km leiden tot een reductie van maximaal **9% CO₂** en **7% NO_x**.
- Naast de directe CO₂-reductie spelen ook **niet-CO₂-klimaat effecten**, zoals waterdamp, stikstofoxiden en wolkvorming, een belangrijke rol. In Nederland bedraagt de reductie van niet-CO₂-effecten in Scenario 2 ongeveer 10% ten opzichte van de referentie.
- In het **Caribisch deel van het Koninkrijk** is de potentiële impact groter. De vervanging van conventionele vluchten kan in **Scenario 1** resulteren in een **10% CO₂-reductie** en **6% NO_x**-binnen dit segment (0 – 1,500 km). Bij realisatie van **Scenario 2** kan de

uitstootreductie oplopen tot 30% voor CO₂ en 22% voor NO_x ten opzichte van de referentie.

- Voor het Caribisch deel van het koninkrijk kan met de aannames van Scenario 1 het niet-CO₂-klimaat-effect beperkt worden met 0,1 tot 0,3%, terwijl dit in Scenario 2 kan oplopen tot 11% ten opzichte van de referentie.

In het Caribisch deel van het koninkrijk zijn de maatschappelijke effecten positief in beide scenario's. In scenario 1 bedragen de totale maatschappelijke baten € 8 mln., terwijl deze in scenario 2 toenemen tot maximaal € 32 mln. (jaarlijks). Dit wijst erop dat de bredere adoptie van duurzame luchtvaarttechnologieën in scenario 2 aanzienlijke voordelen oplevert. De grootste bijdrage komt voort uit reistijdeffecten, vooral door een vermindering van wachttijd bij overstappen (lay-overs), doordat directe vluchten kunnen ontstaan die hub-and-spoke vervangen. Ook zijn er positieve effecten op het gebied van werkgelegenheid, agglomeratie-effecten (zoals toerisme en handel) en een verbetering van de luchtkwaliteit en geluidshinder, hoewel de impact op natuur nog niet is meegerekend (ze zijn kwalitatief geduid met (+)).

Luchtkwaliteit

Duurzame luchtvaarttechnieken dragen bij aan schonere lucht. In het Caribisch gebied kan de NO_x-uitstoot van de 'Landing and Take-off' (LTO)-cycli afnemen met 16-21% in scenario 1 en 32% in scenario 2. Voor Nederland is de reductie beperkter, met 6% in scenario 2. Elektrische vluchten elimineren directe NO_x- en fijnstofemissies, maar het hogere gewicht van batterij-elektrische vliegtuigen kan extra slijtage veroorzaken aan banden en landingsbanen, wat fijnstofuitstoot zeer lokaal wel kan verhogen. In monetaire waarde is dit een potentieel afname in grootorde van 1 mln. EUR per jaar.

Geluidseffecten

Elektrische en waterstofvliegtuigen produceren minder geluid dan conventionele toestellen, wat geluidshinder rond luchthavens vermindert. In het Caribisch gebied zal dit effect sterker merkbaar zijn dan in Nederland waar grotere toestellen dominant blijven. De monetaire waarde is op dit moment niet te bepalen vooral omdat er weinig informatie bekend is over de geluidsproductie van de nieuwe toestellen; dat vereist een detailanalyse per luchthaven.

Natuur en ruimtegebruik

De impact op natuur en ruimte verschilt per regio. In Nederland draagt de luchtvaart slechts beperkt bij aan stikstofdepositie, terwijl stikstofreductie in het Caribisch gebied juist gunstig kan zijn voor kwetsbare ecosystemen zoals koraalriffen en mangroven.

De transitie naar duurzame luchtvaart brengt **ruimtelijke uitdagingen** met zich mee. Vooral op eilanden kan de infrastructuur voor waterstofproductie (Clean Sky 2, 2020⁸⁵) en elektrische netwerken concurreren met andere vormen van landgebruik. De infrastructuur voor waterstofproductie en elektrische netwerken kan, vooral op de eilanden waar schaarste heerst, concurreren met ander landgebruik. De afhankelijkheid van hernieuwbare energie wordt ook cruciaal. De grootschalige inzet van waterstof en elektriciteit in de luchtvaart vraagt om voldoende energie (EASA, 2022⁸⁶; IATA, 2021⁸⁷), wat kan leiden tot concurrentie met andere sectoren zoals industrie en huishoudens.

Daarnaast heeft de productie van batterijen en waterstof aanzienlijke **milieueffecten** binnen de **supply chains**. Dit proces vergt grote hoeveelheden grondstoffen en is energie-intensief, wat kan leiden tot extra ecologische druk (EEA, 2020⁸⁸).

Indirecte effecten

De transitie zal brede economische en maatschappelijke gevolgen kennen, met kansen voor het stimuleren van hoogtechnologische werkgelegenheid, en op indirecte manier handel en toerisme. Maar ze kent vooral ook uitdagingen op het gebied van het ontwerpen en realiseren van infrastructuraanpassingen.

Werkgelegenheid en innovatie

De introductie van duurzame luchtvaarttechnologieën creëert nieuwe banen in de vliegtuigproductie, onderliggende innovatie, het onderhoud en de uitwerking van de energievoorziening. Nederland zou kunnen profiteren van de realisatie van een voortrekkersrol in de ontwikkeling van deze technologieën, wat zou leiden tot innovatiekansen in de luchtvaartindustrie, het onderwijs en de brede economie. Nederland loopt al voorop met programma's zoals het programma Luchtvaart in Transitie en initiatieven van bedrijven als GKN Aerospace en Unified International. Daarnaast spelen onderzoeks- en kennisinstellingen zoals het Koninklijk NLR en de TU Delft een leidende rol in baanbrekend onderzoek naar elektrische en waterstof aangedreven vliegtuigen. In het Caribisch gebied kunnen verbeterde luchtverbindingen de arbeidsmarkt stimuleren, vooral in sectoren als toerisme en logistiek.

Handel en toerisme

Duurzame luchtvaart kan nieuwe markten ontsluiten en de concurrentiepositie van luchthavens versterken. In Nederland blijft de impact op handel en toerisme beperkt tot kortere Europese vluchten, maar in het Caribisch gebied kan een beter netwerk direct bijdragen aan economische groei. Toeristen, maar ook bewoners, kunnen sneller en milieuvriendelijker tussen de eilanden reizen, wat de aantrekkelijkheid van de regio vergroot.

Kosten en investeringsbehoefte

Hoewel de operationele kosten van elektrische vliegtuigen naar verwachting lager zijn dan die van traditionele brandstof aangedreven toestellen, vereist de transitie grote investeringen in infrastructuur, zoals laadstations, waterstofopslag en luchthaventechnologie. In het Caribisch gebied kunnen investeringen leiden tot projecten die tot concrete resultaten leiden. Kleinschalige en praktisch uitvoerbare initiatieven kunnen daar zichtbaar effect hebben. We

⁸⁵ Clean Sky 2 (2020). Hydrogen-Powered Aviation: A Fact-Based Study of Hydrogen Technology, Economics, and Climate Impact.

⁸⁶ EASA (2022). *Environmental Report 2022*. European Union Aviation Safety Agency.

⁸⁷ IATA (2021). *Net Zero Roadmap*. International Air Transport Association

⁸⁸ EEA (2020). *The Environmental Impact of Electric Batteries*. European Environment Agency.

ramen dat de investeringskosten voor een één-op-één transitie (10 duizenden per jaar in Nederland en duizenden op de Caraïben) aanzienlijk zijn. Die bestaan uit eenmalige investerings- en operationele kosten. Ze vallen bij de OEMs, de luchtvaartmaatschappijen en de luchthavens.

CAPEX omvat de initiële, zoals de ontwikkeling van **nieuwe vliegtuigen**, de **aanschaf** ervan, luchthaven-aanpassingen en **infrastructuurinvesteringen**. Verschillende toeleveranciers (OEM's) investeren nu al miljarden in waterstof- en elektrische vliegtuigen. De verwachte verkoopprijs van een passagiersvliegtuig op batterijen hangt af van verschillende factoren, zoals grootte, bereik, batterijtechnologie en productievolume. Op basis van huidige industrie-inschattingen en aankondigingen van vliegtuigfabrikanten kan een inschatting gemaakt worden dat verkoopprijzen rond 10-20 mln. kunnen liggen voor kleine toestellen (9-20 zitters), oplopend tot € 15-20 mln. voor grotere capaciteiten (30 stoelen) en € 20-60 mln. voor capaciteiten boven de 50 stoelen. Zeker als de range ook moet toenemen kan de kost geschat worden op ruim deze bedragen. De kosten voor retrofitting dan wel een geheel nieuw toestel kunnen voor luchtvaartmaatschappijen ook al oplopen van €10 mln. tot € 30 mln. per waterstoftoestel (Destination 2050, 2025).

Factoren die de prijs beïnvloeden zijn batterijkosten (belangrijke kostenfactor, maar deze zullen dalen met verbeteringen in solid-state en energie-dichte batterijen), certificering (kunnen de initiële prijs opdrijven) en schaalvoordelen (de eerste generatie modellen zal duurder zijn; prijzen kunnen dalen bij grootschalige productie).

Daarnaast vergen de nieuwe toestellen ook aanpassingen aan de infrastructuur welke kosten met zich meebrengen. Elektrische laadpalen worden momenteel op zo'n 1,7-2,5 miljoen euro per megawatt (Driessen & Hak 2021, 2 miljoen euro per megawatt (van Oosterom 2021)) geschat, met hogere kosten voor het aanleggen van de waterstofinfrastructuur. Ook een beperkt aantal laadplaatsen en parallel ladende vliegtuigen moet al snel ca. 1-3 miljoen EUR uitgetrokken worden volgens de 'Roadmap Electric flight in the Kingdom of the Netherlands'.⁸⁹

OPEX omvat de doorlopende kosten voor onderhoud, energie en personeel. OEM's dragen kosten voor productie en technologieontwikkeling. Luchtvaartmaatschappijen hebben mogelijk een **besparing op hun brandstof- en onderhoudskosten** door elektrische vliegtuigen, waterstof vliegtuigen zullen echter duurder zijn in de onderhoud en brandstof. Ze zullen ook, wat betreft de EU-vluchten, een besparing realiseren op hun ETS-kosten. Luchthavens maken extra kosten voor infrastructuurbeheer en energiegebruik, echter bijvoorbeeld PV-installaties op het luchthaventerrein zou potentieel deze kosten kunnen verzachten.

⁸⁹ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2022/02/18/bijlage-2-roadmap-electric-flight-naco-nlr-report>

Samenvattend

Deze verkennende studie toont aan dat duurzame luchtvaart klimaatvoordelen biedt, investeringen vereist maar (indirect) ook economische en maatschappelijke kansen creëert.

Het Nederlandse vasteland kan zich richten op de kansen tot verduurzaming van korte tot middellangeafstandsvluchten op de iets langere termijn (2040-2050), en het benutten van economische kansen in de maakindustrie zelf (bv. toegevoegde waarde realisatie via toeleveranciers en producenten van luchtvaarttechnologie). Gezien het vervangingspotentieel in scenario 2.

De maatschappelijke besparingen voor de Caraïben zijn zichtbaar, ook op de korte termijn. Ze liggen tussen de € 1-16 miljoen per scenario, zie bovenstaande tabel, gerelateerd aan een daling in emissies (CO₂ en non-CO₂ samen) en positieve reistijdeffecten. Door de inzet van de geschetste duurzame technologieën, kan de maatschappelijke terugverdientijd voorzichtig op jaren tot decennia geschat worden. De economische terugverdientijd is ook onzeker.

Hoewel elektrische toestellen naar verwachting **lagere operationele** kosten kennen voor luchtvaartmaatschappijen zal echter een **grote kapitaaluitgave** vooraf nodig zijn, bij vervanging van de bestaande vloot, ook waterstofvliegtuigen vergen een grote investering en doen operationele kosten mogelijk niet dalen.

Luchthavens kunnen faciliteren in de realisatie en hebben CAPEX voor infrastructurele-aanpassingen zoals laadstations en waterstoftanks. Zij zullen daarbij ondersteund moeten worden.

Het onbekende, zowel op technologisch als bedrijfseconomisch vlak, zal een grote barrière zijn voor grootschalige 1-1 vervanging. De technologieën zijn in ontwikkeling, en moeten in de komende jaren aantonen of ze levensvatbaar zijn.

Deze verkenning van de maatschappelijke effecten biedt beleidsmakers en andere stakeholders inzicht in de potentiële effecten van duurzame luchtvaarttechnologieën. Het rapport kan daarbij dienen als een fundament voor het uitwerken van (toekomstige) investeringen of acties. Er is nog geen concreet beleidsplan uitgetekend in deze verkenning. Veel zal in de komende jaren afhangen van de technologische evoluties, de prijszetting van de technologieën en de opname ervan door luchtvaartmaatschappijen en luchthavens.

Appendix A – Resultaten connectiviteitsanalyse

Amsterdam/Schiphol (AMS)

Land	Bestemmingen	Jaarlijkse retour vluchten
Oostenrijk	Innsbruck, Salzburg, Wenen, Graz	3.454
België	Brussel	1.427
Tsjechië	Praag	2.563
Denemarken	Aalborg, Billund, Kopenhagen	8.299
Frankrijk	Parijs, Lyon, Nantes, Rennes, Straatsburg, Bordeaux, Montpellier, Marseille, Nice, Toulouse	13.236
Duitsland	Berlijn, Bremen, Dresden, Düsseldorf, Frankfurt, Hannover, Hamburg, München, Nürnberg, Stuttgart	20.980
Ierland	Dublin, Cork	5.868
Italië	Milaan, Bergamo, Bologna, Cagliari, Rome, Florence, Genua, Napoli, Olbia, Pisa, Turijn, Venetië, Verona	14.665
Luxemburg	Luxemburg	1.314
Noorwegen	Kristiansand, Stavanger, Alesund, Bergen, Oslo, Trondheim, Sandefjord	8.626
Zweden	Gotheborg, Stockholm, Linköping	5.730
Zwitserland	Basel, Genève, Zurich	8.418
Verenigd Koninkrijk	Aberdeen, Belfast, Birmingham, Bristol, Cardiff, Edinburgh, Glasgow, Humberside, Leeds/Bradford, Londen, Liverpool, Manchester, Durham Tees Valley, Newcastle, Norwich, Southampton, Inverness	39.049
Kroatië	Dubrovnik, Pula, Split, Zagreb	2.099
Estland	Tallinn	393
Hongarije	Budapest	1.604
Lettland	Riga	847
Litouwen	Palanga, Vilnius	442
Polen	Gdansk, Krakau, Poznan, Warschau, Wroklau	6.752
Servië	Belgrado	1.194
Slovenië	Ljubljana	188
Spanje	Barcelona, Bilbao, Girona, Madrid, Menorca, Asturias, Mallorca, Santiago de Compostella, Valencia	13.237

Land	Jaarlijkse elektrische substitutie vluchten	Jaarlijkse waterstof substitutie vluchten
Oostenrijk	-	33
België	754	754
Tsjechië	385	385
Denemarken	1.042	1.037
Frankrijk	1.878	2.387
Duitsland	4.260	4.260
Ierland	1.360	1.743
Italië	36	1.218
Luxemburg	627	627
Noorwegen	1.073	2.019
Zweden	238	1.053
Zwitserland	695	695
Verenigd Koninkrijk	4.409	4.758
Kroatië	-	36
Hongarije	-	126
Polen	-	1.971
Spanje	-	123

Bestemming	Mogelijk vanaf	Potentieel jaarlijkse passagiers	Invloed op connectiviteit	Kilometer winst
Leipzig	Scenario 2	3.789	Geen overstap in Frankfurt meer nodig	~130
Jersey	Scenario 2	12.503	Geen overstap in Londen meer nodig	~30
Malmö	Scenario 2	6.903	Geen overstap in Stockholm meer nodig	~1015
Ångelholm Helsingborg	Scenario 2	4.959	Geen overstap in Stockholm meer nodig	~945
Aarhus	Scenario 2	3.837	Geen overstap in Stockholm meer nodig	~200
Brest	Scenario 2	6.779	Geen overstap in Parijs meer nodig	~135
Haugesund	Scenario 2	5.022	Geen overstap in Oslo meer nodig	~510
Caen-Carpiquet	Scenario 2	2.127	Geen overstap in Lyon meer nodig	~790
Szczecin	Scenario 2	1.763	Geen overstap in Warschau meer nodig	~845
Clermont- Ferrand	Scenario 2	2.363	Geen overstap in Parijs meer nodig	~30
Friedrichshafen	Scenario 2	968	Geen overstap in Frankfurt meer nodig	~20
Isle of Man	Scenario 2	1.556	Geen overstap in Dublin of Londen meer nodig	~115-225
Cornwall	Scenario 2	685	Geen overstap in Dublin meer nodig	~385
Exeter	Scenario 2	594	Geen overstap in Dublin meer nodig	~515

Bestemming	Mogelijk vanaf	Potentieel jaarlijkse passagiers	Invloed op connectiviteit	Kilometer winst
Bern (treinstation)	Scenario 2	574	Geen overstap in Zurich meer nodig (vliegtuig-trein)	~73
Limoges-Bellegarde	Scenario 2	504	Geen overstap in Lyon meer nodig	~275
Dundee	Scenario 2	455	Geen overstap in Londen meer nodig	~265
Rønne	Scenario 2	419	Geen overstap in Kopenhagen meer nodig	~55
Senderborg	Scenario 2	245	Geen overstap in Kopenhagen meer nodig	~390
East Midlands	Scenario 2	220	Geen overstap in Parijs meer nodig	~508
Guernsey	Scenario 2	161	Geen overstap in Londen meer nodig	-
Grenoble	Scenario 2	145	Geen overstap in Londen meer nodig	~360
Zielona Góra	Scenario 2	63	Geen overstap in Warschau meer nodig	~720
Mannheim	Scenario 2	38	Geen overstap in Frankfurt meer nodig	~20
Karlsruhe/Baden	Scenario 2	24	Geen overstap in Frankfurt meer nodig	~35
Sylt	Scenario 1	19	Geen overstap in München of Frankfurt meer nodig	~535-1060
Karup	Scenario 2	7	Geen overstap in Kopenhagen meer nodig	~340
Cambeltown	Scenario 2	6	Geen overstap in Glasgow meer nodig	~40
Esbjerg	Scenario 2	6	Geen overstap in Aberdeen meer nodig	~055
Erfurt	Scenario 2	3	Geen overstap in Frankfurt meer nodig	~115
Oxford	Scenario 2	3	Geen overstap in Londen meer nodig	~30
Plymouth	Scenario 2	2	Geen overstap in Londen meer nodig	-

Eindhoven (EIN)

Land	Bestemmingen	Jaarlijkse retour vluchten
Oostenrijk	Innsbruck, Salzburg, Wenen	387
Kroatië	Rijeka, Zadar, Zagreb	196
Tsjechië	Praag	231
Denemarken	Kopenhagen	132
Frankrijk	Bordeaux, Marseille, Nice	303
Hongarije	Budapest, Debrecen	661
Ierland	Dublin	158
Italië	Bergamo, Bologna, Rome, Napels, Pisa, Venetië	1.942
Litouwen	Vilnius	336
Noorwegen	Oslo	141
Polen	Gdansk, Krakau, Katowice, Warschau, Wrocław	1.883
Roemenië	Cluj-Napoca	191
Servië	Belgrado	233
Slowakije	Bratislava	135
Spanje	Barcelona, Bilbao, Girona, Ibiza, Madrid, Mallorca, Reus, Valencia	2.724
Verenigd Koninkrijk	Edinburgh, Manchester, Londen (Stansted)	1.275

Rotterdam (RTM)

Land	Bestemmingen	Jaarlijkse retour vluchten
Oostenrijk	Innsbruck, Salzburg	334
Kroatië	Dubrovnik, Pula, Split, Zadar	359
Frankrijk	Bastia, Bergerac, Grenoble, Montpellier, Toulon	329
Italië	Bergamo, Rome, Perugia	346
Luxemburg	Luxemburg	47
Spanje	Barcelona, Girona, Ibiza, Mallorca, Valencia	1.160
Zwitserland	Genève	17
Verenigd Koninkrijk	Edinburgh, Londen (City)	1.097

Maastricht (MST)

Land	Bestemmingen	Jaarlijkse retour vluchten
Bosnie en Herzegovina	Tuzla	18
Kroatië	Zadar	35
Italië	Bari	64
Spanje	Alicante, Barcelona, Girona, Mallorca	201

Groningen (GRQ)

Land	Bestemmingen	Jaarlijkse retour vluchten
Zweden	Scandinavian Mountains	12 (charter, seizoensgebonden)

Land	Jaarlijkse elektrische substitutie vluchten	Jaarlijkse waterstof substitutie vluchten
Zweden	12	12

Aruba (AUA)

Bestemming	Type route	Afstand (km)	Wekelijkse frequentie	Seizoensgebonden?	Uitvoerende vliegtuigtypes	Uitvoerende maatschappij
Curaçao	Direct	119	44	Nee	Twin-Otter, Britten Norman Islander	Divi Divi Air
			15 ¹	Nee	Saab 340	Z Air
	Stop-over	PBM-AUA-CUR-MIA	3	Nee	B737-800	Surinam Airways
		AUA-CUR-SXM	4	Nee	ATR 42	Winair
Bonaire	Direct	193	3 ¹	Nee	Saab 340	Z Air
Santo Domingo	Stop-over	SDQ-CUR-AUA-SDQ	2	Nee	B737-MAX8	Arajet
	Direct + stop-over	660 + SDQ-CUR-AUA-SDQ	1 tot 2	Nee	Embraer E175/E190	SkyHigh
	Direct	675	2 tot 3	Nee	CRJ200	Air Century
Punta Cana	Direct	697	1 tot 2	Nee	CRJ200	Air Century
Medellin	Direct	921	3 tot 4	Ja	A320	Avianca
			3 tot 4	Nee	B737-800	Wingo
Bogota	Direct	978	10 tot 11	Nee	A320	Avianca
			2 tot 3	Nee	B737-800	Wingo
Antigua	Stop-over	1023	1 tot 2	Nee	B777-200ER	British Airways
Panama Stad	Direct	1092	10 tot 11	Nee	B737 familie	Copa Airlines
Cali	Direct	1218	2	Ja, tot september 2024	B737-800	Wingo

¹ Dito not accurate, checked Z Air website 4-10 November

Route	Elektrische substitutie	Waterstof substitutie
Curaçao	Ja, vanaf scenario 1 (Divi Divi Air & Z Air) (Meer vluchten door kleinere capaciteit)	Ja, vanaf scenario 1 (Divi Divi Air & Z Air) (Meer vluchten door kleinere capaciteit) Winair vanaf scenario 2
Bonaire	Ja, vanaf scenario 1 (Meer vluchten door kleinere capaciteit)	Ja, vanaf scenario 1 (Meer vluchten door kleinere capaciteit)
Santo Domingo	Ja, vanaf scenario 2 (SkyHigh & Air Century)	Ja, vanaf scenario 2 (SkyHigh & Air Century)
Punta Cana	Ja, vanaf scenario 2	Ja, vanaf scenario 2

Bestemming	Mogelijk vanaf	Potentieel jaarlijkse passagiers	Invloed op connectiviteit	Kilometer winst
Bonaire	Scenario 1	22.050	Vraag op de directe vluchten naar Curaçao zal deels afnemen	-
Caracas	Scenario 1	2.250	Geen overstap meer nodig in Panama	~2070
Barranquilla	Scenario 2	4.800	Geen overstap meer nodig in Bogota of Panama	~1100
Cúcuta	Scenario 2	3.050	Geen overstap meer nodig in Bogota	~800
Cartagena	Scenario 2	1.900	Geen overstap meer nodig in Bogota of Panama	~900 - 1000
Bucaramanga	Scenario 2	1.900	Geen overstap meer nodig in Bogota	~580
Yanguies	Scenario 2	2.550	Geen overstap meer nodig in Bogota	~500
San Juan	Scenario 2	2.100	Geen overstap meer nodig in Miami of Panama	~2050-2750
Santa Marta	Scenario 2	400	Geen overstap meer nodig in Bogota	~1200
Riohacha	Scenario 1	150	Geen overstap meer nodig in Bogota	~1400
Valledupar	Scenario 2	90	Geen overstap meer nodig in Bogota	~1200
Barcelona (Venezuela)	Scenario 2	80	Geen overstap meer nodig in Panama	~2050
Port-au-Prince	Scenario 2	65	Geen overstap meer nodig in Santo Domingo of Miami	~220-2260
Monteria	Scenario 2	60	Geen overstap meer nodig in Bogota	~700
Santiago (Dom. Rep)	Scenario 2	60	Geen overstap meer nodig in Santo Domingo	~30
Valencia (Venezuela)	Scenario 1	15	Geen overstap meer nodig in Santo Domingo	~1250
Ponce	Scenario 2	8	Geen overstap meer nodig in New York	~5040
Aguadilla	Scenario 2	5	Geen overstap meer nodig in New York	~4960

Bonaire (BON)

Bestemming	Type route	Afstand (km)	Wekelijkse frequentie	Seizoensgebonden?	Uitvoerende vliegtuigtypes	Uitvoerende maatschappij
Curaçao	Direct	75	58	Nee	Britten Norman Islander, Twin-Otter	Divi Divi Air
			25 ¹	Nee	Saab 340	EZ Air
	Stop-over	BON-CUR-SXM	3	Nee	ATR 42	Winair
Santo Domingo	Direct	716	1	Nee	Embraer E175/ E190	SkyHigh
Aruba	Direct	193	3 ¹	Nee	Saab 340	EZ Air

¹ Dito not accurate, checked Z Air website 4-10 November

Route	Elektrische substitutie	Waterstof substitutie
Curaçao	Ja, vanaf scenario 1 (Meer vluchten door kleinere capaciteit)	Ja, vanaf scenario 1 (Meer vluchten door kleinere capaciteit) Winair vanaf scenario 2
Santo Domingo	Ja, vanaf scenario 2	Ja, vanaf scenario 2
Aruba	Ja, vanaf scenario 1 (Meer vluchten door kleinere capaciteit)	Ja, vanaf scenario 1 (Meer vluchten door kleinere capaciteit)
St. Maarten	-	Ja, vanaf scenario 2 (via CUR)

Bestemming	Mogelijk vanaf	Potentieel jaarlijkse passagiers	Invloed op connectiviteit	Kilometer winst
Aruba	Scenario 1	22.050	Vraag op de directe vluchten naar Curaçao deels afnemen	-
Barranquilla	Scenario 2	550	Geen overstap meer nodig op Curaçao	-
Santo Domingo	Scenario 2	350	Geen overstap meer nodig op Curaçao	~55
Punta Cana	Scenario 2	150	Geen overstap meer nodig op Curaçao	~70
St. Thomas	Scenario 2	25	Geen overstap meer nodig in Miami	~2980
San Juan	Scenario 2	40	Geen overstap meer nodig in Miami of New York	~2915-5080
Port of Spain	Scenario 2	45	Geen overstap meer nodig op Curaçao	~150
Saint Vincent and the Grenadines	Scenario 2	3	Geen overstap meer nodig in Miami	~3640

Curaçao (CUR)

Bestemming	Type route	Afstand (km)	Wekelijkse frequentie	Seizoensgebonden?	Uitvoerende vliegtuigtypes	Uitvoerende maatschappij
Bogota	Direct	1009	11	Nee	A320 familie	Avianca
			1 tot 2	Ja, tot augustus 2024	B737-800	Wingo
Aruba	Direct	119	44	Nee	Britten Norman Islander, Twin-Otter	Divi Divi Air
			15 ¹	Nee	Saab 340	Z Air
	Stop-over	PBM-AUA-CUR-MIA	3	Nee	B737-800	Sunnam Airways
		AUA-CUR-SXM	4	Nee	ATR 42	Winair
Panama Stad	Direct	1191	7 tot 9	Nee	B737 familie	Copa Airlines
Bonaire	Direct	75	58	Nee	Britten Norman Islander, Twin-Otter	Divi Divi Air
			25 ¹	Nee	Saab 340	Z Air
	Stop-over	BON-CUR-SXM	3	Nee	ATR 42	Winair
Caracas	Direct	278	2 tot 3	Nee	B737 familie	Avior Airlines
			2 ²	Nee	MD-80	LASER Airlines
St. Maarten	Direct	904	5	Ja, airline failliet in juni 2024	Fokker 70	Jetair Caribbean
	Stop-over	AUA/BON-CUR-SXM	7	Nee	ATR 42	Winair
Santo Domingo	Direct	718	2 tot 3	Nee	CRJ200	Air Century
	Direct + stop-over	660 + SDQ-CUR-AUA-SDQ	1 tot 2	Nee	Embraer E175/E190	SkyHigh
	Stop-over	SDQ-CUR-AUA-SDQ	2	Nee	B737-MAX8	Arajet
Port of Spain	Direct	850	2	Nee	B737-MAX8	Caribbean Airlines
Medellin	Direct	976	3	Ja, airline failliet in juni 2024	Fokker 70	Jetair Caribbean
Kingston	Direct	1051	3	Ja, airline failliet in juni 2024	Fokker 70	Jetair Caribbean
Punta Cana	Direct	711	1	Nee	CRJ200	Air Century
Barranquilla	Direct	650	1 tot 2	Ja, vanaf april operationeel	Saab 340	Z Air

¹ Dito not accurate, checked Z Air website 4-10 November.² Dito not accurate, checked CUR airport website.

Route	Elektrische substitutie	Waterstof substitutie
Aruba	Ja, vanaf scenario 1 (Meer vluchten door kleinere capaciteit)	Ja, vanaf scenario 1 (Meer vluchten door kleinere capaciteit)
Bonaire	Ja, vanaf scenario 1 (Meer vluchten door kleinere capaciteit)	Ja, vanaf scenario 1 (Meer vluchten door kleinere capaciteit)
Santo Domingo	Ja, vanaf scenario 2 (Air Century & SkyHigh)	Ja, vanaf scenario 2 (Air Century & SkyHigh)
Punta Cana	Ja, vanaf scenario 2	Ja, vanaf scenario 2
Barranquilla	Ja, vanaf scenario 2	Ja, vanaf scenario 2
St. Maarten	Nee	Ja, vanaf scenario 2

Bestemming	Mogelijk vanaf	Potentieel jaarlijkse passagiers	Invloed op connectiviteit	Kilometer winst
Porlamar	Scenario 2	2.250	Geen overstap in Caracas nodig	~35
Cartagena	Scenario 2	3.250	Geen overstap in Bogota of Panama nodig	~920
San Juan	Scenario 2	2.300	Geen overstap in Miami of Panama nodig	~2205-2840
Bucaramanga	Scenario 2	1.150	Geen overstap in Bogota of Panama nodig	~570-1180
Cúcuta	Scenario 2	650	Geen overstap in Bogota nodig	~800
Santa Marta	Scenario 2	450	Geen overstap in Bogota nodig	~1135
Grenada	Scenario 2	250	Geen overstap in Port of Spain	~220
La Romana	Scenario 2	115	Geen overstap in Caracas	~485
Barcelona (Venezuela)	Scenario 2	90	Geen overstap in Caracas	~15
Riohacha	Scenario 2	60	Geen overstap in Bogota nodig	~1340

St. Eustatius (EUX)

Bestemming	Type route	Afstand (km)	Wekelijkse frequentie	Seizoensgebonden?	Uitvoerende vliegtuigtypes	Uitvoerende maatschappij
St. Maarten	Direct	63	26	Nee	Twin-Otter	Winair

Route	Elektrische substitutie	Waterstof substitutie
St. Maarten	Ja, vanaf scenario 1 (Meer vluchten door kleinere capaciteit)	Ja, vanaf scenario 1

SBH en SAB niet mogelijk door korte banen

Bestemming	Mogelijk vanaf	Potentieel jaarlijkse passagiers	Invloed op connectiviteit	Kilometer winst
Antigua	Scenario 1	2.300	Geen overstap op St. Maarten nodig	~110
Beef Island	Scenario 1	1.900	Geen overstap op St. Maarten nodig	~25
Dominica	Scenario 1	1.100	Geen overstap op St. Maarten nodig	~120
Fort de France	Scenario 1	140	Geen overstap op St. Maarten nodig	~120
Port of Spain	Scenario 2	65	Geen overstap op St. Maarten nodig	~125
Barbados	Scenario 2	40	Geen overstap op St. Maarten nodig	~135
Santo Domingo	Scenario 2	9	Geen overstap op St. Maarten nodig	~40
Saint Lucia	Scenario 2	6	Geen overstap op St. Maarten nodig	~490
San Juan	Scenario 1	4	Geen overstap op St. Maarten nodig	~35
Saint Kitts	Scenario 1	3	Geen overstap op St. Maarten nodig	~120
Pointe à Pitre	Scenario 1	3	Geen overstap op St. Maarten en Dominica nodig	~280

Saba (SAB)

Bestemming	Type route	Afstand (km)	Wekelijkse frequentie	Seizoens-gebonden?	Uitvoerende vliegtuigtypes	Uitvoerende maatschappij
St. Maarten	Direct	46	24	Nee	Twin-Otter	Winair

St. Maarten (SXM)

Bestemming	Type route	Afstand (km)	Wekelijkse frequentie	Seizoens-gebonden?	Uitvoerende vliegtuigtypes	Uitvoerende maatschappij
St. Barths	Direct	32	130	Nee	Twin-Otter	Winair
			171	Nee	Cessna Caravan	St. Barth Commuter
Curaçao	Direct	904	5	Ja, airline failliet in juni 2024	Fokker 70	Jetair Caribbean
	Stop-over	SXM-CUR-AUA/BON	7	Nee	ATR 42	Winair
Santo Domingo	Direct	694	2 tot 3	Nee	B737-MAX8	Arajet
			1	Ja, tot maart 2024	Embraer E175	SkyHigh
		728	2	Nee	CRJ200	Air Century
St. Eustatius	Direct	63	26	Nee	Twin-Otter	Winair
Saba	Direct	46	24	Nee	Twin-Otter	Winair

Bestemming	Type route	Afstand (km)	Wekelijkse frequentie	Seizoensgebonden?	Uitvoerende vliegtuigtypes	Uitvoerende maatschappij
Antigua	Direct + Stop-over	Verschillende routes	8 tot 16 ³	Nee	Twin-Otter, ATR 42	Winair
	Direct	173	5	Ja, gestart in november 2024	Embraer ERJ145	LIAT20
Basseterre	Direct + Stop-over	92 Verschillende routes	11 tot 12	Nee	Twin-Otter & ATR 42	Winair
Beef Island	Direct + Stop-over	158	8 tot 10	Nee	Twin-Otter & ATR 42	Winair
Kingston	Stop-over	POS-BGI-SXM-KIN en POS-SXM-KIN 1440	2	Nee	B737-MAX8	Caribbean Airlines
Port of Spain	Direct + Stop-over	POS-SXM-KIN 850	3	Nee	B737-MAX8 & ATR 42	Caribbean Airlines
San Juan	Direct	308	1 tot 2	Ja	A320 familie	Frontier Airlines
			2 tot 3	Nee	ATR 42	Silver Airways
Anguilla	Direct	19	21 tot 22	Nee	Britten Norman Islander	Anguilla Air Services
Barbados	Stop-over	675 POS-BGI-SXM-KIN	1	Nee	B737-MAX8	Caribbean Airlines
		Verschillende routes	5	Ja, start in november 2024	ATR 42	Winair
Dominica	Stop-over	338	2 tot 3	Nee	ATR 42	Winair
Port au Prince	Direct	975	2	Nee	Embraer ERJ145	Sunrise Airways
Punta Cana	Direct	560	1 tot 2	Nee	CRJ200	Air Century
Nevis	Direct	108	4	Nee	Twin-Otter	Winair
Fort de France	Stop-over	Verschillende routes	3	Ja, start in november 2024	ATR 42	Winair
St. Vincent	Stop-over	SXM-SLU-SVD-SXM	2	Ja, start in november 2024	ATR 42	Winair

Bestemming	Type route	Afstand (km)	Wekelijkse frequentie	Seizoensgebonden?	Uitvoerende vliegtuigtypes	Uitvoerende maatschappij
St. Lucia	Stop-over	Verschillende routes	5 tot 6	Ja, start in november 2024	ATR 42	Winair
Point à Pitre	Direct	260	2	Ja, tot augustus 2024	A320	Air France

³ Dito not accurate, checked Winair website 4-10 November.

Route	Elektrische substitutie	Waterstof substitutie
Santo Domingo	Ja, vanaf scenario 2 (SkyHigh & Air Century)	Ja, vanaf scenario 2 (SkyHigh & Air Century)
St. Eustatius	Ja, vanaf scenario 1 (Meer vluchten door kleinere capaciteit)	Ja, vanaf scenario 1
Antigua	Ja, vanaf scenario 1 (alleen directe vluchten) (Meer vluchten door kleinere capaciteit) LIAT20 direct en Winair stop-over vanaf scenario 2	Ja, vanaf scenario 1 (alleen directe vluchten) LIAT20 direct en Winair stop-over vanaf scenario 2
Basseterre	Ja, vanaf scenario 1 (alleen directe vluchten) (Meer vluchten door kleinere capaciteit)	Ja, vanaf scenario 1 (alleen directe vluchten)
Beef island	Ja, vanaf scenario 1 (alleen directe vluchten) (Meer vluchten door kleinere capaciteit)	Ja, vanaf scenario 1 (alleen directe vluchten)
San Juan	Ja, vanaf scenario 2 (Silver Airways)	Ja, vanaf scenario 2 (Silver Airways)
Anguilla	Ja, vanaf scenario 1	Ja, vanaf scenario 1
Barbados	Ja, vanaf scenario 2 (Winair)	Ja, vanaf scenario 2 (Winair)
Dominica	Ja, vanaf scenario 2	Ja, vanaf scenario 2
Fort de France	Ja, vanaf scenario 2	Ja, vanaf scenario 2
Punta Cana	Ja, vanaf scenario 2	Ja, vanaf scenario 2
Nevis	Ja, vanaf scenario 1 (Meer vluchten door kleinere capaciteit)	Ja, vanaf scenario 1
St. Vincent	Ja, vanaf scenario 2	Ja, vanaf scenario 2
St. Lucia	Ja, vanaf scenario 2	Ja, vanaf scenario 2
Port au Prince	Nee	Ja, vanaf scenario 2
Port of Spain	Nee	Ja, vanaf scenario 2 (alleen directe ATR 42 vluchten)
Curaçao	Nee	Ja, vanaf scenario 2

Bestemming	Mogelijk vanaf	Potentieel jaarlijkse passagiers	Invloed op connectiviteit	Kilometer winst
St. Thomas	Scenario 1	600	Geen overstap meer nodig in San Juan	~220

Bestemming	Mogelijk vanaf	Potentieel jaarlijkse passagiers	Invloed op connectiviteit	Kilometer winst
Grenada	Scenario 2	350	Geen overstap meer nodig in Port of Spain	~340
St. Croix	Scenario 1	150	Geen overstap meer nodig in San Juan	~280
Vieques	Scenario 1	35	Geen overstap meer nodig in San Juan	~120
Vieux Fort	Scenario 2	30	Geen overstap meer nodig in Miami	~3860
Mayagüez	Scenario 2	20	Geen overstap meer nodig in San Juan	-
Aguadilla	Scenario 2	4	Geen overstap meer nodig in New York	~4830
Culebra	Scenario 1	2	Geen overstap meer nodig in San Juan	~150

Appendix B – Stakeholderanalyse

Luchtvaartmaatschappijen

De gebruikers van elektrische vliegtuigen bestaan uit meerdere partijen. Gezien de beperkte actieradius van elektrische vliegtuigen in de beginfase, wordt er verwacht dat elektrische vliegtuigen in de beginfase alleen door vliegscholen en particulieren worden aangekocht.⁹⁰ Deze groep gebruikers biedt wel de mogelijkheid om het luchtvaart systeem ervaring op te laten doen met de eigenschappen van elektrisch aangedreven vliegtuigen. Op middellange termijn kunnen elektrische vliegtuigen ook toegepast worden door regionale luchtvaartmaatschappijen die korte tot middellange afstanden bedienen. Dit betreft bijvoorbeeld startup airlines die zich kenmerken als emissievrije airline met regionale vluchten voor zakelijke doeleinden. Hetzelfde geldt voor waterstof aangedreven vliegtuigen die op de markt verwacht worden vanaf 2035. Omdat general en business aviation buiten de scope van dit onderzoek vallen, wordt hier niet verder op ingegaan. Op de lange termijn is het voor luchtvaartmaatschappijen zoals KLM pas interessant om over te stappen op elektrische en waterstofvliegtuigen als er meer passagiers vervoerd kunnen worden.



Het belang voor gebruikers van elektrische en waterstof aangedreven vliegtuigen ligt in het verminderen van de operationele kosten (brandstof, onderhoud en optimale dienstregeling/schema), het verminderen van de CO₂-uitstoot, het behalen van de duurzaamheidsdoelen en regelgeving en het behoud van concurrentievermogen. Echter brengt de overstap naar elektrische en waterstofvliegtuigen wel uitdagingen met zich mee. Het betreft hoge investeringskosten voor de aankoop van elektrische vliegtuigen en het opleiden van piloten en personeel. Daarnaast moeten er aanpassingen gemaakt worden voor de operatie van bestaande luchtvaartmaatschappijen. De gebruiker is afhankelijk van de laadinfrastructuur op de luchthavens en moet piloten trainen om te vliegen in een nieuw type vliegtuig.

Het is aan de luchtvaartmaatschappijen om tijdens de technologische ontwikkelingen van de vliegtuigen met alternatieve voortstuwingssystemen duidelijk aan te geven welke randvoorwaarden van de vliegtuigprestaties zij hebben om tot aankoop over te gaan. De randvoorwaarden kunnen opgesteld worden door middel van een kosten-batenanalyse. Daarnaast moet er geïnvesteerd worden door luchtvaartmaatschappijen om de overstap te maken en is het onder andere aan de luchtvaartmaatschappij om passagiers te overtuigen dat er voldaan wordt aan de veiligheidseisen.

De invloed van de luchtvaartmaatschappijen is hoog. Zij bepalen in grote mate de vraag naar de aankoop van elektrische en waterstofvliegtuigen.

⁹⁰ Verduurzaming general en business aviation, NLR, NACO en Ecorys (2024)

Luchthavens

De luchthaven is verantwoordelijk voor het ontwikkelen en de aanleg van laad- en waterstofinfrastructuur. Met de aanleg van infrastructuur voor alternatieve brandstoffen, zal de luchthaven zich sterk positioneren tegenover concurrenten en is er de mogelijkheid om meer luchtvaartmaatschappijen te faciliteren. Daarnaast worden de milieuprestaties van luchthavens verbeterd. De invloed van luchthavens op de implementatie van elektrische- en waterstofvliegtuigen in de luchtvaart is hoog, aangezien er geen mogelijkheid is tot implementatie wanneer er geen benodigde infrastructuur aanwezig is op luchthavens. Echter zijn de investeringskosten voor de aanleg van infrastructuur hoog en is de samenwerking met stakeholders voor implementatie van belang. Er moet een directe samenwerking plaatsvinden tussen onder andere luchtverkeersleiding en brandweer om de implementatie veilig te laten verlopen.

De aanleg van waterstofinfrastructuur betreft het transport naar en op de luchthaven, opslag- en tankmogelijkheden. Het type infrastructuur is afhankelijk van de inzet van waterstofvliegtuigen en routes vastgesteld door luchtvaartmaatschappijen. Omdat er nog veel onzekerheden zijn in de toepassing van de infrastructuur, kunnen luchthavens het proces versnellen door pilotprojecten uit te voeren in samenwerking met partijen zoals, kennisinstituten, startups en energieleveranciers. De aanleg van elektrische infrastructuur betreft de aankoop van opladers en het aanleggen van een geschikt elektriciteitsnet. Daarnaast moet er ook rekening gehouden worden met netcongestie naar de luchthaven toe. Dit moet in overleg besproken en aangepast worden door energieleveranciers. Samenwerking met leveranciers, netbeheerders, provincies en luchtvaartmaatschappijen is voor beide typen infrastructuur dus van groot belang.

Ook luchthavens kunnen een rol spelen in het verschaffen van informatie aan passagiers over het voldoen van veiligheidseisen van elektrische en waterstofvliegtuigen.

Ten slotte is de luchthaven verantwoordelijk voor het leveren van voldoende groene waterstof en elektriciteit om te voldoen aan de vraag vanuit luchtvaartmaatschappijen. Omdat er veel vraag is naar groene waterstof en elektriciteit vanuit verschillende partijen, is het van belang om nauwe banden te behouden met leveranciers, luchtvaartmaatschappijen en ministeries om te kunnen voldoen aan de vraag vanuit luchtvaartmaatschappijen.

Fabrikanten en leveranciers

Fabrikanten en leveranciers ontwikkelen en verkopen elektrische en waterstofvliegtuigen. Het belang van deze luchtvaartfabrikanten is voornamelijk het versterken van het marktaandeel in een groeiende niche. Echter brengt de ontwikkeling van een vliegtuigen met alternatieve aandrijvingen wel technische, financiële en certificeringsuitdagingen met zich mee. Op lange termijn is het opschalen van de productiecapaciteit bij grote vraag ook een uitdaging. De technologische vooruitgang en productkwaliteit zijn essentieel voor het succes van de duurzame vliegtuigen in de luchtvaart en daarmee is de invloed van fabrikanten en leveranciers hoog.

Het is van belang dat fabrikanten en leveranciers in nauw contact zijn met luchtvaartmaatschappijen zodat er geanticipeerd kan worden op de randvoorwaarden van de vliegtuigprestaties waardoor de afname van het vliegtuig door luchtvaartmaatschappijen vergroot wordt. Daarnaast kunnen kennisinstellingen een rol spelen bij het R&D proces. Ook autoriteiten voor certificering zijn van belang in het ontwerp- en ontwikkelproces. Tenslotte is de standaardisatie van laadinfrastructuur en vliegtuigtypen van belang om zo gezamenlijk een zo efficiënt mogelijke transitie plaats te laten vinden.

Waterstof-, elektriciteitsproducenten en netbeheerders

Waterstofproducenten leveren waterstof aan luchthavens en investeren in productiefaciliteiten. Er is een groeiende vraag naar groene waterstof vanuit allerlei sectoren.

Elektriciteitsproducten zijn verantwoordelijk voor het produceren en leveren van groene elektriciteit. Decentrale of net-onafhankelijke productie is nodig voor een succesvolle inpassing van elektrische vliegtuigen op grote schaal. Hierbij is een goede samenwerking met luchthavens van belang om gezamenlijk elektriciteit te produceren door bijvoorbeeld zonnepanelen op luchthaventerrein of het opslaan van energie voor piekmomenten. Daarnaast is het ook van belang om de netbeheerder en provincie regelmatig mee te nemen in het ontwikkelingsproces.

De invloed van waterstof-, elektriciteitsproducenten en netbeheerders is hoog. Zonder de juiste hoeveelheid toevoer van alternatieve brandstof is het niet mogelijk om de verduurzaming van de luchtvaart op grote schaal in te zetten.

Luchtverkeersleiding

Luchtverkeersleiding zorgt voor een veilige begeleiding van vliegtuigen in het luchtruim. Omdat elektrische- en waterstofvliegtuigen zorgen voor minder geluid, is er meer flexibiliteit in routes. Dit betekent dat routes geoptimaliseerd kunnen worden voor elektrische en waterstofvliegtuigen. Hierbij is het van belang dat de luchtverkeersleiding samenwerkt met luchtvaartmaatschappijen en luchthavens. Daarnaast zullen er in samenwerking met de brandweer ook nieuwe protocollen opgesteld moeten worden voor crisissituaties op de taxi- en/of luchtbaan.

Overheden

Overheden stellen het beleid vast om duurzame luchtvaart te stimuleren aan de hand van subsidies en stimulansen of uitstoot te reguleren en eventueel te remmen. Daarnaast heeft de overheid ook de rol om uitstoot te monitoren zodat er getoetst kan worden of beleidsdoelstellingen gehaald worden. Wanneer dit niet het geval is, kan de overheid bijsturen.

Naast de ministeries, kunnen ook de provincies een rol spelen in de verduurzaming van de luchtvaart. Provincies kunnen een rol spelen in het bevorderen van samenwerkingen tussen stakeholders in het ecosysteem om zo op een efficiënte manier tot een gedegen resultaat te komen. De samenwerkingen kunnen ook sector overschrijdend plaatsvinden, bijvoorbeeld door een waterstof hub op te richten tussen luchthavens en andere grote partijen in de provincie. De overheid, ministeries en provincies, moeten dus nauw contact houden met alle stakeholders in de luchtvaart.

Autoriteiten

De implementatie van elektrische en waterstofvliegtuigen vereisen nieuwe protocollen, regelgeving, normen, veiligheidsvoorschriften en certificering voor het vliegtoestellen, de infrastructuur, de onderhoudssystemen en de pilotenopleiding. De autoriteiten zijn verantwoordelijk voor het vaststellen van bovenstaande. Nauwe samenwerking met de fabrikanten en leveranciers, luchtvaartmaatschappijen en luchthavens zijn hierbij van groot belang. De invloed van de autoriteiten op de implementatie van alternatieve brandstoffen is groot. Het is dus noodzakelijk dat de autoriteiten open staan voor innovaties en actief participeren in de transitie.

Passagiers

Het belang van de passagier is dat deze stakeholder een zo goed mogelijke connectie heeft en wil vliegen voor een 'zo laag mogelijke prijs' maar een acceptabel niveau van comfort en veiligheid. Tegenwoordig wordt de vraag vanuit de passagier naar duurzaam vliegen ook groter. Echter zullen de ticketprijzen in de beginfase van elektrisch vliegen waarschijnlijk hoger liggen door de investeringen die gedaan moeten worden in de transitie.

Onderzoeksinstituten

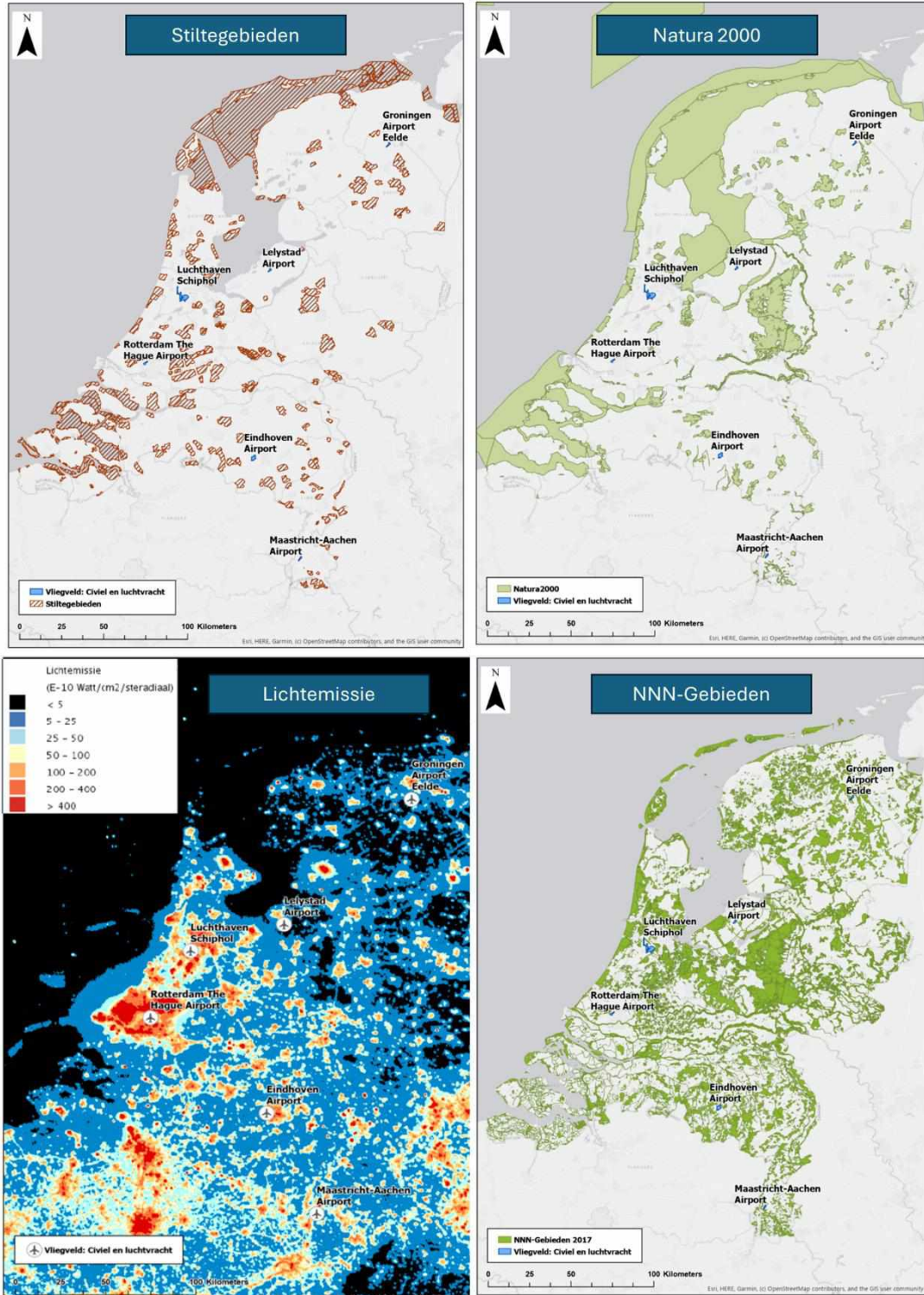
Onderzoeksinstituten dragen bij aan technologieontwikkeling van veilige en duurzame oplossingen om de luchtvaartsector te ondersteunen in de transitie naar duurzame luchtvaart. Onderzoeksinstituten spelen in op kennisvelden en ondersteunen partijen op R&D-niveau; Samenwerking met vliegtuigfabrikanten voor de ontwikkeling van elektrische en waterstofvliegtuigen, luchtvaartmaatschappijen, luchtverkeersleiding en startups voor de inpassing van elektrische en waterstofvliegtuigen in het luchtvaartstelsel en samenwerking met luchthavens voor de inpassing van infrastructuur zijn van belang. Ook overheden kunnen ondersteund worden door onderzoeksinstituten door middel van onderzoek en uitvoeren van pilotprojecten om beleidskeuzes te kunnen maken.

Leerinstellingen

Leerinstellingen, bestaande uit universiteiten, hbo's, mbo's vliegopleidingen. Zij zijn er om voldoende technici voor te bereiden voor de ontwikkeling van duurzame luchtvaart. Opleidingen van functies zoals technici voor onderhoud van elektrische- en waterstofvliegtuigen, piloten van een elektrisch- of waterstofvliegtuig en ingenieurs voor de ontwikkeling van nieuwe typen vliegtuigen zijn essentieel om de transitie mogelijk te maken.

Het is aan de leerinstellingen om de vraag naar kennis op te doen bij de overige stakeholders om op een zo goed mogelijke manier te kunnen inspelen op de toekomstige vraag vanuit de sector.

Appendix C – Kaarten Natuurgebieden



Luchthavens	Landschappelijke kenmerken	Nabije Nationaal Landschappen	Nabije Nationale Parken	Cultuurhistorische kenmerken
Schiphol	Geometrische inrichting droogmakerij, strokenverkaveling, openheid landschap en rondom open landschap verstedelijking	Laag Holland, Stelling van Amsterdam, Nieuwe Hollands Waterlinie en Groene Hart	Geen nabijgelegen Nationale Parken	Stelling van Amsterdam (UNESCO), de Nieuwe Hollands Waterlinie en het Groene Hart
Rotterdam The Hague Airport	Geometrische inrichting droogmakerij, strokenverkaveling, openheid landschap en verstedelijking	Groene Hart en Hoeksche Waard	Hollandse Duinen en Delta Biesbosch - Haringvliet	Geen belangrijke cultuurhistorische kenmerken
Eindhoven Airport	Kenmerkende elementen zoals bossen, heide en beken. Een groen karakter.	Het Groene Woud	Van Gogh	Zandlandschap De Kempen grenst ten zuiden aan de luchthaven
Maastricht Aachen Airport	Het landschap is de top van een plateau, Plateau van Schimmert. Open landschap, landbouw en hellingbossen.	Zuid-Limburg	Geen nabijgelegen Nationale Parken	Geen belangrijke cultuurhistorische kenmerken
Groningen Airport Eelde	Laag, glooiend gebied. Heideontginningen en open landschap.	Drentsche Aa	Drentsche Aa	Er lopen twee beekdalen onder en langs de luchthaven

Eiland	Nationale parken	Beschermde natuurgebieden	Andere kwetsbare natuurgebieden
Aruba (AUA)	- Arikok National Park - Aruba Marine Park/ Park Marino	- Sasarawichi duinen - Salina Druif - Salina Malmok & Salina Cerca - Salina Palm Beach - Bubali Wetlands - Sero Teishi - Rooi Manonchi - Reef islands and coastal mangroves - Rooi Lamunchi - San Nicolas Reef Islands - Costa Sero Colorado	- Aruba Spanish Lagoon / Spaans Lagoen - Ramsar-gebieden: Western Wetlands, Westpunt, Zuidkust and Oostpunt
Bonaire (BON)	- Bonaire National Marine Park - Washington Slagbaai National Park	- Rooi Lamouchi - Bakuna Nature Park	
Curaçao (CUR)	- Christoffel National Park - Shete Boka National Park - Curaçao Marine Park - Curaçao Hato Cave - Curaçao Rif Mangrove Park - the National Park Rif St. Marie-Hermanus		
St. Eustatius (EUX)	- The Quill and Boven National Park, - St. Eustatius National Marine Park		Meriam C. Schmidt Botanical Garden.
Saba (SAB)	- Mount Scenery National Park, - Saba National Marine Park - Saba Bank National Park		
St. Maarten (SXM)	Man of War Shoal National Marine Park		

Appendix D – MKBA-methodiek als basis

Wat is een MKBA?

Deze verkenning naar maatschappelijke kosten en baten volgt (waar mogelijk) de uitgangspunten en kengetallen volgens de geldende MKBA-richtlijnen, zoals gepubliceerd in de Algemene leidraad voor Maatschappelijke Kosten-Batenanalyse⁹¹ en in de Werkwijzer luchtvaart specifieke MKBA's.⁹² De specifieke werkwijze, stappen en methodiek conform deze spelregels is echter niet gevolgd. Deze verkenning fungeert namelijk als eerste verkenning naar de potentiële impact van duurzame luchtvaart.

Ook zijn er meer recente inzichten gebruikt. Relevante bronnen zijn de WLO-scenario's⁹³ van het PBL en CPB, het Handboek Milieuprijzen van CE Delft en publicaties van het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM). Deze uitgangspunten worden in dit hoofdstuk kort weergegeven.

Specifieke MKBA-uitgangspunten

Directe effecten

Reistijdwaardering

Voor waardering van reistijdeffecten is gebruik gemaakt van de zogenoemde *value of time* en *value of waiting time*. Deze tijdswaarderingen zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Overzicht van reistijdwaarderingen KiM

Motief	Zakelijk	Overig Niet-zakelijk	Gemiddeld
Reistijdwaardering KiM (2023)	€ 21,73	€ 10,77	€ 12,46
Wachttijd (stop-over)	€ 51	€ 21	N/A

Bron: KiM (2023) ([link](#)) & KiM (2024) ([link](#))

Opmerking: ten behoeve van deze studie is de **gemiddelde** reistijdwaardering toegepast. Voor wachttijd (stop-over) is **niet-zakelijk** als uitgangspunt gebruikt.

⁹¹ CPB/PBL (2013),

⁹² SEO/Decision/To70/TwynstraGudde (2021), Werkwijzer luchtvaartspecifieke MKBA's

⁹³ WLO-scenario's zijn referentiescenario's over de ontwikkeling van de Nederlandse maatschappij op het gebied van demografie, macro-economie, regionale ontwikkelingen en verstedelijking, klimaat en energie, mobiliteit en landbouw over de periode 2030-2050.

Overzicht vliegtuigtoestel en gemiddelde gewogen vliegsnelheid ('cruise speed') vanaf Schiphol (AMS)

Toestel	AMS
73H (B737-800 Winglets Pax/BBJ2)	279
7M9 (B737-Max 9 Passenger)	14
CR9 (CRJ-900)	248
E70 (E-170)	2.146
E75 (E-175)	1.033
E7W (E-175 Enhanced Winglets)	39.120
ER4 (ERJ-145)	1.044
Gewogen vliegsnelheid (km/h)	829

Overzicht vliegtuigtoestel en gemiddelde gewogen vliegsnelheid ('cruise speed') in Caribisch deel van het Koninkrijk

Toestel	UAJ	BON	CUR	EUX	SAB	SXM
Twin-Otter	44	58	58	26	24	195
Britten Norman Islander			44			22
Saab 340	3	25	42			
B737-800	20		15			
ATR 42		6	14			51
B737-MAX8	2		4			9
Embraer E175	2	1				6
Embraer E190			2			2
CRJ200	5		4			4
A320	15		11			4
B777-200ER	2					
MD-80			2			
Fokker 70			11			5
Cessna Caravan						171
Embraer ERJ145						
Gewogen vliegsnelheid (km/h)	832	423	726	278	278	569

Overzicht gemiddeld gewogen wachttijd (in uren) per luchthaven

Toestel	Gemiddeld gewogen wachttijd
Nederland	
Schiphol	1,2
Caribisch deel van het Koninkrijk	
Aruba (AUA)	4,0
Bonaire (BON)	1,0
Curacao (CUR)	2,0
St. Eustatius (EUX)	7,1
Saba (SAB)	-
St. Maarten (SXM)	4,2

Klimaat effecten

Waardering broeikasgasemissies en ETS

Waardering broeikasgasemissies (€/p. ton CO₂) (in prijspeil 2015)

	2015	2030	2050
WLO Laag (huidig beleid)	12	20	40
WLO Hoog (huidig beleid)	48	80	160
WLO Laag (2 graden)	60	100	200
WLO Hoog (2 graden)	300	500	1000

Bron: PBL & CPB (2016)

Opmerking: ten behoeve van deze studie is de **WLO Hoog (huidig beleid)** waardering toegepast. De waarde voor scenario 1 en 2 zijn gelijk verondersteld met zichtjaren 2035 en 2050.Waardering ETS (€/p. ton CO₂) (in prijspeil 2015)

	2015	2030	2050
WLO Laag (huidig beleid)	5	15	40
WLO Hoog (huidig beleid)	5	40	160
WLO Laag (2 graden)	5	100	200
WLO Hoog (2 graden)	5	500	1000

Bron: PBL & CPB (2016)

Opmerking: ten behoeve van deze studie is de **WLO Hoog (huidig beleid)** waardering toegepast. De waarde voor scenario 1 en 2 zijn gelijk verondersteld met zichtjaren 2035 en 2050.

Omgevingseffecten

Waardering lokale luchtkwaliteit

Waardering luchtkwaliteit (€/p. ton) (in prijspeil 2022)

WLO-gemiddeld (Centraal)	Onder	Centraal	Boven
NOx	€ 18,30	€ 29,90	€ 44,10

Bron: Handboek milieuprijzen (CE Delft, 2023)

Opmerking: ten behoeve van deze studie is de centrale waarde toegepast. De waarde is gelijk verondersteld voor zowel scenario 1 en 2.

Gevoeligheidsanalyse voor non-CO₂ emissies

In paragraaf 1.3.1 is het gebruik van de opslagfactor voor niet-CO₂-klimaat effecten toegelicht. Er zijn echter diverse punten van kritiek op het gebruik van één generieke opslagfactor. De impact van non-CO₂-emissies wordt in deze studie daarom eveneens ingeschat aan de hand van de Aviation Non-CO₂ Estimator (ANCO) tool van CE Delft. Hierbij worden CO₂-equivalent-factoren ingeschat op basis van locatie en vliegafstand en stoelklasse. De wetenschappelijke inzichten rond de impact van non-CO₂ zijn nog sterk in ontwikkeling. Ook de waardering van deze resultaten dient nog nader te worden onderzocht. Ten behoeve van dit onderzoek zijn de equivalente CO₂-uitstoot (CO₂e) in AGWP₁₀₀ gemonetariseerd op basis van de geldende CO₂ prijzen in het betreffende zichtjaar.

Resultaten

In de gevoeligheidsanalyse laten we de resultaten van twee rekenwijze zien (zie Tabel hieronder):

- Conform de werkwijzer, een opslagfactor tussen de 1 en 4.
- Conform de ANCO-tool, een specifieke berekening van CO₂-equivalentfactoren

Gevoeligheidsanalyse non-CO₂-emissies

	Cariben		Nederland	
	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
Tabel: Berekening non-CO₂-emissies via opslagfactoren				
Niet-CO ₂ -klimaat effecten (opslagfactor 1)	€ 1	€ 5	€ 0	€ 9
Niet-CO ₂ -klimaat effecten (opslagfactor 2) *	€ 1	€ 9	€ 0	€ 18
Niet-CO ₂ -klimaat effecten (opslagfactor 4)	€ 3	€ 19	€ 0	€ 35
Tabel: Berekening non-CO₂-emissies via ANCO-tool				
Niet-CO ₂ -klimaat effecten	+/- € 0,1	€ 0,7 - € 16	€ 0	€ 58

* In de hoofdanalyse is gerekend met een opslagfactor 2

Reflectie

Het testen van de gevoeligheid bij een opslagfactor voor niet-CO₂ effecten laat het verschil zien tussen een opslagfactor 1 en 4, waarbij het effect halveert of met een factor twee toeneemt. In scenario 2 neemt het zwaartepunt van dit klimaat effect (ook in monetaire zin) toe. Voor het Caribisch deel van het Koninkrijk varieert het effect tussen de € 5 en € 19 miljoen. In Nederland ligt de bandbreedte tussen de € 9 en € 35 miljoen.

De berekening van non-CO₂ klimaat effecten op basis van de ANCO-tool laat wederom zien dat het effect van duurzame luchtvaart op de niet-CO₂ klimaat effect naar verwachting omvangrijk is; zowel voor de Cariben (maximaal € 16 miljoen in scenario 2) als in Nederland (maximaal € 58 miljoen in scenario 2).

Er zijn verschillen zichtbaar in de bandbreedtes tussen de ANCO-tool en de opslagfactoren. De ANCO-tool kent een grotere bandbreedte en komt bij de ondergrens in het Caribisch deel van het Koninkrijk lager uit dan bij een opslagfactor 1. De bovengrens van de bandbreedte van ANCO in Nederland ligt hoger dan bij het hanteren van een opslagfactor 4.



Postbus 4175
3006 AD Rotterdam
Nederland

Watermanweg 44
3067 GG Rotterdam
Nederland

T 010 453 88 00
F 010 453 07 68
E netherlands@ecorys.com

K.v.K. nr. 24316726

Postbus 4175
3006 AD Rotterdam
Nederland

Watermanweg 44
3067 GG Rotterdam

00 00 00 00