



De Europese luchtvaart van de toekomst

Het potentieel van koolstofvrije en emissievrije luchtvaart op intra-Europese routes in 2040.

Stel u voor...

In Europa vliegen zonder
u zorgen te maken over uw
ecologische voetafdruk.



De context van het klimaatneutraal maken van de luchtvaartsector

De luchtvaartsector is een van de vele industrieën die een grote impact heeft op de wereldwijde, door mensen veroorzaakte uitstoot. Als er niets zou veranderen zou het aandeel van de luchtvaartsector in de wereldwijde CO₂ uitstoot stijgen van de huidige 2-3% tot wel 27% in 2050.¹ Vooral in Europa is er de laatste jaren steeds meer publieke druk op de sector komen te staan. Zo is er toenemende media-aandacht voor 'vliegschaamte' evenals discussies binnen Europese regeringen over hoe zij een grote transitie naar duurzamere vervoermiddelen kunnen bewerkstelligen, waaronder reizen per spoor.

De luchtvaartsector is bezig met de ontwikkeling van technologieën voor batterij en waterstof aangedreven vliegtuigen. Die technologieën spelen mogelijk een grote rol in het klimaatneutraal maken van de sector, want batterij aangedreven vliegtuigen hebben in het geheel geen uitstoot (de zogeheten zero-emissions aircraft of uitstootvrije vliegtuigen) terwijl waterstofsysteem geen CO₂ en een stuk minder andere broeikasgassen uitstoten (de zogeheten zero-carbon aircraft of emissievrije vliegtuigen). Gezien beide technologieën nog in de testfase zitten – verspreid over de wereld worden allerlei kleine prototypes ontwikkeld en getest – is het nog onduidelijk in hoeverre batterij en waterstof aangedreven vliegtuigen een belangrijke rol kunnen spelen in de toekomst van de luchtvaarsector.

Bron: ¹) Deloitte Article - Industry Disruption: Hybrid Electric Aviation

De vragen die dit rapport zal beantwoorden

In dat licht beoogt dit rapport verschillende vragen te beantwoorden over de toekomst van koolstofvrije en emissievrije vliegtuigen in Europa. Zo ontstaat meer zicht op het daadwerkelijke potentieel van deze technologieën en de plaats die ze zouden moeten innemen in de mobiliteitsroadmap, het beleidskader en de investeringsstrategie van de Europese Unie.

Dit rapport kijkt naar de verwachte technologische 'roadmap' en prestaties van de luchtvaartsector evenals naar de afstandssegmenten die haalbaar zijn voor koolstofvrije en emissievrije vliegtuigen in de marktⁱ voor Europese passagiersreizen in 2040. In dat jaar zullen deze nieuwe vliegtuigen naar verwachting hun intrede doen. Om beter begrip te krijgen van de voordelen en overwegingen van deze nieuwe technologieën op het gebied van klimaat, totale reistijd en reiskosten voor passagiers, worden koolstofvrije en emissievrije vliegtuigen in dit rapport ook vergeleken met conventionele manieren van transport (zowel door de lucht als over de grond).

Noot ⁱ) b.v., exclusief: vluchten van of naar een vliegveld buiten de EU, vrachttransport en VTOL vliegtuigen

Koolstofvrije en emissievrije vliegtuigen zijn het meest veelbelovend voor het decarboniseren van vliegreizen binnen Europa

De belangrijkste kenmerken van koolstofvrije en emissievrije vliegtuigen

Zoals eerder genoemd zullen batterij aangedreven vliegtuigen in het geheel geen uitstoot veroorzaken (voor het opladen van de batterijen geldt hetzelfde, mits daarbij hernieuwbare energie wordt gebruikt). Vliegtuigen op waterstof veroorzaken geen uitstoot van CO₂ en veel minder uitstoot van andere broeikasgassen (bij gebruik van waterstofaandrijving door brandstofcellen kan de reductie van de klimaatafdruk tot wel 89% reiken, en bij gebruik van waterstofaandrijving door een verbrandingsmotor kan de reductie van de klimaatafdruk tot 68% reiken – mits de waterstof met hernieuwbare energie wordt geproduceerd).

In 2040 zal het verschil in technologische volwassenheid en de prestaties van enerzijds batterij en waterstof aangedreven vliegtuigen en anderzijds vliegtuigen met conventionele kerosinemotoren echter nog niet overbrugd zijn. Daarom zitten er een aantal operationele beperkingen aan het gebruik

van de nieuwe technologieën. Totdat batterij- en waterstofaandrijving een bepaalde volwassenheid en schaal bereiken, zullen de operationele kosten en aankoopkosten van deze technologieën hoger blijven dan die van conventionele kerosinemotoren. Hierdoor zullen de ticketprijzen voor passagiers hoger uitvallen. Daarnaast zullen vliegtuigen door de inherent lagere stuwkracht van elektrische en waterstofaandrijving op lagere kruissnelheden moeten vliegen, waardoor vliegtijden zullen toenemen.

Relevante marktsegmenten voor koolstofvrije en emissievrije vliegtuigen in 2040

De lage energiedichtheid van aandrijvingssystemen op basis van batterijen en waterstof betekent dat zulke systemen significant zwaarder zijn dan huidige kerosinesystemen. Ook kan er minder energiec capaciteit in vliegtuigen opgeslagen worden. Dit resulteert in een kleiner vliegbereik. De vliegtuigen die het vaakst gebruikt worden voor vluchten binnen Europa, die met een enkel gangpad,

zullen met batterij-aandrijving in staat zijn vluchten tot ongeveer 500 kilometer uit te voeren. Met waterstofaandrijving door brandstofcellen zullen de toestellen in staat zijn vluchten tot ongeveer 1000 kilometer af te leggen en met waterstofaandrijving door een verbrandingsmotor vluchten tot ongeveer 2000 kilometer.

Het marktpotentieel van commerciële passagiersvluchten binnen Europa in 2040

Kijkend naar het verwachte marktpotentieel en het verwachte totale aantal commerciële passagiers voor vluchten binnen Europa in 2040, dan zouden vluchten tot 500 kilometer, 1000 kilometer en 2000 kilometer goed zijn voor respectievelijk 25%, 47% en 89% van de passagiers. Ondanks het kleinere vliegbereik vergeleken met kerosinemotoren, illustreren deze cijfers dat uitstootvrije en emissievrije vliegtuigen het potentieel hebben om een significant deel van de passagiersvluchten binnen Europa voor hun rekening te nemen.

Koolstofvrije en emissievrije vliegtuigen zijn het meest veelbelovend voor het decarboniseren van vliegreizen binnen Europa

Het potentieel om de klimaatafdruk te verkleinen in 2040

Kijkend naar het potentieel om de klimaatafdruk te verkleinen, valt tot 80% procent van de voorspelde CO₂-equivalente emissies in 2040 binnen het operationele segment van toekomstige batterij en waterstof aangedreven vliegtuigen.

Een vervanging van alle vliegtuigen in dat segment door koolstofvrije en emissievrije vliegtuigen zou resulteren in een uitstootvermindering van 59%: een veelbelovende stap naar een klimaatneutrale luchtvaartsector.

Vergelijking van koolstofvrije en emissievrije vliegtuigen met andere vervoermiddelen

Een vergelijking van de prestaties op het gebied van klimaatafdruk, totale reistijd en reiskosten voor passagiers tussen enerzijds uitstootvrije en CO₂-neutrale vliegtuigen en anderzijds vervoermiddelen als kerosinevliegtuigen, elektrische- en benzineauto's, dieselautobussen en treinen, is afhankelijk van naar welke reisafstand wordt gekeken.

Voor afstanden tot 500 kilometer zijn er redelijke verschillen tussen de vervoermiddelen. In dit segment zou het gebruik van batterij-aangedreven vliegtuigen alle uitstoot vermijden (mits hernieuwbare energie wordt gebruikt), net als het geval is voor elektrische auto's en reizen per spoor – zij het tegen iets hogere reiskosten. Kijkend naar reistijd, dan is de vergelijking erg afhankelijk van het spoorwegennetwerk op verschillende routes. Reizen tussen steden die met elkaar verbonden zijn door een efficiënte hogesnelheidslijn kan sneller zijn dan

reizen door de lucht. Een minder goed ontwikkeld treintraject kan echter leiden tot een langere reistijd dan vervoer per vliegtuig en soms zelfs tot een langere reistijd dan vervoer over de weg. Voor afstanden tot 1000 en 2000 kilometer geldt dat waterstof aangedreven vliegtuigen het potentieel hebben om de uitstoot van luchtvaart drastisch te verlagen, al blijft die uitstoot iets hoger dan die van treinen en elektrische auto's (wegens de uitstoot van broeikasgassen anders dan CO₂). Terwijl de kosten van vervoer over de weg of per spoor meegroeien met het aantal afgelegde kilometers, is dat minder het geval voor luchtvaart (met dank aan verbeterde brandstofefficiëntie op grotere hoogten). Voor afstanden tot 1000 en 2000 kilometer benaderen de kosten van vervoer door de lucht de kosten van alternatieven over de grond. Auto's met een enkele passagier en de trein worden dan de duurste opties. In termen van reistijd geldt dat het verschil tussen opties door de lucht en opties over de grond vanaf afstanden van 1000 kilometer significant wordt. Reizen per vliegtuig is dan veruit de snelste optie.

Note: i) Waterstofaandrijfsystemen stoten verschillende deeltjes uit wanneer waterstof reageert (stikstofoxiden en waterdamp voor waterstofverbrandingsmotoren, en alleen water voor waterstofbrandstofcellen). Water- en NOx-deeltjes bevorderen de vorming van wolken op grote hoogte (contrails) en van ozon, beide factoren die bijdragen tot de opwarming van de aarde. Het niet-CO₂-gerelateerde klimaatteffect treedt ook op bij kerosinemotoren, en zelfs in nog sterkere mate, aangezien deze ook water en NOx produceren, alsmede zwaveloxiden en roetdeeltjes. Daarom wordt het totale klimaatteffect van de niet-CO₂-emissies van kerosinevliegtuigen geschat op 2 tot meer dan 4 maal het effect van CO₂ alleen.

De belangrijkste lessen

Snelheid is geboden om deze technologieën klaar te stomen voor een spoedige bestorming van de commerciële passagiersmarkt.

Rekening houdend met een ontwikkelingstijd van 15 tot 20 jaar en nog eens tot 10 jaar om een grote vloot vliegtuigen gereed te maken voor gebruik, moet de luchtvaartsector nu aanzienlijk gaan investeren in de benodigde innovaties en technologieën om de klimaatdoelen voor de sector te behalen zoals vastgesteld door de Europese Unie en de Air Transport Action Group.

Ter ondersteuning van een succesvolle implementatie van koolstofvrije en emissievrije technologieën moeten beleidsmakers, sectoren en stakeholders in het bredere luchtvaartecosysteem samenwerken om een raamwerk van regelgeving en certificering te ontwikkelen. Publieke steun zal cruciaal zijn voor het

bevorderen van koolstofvrije en emissievrije technologieën en infrastructuur, met gerichte subsidies en economische maatregelen om het concurrentievermogen van deze nieuwe duurzame vliegtuigen te verscherpen. Daarnaast zal de grootschalige inzet van batterij en waterstof aangedreven vliegtuigen ook de vraag naar hernieuwbare energie sterk doen toenemen. Beroep doen op niet-hernieuwbare energie zou het potentieel van de nieuwe vliegtuigen om de klimaatafdruk te verkleinen sterk belemmeren. Overheden moeten er daarom voor zorgen dat de luchtvaartsector, evenals andere vormen van transport die afhankelijk zijn van elektriciteit, in de toekomst kunnen worden voorzien van duurzame energie.



De rol van beleidsmakers en overheden in het bevorderen van koolstofvrije en emissievrije vliegtuigen op korte afstanden is van levensbelang



Over afstanden langer dan 1000 kilometer zijn de voordelen van waterstof aangedreven vliegtuigen tegenover andere manieren van transport evident. Binnen het segment tot 500 kilometer zijn de verschillen daarentegen klein. Op dat vlak heeft zowel transport door de lucht als over de grond enkele voordelen. De bestaande infrastructuur tussen twee punten, bijvoorbeeld hoe efficiënt het spoor- en wegennetwerk is en op welke afstand vliegvelden liggen, heeft grote invloed op de mate waarin voordelen gelden. Dit rapport heeft de evidente voordelen van elektrisch vervoer (elektrische auto's, treinen en batterij aangedreven vliegtuigen) op korte afstandstrajecten belicht, wat betreft de lage uitstoot en klimaatimpact, evenals aantrekkelijke reiskosten en -tijd.

Zowel treinen, elektrische auto's als batterij-aangedreven vliegtuigen bieden kansen voor het klimaatneutraal maken van de korte afstandsmobiliteit, maar alledrie de middelen kennen ook obstakels:

- Elektrische, autonome auto's zouden het meest handige vervoermiddel kunnen worden voor korte afstanden. Maar zij zouden tegelijkertijd ook de bestaande problemen met de wegencapaciteit verergeren, terwijl er maar beperkte mogelijkheden tot uitbreiding zijn.
- Een aanzienlijke groep reizigers zou op vervoer per spoor kunnen overstappen, maar ook hier speelt het probleem van beperkte spoorcapaciteit. Potentiële investeringen om het spoorwegennet uit te breiden zouden aanzienlijk moeten zijn om de capaciteit op bepaalde trajecten te verhogen.

- Batterij aangedreven vliegtuigen zijn echte gamechangers op het gebied van duurzaam en snel reizen tegen aantrekkelijke prijzen (die door innovatie en schaalvoordelen in de toekomst verder zullen dalen). De beperkte infrastructuur die nodig is om de batterijsystemen te faciliteren zou daarnaast ook een impuls geven aan de ontwikkeling van het netwerk van bestaande regionale luchthavens, waardoor soepele vliegreizen over grote afstanden ook mogelijk worden. Uiteraard zal tegelijkertijd ook de ontwikkeling van waterstof aangedreven vliegtuigen voor korte afstanden ondersteund moeten worden, omdat deze technologie de klimaatneutraliteit van het segment tot 500 kilometer dichterbij brengt door meer kerosinevliegtuigen te vervangen door duurzame vliegtuigen.

Beleidsmakers moeten zich ten volle inzetten voor de ontwikkeling van batterij aangedreven (en mogelijk ook waterstof aangedreven) vliegtuigen voor de commerciële passagiersmarkt voor korte afstanden. Zij moeten de implementatie van de benodigde batterij-infrastructuur (voor opladen en verwisselen) versnellen, de weginfrastructuur verbeteren evenals rijden met meerdere passagiers per voertuig aanmoedigen en zorgen voor een grotere capaciteit op bestaande treinroutes. Het onderzoeken van de benodigde infrastructuur om batterij aangedreven (en waterstof aangedreven) vliegtuigen te integreren in het bestaande vliegnetwerk zou een goede eerste stap zijn, alsook het vergelijken van die benodigde infrastructuur met de investeringen in het spoor- en wegennetwerk die nodig zouden zijn om een potentiële verandering van vervoerwijze over de grond te bewerkstelligen.



This communication contains general information only, and none of Deloitte Touche Tohmatsu Limited (“DTTL”), its global network of member firms or their related entities (collectively, the “Deloitte organization”) is, by means of this communication, rendering professional advice or services. Before making any decision or taking any action that may affect your finances or your business, you should consult a qualified professional adviser.

No representations, warranties or undertakings (express or implied) are given as to the accuracy or completeness of the information in this communication, and none of DTTL, its member firms, related entities, employees or agents shall be liable or responsible for any loss or damage whatsoever arising directly or indirectly in connection with any person relying on this communication. DTTL and each of its member firms, and their related entities, are legally separate and independent entities.

Deloitte refers to one or more of Deloitte Touche Tohmatsu Limited (“DTTL”), its global network of member firms, and their related entities (collectively, the “Deloitte organization”). DTTL (also referred to as “Deloitte Global”) and each of its member firms and related entities are legally separate and independent entities, which cannot obligate or bind each other in respect of third parties. DTTL and each DTTL member firm and related entity is liable only for its own acts and omissions, and not those of each other. DTTL does not provide services to clients. Please see www.deloitte.com/about to learn more.