PARLEMENT & WETENSCHAP

TOEKOMST VERDUURZAMING LUCHTVAART – UPDATE 2026

20 oktober 2026 | dr. ing. Paul Peeters (Guest Scholar at Wageningen University; emeritus-lector Academie voor Toerisme, Breda University of Applied Sciences), ir. Joris Melkert (Universitair Hoofddocent, Faculteit Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek, TU Delft)

Inhoudsopgave

INHOUDSOPGAVE **1**

BELANGRIJKSTE BEVINDINGEN **3**

MISVERSTANDEN EN DOGMA'S **4**

1 INLEIDING **6**

1.1 CENTRALE VRAAGSTELLING 7
1.2 TECHNISCH PERSPECTIEF 7
1.2.1 CO_2-emissies 7
1.2.2 Geluid 8
1.2.3 Vlootvernieuwing 9
1.2.4 Luchthavens 12

2 DUURZAAMHEIDSPROBLEMEN LUCHTVAART **13**

2.1 KLIMAATVERANDERING 13
2.2 GELUIDHINDER 15
2.3 LUCHTKWALITEIT 17

3 VERDUURZAMING VAN LUCHTVAART: OPLOSSINGEN **18**

3.1 INLEIDING EN BEGRIPSONTWARRING 18
3.2 EVOLUTIONAIRE TECHNIEK EN EFFICIËNTIE 20
3.3 REVOLUTIONAIRE TECHNIEK 21
3.3.1 Andere configuratie van vliegtuigen 21
3.3.2 Elektrisch vliegen op batterijen 22
3.3.3 Elektrische aangedreven vliegtuigen met waterstof en brandstofcel 23
3.3.4 Waterstofvliegtuigen 26
3.3.5 Hybride vliegtuigen 26
3.4 ALTERNATIEVE BRANDSTOFFEN 26
3.5 BEDRIJFSECONOMISCHE ASPECTEN EN TIJDPADEN VAN MAATREGELEN 30

4 DUURZAAMHEID VERSUS ECONOMIE **32**

4.1 INTRO 32
4.2 ALGEMENE ECONOMISCHE BIJDRAGE VAN LUCHTVAART 32
4.3 KOSTEN EN HUB-FUNCTIE 35

5 BELEID **37**

5.1 BESTAAND BELEID VERDUURZAMING LUCHTVAART 37
5.2 SECTORPLANNEN VANUIT DE INDUSTRIE 39
5.3 LUCHTVAARTNOTA 2020-2050 39
5.3.1 CO_2-plafond 39
5.3.2 Bijmengverplichting 40
5.3.3 (Technische) ontwikkelingen 40
5.4 SUGGESTIES NIEUW BELEID 41
5.5 KANSEN NEDERLANDSE INDUSTRIE 45
5.6 VLIEGBELASTING 46
5.7 STRATEGISCHE AUTONOMIE 48
REFERENTIES 49

Belangrijkste bevindingen

1. Het is niet mogelijk om een ongewijzigd groeiscenario voor de wereldwijde luchtvaart met een ongewijzigd (inter)nationaal beleid te combineren met het behalen van de Parijse klimaatdoelen. Tenzij men grote hoeveelheden zeer onzekere en dure negatieve emissies veronderstelt.
2. Wat betreft geluidsdruk blijkt dat technologie de ontwikkeling van het aantal vliegbewegingen op Schiphol weet te compenseren, er is zelfs sprake van een kleine reductie, maar dat de ervaren hinder desondanks is toegenomen en dat stiltegebieden onder steeds zwaardere druk staan door vliegtuiggeluid. Wat betreft luchtkwaliteit blijkt uit zowel Nederlands als internationaal onderzoek vooral ultrafijnstof een potentieel probleem voor de volksgezondheid op te leveren maar met name concreet voor de platformmedewerkers op luchthavens.
3. Er bestaat een lange trend sinds de introductie van het straalverkeersvliegtuig eind jaren vijftig van de vorige eeuw in waarin vliegtuigen steeds efficiënter worden, maar door de veel sterkere groei van het aantal vluchten zijn de emissies toch vrijwel continu sterk toegenomen (Figuur 7). Uiteraard zou het onverstandig zijn om efficiency van vliegtuigen en de operaties te verwaarlozen, dat helpt, maar om de totale emissies omlaag te brengen, een vereiste voor serieus klimaatbeleid, zijn meer maatregelen nodig.
4. Luchtvaart kan mogelijk wel wereldwijd binnen de Parijse doelemissiepaden blijven op basis van een zwaar pakket aan maatregelen bestaande uit sterk verminderde groei, revolutionaire technologie, de grootschalige invoering van synthetische *e-fuels* (SAF-E) via een progressieve bijmengverplichting en integratie van luchtvaart in alle lange-afstandsmobiliteit.
5. Voor Nederland geldt dat de luchtvaart, en met name Schiphol, zo omvangrijk is geworden dat het steeds vaker conflicteert met wettelijke geluidsnormen, internationale klimaatafspraken, ruimteclaims voor woningbouw en recreatie en, via stikstof, de landbouw en op de arbeidsmarkt concurreert met andere essentiële sectoren als de bouw- en energiesectoren voor technisch geschoold personeel en ook in de zorg en het onderwijs voor overige personeel.
6. Er is geen eenvoudige '*silver bullet*' om de luchtvaart in één keer duurzaam te maken. Dat neemt niet weg dat een samenhangende aanpak, waarbij zowel de (door)ontwikkeling van emissieloze vliegtuigen alsook het grootschalig introduceren van *e-fuels* (SAF-E) tot 2050 de meeste emissiebesparing op zal leveren. Nul emissies in 2050 kunnen zeer waarschijnlijk niet bereikt worden in combinatie met voortgaande trendmatige wereldwijde groei van de luchtvaart. Na 2050 zullen nul-emissie vliegtuigen belangrijker worden, mits de ontwikkeling daarvan nu voortvarend ter hand wordt genomen. Daarnaast vergt duurzame luchtvaart ook oplossingen voor lawaai en slechte luchtkwaliteit wat nog extra maatregelen noodzakelijk maakt:
   - Significant meer onderzoek en ontwikkeling.
   - Het sneller vervangen van oude vliegtuigen door schonere en minder lawaaiige vliegtuigen. Dit is vooral effectief voor geluid en luchtkwaliteit.
   - Betere operationele procedures (inclusief herindeling luchtruim en invoering *Single European Sky*).
   - Significante investeringen in alternatieve "drop in" brandstoffen, met name *e-fuels*.
   - Voor de korte tot middellange termijn is verdere toetreding – naast ETS voor EU luchtvaart - van luchtvaart tot gesloten emissiehandelssystemen effectief.
   - Sterkere stimulansen om duurzamer te worden, zowel in de vorm van nieuwe wetgeving met belastingen als maatschappelijke druk.
   - De groei een functie maken van de effectiviteit van het gehele maatregelenpakket, de wettelijke normen en (inter)nationale milieuafspraken.

Misverstanden en dogma's

Hieronder geven we een overzicht van misverstanden en dogma's in de maatschappelijke en politieke discussies. Dergelijke misverstanden kunnen effectief beleid in de weg staan.

- De angst bestaat dat een vliegbelasting op vliegtickets leidt tot 'uitwijkgedag' waarbij Nederlanders vanaf luchthavens over de grens gaan vliegen. Hoewel het logisch klinkt, dat als je in Duitsland per vlucht een aantal euro's minder belasting betaalt op een ticket dan in Nederland, dat je dan liever vanaf een Duitse luchthaven vliegt. Echter, volgens de recente studie van Zijlstra en 't Hoen (2026) blijkt dat aandeel nauwelijks afhankelijk van een vliegbelasting, maar vormt de prijs zich als het evenwicht tussen aanbod en vraag. De uiteindelijke prijs van een ticket wordt altijd bepaalt door vraag en aanbod, en relatief lage belastingpercentages hebben daar heel weinig invloed op. Het belangrijkste effect van de bescheiden vliegbelasting is dat je schaarste winsten afroomt die ten gunste komen van de Nederlandse economie terwijl ze anders aan de luchtvaartmaatschappijen zouden toevallen en daarmee voor 90% aan buitenlandse investeerders (Blom et al., 2025). Zie verder 5.6.
- Het belang van luchtvaart voor toeristische mobiliteit (een toerist is iedereen die ten minste één nacht niet thuis overnacht; dus zakenreizen vallen ook onder toerisme) wordt vaak overschat. Op basis van gegevens van CBS (2026b) zien we dat 57% van alle verblijfstoeristen binnenlands is, 35% Europees en slechts 8% van buiten Europa. Van al die verblijfstoeristen vliegt 78% niet (Neelis, Pels, et al., 2020). Voor de reizen door Nederlanders geldt dat 26% vliegt, en 74% vooral de auto gebruikt (Eijgelaar et al., 2020; Neelis, Peeters, et al., 2020).
- Het idee dat de grote luchtvaart ooit op zonne-energie zal vliegen die via zonnecellen op de vleugels wordt opgewekt kan naar het rijk der fabelen worden verwezen op grond van het feit dat de energie die een verkeersvliegtuig nodig heeft om te vliegen, uitgedrukt in een energiedichtheid van een vliegtuig per m^2 vleugel circa 1000 keer zo hoog is als de zon maximaal kan leveren. Daarnaast is er nog een reeks van andere praktische en economische bezwaren die dit technisch en economisch onhaalbaar maken. Het gebrek aan energiedichtheid van de zon kan niet met techniek worden opgelost, omdat zonnecellen al 30% of meer van de zonne-energie omzetten in elektriciteit en er bij een praktisch nooit haalbare 100% nog altijd een factor 300 te weinig energie beschikbaar komt voor het vliegtuig. Zie verder ook Peeters et al. (2016) over 'technologische mythes'.
- Is railvervoer een slecht presterende vervoerwijze? Het aantal passagierskilometers per trein herstelde eerder dan de luchtvaart: al in 2023 was er in de EU een groei met 4,3% ten opzichte van 2019, waar luchtvaart in Europa ergens in 2024 weer op dat niveau kwam (Eurostat, 2026). De luchtvaartsector heeft al decennialang afspraken dat gegevens over alle beschikbare tickets gebruikt kunnen worden door bookingplatforms. Daardoor zijn de prijzen en mogelijkheden in principe gelijk onafhankelijk van waar je boekt. In het internationaal railvervoer is dit niet goed geregeld (Transport & Environment, 2026) waardoor je voor een internationale treinreis nog vaak per treinmaatschappij een ticket moet boeken. Inmiddels probeert de Europese Commissie het spoorvervoer via het "Passenger Package" ook voor rail een met de luchtvaart vergelijkbaar systeem af te dwingen. Tegelijk kan men zich afvragen hoe het erg is om een kwartiertje langer bezig te zijn met het boeken van een vakantie, iets wat de gemiddelde Nederlander ongeveer twee tot drie keer per jaar doet. Uiteraard kost het bouwen van een nieuwe internationale (hoge-snelheids-spoorlijn decennia of meer, net als de aanleg van een nieuwe luchthaven. Echter, een nieuwe treinverbinding kan, net als een nieuwe luchtlijn, binnen een jaar in een volgende dienstregeling worden ingepland binnen de kaders van beperkingen van bestaande slotrechten (recht op een vliegbeweging bij een luchthaven) en bestaande rail-capaciteitsbeperkingen. Ook als je de emissies voor de bouw van nieuwe infrastructuur voor de trein meerekent, dan wint de trein het ondubbelzinnig van het vliegtuig voor lage emissies per passagierskilometer.

- In zijn rapport schrijft Wennink (2025): “Als de luchthaven verder moet krimpen, verliest Schiphol haar positie als internationaal knooppunt, en verliest Nederland haar aantrekkingskracht voor de internationale bedrijvigheid waar we als kleine, open economie op steunen.” Deze uitspraak is gebaseerd op het rapport “Belang Schiphol voor economie en vestigingsklimaat” (de Pater et al., 2024). Wat Wennink (2025) echter niet vermeldt is dat deze bron veel minder stellig is en vol staat met relativeringen als “in praktijk blijkt dit lastig te kwantificeren” over het effect van vestigingsplaatsfactoren en het veelvuldig gebruik van de woorden “zou kunnen”, “mogelijk verband”, etc. Daarom zijn stellige suggesties door Wennink (2025) als zou “bijna één derde van ons bbp” samenhangen met de luchthaven omdat dat de bijdrage aan het bbp is van de multinationals die graag hun hoofdkantoor nabij de luchthaven (zouden willen) vestigen volstrekt onnavolgbaar. Waar het om gaat is om de *juiste* omvang van een luchthaven te vinden en die is de resultante van een reeks van evenwichten zoals vraag en aanbod, ligging van een land, structuur en staat van economische ontwikkeling, de geografische omstandigheden, etc. Uit recent onderzoek komt een beeld naar voren dat Schiphol haar optimum wel voorbij is (Behrens et al., 2025; Blom et al., 2025; Juijn et al., 2022). Zie verder paragraaf 4.2 en volgende punt.
- Je kunt op veel manieren naar capaciteit van een luchthaven kijken (de Pater et al., 2024). Namelijk door een bruto economische bril, de meest toegepaste in politieke discussies, een netto aanpak, waarbij veranderingen van de luchthaven (netwerk, capaciteit) en de doorwerking in de economische structuur worden meegenomen (bijvoorbeeld de vele MKBA’s) en, van meer recente datum, een Brede Welvaart aanpak. Recent volgden Blom et al. (2025) zo’n aanpak waarin drie cases zijn vergeleken, waarin werd verondersteld dat, om wat voor reden dan ook, de luchthaven zich de afgelopen decennia niet naar 478.000 vluchten maar naar 250.0000, 375.000 of 500.000 had ontwikkeld. Daarna bekijkt dit rapport hoe in een dergelijk hypothetisch maar informatieve evenwichtssituatie de Nederlandse economie en de hub-functie, eruit had kunnen zien, inclusief brede welvaartsaspecten als ruimtegebruik, woningbouw, verdringing op de arbeidsmarkt en andere welvaartseffecten. Uit deze studie blijkt dat Schiphol, en de Nederlandse maatschappij in brede zin, in alle drie cases goed kan functioneren maar alleen bij de kleinste omvang de milieukosten sterk omlaag kan brengen, en ruimte biedt voor woningbouw maar ook helpt om de vele vacatures die de energietransitie op dit moment afremt, weer beter op gang te krijgen.
- Twee recente publicaties laten zien dat de kosten van geluidhinder zeer aanzienlijk hoger liggen dan op dit moment volgens de richtlijnen voor luchtvaart MKBA’s (Maatschappelijke Kosten- en Batenanalyses) algemeen wordt aangenomen. Ten eerste blijkt uit de meest recente meting van de blootstelling-response relatie voor Schiphol (Reedijk & Hoekstra, 2026) dat het aantal ernstig slaap verstoorden voor een gegeven geluidsniveau twee keer hoger is dan in alle recente beleidsstukken en kosten-batenanalyses is aangenomen. Ten tweede blijkt uit een pas recent geopenbaarde Engelse studie (Scott et al., 2021), dat de kosten van geluidhinder 12 tot 28 keer hoger liggen dan in de kosten-batenanalyses in het Verenigd Koninkrijk, maar ook in Nederland, wordt aangenomen. De huidige kosten per decibel liggen rond de €100. Het gevolg van bovenstaande is dat de geluidhinderkosten sterk onderschat zouden kunnen zijn, waardoor de economisch ‘optimale’ omvang van de luchthaven significant wordt overschat. Het is aanbevelingswaardig om een en ander in een gedegen onderzoek verder uit te diepen.
- Het behoud van de hub-functie van Schiphol, wordt in vrijwel elk debat aangehaald als de essentie van het economisch functioneren. Echter, het aandeel transfer passagiers, een proxy voor die hub-functie, is nu (2025) 36,5%. In 1990 was dat al 30,7% en bereikte een maximum van 43,3% in 2009 (zie Figuur 14). In Figuur 12 hebben we de aantallen vluchten tussen 1990 en 2025 uitgezet tegen het transferpercentage en dan blijkt er nauwelijks een verband tussen dat volume en de relatieve hub-functie te bestaan.
- Wanneer de luchtvaart spreekt over “50% geluidsreductie” dan wordt daarmee bedoelt dat de fysische geluidsenergie 50% minder is. Technisch gezien is dit een mooie prestatie. Dat heeft gevolgen voor bijvoorbeeld de geluidscontouren bij een start of landing. Echter, een dergelijke schijnbaar grote vermindering van het geluidsniveau is in de praktijk vooral theoretisch, omdat er

geen rechtstreeks lineair verband is tussen die geluidsenergie en slaapverstoring, hinder en geluidsschade. Die 50% komt overeen met ongeveer drie decibel lager geluidsniveau (bijvoorbeeld van 65 dB(A) naar 62 dB(A), een verschil dat mensen echter nauwelijks kunnen horen, ook al kan het betekenen dat iemand van net binnen hindercontour daar nu net buiten valt: de ervaren hinder blijft dus vrijwel gelijk.

1 Inleiding

In 2018 openden we deze Factsheet Peeters en Melkert (2018) met de woorden “Wereldwijd is sprake van aanhoudende groei van de luchtvaart”. Vanaf begin 2020 leek dat perspectief sterk gekanteld te zijn als gevolg van de Coronapandemie. Echter, in 2021 verwachtte McKinsey dat herstel van de luchtvaart wereldwijd naar het niveau van 2019 ergens rond 2024 zou gebeuren (Bouwer et al., 2021). Wereldwijd is dat voor passagiersvervoer, het leeuwendeel van de commerciële luchtvaart, uitgekomen (ICAO, 2026), maar voor Schiphol geldt dat in 2025 het aantal vluchten nog met 4,4% achterloopt en het aantal passagiers met 3,1% ten opzichte van het piekjaar 2018 vóór Corona en dat de eerste vijf maanden van 2026 achterlopen met 3,5% respectievelijk 3,2%.

Ook blijkt het aantal passagiers per vlucht in de eerste vijf maanden van 2026, ondanks de vlootvernieuwing naar gemiddeld wat grotere vliegtuigen, slechts marginaal hoger te zijn (van 138.9 naar 139.3 passagier per vlucht). Voorts lijkt het erop dat dit stukje verloren groei niet ingehaald gaat worden, maar dat de pre-Corona groei ook niet meer gehaald zal worden. Zo verwachtte Airbus dat er in 2038 in totaal 20 biljoen passagierskilometers worden afgelegd (Airbus, 2019), een prognose die in Airbus (2026) substantieel naar beneden is bijgesteld naar 17,3 biljoen (Airbus, 2026) een daling met 13%. De 20 biljoen wordt vier jaar later, in 2042, verwacht. Ter vergelijking, in 2024 was het aantal passagier-kilometers ongeveer 9,1 biljoen per jaar.

Redenen voor hernieuwde groei zijn de inzet van overheden om tijdens en na de COVID-19-pandemie de sector door de crisis te leiden, het gegeven dat de wereldluchtvloot een enorm kapitaal vertegenwoordigt wat een grote druk op gebruik van deze vliegtuigen zet en het gegeven dat de reislust van mensen niet verminderd lijkt te zijn. Ook heeft de vakantiemarkt zich beter hersteld maar is de voor KLM zo belangrijke zakelijke markt relatief steeds verder aan het krimpen. Zo laat het project “Coalitie Anders Reizen” zien dat tussen 2019 en 2025 een groep van 29 grote bedrijven 37% minder CO_2-emissies veroorzaakt als gevolg van een reductie van het zakelijke reizen (Natuur & Milieu, 2026). Het gaat om grote vaak multinationale concerns die nog veel grotere reducties wisten te realiseren tussen 2019 en 2025 als BAM (-78%), DSM (-74%), Vopak (-66%), Port of Rotterdam (-62%), IKEA (-61%), Vodafone (-61%), ABN AMRO (-59%), Vattenfall (-59%), Accenture (-58%), Signify (-58%), Randstad (-57%) en Philips (-51%). Veel intercontinentale routes staan al een aantal jaar onder druk door de sluiting van het Russische luchtruim, door de oorlog in de golfregio en door onrust op diverse andere plekken in de wereld en de instabiele situatie in de wereldhandel als gevolg van de handelsoorlogen die mede door de Amerikaanse regering in gang zijn gezet. Dit heeft mogelijk negatieve gevolgen voor de groeiperspectieven van Schiphol en de economische toekomst van KLM (KLM, 2026).

Groei van de luchtvaart staat tegelijkertijd op gespannen voet met de opgave voor het tegengaan van klimaatverandering die in het klimaatakkoord van Parijs is afgesproken. Een recente studie laat zien dat een ‘eerlijk aandeel’ van de nog uit te stoten CO_2-emissies, leidt tot een maximale capaciteit van tussen de 211.000 en 480.000 bewegingen afhankelijk van het aandeel van intercontinentale vluchten en de mate waarin luchtvaart een uitzonderingspositie krijgt voor haar bijdrage aan de emissievermindering (NLR, 2024, p. 16). Dat wordt nog eens bevestigt door Leestemaker en Meijer (2025) waaruit blijkt dat de sector de eigen CO_2-doelen niet gaat halen in 2030 en waarschijnlijk ook niet in 2050 of 2070 maar waaruit ook blijkt dat die doelen voor de luchtvaart een emissie-groei met 140% ten opzichte van de luchtvaartemissies in 1990 inhouden terwijl de rest van de economie de

emissies in 1990 met 50% moet verminderen. Het PBL constateerde onlangs dat het primair energieverbruik door de luchtvaart blijft groeien, terwijl dat voor de gehele Nederlandse economie juist iets daalt (PBL, 2026).

Wereldwijd werden er in 2025 ruim 38,7 miljoen vluchten uitgevoerd in de commerciële luchtvaart en werden naar ongeveer 5 miljard passagiers vervoerd (IATA, 2026a). 2025 was ook het tweede jaar dat er wereldwijd weer meer werd gevlogen dan voor de Coronapandemie. Dat gold zowel voor binnenlandse als internationale vluchten. In Nederland telde het CBS in 2025 op alle vijf luchthavens van nationaal belang (Amsterdam, Eindhoven, Rotterdam-The Hague, Maastricht-Aachen en Groningen) volgens het CBS 541 duizend vliegtuigbewegingen voor handelsverkeer en 78,4 miljoen passagiers (CBS, 2026a). Dat is ongeveer 1,4% van het totaal aan vliegtuigbewegingen in de wereld en 1,6% van het aantal passagiers wereldwijd. Afgezet tegen de wereldbevolking (in Nederland woont circa 0,23% van de wereldbevolking) trekken de Nederlandse luchthavens daarmee ongeveer zes keer meer passagiers dan gemiddeld in de rest van de wereld.

1.1 Centrale vraagstelling

Doordat enerzijds de ontwikkelingen in de luchtvaart en de inzichten alsmaar veranderen en anderzijds de samenstelling van de Tweede Kamer Commissies door de snel opeenvolgende verkiezingen voortdurend verandert, is er behoefte aan een derde actualisatie, een vierde versie, van het oorspronkelijke Factsheet Duurzame Luchtvaart uit 2018 (Peeters & Melkert, 2018). Een eerste actualisering uit 2021 (Peeters & Melkert, 2021) ontving op verzoek van de Tweede kamer in 2022 een ‘second opinion’ (Werij et al., 2022). De auteurs van de second opinion bevestigen de uitkomsten van de eerste update van het Factsheet in grote lijnen. Waar de auteurs van de second opinion suggesties doen voor aanvullende informatie en ontwikkelingen, hebben we die in de tweede (Peeters & Melkert, 2024) meegenomen. De nu voorliggende vierde versie ontstond na de derde actualisatie (2026).

Het oorspronkelijke Factsheet beoogde een actueel inzicht in de stand van zaken en een prognose van technologische ontwikkelingen en innovatie op het gebied van verduurzaming van de luchtvaart (klimaat, luchtkwaliteit en geluid) te bieden. Daarbij wilde de Kamer zowel inzicht hebben in (de verwachte) technische mogelijkheden voor duurzame vliegtuigen (bijvoorbeeld op gebied van motoren, brandstoffen en aerodynamica) en de bijbehorende milieu-impact, als in bedrijfseconomische aspecten en de verwachte tijdsduur waarin deze technische mogelijkheden breed kunnen zijn ingevoerd. Vanwege de veelal nog onvolledige definitie van de te verwachten toekomstige technologische ontwikkelingen en de grote spreiding in kosten en baten in de vakliteratuur, geven we alleen enkele, deels kwalitatieve, indicaties voor mogelijke kosten en doen geen bedrijfseconomische uitspraken. Deze laatste hangen ook in sterke mate af van flankerend beleid en de ontwikkelingen in de rest van de wereld. In de voorliggende vierde actualisatie hebben we de snelle ontwikkelingen op het gebied van inzichten in mogelijke oplossingen verwerkt. Ook geven we meer aandacht aan de rol van luchtvaart in de Nederlandse economie. Met name het recente rapport van Wennink (2025) geeft een veel te rooskleurig beeld van die rol, wat een goede afweging van de voor- en nadelen van een alsmaar groeiende luchtvaart in Nederland ernstig belemmert.

1.2 Technisch perspectief

1.2.1 CO_2-emissies

De technische ontwikkelingen in de luchtvaart sinds de invoering van de straalmotor medio jaren 50 zijn spectaculair. Zowel het brandstofverbruik als de geluidsproductie per passagierskilometer zijn substantieel gedaald. Figuur 8 in paragraaf 3.2 geeft de ontwikkeling van de benodigde energie (en dus brandstofverbruik) voor het vervoeren van één stoel over een afstand van één kilometer. Het brandstofverbruik is één op één gekoppeld aan de uitstoot van CO_2. De uitstoot van CO_2 van het

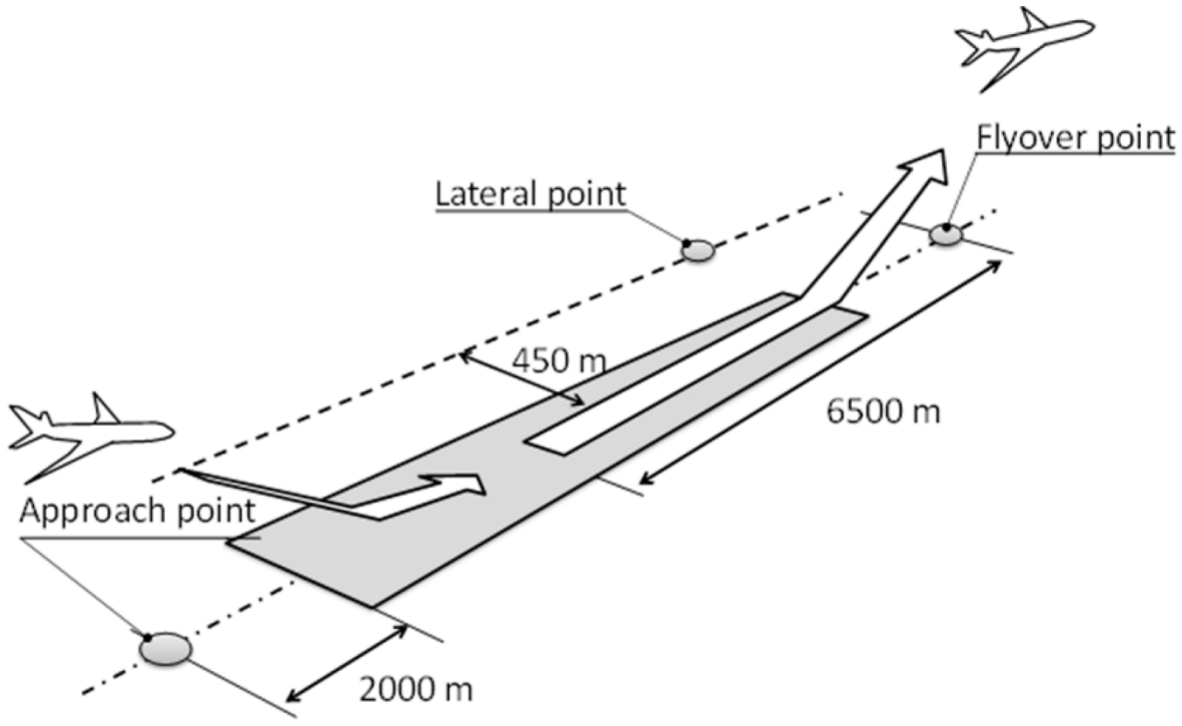
vervoer van passagiers per vliegtuig is inmiddels vergelijkbaar met dat van de gemiddelde auto uitgaande van de gemiddelde bezettingsgraad voor lange afstanden van tussen de twee en drie personen per auto.

Het grote verschil tussen auto's en vliegtuigen is de snelheid: in een uur legt een auto misschien 100 km af, maar een vliegtuig al bijna duizend. Aangezien reizigers vooral in "uren gaans" denken is het zo dat mensen met een vliegtuig veel grotere afstanden afleggen. Dat komt dus vooral door die hoge snelheid van het vliegtuig. Daardoor zijn de reisemissies per vakantie voor de gemiddelde autovakantie 45 kg CO_2 en de gemiddelde vliegvakantie 1024 kg (Eijgelaar et al., 2022).

1.2.2 Geluid

Het geluid van vliegtuigen is in de loop van de tijd significant gedaald. Sinds de introductie van de straalmotor produceren vliegtuigen ongeveer 25 dB minder geluid. De gebruikte decibel-schaal is een logaritmische schaal. Dat betekent dat elke vermindering met 3 dB een halvering van de geluidsenergie betekent. Echter, Bell heeft de Decibel bedacht omdat de gevoeligheid van het menselijk oor ook diezelfde logaritmische relatie volgt (Laccourreye & Laccourreye, 2024). Dat betekent dat, voor de mens, een verschil van 3 dB net waarneembaar is, maar van 25 dB juist goed te horen is. Regelmatig hoort men de bewering dat "nieuwe vliegtuigen 50% minder lawaaiig zijn dan de vorige generatie vliegtuigen". Dit is in zoverre juist dat de 50% vermindering refereert aan 50% afname van het oppervlak van de 85dB(A) contour die zich dicht op start en landingsbaan bevindt, of op de totale 'geluidsdruk'. Echter, beiden duiden op een afname van circa 2-4 dB en dat is dus in de praktijk nauwelijks hoorbaar, wat dergelijke uitspraken vanuit de context van geluidhinder lastig interpreteerbaar maken.

Het maakt voor de geproduceerde hoeveelheid geluid ook uit in welke fase van de vlucht het vliegtuig zich bevindt. Ook de positie van de luisteraar ten opzichte van het vliegtuig maakt uit. In de certificatie van vliegtuigen wordt daar rekening mee gehouden. De onderstaande figuur geeft de drie meetposities die worden gebruikt in het certificatieproces.



Figuur 1: Geluidsmeetpunten (bron: MDPI)

De onderstaande tabellen geven de ontwikkeling aan bij twee veel gebruikte typen vliegtuigen. Het gaat om de Boeing 737-familie en de Airbus A320-familie. Zowel Boeing als Airbus hebben niet al te lang geleden een nieuwe generatie van deze typen vliegtuigen op de markt gebracht. Deze worden op dit moment ook in Nederland ingevoerd. De meetgegevens van deze vliegtuigen zijn openbaar beschikbaar in een database van de Europese Luchtwaardigheidsautoriteit EASA (2026). De gegevens in de tabellen zijn de gemiddelde waarden van alle 12.000 vliegtuigen uit deze twee families die gecertificeerd zijn.

Boeing	Massa (kg)	Lateraal (dB(A))	Flyover (dB(A))	Nadering (dB(A))
B737-600/700/800/900	71.407	93,4	84,6	96,0
B737-MAX8/8200/9	76.178	88,3	81,1	94,0
Verschil	4.771	-5,1	-3,5	-2,0
Airbus	Massa (kg)	Lateraal (dB(A))	Flyover (dB(A))	Nadering (dB(A))
A318/319/320/321	75.692	93,7	84,7	95,2
A319NEO/320NEO/321NEO	81.802	87,0	81,8	93,3
Verschil	6.110	-6,7	-2,9	-1,9

Tabel 1: overzicht van gemeten gemiddelde geluidsbelasting voor de meest gebruikte vliegtuigtypen in de wereld van zowel Boeing als Airbus.

Te zien is dat het lateraal geluidsniveau het meeste gereduceerd is en het naderingsgeluidsniveau het minste. Dit laatste geluidsniveau wordt het minst beïnvloed door de minder lawaaiige motoren omdat deze tijdens de nadering op een gering vermogen draaien. Ook moet opgemerkt worden dat de nieuwe generatie vliegtuigen in de tussentijd significant zwaarder geworden zijn en daarmee ook meer passagiers en vracht kunnen vervoeren. Vliegtuigen zijn in de loop van de tijd dus groter maar ook minder lawaaiig geworden.

Naast het absolute geluidsniveau van een passerend vliegtuig wordt de geluidshinder die omwonenden ervaren ook beïnvloed door het aantal vluchten. Mensen die in de buurt van luchthavens wonen, kunnen daarom ernstige hinder en slaapverstoring ervaren. Het RIVM (Reedijk & Hoekstra, 2026) heeft in de omgeving van 14 Nederlandse luchthavens het verband tussen de blootstelling aan geluid van vliegtuigen en de mate van ernstige hinder en slaapverstoring. Dit verband heet een blootstelling-responsrelatie (BR-relatie). Deze relaties verschillen per luchthaven maar in algemene zin geldt dat meer blootstelling aan geluid leidt tot meer ervaren hinder.

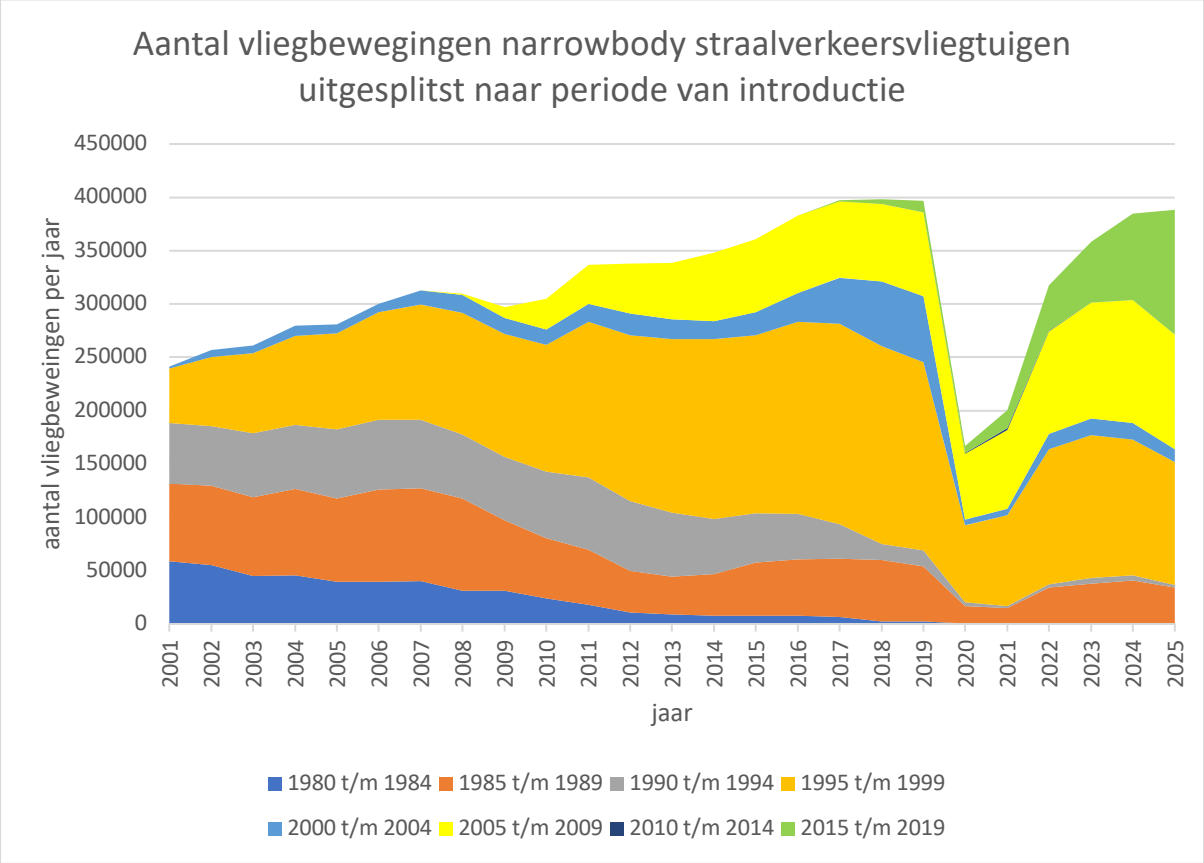
Voor de luchthavens Schiphol en Rotterdam The Hague heeft het RIVM ook dosis-respons-relaties voor nachtvluchten opgesteld. Uit die relaties blijkt dat mensen die ’s nachts aan veel geluid worden blootgesteld vaak ernstige slaapproblemen ervaren. Dit onderzoek onderstreept nogmaals het belang van het inzetten van minder lawaaiige vliegtuigen.

1.2.3 Vlootvernieuwing

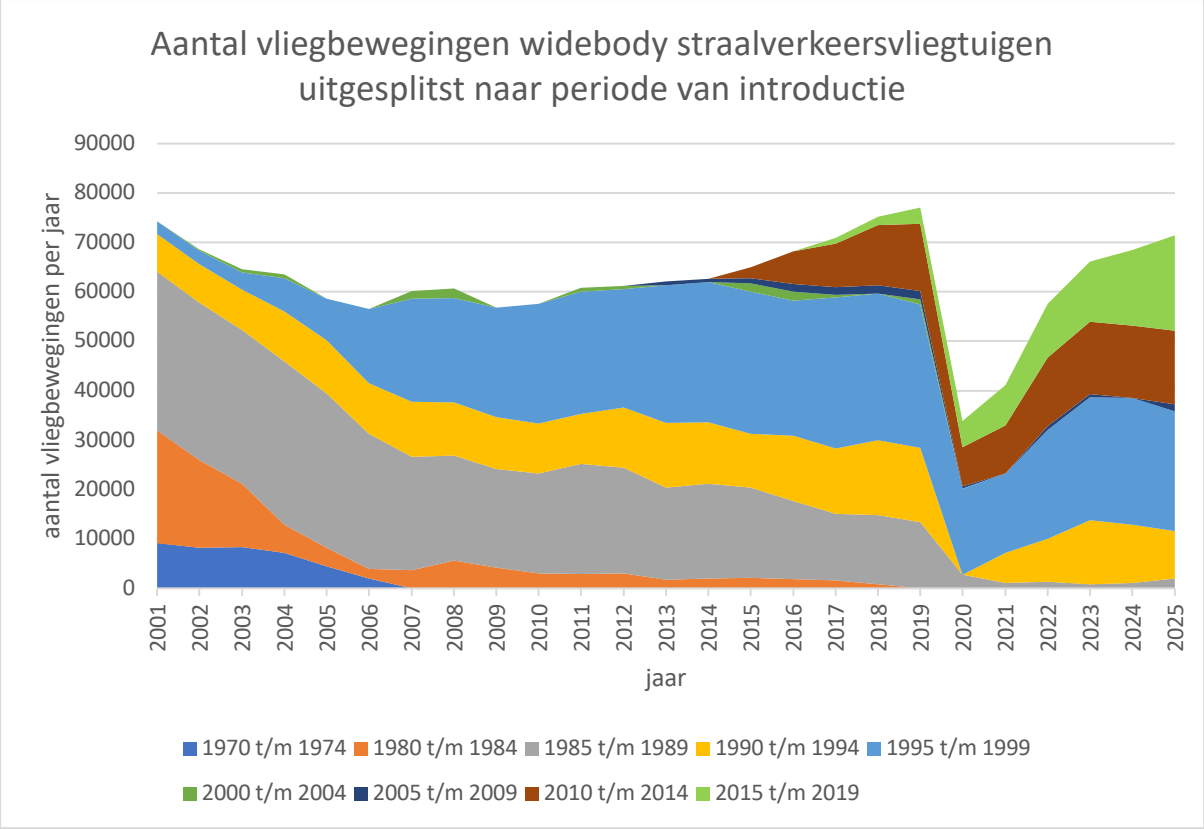
De catalogusprijs van de meest populaire vliegtuigen, Boeing 737 en Airbus A320, ligt in de orde van 100 miljoen euro per stuk. Daarbij gaan vliegtuigen ook geruime tijd mee. De technische levensduur ligt in de orde van 25 tot soms wel 45 jaar. De economische levensduur is gemiddeld genomen wat minder. De beslissing tot aankoop van nieuwe vliegtuigen is daarom een beslissing die zeer zorgvuldig wordt genomen. Daarnaast duurt het steeds langer voordat nieuwe verbeterde vliegtuigen in de markt worden gezet doordat de ontwikkelkosten sterk zijn toegenomen en tijd tussen de ontwikkelingsbeslissing en de introductie in de markt alsmaar toeneemt (Peeters et al., 2016). Het is

derhalve uitgesloten om elke paar jaar de nieuwste vliegtuigen te kunnen kopen. Hierbij moet worden opgemerkt dat het gemiddelde vliegtuig in gebruik bij de zogenaamde *low-cost carriers* duidelijk jonger is dan bij andere luchtvaartmaatschappijen.

Als we het gebruik van vliegtuigen op Schiphol over een reeks van 25 jaar bekijken dan zien we dat er een continue vervanging is van oude vliegtuigen door een nieuwere generatie. De onderstaande figuren geven de ontwikkeling voor zowel de narrowbody straalverkeersvliegtuigen (vliegtuigen met één gangpad en het meest toegepast op korte en middellange afstand) en widebody straalverkeersvliegtuigen (vliegtuigen met twee gangpaden en vooral toegepast op lange afstand) weer.

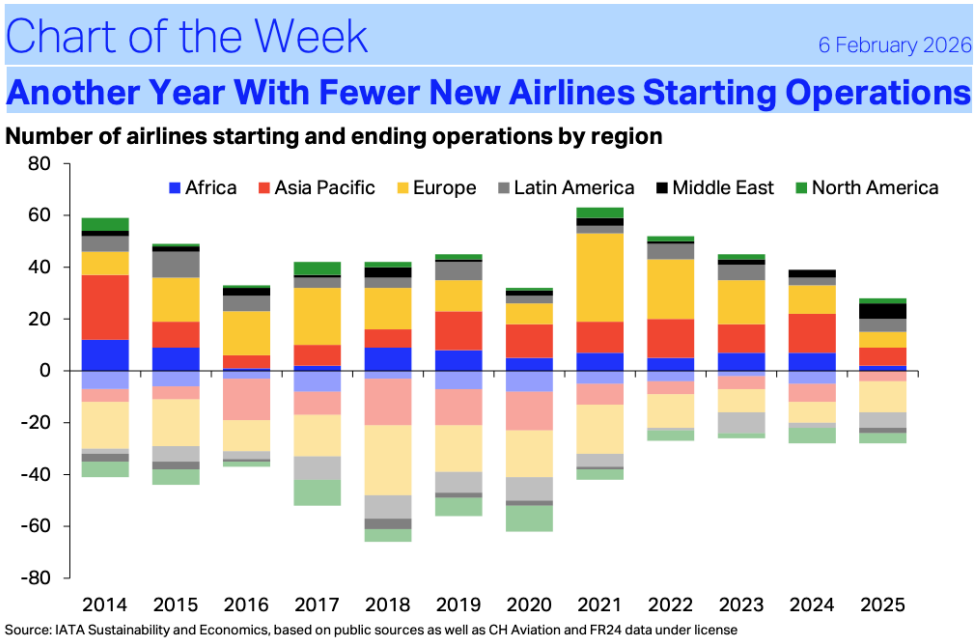


Figuur 2: Overzicht van de introductie van nieuwe generaties narrow body vliegtuigen



Figuur 3: Overzicht van de introductie van nieuwe generaties wide body vliegtuigen

In de afgelopen decennia hebben we de opkomst van de *low-cost carriers* gezien. Dat heeft tot gevolg gehad dat de ticketprijzen sterk zijn gedaald, zeker in de perceptie van het publiek. Als gevolg daarvan is de financiële marge op de verkoop van een ticket erg klein geworden. Wereldwijd was de gemiddelde winst in 2025 op de verkoop van een ticket minder dan 10 dollar. De winstmarge was in 2025 rond de 4% wereldwijd maar was de afgelopen 25 jaar gemiddeld slechts 2,5% (IATA, 2025). Mede door de oorlog in Iran verwacht men dat dat in 2026 nog maar de helft daarvan zal zijn. Het gevolg hiervan is dat de druk op de kosten erg hoog is. Dat uit zich onder andere door vaak langdurige onderhandelingen over de CAO's. Overigens is het aantal nieuwe luchtvaartmaatschappijen dat stopt met operaties redelijk in evenwicht met het aantal nieuwe dat erbij komt (zie Figuur 4). De dynamiek (totaal aantal dat stopt of start) varieert wel sterk over de tijd.



Figuur 4: globaal komen er net zoveel airlines bij als dat er failliet gaan (IATA, 2026b).

De consequentie van dit alles is dat de marge om snel in te spelen op technologische ontwikkelingen erg klein is. Zo zijn bijvoorbeeld alternatieve brandstoffen vaak veel duurder dan de standaard gebruikte kerosine. Het is voor één enkele luchtvaartmaatschappij daarom ook niet betaalbaar om een overstap te maken. Pas wanneer geleidelijk en/of collectief wordt overgegaan op een dergelijke dure brandstof kunnen luchtvaartmaatschappijen zich goed aanpassen zoals de meeste dat ook doen na grote olieprijsschokken. Collectief hoeft er dus geen economische belemmering te zijn maar lokale aanpassingen zijn economisch gezien problematisch voor luchtvaartmaatschappijen omdat zij met de rest van de wereld moeten concurreren.

1.2.4 Luchthavens

Luchthavens produceren zelf ook CO_2-emissies vanwege gebruik van elektriciteit, en voor verwarming van gebouwen en hangaars. Een toenemend aantal luchthavens is bezig de emissies naar nul te brengen. Twee van de 19 die Europe (2022) noemt, liggen in Nederland: Schiphol en Eindhoven. Men moet zich echter realiseren dat luchthavens slechts minder dan 1% van alle luchtvaartemissies veroorzaken, dus dat een duurzame luchthaven absoluut geen duurzame luchtvaart hoeft te betekenen. Tegelijk spelen luchthavens een cruciale rol als het gaat om het accommoderen van nieuwe zuinigere vliegtuigen en bijvoorbeeld nieuwe duurzame brandstoffen of waterstof. Dit kan gestuurd worden via de luchthavengelden die luchtvaartmaatschappijen moeten betalen om gebruik te kunnen maken van de luchthaven. Ook bepaalt de totale wereldwijde capaciteit van luchthavens het totaal aantal vluchten in de wereld en dient men zich te realiseren dat de bouw van luchthavencapaciteit in beginsel de verantwoordelijkheid is van nationale overheden. Zeker wanneer men bedenkt dat bijna 70% van de wereldwijde investeringen uit publiek geld komt en bijna 30% uit privaat-publieke investeringen bestaat (Tourism Panel on Climate Change, 2023), maakt duidelijk dat de ontwikkeling van de luchthavencapaciteit de verantwoordelijkheid is van nationale overheden. Dit biedt kansen om de groei van de luchtvaart te reguleren zodat nul-emissies in de toekomst mogelijk worden.

2 Duurzaamheidsproblemen luchtvaart

2.1 Klimaatverandering

Wereldwijd droeg luchtvaart in 2018 2,5% bij aan CO_2-emissies en gemiddeld 3,5% aan klimaatverandering (Aamaas et al., 2025; Lee et al., 2021). Meer dan in het heden, ligt de klimaatproblematiek van de luchtvaart in de toekomst zoals Figuur 5 duidelijk laat zien. De huidige bijdrage van 2-3% van de luchtvaart aan de totale uitstoot zegt bar weinig over de toekomstige bijdrage aan de temperatuurverhoging van het klimaat. Daarvoor moeten we alle verwachtte emissies vanaf nu tot 2100 optellen en dat vergelijken met het nog resterende koolstofbudget, het Remaining Carbon Budget (RCB) voor de wereld om onder een zekere veilige temperatuur te blijven (Peeters et al., 2026, pre–accepted).

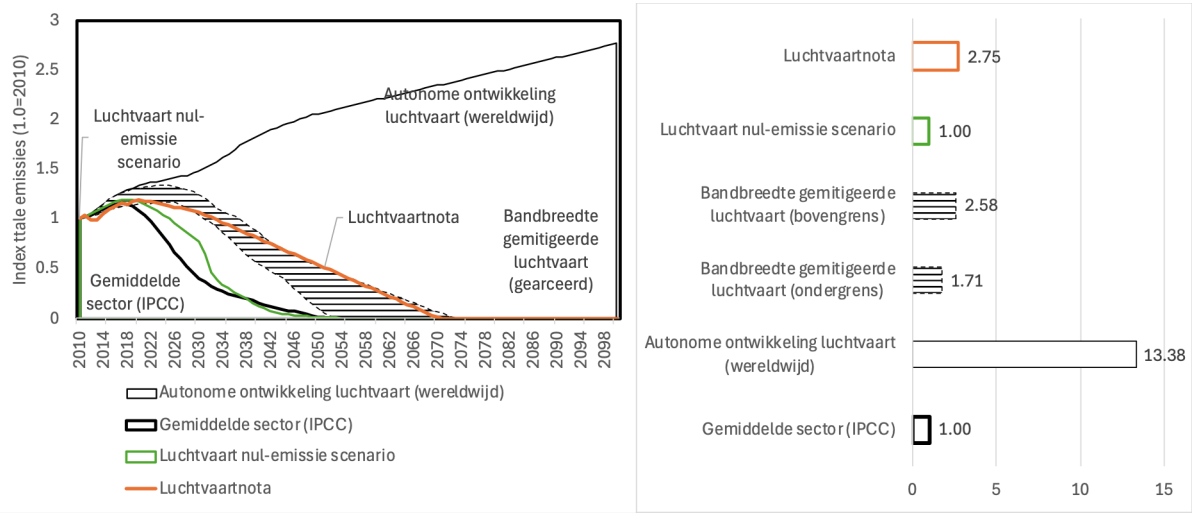
Wanneer de luchtvaartsector op het Business-as-Usual (BAU) pad door zou gaan waarin de groei van het volume de reductie van de emissies per afgelegde kilometer blijft overtreffen, dan verbruikt de sector bijna veertien keer meer van het `Remaining Carbon budget' dat de wereld nog heeft als het wat nodig is om de 1.5 °C doelstelling van het Parijse klimaatakkoord te halen (zie Figuur 5). Uiteraard heeft de sector veel plannen om ook wat aan emissiereducties te doen (onder andere met alternatieve brandstoffen, efficiency, technologie) maar zelfs die emissiepaden liggen 1,7 tot 2,6 keer hoger dan wat andere sectoren en huishoudens moeten doen (Figuur 5). Stel dat alle sectoren op een dergelijk reductiepad zouden gaan zitten, dan zou in het luchtvaart BAU scenario de temperatuur niet met 1.5 of 2 °C toenemen maar met gemiddeld 4 °C (Peeters et al., 2026, pre–accepted). Maar ook de wel gemitigeerde paden zoals door de sector voorgesteld komen zouden dan, als alle sectoren ene dergelijk pad zouden volgen, zouden dan het equivalent opleveren van ten minste 2 °C (Peeters et al., 2026, pre–accepted).

Er bestaan ook scenario's die het beter doen en wel passen binnen een 1.5 °C wereld, zoals Peeters en Papp (2023) laten zien. Zulke scenario's zijn alleen mogelijk als men de scope van het probleem, dat wil zeggen de grenzen van wat je wel en van wat je niet in een scenario meeneemt verbreed. Het gat om zaken als de geografische scope, de soorten vervoer, de soorten vervoersstromen. Een dergelijke verbreding van de scope heeft veel invloed heeft op het oplossend vermogen van zo'n scenario en 'verdunt' negatieve economische gevolgen omdat bijvoorbeeld ook de positieve economische gevolgen voor andere vervoerwijzen en andere ruimtelijke reispatronen in beeld komen. Wanneer je bijvoorbeeld de scope vernauwt tot alleen intercontinentale reizen dan bouw je al in dat er geen oplossingen voor de luchtvaart zijn want juist voor zulke vluchten zijn bijna geen oplossingen voorhanden en degenen die er wel zijn, zijn stuk voor stuk duur.

Door als scope alleen intercontinentale vluchten te kiezen maak je dat snelle reductie van emissies alleen nog mogelijk is door snelle reductie van het volume en derhalve, voor dit kleine luchtvaartsegment, de economische gevolgen van maatregelen sterk zijn, terwijl je de mogelijke mitigatiemogelijkheden buiten blikveld brengt. Derhalve zou men zoveel mogelijk altijd naar alle afstanden en daarmee ook alle vervoerwijzen moeten kijken. Die bieden een beter overzicht van het belang van luchtvaart in het grotere geheel.

Een ander probleem bij klimaatverandering is dat de emissies van broeikasgassen geen directe relatie hebben met de klimaatverandering zelf (de toename van de temperatuur). Die laatste is namelijk alleen gerelateerd aan de totale hoeveelheid CO_2 in de atmosfeer en die hoeveelheid neemt toe door het verbranden van fossiele brandstoffen als kerosine. Wanneer dus de emissies met 10% omlaag gaan, dan ***vertraagt*** dat het tempo van klimaatverandering met ongeveer 10%, maar de temperatuur ***blijft toenemen*** op 90% van het tempo voordat de emissiereductie plaatsvond. De wereldwijde klimaatdoelen vergen dat in 2050 de broeikasgasemissies netto nul worden. Wat dus werkelijk telt is de totale hoeveelheid opgetelde emissies in de toekomst. Dit noemen we het carbon budget. Bij elke

temperatuur hoort een carbon budget dat nog uitgestoten kan worden voordat die temperatuur wordt overschreden. Om met enige zekerheid (50%) onder de 1.5°C te blijven is er wereldwijd nog maar 500 Gton CO_2 over vanaf 2020 (IPCC, 2022). In 2020-2024 is daarvan alweer ruim 100 Gton opgemaakt. Volgens de scenario's in Figuur 5 zou luchtvaart wereldwijd 24% bij lage groei, 37% bij gemiddelde groei en zelfs 55% van die 500 Gton opsouperen bij hoge groei. In het Luchtvaart Nul-emissie scenario kom je op 1.9% en in het 1.5°C IPCC scenario op 1.6%, beiden meer in lijn met de wereldwijde economische bijdrage van luchtvaart.



Figuur 5: Ontwikkeling van wereldwijde en Nederlandse emissies over de huidige eeuw (links) en hun cumulatieve index, een indicator voor het klimaateffect door CO_2. Bronnen: Het IPCC scenario is voor alle sectoren samen gebaseerd op het IMP-LD scenario (IPCC, 2022), het wereldwijde luchtvaart nul-emissies scenario op Peeters en Papp (2024), de bandbreedte voor gemitigeerde wereldwijde luchtvaart scenario's op (ATAG, 2021; EASA et al., 2023; ICAO, 2022; IEA, 2020; SBTi, 2023; Van der Sman et al., 2021), het wereldwijde autonome scenario op LTAG-IS1 van ICAO (2022) en het Nederlandse scenario op de vigerende Luchtvaartnota (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2020).

Daarom is het van belang om bij doelstellingen niet zozeer naar de *emissies per jaar* te kijken, maar vooral naar het budget. Voor Nederland zijn in 2024 hierover twee rapporten verschenen (Grebe et al., 2024; NLR, 2024). De twee studies laten zien dat het aantal vluchten dat Schiphol binnen het carbon budget kan leveren afhangt van de politieke keuze voor een 'eerlijk aandeel' en een klimaatdoel (1,5° versus 1,7°C) en de strategische keuze voor het aandeel intercontinentale vluchten (nu ongeveer 25%). Waar CE (Grebe et al., 2024) ruimte vindt voor tussen de 330.000 en 520.000 vluchten vanaf Schiphol, komt het (NLR, 2024) op tussen de 211.000 en 480.000 vluchten. Belangrijkste parameters zijn het aandeel intercontinentaal (hoe groter hoe minder vluchten mogelijk zijn), en de mate waarin de luchtvaart haar emissies even sterk vermindert als de gemiddelde andere sectoren.

Een onderwerp dat met veel onzekerheden en onvoldoende ontwikkelde methodes van berekenen kampt vormen de zogenaamde niet-CO_2-effecten van luchtvaart. Deze effecten bestaan voor het grootste deel (86%) uit het opwarmende effect van vliegtuigstrepen, contrails, plus de vorming van consistente cirrus-bewolking uit deze strepen. Daarnaast heeft een reeks andere emissies op grote hoogte invloed op de samenstelling van de atmosfeer en daarmee een opwarmend effect (Lee et al., 2021). In 2018 werd een derde van het totale klimaat effect veroorzaakt door alle opgetelde CO_2-emissies van de luchtvaart tussen 1945 en 2018 en twee derde door de huidige luchtvaart als gevolg

van de zeer kortlevende niet-CO_2-effecten, oftewel een factor van ongeveer drie tussen het totale klimaateffect en dat van CO_2 alleen. Deze factor wordt dan vaak toegepast om de CO_2-emissies om te rekenen naar CO_2 equivalenten.

Wetenschappelijk is dit eigenlijk niet juist zoals Lee et al. (2021, p. 13) opmerken omdat een simpele equivalentiefactor voor langetermijnprognoses die factor aanzienlijk zal veranderen als toekomstige totale en luchtvaartemissies afwijken van hun huidige groeitraject. Een andere reden om de niet-CO_2-effecten te negeren, is dat CO_2 een intergenerationeel effect vormt waardoor een toekomstige generatie geen andere keuze heeft dan te leven met de nadelen van onze emissies. De meeste niet-CO_2-effecten zijn daarentegen intragenerationeel en kunnen dus binnen één generatie worden opgelost zodat voor- en nadelen van de luchtvaart bij dezelfde generatie terecht komen. Dit is ook het belangrijkste argument van Lee et al. (2023), die concludeert dat de focus vooral op CO_2 moet liggen.

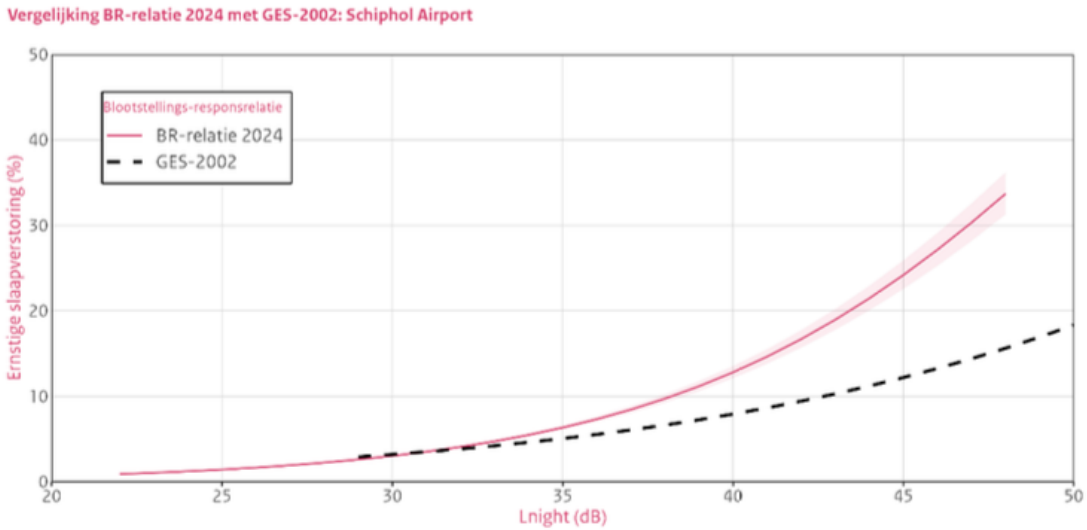
Er is ook een lijn van onderzoek, die juist probeert de niet-CO_2 effecten tot op individueel vluchtniveau te bepalen. Grebe en Raphaël (2023) ontwikkelden voor Nederland het *Aviation Non-CO_2 estimator* (ANCO) model. Uit dit model blijkt dat bijvoorbeeld de ophoogfactor voor niet-CO_2 effecten voor vluchten vanaf Amsterdam naar Spitsbergen ligt op 12.8, naar Vancouver op 8.6 en naar Bali op 2.6. De directe CO_2 uitstoot naar Spitsbergen 327 kg, naar Vancouver 626 kg en naar Bali 919 kg, dus als het om het CO_2 gaat kun je het best naar Spitsbergen en liever niet naar Bali. Maar wanneer je die ophoogfactoren toepast lijkt het of naar Bali vliegen minder dan de helft van de klimaateffecten oplevert als naar Spitsbergen vliegen. Het bekijken van die verschillende factoren per markt kan op beleidsniveau nog enige zin hebben, maar het lijkt ons buitengewoon verwarrend voor de consument en gegeven de conclusie uit diverse onderzoeken dat juist de afstanden omlaag moeten om de CO_2-emissies uiteindelijk op nul te kunnen krijgen.

2.2 Geluidhinder

Op basis van onderzoek bij de TU Delft (Simons et al., 2022) en (Simons et al. (2026) blijkt dat in Nederland de geluidsemissie rond Schiphol het afgelopen decennium gedaald is, terwijl het aantal vliegbewegingen is toegenomen. Dat is in lijn met de Europese bevindingen. Echter, de relatie tussen geluidsdruk en geluidhinder is verre van eenduidig. Zo blijkt uit onderzoek door GGD GHOR (2022) dat in heel Nederland in 2016 420.000 mensen aangaven ernstige geluidhinder te ondervinden, een aantal dat in 2020 tot bijna 521.000 was toegenomen. Ook bleken 225.000 mensen aan te geven in hun slaap verstoord te zijn. De aantallen mensen die hinder ervaren liggen dus aanzienlijk hoger dan de aantallen mensen dat volgens de geluidscontour zouden moeten ervaren. 25

Kortom, de geluidsdruk gemeten in dB heeft niet zo'n eenduidig verband met de ervaren hinder. Zo vinden Breugelmans et al. (2016) dat het percentage van de bevolking dat ernstige hinder ervaart bij 55 dB L_{den} voor de diverse luchthavens in Nederland varieert van 25% (Schiphol ondergrens) tot 75% (Eindhoven in 2014). Ook blijkt daaruit dat ver onder de wettelijke limieten ook ernstige hinder wordt gerapporteerd: 2-10% bij 40 dB L_{den}.

Uit een internationale studie bleek verder dat in de meeste landen de geluidsnormen voor luchtvaart fors hoger liggen dan de waarden waarboven de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) negatieve effecten op de gezondheid verwacht (Kemper et al., 2022). Dobruszkes en Efthymiou (2020) onderzochten de situatie rondom de luchthaven van Brussel en vonden dat ook een groot verschil tussen de geluidscontouren en de herkomst van klachten en hinder. Voorts zagen ze een grote afhankelijkheid van de contouren van allerlei aannames over de definitie van de indicatoren, de grenswaarden waaronder nul hinder wordt verondersteld en men raadt aan nog eens goed te kijken naar de indicatoren.



Figuur 6: Blootstelling- response relatie (BR-relatie) voor ernstige slaapverstoring volgens de nieuwste inzichten voor 2024 (Reedijk & Hoekstra, 2026).

Het Nederlandse beleid wordt nog altijd gebaseerd op een blootstellings-response relatie (BR-relatie) gemeten in 2002 (zie de zwarte gestreepte lijn in Figuur 6). Dat geldt zelfs voor het nieuwe LVB (Luchthaven Verkeersbesluit) voor Schiphol, waarvan de MER aangeeft dat er weliswaar een nieuwere BR-relatie is uit 2020, maar dat die niet goed bruikbaar is vanwege de in 2020 nog steeds grote gevolgen van COVID-19 op het aantal vliegbewegingen (I&W, 2026). Inmiddels is de BR-relatie voor 2024 gepubliceerd (Reedijk & Hoekstra, 2026) en daaruit blijkt dat, zoals Figuur 6 laat zien, er twee keer zoveel ernstige slaaphinder bestaat bij hetzelfde geluidsvolume als volgens de in het beleid gebruikte BR-relatie uit 2002. Dit heeft forse gevolgen voor alle rapportages rondom het LVB, omdat bijvoorbeeld dan ook de kosten van slaapverstoring in MKBA's verdubbelen. Volgens (de Bruyn et al., 2017) kost één persoon met ernstige slaapverstoring gemiddeld €5700 per jaar aan maatschappelijke (en deels persoonlijke) kosten, zodat het totaal op zo'n €85 miljoen *extra* kosten per jaar komt. Dat zal de verschillen tussen 460.000 en 500.000 vliegbewegingen verder in het voordeel van 460.000 bewegingen doen verschuiven volgens (Behrens et al., 2025).

Maar er is meer aan de hand met de bepaling van de kosten van geluidhinder. Uit een pas recent openbaar geworden Engelse studie (Scott et al., 2021) blijkt dat de kosten van geluidhinder 12 tot 28 keer hoger liggen dan in de kosten-batenanalyses in het Verenigd Koninkrijk, maar ook in Nederland, wordt aangenomen. De huidige kosten per decibel liggen tussen de €60 en €228 afhankelijk van het geluidsniveau (Lieshout et al., 2021), vooral berekend uit de 'hedonistische' waardedaling van geluid belaste woningen en enige directe gezondheidskosten. Echter, door hinder en met name slaapverstoring, verliezen mensen welzijn waardoor ze ook minder goed kunnen presteren. Dat raakt direct aan de kwaliteit van leven en gezondheid, maar ook aan opleidingsmogelijkheden en carrièrekansen, woongenot, recreatiemogelijkheden in de eigen omgeving en indirect inkomen. Wanneer deze welzijn-gebaseerde kosten worden toegepast belopen de kosten voor geluidhinder miljarden in plaats van honderden miljoenen. Het gevolg is dat de geluidhinderkosten mogelijk sterk onderschat zijn, waardoor de economisch 'optimale' omvang van de luchthaven significant wordt overschat. Het is aanbevelingswaardig om een en ander in een gedegen onderzoek verder uit te diepen. Daarbij zou men ook mee kunnen nemen oe het komt dat de geluidscontouren door onder andere vlootvernieuwing langzaam kleiner worden, maar de hinder uit onderzoeken van bijvoorbeeld het RIVM eerder toe- dan afneemt. Tevens zou dergelijk onderzoek moeten verkennen wat de gevolgen zijn van de hierboven genoemde inzichten voor een evenwichtige omvang van de luchtvaart in Nederland.

Voor geluidhinder geeft onderzoek aan dat vooral nachtvluchten bepalen hoeveel hinder wordt ervaren (Bartels et al., 2018). Een strakker nachtregime wordt op sommige luchthavens met succes toegepast. Bij de berekening van de geluidhinder wordt vaak gebruik gemaakt van de zogenaamde L_{den} eenheid. Hierbij staat het subscript 'den' voor *day-evening-night*. Deze geeft een naar tijd van de dag en sterkte van elk geluid per vlucht gewogen optelling van het geluid alle vluchten. Daarbij worden nachtvluchten tien keer zwaarder meegeteld omdat bekend is dat deze meer hinder veroorzaken (Breugelmans et al., 2017). Daarom is het aantal nachtvluchten van groot belang voor de totale geluidsbelasting. Tegelijk blijkt dat de ***gerapporteerde*** hinder in de nacht juist minder is vergeleken met het over dag en nacht gewogen gemiddelde in L_{den} (van Poll et al., 2023). Dat kan echter mogelijk worden veroorzaakt doordat mensen de hinder niet opmerken omdat men dan slaapt, terwijl de kwaliteit van die slaap toch door het lawaai wordt verminderd. Behalve 'hinder' veroorzaakt geluid ook verminderde leerprestaties van kinderen en gezondheidsklachten als hartklachten (Basner et al., 2017).

Ten slotte is een weinig belicht aspect van vliegtuiggeluid de invloed op recreatie-, natuur en stiltegebieden. Uit een studie in opdracht van de provincie Noord-Holland (Natuur en Milieufederatie Noord-Holland, 2017), blijkt dat van de 41 stiltegebieden die de provincie rijk is, er 26 niet langer aan de voorwaarden voor het predicaat stiltegebied voldoen als gevolg van vliegverkeer. Daarvan zijn er zeven die ook door industrielawaai en/of wegverkeerslawaai die status zouden kunnen verliezen, maar dus 19 exclusief door vliegtuiggeluid. Ook is er weinig aandacht voor de gemeten relatie tussen de kwaliteit van recreatiegebieden en luchtvaartgeluid zoals bijvoorbeeld beschreven in (Rapoza et al., 2015).

Uit een studie naar de geluidsgevolgen van Maastricht-Aachen Airport op recreatie- en toerisme in het Heuvelland (Peeters et al., 2020) bleek dat het uitbreiden van het aantal vluchten van de huidige circa 6.000 naar de vergunde 19.000 kan leiden tot jaarlijks tussen €23 en €70 miljoen directe schade aan de toerisme-economie van het Heuvelland. Ook zullen de grote natuur- en stiltegebieden niet langer binnen de voor dergelijke gebieden geldende geluidsnormen blijven en *de facto* verloren gaan. Voor bezoekers van recreatie- en natuur- en stiltegebieden blijkt de gevoeligheid bij lage geluidsdruk veel hoger dan voor bewoners, maar bij hoge geluidsdruk juist lager. Dat laatste is hoogst waarschijnlijk het gevolg van het feit dat bezoekers die geluid als hinderlijk ervaren (Peeters et al., 2020), lawaaiige gebieden mijden, terwijl voor bewoners die mogelijkheid niet zo makkelijk is. Een van de mogelijke verklaringen hiervoor is dat de ervaren hinder onder andere gekoppeld is aan het piekniveau van het geluid. Door het toepassen van normen uitgedrukt in L_{den} wordt over een langere tijd het geluidsniveau gemiddeld en lijkt daarom lager te zijn.

2.3 Luchtkwaliteit

Emissies van vliegtuigen naar de lucht, met name die van stikstofoxiden en deeltjes, hebben een significante invloed op de gezondheid van de Europese bevolking: ongeveer 3700 mensen overleden hierdoor gemiddeld 11 jaar eerder; de externe kosten daarvan beliepen ongeveer 8 miljard Euro (EEA, 2018). Dit is berekend zonder naar de onverwacht hoge emissies van ultrafijnstof door vliegtuigmotoren te kijken (Alonso et al., 2018). Alonso et al. (2018) merken tegelijk op dat de maatregelen om NO_x emissies tegen te gaan ook deze ultrafijnstof emissies lijken te reduceren.

Dat Schiphol een invloed heeft op de fijnstofconcentraties in de wijde omgeving bleek uit een studie van Keuken et al. (2014), die aantoonden dat deze concentratie – gemeten in het Amsterdamse bos - ongeveer drie keer zo hoog waren op dagen met wind vanuit Schiphol vergeleken met andere dagen. Het is nog niet bekend in welke mate vliegtuigen aan deze verhoogde concentratie bijdragen. Uit internationaal onderzoek blijkt echter al duidelijk dat de concentraties van ultrafijnstof met een factor 3-5 hoger kunnen liggen onder de aanvliegroutes van vliegtuigen vergeleken met gebieden die niet onder zo'n aanvliegroute liggen maar een vergelijkbare verkeerssituatie op de grond kennen (Riley et

al., 2016). Uit onderzoek van Snijders en Melkert (2011) komen indicaties dat het gebruik van synthetische kerosine (*e-fuel*) de concentratie (ultra)fijnstof aanzienlijk kan reduceren. Dit is een effect dat vergelijkbaar is met de zwavelarme diesel in vrachtwagens. In de luchtvaart is tot nu toe nog geen zwavelarme kerosine ingevoerd. Het is de verwachting dat dit wel zal leiden tot een reductie van ultrafijnstof (Davydenko et al., 2024).

Uit een studie van het RIVM over de bijdrage van luchtvaart in een gebied rondom Schiphol aan de luchtkwaliteit (Visser & Hofman, 2022) blijkt bijvoorbeeld dat circa 10% van de stikstof-concentratie in de lucht[1] door de luchtvaart wordt veroorzaakt. Het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2023a) heeft ook laten onderzoeken of de luchtvaart bijdraagt aan zeer zorgwekkende stoffen in de atmosfeer. Dit blijkt beperkt het geval te zijn en vormt tussen de 1 en 5% van de concentratie in de lucht. Echter, op bijvoorbeeld platforms kan dit oplopen tot een derde (NLR, 2023).

Onze conclusie is dat vliegtuigen potentieel een beperkte invloed op de emissies van fijnstof en de luchtkwaliteit en gezondheid van mensen kunnen hebben.

3 Verduurzaming van luchtvaart: oplossingen

3.1 Inleiding en begripsontwarring

In de publieke discussie over verduurzaming van de luchtvaart zien we een grote begripsverwarring Men heeft het bijvoorbeeld over ‘elektrisch vliegen’ of ‘alternatieve brandstoffen’, maar beide begrippen zijn betekenisloos zonder naar de details te kijken van bijvoorbeeld hoe men de elektriciteit aan boord wil krijgen of over welk type alternatieve brandstof men het heeft. Daardoor kunnen de uitspraken ‘we gaan in de toekomst elektrisch vliegen’ en ‘duurzame brandstoffen lossen het klimaatprobleem op’ beiden zowel waar als onwaar zijn. Om de begrippen zinvol te maken moeten we meer details toevoegen. Het schema in Figuur 7 geeft dit aan.

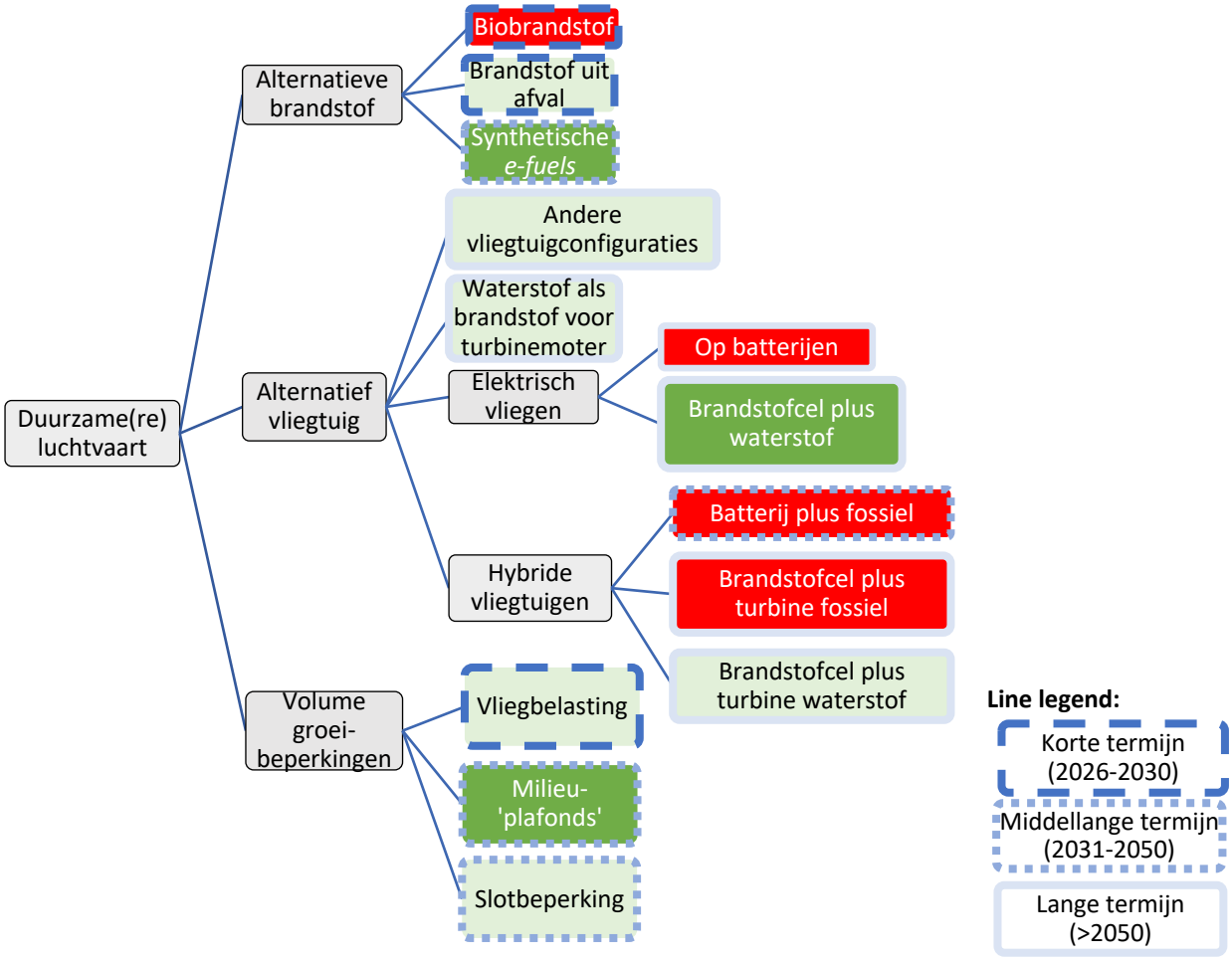
Grofweg zijn er drie primaire ontwikkelingen die bijdragen aan de verduurzaming van de luchtvaart:

1. Meer efficiënte vliegtuigen die per vervoerde passagier minder brandstof nodig hebben en daardoor ook minder uitstoot genereren.
2. Efficiëntere indeling en gebruik van het luchtruim waarbij er minder kilometers gevlogen moeten worden om de bestemming te bereiken
3. Alternatieve brandstoffen die minder of geen (netto) uitstoot geven.

Duidelijk mag zijn dat met de term ‘alternatieve brandstoffen’ zeer verschillende technologieën bedoeld worden, die bovendien, zoals we hieronder zullen laten zien, zeer verschillende mogelijkheden en uitdagingen hebben. Hetzelfde geldt voor ‘elektrisch vliegen’. Het is daarom van belang om in discussies steeds onderscheid te maken in welke brandstof of techniek precies bedoeld wordt.

Hier komt bij dat bijvoorbeeld een vliegtuig dat gebruik gaat maken van waterstof als brandstof ook een forse aanpassing van het ontwerp nodig heeft omdat waterstof veel meer ruimte in zal nemen dan kerosine. Zelfs als de waterstof vloeibaar gemaakt wordt, neemt deze bij een gelijke hoeveelheid energie, nog steeds vier keer meer ruimte in dan kerosine. De waterstof kan daarom lastiger alleen in de vleugels geplaatst worden en vraagt daarom waarschijnlijk ook om speciale tanks in de romp.

[1] Let op dat deze stikstofconcentratie in de lucht iets anders is dan de stikstofdepositie in de natuur, waar vooral landbouw voor verantwoordelijk is.



Figuur 7: Mogelijke ontwikkelingen richting een duurzame luchtvaart. Betekenis kleuren arcering: Donkergroen levert nul-emissies; lichtgroen levert milieuverbetering, en rood beperkte milieuwinst en/of grote technische obstakels. Betekenis kleuren en omlijning: donkerblauwe/strepen betekent dat het op korte termijn (2026-2030) resultaat opleveren, middelblauw/stippellijn kan op middellange termijneffect hebben (2031-2050), lichtblauw/lijn heeft alleen op lange termijneffect (>2050).

In de bovenstaande opties speelt groene waterstof een sleutelrol. Bij de meeste productieprocessen van biobrandstoffen en brandstoffen op basis van afval is groene waterstof een onmisbare grondstof. Ook bij de productie van de synthetische *e-fuels* is veel waterstof nodig. Uiteraard moet groene waterstof beschikbaar komen op luchthavens wanneer we met brandstofcelvliegtuigen of waterstofvliegtuigen gaan vliegen.

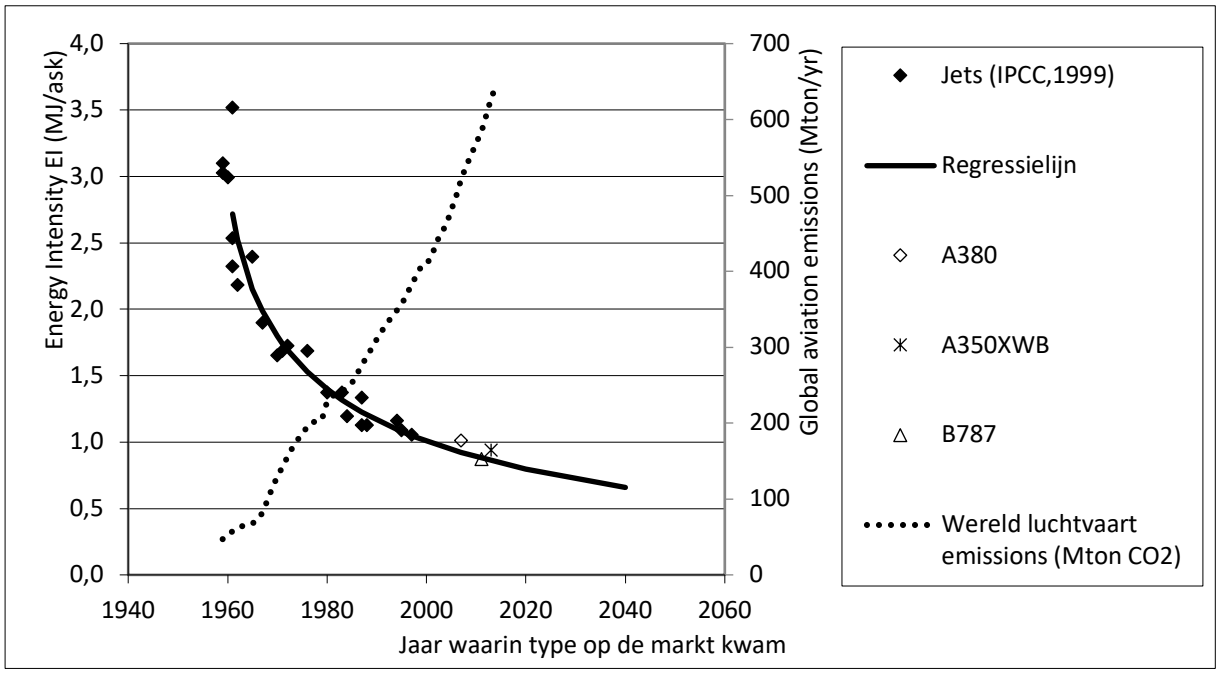
Alle bovenstaande opties gaan uit van een groei van de luchtvaart vooral gestuurd door de vraag, economische omstandigheden, en overheidsbeleid. Dat betekent echter niet dat als je op enig moment 1% vluchten zou weten te vermijden, dat je dan ook 1% emissies kunt besparen. Vraag en aanbodbeleid wordt in de wetenschappelijke literatuur zeer veelvuldig benoemd als onontkoombaar om nog iets van een serieuze klimaatdoelstelling te halen die ook in balans is met de inspanningen die van andere sectoren worden verwacht en van miljoenen mkb-bedrijven en huishoudens (bijvoorbeeld: Aamaas et al., 2025; Bergero et al., 2023; Gössling & Humpe, 2024; Katz-Rosene & Ambe-Uva, 2023; Peeters & Papp, 2024; Tilsted et al., 2026). Vanuit de sector en met name de nationale overheid bestaat daar veel weerstand tegen in Nederland, maar ook internationaal (ATAG, 2021).

3.2 Evolutionaire techniek en efficiëntie

Er wordt veel aandacht besteed aan het verbeteren van de brandstofefficiëntie van vliegtuigen in de discussie over klimaatverandering en luchtvaart. Dat klinkt ook logisch, want als je een passagier over één kilometer kunt verplaatsen voor de helft van de brandstof dan vermindert dat de totale emissies van de hele luchtvaart met de helft. Of als de luchtverkeersleiding voortaan de vliegpaden meer rechtstreeks maakt spaar je 5% brandstof en dus vermindert de totale emissie van de luchtvaart met 5%. Echter dat geldt alleen *ceteris paribus*: dus als alle andere omstandigheden gelijk blijven. Dat doen ze echter in de praktijk niet:

1. Een zuiniger vliegtuigtype is goedkoper om te vliegen
2. Zuiniger operaties verlagen de kosten per passagierskilometer
3. Meer passagiers per vliegtuig verlagen de kosten per passagierskilometer
4. Feedback loops die groei van de snelle en krimp van alternatieve vervoerwijzen veroorzaken eroderen de vermindering van de emissies nog verder

Bovenstaand mechanisme staat bekend als het “rebound-effect” (Guzzo et al., 2024). Hieronder bespreken we deze vier punten die laten zien dat verbeterde efficiëntie meestal niet leidt tot minder emissies maar tot meer vervoer voor minder gegroeide emissies.



Figuur 8: Ontwikkeling van de brandstofefficiëntie van vliegtuigtypes in het verleden en met een projectie voor de toekomst (Peeters & Middel, 2007). De totale emissies zijn gebaseerd op Peeters (2017)

Elke generatie vliegtuigen is gemiddeld genomen 15-20% zuiniger dan de voorgaande generatie. Omdat er elke 15-25 jaar een nieuwe generatie op de markt komt, verbeteren de emissies per afgelegde stoel-km van de wereldwijde vloot gemiddeld met 1-1,5% per jaar. Maar dit is niet genoeg, zoals Figuur 8 duidelijk illustreert. Dat komt doordat de groei van de luchtvaart met zo’n 3,5% per jaar veel groter is dan de verbetering van de brandstofefficiëntie.

Een vaak gehoord misverstand is dat brandstofefficiëntie sterk kan bijdragen aan de algemene doelstelling om in 2050 nul-emissies te behalen. Uit het bovenstaande blijkt al dat historisch de luchtvaart niet in staat is gebleken de netto groei van de emissies te stoppen, hooguit iets af te

vlakken. Maar om in de komende 24 jaar (2025-2050) in de buurt van nul-emissies te komen (we veronderstellen 99% minder dan in 2025) heb je, zelfs zonder groei van de luchtvaart, jaarlijks een brandstofefficiëntie verbetering van 17% nodig. Dat komt erop neer dat elke vliegtuigfabriek elk jaar met een nieuwe generatie vliegtuigen moet komen en dat is om economische en praktische redenen als technologieontwikkeling, veiligheidscertificatie van het type volstrekt onmogelijk.

Daarnaast is er sprake van autonome groei van de luchtvaart. Nog steeds gaan de langetermijn voorspellingen uit van een groei variërend van 3-4% per jaar. De uitstoot van deze groei zal ook moeten worden meegenomen. Die groei wordt gedreven door de technologische verbeteringen omdat die tot kostenverlagingen leiden. Niet alleen nemen de brandstofkosten af met 15-20% voor een nieuw vliegtuigtype, ook de directe operationele kosten voor een vliegkilometer flink af omdat al die nieuwe technologie doorgaans ook helpt om onderhoudskosten, turn-around tijden op luchthavens, vlieguren per jaar te verbeteren. Al in 2001 liet Lee et al. (2001) zien dat tussen 1955 en 2000 zowel het brandstofverbruik per stoel-kilometer als de directe operationele kosten (inclusief afschrijvingen) met twee-derde afnamen. Dat betekent, bij een prijsgevoeligheid van circa -1 (-.86) (Davydenko & Hilbers, 2024) dat een nieuwe generatie efficiëntere vliegtuigen leidt tot een extra volume groei die de emissie-winst vrijwel geheel teniet doet. Dat noemen we het rebound effect (Guzzo et al., 2024). Batteiger et al. (2022) geven een goede analyse van alle mogelijkheden. We zullen een aantal verder uitwerken in de volgende paragrafen.

Daarnaast moeten we bedenken dat toenemende welvaart en daarmee toenemende koopkracht ook leidt tot een groeiende vraag naar luchtvaart. Dit is op dit moment het sterkst te zien in Azië, met name in China en India.

3.3 Revolutionaire techniek

3.3.1 Andere configuratie van vliegtuigen

Sinds de introductie van het verkeersvliegtuig wordt er gevlogen met een configuratie die nagenoeg ongewijzigd is. Deze configuratie bestaat uit een cilindervormige romp met passagiers, vracht en bemanningen en twee vleugels die de benodigde draagkracht leveren en de brandstoftanks bevatten. Aan de romp of aan de vleugels worden twee of meer motoren geplaatst. Tenslotte zorgt de combinatie van het horizontaal en verticaal staartvlak voor de benodigde stabiliteit en besturing van het vliegtuig.

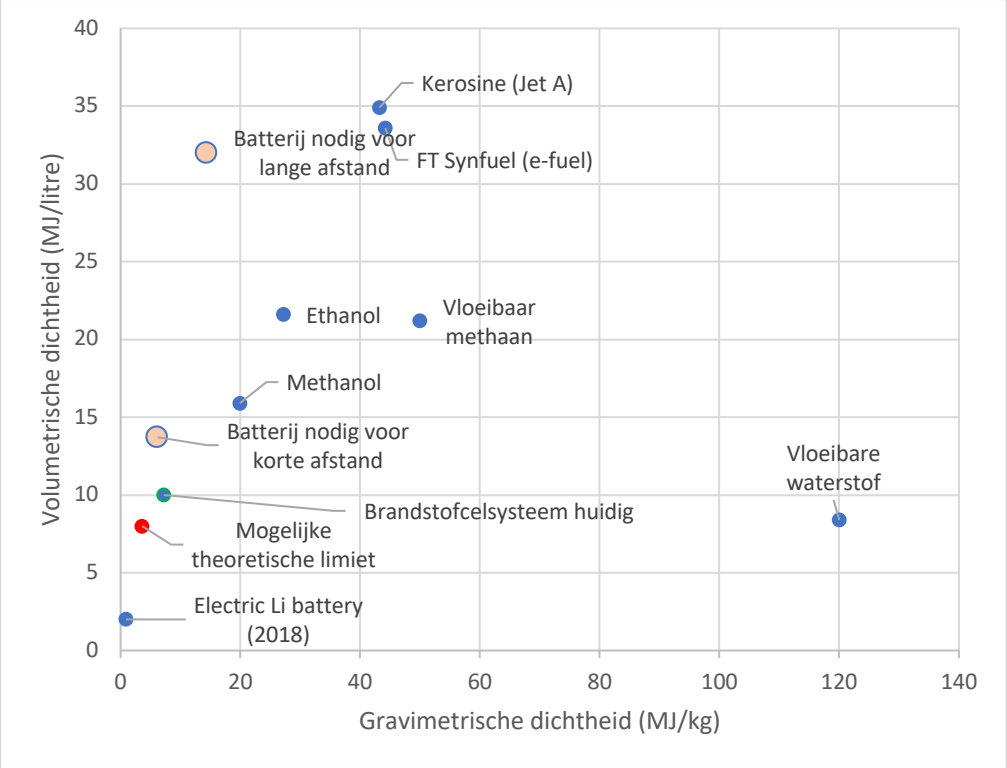
Deze zogenaamde "*tube and wings*" configuratie is in de loop der jaren sterk geoptimaliseerd en levert een zeer veilig en economisch vliegtuig. Er wordt echter ook al vele jaren nagedacht over andere configuraties. Een veel bestudeerd alternatief is de zogenaamde "*blended wing body*" configuratie. Daarbij vloeien de romp en de vleugels in elkaar over. Deze configuratie lijkt sterk op een vliegende vleugel. Voordeel van een dergelijke configuratie zijn vooral een lagere luchtweerstand, een hogere brandstofefficiëntie en mogelijk een lichtere constructie. Er zijn echter ook nog heel veel technische uitdagingen die moeten worden overwonnen die ervoor zorgen dat deze configuratie geen oplossing biedt voor de korte termijn. Ook de Flying-V zoals deze bij de TU Delft in ontwikkeling is biedt vergelijkbare voordelen. Ook de mogelijke invoering van vliegtuigen met deze configuratie zal nog geruime tijd op zich laten wachten. In de huidige luchtvaart kost het een decennium om een vliegtuig te ontwikkelen en daarna nog eens een tot twee decennia om de gehele vloot te vervangen omdat vliegtuigen lang meegaan en te duur zijn om snel af te schrijven. Ook het hoge veiligheidsniveau vraagt een zorgvuldige en tijdrovende analyse van dergelijke nieuwe configuraties. Ook is het aan de grote vliegtuigfabrikanten om te besluiten dergelijke vliegtuigen deze wel of niet te gaan bouwen. De Nederlandse kennisinstellingen kunnen significant bijdragen aan de initiële ontwikkelingen.

3.3.2 Elektrisch vliegen op batterijen

Op dit moment is een tweepersoons elektrisch vliegtuig van de firma Pipistrel, de Velis Electro, het enige gecertificeerde batterij-vliegtuig. Dit vliegtuig heeft een effectief vliegbereik van slechts 68 km (Pipistrel, 2024) bij de meest zuinige manier van vliegen. Het kritieke punt bij elektrisch vliegen is de batterijen. Voor de luchtvaart spelen niet alleen de veiligheid en de kosten een rol maar ook de energiedichtheid van de batterij (Eaton et al., 2023). De energiedichtheid zegt hoeveel energie er kan worden opgeslagen in een kilo batterij. Op dit moment kan er ongeveer 40-50 keer minder energie in een kilo batterij worden opgeslagen dan in een kilo kerosine (zie Figuur 9). De verwachting is dat batterijen nog flink zullen verbeteren maar dat daar mogelijk een limiet op zit na een factor drie (Figuur 6 in Epstein & O'Flarity, 2019). Wel is het zo dat de elektrische motor twee tot drie keer zo efficiënt is vergeleken met een turbinemotor en daardoor is ongeveer een derde van de energie in de batterij nodig vergeleken met de hoeveelheid die je in kerosine nodig hebt. Daar komt helaas weer bij dat het gewichtsvoordeel (en dus ook een voordeel in benodigde energie) dat een vliegtuig ervaart gedurende de vlucht door de verbranding van kerosine, niet geldt voor vliegtuigen met batterijen. De batterijen moeten de hele vlucht meegetorst worden. Het kost een significante hoeveelheid energie om deze massa batterijen te vervoeren.

Voor de kleine luchtvaart is elektrisch vliegen met batterijen mogelijk wel een oplossing voor een emissievrije toekomst. Maar ook daarvoor geldt dat de ontwikkelingen van luchtvaart-gekwalificeerde batterijen langzaam gaan. Het is de verwachting dat dit bereik in de toekomst zal toenemen en dat ook het aantal zitplaatsen zal toenemen. Het is echter niet realistisch aan te nemen dat dit op korte termijn, tussen nu en 2030, zal leiden tot vliegtuigen die op een batterijlading 500-1.000 km kunnen vliegen met 20 tot misschien 90 passagiers, zoals blijkt uit onderzoek (de Vries et al., 2024; Wolleswinkel et al., 2024). Hetzelfde onderzoek toont aan dat dit op termijn wel haalbaar zou kunnen zijn.

Elektrisch vliegen zal overigens niet stil zijn omdat de propellers van het vliegtuig een aanzienlijke hoeveelheid geluid zullen blijven produceren.



Figuur 9: Overzicht van de energiedichtheid met betrekking tot gewicht en volume voor kerosine, alternatieve brandstoffen en batterijen, brandstofcelsysteem huidige technologie op diverse studies.

3.3.3 Elektrische aangedreven vliegtuigen met waterstof en brandstofcel

Om in de grote luchtvaart elektrisch vliegen mogelijk te maken is een alternatief voor de accu nodig. Dat alternatief bestaat gelukkig: de brandstofcel. Dergelijke brandstofcellen maken van een brandstof rechtstreeks elektriciteit zonder verbranding. De meest voor de hand liggende optie is de brandstofcel op waterstof. Het idee bestond al eind jaren negentig (Peeters, 2000; Snyder, 1998), maar is recenter opnieuw sterk in de aandacht gekomen bij NASA (Snyder et al., 2009) en met een mooi voorbeeld van Nederlandse bodem (Delgado Gosálvez et al., 2018).

Hoewel in beide gevallen waterstof de energiebron is, zijn de verschillen tussen deze twee aanpakken zeer groot. Tabel 2 geeft de belangrijkste aan. Het belangrijkste punt is dat de luchtvaart weliswaar nul-CO_2-emissies kan bereiken met *e-fuels*, maar alleen met een brandstofcellen systeem in staat zal zijn zero-emissies te halen (daar komt alleen vloeibaar water uit). Bovendien zal de energiebehoefte van het hele systeem (*well-to-wing*) voor *e-fuels* zeer aanzienlijk hoger zijn dan voor zo'n brandstofcel vliegtuig. Dus ons advies is om deze optie heel serieus te bestuderen en te ontwikkelen, ook al zijn er nog heel wat technische dingen om op te lossen. Eén daarvan is de relatieve traagheid van brandstofcellen om snel op vol vermogen te komen, waardoor bij de landing een doorstart niet mogelijk is. Het lijkt erop dat Airbus dit oplost met een additionele hybride oplossing (extra turbine motor die de waterstof kan verbranden voor noodgevallen). ZeroAvia probeerde dit met een batterij die genoeg elektrische energie bevat (en door de brandstofcellen wordt bijgeladen) om een doorstart te kunnen maken op de elektrische motoren.

Tabel 2: belangrijkste verschillen tussen vliegtuigen met motoren die waterstof verbranden en vliegtuigen met brandstofcellen die elektrische motoren van stroom voorzien uit waterstof.

Kenmerk van het systeem	Waterstof verbranden in turbinemotoren	Waterstof met brandstofcellen en elektrische motoren
Energie-efficiëntie	0	+
Hoeveelheid waterstof benodigd	-	0
Ruimte energiesysteem	-	0
Gewicht energiesysteem	0	-
Niet-CO_2 emissies	-	+
Operaties als huidige vliegtuig	+	-
Kruissnelheid	0	-
Maximale range	Circa 6000 km	Circa 2000 km
Payload	200 passagiers	100 passagiers
Introductie in de markt	Na 2040	Technisch mogelijk tussen 2026 en 2035 (retrofit ATR-72 met 70 stoelen); de sector heeft echter geen fondsen hiervoor vrij weten te maken.

Op dit vlak zijn er inmiddels veel initiatieven. Het wrange is dat bijvoorbeeld Airbus zelf veel ambitieuzer is, maar dat die ambities om geopolitieke of puur politieke redenen door bijvoorbeeld de Franse overheid worden tegengewerkt.

Het Airbus ZEROe programma (Airbus, 2023) is een ambitieus programma van de grootste vliegtuigbouwer ter wereld om de volgende generatie vliegtuigen echt nul-emissies te maken. Het bedrijf heeft er al €1,7 miljard in gestoken (Daleo, 2025). Echter, de Franse overheid heeft in 2023 besloten om Airbus een ontwikkelsubsidie van jaarlijks €300 miljoen tussen 2024-2027 te geven voor de ontwikkeling van een conventionele opvolger van de A320 narrow-body serie vliegtuigen, dus toch met een verbrandingsmotor op kerosine (Flottau en Dubois (2023). Ter vergelijking: publieke steun aan startups die werken aan elektrische of waterstofvoortstuwing is beperkt tot een bedrag van zo'n van €65 miljoen.

Daarmee maakt de overheid dat de aanvankelijk ambitieuze plannen van Airbus en anderen worden gedwarsboomd terwijl de industrie er al fors in heeft geïnvesteerd. Zo heeft Airbus haar Zero-e-programma op de lange baan geschoven en denkt men nu aan introductie na 2040. Het is een duidelijk voorbeeld van hoe technologie die mogelijk is, juist ook door overheden wordt tegengehouden vanuit conservatieve politieke ideeën en een gebrek aan risico durven nemen.

Er zijn meer voorbeelden waaruit blijkt dat de ambitieuze mitigatie voorstellen van de sector, het erg waarschijnlijk niet gaan halen. Daardoor 'krijgt' de luchtvaart heel veel CO_2-ruimte cadeau terwijl het daar de kosten niet voor betaalt. Zo veroorzaken tien intercontinentale vluchten gemaakt tussen 2015

en 2025 (dus tien enkele reis vluchten) bij elkaar $25.000 aan kosten voor de toekomst tot het jaar 2100 (Burke et al., 2026). Maar er is geen enkel mechanisme in stelling gebracht om degenen die vliegen er ook voor te laten betalen. De nu voorgestelde vliegtaks voor lange afstandsvluchten van €59,43 vergoedt daarvan dus slechts 2,3%. Daar kom nog bij dat die $25.000 is berekend op een discontovoet van 2%, wat gematigd is, maar volgens bijvoorbeeld de rapporten van Stern (2006, 2025) op zulke termijnen beter onder de 1% zou blijven. Dat lijkt een arbitraire aanpassing, maar zou globaal de genoemde $25.000 schade door tien extra intercontinentale vlucht per jaar opschroeven naar $75.000. Het grootste deel daarvan komt overigens terecht bij het armste deel van de wereld als India en Brazilië (Burke et al., 2026).

Technisch is er geen reden om luchtvaart niet als een gewone sector te behandelen. Economisch en vanuit 'climate justice' principes trouwens ook: een recente studie laat zien dat slechts vier van 29 indicatoren van nut, noodzaak, economische bijdrage en klimaatfatsoen het wereldwijde aandeel van 5-8% van het overgebleven CO_2 budget ondersteunen, zelfs voor scenario's met ambitieuze mitigatie via SAF, technologie en efficiency (Peeters et al., 2026, pre–accepted). Toch wordt krampachtig de mythe in stand gehouden dat de wereldeconomie instort als er geen groei van de luchtvaart meer zou zijn de komende decennia tot Airbus en Boeing met de oplossing komen in 2040 of 2050. In de tussentijd zijn er veel startups die aan oplossingen werken maar nooit op de schaal van een Airbus kunnen komen om de tientallen miljarden te investeren die nodig zijn en ook ruim voorradig in de luchtvaartindustrie.

Beide partijen zijn essentieel, omdat die startups sneller innoveren en de grote vliegtuigbouwers de technische, organisatorische ne financiële resources hebben om een volwaardig verkeersvliegtuig te ontwerpen, testen, certificeren en bouwen. Helaas gaan door het gebrek aan structurele financiering van de startups technisch en economisch kansrijke projecten steeds opnieuw failliet. Zeer kansrijke projecten waren ZeroAvia en Universal Hydrogen. ZeroAvia is eind 2026 in financiële moeilijkheden gekomen ook al hebben ze het concept van brandstofcel-waterstof-elektrisch aangetoond met testvluchten met zowel en zes-zitter als een Dornier 228 19-zitter. Universal Hydrogen koos ook de weg van retrofit en vloog al in 2023 een prototype van een half omgebouwde De Havilland Dash 8 (1 gewone motor en eentje elektrisch). Dit toestel heeft zo'n 40 zitplaatsen en zou prima kunnen vliegen op veel korte routes. Verder was men bezig met de ombouw van een ATR-72, een 70-zitter om hetzelfde te testen.

Nederlandse kennisinstellingen doen onderzoek op het gebied van waterstof aangedreven vliegtuigen. Het Koninklijk NLR heeft al diverse drones gevlogen. De TU Delft heeft voor de Koninklijke Marine de zogenaamde Neder-drone ontwikkeld en in de praktijk getest en is betrokken bij veel meer soortgelijke projecten. Het bovenstaande maakt duidelijk dat het gebruik van brandstofcellen weliswaar de afgelopen jaren veel aandacht heeft gekregen, maar dat de luchtvaartindustrie op geen enkele manier bereid of in staat lijkt te zijn, deze ontwikkeling werkelijkheid te maken. Terwijl de techniek er is, de basis ligt al meer dan een kwart eeuw geleden (Peeters, 2000; Snyder, 1998; Snyder et al., 2009). Dat was blijkbaar onvoldoende tijd voor een sector met een groot duurzaamheidsprobleem op klimaatgebied om de miljarden te generen uit de vele honderden miljarden die de sector jaarlijks omzet.

Het is daarom ook goed dat dit onderwerp wel ruime aandacht krijgt in het groeifondsprogramma 'Luchtvaart in Transitie'. Dit programma bevat in totaal 371,5 miljoen euro voor de periode tot 2030 en wordt breed ingezet, dus zeker niet alleen voor brandstofcel-elektrisch. Dat is misschien wel nodig omdat juist die technologie technisch de meest kansrijke optie voor een nul-emissies luchtvaart met grote vliegtuigen op de lange termijn is. Daarom zullen de technische en economische uitdagingen aangegaan moeten worden om situaties met uit de hand gelopen klimaatverandering of een zeer sterk gekrompen luchtvaartsector te vermijden. Het is daarom goed dat het gebruik van waterstof in het onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma 'Luchtvaart in Transitie' ruim aandacht krijgt, maar de

financiële ruimte daarvoor lijkt te gering om de ontwikkeling daadwerkelijk en binnen enkele decennia voor elkaar te krijgen.

3.3.4 Waterstofvliegtuigen

Daarnaast is er ook toenemende belangstelling voor het gebruik van waterstof in turbine-motoren. Ook dat idee is verre van nieuw en al in de jaren 80 vlogen de Russen een omgebouwd passagiersvliegtuig op waterstof (zie ook (Brewer, 1991). Voor waterstof geldt dat het weliswaar aanzienlijk minder zwaar is, maar ook aanzienlijk meer ruimte nodig heeft. In een vliegtuig zijn zowel gewicht als ruimte altijd erg schaars en daarom hebben dergelijke brandstoffen een grote impact op het vliegtuigontwerp en zeker ook de kosten en tijd gemoeid met het ontwikkelen van een vliegtuig op een dergelijke brandstof.

Waterstof is in die zin wel een apart geval. De energiedichtheid van waterstof is namelijk veel hoger dan die van kerosine (zie Figuur 9) voor gewicht (bij vloeibaar waterstof een factor 3) maar juist veel lager voor volume (bij vloeibaar gemaakt waterstof nog steeds een factor 4). Waterstof kan naar alle waarschijnlijkheid ook gebruikt worden in de huidige generatie motoren (Kivits et al., 2010), al zijn daarvoor wel aanpassingen aan motoren nodig. Nadelen van waterstof zijn dat er erg veel volume nodig is om het op te slaan en dat het daardoor gekoeld of onder hoge druk bewaard moet worden en dat het licht ontvlambaar en explosief is. Wöhler et al. (2023) geven een indicatie dat ook langeafstandsvliegtuigen met waterstof als brandstof technisch toch ook wel mogelijk zouden moeten zijn. Veel details ontbreken eigenlijk nog.

Miller et al. (2023) laten zien dat met het gebruik van waterstof een aanzienlijke reductie te bereiken is in de klimaat-impact van de luchtvaart, maar alleen als groene waterstof wordt gebruikt. Ook is vormt de waterdamp die dergelijke motoren uitstoten een risico voor de vorming van contrails die kunnen uitgroeien tot cirrusbewolking en een fors netto opwarmend klimaateffect kunnen hebben.

3.3.5 Hybride vliegtuigen

Vaak worden ‘hybride vliegtuigen’ voorgesteld om de emissies naar nul te brengen. Helaas is dat in de meeste gevallen niet mogelijk, want hybride betekent in die gevallen een mix van bijvoorbeeld een batterij plus elektrische motor naast een volwaardige door fossiele energie gedreven voortstuwing. Deze dubbele motor en brandstof/energiesystemen hebben allereerst een enorm gewicht, ruimte- en kostennadeel, maar bovendien blijkt de batterij in de meeste gevallen slechts een paar procent van het totale energiegebruik te dekken en de reductie van de CO_2-emissie is navenant gering. Soms worden ook waterstof en batterijen of waterstofverbranding en waterstof in brandstofcellen gebruiken als hybride voorgesteld. Hoewel daar meer potentie in zit, de veel te zware batterij blijft weg en beide voortstuwingssystemen zijn zonder CO_2-emissies, blijf je zitten met veel extra complexiteit en kosten.

Toch laat bijvoorbeeld de Vries et al. (2024) zien dat ook een hybride vliegtuig vrijwel nul-emissies kan worden. Dat is gelukt door de wettelijk verplichte reserve-energie die een vliegtuig aan boord moet hebben niet in de vorm van accu’s mee te nemen maar als gewone brandstof. Omdat deze reserve vrijwel nooit hoeft te worden aangesproken komt er bij normale vluchten nooit CO_2 vrij, terwijl het een forse gewichtsbesparing oplevert.

3.4 Alternatieve brandstoffen

De standaard brandstof in de luchtvaart is op dit moment fossiele kerosine, die een beetje vergelijkbaar is met diesel en gemaakt uit aardolie. De hoeveelheid energie die in een kilogram kerosine zit is hoog. Voor de luchtvaart is dit van groot belang omdat letterlijk elke gram telt. Daarnaast is kerosine niet licht ontvlambaar en bevriest niet als een vliegtuig op grote hoogte vliegt.

Kortom, een ideale brandstof voor vliegtuigen. Een probleem met veel alternatieven zoals ethanol, methanol en vloeibaar methaan, is dat hun energiedichtheid lager is dan van kerosine (zie Figuur 9).

Om de huidige vloot te kunnen gebruiken en toch de emissies sterk te verlagen is het ook mogelijk zogenaamde "*drop-in"* brandstoffen toe te passen. Internationaal staan ze bekend als SAF: "*Sustainable Aviation Fuels*". Deze brandstoffen kunnen door bestaande vliegtuigen en de daarbij behorende brandstofdistributiesystemen gebruikt worden. Deze drop-in brandstoffen zijn bijna identiek aan fossiele kerosine en mogen nu al tot 50% worden bijgemengd. De verwachting is dat op termijn dit bijmengen tot 100% wordt toegestaan. Mogelijke vormen van SAF zijn bio-kerosine, kerosine uit afval, *Power-to-liquid* (PtL, ook wel *solar fuel* of *e-fuel* genaamd). Al deze brandstoffen zijn vloeibaar en hebben een energiedichtheid die (bijna) identiek is aan die van kerosine. Omdat de kosten en milieugevolgen nogal verschillen kan men beter niet alleen over SAF spreken. Daarom gebruiken we de volgende drie codes waar relevant:

- SAF-B voor biobrandstoffen
- SAF-W voor brandstoffen uit afval (W van Waste)
- SAF-E voor *e-fuels*. Deze worden ook wel PtL-brandstof genoemd, wat staat voor het productieproces (Power-to-Liquids).

Bio- en afval-brandstoffen (SAF-B en SAF-W) zijn schoner dan fossiele brandstoffen omdat er minder zwavel en andere verontreinigingen inzitten. De verbranding is daardoor dus ook schoner. Experimenten van TU Delft hebben dit aangetoond (Snijders & Melkert, 2011). Dit heeft dus meteen effecten op de lokale luchtkwaliteit rond luchthavens. Op levenscyclus basis is de besparing op CO_2 "van vrijwel geen besparing" tot 85% (de Jong et al., 2017). Nadelen zijn de relatief geringe energie omzettingsefficiëntie van bladgroen (Biello, 2012) met algen (SAF-B) als eenzaam hoogtepunt op maximaal 3%, nog altijd tot tien keer minder dan de beste zonnecellen. Daardoor is veel ruimte nodig tussen de 200 en 6.000 liter/ha (algen 60.000).

Een vanuit milieu oogpunt veelbelovend alternatief zijn de *e-fuels* ofwel SAF-E (Schmidt & Weindorf, 2016; Terwel & Kerkhoven, 2017). Hierbij wordt kerosine gemaakt van CO_2 uit een industriële bron (CCU; *carbon capture and usage*) of rechtstreeks uit de lucht. De benodigde energie voor dit proces moet uit duurzame bronnen (wind, zon, waterkracht) gehaald worden om de CO_2-emissies naar bijna nul te kunnen reduceren. Het voordeel van deze brandstof is dat ze geen 'vruchtbare' grond nodig heeft en dus niet zo makkelijk interfereert met de productie van voedsel of natuur en ook goed toepasbaar is in de luchtvaart. Ten opzichte van biobrandstoffen gebruiken ze ongeveer tien keer minder ruimte, honderd tot duizend keer minder water en is de levenscyclus reductie van CO_2 bijna 100% (Schmidt & Weindorf, 2016; Schmidt et al., 2023).

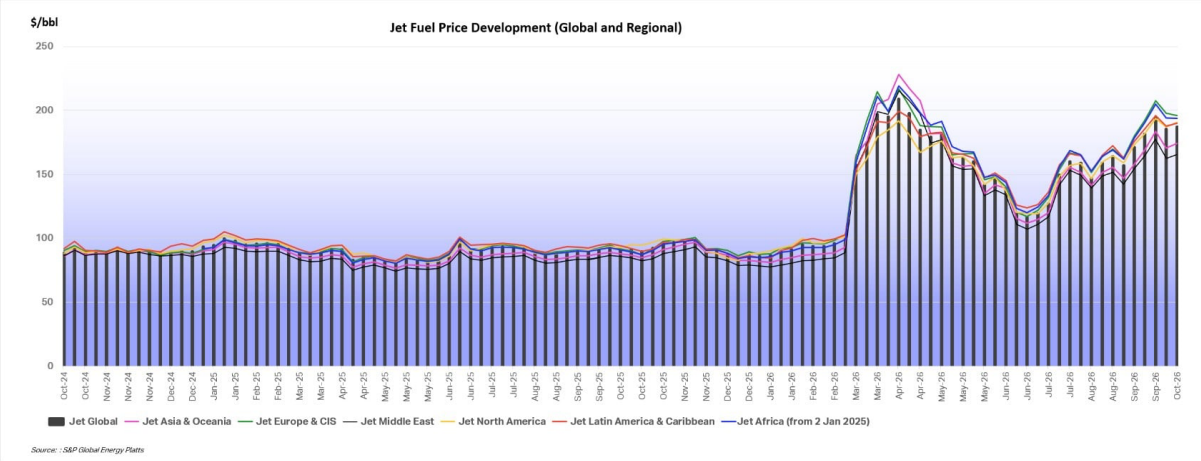
Nadelen zijn ook hier weer de beschikbaarheid en de kosten. Wat de kosten betreft kan men stellen dat deze goed door de sector gedragen kunnen worden wanneer er wereldwijd in de pas lopende bijmengmandaten worden ingevoerd. Uitgaande van een introductie pad tot 100% *e-fuel* in 2050 en viervoudige kosten voor SAF-E (PtL in de grafiek) vergeleken met fossiele kerosine laat Figuur 11 zien wat het gevolg voor de ticketkosten zal zijn. Deze blijken niet hoger te worden dan de afgelopen tien jaar en de veranderingen zullen geleidelijk verlopen vergeleken met eerdere normale marktontwikkelingen. Derhalve lijkt er geen reden te zijn om aan te nemen dat dergelijke mandaten, kostentechnisch, niet door de luchtvaartsector opgevangen zouden kunnen worden. Voorwaarde is dan wel dat dergelijke mandaten voor alle luchtvaartmaatschappijen gelden om ongelijke concurrentie te voorkomen.

Binnen Europa zijn afspraken gemaakt voor de verplichte bijmenging van duurzame kerosine. Dit is begonnen in 2025 met een verplichting van 2%. Deze zal richting 2050 steeds verder oplopen. De eerstvolgende stap is een bijmengverplichting van 6% in 2030. In 2050 moet dit 68% zijn. In 2070 wil

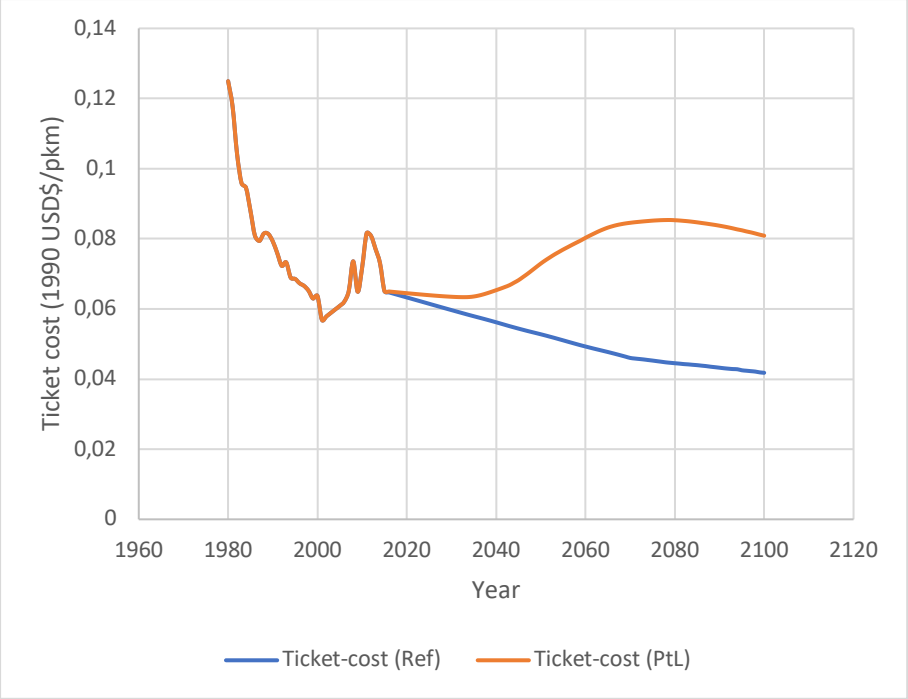
men dat de emissie van luchtvaart is gedaald naar 0 (Luchtvaartnota, 2020). KLM heeft in 2025 al 4,6% bijgemengd (KLM, 2026).

Binnen de Europese ReFuel bijmengverplichting komt vanaf 2030 ook een deelverplichting voor *e-fuels*. In 2030 moet dit 1,2% zijn In 2050 moet dit 35% zijn (European Parliament & European Council, 2023). Deze regeling geldt voor alle Europese luchthaven die 800.000 of meer passagiers afhandelen. Daarbij geldt ook de verplichting tankering te minimaliseren. Tankering is de methode waarbij vliegtuigen niet alleen brandstof voor de heenvlucht meenemen maar ook voor de terugvlucht om niet te hoeven bijtanken (Peeters et al., 2021). Dit bespaart tijd en kan afhankelijk van de lokale brandstofprijzen ook geld besparen. Het meevoeren van extra brandstof maakt vliegtuigen zwaarder waardoor ze meer brandstof gebruiken. Het kost brandstof om brandstof mee te nemen. De regeling verplicht luchtvaartmaatschappijen ervoor te zorgen dat de jaarlijkse hoeveelheid brandstof die op een bepaalde luchthaven van de EU wordt getankt, ten minste 90% bedraagt van hun jaarlijkse behoefte aan luchtvaartbrandstof.

Op dit moment zien we dat de prijzen van kerosine aanzienlijk hoger liggen dan een jaar geleden. Door de oorlog tussen de VS en Iran verdubbelde de prijs van kerosine binnen een paar weken. Vanwege hedging, het ruim van tevoren inkopen van kerosine door luchtvaartmaatschappijen, bleef het effect hiervan op de ticketprijzen in eerste instantie beperkt. In de tussentijd lijkt de kerosineprijs langere tijd hoog te blijven, zie Figuur 10. Dit leidt hier en daar tot problemen voor luchtvaartmaatschappijen maar nog niet tot grootschalige vraaguitval.



Figuur 10: Overzicht van de kerosineprijzen over de wereld uitgedrukt in dollar per vat (bron: IATA Jet Fuel Price Monitor)



Figuur 11: mogelijk verloop van de ticketprijs bij een wereldwijde gemandateerde introductie van e-fuels tot 100% in 2050. Gebaseerd op analyses met het dynamische Global Tourism & Transport Model (Peeters, 2017). Noot: De ticket-cost (PtL) zijn berekend op basis van de kosten van SAF-E (de hoogste van de drie types SAF-E, SAF-B en SAF-W). SAF-E, e-fuels en Ptl (power-to-liquids) worden vaak als equivalenten gebruikt.

De rol van *e-fuels* zou groter moeten worden om conflicten met landgebruik en andere duurzaamheidsproblemen te voorkomen. Overigens geeft het ministerie aan dat de hoeveelheid duurzame energie benodigd voor de productie van *e-fuels* conflicteert met de problemen die Nederland heeft om voor alle sectoren voldoende te produceren. Daarom merken wij op dat dergelijk *e-fuels* fabrieken zowel vanuit kosten als doelmatigheidsperspectief beter in landen met zeer veel zon aangelegd kunnen worden. Wat we nodig hebben is een wereldwijde SAF-beurs, die er in de komende tien tot twintig jaar voor zorgt dat de brandstof verspreid kan worden gekocht, maar in eerste instantie vooral op de meest efficiënte plek kan worden geproduceerd, en gebruikt. Dat maakt de introductie van de eerste paar procenten *e-fuel* aanzienlijk doelmatiger dan wanneer iedereen op kleine schaal eigen fabriekjes gaat bouwen of dat SAF eerst over grote afstanden vervoerd moet worden voordat deze in een vliegtuigtank belandt. Zo'n SAF-beurs werkt vergelijkbaar als groene stroom die ook niet per adres wordt geleverd maar in de gehele elektriciteitsmix zit.

Becken et al. (2023) hebben een uitgebreide analyse gemaakt van mogelijke transitiepaden naar duurzame brandstoffen voor de luchtvaart. Op de middellange termijn zal dit grotendeels een vorm van biobrandstof zijn. Op de lange termijn, richting 2050 zullen dat met name *e-fuels* worden. Zij waarschuwen dat er rekening moet worden gehouden met een behoorlijk beslag op beschikbare biomassa en de beschikbare duurzame energie. Met name voor SAF-E is relatief veel duurzame energie (zon en wind) nodig om alle kerosine in 2050 te vervangen (Schmidt et al., 2023). Uit wereldwijde scenariostudies blijkt dat een (sterke) groei van de luchtvaart moeilijk verenigbaar is met die energiebehoefte omdat luchtvaart dan onevenredig grote aandelen van de duurzame energie gaat gebruiken. Zelfs zonder groei en met alle denkbare conventionele technologieontwikkeling blijkt dat aandeel tot 10% op te lopen (Peeters & Papp, 2023).

Daar waar de beschikbaarheid van duurzame vormen van kerosine een paar jaar geleden nog verwaarloosbaar was zitten we momenteel in de eerste fase van opschaling. Eurocontrol (2023) geeft aan waar deze al beschikbaar is. De bijmengverplichting die vanuit de EU wordt opgelegd gaat helpen bij deze opschaling. Het garandeert een afzetmarkt. Daarmee wordt het interessant voor producenten om te gaan investeren in meer en grotere productiefaciliteiten. Men verwacht nu wel een probleem aan productiecapaciteit bij de tweede stap in 2030.

Nederland heeft ambities om sneller te gaan. Het bijmengen van duurzame kerosine kan ook gaan leiden tot een verminderde vorming van contrails (Märkl et al., 2023). In de tussentijd komen ook steeds meer processen beschikbaar om deze brandstoffen op een duurzame manier te produceren (Schäppi et al., 2022). Bij biobrandstoffen blijft daarbij noodzakelijk goed in de gaten te houden welke bronmaterialen gebruikt worden (Suzan, 2023; The Royal Society, 2023) zodat duurzaamheid gegarandeerd blijft. Het zal hierbij noodzakelijk blijven in onderzoek te investeren.

3.5 Bedrijfseconomische aspecten en tijdpaden van maatregelen

Wat zijn realistische tijdpaden voor de inzet van de nieuwste technologieën door de luchtvaartmaatschappijen? Wat zijn belemmeringen en kansen voor versnelling van deze inzet en voor bijvoorbeeld uitfasering van de minst duurzame vliegtuigen in burgerluchtvaart? Antwoorden op de vraag hoe de techniek zich kan ontwikkelen zijn niet eenvoudig te geven en economische gevolgen daarvan zelfs nog lastiger. Tabel 3 geeft de belangrijkste mogelijkheden voor verduurzaming met tijdpaden en - deels kwalitatief - enige opmerkingen over de kosten.

Tabel 3: Overzicht belangrijkste maatregelen en hun bedrijfseconomische aspecten.

Technologie	***Effect***	***Ontwikkeltijd***	***Luchtvaart-brede implementatie***	***Economie***
Evolutionaire technologie, effect op het niveau van de wereldwijde vloot	*Nu tot 2050: 1,0%/jr -1,5%/jr 2050-2100: 1,0%/jr-0,7%/jr*	*Stapsgewijs per generatie ca 15% per 15-25 jaar*	*Voortdurend*	*Intern deel luchtvaartsysteem*
Revolutionaire vliegtuig configuraties	*Zo'n 10-20% additionele efficiëntie-verbetering*	*20-30 jaar*	*Na 2060 maar vergt nu significante investeringen in fundamenteel en toegepast onderzoek.*	*In beginsel kan dit binnen sector; probleem is het risico van de vele tientallen miljarden ontwikkelkosten per type plus aanpassingen infrastructuur*
Elektrisch vliegen (batterij)	*100% mits 100% duurzame energiebronnen*	*Korte afstand: 20-40 jaar* *Lange afstand: op basis van huidige*	*Korte afstand: na 2080* *Lange afstand: niet deze eeuw*	*Volledige invoering brengt mogelijk honderden miljarden ontwikkelkosten*

Technologie	***Effect***	***Ontwikkeltijd***	***Luchtvaart-brede implementatie***	***Economie***
		kennis waarschijnlijk nooit		
Elektrisch vliegen (Waterstof, brandstofcel)	*100% mits 100% duurzame energiebronnen*	*Korte afstand: 10 jaar* *Lange afstand: 20 jaar*	*Korte afstand: na 2040* *Lange afstand: na 2080*	*Volledige invoering brengt mogelijk honderden miljarden ontwikkelkosten*
Biobrandstoffen	*40-85%*	*Geen voor 1ste en 2de generatie;* *10 jaar voor 3de (bv algen)*	*2-3% vervanging per jaar*	*Brandstofkosten circa 1% tot 10% per jaar omhoog in 2-3% vervanging per jaar pad*
e-fuels (PtL)	*95-100% mits duurzame bronnen*	*Via CCU: 5 jaar* *Via CCA: 10-15 jaar*	*2-3% vervanging per jaar; in 30 tot 50 jaar volledige vervanging. Op dit vlak zou Nederland een voortrekkersrol kunnen spelen.*	*Brandstofkosten circa 2% tot 18% per jaar omhoog in 2-3% vervanging per jaar pad*
Aanpassing vliegprocedures ter vermijding niet-CO_2 klimaateffecten en "omvliegen"	*Circa 40% klimaateffect; noot: circa 10% **toename** CO_2*	*Afhankelijk internationale regelgeving (10 jaar)*	*Afhankelijk internationale regelgeving (10 jaar)* *Invoering van de Single European Sky is daarbij gewenst.*	*Circa 3-10% extra operationele kosten*
Invoering Single European Sky	*5-10%*	*Kan met bestaande vliegtuigen worden ingevoerd*	*Invoering in Europe*	*Reductie van operationele kosten*

4 Duurzaamheid versus economie

4.1 Intro

Duurzame ontwikkeling wordt vaak gezien als een afweging tussen mens, milieu en economie, de zogenaamde "Triple Bottom Line" (Elkington, 1997). Daarbij gaat men ervan uit dat bijvoorbeeld een bedrijf, sector of land niet alleen naar het milieu moet kijken, maar ook naar de voordelen en nadelen voor de mens en de economie. In de eerste drie versies van het Factsheet hebben we de economische tak grotendeels buiten beschouwing gelaten.

Echter, het argument van de economie speelt een centrale rol bij de ontwikkeling van het luchtvaartbeleid zowel in de motivatie als de uitwerking ervan. Bovendien zijn juist de inzichten over het berekenen van maatschappelijke kosten en baten van luchtvaart nogal veranderd de afgelopen jaren, onder andere door de nieuwe richtlijn voor de Maatschappelijke Kosten- en Baten Analyse (MKBA) uit 2021 (Lieshout et al., 2021). Daarnaast heeft het denken over de afweging tussen milieu, mens en economie een sterke ontwikkeling doorgemaakt. Daarin nam (Elkington, 2018) in 2018 eigenlijk afstand neemt van het zogenaamde triple P-idee van evenwicht tussen *people, planet en profit*. Triple P was een drijvende kracht achter de verduurzaming van bedrijven. Ook wordt steeds vaker uitgegaan van harde milieugrenzen, waarbinnen de mens en haar economisch gedrag zich moet bewegen (Rockström et al., 2023). Doet de mens dat niet, dan dreigt een situatie waarin de planeet de mensheid steeds minder goed kan dragen en ecosystemen ineenstorten (Fanning & Raworth, 2025).

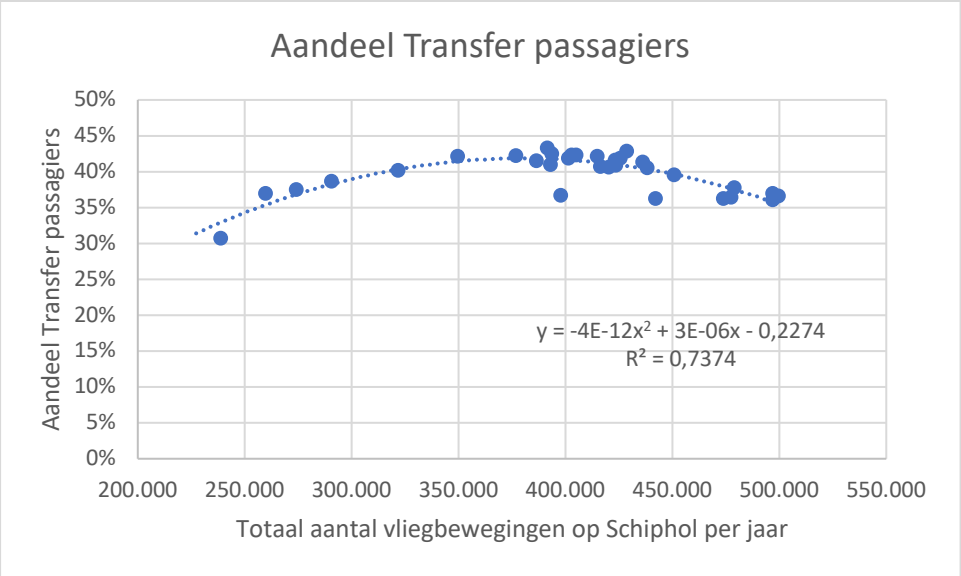
4.2 Algemene economische bijdrage van luchtvaart

Je kunt op twee manieren naar de economie en capaciteit van een luchthaven kijken, namelijk ***'bruto'*** en ***'netto'*** (de Pater et al., 2024). De bruto benadering is statisch, dat wil zeggen je maakt als het ware een foto van de economie in een bepaald jaar en berekent het aandeel van de luchtvaart binnen de werkgelegenheid, het bruto nationaal product, etc. binnen die foto. De netto benadering is juist dynamisch waarbij je kijkt hoe een *verandering* van de luchthaven (groei, krimp, netwerk, hub-functie) zou kunnen doorwerken in de hele Nederlandse economie. De ***bruto*** benadering levert weinig structurele informatie over de rol van een luchthaven in de economie, maar is wel de meest populaire benadering in politieke en maatschappelijke discussies. De netto benadering levert veel meer beleidsrelevante informatie en wordt toegepast in maatschappelijke kosten en batenanalyses (MKBA), zoals (Behrens et al., 2025). Uit dat laatste rapport blijkt dat volgens een ***netto*** benadering de Nederlandse economie in 2030 beter af is met een Schiphol van 460.000 vluchten dan eentje met een capaciteit van 500.000.

Het rapport van Wennink (2025) wordt regelmatig geciteerd als het ultieme bewijs voor het grote belang van Schipphol voor de Nederlandse economie. Wennink (2025, p. 72) stelt bijvoorbeeld over het belang van de hoofdkantoren die door Schiphol worden aangetrokken, dat de "Nederlandse en buitenlandse multinationals … bijna één derde van ons bbp en ruim driekwart van de Nederlandse export" vormen. Dat zijn nogal grote getallen en die hangen maar ten zeer ten dele rechtstreeks van het aantal vluchten of de hub-functie van Schiphol af. De redenering van Wennink (2025) is typisch een ***"bruto"*** benadering en vertelt daarom weinig over de structurele impact van een luchthaven, haar capaciteit en haar altijd lagere, daadwerkelijke gebruik. Hoewel Wennink verwijst naar de Pater et al. (2024), negeert hij de ***netto*** benadering.

Het bruto/netto geldt ook voor de rol van de capaciteit van een luchthaven en de mogelijkheden om als hub te functioneren. Het verband tussen de kwaliteit van een economie en de mate waarin de lokale luchthaven als hub functioneert is verre van eenduidig (de Pater et al., 2024). Figuur 12 laat bijvoorbeeld zien dat het aandeel transferpassagiers niet sterk afhankelijk is van de omvang van

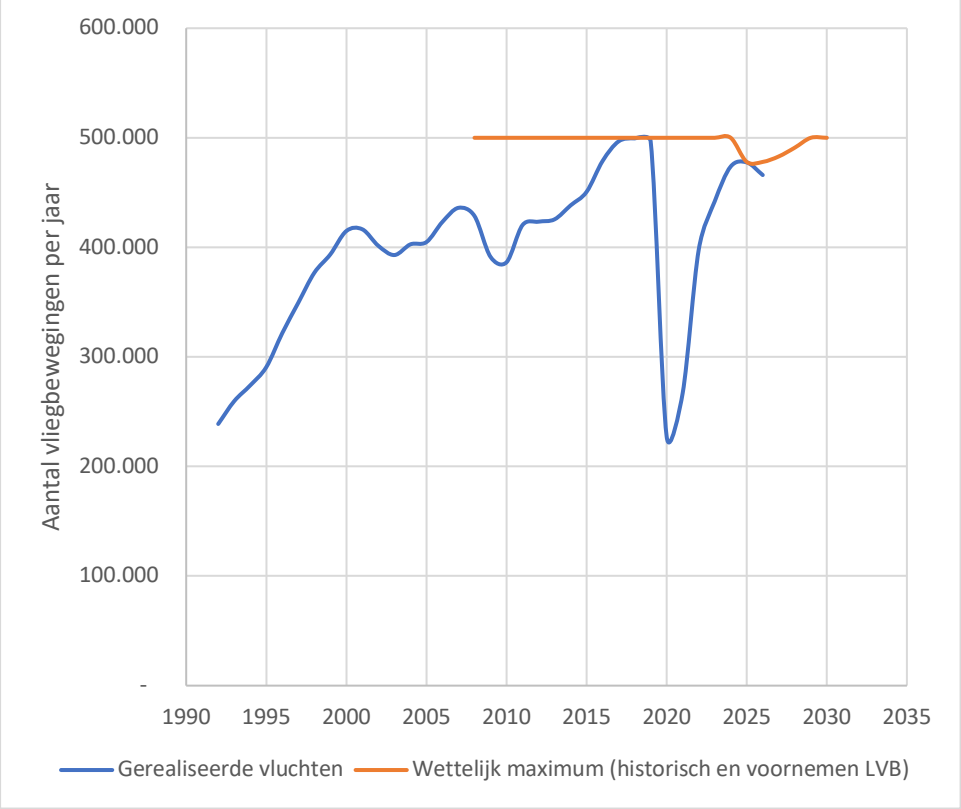
Schiphol. Voor een aantal vluchten per jaar (daadwerkelijk gevlogen, niet de toegestane capaciteit) van tussen de 250.000 en 500.000 vinden we een transferpercentage tussen 35% en 43%, met een hoogste waarde rond 400.000 vluchten en een juist weer teruggelopen aandeel van 35% bij 500.000. Daarom is het idee dat de hub sterk wordt versterkt of ernstig belemmerd een weinig realistisch idee in relatie tot een eventueel afschalen met zelfs tientallen procenten van het aantal toegestane vluchten. Figuur 14 laat zien dat behalve het transferaandeel, ook het absolute aantal transfer passagiers al sinds 2012 schommelt tussen 20 en 25 miljoen maar al twintig jaar geleden de twintig miljoen bereikte. De algemene groei van het aantal vluchten heeft niet direct invloed op het aantal transferpassagiers.



Figuur 12: percentage transfer als functie van het aantal daadwerkelijk, uitgevoerde vluchten vanaf Schiphol tussen 1990 en 2025 (Schiphol, 2026).

Ook spreekt Wennink (2025) van ‘verdere krimp’ van de luchthaven, terwijl Figuur 13 duidelijk laat zien dat er nog nooit echt krimp heeft plaatsgevonden als gevolg van een door de overheid opgelegde beperking van de capaciteit van de luchthaven. Laat staan van “verdere” krimp. Er is op dit moment alleen sprake van “geen verdere groei”.

KLM heeft in 2025 4,6% bijgemengd (KLM, 2026).



Figuur 13: aantal vluchten op Schiphol tussen 1990 en 2025 (Schiphol, 2026) in relatie tot de wettelijke maximum capaciteit vanaf het Alders akkoord (2008) tot en met het LVB opgenomen (dat laatste op basis van (To70, 2025). Vóór 2008 bestond er geen maximum voor het aantal vluchten maar werd puur op geluidsdruk beheerd.

Noot: de 466.000 bewegingen voor 2026 is een schatting op basis van uitspraken van de slotmanager in Oktober 2026[2].

Vanuit de theorie van de vervoerseconomie en -geografie is bekend dat de toegevoegde waarde van een investering in infrastructuur, dus ook een luchthaven, het grootst is wanneer deze initieel wordt gebouwd, maar na een bepaalde omvang sterk gaat afnemen als gevolg van de verminderde meeropbrengsten (Rodrigue, 2024) en zelfs negatief uit kan pakken. Dat laatste lijkt bij Schiphol inmiddels het geval. Zo berekenden Behrens et al. (2025) recent in een quickscan MKBA (maatschappelijke baten en kostenanalyse) dat een Schiphol met een omvang van 460.000 bewegingen iets beter scoort voor de Nederlandse economie dan eentje van 500.000 bewegingen in de periode tot 2030. Dit rapport lijkt geen rol te spelen bij de formulering van het nieuwe LVB voor Schiphol, waar het wel voor was geschreven.

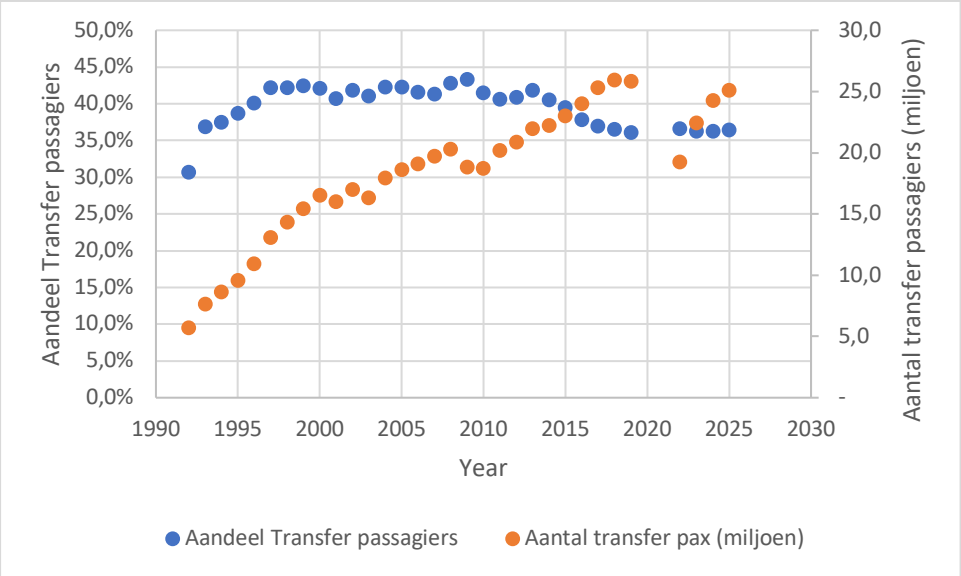
Diverse onderzoekers en adviesraden hebben laten zien dat Schiphol mogelijk al over haar optimale omvang is voor de Nederlandse economie (Blom et al., 2025; Juijn et al., 2022; RLI, 2016), zeker wanneer de kosten van klimaat- en geluid en gezondheid worden meegenomen, maar deze signalen zijn tot nu toe niet als grondslag voor het beleid overgenomen.

[2] Bron: https://www.rtl.nl/nieuws/economie/artikel/5656846/schiphol-koerst-af-op-krimp-en-blijft-ruim-onder-nieuw-vliegplafond.

4.3 Kosten en hub-functie

De rol van een hub-functie op een luchthaven is complex en divers en leidt dan ook tot verwarring in maatschappelijke en politieke discussies waarbij men terugvalt op relatief simpele ideeën als “hoe groter de hub hoe beter voor Nederland”. Zoals we in paragraaf 4.2 hebben gezien is dat in ieder geval niet correct. Toch kan het handig zijn om, weg van de details en complexiteit, een aantal verbanden te verkennen op macroschaal. Dat zullen we hieronder doen.

Zo is het aandeel (percentage) transferpassagiers op Schiphol vanaf de economische crisis in 2008 gestaag gedaald, na een periode van toename tussen 1990 en 1997 en een min of meer constant percentage tot 2008 (Figuur 14). Uiteraard moet je ook kijken naar het totaal aantal transferpassagiers. Daaraan zien we dat dat aantal sinds 2019 stagneert. De waarde van dat aantal passagiers is overigens vooral gelegen in het aantal verbindingen dat deze passagiers extra mogelijk maken vanaf Schiphol. Omdat het aantal passagiers per vliegtuig de afgelopen decennia is toegenomen, neemt dat aantal bestemmingen minder snel toe dan het aantal transfer passagiers.

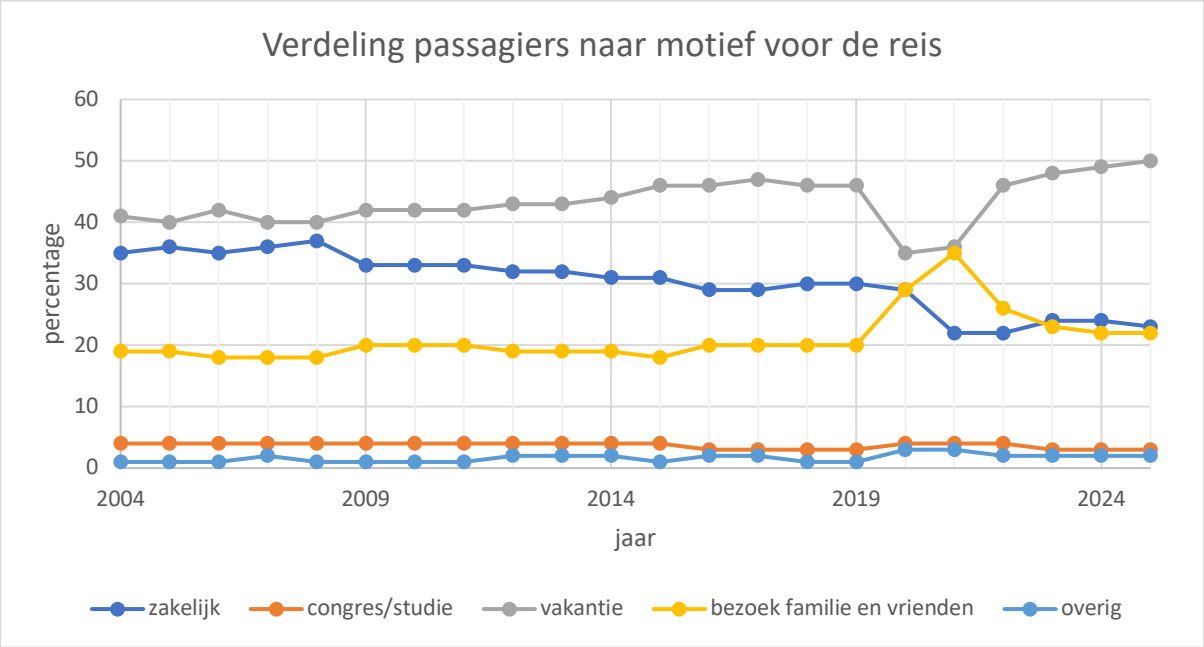


Figuur 14: percentage transfer tussen 1990 en 2025 op Schiphol (Schiphol, 2026). Noot de twee Corona jaren zijn weggelaten omdat daar geen goede statistieken van bestaan.

Het aandeel transfer, heeft invloed op de ticketprijzen. De veronderstelling dat er meer rechtstreekse verbindingen mogelijk zijn door hoge transferpercentages is helder en, zeker voor zakenreizigers, relevant. Maar voor de Nederlandse vakantieganger is niet zozeer de frequentie van vluchten als wel de ticketprijs van groot belang. Figuur 15 laat het motief van de reis zien en hoe zich dat de afgelopen decennia heeft ontwikkeld. We zien dat het aandeel zakenreizigers in de loop der jaren minder is geworden. Er is een duidelijke dip te zien tijdens de Coronapandemie maar ook daarna keert dit aandeel niet meer terug op het niveau van voor die tijd. Het aandeel vakantiegangers is geleidelijk groter geworden en lijkt te blijven stijgen. Het aandeel reizigers dat op pad gaat om familie en vrienden te bezoeken vertoonde een korte piek aan het einde van de Coronapandemie en lijkt nu op een iets hoger niveau te blijven dan daarvoor.

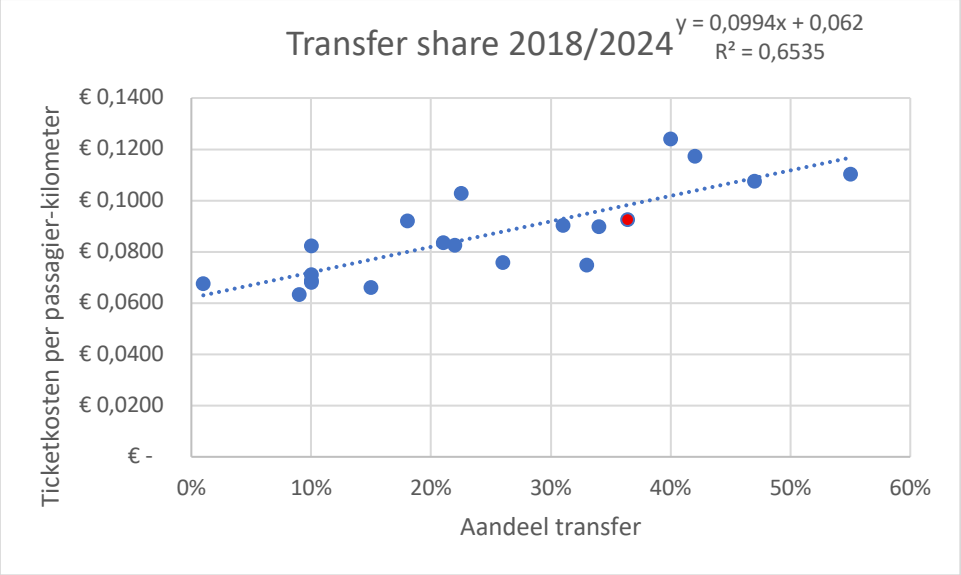
De verdeling over motieven geldt voor zowel uitgaande als inkomende reizigers. Daarom is het aantal Nederlandse vakantiegangers data vanaf Schiphol vertrekt niet de 50% voor 2025 in Figuur 15, maar slechts een deel daarvan. Op basis van een reeks rapporten (Eijgelaar et al., 2021; Neelis et

al., 2024; Neelis, Pels, et al., 2020) schatten we dat in 2025 ongeveer evenveel vakantiegangers vanaf Schiphol vertrokken als er aankwamen. Dat betekent dat het aandeel Nederlandse vakantiegangers op Schiphol circa 25% van alle reizigers uitmaakt. En dat betekent dat een zelfs een stevige vermindering van de capaciteit van Schiphol niet ten koste hoeft te gaan van 'de Nederlandse vakantieganger', zoals vaak wordt beweerd in de maatschappelijke discussie. Wanneer we het familie- en vriendenbezoek ook meerekenen, dan gaat het om ongeveer een derde.



Figuur 15: verdeling van passagiers naar het motief van hun reis (bron: Schiphol (2026).

Op basis van gegevens van onder andere (Maertens et al., 2020; Negrete, 2025) aangevuld met enkele cijfers van de betreffende luchthavens laat Figuur 16 zien dat hoe hoger het transfer-aandeel, hoe hoger de ticketprijs per afgelegde kilometer. De hub-functie heeft op die manier mogelijk nadelige gevolgen voor de gemiddelde Nederlandse vakantieganger vanaf Schiphol.



Figuur 16: relatie tussen het percentage transfers en de gemiddelde ticketprijs uitgedrukt in een prijs per passagier-kilometer, voor 20 grote luchthavens in Europa (inclusief de grote hubs). Gegevens van (Maertens et al., 2020; Negrete, 2025) en enkele van de luchthavens. Schiphol is met een rode kleur aangegeven.

5 Beleid

5.1 Bestaand beleid verduurzaming luchtvaart

De ICAO ontwikkelt internationale regelgeving voor de veiligheid en de milieuprestaties van vliegtuigen. Deze zijn in normen vastgelegd en elk vliegtuigtype en/of motortype dient te worden gecertificeerd en daarbij aan te tonen binnen deze normen te blijven. Deze normen worden wereldwijd omgezet in nationale wetgeving. De gegevens van vliegtuigen op dit vlak zijn openbaar beschikbaar voor alle gecertificeerde vliegtuigen. Aan de certificatieprocedure voor milieunormen worden dezelfde hoge eisen gesteld als voor vliegveiligheid.

De ICAO richtte in het CAEP (*Civil Aviation Environmental Project*) drie werkgroepen op per type norm. WG-1 ontwikkelt normen voor geluid waar vliegtuigtypen aan moeten voldoen, WG-2 doet motoremissies en WG-3 CO_2-uitstoot van vliegtuigen. In CAEP werken industrie, overheden, luchtvaartbelangenorganisaties en maatschappelijke organisaties (met name ICSA, *International Coalition for Sustainable Aviation*) samen. Het niveau van de norm wordt steeds zodanig gekozen dat deze het meest kosteneffectief is: de grootste vermindering van milieubelasting per € aan kosten voor de industrie. Een andere ICAO-voorwaarde is dat de norm niet '*technology forcing*' is, oftewel niet een bepaalde nieuwe technologie voor alle fabrikanten afdwingt.

Deze normen worden elke 5 tot 10 jaar aangescherpt, afhankelijk van de technologische vooruitgang. Individuele landen, voor Nederland via de Europese luchtwaardigheidsautoriteit EASA, nemen deze regels over en kunnen ze tot op zekere hoogte aanscherpen. In 2017 zag een belangrijke uitbreiding van normen het licht met de introductie van een PM norm (*Particulate Matter* = deeltjes) voor motoren en een CO_2-norm voor vliegtuigtypen. Deze worden voor Europa gedetailleerd beschreven door EASA (2017).

Een additionele regelgeving is opgesteld in het kader van *Climate Neutral Growth* (CNG). CNG wil zeggen dat de internationale luchtvaart haar CO_2-emissies na 2020 niet meer laat groeien, ondanks een voortgaande groei van het volume van luchtvaart. Dat is geen ambitieuze doelstelling vergeleken

met de reductiedoelstellingen afgesproken in Parijs en in andere sectoren, waarin de emissies in 2050 netto-nul moeten zijn. De ICAO-maatregelen bestaat eruit dat luchtvaartmaatschappijen vanaf 2021 vrijwillig en vanaf 2027 verplicht de totale emissies niet meer zullen laten groeien ten opzichte van de emissies van 2019. Het programma dat hiervoor in het leven is geroepen heet CORSIA. Dat staat voor *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*.

De CO_2-emissies boven het niveau van 2019 moeten worden gecompenseerd via de vrije markt van *Certified Emission Reductions* (CERs). Door de snelle groei van de luchtvaart is de vloot gemiddeld relatief nieuw (wereldwijd circa 10 jaar oud) en is het aandeel zeer oude vliegtuigen gering en zal het weghalen daarvan meer symbolische dan werkelijke effecten op de CO_2-emissies hebben, maar mogelijk wel significant zijn voor geluid en luchtkwaliteit. Als gevolg van de COVID-19 crisis kwam pas in 2024 de luchtvaart weer op het niveau van 2019 en is de verwachting dat CORSIA vanaf volgend jaar enig effect zal hebben. Een groter probleem is dat het middel van CORSIA, compensatie via CERs op de vrije markt, in 85% van de certificaten aantoonbaar slecht functioneert (Cames et al., 2016) en vergeleken met een emissiehandel systeem als het Europese ETS een gering effect zal hebben (Maertens et al., 2019). De kritiek op compensatie neemt toe omdat het riskant is (Becken et al., 2024) en het effect discutabel (Mello, 2024).

Om een bewijs van luchtwaardigheid te krijgen moeten vliegtuigen ook onder een bepaald vastgelegd geluidsniveau blijven volgens ICAO-regelgeving. Afhankelijk van het jaar van certificatie moet een vliegtuig aan steeds strengere eisen voldoen. Deze worden weergegeven door zogenaamde "*chapters*" of "*stages*". Oudere vliegtuigen, zoals *chapter 2* vliegtuigen, worden sinds 2002 al niet meer toegelaten. Voor nieuwe vliegtuigen die sinds 2006 gecertificeerd worden is de minimumeis nu *chapter 4*. In 2014 is in ICAO verband ook al een nieuwe norm afgesproken, *Chapter 14* en die geldt voor alle vliegtuigtypen die vanaf 2020 worden gecertificeerd. Het toegestane geluidsniveau is een functie van de massa van het vliegtuig. Een zwaarder vliegtuig mag meer geluid produceren dan een lichter vliegtuig.

Naast het gebruiken van modernere en minder lawaaiige vliegtuigen is er ook winst te behalen met het uitvoeren van geluidsarme procedures. Voor de nadering en landing zijn zogenaamde *Continuous Descent Approaches* (CDA) de aangewezen weg om geluid te reduceren. Dat betekent dat vanaf het moment dat de kruishoogte wordt verlaten het vliegtuig een continue daalvlucht uitvoert. Het voordeel is dat de motoren op een laag vermogen draaien en daardoor beduidend minder lawaai produceren. Er hoeft dan geen gas bijgegeven te worden om een stukje horizontaal te vliegen. Het uitvoeren van dergelijke naderingen vergt voldoende ruimte in het luchtruim. Tijdens piekuren is die ruimte vaak niet aanwezig en is de verkeersleiding gedwongen vliegtuigen toch stukken horizontaal te laten vliegen. Wanneer het totale volume wordt verlaagd, zoals het ministerie wil, komt er meer ruimte voor dergelijke procedures. Nu gebeurt dit eigenlijk alleen na 11 uur 's avonds. Na de herindeling van het Nederlandse luchtruim zou dit meer structureel mogelijk moeten worden.

Tijdens de start zijn er ook verschillende mogelijkheden. Men kan een vliegtuig na de start gelijk door laten klimmen naar kruishoogte. Een andere optie is een vliegtuig na de initiële klim een stuk horizontaal te laten vliegen waarbij de snelheid toeneemt. In het eerste geval is men sneller op hoogte maar is de voorwaartse snelheid wat beperkter. Dat betekent dat de geluidsbelasting langer op een kleiner oppervlak wordt geconcentreerd. Bij de tweede optie is de hoeveelheid geluid wat hoger maar is de tijdsduur wat korter. Over het algemeen wordt de tweede methode als wat minder hinderlijk ervaren door omwonenden. Het uitvoeren van deze procedures is ook weer afhankelijk van de beschikbare ruimte in de lucht. Daarnaast zullen vliegtuigen niet starten met maximaal vermogen als dat niet nodig is. Het benodigde vermogen wordt bepaald door de beschikbare baanlengte, het gewicht van het vliegtuig en het weer. Starten met gereduceerd vermogen geeft minder geluid, minder emissies en verlengt ook de levensduur van de motoren.

5.2 Sectorplannen vanuit de industrie

De afgelopen jaren is de sector met diverse plannen gekomen. Het plan 'Slim en Duurzaam' zag in 2018 het licht (Luchtvaart Nederland, 2018) en kreeg in 2022 een update (Luchtvaart Nederland, 2022). Het behandelt de luchtvaart in zeven thema's van het optimaliseren van vliegroutes & procedures, via de inzet van duurzame brandstoffen en de evolutionaire en revolutionaire ontwikkeling van techniek tot de inzet van de trein, emissieloze luchthavens en verduurzaming van het verkeer van en naar de luchthaven. Voorts bracht de luchtvaartsector een actieagenda uit met tien *'commitments'* (Luchtvaart Nederland, 2024) op milieugebied. Interessant is dat in 2023 Schiphol ook een notitie uitbracht, het 8-punten plan (Schiphol, 2023), dat op een aantal punten flink verschilt van de tien *commitments*. Met name op het gebied van de capaciteit van Schiphol (de luchthaven wil krimp), nachtvluchten (Schiphol wil een uitgebreidere nachtsluiting) en zakenjets (Schiphol wil die weren) zijn de verschillen opvallend.

5.3 Luchtvaartnota 2020-2050

Op verzoek van de Tweede Kamer is een beleidsnota voor de luchtvaart ontwikkeld voor de periode 2020-2050. Deze Luchtvaartnota probeert een nieuwe koers voor de luchtvaart te geven. Het streven is om via deze nota alle aspecten van de luchtvaart meer met elkaar in balans te brengen. Dit betreft de volgende aspecten:

1. Veiligheid in de lucht en op de grond
2. De (internationale) bereikbaarheid van Nederland
3. Een aantrekkelijke en gezonde leefomgeving
4. Een duurzame luchtvaart

Het opstellen van deze nota en de ambities die hierin gegeven zijn, zijn uniek in de wereld. Het is ook voor het eerst dat leefbaarheid expliciet en sturend wordt meegenomen in het luchtvaartbeleid. Ook het adaptieve karakter van de nota is bijzonder. Men gaf in de nota al aan dat dit een agenda is voor de komende vijf jaar maar dat deze daarna geactualiseerd zal worden. Dit kan bijvoorbeeld als er in het internationale speelveld een nieuwe situatie ontstaat.

De nota gaat nog uit van een klimaat neutrale luchtvaart vanaf 2070, terwijl het UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) op basis van het Akkoord van Parijs vraagt om netto nul-emissies in 2050. Dat geldt ook voor de Europese Green Deal en het Europese klimaatplan *Fit for 55*. Hoewel het wereldwijde aandeel van luchtvaart in CO_2-emissies zo'n 2,5% is en in huidige klimaatverandering 3,5% (Lee et al., 2021) een relatief bescheiden bijdrage levert aan de opwarming van de aarde, zal dit deel zowel absoluut als relatief de komende decennia toenemen tenzij drastische maatregelen worden genomen. De vraag is dan of de maatregelen en ambities uit de nota sterk en hoog genoeg zijn, vooral ook in het licht van het resterende CO_2-budget en -plafond discussie beschreven in paragrafen 2.1 en 5.3.1.

5.3.1 CO_2-plafond

Een van de aspecten die voortkomen uit de Luchtvaartnota is het instellen van een CO_2-plafond. Middels dit plafond wordt de totale CO_2-uitstoot van de luchtvaart beperkt. Dit is an sich een interessante benadering van het CO_2-probleem. De praktische uitvoering gaat wel de nodige aandacht vragen. De uitvoering zou zich richten op het koppelen van de in Nederland getankte kerosine, via de daadwerkelijk getankte kerosine of via modelberekeningen. Dit is een makkelijke keuze want het rechtstreeks meten van de echte CO_2-uitstoot is niet mogelijk, maar omdat de verbranding van 1 kg kerosine altijd leidt tot de uitstoot van 3,16 kg CO_2 kan men dit wel gebruiken. Als de hoeveelheid afgenomen brandstof goed wordt bijgehouden, kun je daaruit de hoeveelheid CO_2 exact berekenen. Echter, brandstof kan ook van elders worden meegenomen – het zogenaamde tankering - waardoor

de feitelijke emissies voor alle vluchten vertrekkend van de vijf Nederlandse luchthavens te laag wordt ingeschat. Volgens een PBL-studie hiernaar (Peeters et al., 2021) laat zien dat strategisch gedrag van luchtvaartmaatschappijen – dus minder meer tanken voor vluchten naar Nederlandse luchthavens - kan leiden tot een onderschatting van de werkelijke CO_2 met 25%. Daarom beveelt het PBL aan om de optie om de CO_2-emissies te berekenen op basis van de bekende vliegpaden van alle vluchten vanuit Nederland verder uit te werken. In dat soort berekeningen zijn de marges hooguit enkele procenten. In de Europese regeling RefuelEU wordt overigens de tankering beperkt (European Parliament & European Council, 2023).

Het bijhouden van een CO_2-plafond zal leiden tot het opzetten van een complex administratief systeem. Juridisch gezien moet de verantwoordelijkheid bij een Nederlandse rechtspersoon gelegd worden. De luchthaven is dan de meest voor de hand liggende rechtspersoon. Echter, een luchthaven heeft zelf geen vliegtuigen die CO_2 uitstoten. Het zijn de luchtvaartmaatschappijen die de luchthaven aandoen die de CO_2 uitstoten. Een luchthaven heeft daar maar beperkt grip op. Praktische uitvoerbaarheid is een belangrijke voorwaarde voor succes van deze regeling.

Twee studies uit 2024 laten zien dat het in de Luchtvaartnota opgenomen CO_2-plafond vanuit een gezichtspunt van eerlijke verdeling van de lusten en lasten rondom de toekenning van het CO_2-budget leidt tot aanzienlijk lagere emissie-plafonds (Grebe et al., 2024; NLR, 2024). Wanneer uitgegaan wordt van een emissiereductie die de kans om onder de 1,5°C of 2,0°C te blijven op 50-66% te houden, wat door sommige wetenschappers als een zeer groot risico wordt gezien dat klimaatverandering uiteindelijk desastreuze vormen aanneemt, blijkt dat er ruimte voor maximaal tussen de vluchten vanaf Schiphol ergens tussen de 211.000 en 480.000 vluchten uitkomt. Een essentiële factor hierbij is de verhouding tussen Europese en ICA (intercontinentale) bestemmingen. Op dit moment is 80% Europees. Wanneer je het aandeel ICA-bestemmingen op 20% laat in het meest klimaatvriendelijke scenario en onder veronderstelling van bijmengverplichting van SAF en technologische verbeteringen, kom je in 2030 op 211.000 vluchten uit om binnen het plafond te blijven. Wanneer je echter twee derde van de ICA vluchten uit de bestemmingen haalt kom je op ruimte voor 447.000 vluchten.

Of een CO_2-plafond echt knellend zal worden voor de capaciteit van de luchtvaart zal sterk af gaan hangen welke keuze er gemaakt gaat worden voor het beschikbare CO_2-budget. Als dit op het niveau van de uitstoot van 2019 gezet wordt, al dan niet met een steeds verder dalend niveau, dan zal eerder de geluidsproductie van vliegtuigen beperkend gaan worden.

5.3.2 Bijmengverplichting

Een andere maatregel die in de Luchtvaartnota genoemd wordt is een bijmengverplichting voor duurzame brandstoffen (tot 14% in 2030). Dit is een belangrijke stap die de vicieuze cirkel van beperkte beschikbaarheid en hoge kosten zou kunnen doorbreken. Belangrijk is wel dat een dergelijke maatregel op Europese schaal wordt ingevoerd. Anders zal ook hier strategisch gedrag gaan plaatsvinden zoals tankering, waarbij men met extra goedkope niet-gemengde brandstof op Schiphol aankomt zodat minder dure brandstof voor de terugvlucht nodig is. Inmiddels is dit ook Europees geregeld waarbij stapsgewijs het verplichte bijmengpercentage toeneemt richting 2050. Deze verplichte bijmengpercentages zijn wel minder ambitieus dan Nederland had voorgesteld. Tankering is inmiddels Europees aan banden gelegd.

5.3.3 (Technische) ontwikkelingen

Nederland is een uniek luchtvaartland. Al heel lang beschikken we over een bijna complete “infrastructuur”. Die begint bij opleidingsinstituten op MBO, HBO en WO-niveau. Daarnaast wordt er hoogwaardig wetenschappelijk onderzoek gedaan op o.a. de TU Delft en bij het Koninklijk Nederlands Luchtvaartcentrum (NLR) en TNO. Dan beschikken we ook over een uitgebreide maakindustrie die als toeleverancier de sector belevert. En er zijn ook nog de gebruikers in de vorm van luchthavens,

luchtvaartmaatschappijen en de Koninklijke Luchtmacht. Deze infrastructuur kan met een goed beleid nog beter benut worden. Met een goed onderbouwd en goed gefinancierd nationaal onderzoeksprogramma kan er beter worden aangesloten bij de Europese programma's.

Een stap in de goede richting vormt het project "Luchtvaart in transitie", dat het Groeifonds co-financiert. In dit programma worden diverse belangrijke technische ontwikkelingen die eerder beschreven zijn ondersteund. Ook de "*Human Capital Agenda*" krijgt de nodige aandacht om zo blijvend te kunnen zorgen voor voldoende geschoold personeel voor de sector.

5.4 Suggesties nieuw beleid

Het huidige beleid, zoals verwoordt in de Luchtvaartnota, is mogelijk niet meer adequaat om de balans tussen de belangen van luchtvaartbedrijven, luchtvaartmaatschappijen en Schiphol en van de Nederlandse economie en de belangen van omwonenden (geluid, luchtkwaliteit), werkenden (gezondheid) en toekomstige generaties (klimaat, energie) te vinden. Dat het hier mis ging blijkt wel uit de beslissing van de minister van I&W om niet langer de overschrijding van wettelijke geluidsnormen te gedogen (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022) en, als gevolg daarvan, een *Balanced Approach* procedure voor een vermindering van de maximale capaciteit naar 452.500 in Brussel aan te vragen en nog altijd een reductie naar 440.000 als doelstelling te houden (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2023b). Na een aantal iteraties is het aantal vliegbewegingen nu vastgesteld op 478.000. Daarnaast moet ervoor gezorgd worden dat de indicatoren voor hinder en ernstige hinder en slaapverstoring met 20% omlaag worden gebracht en voortaan binnen de vigerende wetgeving wordt geopereerd. Dit wordt vastgelegd in een nieuw luchthavenverkeerbesluit (LVB).

Maar mogelijk zijn er meer maatregelen nodig om die balans op orde te brengen en te voldoen aan internationale milieuafspraken, de zorgplicht aangaande gezondheid en mensenrechten en de belangen van de sector. Hieronder benoemen en beschrijven we een aantal zaken die de komende tien jaar de agenda zullen bepalen:

1. Het economisch belang van Schiphol
   Waar studies in het verleden vaak concludeerden dat groei van Schiphol goed is voor de Nederlandse economie en brede zin (Maatschappelijke baten en kosten), is deze conclusie later gaan schuiven. Zo concludeerde het adviesbureau CE Delft in 2022 (Juijn et al., 2022) dat groei altijd leidt tot welvaartsverlies en krimp onder bepaalde omstandigheden tot welvaartswinst. Recenter vonden (Behrens, 2025) dat krimp van de luchthaven naar 460.000 wat beter scoort op de middellange termijn dan een luchthaven met 500.000 vluchten. Ook de 440.00 bewegingen die eerder in beeld was, blijkt niet nadelig voor de economie te hoeven uitpakken (Koopmans, 2023). Een tweede scenario, waarin vooral voor CO_2 extra maatregelen zijn verondersteld, levert een positief saldo voor de maatschappelijke kosten en baten. Daarbij moet worden aangetekend dat de kostenreducties op geluidsgebied aanzienlijk lager zijn dan in het krimpscenario en dat derhalve de kans groot is dat Schiphol de geluidsnormen blijft overtreden.

   In een uitspraak van 20 maart 2024, bepaalde de rechtbank in Den Haag dat de Staat binnen een jaar het gedogen van geluidsnormoverschrijdingen moet staken op grond van het Europese Verdrag van de Rechten van de mens (Rechtbank Den Haag, 2024). Daarom moet men het nog langer systematisch overschrijden van niet volledig adequate normen als een niet langer begaanbaar pad te beschouwen. Uiteindelijk bepaalt goed samenspel van technische vlootvernieuwing, vliegprocedures, capaciteitstoekenning, aandeel nachtvluchten, verbeterde normstelling en beter inzicht in de relaties tussen geluidsdruk en ervaren hinder en gezondheidsschade de hoeveel ruimte die er op Schiphol is. Het nieuwe LVB beoogt om tegen

2030, mits aan bepaalde geluidsnormen wordt voldaan, weer een capaciteit van 500.000 vluchten toe te staan.

2. Klimaat
   Als men besluit een CO_2-plafond voor de Nederlandse luchtvaart in te voeren dan vergt dat een eenduidige indicator, die het beste is gebaseerd op het na de vlucht berekenen van de exacte vluchtgegevens (route, hoogte, snelheid, belading in aantal passagiers en tonnen vracht) en gedetailleerde gegevens van het gebruikte vliegtuig (type, variant, motortype). De hoogte van het plafond verdient een nadere aanscherping op basis van recente studies. De handhaving kan het beste worden geïntegreerd in de capaciteitsplanning van Schiphol en de andere luchthavens, waarbij een eventuele feitelijke afwijking in een voorgaand jaar wordt verrekend. De mate waarin het CO_2-plafond de capaciteit van de luchthavens belemmert, wordt grotendeels bepaald door de mate waarin de luchtvaartsector erin slaagt de vloot te vernieuwen, voldoende *e-fuels* te verkrijgen en zuiniger te vliegen.

3. Luchtkwaliteit
   Uit recente studies blijkt dat het aandeel van vliegtuigemissies in de luchtkwaliteit voor *Particulate Matter* (PM) en zeer zorgwekkende stoffen (ZZS) in de wijdere omgeving gering is. Maar op Schiphol zelf en het platform, is dit aanzienlijk en heeft ook gevolgen voor de gezondheid van de werknemers op de luchthaven. Wat voor de wijdere omgeving niet wordt meegerekend is het geheel aan emissies van alle activiteiten en verkeer die verband houden met de luchthavens. Het lijkt verstandig dit ook beter in beeld te brengen en in ieder geval mee te rekenen bij veranderingen van de capaciteit van de luchthavens en het bepalen van de bredere gevolgen daarvan.

4. Geluid
   De *bottomline* voor het geluidsdossier vormt het door de minister ingezette beleid, waarin de staat zich houdt aan de geluidswetgeving en zorg draagt voor adequate normstelling en meting en handhaving daarvan. Voorts dient de overheid de belangen van de functie van de luchthaven Schiphol, de mate van hub-functie, af te wegen tegen de geluidshinder en gezondheidsgevolgen voor omwonenden. In het verleden werd daarbij te veel prioriteit aan de hub-functie gegeven, zonder dat goed duidelijk was welk algemeen belang daarmee werd gediend. De mogelijkheid tot handhaving en ingrijpen bij overschrijding door de Inspectie Leefomgeving en Transport dient ook voldoende geborgd te zijn.

5. Ruimtelijke ordening en huisvesting
   In de afgelopen decennia prevaleerde de ruimtebehoefte van de luchthaven boven die van andere sectoren in de regio. Zo blokkeert de luchthaven op vele plekken de woningbouw omdat de geluidsnormen op die plekken niet voldoen aan de wet. In dergelijke discussies wordt nooit bekeken of de geluidsdruk niet kan worden verminderd om zo ruimte te creëren voor toekomstige woningen. Ook beschikt Schiphol nog niet over een geldige Natuurvergunning en opereert nu in een gedoogsituatie. Dat is op de lange termijn niet houdbaar.

6. Hub-beleid
   Het belang van de hub is vanuit het verdienmodel van KLM evident. Ook draagt het hub-systeem bij aan het realiseren van zoveel mogelijk verbindingen met behulp van één of twee overstappen naast directe verbindingen. Dit is een belangrijke verworvenheid van Schiphol die niet veel andere landen ook hebben. Op dit moment is ongeveer een derde van alle passagiers een transfer-passagier die alleen maar overstapt. Bij de KLM ligt dit percentage duidelijk hoger. Van belang is om zich te realiseren dat de Nederlandse vakantieganger in verreweg de meeste gevallen direct zonder overstappen naar de bestemming vliegt, zeker binnen Europa.

7. Integraal internationaal reisbeleid
   De huidige discussie over alternatieve vervoerwijzen concentreert zich vooral op de trein. De milieuvoordelen van zo'n overstap zijn groot omdat bijvoorbeeld een passagier op de Eurostar slechts enkele kilogrammen emissies veroorzaakt tussen Amsterdam en Londen, terwijl een vlucht gemiddeld op 50 kg komt. Bij elkaar kan ongeveer 10% van de vluchten naar nabijgelegen luchthavens worden vervangen door een bestaande treinverbinding. Beleidsmatig kan men internationaal treinvervoer bevorderen door de markt te helpen betere informatie en boekingsmogelijkheden te ontwikkelen en door een gelijk fiscaal speelveld te creëren, door de Luchtvaartnota uit te breiden tot een internationale reisnota, door de verdere aansluiting van Nederland op het HSL-net voortvarend ter hand te nemen (met name in oostelijke en noordelijke richting).

   Het aantal passagier-kilometers per trein herstelde eerder dan de luchtvaart: al in 2023 was er in de EU een groei met 4,3% ten opzichte van 2019, waar luchtvaart in Europa ergens in 2024 weer op dat niveau kwam (Eurostat, 2026). De luchtvaartsector heeft al decennialang afspraken dat gegevens over alle beschikbare tickets gebruikt kunnen worden door boeking platforms. Daardoor zijn de prijzen en mogelijkheden in principe gelijk onafhankelijk van waar je boekt. In het internationaal railvervoer is dit niet goed geregeld (Transport & Environment, 2026) waardoor je voor een internationale treinreis nog vaak per treinmaatschappij een ticket moet boeken. Inmiddels probeert de Europese Commissie het spoorvervoer via het "Passenger Package" ook voor rail een met de luchtvaart vergelijkbaar systeem af te dwingen. Tegelijk kan men zich afvragen hoe erg het is om een kwartiertje langer bezig te zijn met het boeken van een vakantie, iets wat de gemiddelde Nederlander ongeveer twee drie keer per jaar doet.

   Het rechtstreeks vervangen van vluchten van A Schiphol naar een bestemming op relatief korte afstand levert bij het huidige reisgedrag (herkomstmarkten en vakantiebestemmingskeuze liggen in beton gegoten vast) nog relatief weinig emissiereductie op omdat het om korte afstanden gaat en afstand de belangrijkste parameter is die de totale emissies bepaalt. Daarom is het belangrijk om ook naar een ander reispatroon te kijken. Het gaat dan ten eerste om het verminderen van afstanden bijvoorbeeld door het hoger belasten van lange afstanden. Dat heeft direct forse invloed op de emissies en vergroot het aandeel vluchten onder de 1500 km, een afstand waarop andere vervoerwijzen wel een rol kunnen spelen. Naast de trein, zou daarbij vooral ook naar de eigen auto moeten worden gekeken die ook vaak een goed alternatief vormt op wat langere afstanden. Bovendien zit de auto op een veel sneller en zekerder transitie pad naar nul-emissies dan de luchtvaart door de invoering van de elektrische auto. Elektrische treinen zijn nog aanzienlijk verder op die transitie en bieden vaak al (bijna) nul emissies.

   Hoewel in de perceptie alle treinen erg duur zijn, blijkt in de praktijk dat sterk afhankelijk te zijn van waar je heen reist en hoe 'slim' je bent met het boeken. Boekingssystemen voor internationale vluchten zijn veel beter en verder ontwikkeld dan die voor internationale treinreizen. Treinen naar Parijs en Londen zijn niet alleen vaak erg duur maar ook vaak uitverkocht. Daaruit blijkt dat het aanbod veel te gering is voor de marktvraag. In plaats van eindeloos te herhalen dat treinen te duur zijn, zou men beter de discussie aangaan waarom het aanbod (het aantal treinen) niet sneller wordt uitgebreid. Dat heeft een dubbel effect; de concurrentie met het vliegtuig verbetert en het vergroot het aandeel schone reizen in het totaal aantal reizen. Voorts zou er een duidelijker link gelegd kunnen worden tussen het luchtvaartbeleid en het (inkomend) toerismebeleid en met name de (milieu-)gevolgen daarvan. Het NBTC zit al op die lijn, onder andere doordat ze het nul-emissies *Envisioning 2030* scenario (Peeters & Papp, 2023) ondersteunt zou daarbij een 'carbon-check' kunnen hanteren bij de strategische marktontwikkeling van het toerisme naar Nederland en prioriteit kunnen leggen bij het ontwikkelen van meer nabije bronmarkten die over land (per auto, trein, etc.) naar Nederland kunnen reizen.

Uiteraard zal men bij een sterke groei van het internationale treinverkeer ook nieuwe spoorlijnen aan moeten leggen. Een vaak gehoord argument daartegen is dat de CO_2 die ontstaat bij de bouw van een nieuwe hogesnelheidsspoorlijn zo groot is dat het levenscyclus voordeel van het gebruik van de trein ten opzichte van het vliegtuig en zelfs de auto geheel teniet wordt gedaan. De bron van dit misverstand ligt in een invloedrijke, maar sterk misleidende, studie van (Chester & Horvath, 2009). Deze studie past een levenscyclusanalyse (LCA) toe op drie passagiersvervoerwijzen: wegvervoer, railvervoer en luchtvaart. De uitkomst wordt al op een misleidende manier gepresenteerd, namelijk het percentage waarmee de operationele emissies omhooggaan als je de volledige LCA-emissies zou toepassen. Voor wegverkeer zou dat met 63% toenemen, voor rail met 155% en voor luchtvaart met 31%. Zo lijkt het alsof rail wel erg slecht presteert. Maar men zou naast deze percentages vooral ook de totalen moeten melden als hoofduitkomst, want die percentages hebben betrekking op heel sterk verschillende operationele emissies per passagierskilometer. Technisch wordt de analyse goed en gedetailleerd toegepast, maar het gaat mis bij de keuze van de drie systemen. Rail wordt gerepresenteerd door drie Amerikaanse urbane systemen (metro, light-rail), luchtvaart door de grote luchtvaart en de auto door Amerikaanse auto's. Deze drie systemen bedienen heel verschillende vervoersmarkten en dat heeft grote invloed op de resultaten. In een life-cycle analyse hangen de emissies van de bouw en onderhoud van de infrastructuur in hoge mate af van de mate waarin de infrastructuurcapaciteit wordt gebruikt en van de bezettingsgraad.

Een recente studie gebaseerd op een vijftal relevante reizen vanuit Nederland naar Londen, Parijs, Straatsburg, Berlijn en Rome (Roosien et al., 2024) laat zien dat het vliegtuig altijd tussen de drie en vijf keer zoveel emissies veroorzaakt als een trein (mix van normale en hogesnelheid afhankelijk van de bestemming voor deze korte tot middellange afstanden). Kortom, zelfs als je de emissies voor de bouw van nieuwe infrastructuur voor de trein, dan wint de trein het ondubbelzinnig van het vliegtuig voor emissies per passagierskilometer.

8. Revolutionaire technologie.
   In een sector waarin effectief gezien slechts twee vliegtuigfabrieken de dienst uitmaken, waarbij op dit moment de Europese fabriek een duidelijke voorsprong heeft, vormen beslissingen om nieuwe vliegtuigen op basis van revolutionaire technologie te ontwikkelen een existentieel[3] bedrijfsrisico. Overheden kunnen hierin een rol spelen door alleen nog bij te dragen aan ontwikkeling van revolutionaire technologie, of techniek die de kansen voor revolutionaire techniek verbeteren. Op basis daarvan ligt ondersteuning van nieuwe aandrijving, met name brandstofcellen, elektrische motoren en waterstoftechnologie voor de hand naast inspanningen om propellers of zeer grote elektrisch aangedreven fans, lichtere constructies, sterkere materialen en betere aerodynamische en verbeterde vliegtuigconfiguraties. Maar bijvoorbeeld typische doorontwikkeling van op kerosine werkende motoren ligt dan niet voor de hand net zomin als het ontwikkelen van een nieuwe versie van een conventionele vliegtuigconfiguratie met kerosine-motoren. De ontwikkeling van batterijtechnologie ligt minder voor de hand, omdat de kans op grootschalige erg gering is binnen de luchtvaart.

9. Voorkomen van contrails en cirrus-effecten
   Een geheel nieuwe ontwikkeling is om vliegtuigen zodanig door het luchtruim te sturen dat ze minder contrails – de witte 'vliegtuigstrepen die het luchtruim regelmatig bedekken – en daaruit groeiende cirrus-wolkvorming veroorzaken dan in de huidige situatie. Over dag en nacht gemeten verhoogt dergelijke wolkvorming de temperatuur van het klimaat met een hoeveelheid die 1,0 tot 1,5 keer zo groot is als het temperatuur effect van de ***totale historische geaccumuleerde CO_2***

[3] De investering is dermate groot dat een bedrijf, bij mislukking, het eigen voortbestaan op het spel zet.

uitstoot van de luchtvaart tussen 1940 en 2018 (Lee et al., 2023). Er bestaan veel misverstanden over deze twee effecten en het is goed om zich het volgende te realiseren:

a. Het effect van alle door luchtvaart sinds 1940 uitgestoten CO_2 op de temperatuur nog eeuwen blijft bestaan en ook blijft toenemen zolang de luchtvaart doorgaat met enige vorm van CO_2-uitstoot. Dat betekent dat het verminderen van de CO_2-emissies leidt tot het minder snel ***toenemen*** van de temperatuur voor vele generaties na ons.
b. Voor die contrail/cirrus-effecten is dat compleet anders: als je een maand lang wereldwijd geheel niet vliegt dan zijn deze effecten zo goed als verdwenen en gaat de temperatuur van het klimaat daadwerkelijk iets omlaag, met mogelijk 0,02 tot 0,06 °C (Lee et al., 2021). Dit betekent dat het contrail-mijdende vliegpaden de huidige temperatuur vermindert voor de huidige generatie, maar toekomstige met enige extra temperatuurstijging opzadelt.
c. Het verband tussen de twee (CO_2 zeer lange termijn en contrail/cirrus zeer korte termijn) is dat het effect van elke vlucht een evenwicht vormt ertussen vormt. Dat zit zo: je kunt vrij goed een vliegpad bedenken waarin je de contrail-gevoelige gebieden mijdt, door een paar flight levels hoger of lager te vliegen of een kleine omweg te maken. Eigenlijk net als al gedaan wordt om zeer zware onweerssystemen te mijden of gunstige winden op, te zoeken. De gangbare praktijk is om een vliegpad zo te kiezen dat het economisch het beste is en dat meestal relatief weinig brandstof kost. Daarvan afwijken levert dus wat extra CO_2 op, dus een kleine extra temperatuurverhoging voor de komende tientallen generaties. Maar je brengt tegelijk de werkelijke temperatuur een fractie omlaag. Proeven van bijvoorbeeld TUI Flight laten zien dat je het daarin is gelukt om 60-70% van de wolkvorming te vermijden en dat daardoor voor deze vluchten ongeveer 1-2% extra brandstof werd verbruikt (Nalianda & Kirschler, 2025).

De afweging tussen een beetje extra CO_2 en hogere temperatuur voor vele generaties na ons tegenover een directe kleine temperatuurdaling voor onszelf is lastig te maken en de meningen zijn verdeeld. (Geen wonder dat er toenemend onderzoek wordt gedaan naar toepassing van ‘contrail-management’ in air traffic control (Dahlmann et al., 2023; Geraedts et al., 2023; Molloy et al., 2022; Simorgh et al., 2022). Vaak wordt gesteld dat contrail-vermijdende vliegpaden onmogelijk zo lang vooraf te plannen zijn, omdat de gebieden waarin deze wolken zich vormen per uur kunnen en met mogelijkheid zo lang vooraf te plannen zijn. Dat klopt uiteraard, maar het precieze vlieg-pad wordt niet door de dienstregeling bepaald, die geeft alleen tijd en plaats van vertrek en aankomst, maar door het specifieke vliegplan van die vlucht. Zo’n plan wordt dagen of weken vooraf ingediend maar kan zowel vlak voor als tijdens de vlucht worden gewijzigd. Tijdens de vlucht kunnen piloten bijvoorbeeld ook vragen om een iet andere hoogte als ze merken dat de wind daar wat gunstiger is. En dat kun je ook doen door een monitoring real time systeem op een deel van alle vluchten te installeren en de gegevens daarvan over wel of geen contrails te delen met alle vluchten. In dat geval kan zowel de Luchtverkeersleiding als de piloot ook onderweg kleine aanpassingen vragen om zo die wolkvorming te voorkomen. Diverse onderzoeken en tests laten zien dat dit zelfs op kleine schaal al werkt (Geraedts et al., 2023; Nalianda & Kirschler, 2025). Het onderzoeksbureau To70 heeft geschetst hoe dit zou kunnen werken en wat de kosten van een grootschalig experiment zijn (Rajon Bernard et al., 2026).

5.5 Kansen Nederlandse industrie

We hebben in Nederland weliswaar geen grote zelfscheppende vliegtuigfabriek meer maar wel veel toeleverende industrie:

- Een grote luchtvaartindustrie: conceptueel en detail vliegtuigontwerp alsmede productie van onderdelen en deelconstructies.
- Brandstofcel-industrie

- Waterstof technologie en industrie
- *E-fuel* (SAF-E) industrie en kennis

Samen vormen deze een spil in het Europese luchtvaartnetwerk met mogelijkheden als marktleider voor distributie van waterstof en *e-fuels* (SAF-E).

De combinatie van al deze takken van relevante industrie biedt veel mogelijkheden. Deze worden nu onvoldoende benut voor het verduurzamen van de luchtvaart. Een passend overheidsbeleid zou hier enerzijds kunnen zorgen voor belangrijke stappen richting duurzame luchtvaart. Maar ook anderzijds zou dit onze concurrentiepositie kunnen versterken. Dit vergt een langetermijnbeleid dat continu innovatie stimuleert. Daarbij moeten startups gestimuleerd worden. Het beleid moet er ook voor zorgen dat deze door kunnen groeien en toeleverancier worden voor de wereldwijde luchtvaartmarkt.

5.6 Vliegbelasting

Sinds 2022 geldt in Nederland weer een vliegbelasting. Deze is met ingang van 2023 fors verhoogd, van €7,95 naar €26,43 per ticket. Sindsdien is deze steeds met de inflatie verhoogd. In 2026 is deze € 30,35 per passagier. De regering heeft besloten deze belasting vanaf 2027 te gaan differentiëren naar afstand:

- korte vluchten (tot 2.000 km): € 31,04
- middellange vluchten (2.000 – 5.500 km): € 49,87
- lange vluchten (langer dan 5.500 km): € 74,81

De tarieven worden na 2027 gecorrigeerd voor de inflatie.

In de tijdens Prinsjesdag 2026 gepresenteerde plannen heeft het kabinet het voornemen uitgesproken het tarief voor lange vluchten te verlagen naar €59,43. Dat wordt daarmee gelijk aan het tarief in Duitsland.

Per 1 januari 2030 wordt ook nog een apart tarief ingevoerd voor passagiers die vertrekken met een vliegtuig met 19 of minder zitplaatsen (met name zogenoemde privéjets). Het tarief voor het vertrek per passagier uit Nederland wordt per heel vliegtuig bepaald. Dat hebben we omgerekend naar per passagier in het geval je werkelijk met 19 passagiers zou vliegen. Dan blijken de tarieven vrijwel gelijk of zelfs lager dan voor gewone burgers: (Gössling et al., 2024):

- Korte vluchten € 420 (dat is dus €22 per stoel met 19 passagiers, maar oplopend tot zo'n €100 per passagier als je maar met zijn vieren in het toestel zit. Dit voor de vergelijkbaarheid met bovenstaande bedragen voor gewone passagiers.
- Middellange vluchten € 1.015 (vanaf €53,42 per Passagier)
- Lange vluchten € 2.100 (vanaf €100,53 er passagier).

De tarieven worden in 2030 nog gecorrigeerd voor de inflatie.

Daarmee zijn dus de privéjettarieven ongeveer gelijk aan wat de gewone burger betaalt, maar juist extreme laag als je die relateert aan de CO_2 uitstoot die bij privéjets ongeveer circa tien keer zo hoog is als voor een economy class vlucht (Gössling et al., 2024). Relateer je het aan bijvoorbeeld het gemiddelde inkomen van privéjet bezittende Amerikaan tussen de $70 en $190 miljoen per jaar ligt (Slodowitz, 2026), terwijl de gemiddelde Amerikaan met een wettelijke baan op $60.000,-. Cijfers voor Nederland zijn ongetwijfeld wat minder extreem, maar dat een privéjetbezitter of -gebruiker ergens tussen 100 en 1000 keer zoveel verdient als een gemiddelde burger is wel zeker. Als het naar ratio van inkomen zou gaan hadden de tarieven voor privéjets best al gauw een factor tien hoger kunnen zijn. De bijdrage van privéjets aan de totale uitstoot is zeer gering.

Het bereik van deze belasting is beperkt tot vertrekkende passagiers ouder dan 2 jaar. Transferpassagiers zijn uitgesloten van deze belasting. Ook passagiers in vliegtuigen met een gewicht van minder dan 8.616 kg zijn uitgesloten van deze belasting. Koopmans et al. (2023) hebben de effecten op maatschappelijke kosten en baten onderzocht van een afstandsafhankelijke vliegbelasting. Het blijkt dat het invoeren daarvan leidt tot minder emissies. Dit wordt met name veroorzaakt doordat een dergelijke maatregel zal leiden tot minder langeafstandsvluchten. Met name deze vluchten leveren een grote bijdrage aan de CO_2-uitstoot. Deze vluchten bedragen ongeveer 20% van het aantal vluchten maar zijn verantwoordelijk voor 80% van de emissies. Door dit zwaarder te belasten zal er een verschuiving naar kortere afstanden plaats gaan vinden. Een additioneel voordeel is dat die kortere afstanden bevlogen worden met kleinere vliegtuigen die minder geluid produceren. Het is wel belangrijk dat ook transferpassagiers belasting gaan afdragen, zoals bijvoorbeeld Emmerink et al. (2024) bepleiten. Daarnaast is ook het belasten van de lokale hinder (geluid en LTO-emissies (LTO = landing en take-off)) te overwegen. Gegevens om dit uit te voeren zijn in openbare databases van EASA te vinden (EASA, 2026).

Met een vliegbelasting is Nederland niet uniek. De onderstaande overzichtstabel geeft een overzicht van andere Europese vliegbelastingen zoals deze werd gepubliceerd in de Staatscourant. Met de invoering van het voorgestelde, gedifferentieerde tarief gaat Nederland wel een van de hoogste, zo niet de hoogste tarieven van Europa krijgen. Er wordt door verschillende partijen gewaarschuwd voor uitwijkeffecten. Echter, de economische werkelijkheid is anders. Het KiM (Zijlstra & 't Hoen, 2026), heeft dit afgelopen bekeken en vat het aldus samen: *"In de afgelopen jaren zijn luchtvaartmaatschappijen aanzienlijk meer gaan betalen voor het gebruik van Nederlandse luchthavens, mede door de herinvoering en verhoging van de vliegbelasting. Verschillende indicaties wijzen erop dat de weerslag van deze prijsstijging bescheiden is."*

Feitelijk betekent dat met het invoeren van een tickettaks een stukje van de schaarste winsten op Schiphol wordt afgeroomd voor de Nederlandse overheid, terwijl de ticketprijzen zonder die belasting hetzelfde niveau zullen bereiken in het evenwicht tussen vraag en aanbod maar dat de winsten dan aan de luchtvaartmaatschappijen toevallen waarvan 90% naar buitenlandse investeerders verdwijnt (Blom et al., 2025). In die zin is een vliegbelasting goed voor de Nederlandse economie. Een besteding van de opbrengsten ten gunste van innovatie in de luchtvaart zouden zorgen voor een win-winsituatie.

Tabel 4: Overzicht vliegbelastingen per 1-1-'27 in Europa (Leestemaker et al., 2026; Rijksoverheid, 2026). Deze tabel is een samenvatting van de tabel in bijlage B van deze referentie. Verschillende landen hanteren uitgebreidere differentiaties.

land	afstand	tarief in euro
Nederland	korte afstand (tot 2.000 km)	31,04
	middellange afstand (2.000 - 5.500 km)	49,87
	lange afstand (meer dan 5.500 km)	74,81
België	korte afstand (tot 500 km)	10,00
	overige (meer dan 500 km)	10,00
Denemarken	korte afstand (binnen Europa)	4,01
	middellange afstand	36,07
	lange afstand	45,42
Duitsland	korte afstand (tot 2.500 km)	13,03
	middellange afstand (2.500 - 6.000 km)	33,01
	lange afstand (meer dan 6.000 km)	59,43
Frankrijk	korte afstand (EU, EER of minder dan 1.000 km)	7,40
	middellange afstand (1.000 - 5.500 km)	15,00
	lange afstand (meer dan 5.500 km)	40,00
Noorwegen	binnen Europa	5,42
	buiten Europa	31,11
Verenigd Koninkrijk (economy class)	binnenlandse vluchten	9,16
	buitenlandse vluchten (tot 3.200 km)	17,17
	buitenlandse vluchten (3.200 - 8.850 km)	116,75
	buitenlandse vluchten (meer dan 8,850 km)	121,33

Bij het ontwikkelen van de afspraken voor de herinvoering van de vliegbelasting was afgesproken dat de opbrengsten van de vliegbelasting zouden terugvloeien naar de sector om de verduurzaming te versnellen. Dit is in het daarna gesloten regeerakkoord van het Kabinet Rutte 4 bevestigd. Deze maatregel is echter nooit geëffectueerd. Dit vinden wij een gemiste kans. Met een dergelijke regeling zou Nederland belangrijke stappen kunnen maken op het gebied van verduurzaming van de luchtvaart. Daarnaast zou Nederland zich daarmee naast de buurlanden zoals Duitsland, Engeland en Frankrijk kunnen plaatsen die allemaal een structurele regeling hebben voor het versterken van het onderzoek op het gebied van luchtvaart. Wij adviseren om dit plan alsnog uit te gaan voeren.

5.7 Strategische autonomie

Tenslotte is het belangrijk te beseffen dat het duurzaam maken van de luchtvaart bijdraagt aan de strategische autonomie van Nederland. We zien in recente oorlogen dat ze veel langer duren dan de aanvallende partij oorspronkelijk verwachtte. Een oorlog wordt een slijtageslag die zowel nationaal als internationaal de economie langdurig verstoort. Langetermijn uithoudingsvermogen blijkt doorslaggevend te zijn geworden.

Dat heeft ook in de luchtvaart zijn gevolgen. Brandstof wordt schaarser en daardoor duurder, mogelijke vliegroutes worden beperkter en toeleveringsketens van o.a. reservedelen raken verstoord. Het duurzamer maken van de luchtvaart kan hier verlichting geven. Het zuiniger maken van vliegtuigen zorgt ervoor dat er minder brandstof nodig is. Duurzame brandstof die met name nationaal of Europees wordt geproduceerd vermindert de afhankelijkheid van landen elders in de wereld.

Referenties

Aamaas, B., Lund, M. T., Fuglestvedt, J. S., Totterdill, A., Owen, B., Skowron, A., & Lee, D. S. (2025). Continued global warming from aviation even under high-ambition mitigation scenarios. *One Earth*. https://doi.org/10.1016/j.oneear.2025.101451

Airbus. (2019). *Cities, Airports& Aircraft. Global Market Forecast 2019-2038*. Airbus S.A.S.

Airbus. (2023). *ZEROe. Towards the world's first zero-emission commercial aircraft*. Airbus. Retrieved 12-11-2021 from https://www.airbus.com/en/innovation/low-carbon-aviation/hydrogen/zeroe

Airbus. (2026). *Global Market Forecast 2025-2044*. Airbus S.A.S. https://www.airbus.com/en/products-services/commercial-aircraft/global-market-forecast

Alonso, J., Catalano, F., Cumpsty, N., Eyers, C. J., Goutines, M., Grönstedt, T., Hileman, J., Joselzon, A., Khaletskii, I., Mavris, D., Ogilvie, F., Ralph, D., Sabnis, J., Wahls, R., & Zingg, D. (2018). *Independent expert integrated technology goals assessment and review for engines and aircraft. 2017 independent expert integrated review panel. DRAFT version for review*. ICAO.

ATAG. (2021). *Waypoint 2050X. Balancing growth in connectivity with a comprehensive global air transport response to the climate emergency: a vision of net-zero aviation by mid-century*. Air Transport Action Group (ATAG).

Bartels, S., Rooney, D., & Müller, U. (2018). Assessing aircraft noise-induced annoyance around a major German airport and its predictors via telephone survey – The COSMA study. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, 59*, 246–258. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.01.015

Basner, M., Clark, C., Hansell, A., Hileman, J. I., Janssen, S., Shepherd, K., & Sparrow, V. (2017). Aviation Noise Impacts: State of the Science. *Noise Health, 19*(87), 41–50. https://doi.org/10.4103/nah.NAH_104_16

Batteiger, V., DeBreuker, R., Dedoussi, I., Delfs, J., Dinkelacker, F., Elham, A., Garcia, S. J., Friedrichs, J., Goertz, S., & Grewe, V. (2022). *Accelerating the path towards carbon-free aviation*. https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202207041441-0

Becken, S., Mackey, B., & Lee, D. S. (2023). Implications of preferential access to land and clean energy for sustainable aviation fuels. *Science of The Total Environment*, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163883

Becken, S., Miller, G., Lee, D. S., & Mackey, B. (2024). The scientific basis of 'net zero emissions' and its diverging sociopolitical representation. *Science of The Total Environment, 918*, 170725. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170725

Behrens, C., Jongeling, A., Konijn, S., & Koopmans, C. (2025). *Economische analyse ten behoeve van luchthavenbesluit Schiphol* (SEO-rapport 2025-165). SEO.

Bergero, C., Gosnell, G., Gielen, D., Kang, S., Bazilian, M., & Davis, S. J. (2023). Pathways to net-zero emissions from aviation. *Nature Sustainability*. https://doi.org/10.1038/s41893-022-01046-9

Biello, D. (2012). Plants versus Photovoltaics: Which Are Better to Capture Solar Energy? *Scientific American*. https://www.scientificamerican.com/article/plants-versus-photovoltaics-at-capturing-sunlight/

Blom, M., Meijer, C., Bouwman, P., Boerdijk, S., Leestemaker, L., Manshanden, W., & Bus, L. (2025). *Brede welvaart en de omvang van Schiphol. De wereld in 250.000, 375.000 en 500.000 vluchten*. CE Delft.

Bouwer, J., Saxon, S., & Wittkamp, N. (2021). *Back to the future? Airline sector poised for change post-COVID-19*. M. Company.

Breugelmans, O., Houthuijs, D., & van Poll, R. (2016). *Inventarisatie van gezondheids- en belevingsonderzoeken (1996-2015) rondom (regionale) luchthavens van nationale betekenis* (RIVM Briefrapport 2016-0101). RIVM.

Breugelmans, O., Houthuijs, D., van Poll, R., Hajema, K., & Hogenhuis, R. (2017). Predicting aircraft noise annoyance: Exploring noise metrics other than Lden.

Brewer, G. D. (1991). *Hydrogen aircraft technology*. CRC Press.

de Bruyn, S., Ahdour, S., Bijleveld, M., de Graaff, L., Schep, E., Schroten, A., & Vergeer, R. (2017). *Handboek Milieuprijzen 2017. Methodische onderbouwing van kengetallen gebruikt voor waardering van emissies en milieu-impacts* (17.7A76.64). C. Delft.

Burke, M., Zahid, M., Diffenbaugh, N. S., & Hsiang, S. (2026). Quantifying climate loss and damage consistent with a social cost of carbon. *Nature, 651*(8107), 959–966. https://doi.org/10.1038/s41586-026-10272-6

Cames, M., Harthan, R. O., Füssler, J. r., Lazarus, M., Lee, C. M., Erickson, P., & Spalding-Fecher, R. (2016). *How additional is the Clean Development Mechanism? Analysis of the application of current tools and proposed alternatives* (CLIMA.B.3/SERI2013/0026r). Öko-Institut.

CBS. (2026a). *Ruim 78 miljoen luchtvaartpassagiers in 2025*. CBS. Retrieved 12-10-2026 from https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2026/07/ruim-78-miljoen-luchtvaartpassagiers-in-2025

CBS. (2026b). *Statline*. CBS. Retrieved 22-03-2026 from https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/

Chester, M. V., & Horvath, A. (2009). Environmental assessment of passenger transportation should include infrastructure and supply chains *Environmental Research Letters, 4*(024008), 1–8. https://doi.org/doi:10.1088/1748-9326/4/2/024008

Dahlmann, K., Grewe, V., Matthes, S., & Yamashita, H. (2023). Climate assessment of single flights: Deduction of route specific equivalent CO2 emissions. *International Journal of Sustainable Transportation, 17*(1), 29–40. https://doi.org/10.1080/15568318.2021.1979136

Daleo, J. (2025). *Report: Airbus Has Spent $1.7B on Stalled Hydrogen Ambitions*. Flying Magazine. Retrieved 15-10-2026 from https://www.flyingmag.com/report-airbus-has-spent-1-7b-on-stalled-hydrogen-ambitions/

Davydenko, I., & Hilbers, H. (2024). Decarbonization Paths for the Dutch Aviation Sector. *Sustainability, 16*(3), 950. https://www.mdpi.com/2071-1050/16/3/950

Davydenko, I., Hilbers, H., & de Wilde, H. (2024). *Klimaatneutrale luchtvaart in 2050. Een verkenning van beelden en paden daar naartoe*. Planbureau voor de Leefomgeving.

Delgado Gosálvez, M., van Ham, J., Joosten, S., Juschus, d., Nieuwerth, G., van Pelt, T., Smit, L., Takken, M., Wang, Y., & Ziere, T. (2018). *Green Flying. Final Report*. T. Delft.

Dobruszkes, F., & Efthymiou, M. (2020). When environmental indicators are not neutral: Assessing aircraft noise assessment in Europe. *Journal of Air Transport Management, 88*, 101861. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101861

EASA. (2017). *Notice of Proposed Amendment 2017-01. Implementation of the CAEP/10 amendments on climate change, emissions and noise* (NPA 2017-01). EASA.

EASA. (2026). *Certification Noise Levels*. EASA. Retrieved 31-08-2026 from https://www.easa.europa.eu/en/domains/environment/easa-certification-noise-levels#group-easa-downloads

EASA, EEA, & EUROCONTROL. (2023). *European Aviation Environmental Report 2022* (ISBN: 978-92-9210-225-8).

Eaton, J., Naraghi, M., & Boyd, J. G. (2023). Market capabilities and environmental impact of all-electric aircraft. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, 124*, 103944. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103944

EEA. (2018). *Aviation and shipping — impacts on Europe's environment TERM 2017: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report* (EEA Report No 22/2017). EEA.

Eijgelaar, E., Neelis, I., Peeters, P. M., de Bruijn, K., & Dirven, R. (2020). *Travelling large in 2018. The carbon footprint of Dutch holidaymakers in 2018 and the development since 2002* (ISBN: 978-90-825477-6-4). Breda University of Applied Sciences in collaboration with NBTC-NIPO Research.

Eijgelaar, E., Peeters, P. M., Neelis, I., de Bruijn, K., & Dirven, R. (2021). *Travelling large in 2019. The carbon footprint of Dutch holidaymakers in 2019 and the development since 2002* (ISBN: 978-90-825477-6-4). Breda University of Applied Sciences in collaboration with NBTC-NIPO Research.

Eijgelaar, E., Peeters, P. M., Neelis, I., de Bruijn, K., & Dirven, R. (2022). *Travelling Large in 2020. The carbon footprint of Dutch holidaymakers in 2020 and the development since 2002* (ISBN: 9789058000057). Breda University of Applied Sciences in collaboration with NBTC-NIPO Research.

Elkington, J. (1997). *Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business*. Capstone.

Elkington, J. (2018). *Years ago I coined the phrase "triple bottom line." Here's why it's time to rethink it*. Retrieved 26-12-2019 from https://hbr.org/2018/06/25-years-ago-i-coined-the-phrase-triple-bottom-line-heres-why-im-giving-up-on-it

Emmerink, R., Burghouwt, G., & Boonekamp, T. (2024). Verhoog belasting op langsafstandsvluchten. *ESB, In press*, 1–3.

Epstein, A. H., & O'Flarity, S. M. (2019). Considerations for Reducing Aviation's CO2 with Aircraft Electric Propulsion. *Journal of Propulsion and Power, 35*(3), 572–582. https://doi.org/10.2514/1.B37015

Eurocontrol. (2023). *Use of sustainable aviation fuels in European States (ECAC) and airports*. Eurocontrol. https://www.eurocontrol.int/shared/saf/

Europe, A. (2022). *Developing an Airport. Net Zero Carbon Roadmap. Summary of existing roadmaps*. ACI Europe.

European Parliament, & European Council. (2023). *REGULATION (EU) 2023/2405 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 18 October 2023 on ensuring a level playing field for sustainable air transport (ReFuelEU Aviation)* ((EU) 2023/2405). O. J. o. t. E. Union.

Eurostat. (2026). *Key Figures on European Transport. 2025 Edition* (Publications Office of the European Union, Ed.). Eurostat.

Fanning, A. L., & Raworth, K. (2025). Doughnut of social and planetary boundaries monitors a world out of balance. *Nature, 646*(8083), 47–56. https://doi.org/10.1038/s41586-025-09385-1

Flottau, J., & Dubois, T. (2023). France Funds Research Into Conventional A320neo Successor. *Aviation Week & Space Technology*, (December 20), 15–16.

Geraedts, S., Brand, E., Dean, T. R., Eastham, S., Engberg, Z., Hager, U., Langmore, I., McCloskey, K., Ng, J. Y.-H., & Platt, J. C. (2023). A scalable system to measure contrail formation on a per-flight basis. *Environmental Research Communications, 6*(1), 015008.

GGD GHOR. (2022). *Belevingsonderzoek geluidhinder en slaapverstoring luchtvaart 2020. Gezondheidsmonitor Volwassenen en Ouderen 2020*. GGD GHOR.

Gössling, S., & Humpe, A. (2024). Net-zero aviation: Transition barriers and radical climate policy design implications. *Science of The Total Environment, 912*, 169107. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169107

Gössling, S., Humpe, A., & Leitão, J. C. (2024). Private aviation is making a growing contribution to climate change. *Communications Earth & Environment, 5*(1), 666. https://doi.org/10.1038/s43247-024-01775-z

Grebe, S., Faber, J., Juijn, D., Meijer, C., de Vries, M., Heijink, M., & Rooijers, F. (2024). *Carbon budget aviation* (23.230219.146). C. Delft.

Grebe, S., & Raphaël, S. (2023). *Aviation Non-CO2 estimator (ANCO). A tool for quantifying the non-CO2 climate impact of aviation* (23.220402.096). C. Delft.

Guzzo, D., Walrave, B., Videira, N., Oliveira, I. C., & Pigosso, D. C. A. (2024). Towards a systemic view on rebound effects: Modelling the feedback loops of rebound mechanisms. *Ecological Economics, 217*, 108050. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.108050

I&W. (2026). *MER Schiphol 2026, Hoofdrapport*. I&W.

IATA. (2025). *Chart of the Week 19 December 2025. Airline profits hit record high but margins stay thin*. IATA.

IATA. (2026a). *Annual Review 2026*. IATA. https://www.iata.org/contentassets/c81222d96c9a4e0bb4ff6ced0126f0bb/iata-annual-review-2026.pdf

IATA. (2026b). *Chart of the Week 6 February 2026. Another Year With Fewer New Airlines Starting Operations*. IATA.

ICAO. (2022). *Report on the feasibility of a long-term aspirational goal (LTAG) for international civil aviation CO2 emission reductions*. ICAO.

ICAO. (2026). *Monthly Monitor – December 2025*. ICAO. Retrieved 30-06-2026 from https://www.icao.int/sites/default/files/sp-files/sustainability/Documents/ICAO-Monthly-Monitor_202512.pdf

IEA. (2020). *Energy technology perspectives 2020*. I. E. Agency.

IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (doi: 10.1017/9781009157926). Cambridge University Press.

de Jong, S., Antonissen, K., Hoefnagels, R., Lonza, L., Wang, M., Faaij, A., & Junginger, M. (2017). Life-cycle analysis of greenhouse gas emissions from renewable jet fuel production [journal article]. *Biotechnology for Biofuels, 10*(1), 64. https://doi.org/10.1186/s13068-017-0739-7

Juijn, D., Blom, M., de Vries, J., Faber, J., & Grebe, S. (2022). *MKBA groei- en krimp Schiphol. Analyse van groei en krimp voor welvaart van Nederland en Schipholregio* (21.210158.095). CE Delft.

Katz-Rosene, R., & Ambe-Uva, T. (2023). Degrowth, Air Travel, and Global Environmental Governance: Scaffolding a Multilateral Agreement for a Smaller and More Sustainable Aviation Sector. *Global Environmental Politics, 23*(4), 119–140. https://doi.org/10.1162/glep_a_00714

Kemper, D., Peeters, B., Hooghwerff, J., & Ummels, R. (2022). *Aircraft noise policy in surrounding countries in relation to the WHO advice on aircraft noise*. To70.

Keuken, M., Moerman, M., Zandveld, P., Henzing, B., Brunekreef, B., & Hoek, G. (2014). Ultrafijn stof rondom Schiphol. In woonwijken van Amsterdam en Amstelveen zijn concentraties van ultrafijn stof verhoogd. *Tijdschrift Lucht, 6*, 8–11.

Kivits, R., Charles, M. B., & Ryan, N. (2010). A post-carbon aviation future: Airports and the transition to a cleaner aviation sector. *Futures, 42*(3), 199–211. https://doi.org/10.1016/j.futures.2009.11.005

KLM. (2026). *Annual Report 2025*. A. France/KLM.

Koopmans, C., Behrens, C., Blom, M., van Eck, G., Grebe, S., Jongeling, A., Juijn, D., Konijn, S., Meijer, C., & Heblij, S. (2023). *Schiphol: krimpen of verduurzamen?* (SEO-rapport 2023-27). SEO.

Laccourreye, L., & Laccourreye, O. (2024). A century ago, the birth of the decibel. *European Annals of Otorhinolaryngology, Head and Neck Diseases, 141*(5), 305–307. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.anorl.2024.06.002

Lee, D., Fahey, D., Skowron, A., Allen, M., Burkhardt, U., Chen, Q., Doherty, S., Freeman, S., Forster, P., & Fuglestvedt, J. (2021). The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment, 244*, 117834/117831–117829. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834

Lee, D. S., Allen, M. R., Cumpsty, N., Owen, B., Shine, K. P., & Skowron, A. (2023). Uncertainties in mitigating aviation non-CO2 emissions for climate and air quality using hydrocarbon fuels [10.1039/D3EA00091E]. *Environmental Science: Atmospheres*. https://doi.org/10.1039/D3EA00091E

Lee, J. J., Lukachko, S. P., Waitz, I. A., & Schäfer, A. (2001). Historical and future trends in aircraft performance, cost and emissions. *Annual Review Energy Environment, 26*, 167–200.

Leestemaker, L., & Meijer, C. (2025). *Nederlandse klimaatdoelen luchtvaart*. CE Delft.

Leestemaker, L., Meijer, C., & van Eck, G. (2026). *Afstandsafhankelijke vliegbelasting. Aanvullende analyse voor vijf luchthavens* (26.260163.095). CE Delft.

Lieshout, R., Koopmans, C., de Jong, G., Hoefsloot, N., de Pater, M., Wever, E., & Ummels, R. (2021). *Werkwijzer luchtvaartspecifieke MKBA's*. SEO.

Luchtvaart Nederland. (2018). *Slim én Duurzaam. Actieplan Luchtvaart Nederland: 35% minder CO2 in 2030*.

Luchtvaart Nederland. (2022). *Actieplan Slim én Duurzaam. Stand van zaken. Update 2022*.

Luchtvaart Nederland. (2024). *Toekomstbestendige luchtvaart voor Nederland*. NLR.

Maertens, S., Grimme, W., & Bingemer, S. (2020). The development of transfer passenger volumes and shares at airport and world region levels. *Transportation Research Procedia, 51*, 171–178. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.11.019

Maertens, S., Grimme, W., Scheelhaase, J., & Jung, M. (2019). Options to Continue the EU ETS for Aviation in a CORSIA-World. *Sustainability, 11*(20), 5703. https://www.mdpi.com/2071-1050/11/20/5703

Märkl, R. S., Voigt, C., Sauer, D., Dischl, R. K., Kaufmann, S., Harlaß, T., Hahn, V., Roiger, A., Weiß-Rehm, C., Burkhardt, U., Schumann, U., Marsing, A., Scheibe, M., Dörnbrack, A., Renard, C., Gauthier, M., Swann, P., Madden, P., Luff, D., Sallinen, R., Schripp, T., & Le Clercq, P. (2023). Powering aircraft with 100% sustainable aviation fuel reduces ice crystals in contrails. *EGUsphere, 2023*(preprint), 1–37. https://doi.org/10.5194/egusphere-2023-2638

Mello, F. P. d. (2024). Voluntary carbon offset programs in aviation: A systematic literature review. *Transport Policy, 147*, 158–168. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.12.023

Miller, T. R., Chertow, M., & Hertwich, E. (2023). Liquid Hydrogen: A Mirage or Potent Solution for Aviation's Climate Woes? *Environmental Science & Technology*. https://doi.org/10.1021/acs.est.2c06286

Effecten van luchtvaart op lokale luchtkwaliteit (herdruk), (2023a).

Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2023b). *Notificatiedocument. Notificatie Europese Commissie Balanced Approach procedure Schiphol*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2020). *Verantwoord vliegen naar 2050. Luchtvaartnota 2020-2050*.

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2022). *Hoofdlijnenbrief Schiphol* (I E NW/BSK-2022/156292). M. v. I. e. Waterstaat.

Molloy, J., Teoh, R., Harty, S., Koudis, G., Schumann, U., Poll, I., & Stettler, M. E. J. (2022). Design Principles for a Contrail-Minimizing Trial in the North Atlantic. *Aerospace, 9*(7), 375. https://www.mdpi.com/2226-4310/9/7/375

Nalianda, D., & Kirschler, S. (2025). *Insights from the TUI contrail avoidance flights (a part of the German 100-flights-trial). Operational experiences and preliminary scientific assessments* IATA-RAeS Workshop - Contrails: From modification to avoidance to management, London.

Natuur & Milieu. (2026). *Ranglijst Zakelijk Vliegen. Een vergelijking van 50 grote bedrijven in Nederland op zakelijke vliegemissies*. SNM.

Natuur en Milieufederatie Noord-Holland. (2017). *Versterking stiltegebiedenbeleid Noord-Holland. Eindrapport*. N. e. M. Noord-Holland.

Neelis, I., Peeters, P., & Eijgelaar, E. (2020). *Travelling large, the carbon footprint of Dutch business travel in 2016. An air-based affair* (9082547783).

Neelis, I., Peeters, P. M., Eijgelaar, E., & Nesterova, N. (2024). *Travelling Large in 2022: Inbound Tourism (OIT) & Inbound Day Visitors (OID). The carbon footprint of inbound tourists and day visitors to the Netherlands in 2022*. T. a. T. C. Centre for Sustainability.

Neelis, I., Pels, J., Eijgelaar, E., & Peeters, P. M. (2020). *Travelling Large in 2014 'Inbound tourism'. The carbon footprint of inbound tourism to the Netherlands in 2014* (ISBN 978-90-825477-7-1). C. f. S. T. a. Transport.

Negrete, J. R. (2025). *Connecting Europe: Connectivity and Fares at Major European Airports*. RDC Aviation,. Retrieved 17-10-2025 from https://rdcaviation.com/news/connecting-europe-connectivity-and-fares-at-major-european-airports/

NLR. (2023). *Concentraties zeer zorgwekkende stoffen op en rondom Nederlandse luchthavens* (NLR-CR-2023-148). NLR.

NLR. (2024). *CO2 reduction targets for Amsterdam Airport Schiphol based on remaining IPCC CO2 budgets up to 2050*. Royal NLR.

de Pater, M., Vegter, S., van Ommeren, K., Koopman, M., & Lieshout, R. (2024). *Belang Schiphol voor economie en vestigingsklimaat. Definitief eindrapport v1.01*. Decisio.

PBL. (2026). *Klimaat- en Energieverkenning 2026*. Planbureau voor de Leefomgeving.

Peeters, P., Eijgelaar, E., Neelis, I., & Adrichem, C. (2020). *De impact van luchtvaartgeluid op toerisme en verblijfsrecreatie. Verkennend onderzoek voor Zuid-Limburg*. B. U. o. A. Sciences.

Peeters, P., & Papp, B. (2023). *Envisioning Tourism in 2030 and Beyond. The changing shape of tourism in a decarbonising world*. Travel Foundation.

Peeters, P., & Papp, B. (2024). Pathway to zero emissions in global tourism: opportunities, challenges, and implications. *Journal of Sustainable Tourism*, 1–27. https://doi.org/10.1080/09669582.2024.2367513

Peeters, P., Tilsted, J. P., Bjørn, A., Buijtendijk, H., & Eijgelaar, E. (2026, pre–accepted). Aviation decarbonization pathways imply unjust allocation of the remaining carbon budget. *Cell Reports Sustainability, n/a*, n/a.

Peeters, P., Uitbeijerse, G., Geilenkirchen, G., & Peerlings, B. (2021). *Fuel tankering in relation to a Dutch CO2 ceiling for aviation* PbL Netherlands Environmental Assessment Agency.

Peeters, P. M. (2000). *Annex I: Designing aircraft for low emissions. Technical basis for the ESCAPE project.* (00.4404.17). (ESCAPE: Economic screening of aircraft preventing emissions - background report, Issue.

Peeters, P. M. (2017). *Tourism's impact on climate change and its mitigation challenges. How can tourism become 'climatically sustainable'?* Delft University of Technology]. Delft.

Peeters, P. M., Higham, J., Kutzner, D., Cohen, S. A., & Gössling, S. (2016). Are technology myths stalling aviation climate policy? *Transportation Research Part D, 44*, 30–42.

Peeters, P. M., & Melkert, J. A. (2018). *Factsheet toekomst verduurzaming luchtvaart* (juni 2018). d. K. Tweede Kamer, NWO, VSNU en de Jonge Akademie. https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/detail?id=2018Z11731&did=2018D34664

Peeters, P. M., & Melkert, J. A. (2021). *Factsheet toekomst verduurzaming luchtvaart: een actualisatie* (juni 2018). d. K. Tweede Kamer, NWO, VSNU en de Jonge Akademie. https://www.tweedekamer.nl/downloads/document?id=cf283429-3690-4e06-ba0f-8e3a62c4ce51&title=Toekomst%20verduurzaming%20luchtvaart%3A%20een%20actualisatie.pdf

Peeters, P. M., & Melkert, J. A. (2024). *Factsheet toekomst verduurzaming luchtvaart (actualisatie 2024)*. d. K. Tweede Kamer, NWO, VSNU en de Jonge Akademie. https://www.tweedekamer.nl/downloads/document?id=2024D12448

Peeters, P. M., & Middel, J. (2007). Historical and future development of air transport fuel efficiency. In R. Sausen, A. Blum, D. S. Lee, & C. Brüning (Eds.), *Proceedings of an International Conference on Transport, Atmosphere and Climate (TAC); Oxford, United Kingdom, 26th to 29th June 2006* (pp. 42–47). DLR Institut für Physic der Atmosphäre. http://www.pa.op.dlr.de/tac/

Pipistrel. (2024). *Velis Electro, electric pioneer*. Pipistrel. Retrieved 20-03-2024 from https://www.pipistrel-aircraft.com/products/velis-electro/

van Poll, R., Reedijk, M., Hoekstra, J., Swart, W., van de Kassteele, J., & Houthuijs, D. (2023). *Relaties vliegtuiggeluid – hinder en slaapverstoring 2020. Civiele en militaire vliegvelden in Nederland* (10.21945/RIVM-2022-0007). RIVM. http://hdl.handle.net/10029/626472

Rajon Bernard, V., Hendriks, R., de Haes, V., & Rzeplinska, L. (2026). *Contrail avoidance roadmap. Final Report*. To70.

Rapoza, A., Sudderth, E., & Lewis, K. (2015). The relationship between aircraft noise exposure and day-use visitor survey responses in backcountry areas of national parks. *The Journal of the Acoustical Society of America, 138*(4), 2090–2105.

Rechtbank Den Haag. (2024). *Uitspraak in de zaak RBV tegen de Staat* (ECLI:NL:RBDHA:2024:3734). Rechtbank Den Haag. https://uitspraken.rechtspraak.nl/details?id=ECLI:NL:RBDHA:2024:3734

Reedijk, M., & Hoekstra, J. (2026). *Hinder en slaapverstoring van vliegtuiggeluid in 2024. Blootstelling-responsrelaties voor burgerluchthavens en militaire luchthavens in Nederland* (RIVM-rapport 2026-0054). RIVM. https://www.rivm.nl/publicaties/hinder-en-slaapverstoring-van-vliegtuiggeluid-in-2024

Rijksoverheid. (2026). *Belasting op luchtvaart*. Rijksoverheid. Retrieved 11-10-2026 from https://www.rijksoverheid.nl/themas/verkeer-en-vervoer/luchtvaart/belasting-op-luchtvaart

Riley, E. A., Gould, T., Hartin, K., Fruin, S. A., Simpson, C. D., Yost, M. G., & Larson, T. (2016). Ultrafine particle size as a tracer for aircraft turbine emissions. *Atmospheric Environment, 139*, 20–29. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.05.016

RLI. (2016). *Mainport voorbij* (Rli 2016/02). R. v. d. Leefomgeving.

Rockström, J., Gupta, J., Qin, D., Lade, S. J., Abrams, J. F., Andersen, L. S., Armstrong McKay, D. I., Bai, X., Bala, G., Bunn, S. E., Ciobanu, D., DeClerck, F., Ebi, K., Gifford, L., Gordon, C., Hasan, S., Kanie, N., Lenton, T. M., Loriani, S., Liverman, D. M., Mohamed, A., Nakicenovic, N., Obura, D., Ospina, D., Prodani, K., Rammelt, C., Sakschewski, B., Scholtens, J., Stewart-Koster, B., Tharammal, T., van Vuuren, D., Verburg, P. H., Winkelmann, R., Zimm, C., Bennett, E. M., Bringezu, S., Broadgate, W., Green, P. A., Huang, L., Jacobson, L., Ndehedehe, C., Pedde, S., Rocha, J., Scheffer, M., Schulte-Uebbing, L., de Vries, W., Xiao, C., Xu, C., Xu, X., Zafra-Calvo, N., & Zhang, X. (2023). Safe and just Earth system boundaries. *Nature, 619*(7968), 102–111. https://doi.org/10.1038/s41586-023-06083-8

Rodrigue, J. P. (2024). *The geography of transport systems* (Sixt Edition ed.). Routledge.

Roosien, R. J., Lim, M. N. A., Petermeijer, S. M., & Lammen, W. F. (2024). Multi-Modal Life Cycle Assessment of Journeys by Aircraft, Train or Passenger Car. *Aerospace, 11*(1), 98. https://www.mdpi.com/2226-4310/11/1/98

SBTi. (2023). *Technical Report: The SBTi Interim 1.5° C Sector Pathway for Aviation*. SBTi.

Schäppi, R., Rutz, D., Dähler, F., Muroyama, A., Haueter, P., Lilliestam, J., Patt, A., Furler, P., & Steinfeld, A. (2022). Drop-in fuels from sunlight and air. *Nature, 601*(7891), 63–68. https://doi.org/10.1038/s41586-021-04174-y

Schiphol. (2023). *Kiezen voor een stiller, schoner en beter Schiphol. Meer balans met de leefomgeving*. Royal Schiphol Group,. Retrieved 15-02-2024 from https://www.schiphol.nl/nl/schiphol-group/pagina/kiezen-voor-een-stiller-schoner-en-beter-schiphol/

Schiphol. (2026). *Verkeer en vervoer in Cijfers. 1992-heden*. Schiphol. Retrieved 01-03-2026 from https://www.schiphol.nl/nl/schiphol-group/verkeer-en-vervoer-cijfers/

Schmidt, P., & Weindorf, W. (2016). *Power-to-Liquids. Potentials and Perspectives for the Future Supply of Renewable Aviation Fuel*. German Environment Agency.

Schmidt, P. R., Weindorf, W., Failer, S., Astono, Y., & Ullmann, A. (2023). *E-SAF: Techno-Economics of PtL and PtH2 – Focus North America*

and Europe. Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH.

Scott, N., Szydlowska, A., Behzadnejad, F., Malde, J., Lawton, R., Fujiwara, D., & Vriend, M. (2021). *Aviation Noise & Subjective Wellbeing*. Simetrica-Jacobs.

Simons, D. G., Amiri-Simkooei, A., Melkert, J. A., & Snellen, M. (2026). Contribution of aircraft types to noise levels across the NOMOS network of Amsterdam Airport Schiphol. *Journal of Air Transport Management, 131*, 102910. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2025.102910

Simons, D. G., Besnea, I., Mohammadloo, T. H., Melkert, J. A., & Snellen, M. (2022). Comparative assessment of measured and modelled aircraft noise around Amsterdam Airport Schiphol. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, 105*, 103216. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103216

Simorgh, A., Soler, M., González-Arribas, D., Matthes, S., Grewe, V., Dietmüller, S., Baumann, S., Yamashita, H., Yin, F., Castino, F., Linke, F., Lührs, B., & Meuser, M. M. (2022). A

Comprehensive Survey on Climate Optimal Aircraft Trajectory Planning. *Aerospace, 9*(3), 1–32. https://www.mdpi.com/2226-4310/9/3/146

Slodowitz, I. (2026). *Private Jet Usage Statistics: Who's Flying Private and How Often*. Craft. Retrieved 24-09-2026 from https://www.flycraft.com/statistics/private-jet-usage-statistics

Snijders, T. A., & Melkert, J. A. (2011). *Evaluation of Safety, performance and emissions of Synthetic Fuel Blends in an Cessna Citation II* 3AF/AIAA Aircraft noise and emissions reduction symposium, , 25-27 October, 2011, Marseille, France.

Snyder, C. (1998). *Zero-emissions aircraft? Scenarios for aviation's growth: opportunities for advanced technology* NASA Environmental Compatibility Research Workshop III, Monterey, CA.

Snyder, C. A., Berton, J. J., Brown, G. V., Dolce, J. L., Dravid, N. V., Eichenberg, D. J., Freeh, J. E., Gallo, C. A., Jones, S. M., & Kundu, K. P. (2009). Propulsion Investigation for Zero and Near-Zero Emissions Aircraft. *NASA TM-215487*.

Stern, N. (2006). *The economics of climate change: The Stern review*. Cambridge University Press.

Stern, N. (2025). *The Growth Story of the 21st Century. The Economics and Opportunity of Climate Action*. LSE Press. https://doi.org/10.31389/lsepress.tgs

Suzan, S. (2023). *Biofuels: from unsustainable crops to dubious waste?* T&E.

Terwel, R., & Kerkhoven, J. (2017). *Climate-neutral Aviation with Current Engine Technology: The Take-off of Synthetic Kerosene Production in the Netherlands*. Q. I. B.V.

The Royal Society. (2023). *Net zero aviation fuels: resource requirements and environmental impacts. POLICY BRIEFING* (ISBN: 978-1-78252-632-2). T. R. Society.

Tilsted, J. P., Buijtendijk, H., Eijgelaar, E., Peeters, P. M., & Bjørn, A. (2026). Science-based climate targets for aviation fall short on mitigation and implementation. *Environmental Research Letters*. http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ae7a94

To70. (2025). *Notitie tbv LVB; To70 memo potentiële groeistappen*. To70.

Tourism Panel on Climate Change. (2023). *Tourism and Climate Change Stocktake 2023* (D. Scott, S. Becken, & G. Lipman, Eds.). Tourism Panel on Climate Change,. https://tpcc.info/

Transport & Environment. (2026). *Modernising the EU's rail ticketing regulation. How to streamline passenger rail travel across Europe*. T. Environment.

Van der Sman, E., Peerlings, B., Kos, J., Lieshout, R., & Boonekamp, T. (2021). *Destination 2050 – A route to net zero European aviation* (NLR-CR-2020-510). NLR.

Visser, S., & Hofman, T. (2022). *Footprint luchtvaart Schiphol op luchtkwaliteit* (RIVM-briefrapport 2022-0186). RIVM.

de Vries, R., Wolleswinkel, R. E., Hoogreef, M., & Vos, R. (Year). A New Perspective on Battery-Electric Aviation, Part II: Conceptual Design of a 90-Seater. AIAA SCITECH 2024 Forum, Orlando (FL).

Wennink, P. (2025). *DE ROUTE NAAR TOEKOMSTIGE WELVAART. Een sterk Nederland in een relevant Europa*. WWW.RAPPORTWENNINK.NL.

Werij, H., van de Sanden, R., & Hoeijmakers, H. (2022). *Second opinion op factsheet en technische briefing: Toekomst verduurzaming luchtvaart* (I E NW/BSK-2022/28143). Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

Wöhler, S., Burschyk, T., Häßy, J., & Iwanizki, M. (2023). *Design and assessment of long range aircraft concepts with focus on fossil kerosene, sustainable aviation fuel and liquid hydrogen as energy carriers* AIAA AVIATION 2023 Forum, 12-16 June,

Wolleswinkel, R. E., de Vries, R., Hoogreef, M., & Vos, R. (2024). *A New Perspective on Battery-Electric Aviation, Part I: Reassessment of Achievable Range* AIAA SCITECH 2024 Forum, Orlando (FL).

Zijlstra, T., & 't Hoen, A. L. (2026). *Vliegen vanuit het buurland. Leidt de vliegbelasting tot ander uitwijkgedrag?* Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.

Deze factsheet is tot stand gekomen in het kader van de samenwerking van de Tweede Kamer met De Jonge Akademie, de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (KNAW), de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO), TNO, UMCNL (universitair medische centra), de Vereniging Hogescholen en de Vereniging Universiteiten van Nederland (UNL).

Tweede Kamer DER STATEN-GENERAAL

Universiteiten van Nederland

TNO

KNAW

de jonge akademie

NWO

Vereniging Hogescholen

umcnl

Disclaimer

De Jonge Akademie, KNAW, NWO, TNO, UMCNL, UNL en VH bemiddelen tussen parlementaire kennisvraag en wetenschappelijk kennisaanbod. De informatie in het kader van Parlement en Wetenschap is afkomstig van vooraanstaande (wetenschappelijk) onderzoekers, maar niet onderworpen aan peer review en niet door de onderzoeks- en wetenschapsorganisaties geverifieerd.