IvCB Public Affairs & Stakeholdermanagement

ARCADIS

Onderzoek infrastructuur duurzame energiedragers luchtvaart

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

13 februari 2024 - Public

Inhoudsopgave

Managementsamenvatting 6

Begrippen 10

1 Achtergrond 11

1.1 Aanleiding 11
1.2 Doel 12
1.3 Studiescope en afbakening 13
1.4 Aanpak en leeswijzer 14

2 Energieverbruik van de Nederlandse luchtvaart 15

2.1 Wat is SAF? 15
2.2 Juridisch kader 17
2.3 Totale energieverbruik en ontwikkeling in de tijd 18
2.4 Verdeling energieverbruik over de luchthavens 19
2.5 Verdeling van energiedragers 20
2.5.1 Schiphol 21
2.5.2 Overige grote luchthavens 22
2.5.3 Kleine luchthavens 22

3 Infrastructuur – kerosine incl. SAF 24

3.1 Huidige situatie 24
3.1.1 Productielocaties en terminals 24
3.1.2 Pijpleidingen en beheer 26
3.1.3 Scheepstransport 28
3.1.4 Wegtransport 28
3.1.5 Certificering SAF en accreditatie 28
3.1.6 Overzicht productielocaties, leidingnetwerken en luchthavens 30
3.2 Benodigde infrastructuur voor de toekomst 31
3.2.1 Productielocaties en terminals 31
3.2.2 Pijpleidingen en beheer 31
3.2.3 Scheepstransport 32
3.2.4 Wegtransport 32
3.3 Deelconclusie 32

4 Elektrische luchtvaart 34

4.1 Huidige situatie 34
4.1.1 Laadinfrastructuur kleine luchthavens 37
4.1.2 Laadinfrastructuur grote luchthavens en Schiphol 38
4.2 Benodigde infrastructuur voor de toekomst (2030 en 2050) 38
4.3 Deelconclusie 39

5 Infrastructuur voor waterstof 40

5.1 Huidige situatie 40
5.1.1 Waterstoftechniek in de luchtvaart 40
5.1.2 Geplande infrastructuur 41
5.2 Projecties voor de toekomst (2030 en 2050) 44
5.2.1 Afwegingen voor keuze van transportinfrastructuur 44
5.2.2 Schiphol 45
5.2.3 Grote luchthavens 46
5.2.4 Kleine luchthavens 47
5.3 Deelconclusie 47

6 Stakeholderanalyse 48

6.1 Inleiding 48
6.2 Scope van stakeholders binnen de luchtvaart 48
6.3 Sectoren 48
6.3.1 Luchtvaartmaatschappijen 48
6.3.2 Luchthavens 50
6.3.3 Distributie en opslag 53
6.3.4 Andere mobiliteitssectoren 54

7 Conclusies en Aanbevelingen 55

7.1 Conclusies 55
7.1.1 Landelijke transport infrastructuur voor kerosine 55
7.1.2 Infrastructuur voor elektriciteitsvoorziening 55
7.1.3 Infrastructuur Waterstof 56
7.1.4 Sectorbelang en rol van de overheid 57
7.2 Aanbevelingen 58
7.2.1 Tijdig bijstellen projecties en nader onderzoek 58
7.2.2 Aanbevelingen planvorming en technische studies 58

8 Bibliografie 59

Bijlage A Lijst met betrokken actoren 61

Bijlage B Huidige en geplande infrastructuur rondom de grote luchthavens 62

Colofon 67

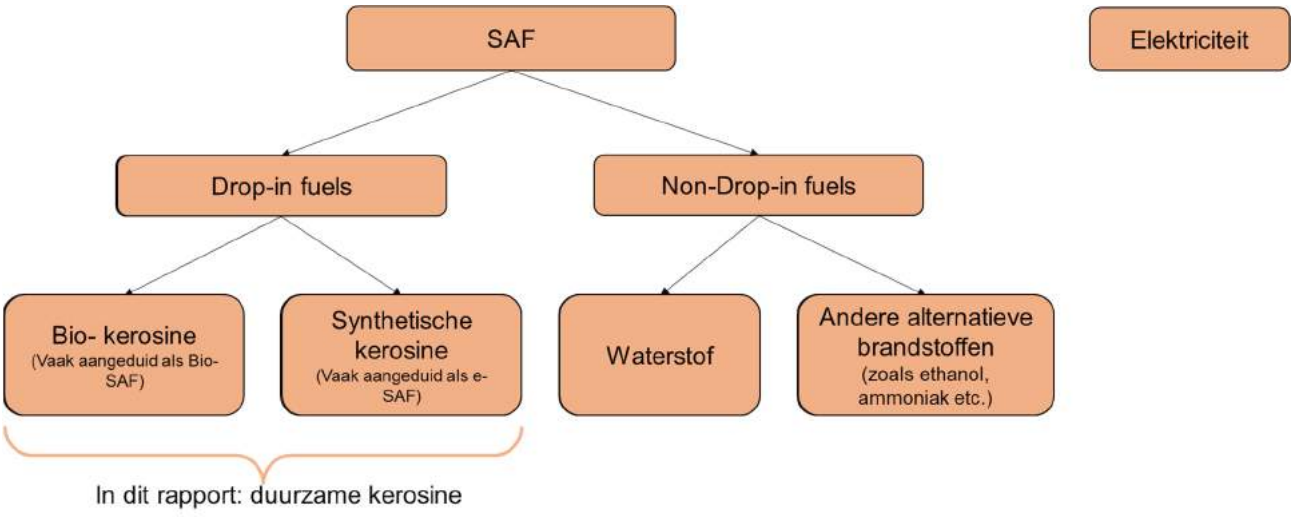
Managementsamenvatting

Voor de verduurzaming van de Nederlandse luchtvaart is het cruciaal dat voldoende duurzame energiedragers beschikbaar komen en worden gedistribueerd naar de verschillende Nederlandse (civiele) luchthavens. In dit rapport is onderzocht hoe de veranderingen in de luchtvaartsector door het toenemende gebruik van duurzame energiedragers de infrastructurele behoefte voor de distributie van deze brandstoffen gaan beïnvloeden. Daarbij wordt gekeken naar de logistieke keten vanaf het moment van productie (of import) tot aan de 'hekken' van de (civiele) luchthavens. De term 'infrastructurele behoefte' betreft zowel de fysieke componenten, als ook de wetgevende/governance structuur rondom de keten.

De Europese verordening die bekend staat als ReFuelEU Aviation, legt producenten en leveranciers van vliegtuigbrandstof vanaf 2025 bijmengverplichtingen op. In dit startjaar wordt een bijmengverplichting van 2% duurzame brandstoffen (waaronder direct gebruik van waterstof als brandstof) opgelegd. Dit percentage zal over de jaren geleidelijk aan oplopen tot 6% in 2030 en 70% in 2050. Daarnaast is er ook een sub-mandaat voor het gebruik van RFNBO's[1]. De Nederlandse overheid heeft in haar Luchtvaartnota de ambitie nog scherper gesteld door te streven naar een percentage van 100% in 2050. Wat de Europese bijmengverplichting en de nationale doelen betekenen voor de vraag naar duurzame brandstoffen vanuit de Nederlandse luchtvaartsector over de periode tot 2050 is in eerder onderzoek, uitgevoerd door Studio Gear Up, vastgesteld. Daarin is voor de jaartallen 2030 en 2050 een inschatting gemaakt van de totale vraag (in PJ) naar kerosine, waterstof en elektriciteit, als brandstof voor de luchtvaart. De hieruit voortgekomen getallen (zie tabel) zijn het vertrekpunt van deze vervolgstudie naar de aansluitende infrastructurele behoefte.

	2020	**2025**	**2030**	*2035*	*2040*	*2045*	**2050**
Totale energievraag luchtvaart in Nederland	*80 PJ*	**171 PJ**	**179 PJ**	*175 PJ*	*170 PJ*	*166 PJ*	**158 PJ**
Waarvan kerosine (duurzaam en fossiel)	*80 PJ*	**171 PJ**	**179 PJ**	*175 PJ*	*163 PJ*	*148 PJ*	**123 PJ**
Waarvan waterstof	*0 PJ*	**0 PJ**	**0 PJ**	*0 PJ*	*8 PJ*	*16 PJ*	**32 PJ**
Waarvan elektriciteit	*0 PJ*	**0 PJ**	**0 PJ**	*0 PJ*	*0 PJ*	*2 PJ*	**3 PJ**

Tot Sustainable Aviation Fuels (SAF) wordt gerekend zowel bio-kerosine, synthetische kerosine (beide vormen van drop-in fuels) als ook waterstof voor direct gebruikt (in daarvoor geschikte vliegtuigen), alles volgens de definitie van de ReFuelEU Aviation verordening. Daarnaast zal een deel van de Nederlandse luchtvaart elektrisch gaan vliegen, dit betreft een klein percentage van het geheel en geldt overwegend voor kleine toestellen. Onderstaande figuur geeft een totaaloverzicht van de categorisering van de verschillende duurzame luchtvaartbrandstoffen en de gehanteerde terminologie.



[1] RFNBO staat voor Renewable Fuel of Non-Biological Origin. Een hernieuwbare brandstof (of grondstof) van niet-biologische oorsprong

Verdeling brandstofvraag over Nederlandse luchthavens
De huidige verdeling van de energievraag per luchthaven in Nederland is bepaald ((CE Delft, mei 2023) en (CBS, 2023)) en dezelfde ratio wordt gehanteerd om de toekomstige energievraag per luchthaven te berekenen (zie tabel). De Nederlandse luchthavens zijn onderverdeeld in 3 categorieën: Schiphol, 'Overige 4 grote luchthavens' en 'Kleine luchthavens'. Tabel 2-7,Tabel 2-9 en Tabel 2-11 geven de procentuele verdeling van de vraag naar energie voor elk van de categorieën luchthavens weer. Op basis van deze verhoudingen is de totale energiebehoefte per brandstofdrager, per luchthaven voor de situatie in 2030 en 2050 gemaakt. Door haar functie als internationale hub is het aandeel van Schiphol in de totale energievraag met circa 94 procent aanzienlijk.

Luchthavens	Aandeel van de totale energievraag NL luchtvaart
Schiphol	Ca. 94%
Overige 4 grote luchthavens	< 6%
Totaal kleine luchthavens	< 0.5%

Distributie van duurzame kerosine
Uit de studie is gebleken dat er naast het 'capaciteitsvraagstuk' een 'compatibiliteits'-vraagstuk speelt. Kan duurzame kerosine probleemloos worden opgenomen in de huidige bestaande logistieke keten voor transport van conventionele kerosine?

Het gebruik van bestaande infrastructuur vormt strikt genomen geen fysieke belemmeringen voor het transport van duurzame kerosine (biokerosine en synthetische kerosine) naar de luchthavens. Dit omdat duurzame kerosine als 'drop-in' fuel, chemisch verwant is aan conventionele kerosine (jet A-1). Duurzame kerosine verschilt wel van conventionele kerosine in het aromaten gehalte. De ASTM D1655 specificatie schrijft voor dat Jet-A1 tussen 8 en 25 procent aromaten moet bevatten om veilig te kunnen worden gebruikt als brandstof (Aerospace Technology Institute, 2022).

Het percentage aromaten in duurzame kerosine is (vrijwel) nul, wat betekent dat deze moet worden gemengd met conventionele kerosine om te mogen worden gebruikt als vliegtuigbrandstof. Binnen de supply chain moet worden geborgd dat de brandstof niet "off-spec"[2] raakt (Aerospace Technology Institute, 2022). Bij transport over de weg, of via (binnenvaart)schepen kan duurzame kerosine, in welke vorm ook, eenvoudig worden opgenomen in de bestaande logistieke keten, doordat brandstofspecificaties batchgewijs kunnen worden gecontroleerd. Regelgeving rondom het invoeren van duurzame kerosine op pijpleidingnetwerken is noodzakelijk om overschrijding van de specificaties te allen tijde te kunnen uitsluiten.

Schiphol zal in de toekomst significant de grootste afnemer zijn van duurzame kerosine in Nederland. Voor de bevoorrading van Schiphol met deze duurzame vliegtuigbrandstof zijn er geen fysieke belemmeringen om gebruik te maken van de bestaande pijpleidingen, DPO en ASP [3], die zorgen voor de bevoorrading. Echter, binnen de huidige regelgeving is het gebruik van het DPO netwerk voor transport van duurzame kerosine momenteel geen optie vanwege de verplichting van 'traceerbaarheid' die geldt als voorwaarde voor het verkrijgen van Hernieuwbare Brandstofeenheden (HBE). Een geleverde brandstofeenheid moet door de gehele keten kunnen worden gevolgd tot aan afname door een eindverbruiker (in Nederland). Omdat het DPO netwerk meervoudig aftakt, en daarbij de grens overgaat, kan aan deze voorwaarde niet worden voldaan.

Uit gesprekken met de beherende partijen van het DPO en ASP netwerk is duidelijk geworden dat de capaciteit van de bestaande infrastructuur voor zowel 2030 als 2050 geen problemen zal geven.

De huidige logistieke keten die zorgt voor de bevoorrading van kerosine naar luchthaven Schiphol is gedeeltelijk in handen van private partijen. Zowel de ASP pijpleiding als de AFS bevoorradingsterminal op Schiphol worden beheerd door een consortium van private partijen (zie hoofdstuk 6.3.2). Deze situatie zou mogelijk een obstakel kunnen vormen voor nieuwe spelers op de markt, zoals producenten van biokerosine, die willen toetreden. Het is daarom raadzaam

[2] Vliegtuigbrandstoffen zoals Jet A-1 moeten altijd voldoen aan de specificaties die onder andere vastleggen uit welke bestanddelen de brandstof moet bestaan. Geborgd moet worden dat met het bijmengen van duurzame kerosine nog steeds aan deze specificatie voldaan wordt
[3] DPO = Defensie Pijpleiding organisatie, ASP = Amsterdam Schiphol Pijpleiding

dat de overheid toezicht houdt om ervoor te zorgen dat dit niet leidt tot oneerlijke concurrentie. Het is belangrijk dat er eerlijke en gelijke kansen worden geboden aan alle partijen die willen bijdragen aan duurzame ontwikkelingen in de luchtvaartsector.

Alle overige luchthavens in Nederland worden bevoorraad via de weg, waardoor distributie van duurzame kerosine in het huidige logistieke netwerk geen problemen geeft.

Hernieuwbare Brandstofeenheden (HBE's)

Hernieuwbare brandstofeenheden (HBE's) zijn certificaten die worden toegekend aan leveranciers van duurzame brandstoffen. Voor elke gigajoule (GJ) aan hernieuwbare brandstof die wordt geleverd, wordt een HBE-certificaat afgegeven. De regelgeving met betrekking tot de toekenning van deze HBE's, ook wel bekend als hernieuwbare brandstofcertificaten, is vastgelegd in de Wet milieubeheer (Staatscourant, 2023). In Nederland wordt de uitvoering en handhaving van deze regelgeving geregeld door de Nederlandse Emissieautoriteit (NEa).

Als reactie op de aankomende RED-III wordt de huidige wetgeving omtrent gebruik van duurzame brandstoffen in Nederland aangepast. In plaats van het werken met HBE's, zal er worden overgestapt naar een systeem waarin emissiereductie-eenheden (ERE's) centraal komen te staan. Dit betekent dat certificaten worden toegekend op basis van de hoeveelheid CO2 emissiereductie die wordt gerealiseerd in plaats van duurzame energie die is geproduceerd (Wet milieubeheer RED-III, 2023).

Bij de uitwerking van toekomstige regelgeving voor de toekenning van emissiereductie-eenheden, is het belangrijk dat rekening wordt gehouden met de mogelijkheid om de distributie van duurzame kerosine via DPO in de toekomst toegankelijk te maken.

Distributie van waterstof voor de luchtvaart

Voor de productie van duurzame kerosine is (hernieuwbare) waterstof een grondstof. Distributie van deze stromen richting productielocaties van duurzame kerosine zijn niet meegenomen in de scope van dit onderzoek, temeer omdat de productielocaties aansluiting vinden op het bestaande (of te ontwikkelen) infrastructurele netwerk. Voor de directe inzet van hernieuwbare waterstof als brandstof voor vliegtuigen geldt dit niet, daar staat de geografische ligging van de luchthavens vast en moet de infrastructuur hierop worden aangepast.

Waterstof voor direct gebruik in vliegtuigen maakt naar verwachting zijn intrede na 2035, wanneer toestellen op de markt worden geïntroduceerd die vliegen op vloeibare waterstof. In tegenstelling tot de situatie voor duurzame kerosine, waar huidige infrastructuur moeiteloos gebruikt kan worden voor distributie van deze duurzame brandstof, is er voor de opslag, koeling en distributie van waterstof naar de luchthavens fysieke ontwikkeling van infrastructuur nodig.

In Nederland is HyNetwork Services (onderdeel van Gasunie) bezig met de uitrol van het landelijk waterstofnetwerk. Dit pijpleidingnetwerk maakt de distributie van gasvormig waterstof mogelijk vanuit de invoerpunten in havengebieden, naar de rest van het land. Dit Nederlandse netwerk is onderdeel van de 'European Hydrogen Backbone' waardoor het een robuust geheel zal vormen. Transport vanaf het landelijk waterstofnetwerk naar luchthavens vergt wel investeringen in 'tie-in' punten op het landelijk waterstofnetwerk. De afstand van een luchthaven tot het netwerk, het jaarlijkse volume, en de beschikbare ruimte voor koelvoorzieningen bepalen de afweging of een dergelijke aftakking voor een luchthaven economisch zinvol is.

Voor luchthaven Schiphol wordt er in 2050 een jaarlijks waterstofverbruik van 230 kt voorspeld (zie hoofdstuk 2.5), wat overeenkomt met 76,5 duizend trucktransporten per jaar. Vanwege deze grote volumes lijkt het economisch rendabel om Schiphol aan te sluiten op het landelijke waterstofnetwerk. Dit mede omdat het waterstofnetwerk de luchthaven nagenoeg doorkruist. Er worden geen beperkingen verwacht met betrekking tot de capaciteit van het netwerk. Een koel- en zuiveringsinstallatie op of nabij de luchthaven is echter nodig, gezien het gasvormige transport van waterstof in het netwerk, en de noodzaak om waterstof vloeibaar te kunnen maken voor gebruik in vliegtuigen. De koelvraag op jaarbasis voor deze behandeling bedraagt bijna 1400 GWh. Ruimte en netaansluiting kunnen mogelijk beperkend zijn voor een installatie van deze omvang op de luchthaven, is gebleken uit overleg met betrokken stakeholders.

De vraag naar waterstof op de overige vier grote luchthavens (exclusief Schiphol) in 2050 wordt in dit rapport geschat op 37 kt per jaar, wat overeenkomt met ongeveer 12.300 vrachtwagentransporten. De verdeling van waterstof over de

luchthavens is afhankelijk van hun strategie met betrekking tot de brandstofmix. Eindhoven Airport zal naar verwachting verantwoordelijk zijn voor ongeveer de helft van deze vraag (20 kt), terwijl Rotterdam en Maastricht elk 8 kt moeten voorzien, en Groningen slechts 1 kt per jaar.

Het vloeibaar maken van waterstof en de beschikbaarheid van het landelijk waterstofnetwerk moeten worden onderzocht voor alle genoemde luchthavens. Als vloeibaar maken op de luchthaven zelf niet mogelijk is, kan een locatie net buiten de luchthaven worden overwogen, of bevoorrading over de weg vanuit het havengebied van Rotterdam of North Sea Port (Zeeland).

Samenvattend kunnen de luchthavens profiteren van het landelijke waterstofnetwerk, maar er moeten ook alternatieve bevoorradingsmogelijkheden worden overwogen, afhankelijk van de specifieke locatie en beschikbaarheid van waterstofbronnen.

Elektrische infrastructuur voor een duurzame luchtvaart
Bijna overal in Nederland is er sprake van netcongestie. Alle luchthavens krijgen hier ook mee te maken op het moment dat de elektriciteitsvraag dusdanig toeneemt dat een grotere aansluiting nodig is. De elektriciteitsvraag op luchthavens zal toenemen door elektrisch vliegen maar ook door elektrificatie van grondgebonden operaties en mogelijk het koelen van waterstof. Elektrisch vliegen bevindt zich nu nog in een ontwikkelfase, maar de verwachting is dat dit in de komende jaren flink gaat toenemen en zeker op kleine luchthavens richting 2050 een groot aandeel zal hebben in de energiemix voor vliegtuigen. Daarnaast zal ook vliegen op waterstof leiden tot aanvullende elektriciteitsvraag doordat waterstof gekoeld moet worden tot het vloeibaar is.

Om te bepalen welke ontwikkelingen van het elektriciteitsnet nodig zijn voor de energietransitie in de luchtvaart moet per luchthaven een gedetailleerde analyse worden uitgevoerd van de huidige vermogensvraag en hoe deze zich tot 2050 gaat ontwikkelen. Dit is in dit rapport als aanbeveling opgenomen. Omdat het uitbreiden van de capaciteit van het elektriciteitsnet veel tijd kost, is het belangrijk voor de luchthavens om ver vooruit te plannen: voor kleine luchthavens minimaal 5 jaar tot wel 10 jaar voor de grote luchthavens. Dit stelt luchthavens in staat om samen met de netbeheerder proactief om te gaan met de verwachte toename in de vraag naar elektriciteit en de mogelijke impact op het elektriciteitsnet. In de meeste gevallen zal dit de regionale netbeheerder betreffen, maar voor de grote luchthavens komt hierbij ook TenneT in beeld, omdat het om vermogens groter dan 100 MW kan gaan. Omdat netcongestie een probleem is dat niet op korte termijn opgelost is, vele belanghebbenden raakt en waarbij veel coördinatie vereist is, kan hier een regierol vanuit de landelijke overheid zijn weggelegd. Het realiseren of verzwaren van midden- en hoogspanningsverbindingen vergt coördinatie met veel stakeholders: gemeenten, provincies, waterschappen, Rijkswaterstaat (voor het oversteken van waterwegen en rijkswegen) en maatschappelijke belanghebbenden zoals omwonenden en natuurorganisatie. Wanneer netcongestie een obstakel vormt voor de elektrificatie van de luchtvaart kan er een rol voor de overheid zijn weggelegd om te prioriteren bij de verdeling van transportcapaciteit. De landelijke overheid moet dan bepalen of elektrificatie van de luchtvaart een hoge prioriteit heeft.

Naast een grotere aansluiting op het elektriciteitsnet is het ook belangrijk optimaal gebruik te maken van het vermogen dat al beschikbaar is op de luchthaven: load balancing en het inzetten van batterijen kan hieraan bijdragen, eventueel in combinatie met lokale opwek.

Ontwikkelingen duurzame luchtvaart in relatie tot andere transportsectoren

De Europese bijmengverplichting zal de vraag naar Sustainable Aviation Fuel (SAF) vergroten. Aanvankelijk betekent dit het gebruik van duurzame kerosine, en dan met name biokerosine, omdat vliegtuigen die gebruik maken van waterstof als brandstof nog niet in gebruik zijn en synthetische kerosine een duurder alternatief is. Hoewel SAF momenteel voldoende beschikbaar zou zijn in de vorm van biokerosine, zal er ook vraag ontstaan naar biodiesel in wegvervoer. Dit kan leiden tot concurrentie tussen de luchtvaart- en wegvervoersector, aangezien beide brandstoffen dezelfde grondstoffen gebruiken. Hierdoor bestaat een risico tot prijsopdrijvende effecten door een marktsituatie waarin beide brandstoffen uitwisselbaar zijn, en de vraag naar kerosine de biodiesel prijs kan opdrijven en omgekeerd.

Het is aan te bevelen dat het beschreven risico van interferentie tussen de doelstellingen in beide sectoren op de Europese agenda wordt geplaatst. Het opzetten van een overlegplatform of het uitvoeren van een studie naar de mogelijke prijseffecten wordt aanbevolen. De landelijke overheid kan hier een actieve rol innemen, zowel in de afstemming tussen sectoren als het identificeren of dit vraagstuk in meerdere EU lidstaten speelt en indien dit het geval is, dit ook in Europees verband oppakken.

Begrippen

In dit rapport worden een aantal afkortingen en begrippen gehanteerd:

APU	Auxiliary Power Unit – Een hulpmotor in het vliegtuig dat de energie levert voor functies anders dan voortstuwing, waaronder het op druk houden van bepaalde hydraulische systemen en het starten van de hoofdmotoren
Avgas	Aviation gasoline is een brandstof die met name in de general aviation gebruikt wordt in interne verbrandingsmotoren. Deze brandstof is afgeleid van benzine en toont hier veel overeenkomsten mee.
Bio-SAF	Een Sustainable Aviation Fuel (biokerosine) gemaakt van biogene grondstoffen
CO_2	Koolstofdioxide, een broeikasgas
Commerciële luchtvaart	Commerciële luchtvaart is de bedrijfsactiviteiten die betrokken zijn bij het aanbieden van luchtvervoerdiensten aan het publiek. Het omvat het exploiteren van vliegtuigen voor het vervoer van passagiers, vracht of beide, tegen betaling.
Duurzame energiedragers voor de luchtvaarsector	Het totaal van duurzame energiedragers dat kan worden ingezet in de luchtvaartsector zoals gedefinieerd in de ReFuelEU
GPU	Ground Power Unit – Een mobiele stroomaggregaat die stroom levert aan een vliegtuig tijdens de afhandeling op de grond, als de vliegtuigmotoren uitgeschakeld zijn
e-SAF	Een Sustainable Aviation Fuel (synthetische kerosine) geproduceerd uit hernieuwbare elektriciteit en CO_2 en (groene) waterstof
Drop-in fuel	Vliegtuigbrandstof die zonder aanpassingen in een brandstoftank van een conventioneel vliegtuig wordt gebracht.
GA	General Aviation – kleine civiele luchtvaart anders dan geregelde luchtvaartdiensten, transport of chartering.
Handling	Ondersteunende activiteiten
(Het) ministerie	Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, opdrachtgever voor deze opdracht
Jet-A1	Een gestandaardiseerd type fossiele kerosine brandstof.
PJ	Petajoule – Een hoeveelheid energie van 1 x 10^{15} Joule
ReFuelEU Aviation	Europese verordening met als doel het waarborgen van een gelijk speelveld voor duurzaam luchtvervoer
RFNBO	Renewable Fuel of Non-Biological Origin – Een hernieuwbare brandstof (of grondstof) van niet-biologische oorsprong
SAF	Sustainable Aviation Fuel – Een verzameling van verschillende duurzame luchtvaartbrandstoffen: zowel biokerosine, synthetische kerosine (beide vormen van drop-in fuels) als ook waterstof voor direct gebruikt (in daarvoor geschikte vliegtuigen). Zie hoofdstuk 2.1 voor verdere uitleg
Vliegbeweging / vlucht	Het starten, boarden en beladen, taxiën, en vliegen naar de bestemming. Dit vangt aan op het moment dat de motor wordt gestart met het doel te gaan vliegen, en eindigt wanneer de motor wordt gestopt.

1 Achtergrond

De luchtvaartsector vervult een belangrijke rol in onze samenleving, en heeft in belangrijke mate bijgedragen aan internationale mobiliteit en toegankelijkheid, en economische groei en welvaart. Luchtvaart heeft echter ook een keerzijde die in de laatste jaren steeds meer aandacht krijgt: de impact op ons milieu. Doordat vliegtuigen bijna uitsluitend gebruik maakt van fossiele brandstoffen, draagt de burgerluchtvaart op dit moment voor ca. 2-3% bij aan de wereldwijde uitstoot van CO_2 (Rijksoverheid, 2023). Als de luchtvaartsector in de komende decennia blijft groeien en uitsluitend gebruik blijft maken van fossiele brandstoffen, zal dit aandeel aanzienlijk stijgen.

Voor de luchtvaartsector geldt daarom ook, net als voor andere sectoren, dat de uitstoot van broeikasgassen moet worden gereduceerd. Om dit te bewerkstelligen kan de luchtvaartsector kan er gebruik gemaakt worden van duurzame energiedragers, kunnen vliegtuigen efficiënter worden en ook krimp van de luchtvaartsector kan hieraan bijdragen. Het gebruik van duurzame energiedragers zal een groot aandeel hebben in de reductie van de uitstoot van broeikasgassen.

De duurzame energiedragers ter vervanging van fossiele brandstoffen als kerosine kunnen verschillende vormen hebben:

- Duurzame kerosine (uiteenvallend in bioskerosine (bio-SAF) en synthetische kerosine (e-SAF))
- Waterstof
- Elektriciteit

Deze verschillende energiedragers hebben sterk verschillende eigenschappen, en kunnen daarom verschillend toegepast worden in de luchtvaart. De verwachting is dan ook dat ze allemaal een plek zullen krijgen als energiedrager in de luchtvaart van de toekomst. Er zijn dan wel infrastructurele ontwikkelingen nodig voor het transport van deze energiedragers: in de huidige situatie worden de Nederlandse luchthavens via buisleidingen of wegtransport voorzien van kerosine, maar de vraag is of deze infrastructuur ook geschikt is voor (het bijmengen van) duurzame kerosine. Voor elektriciteit is er bestaande infrastructuur, maar netcongestie is een groot probleem dat ook voor luchthavens zal spelen. Voor waterstof is op dit moment nog geen dekkende infrastructuur, maar het bestaande aardgasnet zou hierin een rol kunnen spelen.

Er zijn dus nog ontwikkelingen nodig voor de transportinfrastructuur voor energiedragers voor de luchtvaartsector. In deze studie wordt bekeken hoe de vraag naar de energiedragers zich zal ontwikkelen, hoe de huidige infrastructuur hierin kan voorzien en welke ontwikkelingen van de infrastructuur nodig zijn om de energietransitie in de luchtvaart mogelijk te maken.

.

1.1 Aanleiding

Deze studie is een vervolg op het onderzoek van Studio Gear Up (Studio Gear Up, 20 december 2022). De aanleiding voor beide studies is de ontwikkeling van duurzame luchtvaart in Nederland, in het kader van de Europese Fit for 55 afspraken (Europese Commissie, 2021) en de nationale verduurzamingsdoelen. Het totale pakket aan maatregelen heeft ook betrekking op de luchtvaartsector, die te maken krijgt met bijmengverplichtingen voor duurzame vliegtuigbrandstof zoals vastgelegd in de ReFuelEU Aviation-verordening (Europese Commissie, 2023). Deze verordening bepaalt dat vanaf 2025 tot 2050 geleidelijk aan steeds meer duurzame energiedragers moeten worden gebruikt om te voorzien in de energievraag voor de luchtvaart, zoals opgenomen in Tabel 1-1.

	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Minimumaandeel duurzame luchtvaartbrandstoffen	2%	6%	20%	34%	42%	70%
Minimum aandeel RFNBO	-	1,2-2%	5%	10%	15%	35%

Tabel 1-1 ReFuelEU Aviation – Minimumaandeel duurzame luchtvaarbrandstoffen

De Nederlandse overheid heeft de volgende doelen geformuleerd voor de vluchten vertrekkende uit Nederland (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2020):

- 2030:
  - CO_2-uitstoot verminderd tot het niveau van 2005
  - 14% van alle in Nederland getankte vliegtuigbrandstof is duurzaam
  - Grondgebonden activiteiten mogen geen CO_2 meer uitstoten
- 2050:

- CO_2-uitstoot verminderd met 50% ten opzichte van 2005
- Alle in Nederland getankte vliegtuigbrandstof is duurzaam
- De hele binnenlandse luchtvaart mag geen CO_2 meer uitstoten
- Alle korte-afstandsvluchten tot ongeveer 500km volledig elektrisch

- 2070:
  - CO_2-uitstoot tot 0 gereduceerd

Om de impact van deze bijmengverplichtingen van SAF op de Nederlandse luchtvaartsector te begrijpen, heeft de overheid eerder een studie laten uitvoeren naar de vraag van hernieuwbare waterstof voor luchtvaartbrandstoffen (Studio Gear Up, 20 december 2022). Deze studie had als doel te bepalen welke hoeveelheden waterstof benodigd zijn om te voorzien in de vraag naar duurzame brandstoffen voor de Nederlandse luchtvaartsector (waaronder dus e-SAF). Als vervolg op deze studie heeft het ministerie de vraag gesteld wat de impact is van het gebruik van duurzame energiedragers voor de luchtvaart op de transportinfrastructuur van deze energiedragers.

Het gebruik van duurzame energiedragers is mede afhankelijk van de capaciteit van de infrastructuur om deze energiedragers naar de luchthavens te transporteren. Waar elektriciteit via kabels wordt getransporteerd, kunnen SAF (bijgemengd in fossiele kerosine) en waterstof in vloeibare of gasvormige vorm via buisleidingen, weg, water en spoor vervoerd worden.

Het ministerie heeft dit onderzoek geïnitieerd om inzicht te krijgen in de huidige energie infrastructuur en eventuele knelpunten te identificeren die moeten worden aangepakt om duurzame luchtvaart in Nederland mogelijk te maken.

1.2 Doel

Deze studie richt zich specifiek op de vraag of de bestaande infrastructuur in staat is om de transitie naar duurzame energiedragers voor de luchtvaart mogelijk te maken, of dat er aanvullende infrastructurele ontwikkelingen benodigd zijn om de transitie mogelijk te maken. De resultaten kunnen worden gebruikt om beleidsmakers, luchtvaartmaatschappijen, brandstofleveranciers en andere belanghebbenden te informeren over de benodigde maatregelen en mogelijke oplossingen om de duurzame luchtvaartinfrastructuur in Nederland te ontwikkelen en te verbeteren.

De doelstelling laat zich kernachtig omschrijven door de volgende onderzoeksvraag:

Welke infrastructurele ontwikkelingen zijn nodig om ervoor te zorgen dat de grote hoeveelheden duurzame energiedragers richting 2050 afgenomen kunnen worden op de Nederlandse luchthavens?

Om deze onderzoeksvraag te beantwoorden, zijn er acht deelvragen geformuleerd. Deze deelvragen zijn gebruikt om richting te geven aan het onderzoek en helpen bij het verkrijgen van specifieke informatie en inzichten. De deelvragen zijn als volgt geformuleerd:

Deelvragen studie
1. In hoeverre voldoen de bestaande pijpleidingen richting de Nederlandse luchthavens om de verwachte capaciteit van SAF te vervoeren? Zijn er nog aanvullende ontwikkelingen nodig?
2. Welke infrastructurele ontwikkelingen zijn nodig om de vraag naar pure waterstof (vloeibaar/gas) te vervoeren naar de Nederlandse luchthavens?
3. Welke infrastructurele ontwikkelingen zijn nodig in de keten om elektrische vliegtuigen te faciliteren op de Nederlandse luchthavens?
4. Welke rol speelt transport via vrachtwagens in de toevoer van de grote hoeveelheden duurzame energiedragers naar de Nederlandse luchthavens?
5. Welke infrastructurele ontwikkelingen zijn nodig om de opslag van de verschillende duurzame energiedragers te waarborgen? Welke voorwaarden m.b.t. veiligheid zijn hieraan verbonden?
6. Wat is het gewenste tijdspad voor de opschaling en verdere ontwikkeling van de benodigde infrastructuur?
7. Hoe verhouden de behoeften en belangen van de luchtvaart zich tot andere (mobiliteits)sectoren en waar liggen de mogelijkheden voor de luchtvaart om samen op te trekken?

8. Welke investeringen moeten worden gedaan in het kader van infrastructuurontwikkeling en opschaling (Europees/ nationaal beleid)? Welke rol heeft de overheid in het faciliteren en stimuleren van de ontwikkeling hiervan en waar liggen de verantwoordelijkheden voor de sector?

1.3 Studiescope en afbakening

Deze studie raakt aan diverse grote onderwerpen, en heeft bovendien een ruime geografische afkadering (Nederland) en tijdsbestek tot 2050. Het is daarom belangrijk om de uitgangspunten en diepgang van deze studie duidelijk af te kaderen. Dit is nodig om te zorgen dat de rapportage aansluit bij het beoogde doel en de onderzoeksvraag met voldoende detail kan worden beantwoord.

Geografische afkadering
De studie focust zich op Nederland. Binnen Nederland wordt gekeken naar een selectie van luchthavens waar burgerluchtvaart plaatsvindt. Luchthavens met (bijna) uitsluitend militaire luchtvaart vallen buiten de scope van deze studie. De volgende luchthavens worden beschouwd:

1. Schiphol
2. Eindhoven
3. Rotterdam The Hague Airport
4. Groningen Airport Eelde
5. Maastricht Aachen Airport
6. Ameland
7. Budel
8. Drachten
9. Hoogeveen
10. Hilversum
11. Lelystad
12. Midden-Zeeland
13. Oostwold
14. Seppe (Breda Intl.)
15. Teuge
16. Enschede (Twente)
17. Texel



Verder is de volgende geografische afkadering gekozen voor deze studie:

- De scope van dit onderzoek beperkt zich tot de infrastructuur die nodig is vanaf de producent tot aan de begrenzingen van de luchtvaartterreinen.
- Infrastructuur voor de aanvoer van waterstof voor de productie van duurzame kerosine (zowel biokerosine als synthetische kerosine) behoort niet tot de scope.
- Buitenlandse productielocaties van geïmporteerde brandstoffen (duurzame kerosine of waterstof) vallen buiten de reikwijdte van deze studie.

Tijdlijn
Het tijdspad vanaf heden tot 2050 wordt in deze studie beschouwd. De zichtjaren waarop in deze studie wordt gefocust zijn 2030 en 2050. Als uitgangspunt geldt 2023, waarvoor de totale energievraag als startpunt is gekozen.

Inhoudelijke afkadering
Inhoudelijk wordt gekeken naar 3 duurzame energiedragers voor de luchtvaart:

1. Duurzame kerosine
2. Waterstof
3. Elektriciteit

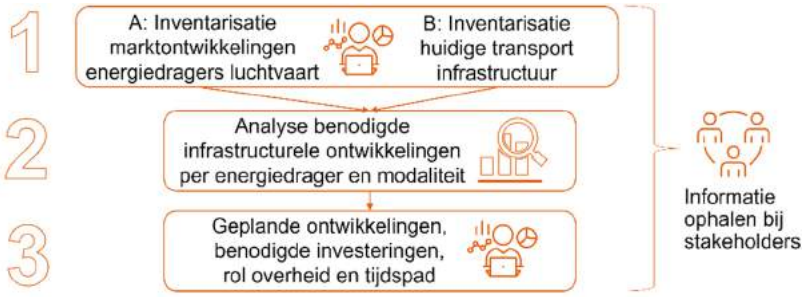
Dit is in overeenstemming met het meegegeven uitgangspunt van het ministerie en de eerder uitgevoerde studie door Studio Gear Up.

Energievraag
De volgende uitgangspunten worden gehanteerd met betrekking tot de energievraag:

- De totale energievraag in petajoules (PJ) en hoe deze verdeeld is over de verschillende energiedragers is gebaseerd op de studie 'Hernieuwbare waterstof voor luchtvaartbrandstoffen in Nederland' (Studio Gear Up, 20 december 2022).
- De verdeling van de energievraag over de verschillende luchthavens is als een vast gegeven gekozen, omdat er geen gedetailleerde integrale prognoses beschikbaar zijn over hoe de verdeling van vliegbewegingen (en dus energievraag) over de verschillende luchthavens zich in de komende decennia zal ontwikkelen. Er wordt aangenomen dat luchthavens ten opzichte van elkaar even groot blijven, allemaal in gelijke mate groeien of krimpen.
- Het energieverbruik van grondgebonden activiteiten zoals energieverbruik van gebouwen, transport en afhandeling van bagage, dienstverkeer en platformgebonden verkeer worden buiten beschouwing gelaten.
- Het energieverbruik voor de aandrijving van het vliegtuig tijdens het boarden, starten en manoeuvreren wordt wel in beschouwing genomen als dit door middel van een Auxiliary Power Unit (APU) gebeurt, energieverbruik via een Ground Power Unit (GPU) wordt buiten beschouwing gelaten.
- Nederland is voor veel producten een doorvoerland, en dat zal ook gaan gelden voor waterstof en duurzame kerosine. Een deel van de waterstof en duurzame kerosine zal worden doorgevoerd, de import en export hiervan is geen onderdeel van de studie. De focus van dit onderzoek ligt op het deel duurzame kerosine dat is bestemd voor eigen verbruik door de Nederlandse luchtvaartsector.

1.4 Aanpak en leeswijzer

Deze studie is in een aantal stappen uitgevoerd (zie Figuur 1-1). Om te beginnen is in stap 1A een inventarisatie gemaakt van de huidige energiedragers, en hoe dit in de komende periode tot 2050 gaat ontwikkelen ten gevolge van duurzaamheidsbeleid. Om dit te inventariseren is een literatuurstudie en stakeholderanalyse uitgevoerd. Hieruit volgt een inschatting van de energiebehoefte per luchthaven (verdeeld over een aantal categorieën), en een inschatting in welke mate de verschillende duurzame energiedragers voorzien in deze energiebehoefte. In hoofdstuk 2 wordt deze stap nader toegelicht.



Figuur 1-1 Onderzoeksaanpak

Parallel hieraan is in stap 1B op basis van een literatuurstudie en stakeholder interviews geïnventariseerd wat de huidige transportcapaciteit is voor de verschillende energiedragers, en hoe de bestaande infrastructuren ingezet gaan worden. Hierbij worden de verschillende transportmodaliteiten beschouwd, de huidige infrastructuur en infrastructurele ontwikkelingen die al gepland zijn. In hoofdstuk 3 t/m hoofdstuk 5 wordt nader op deze stap ingegaan.

Nadat in stap 1A en 1B zowel de energievraag als de transportcapaciteit is geïnventariseerd, is in stap 2 een analyse uitgevoerd van de benodigde aanvullende transportcapaciteit per duurzame energiedrager en transportmodaliteit. Hierbij is gekeken naar de jaren 2030 en 2050, en zijn ook de geplande infrastructuren meegenomen zoals de deltacorridor en Waterstofnetwerk Nederland, en is gekeken welk investeringen in het elektriciteitsnet gepland zijn. Op basis hiervan is bepaald in hoeverre de verschillende luchthavens in hun vraag naar duurzame energiedragers kunnen worden voorzien, en of er nog aanvullende infrastructuur noodzakelijk is om de transitie naar duurzame energiedragers mogelijk te maken. In hoofdstuk 3 t/m hoofdstuk 5 worden de uitkomsten van deze stap beschreven.

In stap 3 is vervolgens op basis van de analyse in stap 2 en de uitgevoerde stakeholderanalyse gekeken naar welke ontwikkelingen er gepland zijn en hoe de verschillende belanghebbende partijen met deze energietransitie in de luchtvaart bezig zijn en de rol van de overheid hierin. Hier wordt in hoofdstuk 6 in meer detail op ingegaan.

Deze aanpak heeft geresulteerd in de voorliggende rapportage.

2 Energieverbruik van de Nederlandse luchtvaart

Om te bepalen welke infrastructurele ontwikkelingen nodig om ervoor te zorgen dat richting 2030 en 2050 de diverse duurzame energiedragers kunnen worden afgenomen op de Nederlandse luchthavens, is informatie nodig over de energievraag van de Nederlandse luchtvaart en de Nederlandse infrastructuur van energiedragers.

Het huidige energieverbruik van de luchtvaart is op te splitsen in verschillende componenten die beschouwd moeten worden om een uitspraak te kunnen doen over de benodigde infrastructurele ontwikkelingen:

- Het totale energieverbruik van de Nederlandse luchtvaart in petajoules (PJ).
- Ontwikkeling in de tijd: hoe ontwikkelt de energievraag van de luchtvaartsector zich vanaf nu richting 2030 en 2050.
- Verdeling energiedragers over de Nederlandse luchthavens: de energievraag van de Nederlandse luchtvaarsector wordt verdeeld over de luchthavens. Zo wordt per luchthaven bepaald wat de actuele energievraag is in PJ.
- Verdeling van energiedragers: welke energiedrager gaat voorzien in de energievraag (de energiemix), waarbij dit kan verschillen per type luchthaven.

De infrastructuur van energiedragers voor de luchtvaart wordt beschouwd op de volgende onderdelen:

- De topografie van de energie infrastructuur: hierbij moet worden gedacht aan productie- of importlocaties, de locatie van afnemende luchthavens, en het transportnetwerk om deze locaties met elkaar te verbinden.
- Het type infrastructuur: afhankelijk van het type energiedrager kan de transportmodaliteit via buisleidingen, elektriciteitskabels en transport over weg, rail of water.
- De huidige transportcapaciteit: welke hoeveelheden energie kunnen op dit moment met de bestaande infrastructuur worden getransporteerd naar de verschillende luchthavens.
- Geplande uitbreidingen en ontwikkelingen: voor de termijn tot 2030 zijn met name infrastructurele ontwikkelingen die al in de planning staan van belang.

Door vervolgens de bovenstaande beschouwingen bij elkaar te brengen, kan worden geanalyseerd in hoeverre de bestaande en geplande infrastructuur toereikend is om te voorzien in de energievraag in 2030 en 2050 per luchthaven. Ook kan worden geïdentificeerd waar knelpunten ontstaan en dus aanvullende uitbreidingen noodzakelijk zijn.

In het vervolg van hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de energievraag van de Nederlandse luchtvaart. In hoofdstuk 3 t/m hoofdstuk 5 wordt in nader detail ingegaan op de infrastructuur per energiedrager.

2.1 Wat is SAF?

SAF staat voor Sustainable Aviation Fuel, dus een duurzame luchtvaartbrandstof. In dit rapport, en in de luchtvaart in het algemeen wordt momenteel veel over SAF gesproken. De term wordt op veel manieren gebruikt en daarom is het goed om aan te geven wat er onder SAF valt en welke terminologie voor brandstoffen wordt gehanteerd in dit rapport.

Door de Europese Commissie is SAF gedefinieerd als:

- Hernieuwbare ‘drop-in’ vliegtuigbrandstof uit grondstoffen van bijlage IX A en bijlage IX B van de hernieuwbare energierichtlijn. Brandstoffen op basis van voedsel en voedergewassen zijn uitgesloten.
- Hernieuwbare brandstoffen van niet-biologische oorsprong (RFNBO). Hieronder vallen drop-in brandstoffen zoals synthetische kerosine, maar ook niet drop-in brandstoffen zoals groene waterstof).

SAF is dus een verzamelterm van hernieuwbare luchtvaartbrandstoffen. In de volksmond wordt de term SAF vaak (abusievelijk) gebruikt om enkel duurzame kerosine mee aan te duiden, maar er vallen veel meer brandstoffen onder.

SAF is als volgt onder te verdelen:

- Drop-in brandstoffen: Dit zijn brandstoffen die direct gebruikt kunnen worden als vervanging voor conventionele brandstoffen zonder dat er (grote) aanpassingen aan motoren of infrastructuur nodig is. Dit is weer onder te verdelen in:
    - Bio-brandstoffen: Dit zijn vliegtuigbrandstoffen die worden geproduceerd uit hernieuwbare organische materialen, zoals plantaardige oliën, algen, afvalvetten en plantaardige reststromen. Deze materialen worden omgezet in vloeibare brandstoffen. Voor het maken van deze brandstoffen is meestal ook

waterstof nodig. Wanneer er over Bio-SAF gesproken wordt gaat het in de praktijk vaak over Bio-kerosine. Dit is op het moment de meest voorkomende vorm van SAF die wordt gemengd met conventionele kerosine.

- Synthetische brandstoffen: Synthetische brandstoffen, ook wel e-SAF genoemd, worden geproduceerd door het omzetten van (groene) waterstof en CO_2 met behulp van hernieuwbare elektriciteit in vloeibare brandstoffen. Dit proces omvat het gebruik van elektrolyse om waterstof te produceren, en vervolgens het combineren van deze waterstof met CO_2 om synthetische koolwaterstofbrandstoffen te produceren. Deze brandstoffen zijn ook Renewable Fuels of Non Biological Origin (RFNBO's). In de luchtvaart gaat het dus vooral om synthetische kerosine maar het is ook mogelijk om bijvoorbeeld synthetische benzine of diesel voor de wegsector te produceren.

SAF een "drop-in" brandstof?

Het kerosinemengsel dat wordt gebruikt in vliegtuigmotoren heeft een dubbele functie. Naast brandstof vervult het mengsel ook een rol als smeermiddel voor turbine-onderdelen (en onderdelen van het brandstoftoevoersysteem). De aromatische bestanddelen in de samenstelling zorgen voor deze 'smeerfunctie'. Bij een te laag aromatengehalte bestaat de kans op beschadiging van essentiële turbine-onderdelen welke op termijn leiden tot vroegtijdige vervanging of zelfs motor falen. Om die reden is in de ASTM D1655 "Standard Specification for Aviation Turbine Fuels" vastgelegd dat vliegtuigbrandstof Jet-A1 tussen de 8 en 25% aromaten moet bevatten.

SAF, met name de gesynthetiseerde variant, bevat nagenoeg geen aromaten. Om die reden is het bijmengen van SAF in brandstof voor gebruik in de huidige vliegtuigmotoren beperkt. Er geldt dan ook een maximaal toegestane bijmengverhouding van 50% SAF, maar zelfs dan is het halen van de ASTM specificatie niet gegarandeerd (zie Figuur 2-1). Controle van het aromaten gehalte in de uiteindelijke brandstofsamenstelling moet zorgvuldig gebeuren en maakt dat SAF niet zomaar als "drop-in" fuel kan worden gebruikt in elk type vliegtuig (Aerospace Technology Institute, 2022).



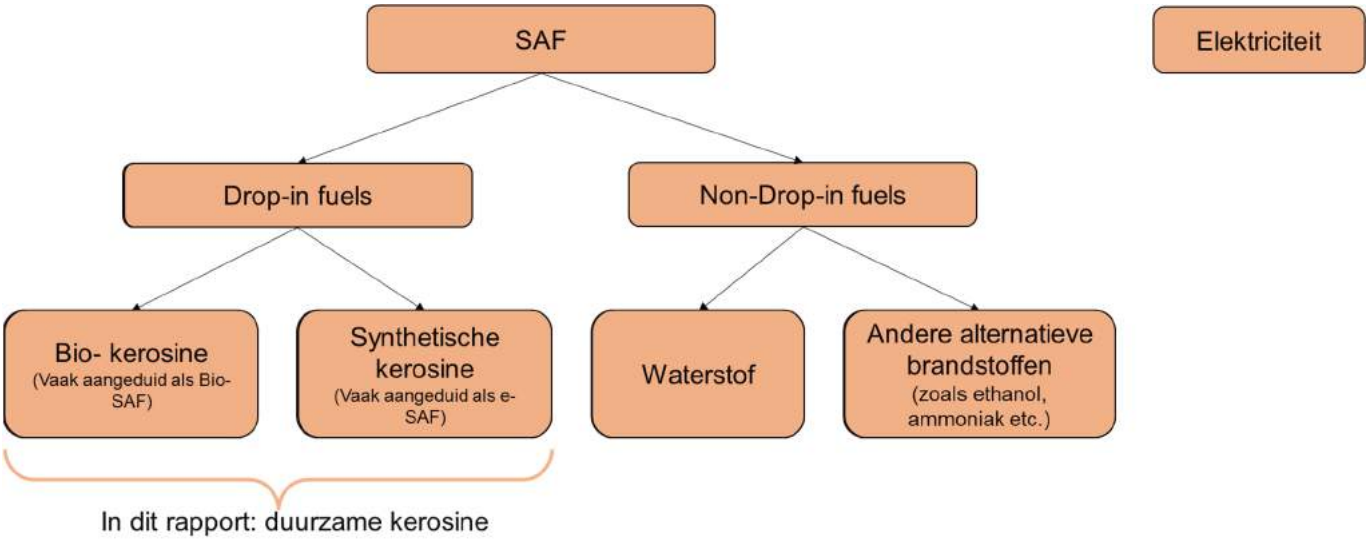
Figuur 2-1 Toegestane mengverhoudingen voor Jet A1 met SAF om te voldoen aan de gestelde norm in ASTM D1655 brandstof specificatie (Aerospace Technology Institute, 2022)

Toekomstige ontwikkelingen in vliegtuigmotoren

Het gebruik van 100% SAF in vliegtuigmotoren (zonder aromatische bestanddelen) is technisch mogelijk en zal in de toekomstige generatie vliegtuigen de standaard worden. Om de doelstelling van 70% bijmengverplichting in 2050 te kunnen halen kan het ook niet anders dan dat motoren daarop zullen moeten worden aangepast. Om die reden zal de limiet op het bijmengen van SAF in de toekomst ook gaan verdwijnen. Daarbij is het wel van belang dat oude toestellen tijdig worden omgebouwd of uitgefaseerd.

- Non-drop-in brandstoffen: Dit zijn brandstoffen waar wel aanpassingen aan de motoren/vliegtuigen en infrastructuur nodig zijn. Waterstof is hier het meest bekende voorbeeld van maar dit kunnen ook andere brandstoffen zoals ammoniak of methanol zijn.

Vliegen op elektriciteit uit batterijen wordt dus niet gerekend tot de categorie SAF. Onderstaande figuur geeft een totaaloverzicht van de categorisering van de verschillende duurzame luchtvaartbrandstoffen en de gehanteerde terminologie.



Figuur 2-2 Overzicht van categorisering van de verschillende duurzame luchtvaartbrandstoffen

2.2 Juridisch kader

Wet- en regelgeving stelt kaders die invloed kunnen hebben op relaties tussen stakeholders. Het juridisch kader wordt gevormd door de *Richtlijn (EU) 2023/2413 van het Europees Parlement en de Raad van 18 oktober 2023 tot wijziging van Richtlijn (EU) 2018/2001, Verordening (EU) 2018/1999 en Richtlijn 98/70/EG wat de bevordering van energie uit hernieuwbare bronnen betreft, en tot intrekking van Richtlijn (EU) 2015/652 van de Raad* (RED III). Deze richtlijn is in werking getreden op de dag na publicatie. Dat was op 31 oktober 2023. Deze Europese richtlijn moet nog worden geïmplementeerd in nationale wetgeving.

Specifiek voor de luchtvaart is er de ReFuelEU regulation on sustainable fuels for air transport (“ReFuelEU”), eveneens vastgesteld per 18 oktober 2023 en gepubliceerd op 31 oktober 2023 met inwerkingtreding per 1 januari 2024, behoudens (onder meer) de minima voor SAF bijmenging. Laatstgenoemde regels treden per 1 januari 2025 in werking. ReFuelEU is een Europese verordening samenhangend met de Europese Green Deal en het programma Fit for 55. Een Europese verordening heeft directe werking.

Annex I bij ReFuelEU bepaalt het volgende voor wat betreft het aandeel SAF in Jet Fuel:

Periode (vanaf)	Gemiddeld aandeel SAF in vliegtuigbrandstof tenminste	Waarvan synthetische vliegtuigbrandstof (e-SAF) of hernieuwbare brandstoffen van niet-biologische oorsprong (RFNBO)
1 januari 2025	2%	-
1 januari 2030	6%	1,2% gemiddeld met *minimum* van 0,7% in elk jaar
1 januari 2032	6%	2,0% gemiddeld met een *minimum* van 1,2% in elk jaar
1 januari 2034	6%	2,0% *minimum*
1 januari 2035	20%	5% *minimum*
1 januari 2040	34%	10% *minimum*
1 januari 2043	42%	15% *minimum*
1 januari 2050	70%	35% *minimum*

Tabel 2-1 aandeel SAF in Jet Fuel

ReFuelEU bepaalt dat voor het behalen van deze criteria, tot SAF ook mag worden gerekend, “hernieuwbare waterstof” of “low carbon aviation fuels”.

Van belang is dat uit ReFuelEU volgt dat de aanbieders van vliegtuigbrandstof moeten zorgen dat de aangegeven fracties daadwerkelijk zijn bijgemengd. Dit betekent dat luchtvaartmaatschappijen bij het tanken binnen de EU altijd aan de SAF-bijmengverplichting zullen voldoen. Om te voorkomen dat maatschappijen vanuit economische overwegingen de brandstofafname buiten de EU zullen vergroten (fuel tankering), waar bijmengverplichtingen minder scherp zijn of zelfs niet gelden, wordt er als onderdeel van de ReFuelEU een brandstofafname verplichting opgenomen. De luchtvaartmaatschappijen zijn verplicht om tenminste 90% van hun jaarlijkse brandstofbehoefte bij een gegeven EU-luchthaven af te nemen. Wegens de hogere kostprijs van duurzame kerosine kan het financieel lonen voor operators om het maximale buiten de EU te tanken. Dit geeft misschien een ongelijk speelveld ten opzichte van luchtvaartmaatschappijen die niet in staat zijn 10% brandstof te tanken waar geen SAF is bijgemengd, omdat ze enkel binnen de EU opereren. Een ongelijk speelveld kan impact hebben op de kostprijs en daarmee spanningen opleveren tussen belanghebbenden.

Nederland heeft zich ambitieuzer opgesteld door te streven naar 14% SAF in 2030 en 100% in 2050. De ReFuelEU Aviation-verordening staat het lidstaten echter niet toe om op nationaal niveau een aanvullende bijmengverplichting in te voeren, vanuit het oogpunt van het behoud van een gelijk speelveld tussen de lidstaten.

Het onderzoek kijkt naar 2030 en 2050 en gaat uit van 6% SAF vanaf 1 januari 2030, en 70% SAF vanaf 1 januari 2050 met daarbinnen weer de fracties e-SAF zoals aangegeven in de tabel. Het rapport interpreteert dat de aangegeven fracties, ook die van e-SAF, betrekking hebben op het totale volume van vliegtuigbrandstof. Dus, van het totaal aan vliegtuigbrandstoffen is dan 35% bio-SAF en tenminste 35% e-SAF.

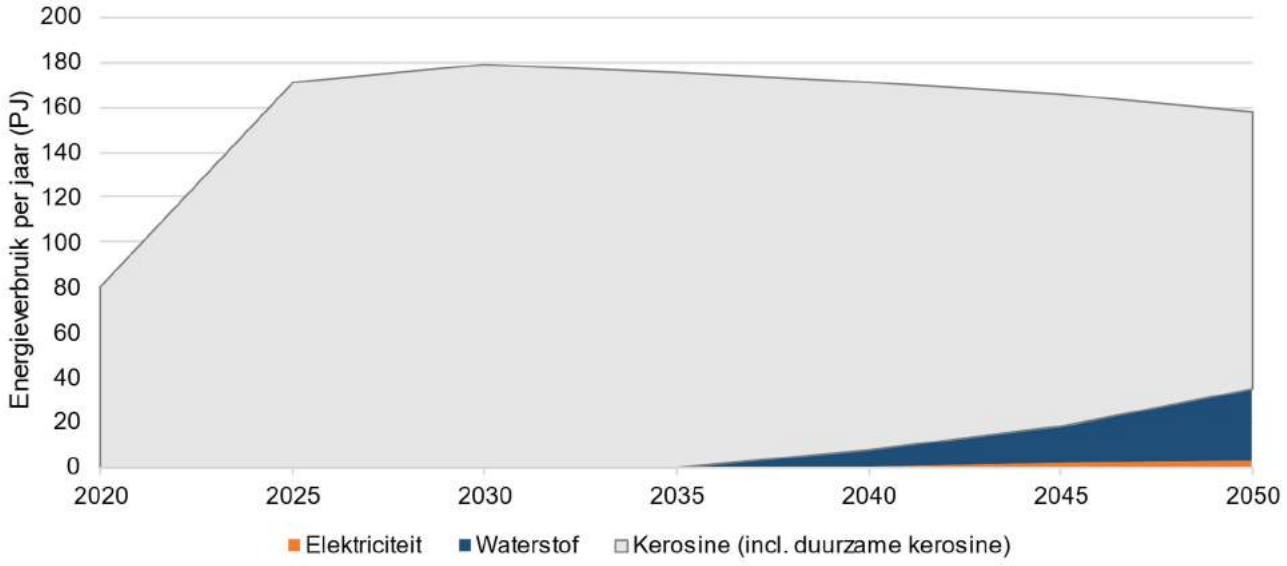
2.3 Totale energieverbruik en ontwikkeling in de tijd

Om een gedegen inschatting te kunnen maken van de benodigde energie en de mix van energiedragers per luchthaven in de verschillende zichtjaren (nu, 2030 en 2050), moeten er een aantal uitgangspunten en analyses uitgevoerd worden. Ten eerste dient het totale energieverbruik van de Nederlandse luchtvaart bepaald te worden. Voor deze studie is ervoor gekozen voort te borduren op een eerder uitgevoerde studie in opdracht van het ministerie (Studio Gear Up, 20 december 2022). In deze studie is het energieverbruik van de luchtvaartsector vanaf 2020 tot 2050 bepaald zoals weergegeven in Tabel 2-2 (dikgedrukt: zichtjaren) en Figuur 2-3. Als waarde voor de actuele situatie is uitgegaan van de prognose van 2025, aangezien periode waarin Corona invloed heeft gehad op de luchtvaartsector (2020-2022) niet representatief is door de daling in de luchtvaart vanwege COVID-19.

	2020	**2025**	**2030**	*2035*	*2040*	*2045*	**2050**
Totale energievraag luchtvaart in Nederland	*80 PJ*	**171 PJ**	**179 PJ**	*175 PJ*	*170 PJ*	*166 PJ*	**158 PJ**
Waarvan kerosine (duurzaam en fossiel)	*80 PJ*	**171 PJ**	**179 PJ**	*175 PJ*	*163 PJ*	*148 PJ*	**123 PJ**
Waarvan waterstof	*0 PJ*	**0 PJ**	**0 PJ**	*0 PJ*	*8 PJ*	*16 PJ*	**32 PJ**
Waarvan elektriciteit	*0 PJ*	**0 PJ**	**0 PJ**	*0 PJ*	*0 PJ*	*2 PJ*	**3 PJ**

Tabel 2-2 Energieverbruik Nederlandse luchtvaart [4]

[4] De gepresenteerde getallen zijn afgerond. Mogelijk zijn er (relatief) kleine hoeveelheden waterstof of elektriciteit die nodig zijn voor 2045.



Figuur 2-3 Energieverbruik Nederlandse luchtvaart

2.4 Verdeling energieverbruik over de luchthavens

Om te kunnen bepalen welke hoeveelheden in de toekomst naar de verschillende luchthavens moeten worden getransporteerd, is op basis voor het vastgestelde totale energieverbruik vervolgens een onderverdeling gemaakt naar energieverbruik per luchthaven. Omdat deze gegevens veelal als vertrouwelijk worden gezien en niet zijn gedeeld, is er op basis van 2 verschillende bronnen ((CE Delft, mei 2023) en (CBS, 2023)) een inschatting gemaakt van het energieverbruik per luchthaven. De gebruikte input hiervoor is opgenomen in Tabel 2-3 en Tabel 2-4.

Luchthaven	CO_2-uitstoot (kiloton)
Schiphol Airport	10.488
Eindhoven Airport	348
Rotterdam The Hague Airport	132
Groningen Airport Eelde	13
Maastricht Aachen Airport	135
Overige luchthavens	*(niet vermeld in rapportage)*

Tabel 2-3 CO_2-emissies van de 5 grootste Nederlandse luchthavens (CE Delft, mei 2023)

	Ameland	Budel	Drachten	Hoogeveen	Hilversum	Lelystad	Midden-Zeeland	Oostwold	Seppe	Teuge	Enschede	Texel
Vlieg-bewegingen	5.563	47.317	4.982	22.701	43.982	83.523	33.828	5.902	49.143	68.619	-	31.556

Tabel 2-4 Vliegbewegingen op overige luchthavens (CBS, 2023)

De emissiecijfers uit Tabel 2-3 zijn omgerekend naar brandstofverbruik per luchthaven (bestaande uit kerosine en Avgas), en dit is vervolgens omgerekend naar energiehoeveelheid in PJ. De vliegtuigbewegingen in Tabel 2-4 zijn op basis van aannames ten aanzien van:

- Types vliegtuigen: de meest voorkomende types in de kleine luchtvaart, van 2-persoonsvliegtuigen tot grotere vliegtuigen voor parachutevluchten en maatschappelijk verkeer
- Gemiddelde vluchtduur: 0,5 tot 1,5 uur
- Types brandstof: een derde Jet-A1, twee derde Avgas[5]
- Brandstofverbruik: gemiddeld 22 liter per uur voor kerosinemotoren, en gemiddeld 32 liter per uur voor Avgasmotoren

Er zijn nog een aantal onzekerheden en afwijkingen: zo heeft een aantal luchthavens een groter aandeel kleine business jets en helikopters, zoals Budel, Midden-Zeeland en Texel. Dit meegewogen blijft de jaarlijkse energiehoeveelheid van de kleine luchthavens minder dan 0,8 PJ. Daarom is in deze studie uitgegaan van een aandeel minder dan 0,5% voor het totale energieverbruik van de kleine luchthavens.

Op basis van deze analyse is ingeschat hoe de totale hoeveelheid energie van 171 PJ op dit moment over de verschillende luchthavens is verdeeld. Hierbij zijn de luchthavens in 3 categorieën opgedeeld voor de vervolganalyse, waarbij de categorisering is aangehouden zoals weergegeven in Tabel 2-5. Schiphol neemt met afstand het grootste deel van de totale energievraag in de Nederlandse luchtvaart voor zijn rekening met ca. 94% van het totaal. Daarna volgen Eindhoven, Maastricht, Rotterdam en Groningen met gezamenlijk nog geen 6%. De overige 12 luchthavens nemen in totaal minder dan 0,5% van de totale energievraag voor hun rekening.

Luchthavens	Aandeel van de totale energievraag NL luchtvaart
Schiphol	Ca. 94%
Overige 4 grote luchthavens	< 6%
Totaal kleine luchthavens	< 0,5%

Tabel 2-5 Aandeel in de energievraag van de verschillende luchthavens als percentage van de totale energievraag van de NL luchtvaart

Op basis van deze cijfers lijkt de energievraag van de 12 kleinere luchthavens verwaarloosbaar, maar afhankelijk van de energiedrager die per luchthaven gebruikt gaat worden kan hier wel degelijk een knelpunt in de infrastructuur ontstaan. Het is daarom ook belangrijk te bepalen wat voor type duurzame energiedrager er gebruikt gaat worden.

2.5 Verdeling van energiedragers

De verschillende duurzame energiedragers hebben sterk verschillende karakteristieken, en kunnen daarom verschillend toegepast worden in de luchtvaart. Duurzame kerosine (vaak aangeduid als SAF) is een vloeistof met vergelijkbare karakteristieken als kerosine, waaronder een hoge energiedichtheid per volume en gewicht. Waterstof is bij normale temperatuur en druk gasvormig, en heeft een lage energiedichtheid per volume maar wel een hoge energiedichtheid per gewicht. Om op waterstof te kunnen vliegen is het het meest waarschijnlijk om waterstof in vloeibare vorm te tanken, waardoor de energiedichtheid per volume in grote mate toeneemt. Voor elektrisch vliegen zijn accu's nodig. Ook bij deze accu's is de energiedichtheid momenteel nog kritisch voor de maximale vluchtduur en gewicht van de vliegtuigen.

Elektrisch vliegen zal hierdoor het meest kansrijk zijn voor kleine vliegtuigen die een beperkte afstand of vluchttijd hebben. Voor de iets grotere afstanden en meer passagiers zal waterstof een alternatief bieden. Voor de lange afstanden en vliegtuigen met veel passagiers zal duurzame kerosine de energiedrager zijn die wordt toegepast. Een typische onderverdeling die nu gemaakt wordt is (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2023):

[5] Avgas ook wel aviation gas genoemd is een brandstof die met name in de general aviation gebruikt wordt in interne verbrandingsmotoren. Deze brandstof is afgeleid van benzine en toont hier veel overeenkomsten mee.

	Passagiers of	Afstand
Elektrisch	< 20	< 500 km
Waterstof	> 40	< 2.000 km
Kerosine (duurzame en fossiel)	> 40	> 2.000 km

Tabel 2-6 Toepassing duurzame energiedragers voor verschillende soorten vluchten

Elektrische luchtvaart en vliegen op waterstof staan nog in de kinderschoenen maar ontwikkelen zich snel. Bio-kerosine wordt nu al bijgemengd in kerosine, en dat zal in steeds grotere verhoudingen gebeuren. De bestaande vliegtuigen en infrastructuur kunnen hiermee dus al overweg, in ieder geval tot een percentage van 50%. Duurzame kerosine zal voor de vliegtuigen met meer passagiers en voor vluchten over grotere afstanden ingezet gaan worden.

Op basis van deze verdeling is een inschatting gemaakt hoe de verschillende luchthavens zich kunnen gaan ontwikkelen, rekening houdend met het type vluchten dat er plaatsvindt. Hierbij zijn de luchthavens ingedeeld in dezelfde categorieën als in hoofdstuk 2.4. Voor de kleine luchthavens geldt dat hier voornamelijk GA vluchten plaatsvinden, met een gedeelte zakelijk verkeer. Voor de grotere luchthavens (Eindhoven, Rotterdam, Maastricht, Groningen) geldt dat er ook commercieel verkeer plaatsvindt, met grotere vliegtuigen en vluchten over langere afstanden (continentaal). Voor Schiphol geldt dat de verhouding nog verder doorslaat naar vluchten met grotere vliegtuigen over langere afstanden, en er ook intercontinentale vluchten plaatsvinden.

Op basis van deze verdeling naar type vluchten is voor de drie luchthavencategorieën een inschatting van de te verwachten verdeling van duurzame energiedragers gemaakt. In deze verdeling is er rekening mee gehouden dat de verdeling van energiedragers ook aansluit bij de verdeling zoals vastgesteld in de uitgangspunten van deze studie (Tabel 2-2 en Figuur 2-3). In deze studie wordt uitgegaan van een energieverdeling op basis van energie in PJ. De verhoudingen die in de komende paragrafen worden beschreven gaan dus niet over het aantal vluchten, de lengte hiervan of het aantal passagiers.

2.5.1 Schiphol

Voor Schiphol is de verdeling van energiedragers gekozen rekening houdend met het grote aantal continentale en intercontinentale vluchten met veel passagiers. Dit betekent dat voor deze vluchten elektrisch vliegen niet realistisch is, en ook waterstof zal in veel situaties niet toereikend zijn. Het grootste deel van de vluchten van Schiphol zal dan ook op kerosine, waarvan een deel duurzaam, uitgevoerd blijven worden. Bovendien verbruiken deze vluchten ook aanzienlijk meer energie dan de kortere vluchten met minder passagiers, wat de verhouding verder laat verschuiven in de richting van kerosine incl. duurzame kerosine. Voor 2030 wordt nog uitgegaan van geen significant gebruik van waterstof en elektriciteit als energiedrager voor de luchtvaart. In de praktijk zal er wel al op beperkte schaal gebruik van gemaakt worden bijvoorbeeld voor testvluchten of elektrisch vliegen met kleine vliegtuigen. Dit is op het totale energieverbruik van Schiphol echter minimaal. In hoofdstuk 4 en hoofdstuk 5 wordt nader ingegaan op deze ontwikkelingen.

In deze studie wordt voor Schiphol de volgende verdeling van energiedragers voor vliegtuigen aangehouden:

Energiemix Schiphol	Nu	2030	2050
Kerosine (duurzaam en fossiel)	100%	100%	81%
Waterstof	0%	0%	19%
Elektriciteit	0%	0%	1%

Tabel 2-7 Energiedragers Schiphol – Verdeling

Op basis van deze verdeling en rekening houdend met de totale energievraag van de Nederlandse luchtvaart (Tabel 2-2) en het aandeel van Schiphol hierin (Tabel 2-5), zijn de volgende energiehoeveelheden in PJ het uitgangspunt voor de verdere analyse van de infrastructuur:

Schiphol	Nu	2030	2050
Kerosine (duurzaam en fossiel)	161 PJ	169 PJ	120 PJ
Waterstof	0 PJ	0 PJ	27,5 PJ
Elektriciteit	0 PJ	0 PJ	1,5 PJ

Tabel 2-8 Energiedragers Schiphol – Hoeveelheden

2.5.2 Overige grote luchthavens

Voor de overige 4 grote luchthavens is de verdeling van energiedragers gekozen rekening houdend met het grote aantal continentale vluchten met veel passagiers. Dit betekent dat elektrisch vliegen in veel gevallen niet mogelijk is. Het grootste deel van de vluchten zal dan ook op (duurzame) kerosine of waterstof uitgevoerd worden. Alle typen energiedrager zullen toegepast worden, waarbij waterstof in het grootste deel van de energievraag voorziet. Ook al neemt elektrisch vliegen procentueel gezien een kleiner deel van de energievraag voor rekening, belangrijk is te vermelden dat dit gaat om de energievraag en niet om het aantal vluchten. Er zal dus ook een groot aantal elektrische vluchten vanaf deze luchthavens plaatsvinden, maar dit zijn de vluchten die minder energie vragen over kortere afstanden en met minder passagiers.

In deze studie wordt voor de overige grote luchthavens de volgende verdeling van energiedragers voor vliegtuigen aangehouden:

Energiemix overige grote luchthavens	Nu	2030	2050
Kerosine (duurzaam en fossiel)	100%	100%	35%
Waterstof	0%	< 1%	50%
Elektriciteit	0%	< 1%	15%

Tabel 2-9 Energiedragers overige grote luchthavens – Verdeling

Op basis van deze verdeling en rekening houdend met de totale energievraag van de Nederlandse luchtvaart (Tabel 2-2) en het aandeel van de overige 4 grote luchthavens hierin (Tabel 2-5), zijn de volgende energiehoeveelheden in PJ het uitgangspunt voor de verdere analyse van de infrastructuur:

Overige grote luchthavens	Nu	2030	2050
Kerosine (duurzaam en fossiel)	9,5 PJ	10 PJ	3 PJ
Waterstof	0 PJ	± 0 PJ	4,5 PJ
Elektriciteit	0 PJ	± 0 PJ	1,5 PJ

Tabel 2-10 Energiedragers overige grote luchthavens – Hoeveelheden

Voor 2030 geldt dat er op kleine schaal elektrisch en op waterstof wordt gevlogen. Het is echter niet verwaarloosbaar, omdat er wel infrastructuur nodig is. Hier wordt in de volgende hoofdstukken op ingegaan.

2.5.3 Kleine luchthavens

Voor de kleine luchthavens geldt dat er vooral veel vluchten met weinig passagiers en over korte afstand plaatsvinden. Deze vluchten zijn daarom geschikt voor elektrificatie. Daarnaast zal er ook nog een deel van de vluchten met als energiedrager waterstof plaatsvinden, en mogelijk een klein deel met conventionele brandstoffen (inclusief Bio-SAF en e-SAF). Deze verhouding kan per luchthaven flink verschillen, maar dat elektrisch vliegen voor de kleine luchthavens de overhand krijgt is gezien de huidige ontwikkelingen het meest waarschijnlijke scenario.

In deze studie wordt voor de kleine luchthavens de volgende verdeling van energiedragers voor vliegtuigen aangehouden:

Energiemix kleine luchthavens	Nu	2030	2050
Kerosine en Avgas (duurzaam en fossiel)	100%	> 90%	10%
Waterstof	0%	< 5%	20%
Elektriciteit	0%	< 5%	70%

Tabel 2-11 Energiedragers kleine luchthavens – Verdeling

Op basis van deze verdeling en rekening houdend met de totale energievraag van de Nederlandse luchtvaart (Tabel 2-2) en het aandeel van de kleine luchthavens hierin (Tabel 2-5), zijn de volgende energiehoeveelheden in PJ het uitgangspunt voor de verdere analyse van de infrastructuur:

Kleine luchthavens	Nu	2030	2050
Kerosine en Avgas (duurzaam en fossiel)	< 1 PJ	< 1 PJ	< 0,1 PJ
Waterstof	0 PJ	± 0 PJ	< 0,1 PJ
Elektriciteit	0 PJ	± 0 PJ	< 0,2 PJ

Tabel 2-12 Energiedragers kleine luchthavens – Hoeveelheden

Voor 2030 geldt dat er op kleine schaal elektrisch en op waterstof wordt gevlogen. Het is echter niet verwaarloosbaar, omdat er wel infrastructuur nodig is. Hier wordt in de volgende hoofdstukken op ingegaan.

Toelichting bij gehanteerde uitgangspunten en projecties van brandstofmix per luchthaven.

De gehanteerde uitgangspunten van totale energievraag en brandstofbehoefte voor de luchtvaart is op basis van het rapport van Studio Gear Up (Studio Gear Up, 20 december 2022). Dit is gebaseerd op de verwachtingen uit het Waypoint 2050 onderzoek uit begin 2020 waar is uitgegaan van groei van de luchtvaart van Europa richting 2050 met een verbetering van efficiëntie in de aandrijving.

Sinds 2020 is de wereld ingrijpend veranderd. Sinds de uitbraak van het Coronavirus wordt er minder gevlogen en is het aantal vluchten in Nederland nog aan het ‘herstellen’. Daarnaast is discussie over krimp van de luchtvaart sterker dan ooit. Binnen Europa wordt gestimuleerd om meer te reizen per trein. Het KiM heeft berekend dat de trein tot 10% van de vluchten in Europa kan vervangen (KiM, 2023). Vanuit de overheid wordt er gestuurd op een krimp van Schiphol (NOS, 2023)waar zelfs de Verenigde Staten (NOS, 2023) zich mee bemoeit maar voorlopig van de baan lijkt. Ook is er de wens van de luchthaven van Eindhoven (FD, 2023) om te krimpen. Ondanks dat we uitgangspunten uit de vorige studie overnemen is er een kans dat het aantal vluchten in Nederland en daarmee het energieverbruik voor de luchtvaart zal afnemen.

De verdeling van het totale energieverbruik van de grote luchthavens in Nederland in 2030 en 2050 zijn gebaseerd op de huidige verdeling van CO_2-uitstoot en daaruit volgend brandstofverbruik van de luchthavens in 2019. Door krimp van het aantal vluchten van bepaalde luchthavens of andere externe factoren kan deze verhouding er in de toekomst anders uit zien. Een dergelijke krimp is nu nog niet te zien. Hier is geen correctie voor uitgevoerd omdat dit simpelweg niet te voorspellen is. Daarnaast is de verdeling in de bovenstaande tabellen nog zeer onzeker en kunnen er binnen de categorieën grote verschillen per individuele luchthaven zijn door specialisatie.

Het aantal vluchten van Lelystad Airport is nog gering en in deze studie niet geclassificeerd als een ‘grote’ luchthaven. In de politiek (NOS, 2023) is er geen overeenstemming om Lelystad verder uit te breiden en daarom is er

3 Infrastructuur – kerosine incl. SAF

Het waarborgen van een goed ontwikkelde infrastructuur voor kerosine (inclusief duurzame kerosine) is van groot belang omdat kerosine voorlopig de grootste energiedrager zal blijven. Immers, pas na 2035 zal het vliegen op waterstof en elektriciteit zodanig ontwikkeld zijn dat de vraag naar kerosine (inclusief duurzame kerosine) afneemt. Maar ook dan zal de kerosine, hetzij in een samenstelling die een hoger percentage duurzame kerosine bevat dan nu, nog nodig blijven. Het is daarom van belang ervoor te zorgen dat kerosine nu en in de toekomst zo duurzaam en efficiënt mogelijk getransporteerd kan worden.

In dit hoofdstuk wordt zowel de huidige situatie van de infrastructuur voor kerosine/SAF als de benodigde infrastructuur voor de toekomst besproken. De volgende ketenonderdelen worden beschouwd: productielocaties en terminals, pijpleidingen en beheer, scheepstransport, wegtransport en de logistiek. Ook de relevantie van de (nieuwe) wetgeving op de logistiek van het brandstoftransport wordt beschouwd. Certificering, tracering en kwaliteit (mengverhouding) spelen hierbij een grote rol, vooral door de wettelijk minimale hoeveelheid kerosine die wordt bijgemengd.

3.1 Huidige situatie

De huidige situatie wordt bestudeerd vanaf de productielocaties (raffinaderijen) en terminals tot de levering aan de luchthavens. Dit is de status op het moment van het schrijven van dit rapport, waarin de luchtvaart vrijwel hersteld is van de Coronacrisis (zie Figuur 3-2). De totale omvang is redelijk constant, en de groei van de grote luchthavens wordt over het algemeen begrensd door het aantal vliegbewegingen dat in de vergunningen is vastgelegd. Vrijwel de gehele luchtvaartsector gebruikt kerosine, en in de kleine luchtvaart is ook Avgas nog zeer gangbaar. In de volgende paragrafen wordt de huidige brandstofketen beschreven.

Het is belangrijk op te merken dat het uitdagend is om de volledige keten van de infrastructuur voor kerosine/SAF te beschrijven, gezien de complexiteit en diversiteit van de luchtvaartsector. Het streven binnen dit onderzoek is het benodigde detail te raken waarbij de verschillende aspecten van deze infrastructuur worden geanalyseerd om de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden.

3.1.1 Productielocaties en terminals

Nederland is een belangrijk land voor de productie en doorvoer voor olieproducten. Nederland telt 6 raffinaderijen die bij de grootste van Europa behoren. Daarnaast zijn er in de havens van Rotterdam en Amsterdam een groot aantal terminals die grote volumes olie en olieproducten kunnen verwerken. Alle Nederlandse raffinaderijen produceren onder andere kerosine. Vijf van deze raffinaderijen bevinden zich in het Rotterdamse havengebied:

- Shell Pernis
- ExxonMobil
- BP
- Vitol
- Gunvor

Daarnaast is er nog de raffinaderij Zeeland Refinery in Vlissingen. Deze raffinaderijen produceren ongeveer 7,1 miljoen ton kerosine op jaarbasis (2022) (CBS, 2023). Ook zijn er nog verschillende terminals waar kerosine wordt geïmporteerd, geëxporteerd en opgeslagen. Bijna alle terminals bevinden zich in het Rotterdamse en Amsterdamse havengebied:

Rotterdam

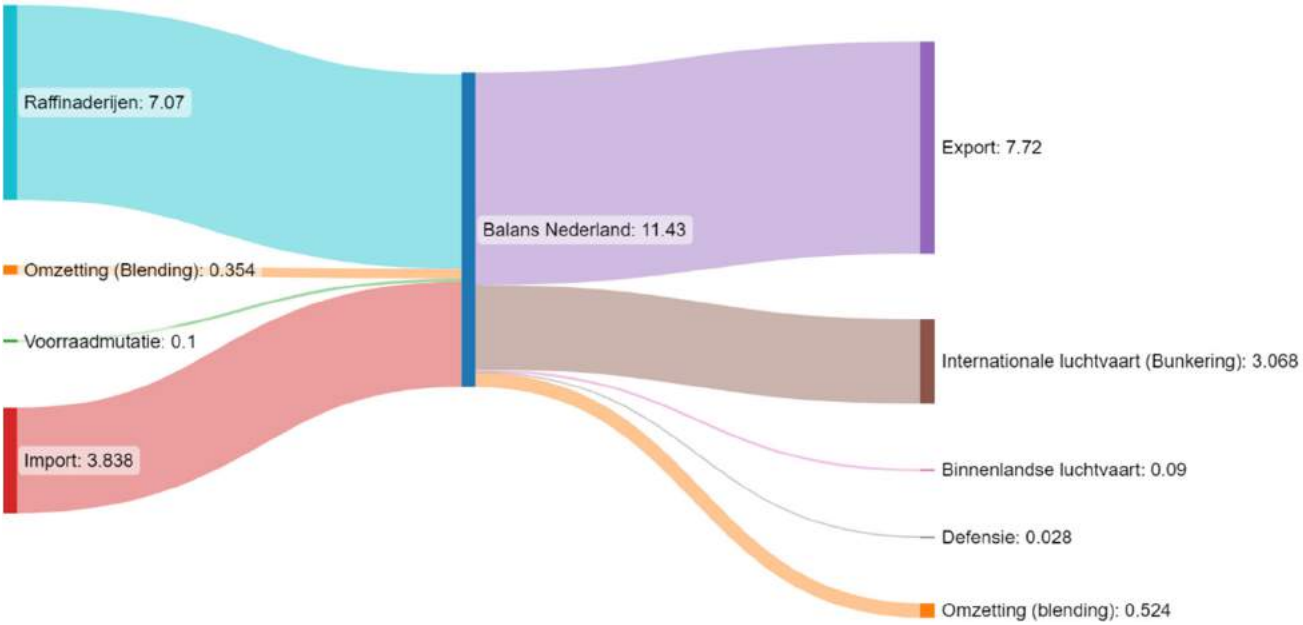
- ETT terminal (VTTI)
- Vopak Europoort
- Koole Botlek
- Koole Minerals

Amsterdam

- ETA terminal (VTTI)
- EVOS Amsterdam Oost

Onderstaand Sankey diagram geeft een overzicht van de Nederlandse kerosine balans over 2020. In dit overzicht wordt geen onderscheid gemaakt tussen fossiele kerosine en SAF. De raffinaderijen voorzien in iets minder dan 65% van het aanbod in Nederland, import bedraagt ongeveer 35% van het aanbod. Een grote meerderheid van het aanbod aan kerosine (70%) wordt ook weer geëxporteerd naar andere landen. Van het binnenlandse verbruik is 96% bestemd voor internationale luchtvaart, 2% voor binnenlandse vluchten en 1% door defensie. Zowel aan de ingaande als

uitgaande kant is een stroom Omzetting (blending) te zien. Dit betreft het mengen van producten tot een andere specificatie.



Figuur 3-1 Kerosine balans in Nederland in 2022 in miljoen ton op basis van data (CBS, 2023).

Onderstaande figuur laat zien dat het totale kerosineverbruik voor internationale luchtvaart momenteel iets meer dan 3 miljoen ton op jaarbasis bedraagt. Voor de coronacrisis was de totale consumptie bijna 4 miljoen ton en is tijdens de coronaperiode ingezakt tot ongeveer 2 miljoen ton. De hiernavolgende figuur toont dit herstel, en de huidige trend wijst erop dat de luchtvaartsector zich qua omvang weer zal ontwikkelen richting de omvang van voor 2020, zij het met eventuele begrenzingen door beperking van het aanval vliegbewegingen in de omgevingsvergunningen.



Figuur 3-2 Levering in Nederland van kerosine aan internationale luchtvaart. Bron: (CBS, 2023)

Duurzame kerosine

Op dit moment is de hoeveelheid duurzame kerosine (SAF) in Nederland nog erg klein, en wordt alle SAF geïmporteerd in de vorm van bio-kerosine, dus nog geen synthetische kerosine omdat dit nog niet commercieel beschikbaar is. Onder andere SkyNRG en Neste importeren duurzame kerosine (en ontwikkelen ook productielocaties op Nederlandse bodem). Schiphol wordt voornamelijk van duurzame kerosine voorzien vanaf de terminal van EVOS Oost in Amsterdam via het pijpleidingnetwerk (zie volgende paragraaf) van duurzame kerosine. Ook wordt er vanaf 2023 bio-kerosine toegevoegd aan de brandstof voor Rotterdam The Hague Airport. Dit wordt momenteel door Shell geleverd per tankwagen.

3.1.2 Pijpleidingen en beheer

Een groot deel van het transport vindt plaats via leidingnetwerken, waarin de brandstoffen onder druk worden verpompt. In Nederland zijn er verschillende buisleidingsystemen voor het transport van kerosine. De belangrijkste pijpleidingsystemen voor deze brandstoffen zijn het netwerk van de Defensie Pijpleiding Organisatie (DPO), de Amsterdam-Schiphol Pijplijn (ASP) en de Rotterdam-Rijn Pijpleiding (RRP).

Logistiek van brandstoflevering en traceerbaarheid
Wat betreft de logistiek van het verpompen van brandstof in een leidingsysteem (of netwerk) zijn er twee mogelijkheden:

- '**Point-to-point levering'** (directe levering), discontinue levering, waarin afgebakende volumes (batches) in een bepaalde periode, integraal van A naar B worden verzonden. Dit werkt met name goed voor kortere leidingsystemen, waar het eigen volume van de leiding relatief klein is ten opzichte van het volume wat verpompt wordt. Overigens is een levering met een truck of schip is ook te typeren als een 'point-to-point' levering.

- '**Banking system'** Wijdverbreid netwerk met vertakkingen naar meerdere afnamepunten waardoor traceerbaarheid van een afgebakend volume (batch) niet (goed) uitvoerbaar is. De term 'banking' heeft betrekking op het feit dat de werking ervan een analogie is van een monetair banksysteem. Brandstofleveranciers doen een 'storting' op een innamepunt aan het netwerk, en schrijven daarmee een hoeveelheid toe aan het 'account' wat op een ander punt in het netwerk recht geeft tot afname van dezelfde hoeveelheid. Net als het geval is bij het storten en opnemen van geld is het niet 'fysiek' hetzelfde product. Hierbij is het uitgangspunt dat in het netwerk de kwaliteit van de brandstof uniform is omdat de brandstof op verschillende locaties terecht kan komen. Een vertakt, en omvangrijk netwerk leent zicht goed voor dat systeem. Overigens zijn op een dergelijk netwerk (of delen daarvan) vaak ook point-to-point leveringen mogelijk indien een bepaald traject kan worden geïsoleerd.

In hoofdstuk 3.1.5 wordt er nader op ingegaan in relatie tot de huidige wetgeving en certificering van de duurzame kerosine.

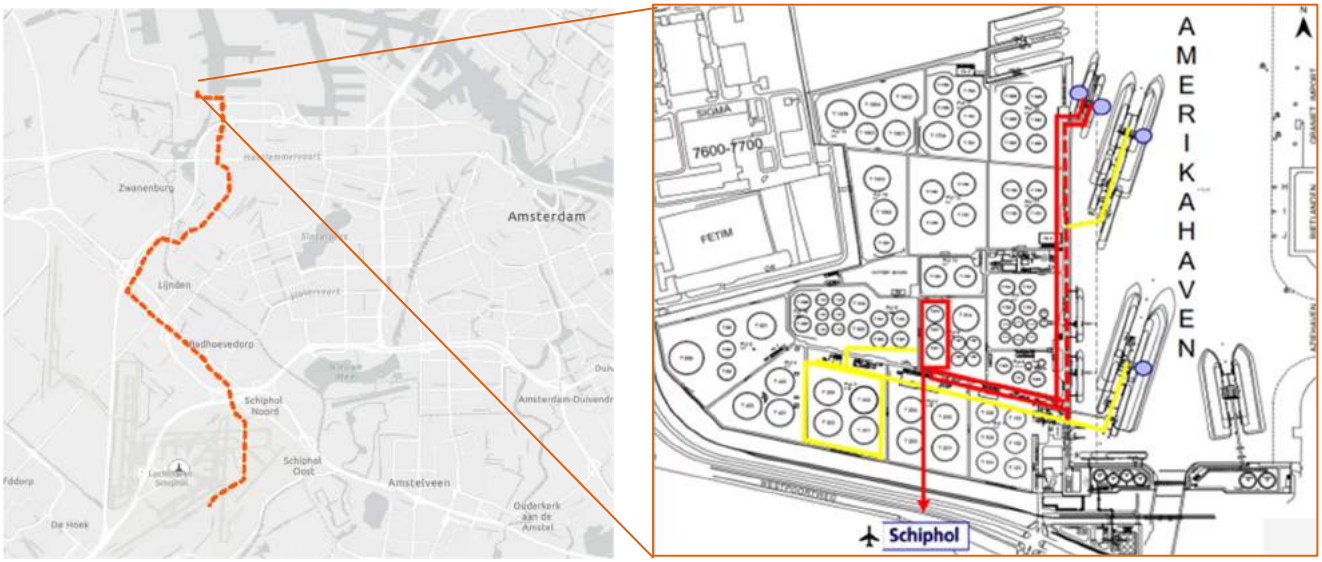
DPO – Defensie Pijpleiding Organisatie
De DPO, onderdeel van het ministerie van Defensie, verzorgt en bewaakt het transport van vliegtuigbrandstoffen voor zowel militaire als civiele vliegvelden via een eigen pijpleidingnetwerk. Dit netwerk is onderdeel van het Central Europe Pipeline System (CEPS), het NAVO pijpleidingsysteem. Dit leidingnetwerk heeft een groot aantal koppelingen, waar zowel de producenten als afnemers gebruik van kunnen maken. Alle grote terminals en raffinaderijen in het Rotterdamse havengebied zijn 'upstream' op het leiding netwerk aangesloten. Vanuit het havengebied wordt de brandstof via het netwerk getransporteerd naar DPO Poortugaal (point-to-point levering), waarvandaan het vervolgens downstream wordt gedistribueerd (banking systeem). Naast een aantal militaire luchthavens is ook Aircraft Fuel Supply (AFS) op Schiphol aangesloten vanwege het grote volume dat de luchthaven afneemt. Schiphol is verreweg de grootste afnemer van het DPO-netwerk en neemt tot 2 miljard liter per jaar af (Defensie, 2023) op een totaal van ongeveer 4,5 miljard liter dat jaarlijks door het netwerk gaat. Via dit netwerk vindt ook export plaats naar het buitenland. Het vliegveld van Eindhoven is ook aangesloten via het DPO-netwerk maar dit betreft alleen het militaire deel van de luchthaven (Figuur 8-4). De commerciële luchthaven wordt bevoorraad via de weg. De pijpleiding loopt ook langs Maastricht Aachen Airport (Figuur 8-3), maar de luchthaven wordt hier op dit moment niet uit bevoorraad.

Op dit moment wordt er nog geen SAF via het DPO-netwerk gedistribueerd vanwege de in Nederland gestelde eisen voor het toekennen van Hernieuwbare Brandstofeenheden (HBE) certificaten. In hoofdstuk 3.1.5 wordt hier verder op in gegaan. Dat transport van SAF via het CEPS-netwerk technisch gezien mogelijk is blijkt uit de praktijk in België waar per 1 januari 2023 begonnen is met bevoorrading van luchthavens met SAF via het netwerk (NESTE, 2023).

Momenteel rijden er gemiddeld dagelijks ongeveer 10 trucks vanuit Pernis naar Eindhoven Airport voor de bevoorrading van brandstof. Dit wegtransport kan mogelijk vervangen worden door gebruik te maken van het bestaande leidingnetwerk van Defensie. DPO geeft aan dat de verbinding met het civiele gedeelte van Eindhoven Airport eenvoudig kan worden gerealiseerd wanneer er een verbinding (bypass) gemaakt wordt vanaf het militaire gedeelte van de luchthaven wat nu reeds aangesloten is naar het civiele gedeelte van de luchthaven. Maar ook het maken van een 'truck loading station' op andere locaties in de nabijheid van luchthavens zou een groot deel van wegtransport weg kunnen nemen. Bij zo'n 'truck loading station' kan (duurzame) kerosine afgetapt worden van het netwerk dicht bij de luchthaven en per truck aan de luchthaven geleverd worden. DPO kan dit zelf niet realiseren vanwege haar publieke taak die verbiedt zich commercieel op te stellen. Ook Rotterdam The Hague Airport en Maastricht Aachen Airport liggen dicht bij het netwerk wat kansen biedt om het aantal wegtransporten te verminderen.

ASP – Amsterdam-Schiphol Pijpleiding

De ASP loopt vanaf de EVOS Oost terminal in het havengebied van Amsterdam naar de opslag van AFS op Schiphol. Deze pijpleiding is eigendom van een joint-venture van KLM, Shell, BP en Total. Momenteel wordt via deze pijpleiding ongeveer 2 miljard liter kerosine per jaar, in batches, naar de luchthaven getransporteerd. Omdat de Amsterdam-Schiphol pijpleiding relatief kort is, en dus een relatief klein eigen volume heeft, is deze uitermate geschikt voor transport in 'batches'. Deze capaciteit kan in voldoende mate worden uitgebreid om in eventuele toekomstige groei in de brandstofvraag te kunnen voorzien. De bevoorrading van de AFS terminal vanuit de EVOS Oost terminal door de ASP pijpleiding is een voorbeeld van een point-to-point verbinding. Dit maakt dat de ingevoerde brandstof 'traceerbaar' is tot aan de levering bij AFS en HBE certificaten kunnen worden toegekend aan brandstofproducenten wanneer via EVOS Oost SAF wordt geleverd aan de luchtvaart. De veiligheid van brandstofleveringen wordt geborgd door een volledig gescheiden infrastructuur te behouden waarbij meervoudig tussentijdse certificering van brandstof (specificaties) volgt. Figuur 3-3 geeft een overzicht van de ASP pijpleiding (Links) en de situatie bij EVOS Oost (rechts). Het rode netwerk is een gesloten systeem waar alleen Jet-A1 (fossiele kerosine) kan worden ingevoerd. In de geel gearceerde opslagtanks kan momenteel al (100%) SAF worden aangeleverd, waar vervolgens door toevoeging van conventionele Jet-A1, een mengsel van de vereiste brandstofspecificatie kan worden geproduceerd. Vanuit deze tanks kan zodanig SAF bevattende luchtvaartbrandstof worden ingevoerd in het ASP-netwerk voor transport naar Schiphol.



Figuur 3-3 Links: Tracé van de Amsterdam-Schiphol Pijpleiding. Rechts: EVOS oost met aansluiting op Schiphol. Rood = Rechtstreekse verbinding naar AFS. Geel = Opslagtanks SAF.

RRP

De Rotterdam-Rijn Pijpleiding Maatschappij, een joint-venture van meerdere olie- en gasbedrijven, beheert 2 pijpleidingen voor het transporteren van ruwe olie en olieproducten richting het Ruhrgebied. De ene pijplijn is bestemd voor het vervoer van ruwe olie, de andere pijplijn wordt gebruikt voor het vervoer van verschillende olieproducten in batches zoals, benzine, diesel, nafta, gasolie en kerosine. Deze tweede pijpleiding heeft een totale capaciteit van

ongeveer 10 miljoen ton per jaar (RRP, 2023). Deze pijpleiding wordt niet gebruikt voor het bevoorraden van vliegvelden maar wordt hier voor de volledigheid genoemd.

3.1.3 Scheepstransport

Nederland kent een goed vaarwegennetwerk en brandstof vervoeren per schip is mogelijk tussen een aantal locaties. Zo vindt er bijvoorbeeld tussen de brandstofterminals in het havengebied van Amsterdam en Groningen transport per schip plaats, waar ook SkyNRG in de toekomst gebruik van wil maken. Ook de vliegbasis in Leeuwarden (militair, geen burgerluchtvaart) wordt per schip bevoorraad. Ook wordt er luchtvaartbrandstof vanaf de haven in Rotterdam naar de terminals in de haven van Amsterdam getransporteerd. Dit komt onder andere omdat er op het moment van schrijven nog geen SAF in het netwerk van DPO gepompt wordt vanwege de in Nederland gestelde eisen voor het toekennen van Hernieuwbare Brandstofeenheden (HBE) certificaten.

3.1.4 Wegtransport

Transport over de weg per tankwagen vindt plaats daar waar de andere modaliteiten niet toereiken, of daar waar hoeveelheden te klein zijn. Transport over de weg is echter minder aantrekkelijk vanwege het relatief hoge energieverbruik van de trucks en de veiligheid. Toch worden alle commerciële luchthavens bevoorraad via de weg, al is dit bij Schiphol verwaarloosbaar. De meeste civiele luchthavens worden bevoorraad vanuit de Botlek. Onderstaande tabel geeft indicatief de hoeveelheid brandstofleveringen met vrachtwagens per luchthaven per jaar aan.

Transport over de weg	Rotterdam The Hague Airport	Eindhoven Airport	Maastricht Aachen Airport	Groningen Airport Eelde
Brandstofconsumptie [kton/per jaar]	42	110	43	4
Bevoorrading vrachtauto's per jaar (30 m^3 vrachtauto)	1.730	4.560	1.770	170

Tabel 3-1 Overzicht brandstofconsumptie (Jet-A1) van de 4 'grote' luchthavens, exclusief Schiphol, en de benodigde aanvoer via tankauto's over de weg. Brandstofdata zijn gebaseerd op emissiegegevens van het jaar 2019. (CE Delft, mei 2023).

3.1.5 Certificering SAF en accreditatie

De verplichting van bijmengen van SAF ligt bij de producenten/leveranciers van luchtvaartbrandstof. De accreditatie van SAF gebeurt op basis van de Europese richtlijnen rondom (erkenning van) RFNBO's (Renewable Fuels of Non-Biological Origin). Deze wetgevende kaders zijn onderdeel van de RED II (EU Directive 2018/2001 on the promotion of the use of energy from renewable sources). De implementatie van RED II rondom het certificeren van duurzame brandstoffen is in de Nederlandse Wet milieubeheer opgenomen (Staatscourant, 2023).

Huidige accreditatie en certificering SAF in Nederland
De wettelijke systematiek hernieuwbare energie zoals opgenomen in titel 9.7 van de Wet milieubeheer beschrijft de toekenning van Hernieuwbare Brandstofeenheden (HBE's) aan ondernemingen die energie uit hernieuwbare bronnen aan vervoer leveren, dit is de zogenaamde inboekbevoegdheid. Gasvormige hernieuwbare brandstoffen (Groene waterstof), vloeibare biobrandstoffen (SAF) en vloeibare hernieuwbare brandstoffen (e-SAF, waarvoor productie met GvO[6] gecertificeerd waterstof een voorwaarde is) kunnen allen worden ingeboekt waarvoor HBE-certificaten worden toegekend. Deze HBE-certificaten kunnen worden verkocht aan afnemers als bewijs van het gebruik van duurzame brandstof.


Aantonen uitslag tot verbruik: brandstoffen en bestemmingen

Dat er sprake is van uitslag tot verbruik moet door de inboeker worden aangetoond in zijn accijnsadministratie.

- dit kan gaan om uitslag door de inboeker zelf,
- of in bepaalde gevallen om uitslag door een AGP-vergunninghouder die de levering van de inboeker ontvangt.

(zie 'Uitslag tot verbruik: brandstoffen en bestemmingen' hieronder)

De relatie met uitslag tot verbruik maakt duidelijk dat inboeken pas aan het einde van de leveringsketen aan de orde is, in principe door de laatste schakel in de leveringsketen. De hoofdregel is eenvoudig weer te geven:

Figuur 3-4 Voorwaarde tot toekenning HBE certificaat, "aantonen uitslag tot verbruik", zoals gesteld in de Wet milieubeheer (NEa, 2023)

[6] Garantie van Oorsprong (GvO) is een certificaat die gekoppeld is aan energie, of een energiedrager, en waarmee kan worden aangetoond dat deze duurzaam is opgewerkt/geproduceerd

In de huidige wetgeving is een voorwaarde van toekenning van HBE's dat de inboeker moet kunnen aantonen dat de "ingeboekte levering is uitgeslagen tot verbruik" op de Nederlandse markt. Dit komt er in de praktijk op neer dat een levering SAF door de leveringsketen moet kunnen worden gevolgd (traceerbaarheid) tot aan eindverbruiker (zie Figuur 3-4). Controle hierop, en accreditatie wordt uitgevoerd door de Nederlandse Emissieautoriteit (NEa).

Het probleem van deze wettelijke voorwaarde ligt bij het gebruik van een niet-traceerbaar distributienetwerk, wat het geval is met een banking systeem zoals DPO (zie paragraaf 3.1.2). Om deze reden wordt er binnen de huidige regelgeving nog geen gebruik gemaakt van het DPO netwerk voor de distributie van SAF omdat hier geen HBE certificaten worden toegekend.

Als verantwoording zal een luchtvaartmaatschappij als administratie moeten bijhouden waarin de hoeveelheden geclaimde duurzame kerosine moeten matchen met de inkoop. De verantwoording is gebaseerd op certificaten van 'proof of delivery' en 'proof of sustainability', die worden toegekend door diverse keuringsinstanties. De duurzame kerosine dient ook daadwerkelijk te worden ingekocht en naar de luchthavens te worden vervoerd. Voor de aanvoer naar Schiphol is, naast bevoorrading over de weg, de route via de terminals in het Amsterdamse havengebied daar de enige optie toe. Dit omdat met de Amsterdam-Schiphol-Pijpleiding duurzame kerosine kan worden getransporteerd die volledig traceerbaar en certificeerbaar is. Voor de overige luchthavens die worden bevoorraad via tanktransport over de weg levert dit geen problemen op.

In reactie op de aankomende RED-III richtlijn, wordt de huidige wetgeving omtrent gebruik van duurzame brandstoffen in Nederland aangepast. In plaats van te werken met HBE's zal er worden overgestapt naar een systeem waarin emissiereductie-eenheden (ERE's) centraal staan. Dit betekent dat certificaten worden toegekend op basis van de hoeveelheid gerealiseerde CO2-emissiereductie, in plaats van de hoeveelheid geleverde duurzame energie. Deze verandering zal worden vastgelegd in de wet milieubeheer.

Het is belangrijk dat bij de totstandkoming van toekomstige regelgeving die voorziet in de toekenning van emissiereductie-eenheden, er rekening mee wordt gehouden dat distributie van SAF via DPO in de toekomst ook toegankelijk moet worden gemaakt.

Book & claim
Voor accreditatie en certificering van HBE's/ERE's zou het 'book & claim' principe kunnen worden gehanteerd. Hierbij wordt de fysieke link tussen productie en afname losgekoppeld. Een dergelijk systeem van certificering is wenselijk voor de accreditatie van SAF. Producenten/leveranciers van kerosine kunnen fysiek SAF leveren aan het brandstofnetwerk, welke vervolgens kan worden afgenomen door een partij die niet fysiek is gekoppeld aan ditzelfde distributienetwerk. Deze constructie voorkomt nodeloze transportbewegingen van SAF om productie en afname aan elkaar te binden. Een dergelijk systeem wordt al succesvol gebruikt bij de toekenning van Garantie van Oorsprong (GvO) certificaten voor productie van duurzame elektriciteit en groengas.

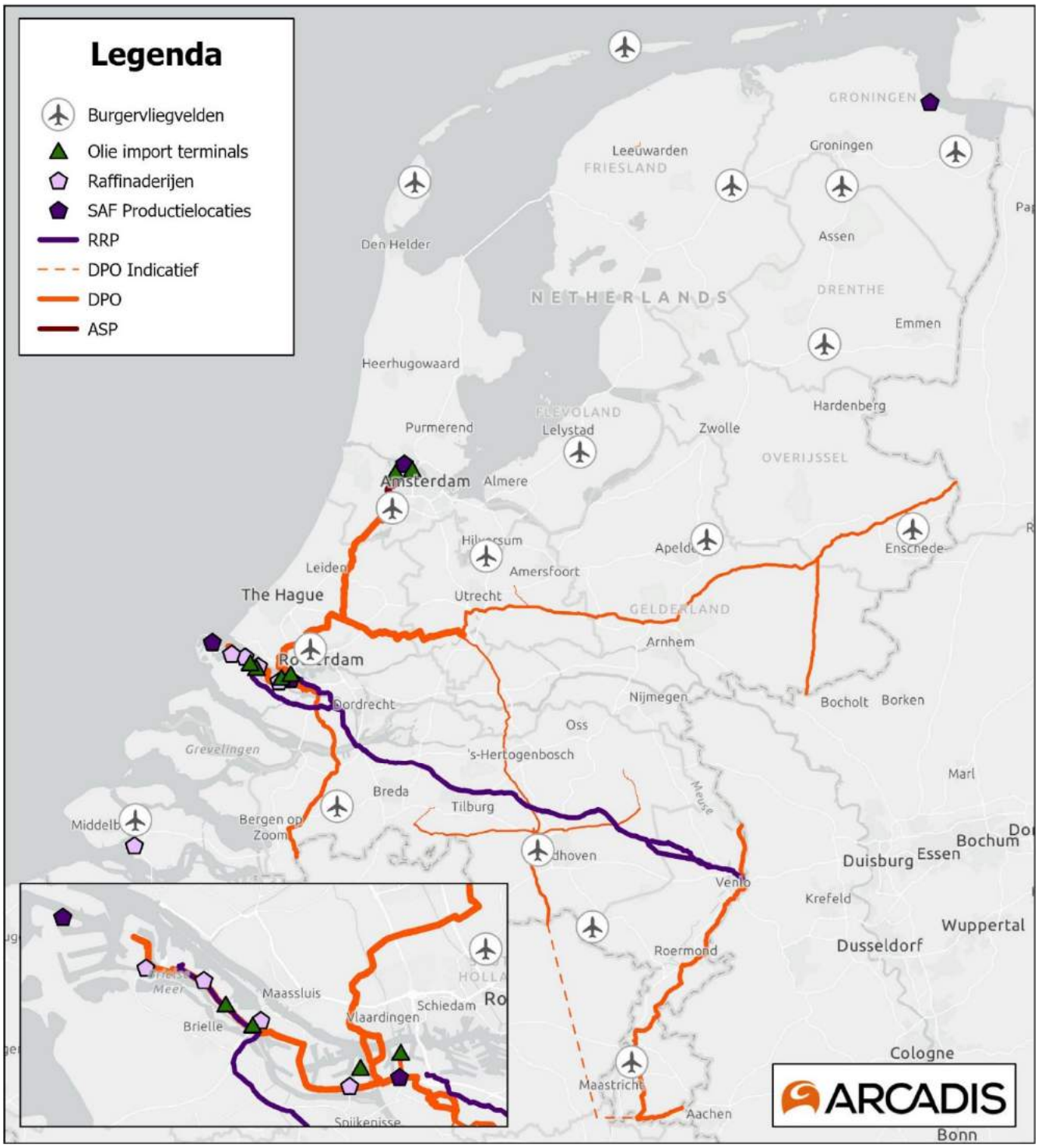
In de praktijk wordt er al gebruik gemaakt van een book & claim principe voor toekenning van SAF aan vluchten door luchtvaartmaatschappijen die vrijwillig deels op duurzame kerosine vliegen. Dit is op basis van zelf gestelde doelstellingen ten aanzien van duurzaamheid, evenwel als op basis van de wens van passagiers (en organisaties) die eigen duurzaamheidsdoelstellingen hebben. Bij de aanschaf van vliegtickets is het mogelijk om een vlucht 'deels' te vergroenen met duurzame kerosine. De luchtvaartmaatschappij zal dan naar rato dit deel aan kerosine inkopen op de markt, zonder dat deze fysiek getankt hoeft te worden.

Voor het in werking treden van ReFuelEU is het belangrijk dat het systeem van accreditatie en toekenning van certificaten zodanig wordt ontworpen dat de belemmeringen, zoals deze er binnen de huidige wetgeving zijn, worden weggenomen. Deze belemmeringen bestaan als gevolg van de huidige RED II-systematiek en de interpretatie ervan, en zullen moeten worden weggenomen bij de implementatie van RED III. Daarbij moet aansluiting worden gevonden bij het massa-balans principe zoals artikel 30 van RED II al voorschrijft (Europese Commissie, 2018). Een book & claim systeem voor de Nederlandse markt waarbij HBE's, dan wel ERE's, worden toegekend zonder fysieke leveringsverplichtingen (traceerbaarheid door de supply chain) lijkt hierin de oplossing.

De Europese Commissie geeft, middels de SHARES richtsnoeren, advies over hoe de RED geïnterpreteerd moet worden in relatie tot het bijhouden van de nationale energiestatistieken voor hernieuwbare energie. In dit advies wordt verwezen naar de fysieke energiestatistieken per lidstaat wat een book & claim systeem momenteel nog in de weg staat. Dit advies zou moeten worden aangepast wat Europese afstemming vraagt.

3.1.6 Overzicht productielocaties, leidingnetwerken en luchthavens

Onderstaande afbeelding toont een totaaloverzicht van de huidige keten van luchtvaartbrandstoffen. Deze figuur laat zien dat de grote luchthavens binnen het bereik van het netwerk vallen, en de kleinere niet. Ook Lelystad Airport ligt niet dicht bij de brandstofleiding. De kleine luchthavens worden daarom over de weg bevoorraad met tankwagens. Omdat het verbruik in de kleine luchthavens veel kleiner is, kan gesteld worden dat op basis van percentage de dekking ruim boven de 95 procent is. Desondanks zijn er kansen om wegtransport te vervangen door pijpleidingen, waar in de volgende paragraaf verder op ingegaan wordt.



Figuur 3-5 Huidige keten van luchtvaartbrandstoffen. 'SAF productielocaties' betreffen de geplande productielocaties.

3.2 Benodigde infrastructuur voor de toekomst

Voor vrijwel luchtvaartcategorieën kan worden vastgesteld, ook onder de normen die gelden voor 2030 en 2050, dat de bestaande infrastructuur vrijwel volledig toereikend is voor de aanlevering van de benodigde hoeveelheden duurzame kerosine. Immers de duurzame kerosine vervangt geleidelijk aan de bestaande hoeveelheden fossiele kerosine en leidt dus niet tot een extra belasting van de infrastructuur voor vliegtuigbrandstof.

Er zijn geen aanwijzingen dat de vraag naar vliegtuigbrandstof op de middellange termijn zodanig zal toenemen dat de infrastructuur een knelpunt wordt. Volgens de huidige prognose zal de hoeveelheid kerosine vanaf 2035 licht afnemen als gevolg van efficiëntieverbeteringen en het gebruik van waterstof en het elektrisch vliegen. Ook zal de kerosine meer duurzame kerosine moeten bevatten. In de navolgende paragrafen wordt beschreven wat dat voor consequenties heeft voor de transportketen van kerosine.

3.2.1 Productielocaties en terminals

Er zijn verschillende partijen die al hebben aangekondigd bio-kerosine (vaak aangeduid als Bio-SAF) te gaan produceren. In het Rotterdamse havengebied is al aangekondigd dat Shell, Neste, Enerkem en Koole Bio-kerosine gaan produceren. Dit komt neer op een gezamenlijke capaciteit van 2 miljoen ton per jaar. Daarnaast heet SkyNRG aangekondigd in Delfzijl 100kt Bio-kerosine per jaar te willen produceren. SkyNRG (Synkero) heeft als eerste in Nederland aangekondigd een plant te bouwen voor synthetische kerosine (vaak aangeduid als e-SAF) in Amsterdam. Deze fabriek moet in staat zijn om in 2027 jaarlijks 50 kt synthetische kerosine te produceren (Synkero, 2021). De verwachting is dat rond en na 2030 meer partijen zich zullen storten op de productie van synthetische kerosine.

Verder is het nog niet duidelijk of er op grote schaal synthetische kerosine in Nederland gaat worden geproduceerd. Aangenomen kan worden dat een aanzienlijk deel van de waterstofvraag van Nederland geïmporteerd zal moeten worden uit landen waar dit goedkoper geproduceerd kan worden. De vraag is dan of het efficiënter en voordeliger is om waterstof te importeren in de vorm van ammoniak of Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC)[7], het in Nederland te converteren naar waterstof om er vervolgens kerosine van te maken. Omdat er veel ervaring is met het transport van kerosine kan het interessant zijn om synthetische kerosine te produceren in de landen waar ook goedkoop waterstof geproduceerd wordt en vervolgens de synthetische kerosine te importeren. Het nadeel is dat er minder controle is op de duurzaamheidseisen in de gehele keten is en Nederland voor deze controle afhankelijk is van het buitenland. Aan de andere kant is Nederland ook afhankelijk van de waterstof importstroom voor de productie van synthetische kerosine. Voor deze studie is de locatie van productie of import van belang, en in beide gevallen lijkt dit zich te centreren in de havengebieden.

3.2.2 Pijpleidingen en beheer

De huidige buisleidingsystemen zijn technisch geschikt voor het vervoer van duurzame kerosine. De totale vraag naar duurzame kerosine in de toekomst is niet hoger dan het kerosineverbruik van de afgelopen jaren. Door de verschillende partijen worden er geen beperkingen verwacht in de netwerken. Wel moeten er mogelijk nieuwe partijen aangesloten worden op het DPO.

[7] Een Liquid Organic Hydrogen Carrier is een stof waar waterstof aan gebonden kan worden zodat het eenvoudiger getransporteerd kan worden. Waterstof kan op bestemming ontbonden worden en de ongeladen LOHC kan weer hergebruikt worden.

3.2.3 Scheepstransport

Op dit moment vinden er nog transporten over het water plaats vanaf de haven van Rotterdam naar de haven van Amsterdam. SAF (bio-kerosine) wordt dan vervolgens via de terminal van EVOS als batch via de ASP-pijpleiding naar Schiphol gestuurd. Dit komt met name door beperkingen aan de toekenning van HBE's zoals besproken in hoofdstuk 3.1.2. Op het moment dat deze belemmeringen zijn opgelost en duurzame kerosine via het DPO-netwerk vervoerd kan worden is het te verwachten dat deze transporten per schip zullen afnemen.



Figuur 3-6 Hoofdvaarroute Delfzijl-Lemmer

Een van de toekomstige bio-SAF producenten, SkyNRG is voornemens het door hun geproduceerde duurzame kerosine per schip van Groningen naar Amsterdam te vervoeren. Er ligt immers op dit traject geen pijpleiding die geschikt is voor kerosine. De binnenvaartroute Delfzijl-Lemmer zal hiervoor worden gebruikt. Deze route is geschikt voor vaarklasse Va ('Groot Rijnschip'). Het heeft de voorkeur van SkyNRG om dit in zo groot mogelijke hoeveelheden per keer te transporteren. Vanaf de haven van Amsterdam kan de bio-kerosine geëxporteerd worden naar andere landen of via de ASP-pijpleiding naar Schiphol getransporteerd worden.

3.2.4 Wegtransport

Het beeld voor het wegtransport ziet er hetzelfde uit als voor de andere modaliteiten. Trucks die nu kerosine (en SAF) vervoeren kunnen dit in de toekomst ook. Er zijn geen technische beperkingen. Omdat een deel van de vluchten elektrisch of met waterstof voltooid worden zal, zeker voor de kleine luchthavens, het aantal transporten met trucks die kerosine/SAF afleveren minder worden. Omdat Schiphol voornamelijk via pijpleidingen bevoorraad wordt, zullen er hier geen grote verschuivingen zijn in het wegvervoer. Het volume van kerosine (zowel fossiel als hernieuwbaar) voor de andere luchthavens neemt af tot ongeveer 35% van het oorspronkelijke volume in 2050 (zie hoofdstuk 2.5). Het is daarom te verwachten dat het aantal wegtransporten van kerosine ook met ongeveer 65% zal afnemen. Deze trend zal nog sterker terug te zien zijn bij de kleine vliegvelden. Afhankelijk van de gekozen richting van een luchthaven kunnen de transporten van kerosine volledig verdwijnen wanneer de focus op bijvoorbeeld alleen waterstof komt te liggen.

Vanuit de toepassing van kerosine in vliegtuigmotoren zijn er nu nog beperkingen die voornamelijk voortkomen uit de verbranding en onderhoud van de motoren, maar problemen treden pas op bij hogere percentages. Het is de verwachting dat door vlootvernieuwing deze beperking geen belemmering gaat vormen. Toch kan het zo zijn dat er in 2030 en 2050 nog vliegtuigen zijn die niet geschikt zijn voor duurzame kerosine omdat bepaalde aromaten ontbreken. In dat geval moeten er voor deze vliegtuigen separate brandstof leveringen komen, bijvoorbeeld via tanktransport over de weg.

3.3 Deelconclusie

De buisleidinginfrastructuur is technisch geschikt voor het vervoer van duurzame kerosine (SAF). Omdat uit de analyse blijkt dat het totale volume van kerosine (inclusief duurzame kerosine) zal afnemen is de capaciteit van het huidige buisleidingnetwerk ruim voldoende om in de behoefte voor 2030 en 2050 te voorzien. Het DPO-netwerk bevoorraadt de militaire luchthavens en Schiphol, de ASP-pijpleiding voorziet enkel Schiphol van brandstof. De buisleidingnetwerken hebben aanvoerpunten in de havens van Rotterdam en Amsterdam, waar de huidige import- en productielocaties zich bevinden. De aangekondigde productie- en importlocaties bevinden zich grofweg in dezelfde gebieden en vragen daarom om geringe aanpassingen aan deze netwerken. Uitzondering daarop is de aangekondigde productielocatie voor bio-kerosine van SkyNRG in Delfzijl. Deze transporten zullen mogelijk per binnenvaart naar Amsterdam gaan. Om ervoor te zorgen dat duurzame kerosine ook door het DPO-netwerk getransporteerd gaat worden moet de manier waarop in Nederland HBE certificaten toegekend worden aangepast worden.

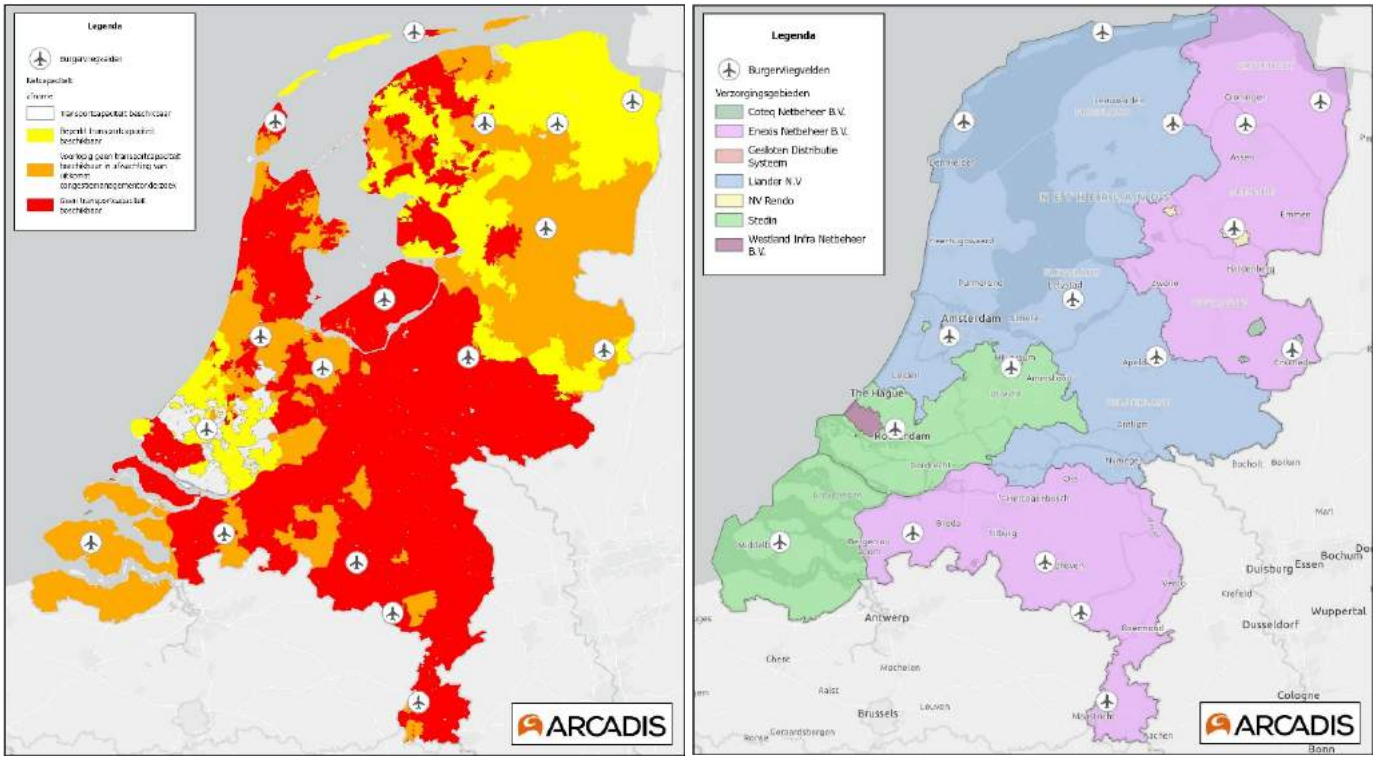
Alle civiele luchthavens worden bevoorraad via vrachtwagens[8]. De verwachting is dat zonder actief beleid deze luchthavens ook via vrachtwagens van duurzame kerosine voorzien zullen worden. Het aantal bevoorradingen van kerosine (duurzaam en fossiel) zal op basis van de projecties met ongeveer 65% afnemen. De luchthavens van Rotterdam, Eindhoven en Maastricht bevinden zich zeer dichtbij het DPO-netwerk (zie Figuur 8-2,Figuur 8-3 en Figuur 8-4). Een aansluiting van deze luchthavens op het netwerk kan het aantal transporten over de weg verder beperken en daarmee ruimte maken voor andere gevaarlijke stoffen die in het kader van de energietransitie vervoerd moeten worden of de veiligheid vergroten. De aanvoer van kerosine naar de kleinere luchthavens zal het meest afnemen, en afhankelijk van de gekozen richting van een luchthaven misschien helemaal verdwijnen.

[8] Voor Schiphol zijn deze volumes minimaal ten opzichte van de bevoorrading via buisleidingen.

4 Elektrische luchtvaart

Het voorzien in een goede infrastructuur voor elektrisch vliegen is noodzakelijk om dit in de toekomst mogelijk te maken. Overal in Nederland is een dekkend elektriciteitsnetwerk, en alle luchthavens maken hier al gebruik van voor hun dagelijkse activiteiten. Elektrisch vliegen is op dit moment echter nog niet wijdverspreid, maar wel worden op een toenemend aantal vliegvelden rondvluchten, introductievluchten en lesvluchten verzorgd met elektrische vliegtuigen.

Waar enkele jaren geleden het mogelijk maken van elektrisch vliegen een kwestie zou zijn van het aanvragen van een grotere netaansluiting bij de netbeheerder, is de situatie in de afgelopen jaren echter in hoog tempo veranderd. Bijna overal in Nederland is netcongestie een probleem (Figuur 4-1), waardoor het verkrijgen van een grotere netaansluiting niet vanzelfsprekend meer is. In plaats van een doorlooptijd van weken tot maanden, kan dit nu afhankelijk van de benodigde aansluitcapaciteit meerdere jaren duren.



Figuur 4-1 Capaciteitskaart elektriciteitsnet Nederland – Afname (Netbeheer Nederland, 2023) (links) en verzorgingsgebied van de verschillende netbeheerders (rechts)

Het is daarom belangrijk om inzichtelijk te hebben welke vermogensvraag er op de verschillende luchthavens kan ontwikkelen, en op welke termijn dit zal zijn. Daarnaast kan per luchthavenlocatie kwalitatief worden beschouwd welke ontwikkelingen er in het elektriciteitsnet gepland zijn door netbeheerders, om op hoofdlijnen inzichtelijk te hebben of er op dit moment een netcongestieprobleem is en wanneer hier mogelijk oplossingen voor komen.

4.1 Huidige situatie

Elektrisch vliegen staat nog in de kinderschoenen, maar maakt wel een snelle ontwikkeling door. Belangrijk hiervoor is de beschikbaarheid van elektrische vliegtuigen. Op dit moment is het enige officieel gecertificeerde elektrische vliegtuig nog de Pipistrel Velis Electro (European Union Aviation Safety Agency, 2020), een tweezitter met een totale batterijcapaciteit van 22 kWh wat voldoende is voor een vlucht van ca. 50 minuten. Het eerste elektrisch aangedreven vliegtuig met een Nederlandse registratie was dan ook van dit type, en is in november 2020 in gebruik genomen door de NLR vanaf Rotterdam The Hague Airport (NLR, 2023). Inmiddels vliegen er ook vanaf vliegveld Teuge 4 elektrische lesvliegtuigen van hetzelfde type (E-Flight Academy, 2022).

De verwachting is dat er op korte termijn meer elektrische vliegtuigen gecertificeerd worden, ook met grotere batterijcapaciteit. De batterij van de Pipistrel is met 22 kWh nog erg klein (een typische elektrisch auto heeft een

batterijcapaciteit tussen de 50 en 100 kWh), en kan daarom met relatief lage laadvermogens in relatief korte tijd opgeladen worden (van 35% naar 95% in 1 uur en 20 minuten met een 380 VAC lader). Voor elektrische vliegtuigen met grotere batterijen zal met grotere vermogens geladen worden, vergelijkbaar met snellaadinfrastructuur voor elektrische auto's of vrachtwagens. Dan zal dit ook een significant deel uit gaan maken van de totale vermogensvraag van luchthavens, en moet hier ook rekening mee gehouden gaan worden bij het bepalen van de grootte van de netaansluiting.

Overige elektrificatie
De elektriciteitsvraag op luchthavens zal in de komende jaren niet alleen groeien door elektrisch vliegen. Ook andere activiteiten op de luchthaven worden steeds meer geëlektrificeerd, waardoor de elektrische vermogensvraag verder toeneemt. Deze overige elektrificatie ontstaat doordat er meer gebruik gemaakt wordt van elektriciteit voor de grondgebonden activiteiten zoals bagageafhandeling, GPU's[9], elektrificatie van het wagenpark, en elektrificatie van gebouwgebonden installaties voor verwarming. Maar naast elektrisch vliegen zal ook vliegen op waterstof een significante groei van de vraag van elektriciteit tot gevolg hebben, omdat de waterstof gekoeld moet worden om het vloeibaar te maken (zie ook hoofdstuk 5). Voor dit koelen kan tot wel 20% van de energie nodig zijn van wat waterstof als energiedrager heeft. Dit betekent dat wanneer waterstof op de luchthaven gekoeld wordt en een aandeel heeft in de energiemix is die meer dan vijf keer groter is dan het elektrische aandeel, de toename in de elektriciteitsvraag door waterstof groter kan zijn dan de vraagstijging door elektrisch vliegen zelf.

Voor de luchthavens komt er een moment dat ze hun netaansluiting moeten verzwaren, en wanneer dit moment komt is onder andere afhankelijk van in hoeverre nu de volledige aansluiting al wordt gebruikt. Voor deze studie is als uitgangspunt meegegeven dat de energievraag voor elektrisch vliegen in 2030 als aandeel van de totale energievraag van de luchtvaarsector nog verwaarloosbaar zal zijn, en in 2050 langzaam toeneemt maar nog altijd klein in vergelijking met het aandeel van (duurzame) kerosine en waterstof. Toch zal het elektriciteitsnet deze ontwikkeling niet automatisch bij kunnen benen, aangezien de netcongestieproblemen die nu spelen al laten zien dat elke aanvullende elektriciteitsvraag voor problemen kan zorgen.

Het elektriciteitsnet
Om een inschatting te maken of luchthavens op korte termijn al in de problemen komen met beschikbare netcapaciteit, is naar een aantal aspecten gekeken:

1. Bevindt de luchthaven zich in een gebied waar netcongestie optreedt
2. Welke voedingsstations[10] zich in de nabijheid bevinden en de luchthaven van elektriciteit (kunnen) voorzien
3. Of deze voedingsstations terugkomen in de investeringsplannen van de betreffende regionale netbeheerder (Enexis, Liander, Stedin)

Voor alle luchthavens geldt dat ze zich nu in een gebied bevinden waar netcongestie een probleem is. Wel is er onderscheid te maken: sommige luchthavens bevinden zich in een gebied waar beperkte transportcapaciteit beschikbaar is, terwijl andere luchthavens zich op een locatie bevinden waar geen transportcapaciteit beschikbaar is en de grenzen van congestiemanagement al zijn bereikt. In het eerste geval is het misschien nog mogelijk een zwaardere aansluiting aan te vragen, maar voor het grootste deel van de luchthavens zal dit lastig zijn. Op korte termijn elektrificeren waarbij de netaansluiting vergroot moet worden zal daarom tegen belemmeringen aanlopen, maar omdat de verwachting niet is dat er op korte termijn al op grote schaal elektrisch gevlogen wordt is zal dit naar verwachting slechts op specifieke luchthavens voor problemen zorgen.

Om te bepalen of de regionale netbeheerders al actie ondernemen in de nabijheid van de luchthavens om de congestieproblemen op te lossen en op welke termijn, is daarom naar de investeringsplannen van de verschillende netbeheerders gekeken. In Tabel 4-1 is op basis van de netkaart (Netbeheer Nederland, 2023) bepaald of er op dit moment sprake is van netcongestie voor elke luchthaven, en is vervolgens bekeken welk voedingsstation in de directe nabijheid ligt en of hiervoor in de investeringsplannen van de betreffende regionale netbeheerder tot 2030 al plannen zijn om de netcapaciteit te vergroten.

[9] Een Ground Power Unit (GPU) is een voertuig dat energie levert aan een geparkeerd vliegtuig en kan daarmee de APU vervangen wanneer deze aan de gate staat.
[10] Er is van uitgegaan dat de vliegvelden conform Netcode Artikel 2.25 2.e bij een aansluitcapaciteit groter dan 3MVA en kleiner dan of gelijk aan 100MVA wordt aangesloten op een net met een spanningsniveau groter dan of gelijk aan 25 kV en kleiner dan of gelijk aan 50 kV.

Luchthaven	Netcongestie in de regio	Voedingsstation[11] (spanningsniveau)	Spannings-niveau	Verzwaring/uitbreiding
Schiphol Airport	Voorlopig geen transportcapaciteit beschikbaar in afwachting van uitkomst van het congestiemanagement-onderzoek	OS Schiphol Centrum (invoeding eigen gesloten distributiesysteem)	(50kV/10kV)	Ja, inbedrijfname (IBN) 2029-2031.
Eindhoven Airport	Geen transportcapaciteit beschikbaar: de grenzen voor de toepassing van congestiemanagement zijn bereikt.	Polderstraat 2A OS Eindhoven Noord OS Best	MS 10kV 10kV	 Ja, IBN 2027. Ja, IBN 2025.
Rotterdam The Hague Airport	Beperkt transportcapaciteit beschikbaar	OS Brandenburgbaan 99 OS Schiebroek	- 25kV	Onbekend. Ja, IBN 2027.
Groningen Airport Eelde	Beperkt transportcapaciteit beschikbaar	Machlaan 42 OS Groningen Hunze	MS 10kV	 Ja, IBN 2025 en 2028.
Maastricht Aachen Airport	Geen transportcapaciteit beschikbaar: congestiemanagement kan niet worden toegepast	Horsterweg 7b OS Beek	MS 10kV	 Ja, IBN 2024 en 2029
Ameland	Geen transportcapaciteit beschikbaar: congestiemanagement kan niet worden toegepast	GVBruimte Strandweg 19 RS Ameland OS Dokkum	10kV/.4kV 20kV/10kV/0.4kV 110kV/20kV/10kV	 Nee Ja, IBN vanaf 2030.
Budel	Geen transportcapaciteit beschikbaar: congestiemanagement kan niet worden toegepast	Luchthavenweg 9t OS Weertheide	LS 10kV	 Ja, IBN 2030.
Drachten	Voorlopig geen transportcapaciteit beschikbaar in afwachting van uitkomst van het congestiemanagement-onderzoek	Netruimte de Dammen 12 OS Drachten	10kV/0.4kV 110kV/10kV/0.4kV	 Nee
Hoogeveen	Voorlopig geen transportcapaciteit beschikbaar in afwachting van uitkomst van het congestiemanagement-onderzoek	*Onbekend - geen informatie van LS Rendo beschikbaar.* OS Riegmeer Hoogeveen HGV110 (HS/MS-station)	- 10kV/20kV 110kV/10kV	 Ja, wordt verwezen naar Enexis verzwaring van Hoogeveen. Ja, IBN 2025.
Hilversum	Voorlopig geen transportcapaciteit beschikbaar in afwachting van uitkomst van het congestiemanagement-onderzoek	Netruimte Noodweg 2 OS Hilversum Jonkerweg OS Hilversum Raafstraat	10kV/.4kV 50kV/10kV 50kV/10kV	 Ja, IBN vanaf 2030. Ja, IBN 2029-2031.
Lelystad	Geen transportcapaciteit beschikbaar: congestiemanagement kan niet worden toegepast	GVBruimte met net Luchth. Lelystad OS Zuiderveld OS Kubbetocht	10kV/.4kV 150kV/10kV/0.4kV 150kV/10kV	 Ja, IBN 2025. Ja, IBN vanaf 2028
Midden-Zeeland	Voorlopig geen transportcapaciteit beschikbaar in afwachting van uitkomst van het	*Geen informatie van Stedin infrastructuur Zeeland beschikbaar.* OS Middelburg OS Vlissingen-Oost	- 150kV 25kV	 Ja, IBN 2027.

[11] *Op basis van data beschikbaar via PDOK, Cyclomedia en opendata van de netbeheerders.*

Luchthaven	Netcongestie in de regio	Voedingsstation[11] (spanningsniveau)	Spannings-niveau	Verzwaring/uitbreiding
	congestiemanagement-onderzoek			Ja, IBN 2027 (25kV), Ja, IBN 2028 (150kV).
Oostwold	Beperkt transportcapaciteit beschikbaar	Noorderstraat 1 OS Winschoten	LS 10kV	 Ja, IBN 2029.
Seppe (Breda)	Geen transportcapaciteit beschikbaar: congestiemanagement kan niet worden toegepast	Bredasebaan 14 OS Roosendaal OS Etten	MS 10kV 10kV	 Ja, IBN 2029. Ja, IBN 2026.
Teuge	Geen transportcapaciteit beschikbaar: congestiemanagement kan niet worden toegepast	GVB ruimte met net Luchthaven Tug OS Zuidbroek OS Woudhuis	10kV/0.4kV 150kV/20kV 150kV/10kV	 Nee. Ja, IBN vanaf 2030
Enschede	Voorlopig geen transportcapaciteit beschikbaar in afwachting van uitkomst van het congestiemanagement-onderzoek	Vliegveldstraat 100 T OS Oldenzaal	MS 10kV	 Ja, IBN 2028.
Texel	Geen transportcapaciteit beschikbaar: congestiemanagement kan niet worden toegepast	Netruimte Postweg 126 NST OS Texel	10kV/.4kV 50kV/10kV	 Ja, IBN 2027-2030.

Tabel 4-1 Analyse netcongestie en verzwaringsplannen netbeheerders

Op basis van Tabel 4-1 kan worden opgemaakt dat alle luchthavens zich bevinden in een gebied waar op dit moment netcongestie een aandachtspunt is. Netbeheerders hebben voor veel locaties in hun investeringsplannen al acties opgenomen om de netcongestie op te lossen: in de laatste kolom van Tabel 4-1 is opgenomen in welk jaar de netbeheerders plannen deze acties afgerond te hebben. Daarnaast zijn er nog nieuwe netuitbreidingen gepland, die ook in de nabijheid van luchthavens voor extra netcapaciteit kunnen zorgen. Dit betekent niet automatisch dat er in dat jaar en de daarna volgende jaren tot 2050 geen netcongestieprobleem zal zijn voor de luchthavens, afstemming met de netbeheerders over prognoses van de elektriciteitsvraag zal zo ver als mogelijk vooruit plaats moeten vinden zodat netbeheerders voldoende tijd hebben om hierop te anticiperen.

4.1.1 Laadinfrastructuur kleine luchthavens

Op kleine luchthavens vinden veel vliegbewegingen plaats die bij uitstek geëlektrificeerd kunnen worden gezien hun veelal korte afstanden/vluchtduur en lage aantal passagiers. Zoals in hoofdstuk 2 is beschreven en in Tabel 2-12 is opgenomen, is de verwachting dat dit pas na 2030 een significant aandeel zal hebben van de totale energievraag van de luchtvaart. Wel zijn er al ontwikkelingen in de richting van elektrisch vliegen.

Om voor kleine luchthavens te bepalen wat voor laadinfrastructuur benodigd is, moet worden gekeken naar hoeveel elektrische vermogen op het piekmoment in kilowatts (kW) of megawatts (MW) wordt afgenomen, aangezien hierop de elektrische infrastructuur moet worden gedimensioneerd. Om te bepalen hoeveel elektrisch vermogen er voor de laadinfrastructuur van vliegtuigen nodig is, moet worden gekeken naar het aantal elektrische vliegtuigen dat gelijktijdig laadt, en met welk vermogen er wordt opgeladen. In de eerste jaren zal dit om een beperkt aantal vliegtuigen gaan, en ook het laadvermogen van de nu gebruikte elektrische vliegtuigen (Pipistrel) is met maximaal 20 kW, gebruikmakend van een CHAdeMO laadstekker (ook in gebruik voor elektrische auto's), nog beperkt. Nu zijn er op luchthaven Teuge vier van deze vliegtuigen in gebruik, als al deze vliegtuigen gelijktijdig op vol vermogen geladen zouden worden is er dus nog altijd minder dan 100 kW laadvermogen gevraagd. Dit is een serieuze elektrische vermogensvraag maar nog niet zodanig dat er een aparte grote netaansluiting bij de netbeheerder moet worden aangevraagd. Bij grotere aantallen elektrische vliegtuigen en grotere laadvermogens zal deze vermogensvraag wel snel toenemen.

In de toekomst zullen er ook vliegtuigen met grotere batterijen en hogere laadvermogens beschikbaar komen. Elektrische auto's die via een DC snellader worden opgeladen, kunnen nu al in de ordegrootte van 250kW-350kW opgeladen worden, en voor vrachtwagens wordt gewerkt aan snelladers met vermogens van 1 MW of meer. Voor vliegtuigen zullen naar verwachting ook laadvermogens in deze ordegrootte normaal worden. Omdat er nog veel onduidelijk is over het tijdspad van de ontwikkeling van elektrische vliegtuigen en hun laadvermogen, er geen gedetailleerde informatie per luchthaven is over hoeveel netcapaciteit er nu nog in reserve is, vliegen op waterstof ook een aanvullende elektriciteitsvraag betekent vanwege het koelen (zie hoofdstuk 5), en omdat de toename in

elektriciteitsvraag per luchthaven door elektrificatie van andere activiteiten nog onbekend is, is een studie per luchthaven nodig om dit in detail te bepalen. Voor kleinere luchthavens zal de energievraag voor elektrisch vliegen naar verwachting in de orde van grootte tot enkele MW zijn, voor de grotere luchthavens kan dit oplopen in de orde van grootte van enkele tientallen MW tot 100 MW, en voor Schiphol kan dit toenemen tot meer dan 100 MW. Deze cijfers hebben echter een grote onnauwkeurigheid en zijn sterk afhankelijk van de daadwerkelijke energiemix van elke individuele luchthaven. Op basis hiervan moeten de luchthavens in overleg met de netbeheerder voor hun eigen situatie een tijdspad vaststellen voor de totale elektrische energievraag, en de benodigde netverzwaringen.

4.1.2 Laadinfrastructuur grote luchthavens en Schiphol

Voor de grote luchthavens geldt op hoofdlijnen hetzelfde als voor de kleine luchthavens: er is nog veel onduidelijk over het tijdspad van de ontwikkeling van elektrische vliegtuigen, zeker ook als er op termijn met grotere elektrische vliegtuigen gevlogen kan gaan worden, die een groter laadvermogen hebben en grotere batterijen die langer moeten laden. De elektriciteitsvraag zal in zijn totaliteit per luchthaven moeten worden beschouwd, waarbij elektrische vliegtuigen in eerste instantie maar een klein deel van de totale elektriciteitsvraag vertegenwoordigen. Wel blijkt uit interviews al dat er op Schiphol nu al tegen de grenzen van de hun netcapaciteit aanlopen.

Hoeveel is 1,5 petajoule (PJ)?
Om 1,5 PJ aan vliegtuigbatterijen op te laden, zou er op ieder moment van het jaar bijna 50 MW aan elektrisch laadvermogen nodig zijn.

De snelste snelladers voor elektrische auto's laden op dit moment met ca. 250 kW. Om 1,5 PJ te laden, is er een laadcapaciteit gelijk aan 200 snelladers continu de elektrische vliegtuigen aan het laden op Schiphol.

Op de lange termijn kan dit echter flink oplopen, zelfs met de kleinere aandelen elektrisch vliegen dan wat voor de kleine luchthavens wordt aangehouden. Bij Schiphol is nu uitgegaan van een aandeel elektrisch van 1% van de totale energievraag, voor de overige grote luchthavens is 15% aangehouden. Procentueel is dit minder dan de kleine luchthavens omdat er over het algemeen met grotere vliegtuigen en over grotere afstanden wordt gevlogen, maar in absolute zin hebben de grote luchthavens een veel grotere elektrische energievraag dan de kleine luchthavens. Richting 2050 hebben de 12 kleine luchthavens in totaal een elektrische energievraag van minder dan 0,2 PJ per jaar, terwijl dit voor de 4 grote luchthavens gezamenlijk rond de 1,5 PJ per jaar zal zijn en voor Schiphol ook nog eens rond de 1,5 PJ per jaar (zie hoofdstuk 2.4). Voor Schiphol zou dit betekenen dat als de energievraag perfect over de tijd is verdeeld, er constant 50 MW elektrisch laadvermogen nodig is. Voor de overige 4 grote luchthavens gaat het om een vergelijkbare hoeveelheid, ook ca. 50 MW. Omdat het laden niet perfect over het gehele jaar gespreid wordt, zal het daadwerkelijke benodigde laadvermogen op sommige momenten hier een veelvoud van zijn als er geen maatregelen als load balancing of het gebruiken van batterijen als buffer toegepast worden.

Voor Schiphol geldt bovendien dat er is gerekend met een aandeel waterstof van 27,5 PJ in 2050. Als deze waterstof via een pijpleiding aangeleverd wordt moet dit ook gekoeld worden waarvoor nog een significante hoeveelheid elektriciteit nodig is (tot wel 20%, 5,5 PJ), zie ook hoofdstuk 5.2.2.

4.2 Benodigde infrastructuur voor de toekomst (2030 en 2050)

Voor 2030 en 2050 zijn er investeringen in het elektriciteitsnet nodig om in de toenemende elektrische energievraag op luchthavens te kunnen voorzien. Niet alleen elektrisch vliegen leidt tot de toenemende elektriciteitsvraag op luchthavens: ook het elektrificeren van grondgebonden activiteiten en gebouwgebonden installaties, maar bijvoorbeeld ook laadpunten voor reizigers die met een elektrische auto komen. Ook het vliegen op waterstof (koelen van waterstof) kan leiden tot een grote stijging in de elektriciteitsvraag. Voor elke luchthaven zal de toename in elektriciteitsvraag verschillen, en daarmee ook de benodigde uitbreiding van de elektrische infrastructuur.

Het uitbreiden van de capaciteit van het elektriciteitsnet is een tijdrovende klus. Zeker als er stations uitgebreid moeten worden of nieuwe verbindingen moeten worden gerealiseerd kan dit inclusief vergunningentraject en ontwerpfase jaren duren. In de regel geldt ook: hoe groter de netuitbreiding, hoe ingrijpender de werkzaamheden en hoe langer de doorlooptijd. Het is daarom voor de luchthavens zaak om een goed beeld te hebben van de verwachte totale vermogensvraag en hoe deze zich ontwikkelt in de tijd, rekening houdend met de totale elektrische energievraag op de luchthaven. Hierover kan dan tijdig in overleg met de netbeheerder vastgesteld worden wanneer de netaansluiting verzwaard moet worden, zodat de netbeheerder voldoende tijd heeft om de benodigde uitbreidingen van het net te realiseren.

Tot 2030 gaat het naar verwachting nog niet om grote vermogens, omdat elektrisch vliegen zich nog in een fase van innoveren en early adopters bevindt. Als luchthavens op dit moment echter al op de grens van hun aansluiting zitten, kan de beschikbare netcapaciteit al een probleem zijn voor de ontwikkeling en adoptie van elektrisch vliegen en elektrificatie van andere processen in de energietransitie. Richting 2050 zal de elektrificatie verder doorzetten, maar is er nog voldoende tijd om op deze ontwikkelingen te anticiperen en in overleg met de regionale netbeheerder de infrastructuur hierop aan te passen.

Voor de grote luchthavens kan de totale elektriciteitsvraag door elektrificatie van de diverse processen op de luchthaven naast het elektrificeren van vliegtuigen, zodanig groot zijn dat niet alleen naar de regionale netbeheerder moet worden gekeken. TenneT zorgt voor aansluitingen met een vermogen van meer dan (circa) 100 MW. Aansluitingen met een vermogen van minder dan (circa) 100 MW worden in de regel verzorgd door de betreffende regionale netbeheerder (TenneT, 2023). Als er dus in een langetermijnvisie met zulke grote vermogens rekening wordt gehouden, kan het verstandig zijn TenneT hier direct al bij te betrekken. In de langetermijnvisies van TenneT is op dit moment niet specifiek rekening gehouden met luchthavens (Netbeheer Nederland, 30 juni 2023).

4.3 Deelconclusie

Bijna overal in Nederland is er sprake van netcongestie. Alle luchthavens krijgen hier ook mee te maken op het moment dat zij hun elektriciteitsvraag dusdanig zien toenemen dat ze een grotere aansluiting nodig hebben. De elektriciteitsvraag op luchthavens zal toenemen door diverse redenen, waar elektrisch vliegen er één van is. Elektrisch vliegen bevindt zich nu nog in een ontwikkelfase, maar de verwachting is dat dit in de komende jaren flink gaat toenemen en zeker op kleine luchthavens richting 2050 een groot aandeel zal hebben in de energiemix voor vliegtuigen. Daarnaast zal ook vliegen op waterstof leiden tot een aanvullende elektriciteitsvraag doordat waterstof gekoeld moet worden tot het vloeibaar is.

Om te bepalen welke ontwikkelingen van het elektriciteitsnet nodig zijn voor de energietransitie in de luchtvaart moet per luchthaven een gedetailleerde analyse worden uitgevoerd van de huidige vermogensvraag en hoe deze zich tot 2050 gaat ontwikkelen. Verstandig is dit op een uniforme manier uit te voeren voor in ieder geval de grotere luchthavens. Omdat het uitbreiden van de capaciteit van het elektriciteitsnet veel tijd kost, is het belangrijk voor de luchthavens om ver vooruit te plannen: voor kleine luchthavens minimaal 5 jaar tot wel 10 jaar voor de grote luchthavens. Dit stelt luchthavens in staat om samen met de netbeheerder proactief om te gaan met de verwachte toename in de vraag naar elektriciteit en de mogelijke impact op het elektriciteitsnet. In de meeste gevallen zal dit de regionale netbeheerder betreffen, maar voor de grote luchthavens komt hierbij mogelijk ook TenneT in beeld, omdat de totale groei van de vermogensvraag groter dan 100 MW kan zijn. Voor de kleine luchthavens zal de regionale netbeheerder de netaansluiting realiseren. Wanneer netcongestie een obstakel vormt voor de elektrificatie van de luchtvaart kan er een rol voor de overheid zijn weggelegd om te prioriteren bij de verdeling van transportcapaciteit. De landelijke overheid moet dan bepalen of elektrificatie van de luchtvaart een hoge prioriteit heeft.

Naast een grotere aansluiting op het elektriciteitsnet is het ook belangrijk optimaal gebruik te maken van het vermogen dat al beschikbaar is op de luchthaven: load balancing en het inzetten van batterijen kan hieraan bijdragen, eventueel in combinatie met lokale opwek. Voor de aanpak van netcongestie kan worden aangesloten bij de Landelijke Aanpak Netcongestie, waar al veel ervaring is opgedaan met de aanpak en mitigerende maatregelen. Ook binnen de Nationale Agenda Laadinfrastructuur is hiermee al veel ervaring opgedaan.

5 Infrastructuur voor waterstof

5.1 Huidige situatie

De huidige markt van waterstof in Nederland is nog relatief klein ten opzichte van de projecties richting 2030 en 2050 en concentreert zich in de industrieclusters omdat bijna alle waterstof door de industrie gebruikt wordt. De grootste hoeveelheden waterstof worden in de grote industrieclusters geproduceerd, door middel van Steam Methane Reformers (SMRs) uit aardgas, waar CO_2 bij vrijkomt, en wordt in datzelfde cluster vaak weer afgenomen door industriële partijen. Waterstof wordt op dit moment met name gebruikt in de raffinaderijen en voor de productie van ammoniak, waar uiteindelijk kunstmest van geproduceerd wordt. Voor het produceren van synthetische kerosine is veel (groene) waterstof nodig maar ook voor biokerosine is waterstof nodig. De beschikbaarheid hiervan en hoe dit geleverd kan worden aan productielocaties is geen onderdeel van dit onderzoek. De verwachting is echter dat dit geen grote problemen oplevert omdat alle aangekondigde productielocaties zich in havengebieden waar ook initiatieven zijn voor waterstofproductie en import.

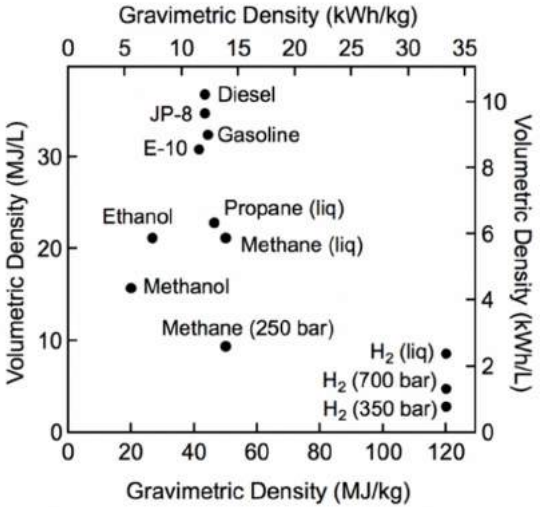
5.1.1 Waterstoftechniek in de luchtvaart

Op het moment van schrijven zijn er nog geen toepassingen van waterstof in de commerciële luchtvaart. Er zijn vele ontwikkelingen gaande van kleine drones tot grote toestellen die op waterstof kunnen vliegen. Wel zijn er op luchthavens eerste grondgebonden activiteiten die gebruik maken van waterstof zoals de waterstof GPU op Groningen Airport Eelde (Groningen Airport Eelde, 2023).

Waterstof kan op grofweg drie manieren als aandrijving gebruikt worden in de luchtvaart:

- Brandstofcel aandrijving: Waterstof en zuurstof worden in een brandstofcel omgezet in water(damp), waar elektriciteit bij vrijkomt. De elektriciteit kan gebruikt worden om het vliegtuig aan te drijven door middel van een elektromotor. Om waterstof in een brandstofcel te gebruiken is er een zeer hoge zuiverheid van waterstof (99,999+%) om slijtage en verstopping van de brandstofcel te voorkomen.
- Directe verbranding: Waterstof kan op vergelijkbare manier ingezet worden als fossiele brandstoffen. Door directe ontbranding in een turbine of interne verbrandingsmotor wordt het vliegtuig aangedreven. Om waterstof te kunnen verbranden zijn wel gemodificeerde motoren nodig en ook het tanken en opslaan van de brandstof is anders. De zuiverheid van waterstof is minder kritisch in deze toepassing. Ook de verbrandingsproducten zijn anders, zo komt er bij de verbranding geen CO_2 vrij maar wel NO_x en waterdamp.
- Verbranding van synthetische brandstoffen die waterstof bevatten. Door middel van het Fischer-Tropsch proces kan met waterstof (H_2) en CO_2 verschillende koolstofketens (C_xH_y) gemaakt worden zoals benzine, diesel en kerosine (synthetische kerosine/e-SAF). Deze kunnen op een conventionele manier gebruikt worden in vliegtuigen zonder grote aanpassingen.

Waterstof heeft een zeer hoge energiedichtheid per eenheid van massa maar is tegelijkertijd het lichtste element op aarde. Daarom is de energiedichtheid op basis van volume, bij omgevingscondities, zeer laag. In Figuur 5-1 is te zien dat de dichtheid op basis van massa (horizontale-as) ongeveer drie keer zo hoog is vergeleken conventionele brandstoffen, maar de dichtheid op basis van volume (verticale-as) minstens drie keer zo laag is ten opzichte van kerosine (JP-8). Om de volumetrische energiedichtheid te verhogen kan waterstof gecomprimeerd of vloeibaar gemaakt worden. Om waterstof vloeibaar te maken moet het gekoeld te worden tot -253°C. Dit is een energie-intensief proces en vanwege de lage temperatuur is er veel isolatie en/of energie nodig om waterstof gekoeld te houden. Om waterstof gasvormig op te slaan moet het gecomprimeerd worden naar zeer hoge drukken. In de automotive sector worden drukken van 350 en 700 bar gehanteerd. Hiermee is de dichtheid echter nog steeds twee keer zo laag in vergelijking met vloeibare opslag. Om waterstof met deze drukken op te slaan zijn er sterke cilindrische tanks nodig die meestal van koolstofvezel zijn gemaakt met een metalen liner. Door de lage temperatuur of de hoge druk is het waarschijnlijk niet mogelijk om de brandstof in de vleugel



Figuur 5-1 Energiedichtheid op basis van volume en massa van verschillende brandstoffen (JP-8 is kerosine en qua samenstelling bijna gelijk aan Jet A-1). Bron: (U.S. DOE, 2023)

op te slaan zoals nu gebruikelijk is in vliegtuigen. Om zoveel mogelijk brandstof mee te kunnen nemen heeft vloeibare waterstof in de luchtvaart de voorkeur boven gasvormige waterstof onder hoge druk omdat de dichtheid per liter (volume) hoger is. Toepassingen met gasvormige waterstof worden niet uitgesloten maar de hoeveelheden zullen verwaarloosbaar zijn ten opzichte van vloeibare waterstof. Er zijn nu enkele partijen, zoals Aerodelft (AeroDelft, 2023), die een vliegtuig ontwikkelen met gasvormige waterstof maar dit zijn vaak prototypes waar later de overstapt gemaakt wordt naar vloeibare waterstof.

Om waterstof te koelen is er veel energie nodig. Op dit moment is dit ongeveer 10kWh/kg waterstof, ongeveer 1/3^{e} van de energie-inhoud. Met grotere installaties en verdere ontwikkeling van de techniek is de verwachting dat dit is te reduceren tot ongeveer 6 kWh/kg waterstof (JRC, 2022).

Wanneer vliegtuigen gaan vliegen op waterstof betekent dit dus dat er niet alleen met een andere brandstof gevlogen wordt maar dat ook de vliegtuigen en de infrastructuur anders ontworpen moet worden. Dit betekent ook dat er andere maatregelen en procedures ingeregeld moeten worden omtrent de veiligheid op de luchthaven. In andere sectoren, zoals het wegtransport is hier al meer ervaring in opgedaan en is het verstandig om daarbij aan te sluiten.

5.1.2 Geplande infrastructuur

Anno 2023 zijn er grote ontwikkelingen gepland voor de volledige waterstofketen. Van productie en import, tot aan de eindgebruiker.

Productie en import
De ambitie van REPowerEU is om 20 Mt hernieuwbare waterstof in te zetten in Europa in 2030 (European Commission, 2022). Het uitgangspunt is dat 10 Mt hiervan in Europa opgewekt wordt en 10 Mt geïmporteerd wordt uit andere werelddelen. Het havenbedrijf van Rotterdam heeft de ambitie om in 2030 4,6 Mt aan waterstof en waterstofdragers door te voeren. Ook de andere Nederlandse havens hebben de ambitie om waterstof te importeren. Zeker tot 2030 zal import van waterstof via dragers zoals ammoniak en LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carriers) plaatsvinden. Om deze waterstof te gebruiken moet dit gekraakt worden in het geval van ammoniak, en gedehydrogeneerd worden in het geval van LOHC. Conversie naar waterstof kan plaatsvinden in de haven, en bijvoorbeeld geïnjecteerd worden in het landelijk waterstofnetwerk, of als drager naar de eindgebruiker getransporteerd worden als de volumes groot genoeg zijn en de eindgebruiker de capaciteit en ruimte heeft voor conversie. Rond 2030 komen mogelijk ook de eerste importstromen van vloeibare waterstof op gang.

In het Klimaatakkoord is afgesproken om 4 GW elektrolysecapaciteit te realiseren tegen 2030. Dit komt overeen met ongeveer 275-400 kt waterstof op jaarbasis. De eerste initiatieven rondom grootschalige elektrolyse vinden plaats in de industrieclusters bij de havens zoals in de haven Rotterdam, haven van Amsterdam, North Sea Port en de Eemshaven. Zo heeft Shell een investeringsbeslissing genomen voor een 200 MW elektrolyzer op de Maasvlakte en ook Eneco heeft al een vergunningsaanvraag gedaan voor een 800 MW elektrolyzer op de Maasvlakte. Daarnaast komen er pilots tot 500 MW voor offshore waterstofproductie. Het aanbod van waterstof zal dus met name vanuit de havens komen. Voor 2030 is de vraag naar waterstof voor de luchtvaart nog marginaal en worden er dan ook geen problemen verwacht in het aanbod van waterstof ondanks de schaarste op de markt. Het beeld naar 2050 is nog een stuk troebeler. De nationale doelen en strategieën bieden een degelijk beeld tot 2030 maar geven enkel een doorkijk naar 2050. De vraag naar waterstof voor directe inzit in vliegtuigen bedraagt ongeveer 267 in 2050. Dit is ongeveer van dezelfde orde van grootte als wat er in 2030 in Nederland geproduceerd kan worden (zie ook paragraaf 5.2). Met het opschalen van de productie-eenheden in Nederland en een toename van de importstromen is de verwachting dat de markt volwassener wordt en er voldoende aanbod van groene waterstof is.

Daarnaast is er ook veel waterstof nodig voor de productie synthetische kerosine. Als dit in Nederland geproduceerd wordt legt dit wel een grotere druk op de importbehoefte. Het is echter ook goed voor te stellen dat synthetische kerosine geproduceerd wordt in landen waar ook de groene waterstof geproduceerd wordt.

Waterstof leidingnetwerken
Op dit moment is er nog nauwelijks waterstofinfrastructuur beschikbaar in Nederland. Omdat dit met name een lokale aangelegenheid is, is er ook nog geen landelijke infrastructuur beschikbaar. Er ligt een privaat waterstofnetwerk van Air Liquide wat zich uitstrekt vanaf Rotterdam, via Moerdijk en Antwerpen tot in Noord-Frankrijk.

Omdat waterstof pas bij -253°C vloeibaar wordt is het niet mogelijk om waterstof gekoeld over lange afstanden door een buisleiding te transporteren. Dit betekent dat er dus alleen gasvormige waterstof door buisleidingnetwerken

getransporteerd zal worden en dat de waterstof voor gebruik in het vliegtuig moet worden gekoeld om het vloeibaar te maken.

HyNetwork Services (HNS), een onderdeel van Gasunie, heeft de taak gekregen om het waterstofnetwerk in Nederland (voorheen ook wel backbone genoemd) te realiseren. Een bestaand deel van het huidige aardgasnetwerk zal gereed gemaakt worden om waterstof doorheen te transporteren[12]. Sommige delen van het netwerk moeten vervangen worden omdat het materiaal niet geschikt is, en andere delen moeten uitgebreid worden om de afnemers te bereiken. Daarnaast moeten er aanpassingen gedaan worden aan bijvoorbeeld afsluiters en compressorstations. Dit netwerk zal gekoppeld worden aan een Europees waterstofnetwerk. Het doel is om richting 2030 alle grote industrieclusters op een ringleiding aangesloten te hebben (zie Figuur 5-2 en Figuur 5-3). De ombouw van het netwerk zal stapsgewijs plaatsvinden en naast het omvormen van het bestaande netwerk moeten ook enkele honderden kilometers nieuwe buisleiding aangelegd worden. In de periode van 2025-2027 zullen de leidingnetwerken in de zeehavens aangelegd worden en zal het eerste deel van de ringleiding vanaf Groningen via het oosten van Nederland gereed gemaakt worden inclusief verbindingen met Duitsland. In de periode 2028-2029 zal het deel in het oosten verbonden worden met de havengebieden en wordt ook Chemelot aangesloten. Rond 2030 zal de ringleiding gesloten worden en wordt er mogelijk ook een offshore leidingnetwerk gerealiseerd. De kwaliteitseisen van het waterstofnetwerk liggen op het moment van schrijven nog niet vast. De verwachting is dat er een minimale zuiverheid van 98% waterstof geëist zal worden. Op dit moment vindt er afstemming met buurlanden plaats of deze zuiverheidseis verhoogd kan worden tot bijvoorbeeld 99,5%. Brandstofcellen hebben een zuiverheid nodig van 99,999+ % wat betekent dat, als er luchthavens waterstof afnemen van dit netwerk, het nog gezuiverd dient te worden.



Figuur 5-2 Overzicht en fasering van het landelijk waterstofnetwerk. Links:2025-2027, Midden:2028-2029, Rechts:2030 en verder. Bron: (HyNework Services, 2023)

Hoe de ontwikkeling van het waterstofleidingnetwerk er na 2030 verder uitziet is nog onduidelijk. Wel is het zo dat hoe verder de vraag naar aardgas afneemt, hoe meer buisleidinginfrastructuur, en dus ook capaciteit, er beschikbaar komt. Net zoals het netwerk van Gasunie een transportnet is, zal het netwerk van HyNetwork Services ook een transportnet zijn met enkele grote afnemers. Er zijn nog geen concrete plannen om bestaande aardgasdistributienetten om te bouwen naar waterstof of om nieuwe waterstofdistributienetten aan te leggen. Op dit moment lopen er onderzoeken hoe hier invulling aan gegeven kan worden zoals het HyRegions programma van EZK (Netbeheer Nederland, 30 juni 2023). De eerste resultaten hiervan worden begin 2024 verwacht. Zulke netten bieden mogelijkheden voor kleine producenten maar ook kansen voor afnemers die nu te weinig afnemen om een aansluiting op het landelijk netwerk rendabel te maken. Mogelijk kunnen ook kleine luchthavens in de toekomst aangesloten worden op een waterstofdistributienetwerk. Een deel van het netwerk, het tracé vanaf Moerdijk richting het oosten van het land, wordt

[12] In Nederland is er een hoog- en laagcalorisch gasnetwerk. Het hoogcalorische gasnetwerk transporteert aardgas wat onder andere afkomstig is uit de Noordzee, Noorwegen en (voorheen) Rusland. Het laagcalorisch netwerk transporteert 'Gronings' gas waar meer stikstof doorheen zit en daarom een lagere energiehoeveelheid heeft. De zware industrie in Nederland is aangesloten op het hoogcalorisch net, de huishoudens en kleinere gebruikers op het laagcalorisch net. Omdat steeds meer huishoudens van het aardgas worden gehaald komt een deel van deze infrastructuur vrij omdat er meestal meerdere buizen naast elkaar liggen.

mogelijk een onderdeel van de Delta Rhine Corridor, een buisleidingstraat die ontwikkeld wordt tussen Rotterdam en Duitsland.

De netwerkcapaciteit van het landelijke waterstofnetwerk heeft naar verwachting in 2030 al voldoende capaciteit om te voorzien in de waterstofvraag voor luchtvaart in 2050. Daarnaast zou er richting 2050 meer capaciteit op het netwerk kunnen komen wanneer er meer aardgasbuisleidingen omgebouwd kunnen worden naar waterstof. Wel is het belangrijk om tijdig een aansluiting aan te vragen of de interesse kenbaar te maken voor een aansluiting. De doorlooptijd voor een afsluiting is enkele jaren en wanneer de interesse tijdig kenbaar wordt gemaakt kan HyNetwork Services hier rekening mee houden in de uitrol van het netwerk en eventuele uitbreidingen.

Overzicht geplande infrastructuur
Onderstaande figuur geeft een overzicht van de geplande waterstofinfrastructuur in Nederland. In het overzicht is goed te zien dat alle productie- en importclusters worden aangesloten op het landelijk waterstofnetwerk en ook de grote luchthavens relatief dicht bij het netwerk liggen.



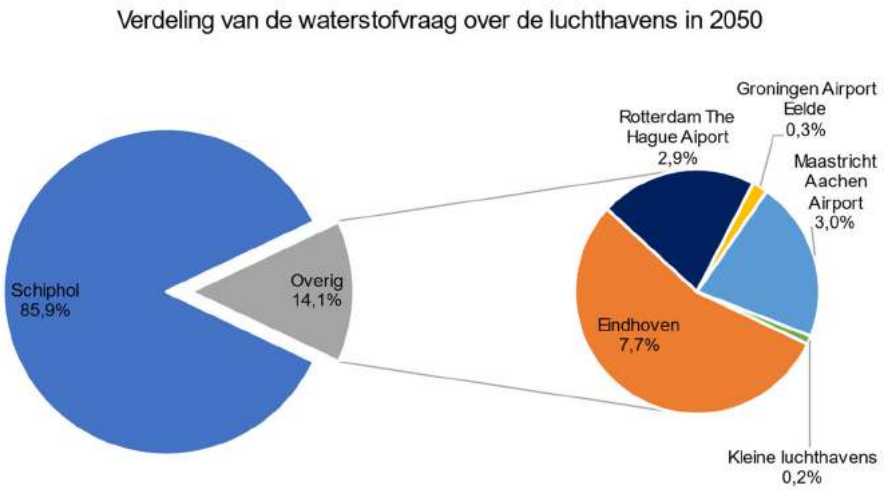
Figuur 5-3 Overzicht van geplande waterstofinfrastructuur [13]

[13] Geodata van de European Hydrogen Backbone (EHB) is gebruikt in deze figuur en is op Europees niveau ingetekend en is daarom minder nauwkeurig. Zo hoort bijvoorbeeld de verbinding vanaf Rotterdam naar het Oosten overeen te komen met de Delta Rhine Corridor (blauw).

5.2 Projecties voor de toekomst (2030 en 2050)

De verwachting is dat in 2030 de vraag naar waterstof nog niet significant is op de luchthavens. In 2050 wordt in (Studio Gear Up, 20 december 2022) verwacht dat de vraag naar waterstof in de luchtvaart 32 PJ bedraagt. Dit komt neer op 267 kt waterstof per jaar. Dit is van ongeveer dezelfde orde van grootte als wat geproduceerd kan worden met de 4GW elektrolysecapaciteit die is opgenomen in het klimaatakkoord voor 2030. Figuur 5-4 toont de verdeling van de totale waterstofvraag voor de luchtvaart in 2050. Met de toegepaste projecties komt naar voren dat Schiphol in 2050, met 230kt per jaar, veruit de grootste afnemer van waterstof wordt voor de luchtvaart ondanks dat waterstof slechts 19% van de brandstoffenmix van Schiphol betreft.

N.B: Er is nu uitgegaan van eenzelfde brandstoffenmix voor de grote luchthavens in Nederland. Afhankelijk van het gevoerde beleid kan deze mix per luchthaven verschillen.

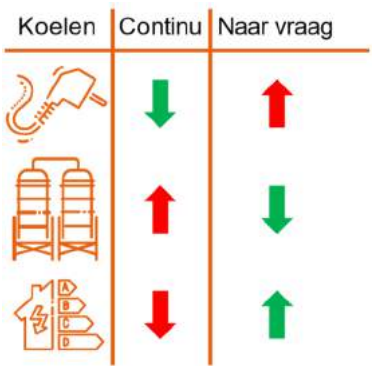


Figuur 5-4 Verdeling van de waterstofvraag per luchthaven in 2050

5.2.1 Afwegingen voor keuze van transportinfrastructuur

Ondanks dat de infrastructuur op de luchthavens geen onderdeel is van dit onderzoek is het wel van belang om inzicht te hebben hoe de vliegtuigen bevoorraad worden met waterstof omdat dit van invloed is op de infrastructuur buiten de hekken. Om met vloeibare waterstof te kunnen vliegen zijn er qua bevoorrading verschillende opties:

Vloeibaar maken op locatie
De eerste optie is om waterstof gasvormig aan te leveren op de luchthaven en op locatie waterstof vloeibaar te maken. Deze optie is het aantrekkelijkst met grote volumes met een aansluiting op het landelijk waterstofnetwerk. Het omslagpunt hiervan is nog onzeker omdat de aansluit- en transporttarieven voor het landelijk waterstofnetwerk en de levering van vloeibare waterstof op grote schaal nog niet beschikbaar zijn. Toch is de verwachting op basis van andere projecten dat dit in de orde van grootte van 10 kt per jaar ligt. Ook is nog niet bekend hoe een regionaal distributienet voor waterstof en de gebruikskosten hiervan eruit gaan zien waar de kleinere luchthavens mogelijk gebruik van kan maken. Op locatie is een installatie nodig die waterstof eerst zuivert tot de gewenste kwaliteit en vervolgens vloeibaar maakt. Daarnaast is er een opslag nodig voor de gekoelde waterstof. Voor het vloeibaar maken van waterstof is er veel elektriciteit nodig en is er een zware elektriciteitsaansluiting nodig. Hierin kan een optimalisatie gemaakt worden:



- Continu koelen: Door continu te koelen wordt er continu vloeibare waterstof beschikbaar gemaakt en is er een kleinere koelinstallatie nodig met een kleinere/geen piekvraag. Dit heeft als voordeel dat er een minder zware netaansluiting nodig is, maar er is meer opslag op locatie nodig. Daarmee is er een groter ruimtebeslag en zijn er ook meer verliezen.
- Koelen naar behoefte: Door te koelen naar de behoefte is er minder opslag nodig. Dit heeft als nadeel dat er hogere piekbelastingen zijn en er dus ook een zwaardere netaansluiting nodig is.

Zeker voor de kleine luchthavens is dit een logische optie omdat niet alleen de volumes klein zijn maar er ook niet continu gevlogen zal worden.

Vloeibare waterstof aanleveren
Wanneer het niet mogelijk is om op de luchthaven waterstof vloeibaar te maken dan zal dit vloeibaar aangeleverd moeten worden. Het is mogelijk om waterstof vloeibaar over de weg, via het spoor of over het water te leveren. Echter is op dit moment in het ADN[14] een verbod op cryogeen (gekoeld vloeibaar gemaakt) transport van waterstof vastgelegd in ingebouwde scheepstanks. Losse eenheden mogen wel vervoerd worden. Een waterstoftruck kan ongeveer 3 ton vloeibare waterstof vervoeren (JRC, 2022). Een tubetrailer kan tot ongeveer 1 ton gecomprimeerde (gasvormige) waterstof transporteren. 1 ton waterstof bevat ongeveer evenveel energie als 3 ton kerosine.

Afhankelijk van de benodigde capaciteit kan de afweging gemaakt worden waar vloeibare waterstof vandaan gehaald kan worden. Een logische gedachten is om waterstof vloeibaar te maken in de industriële locaties waar waterstof geïmporteerd en geproduceerd wordt. Op industriële locaties kan mogelijk ook efficiëntiewinst behaald worden door de vrijgekomen warmte in andere processen te gebruiken. Dit heeft wel tot gevolg dat er veel trucks over de weg moeten over een lange afstand. Een tussenoplossing is om waterstof naast of vlakbij de luchthaven te koelen en het via een korte, en goed geïsoleerde, pijpleiding (zeer korte afstand) (Connected Places Catapult , 2023) of via trucks naar de luchthaven te transporteren.

Lokale elektrolyse

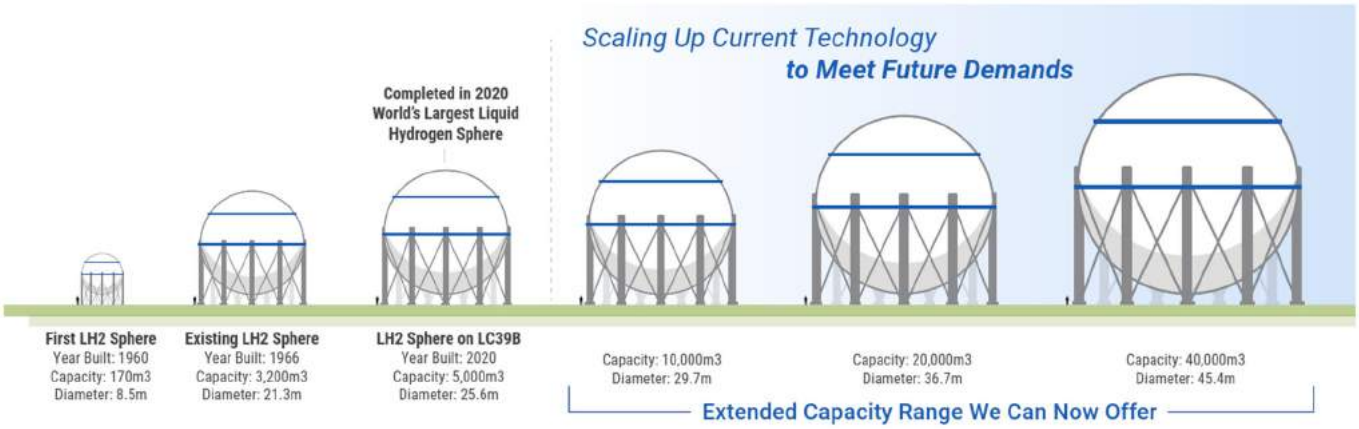
Lokale elektrolyse kan de behoefte van externe leveringen verminderen. In hoeverre dit mogelijk is hangt sterk af van het vluchtpatroon en de bron van groene stroom voor de elektrolyser. Als de elektrolyser bijvoorbeeld gevoed wordt met zonnestroom zal het met name veel waterstof overdag produceren en in de zomer. De bedrijfsmodus van de elektrolyser en het vluchtprofiel bepalen wat de opslagbehoefte van de luchthaven is. Seizoensopslag is gezien de volumes niet mogelijk en vanwege de veiligheid(scontouren) onwenselijk. Het is daarom te verwachten dat de capaciteit van elektrolysers op de luchthaven qua orde van grootte zo gedimensioneerd wordt dat het overeen komt met de afname behoefte van één dag. De luchthavens blijven dan afhankelijk van externe leveringen.

5.2.2 Schiphol

Uit de projecties komt nog geen significant waterstofverbruik in 2030 naar voren. Voor 2050 wordt een jaarlijks verbruik van 230kt per jaar verwacht voor 2050. Omgerekend naar truckladingen komt dit neer op 76,5 duizend truck transporten per jaar, gemiddeld ruim 200 trucks per dag. Met deze volumes ligt het voor de hand om Schiphol op het landelijk netwerk aan te sluiten. Dit netwerk kruist de luchthaven (zie Figuur 5-3 en Figuur 8-1). Vanuit het landelijk waterstofnetwerk worden hierin geen beperkingen verwacht in relatie tot de capaciteit van het netwerk. Er is nog geen aansluiting voor de luchthaven voorzien. Omdat dit netwerk gasvormige waterstof transporteert is er nog wel een koel- en zuiveringsinstallatie nodig. De jaarlijkse koelvraag (elektrisch) bedraagt bij een jaarlijks volume van 230 kt bijna 1400 GWh. Uit gesprekken met Schiphol blijkt dat de benodigde ruimte en netaansluiting mogelijk beperkend kunnen zijn voor een installatie van deze schaal. Als het niet mogelijk blijkt om een installatie en opslag op de luchthaven te produceren kan er een locatie buiten de hekken gezocht worden. Als de afstand beperkt kan worden tot enkele honderden meters kan dit mogelijk met een korte buisleiding voor gekoelde waterstof. Als de afstand groter is, zijn hier transporten via de weg voor nodig.

De grootte van de opslag en de netaansluiting kan geoptimaliseerd worden zoals beschreven in paragraaf 5.2.1. Als de netaansluiting de grootste beperkende factor is kan er continu gekoeld worden. Hiervoor is een aansluiting in de orde van tenminste 150 MW vermogen nodig[15]. Met een gemiddelde productie van ruim 600 ton (~9.000m^3) vloeibare waterstof per dag is er wel een grote opslag nodig. De grootte van de opslag is afhankelijk van het profiel van de vliegbewegingen[16]. De opslag kan verkleind worden door de koelinstallatie te vergroten.

[14] **A**ccord européen relatif au transport des marchandises **D**angereuses par voies de **N**avigation intérieures - Europese overeenkomst voor het internationale vervoer van gevaarlijke goederen over de binnenwateren.
[15] Dit is ongeveer 3x zo groot als het minimale laadvermogen dat nodig zou zijn op Schiphol voor elektrisch vliegen.
[16] De omvang van opslag is zowel afhankelijk van een dagprofiel maar ook zeker een seizoensprofiel. Als er elke dag evenveel gevlogen wordt is er ongeveer 9000m^3 opslag nodig, als de spreiding ongelijk is over een week of maand kan dit een veelvoud zijn, en dus in dit stadium ook niet te bepalen.



Figuur 5-5 Afmetingen van vloeibare waterstofopslag (CBI, 2022)

5.2.3 Grote luchthavens

De totale vraag van de grote luchthavens, exclusief Schiphol, bedraagt 37 kt waterstof per jaar in 2050, wat overeenkomt met ongeveer 12.300 vrachtwagentransporten per jaar. Op basis van de uniforme brandstofmix per luchthaven zoals beschreven in hoofdstuk 2.5.2 betekent dit dat de luchthaven van Eindhoven verantwoordelijk is voor ongeveer de helft hiervan, 20 kt (bijna 7.000 trucks per jaar). Voor de luchthavens van Rotterdam en Maastricht is 8 kt waterstof voorzien (~2600 trucks per jaar) en voor Groningen 1 kt op jaarbasis (250 trucks per jaar). Hoe de verdeling van waterstof over deze luchthavens er daadwerkelijk gaat uitzien is sterk afhankelijk van welke strategie de luchthavens zullen aanhouden in relatie tot de brandstofmix. Zo profielen Groningen Airport Eelde en Rotterdam The Hague Airport zich op dit moment als toekomstige waterstof luchthavens.

Alle genoemde luchthavens liggen dicht bij het beoogde tracé van het landelijk waterstofnetwerk. De luchthaven van Eindhoven ligt er iets verder vandaan. Het beoogde tracé van de Delta Rhine Corridor, het zuidelijke deel van het tracé van het landelijk waterstofnetwerk, passeert 10 km ten noorden van de luchthaven. Afhankelijk van lokale omstandigheden kan een aansluiting op het landelijk waterstofnetwerk voor de luchthavens van Rotterdam, Eindhoven en Maastricht rendabel zijn [17].

De luchthaven van Maastricht ligt relatief ver van de grote import- en productieclusters vandaan (zie Figuur 5-3). Omdat het landelijk waterstofnetwerk al gerealiseerd wordt en dicht bij de luchthaven komt kan het aantrekkelijk zijn om waterstof via buisleidingen naar de luchthaven te transporten. Het transporttarief is onafhankelijk van de afstand en zo kunnen er veel lange wegtransporten voorkomen worden. Op dit moment vertrekken er nog veel vracht- en vakantievluchten vanaf de luchthaven. Als dit vluchtprofiel hetzelfde blijft wordt er mogelijk meer duurzame kerosine afgenomen en minder waterstof zoals nu is berekend.

Voor al deze luchthavens moet ook geïnventariseerd worden of en op welke manier vloeibaar maken van waterstof mogelijk is. Als dit niet mogelijk blijkt, kan er gekeken worden naar een locatie net buiten de hekken. Het alternatief is aanvoer vanaf de productie- en importclusters. Gezien de ligging van deze luchthavens, maar afhankelijk van de beschikbaarheid, is bevoorrading vanuit het havengebied van Rotterdam of North Sea Port (Zeeland) het meest voor de hand liggend.

Gegeven de hoeveelheid waterstof die nodig is op de luchthaven van Groningen ligt een aansluiting op het landelijk waterstofnetwerk minder voor de hand. Als er lokaal een distributienet ontwikkeld wordt biedt dit wel mogelijkheden. Op jaarbasis zijn er ongeveer 250 trucks met vloeibare waterstof nodig voor de bevoorrading van deze luchthaven. Gezien de geografische ligging ligt het voor de hand om deze luchthaven (en de andere luchthavens in het Noorden van Nederland) te bevoorraden met lokaal geproduceerde waterstof uit de Eemshaven of in Delfzijl. Groningen Airport Eelde profileert zich nadrukkelijk als waterstofhub. Als er enkel met waterstof gevlogen wordt vanaf deze luchthaven zal de waterstofbehoefte ongeveer verdubbelen. Ook kunnen er meer toepassingen in en rond de luchthaven zijn die

[17] In deze fase is het lastig om te bepalen waar het precieze omslagpunt ligt wanneer een aansluiting op het landelijk waterstofnet rendabel is. Dit is onder meer afhankelijk van de afstand tot het netwerk (de kosten voor de eigen leiding) de definitieve tarieven van HyNetwork Servies, de prijs voor gasvormige waterstof, de kosten voor een koelinstallatie en de leverkosten van gekoelde waterstof.

waterstof nodig hebben zoals de grondgebonden operaties of (openbaar) vervoer in de omgeving. Nader onderzoek moet aantonen of het break-even punt voor een aansluiting op de luchthaven dan bereikt wordt. Eind 2023 is ook een decentrale elektrolyser onthuld op de luchthaven. Het doel is om ook lokaal waterstof te produceren op de luchthaven en later op te schalen. Dit kan de behoefte van externe leveringen verminderen.

5.2.4 Kleine luchthavens

Uit de analyse komt naar voren dat er nog geen waterstofvraag is in 2030, en de vraag in 2050 zeer gering is ten opzichte van de totale behoefte voor de Nederlandse luchtvaart, te weten 0,4 kt van 267 kt H_2. Voor 2050 zullen er wel vluchten zijn met waterstof maar op een zeer kleine schaal. Daarnaast is het belangrijk om op te merken dat er een gegeneraliseerde schatting is gedaan voor de verdeling van brandstoffen voor de kleine luchtvaart. Het is onwaarschijnlijk dat elke luchthaven eenzelfde brandstofmix heeft en de behoefte naar brandstoffen zal sterk afhankelijk zijn van de keuzes die door de luchthavens gemaakt worden. Zo is het goed voor te stellen dat het ene vliegveld meer inzet op waterstof, en het andere vliegveld helemaal geen tankvoorzieningen heeft voor waterstof. Om alle 12 kleine luchthavens van waterstof te voorzien zijn er ongeveer 140 trucks nodig om waterstof vloeibaar aan te leveren. Wanneer waterstof gasvormig wordt aangeleverd gaat het om minimaal 410 trucks per jaar. Gezien deze hoeveelheden ligt het niet voor de hand om deze luchthavens aan te sluiten op het landelijke transportnet omdat de volumes daar te klein voor zijn. Mochten er na 2030 regionale waterstofnetten ontwikkeld worden kan het wel interessant zijn om luchthavens aan te sluiten. Hiermee kunnen ook de hoeveelheden transporten van gevaarlijke stoffen over andere modaliteiten omlaag gebracht worden. Dit betekent wel dat er dan een installatie nodig is voor het vloeibaar maken van waterstof.

5.3 Deelconclusie

Alle benodigde infrastructuur voor de levering van waterstof aan de luchthavens moet nog gerealiseerd worden. Er wordt door HyNetwork Services (onderdeel van Gasunie) een landelijk transportnet voor gasvormige waterstof gerealiseerd waar ook de grote productie- en importclusters in Nederland worden aangesloten. Er zijn op dit moment nog geen aftakkingen naar luchthavens voorzien. Gegeven de verwachte volumes en de ligging lijkt een aansluiting voor de luchthavens Schiphol, Rotterdam The Hague Airport, Eindhoven Airport en Maastricht Aachen Airport voor de hand te liggen. Voor Groningen Airport Eelde en de kleine luchthavens lijkt de vraag te klein te zijn. Dit is sterk afhankelijk van de te kiezen strategie qua brandstofmix van de luchthaven. Wanneer er lokale distributienetwerken ontwikkeld worden is dit mogelijk wel rendabel. Op dit moment loopt het HyRegions programma wat de mogelijkheden voor lokale distributie van waterstof onderzoekt.

Door het landelijk waterstofnetwerk kan alleen gasvormige waterstof getransporteerd worden. De verwachting is dat de luchtvaart met name vloeibare waterstof nodig heeft omdat dit een hogere energiedichtheid heeft dan gasvormige waterstof onder druk. Dit betekent dat de luchthavens lokaal waterstof vloeibaar moeten maken en moeten zuiveren of hiervoor een locatie buiten de hekken moeten zoeken. Is dit niet mogelijk, dan kunnen de luchthavens via de weg bevoorraad worden vanuit de import- en productieclusters. Het ligt voor de hand dat marktpartijen hier de regie in nemen. Op dit moment zijn er nog geen concrete initiatieven of samenwerkingen die hierop gericht zijn. Één en ander zal afhangen van de daadwerkelijke behoefte in de markt. Als ontwikkelingen die richting op gaan kan de overheid aanjager zijn door marktpartijen bijeen te brengen en/of zelf initiatieven te ontwikkelen.

6 Stakeholderanalyse

6.1 Inleiding

Onderdeel van de opdracht van het ministerie is dat organisaties die relevant zijn voor de infrastructuur ten behoeve van duurzame energiedragers in de luchtvaart, in het onderzoek betrokken worden. Deze studie heeft specifiek gekeken naar hoe de behoeften en belangen van de luchtvaart zich verhouden tot andere (mobiliteits)sectoren en waar de mogelijkheden voor de luchtvaart liggen om samen op te trekken.

Naast de huidige en toekomstige technische merites van de infrastructuur voor duurzame energiedragers voor de luchtvaart, is dus van belang te weten hoe de stakeholders in de wedstrijd zitten richting 2030 en 2050.

6.2 Scope van stakeholders binnen de luchtvaart

In overleg met het ministerie is besloten om het onderzoek te beperken tot het deel van de keten vanaf producenten, via distributeurs tot en met de luchtvaartmaatschappijen en de luchthavens in Nederland. Ketenpartners tot aan de producenten van SAF tot aan de hekken van de luchthavens. Het ministerie laat gelijktijdig een studie uitvoeren naar de benodigde ontwikkelingen voor de energie infrastructuur binnen de hekwerken van de luchthavens.

In bijlage A staat een opsomming van de ketenpartijen waarvan in het kader van dit onderzoek informatie is ontvangen. Daarnaast is via bureauonderzoek informatie verzameld en verwerkt in dit document.

6.3 Sectoren

In de navolgende paragrafen worden verschillende onderdelen van de keten, de impact op belanghebbenden, en (mogelijke) verhoudingen tussen belanghebbenden behandeld. Hierbij wordt gewerkt van het einde van de keten naar het begin. Achtereenvolgens worden luchtvaarmaatschappijen, luchthavens, distributie, opslag en productie behandeld.

6.3.1 Luchtvaartmaatschappijen

Voor de term “luchtvaartmaatschappij” wordt aangesloten bij de definitie uit ReFuelEU voor “aircraft operator”[18].

Toereikende infrastructuur voor duurzame kerosine
Voor vrijwel alle categorieën luchtvaartmaatschappijen is vastgesteld in hoofdstukken 3, 4 en 5 dat de infrastructuur vrijwel volledig toereikend is. Inkoop van luchtvaarbrandstoffen gebeurt vaak door middel van langetermijncontracten. Een looptijd van 10 jaar is geen uitzondering. Luchtvaartmaatschappijen zullen hun inkoop wellicht moeten aanpassen en aanvullen. Dat vraagt weer iets van producenten. Is er voldoende capaciteit in de markt? Het antwoord is ja, maar men zal vraaggericht werken en de duurdere duurzame kerosine niet bijmengen zonder financiële dekking van de klant. Deze wrijving in de markt vergt aandacht bij beleidsontwikkeling op overheidsniveau en binnen overleg- en brancheorganisaties in de keten.

Samenstelling vliegtuigbrandstof via DPO-netwerk
Betreffende civiele luchthavens, wordt enkel Schiphol bediend via het DPO-netwerk. Het DPO-netwerk is rechtstreeks aangesloten op raffinaderijen in Europoort. Men kan per levering tot aan DPO Poortugaal vaststellen of het geleverde voldoet aan de specificaties.

Na controle gaat het geleverde de opslagtanks in en daarna naar de wijdvertakte leidingen van DPO. Hier mengen de verschillende leveringen zich. Omdat het leidingnetwerk niet alleen naar Schiphol leidt, maar ook naar andere plaatsen in Nederland en (ver) daarbuiten, is niet te bepalen wat de verhoudingen zijn zolang deze zich in het systeem bevinden. Controle op de samenstelling kan pas weer op Schiphol, na inname via de DPO-leiding. Daar zal moeten worden vastgesteld of het geleverde valt binnen de specificaties die vereist zijn voor de vliegtuigen die met de brandstof worden bediend. Onduidelijk is wat er gebeurt als cumulatie zou ontstaan op een plek in het opslag- en leidingsysteem van DPO, waardoor op een bepaalde plek, door een toevallige samenloop van omstandigheden, hoge concentraties duurzame kerosine zouden kunnen ontstaan. Verwezen wordt hierbij naar hoofdstuk 3 van dit rapport.

[18] Artikel 3 onderdeel 3: ‘aircraft operator’ means a person that operated at least 500 commercial passenger air transport flights, or 52 commercial all-cargo air transport flights departing from Union airports in the previous reporting period or, where it is not possible for that person to be identified, the owner of the aircraft;

Welk percentage duurzame kerosine kritiek is, zal van machine tot machine verschillen, maar momenteel geldt een bijmenglimiet van maximaal 50%[19]. Dit om te voorkomen dat het aromatengehalte in het mengsel buiten de toegestane (veilige) brandstofspecificaties valt. Voorwaarden rondom effectief en veilig gebruik van de infrastructuur zijn daarom van groot belang. Dit is uiteraard belangrijk voor stakeholdersrelaties onderling, vooral in de verhoudingen tussen leveranciers, luchtvaartmaatschappijen en leveranciers van onderdelen en onderhoud. Luchtvaartmaatschappijen zullen mogelijk terughoudend zijn als toestellen onvoldoende zijn voorbereid op duurzame kerosine en de veiligheid van gebruik niet gegarandeerd kan worden. Evenwel zien we van terughoudendheid bij luchtvaartmaatschappijen met een modernere vloot niet zo veel. Er wordt aan de klanten zelfs actief aangeboden om een opslag te betalen op tickets in ruil voor gebruik van meer duurzame kerosine.

In 2030 liggen de voorgeschreven percentages voor duurzame kerosine nog zeer laag met dito risico op een toevallige situatie met een piek in het duurzame kerosine-aandeel. Dit risico is niet uit te sluiten. Er is sprake van een transitieperiode tot eind 2034, waarbij het de verwachting is dat er veel ingeboekt gaat worden via de productiefaciliteiten in Rotterdam. Dit kan een extra trigger zijn voor "pieken" in het aandeel duurzame kerosine binnen het DPO. In 2050 wanneer een percentage van 70% wordt bereikt, is een “freak accident” nog weer waarschijnlijker. Wat hiervan de risico's zouden zijn uitgedrukt in percentages, is niet bekend.

Hiertegenover staat dat het aandeel vliegtuigen dat duurzame kerosine in hoge percentages niet veilig tanken, zijn afgenomen. Gezien de levensduur van vliegtuigen (20 tot 30 jaar) verdient één en ander ook voor 2050 nog aandacht, ook al zullen ook motoren en installaties van oudere vliegtuigen gaandeweg worden vernieuwd en ligt het voor de hand dat deze dan ook (beter) bestendig worden gemaakt tegen hogere concentraties duurzame kerosine. Tevens zullen luchtvaarmaatschappijen maatwerk oplossingen kunnen toepassen voor verouderd materieel, door te tanken via tankwagens, in plaats van gebruik te maken van de huidige leiding infrastructuur.

Kwaliteitsbewaking die voorkomt dat hoge concentraties duurzame kerosine terecht zou komen bij vliegtuigen die dit nog niet kunnen verwerken blijft van belang en voor zover nodig zouden ILT en belanghebbenden (luchtvaartmaatschappijen, DPO, Schiphol en AFS) betrokken moeten worden.

SAF problematisch voor luchtvaartorganisaties met vliegtuigen op Avgas

Voor een restcategorie is de toekomstige bijmengverplichting voor vliegtuigbrandstof mogelijk wel problematisch, te weten luchtvaartorganisaties die kleine vliegtuigen gebruiken waarvan de (propeller)motoren werken op Avgas. Avgas is chemisch vergelijkbaar met benzine en vliegtuigen die op Avgas vliegen werken niet op kerosine (wat chemisch verwant is aan diesel). De mogelijkheden om invulling te geven aan de bijmengverplichtingen wanneer gevlogen wordt op Avgas zijn niet beschouwd binnen dit onderzoek. Er zijn technische oplossingen om aan de bijmengverplichtingen te voldoen, bijv. met toevoeging van synthetische benzine en/of (bio)-ethanol. Echter, het aandeel Avgas consumptie op het totale Nederlandse brandstofverbruik in de commerciële luchtvaart is dusdanig klein dat het op de middellange termijn geen problemen zal geven wanneer de bijmengpercentages hier niet worden bereikt. De kaders van ReFuelEU kunnen het leveren van conventioneel Avgas bemoeilijken voor producenten, echter wordt dit niet als probleem aangemerkt. Avgas wordt voornamelijk gebruikt door de General Aviation (GA) luchtvaart (sportvliegtuigen, lesvliegtuigen, kleine commerciële propeller vluchten). Als elektrificatie van de luchtvaart inderdaad doorzet, in lijn met de ambities voor General Aviation in de Luchtvaartnota, dan het zal gebruik van vliegtuigen die vliegen op Avgas komende jaren geleidelijk worden uit gefaseerd.

Daarnaast geldt dat ReFuelEU in de definitie van “aircraft operator” een grens hanteert voor wat betreft de omvang van een luchtvaartorganisatie in termen van aantallen “commercial air transport flights”. Luchtvaartmaatschappijen die minder vluchten verzorgen, vallen niet onder ReFuelEU en mogen dus andere brandstof aangeleverd krijgen en afnemen. Dit geldt voor vrijwel alle “maatschappijen” die zich richten op GA luchtvaartdiensten.

Kleine luchtvaartorganisaties in Nederland met vliegtuigen die vliegen op Avgas transporteren niet zozeer passagiers of vracht van A naar B, maar maken wel veel rondvluchten of zorgen voor vluchten met parachutisten, vaak meerdere per dag. Mochten zulke vluchten moeten worden gekwalificeerd als “commercial air transport flights”[20], dan ontstaat voor de belanghebbenden een probleem als de “Avgas vloot” niet vervangen is door motoren die door kerosine aangedreven worden. Het lijkt er niet op dat dit voor 2030 het geval is. Mogelijk ligt dat anders tegen de tijd dat het 2050 is.

Een mogelijk infrastructuur probleem dat hier ontstaat, is dat het voor de hier bedoelde kleinere luchtvaartmaatschappijen niet meer mogelijk is om aan de juiste brandstof te komen. Bij strikte toepassing zullen

[19] Wettelijke maximale bijmeng gehalte van duurzame kerosine
[20] Artikel 3 onderdeel 4: commercial air transport flight’ means a flight operated for the purposes of transport of passengers, cargo or mail for remuneration or hire, including a business aviation flight operated for commercial purposes.

belanghebbenden opstaan. De considerans van ReFuelEU op dit punt[21] geeft wellicht wat speelruimte maar het verdient aanbeveling die speelruimte te omschrijven.

Certificaten voor Hernieuwbare Brandstof Eenheden (HBE's) en emissierechten
Marktpartijen moeten kunnen aantonen dat zij hernieuwbare brandstoffen aanbieden en gebruiken. Dat geldt ook voor luchtvaartmaatschappijen. Hiertoe worden certificaten uitgegeven, uiteraard gebaseerd op analyse van een batch. HBE-certificaten zijn niet zozeer onderdeel van de fysieke infrastructuur, maar wel essentieel voor het gebruik daarvan in lijn met de regelgeving.

De regelgeving in Nederland rondom HBE-certificaten en daarmee samenhangende CO2-emissierechten is daarmee voor luchtvaartmaatschappijen van groot belang, om hun naleving van de regelgeving te kunnen aantonen. Daarnaast kan het ook van belang zijn om aanspraak te kunnen maken op andere voordelen, verlening van vergunningen en bewijs richting passagiers die gebruik maken van de mogelijkheid om een ticket te kopen met de belofte dat (voor dat ticket) alleen duurzaam wordt getankt. Op het moment van schrijven van dit document is de regelgeving rondom HBE-certificaten nog niet in lijn met de RED III en overige (voorgenomen) regelgeving. In hoofdstuk 6.3.3 wordt hieraan verder aandacht besteed. Belanghebbenden zullen zich in de discussies over de uitwerking van regels en marktingrepen zeker mengen. Uit stakeholder gesprekken is gebleken dat sectorpartijen hier goed contact over onderhouden.

Elektrisch vliegen en vliegen op waterstof
Elektrisch vliegen kan op dit moment in tweezitters en voor vluchten van maximaal 50 minuten. De markt is toe aan de stap verder, richting grotere vliegtuigen en grotere afstanden. Er is geen aanwijzing dat richting 2030 elektrisch vliegen een zodanige omvang heeft, dat aan de vraag van luchtvaartmaatschappijen naar elektriciteit niet kan worden voldaan. Als richting 2050 niet voldoende wordt geïnvesteerd in uitbreiding van het elektriciteitsnetwerk in Nederland, kan dit wel problemen opleveren.

Een waterstofnetwerk in Nederland bestaat nog niet, maar wordt wel aangelegd. Voor 2030 is geen vraag van luchtvaartmaatschappijen naar waterstof (gasvormig, vloeibaar of opgenomen in een andere stof zoals bijvoorbeeld ammoniak) voorzien. Richting 2050 kan dat wel het geval zijn. Voorzienbaar is dat dan het Nederlandse gasnetwerk is omgevormd naar een waterstofnetwerk. Mits dit goed aansluit op de luchthavens, is bevoorrading alsdan geen probleem.

6.3.2 Luchthavens

Infrastructuur voor aanlevering van duurzame kerosine
Voor wat betreft luchthavens wordt "binnen de hekken" gekeken. Daar voorzien luchthavens in infrastructuur zoals pijpleidingen, opslag, routes voor de aanvoer per tankauto, aansluitpunten, afvoer van statische elektriciteit, kwaliteitsbewaking en wat nog meer nodig is om brandstof veilig in de brandstofreservoirs van een vliegtuig te kunnen pompen.

Het belang van de luchthavens in deze is evident: voldoende aanvoer van brandstoffen en elektriciteit voor goede dienstverlening aan hun klanten, de luchtvaartmaatschappijen. Het onderzoek heeft geconstateerd dat richting 2030 ten aanzien van de infrastructuur voor aanlevering van vliegtuigbrandstoffen er bij luchthavens geen knelpunten liggen. Tevens zijn er geen aanwijzingen gevonden dat richting 2050 knelpunten zouden ontstaan, mede gezien de schaalbaarheid van de infrastructuur en de beschikbare tijd om zo nodig tot aanpassingen te komen. Aanvoer over de weg, of het water is eenvoudig op te schalen door het inzetten van meer vrachtwagens, of boten.

De bevoorrading van Schiphol, welke momenteel goed is voor meer dan 90% van de brandstofconsumptie in de luchtvaart, verloopt via de pijpleidingen van ASP en DPO. Beide pijpleidingen hebben voldoende overcapaciteit om in een eventuele groei van de brandstofconsumptie te kunnen voorzien. Bovendien, vanuit DPO werd medegedeeld dat uitbreiding van het netwerk tijdig kan worden gerealiseerd wanneer blijkt dat hier gelet op de brandstofvraag behoefte aan is.

[21] Considerans sub 17: "The present Regulation should apply to aircraft engaged in civil aviation, carrying out commercial air transport flights (..) In order to cater for a level playing field across the Union aviation market, this Regulation should cover the largest possible share of commercial air traffic operated from airports located on Union territory. At the same time and in order to safeguard air connectivity for the benefits of the citizens, businesses and regions of the Union, it is important to avoid imposing an undue burden on air transport operations at small airports. A threshold of yearly passenger air traffic and freight traffic should be defined, below which airports would not be covered by this Regulation; however, the scope of this Regulation should cover at least 95 % of total traffic departing from airports located on the Union territory. For the same reasons, a threshold should be defined to exclude from the scope aircraft operators accountable for a very low number of departures from airports located on Union territory.

Ten aanzien van de kerosine infrastructuur richting 2030 en 2050 zijn er geen tegenstellingen ontstaan tussen belanghebbenden.

Het onderzoek heeft aanwijzingen opgeleverd dat naast Schiphol, ook andere luchthavens zouden kunnen of willen aansluiten op het DPO-netwerk, waarmee vervoer van gevaarlijke stoffen over weg, water en spoor kan worden gereduceerd en daarmee ook de belasting van die netwerken.[22] Beheerders van spoor en (water)wegbeheerders en gemeenten kunnen hier belang bij hebben en mogelijk druk uitoefenen. Dit kan mogelijk enige spanningen op de markt geven, maar het ligt voor de hand dat marktwerking dit oplost. Ook dient rekening te worden gehouden met belangen van Defensie en in het verlengde de NAVO en hun bereidheid mee te werken.

Bijzondere situatie ten aanzien van Schiphol qua infrastructuur voor vliegtuigbrandstof
Gezien het aandeel van Schiphol in de luchtvaart in Nederland is van belang te kijken naar de bijzondere situatie daar voor wat betreft toevoer en inname van brandstof en distributie binnen de hekken. Als enige civiele luchthaven in Nederland is Schiphol voorzien van inname via pijpleidingen. Schiphol is aangesloten op twee pijpleidingen, te weten de pijpleiding van het Amsterdams havengebied naar Schiphol (ASP) en de DPO-pijpleiding. Omtrent de DPO-pijpleiding is eerder in het rapport al geconstateerd dat richting 2030 en 2050 tussen belanghebbenden geen lastige thema's zouden ontstaan.

De pijpverbinding naar Schiphol vanaf het Amsterdamse havengebied verdient meer aandacht, niet vanwege capaciteits- of kwaliteitsissues maar wegens de voorwaarden daaromheen. De pijpleiding loopt van opslagbedrijf EVOS naar het innamepunt op Schiphol. EVOS is een zelfstandige commerciële marktpartij. De pijpleiding zelf is eigendom of op andere wijze onder controle van Amsterdam Schiphol Pipeline B.V. (ASP). ASP is een joint venture in de vorm van vennootschap met energieleveranciers en luchtvaartmaatschappijen. Binnen de hekken is de infrastructuur voor inname, opslag en verdere distributie over de luchthaven is eigendom of op andere manier onder controle van Airport Fuel Supply (AFS). Ook AFS is een joint venture in de vorm van vennootschap met meerdere aandeelhouders: energieleveranciers en luchtvaartmaatschappijen. AFS opereert op basis van een concessie van Schiphol.

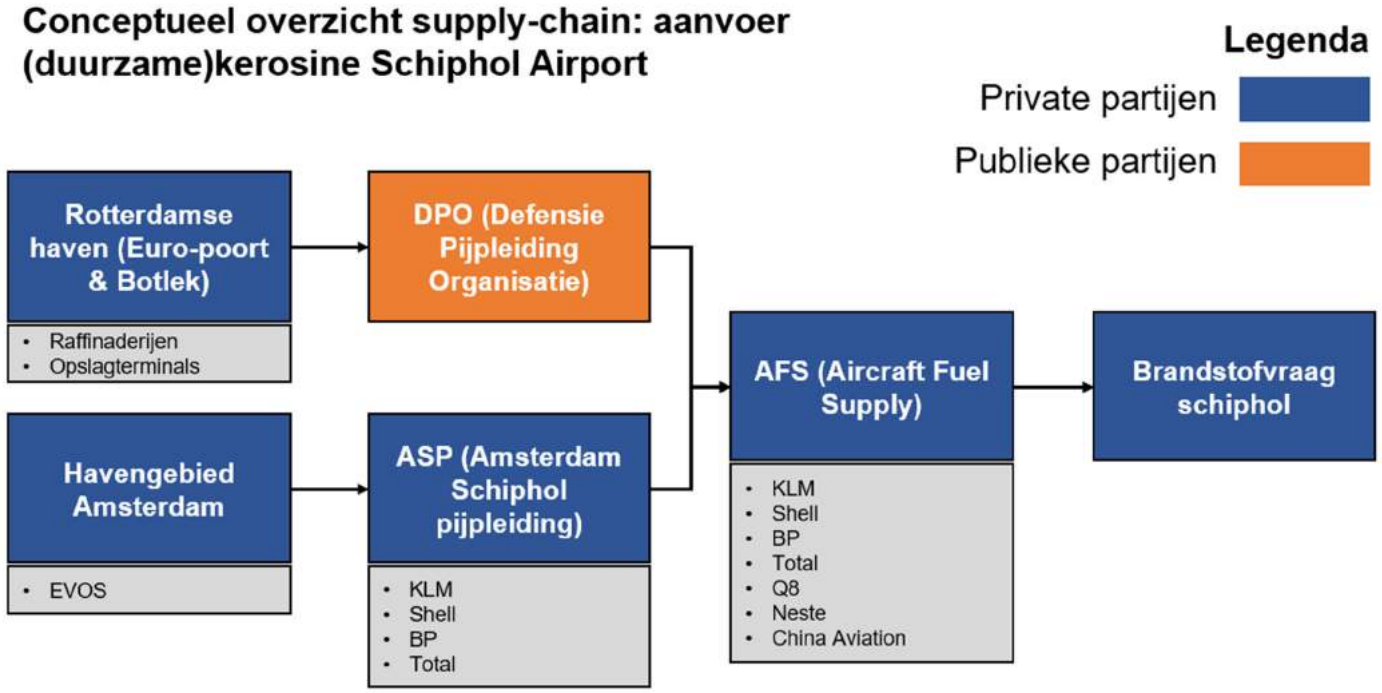
Afgezien van de DPO-pijpleiding is ten aanzien van Schiphol op te merken dat de aanvoer van vliegtuigbrandstof tot aan het vliegtuig aan de gate afhankelijk is van een serie van drie kritische marktpartijen. Dat zijn EVOS, ASP en AFS.

Indien DPO in het plaatje wordt betrokken, dan is er één kritische marktpartij met deze keuzemogelijkheden, te weten AFS. De leveranciers die (mede) eigenaar zijn van ASP en AFS vervoeren hun eigen leveringen naar Schiphol, afgedekt met contracten met EVOS voor opslag aan het beginpunt.

De leveranciers die via de joint ventures eigenaars zijn van de infrastructuur, gebruiken zelf de faciliteiten voor opslag en levering van vliegtuigbrandstof. Hoewel het technisch uiteraard mogelijk is, zijn er geen aanwijzingen dat dit netwerk voor anderen opengesteld is. De joint ventures mogen elk voor zich, op basis van contractvrijheid, kiezen met wie zij zakendoen en op welke voorwaarden. In eerste oogopslag dekken de joint venture partners ten aanzien van de ASP-pijpleiding en het AFS-netwerk geheel of grotendeels het speelveld van leveranciers van vliegtuigbrandstoffen aan Schiphol. Samen zorgen zij voor een goed werkende pijpleidinginfrastructuur voor vliegtuigbrandstof naar Schiphol, met dito kwaliteitswaarborgen.

In heel Europa (maar waarschijnlijk ook daarbuiten) zal wegens ontwikkelingen in regelgeving de vraag naar SAF flink toenemen. Dat is interessant voor marktpartijen en kan leiden tot nieuwe spelers op het gebied van vliegtuigbrandstof, of dat nu producenten zijn of importeurs. Het aandeel van Schiphol in het verbruik van vliegtuigbrandstoffen in Nederland ligt volgens de huidige cijfers op tenminste 90%. Voor aanvoer via pijpleidingen zullen de nieuwe marktpartijen (buiten het DPO-netwerk om) zaken moeten doen met EVOS, ASP en AFS. Lukt dat niet, dan is er nog het DPO-netwerk, maar in dat geval zal nog wel zaken moeten worden gedaan met AFS.

[22] Vliegveld Eindhoven heeft een aansluiting, maar alleen voor het militaire deel.



Figuur 6-1 Conceptueel overzicht van de aanvoer van (duurzame) kerosine naar luchthaven Schiphol via de beschikbare pijpleidingnetwerken. Met name aanvoer via het havengebied Amsterdam is door privaat-eigenaarschap van delen van de keten door partijen die verticaal geïntegreerd zijn in de supply chain een aandachtspunt voor het beschermen van marktconcurrentie.

Richting 2030 is de verwachting op basis van het onderzoek dat het speelveld qua leveranciers niet veel zal verschillen van de situatie per heden en is er geen verwachting dat belangentegenstellingen ontstaan.

De tijdspanne richting 2050 lijkt echter groot genoeg voor nieuwe spelers om productiecapaciteit en/of importcapaciteit op te bouwen om de Nederlandse markt van duurzame kerosine te voorzien. Een (blijvend) gelijk speelveld tussen marktpartijen is dan van belang als randvoorwaarde voor een goed functionerende infrastructuur. Hier lijkt een opgave te liggen voor het formeren van samenwerkingsverbanden die dit ook voor de toekomst goed waarborgen.

Elektriciteitsvraag

Gewerkt wordt al aan elektrificatie van activiteiten op de grond. Denk hierbij aan de voertuigen die zorgen voor bevoorrading, push-backs e.d., intensiever gebruik van de GPU aan de gate voor technische voorzieningen in vliegtuigen. Door de toepassing van de GPU tijdens het boarden van passagiers tot kort voor het taxiën, kan aanzienlijk brandstof worden bespaard. Verder worden op Schiphol proeven gedaan met elektrisch taxiën met behulp van zogenaamde “TaxiBots”: sleepvoertuigen die de vliegtuigen naar het begin van de startbaan brengen, zodat daar pas de motoren van het vliegtuig hoeven te worden gestart.

Uit het onderzoek blijkt dat op Schiphol de capaciteit van de stroomvoorziening aan de gates nu al tegen de grenzen aanloopt. Richting 2030 geeft dat al urgentie om luchtvaartmaatschappijen, luchthavens en netbeheerders met elkaar aan tafel te zetten. Hierbij verdient aantekening dat Schiphol ook zelf netbeheerder van het eigen gesloten distributie systeem (GDS) is. Voor invoeding op dit GDS is Schiphol wel afhankelijk van de regionale netbeheerder Liander. Dat zal niet eenvoudig zijn gezien de netcongestie die we in Nederland nu al zien; zie hiervoor ook hoofdstuk 4 van dit rapport. Het zal daarbij mogelijk ook gaan om verzwaring van hoogspanningsverbindingen. Het realiseren of verzwaren van midden- en hoogspanningsverbindingen vergt coördinatie met veel stakeholders: gemeenten, provincies, waterschappen, Rijkswaterstaat (voor het oversteken van waterwegen en rijkswegen) en maatschappelijke belanghebbenden zoals omwonenden en natuurorganisatie. Hier is een regierol voor de overheid weggelegd.

Richting 2050 is er meer tijd de randvoorwaarden voor een toereikende elektrische infrastructuur verder te ontwikkelen.

Innovatie en diversificatie van duurzaam vliegen is ook zichtbaar in de ontwikkeling van elektrisch vliegen. Op middellange termijn is er zicht op elektrisch vliegen over langere afstanden en met meer passagiers. Producenten (ook stakeholders) spelen nu al in op de vraag. Vliegvelden, waaronder Schiphol, zijn bezig om elektrisch vliegen onderdeel te maken van hun businessmodel. Binnen dat businessmodel hoort het inrichten van terminals met voorzieningen voor elektrisch vliegen. Daartoe is afdoende infrastructuur kritiek. De elektrische infrastructuur zal richting 2030 al een

ontwikkeling moeten doormaken al was het maar om bij ontwikkelaars en producenten van elektrische vliegtuigen en onderdelen daarvan, het vertrouwen te wekken dat ze hun producten ook daadwerkelijk aan de markt kwijt kunnen. Het is voorstelbaar dat ook hier een “coalitie” kan helpen om de ontwikkeling van afdoende netcapaciteit te bevorderen. Daar zouden, naast vliegvelden, luchtvaartmaatschappijen en netbeheerders, ook de producenten aan tafel kunnen worden gezet, om het vertrouwen in een goede (toekomstige) afzetmarkt te borgen. Op die manier kan een vliegwiel ontstaan waarbinnen netcapaciteit, faciliteiten en marktontwikkeling elkaar aanjagen.

6.3.3 Distributie en opslag

Vliegtuigbrandstof
Distributie binnen Nederland van vliegtuigbrandstof geschiedt op drie manieren, namelijk via pijpleidingen, over de weg in vrachtauto’s en over water.

In paragraaf 6.3.2 “luchthavens” wordt al aandacht besteed aan de bijzondere situatie van bevoorrading van Schiphol via het DPO-netwerk en vanaf EVOS.

KLM gebruikt “dedicated” binnenvaartschepen (barges) voor bevoorrading, die leveringen ophalen bij de producent in Europoort en voor aflevering aanmeren bij het EVOS-complex.

Binnen de categorie “andere vliegvelden” zijn een aantal grotere luchthavens met een overwegend commerciële functie, als ook kleinere vliegvelden die voornamelijk GA diensten faciliteren.

Bij de grotere, met name bij Rotterdam The Hague Airport, bestaat wel de wens om een pijpleiding naar het vliegveld te realiseren. De DPO-pijpleiding ligt relatief dichtbij Rotterdam The Hague Airport (langs de A13), maar het vliegveld ligt ook relatief dichtbij Europoort en de daar aanwezige leveranciers. Dat kan de economische afweging ten opzichte van de kosten van het aanleggen van een aftakking van de pijpleiding beïnvloeden. 2030 lijkt gelet op de relatief korte termijn niet in beeld om structurele wijzigingen aan te brengen in de infrastructuur die Rotterdam The Hague Airport bedient. Het verdient evenwel aanbeveling om belanghebbenden bij elkaar te zetten om te kijken of dit naar 2050 zinvol en haalbaar is.

Eindhoven is aangesloten op het DPO-netwerk, maar alleen voor wat betreft het militaire deel van het vliegveld. Qua geografische afstand lijkt het aansluiten van het civiele deel overzichtelijk. De vraag is of daar ook daadwerkelijk behoefte aan is. Zo ja, dan lijkt het zinvol om de DPO, Defensie en vliegveld Eindhoven als belanghebbenden aan tafel te zetten, eveneens om te kijken of dit naar 2050 zinvol en haalbaar is. Een eventuele ontwikkeling van Eindhoven als “overloop” voor Schiphol zou daarbij een rol kunnen spelen.

Ook in het bredere plaatje van de energietransitie kan het wenselijk zijn om kerosine transport per vrachtwagens van de weg te halen door meer gebruik te maken van het DPO-netwerk. De energietransitie in Europa vraagt om grote hoeveelheden waterstof en waterstofdragers zoals ammoniak en LOHC. De haven van Rotterdam is voornemens om te voorzien in bijna de helft van de importbehoefte van Europa. Dit betekent ook dat er grote transportstromen van andere gevaarlijke stoffen plaats zullen vinden via verschillende modaliteiten. Door kerosine transporten van de weg te halen ontstaat er meer ruimte op het Basisnet. Mogelijk kunnen de trucks die niet meer gebruikt worden voor het transport van kerosine ingezet worden voor het transport van LOHC.

Opslag
In Nederland bestaan opslagfaciliteiten op diverse plekken. De meest in het oog springende plaatsen zijn het havengebied bij Rotterdam, het havengebied bij Amsterdam, het havengebied bij Delfzijl en tenslotte op Schiphol. Buiten Nederland zijn er ook opslagfaciliteiten, waarbij het Antwerpse havengebied de voornaamste is.

In relatie tot duurzame kerosine en toereikende inkoop daarvan is het zogenaamde book & claimsysteem van belang. Dit systeem wordt nader besproken in paragraaf 3.1.5 van dit rapport.

Producenten
Producenten geven aan dat er voldoende duurzame kerosine aanwezig zal zijn om te voldoen aan de vraag die zal ontstaan in verband met de plicht in 2030 6% SAF bij te mengen.[23]

Duurzame kerosine wordt op dit moment nog maar zeer beperkt geproduceerd in Nederland. Productie vindt op dit moment in substantiële mate plaats in Gent (België) en in Singapore. Productiefaciliteiten in het havengebied bij Delfzijl en het havengebied Rotterdam zijn in ontwikkeling. Het gaat om installaties die substantiële en significante

[23] Niet is onderzocht of dit ook het geval zal zijn met de plicht 2% bij te mengen in 2025, maar dit is uiteraard wel een aandachtspunt.

hoeveelheden gaan produceren. Op de kortere termijn is er dus afhankelijkheid van import, terwijl later productie in Nederland een grotere omvang zal krijgen. Het heeft onzes inziens zin om, wellicht op basis van dit rapport, de huidige capaciteit plus de geïdentificeerde ontwikkelingen op de korte termijn te nemen als “0-meting” en in samenwerking met de branche de capaciteit van productie en import te bewaken om te kunnen voldoen aan de SAF-doelstellingen.

Even belangrijk als de productiecapaciteit is de beschikbaarheid van grondstoffen (“feedstock”) voor biokerosine. Stakeholders geven aan geen problemen te zien met betrekking tot de beschikbaarheid van feedstock. Evenmin zien zij een prijsverhogend effect bij toenemende vraag naar de 6% in 2030 omdat feedstock ook voldoende is om aan de groeiende vraag te voldoen. De situatie naar 2050 is minder duidelijk.

Duurzame waterstof is nog zeer schaars. Productie van enige omvang zal nog lang op zich laten wachten. Veel zal afhangen van import. Richting 2030 zal een flinke inspanning nodig zijn om te voldoen aan de norm van 1,2% e-SAF in het totaalaanbod. De norm voor 2050 is 35%, maar er is meer tijd om te werken aan ontwikkelingen. Ook hier lijkt het nuttig om ketenpartners en overheid met elkaar te verbinden om de huidige situatie te beoordelen, doelstellingen voor ontwikkeling te definiëren en de daadwerkelijke ontwikkeling te bewaken.

Producenten van elektriciteit vallen buiten de scope van dit onderzoek. Op verschillende plaatsen elders in dit rapport is er aandacht besteed aan netcapaciteit. Uiteraard zullen de beheerders, naast uitbreiding van de capaciteit ook elektriciteit moeten inkopen en dus voldoende productiecapaciteit moeten (laten) organiseren.

6.3.4 Andere mobiliteitssectoren

Er zijn verschillen op te merken in de snelheid in de ontwikkeling van toepassing van duurzame brandstof in het wegverkeer en het luchtverkeer. De markt voor biodiesel is volwassen aan het worden. Biodiesel kan gemakkelijk worden getankt in de bestaande vloot van vrachtauto’s.

Voor biodiesel worden dezelfde grondstoffen gebruikt als voor biokerosine. Het raffinageproces is vrijwel gelijk en gebeurt in dezelfde installaties. Het hangt van de instellingen die de raffinaderij hanteert of het proces als eindproduct biodiesel of biokerosine levert. De vraag van het wegtransport kan aldus mogelijk concurreren met de zich ontwikkelende behoefte van de luchtvaartsector. Door het verplicht moeten bijmengen van duurzame kerosine door afnemers, is het voor de producent aantrekkelijk om duurzame kerosine te produceren, hierdoor ontstaat mogelijkerwijs een te kort aan biodiesel, waardoor de prijs van biodiesel aanzienlijk kan stijgen.

De mogelijkheid voor de luchtvaartsector, de scheepvaart en het wegtransport om samen op te trekken hangt af van schaarste en intenties. Maar ook inkoopmethoden spelen een rol. Luchtvaartmaatschappijen kopen op dit moment duurzame kerosine in via langlopende contracten (10 tot 15 jaar tegenover één tot drie jaar voor fossiele kerosine). Dat is nodig voor producenten om investeringen die nodig zijn, af te dekken. Het wegtransport kan profiteren van de ontwikkeling van deze capaciteit. Bij voldoende capaciteit in termen van vrachtwagens en infrastructuur qua wegen en laad- en lospunten hoeft er geen bottleneck te zijn. Deze en meer factoren kunnen een reden zijn om verbindingen te leggen tussen wegtransport, de scheepvaart en de luchtvaartsector om samen op te trekken en te zorgen voor voldoende productie en import voor de behoefte aan biodiesel én biokerosine. Hier kan een duidelijke win-win in zitten: voor de luchtvaarsector door (ruim) te voldoen aan de normen en voor het wegtransport om sneller te vergroenen. De overheid kan dit faciliteren en hieraan deelnemen om de ontwikkelingen te bewaken.

Ook elektrificatie van het wegtransport is verder dan dat van de luchtvaart. Hier worden geen echte mogelijkheden om samen op te trekken gezien. Hierbij wordt immers vooral naar de netbeheerders en hun inspanning tot het leveren van voldoende capaciteit voor oplaadfaciliteiten gekeken.

7 Conclusies en Aanbevelingen

In de verschillende hoofdstukken zijn al deelconclusies en aanbevelingen gedaan. Voor de totale studie zijn hier deze conclusies nog een keer bondig samengevoegd.

7.1 Conclusies

7.1.1 Landelijke transport infrastructuur voor kerosine

Op dit onderwerp zijn de volgende onderzoeksvragen van toepassing:

- In hoeverre voldoen de bestaande pijpleidingen richting de Nederlandse luchthavens om de verwachte capaciteit van SAF te vervoeren? Zijn er nog aanvullende ontwikkelingen nodig?
- Welke rol speelt transport via vrachtwagens in de toevoer van de grote hoeveelheden duurzame energiedragers naar de Nederlandse luchthavens?
- Wat is het gewenste tijdspad voor de opschaling en verdere ontwikkeling van de benodigde infrastructuur?

De buisleidinginfrastructuur is technisch geschikt voor het vervoer van duurzame kerosine (SAF). Omdat het totale volume van kerosine (inclusief duurzame kerosine) zal afnemen door onder andere de groei van waterstof en elektrisch vliegen is de capaciteit van het huidige buisleidingnetwerk ruim voldoende om in de behoefte voor 2030 en 2050 te voorzien. Het DPO-netwerk bevoorraadt de militaire luchthavens en Schiphol, de ASP-pijpleiding voorziet enkel Schiphol van brandstof. De buisleidingnetwerken hebben aanvoerpunten in de havens van Rotterdam en Amsterdam, waar de huidige import- en productielocaties zich bevinden. Mogelijk zijn er nog nieuwe intakkingen nodig voor nieuwe aanbieders. De aangekondigde productie- en importlocaties bevinden zich grofweg in dezelfde gebieden en vragen daarom om geringe aanpassingen aan deze netwerken. Uitzondering daarop is de aangekondigde productielocatie voor biokerosine van SkyNRG in Delfzijl. Deze transporten zullen mogelijk per binnenvaart naar Amsterdam gaan. Om ervoor te zorgen dat duurzame kerosine ook door het DPO-netwerk getransporteerd gaat worden moet de manier waarop in Nederland HBE certificaten toegekend worden aangepast worden.

Alle civiele luchthavens anders dan Schiphol worden bevoorraad via vrachtwagens. De verwachting is dat zonder actief beleid deze luchthavens ook via vrachtwagens van duurzame kerosine voorzien zullen worden. Het aantal bevoorradingen van kerosine (duurzaam en fossiel) over de weg zal op basis van de projecties met ongeveer 65% afnemen door de toename van waterstof- en elektrische vluchten. De luchthavens van Rotterdam, Eindhoven en Maastricht bevinden zich zeer dicht bij het DPO-netwerk (zie Figuur 8-2, Figuur 8-3 en Figuur 8-4). Een aansluiting van deze luchthavens op het netwerk kan het aantal transporten over de weg verder beperken. Dat zou ruimte scheppen voor andere gevaarlijke stoffen die in het kader van de energietransitie vervoerd moeten worden en/of verbetering van de veiligheidssituatie. De aanvoer van kerosine naar de kleinere luchthavens zal het meest afnemen, en afhankelijk van de gekozen richting van een luchthaven misschien helemaal verdwijnen.

Voor de kerosine infrastructuur is er geen opschaling benodigd. Als de ambitie er is om het aantal transporten over de weg te verminderen is het raadzaam om de luchthavens waar naar verwachting nog voor een lange tijd of een groot aandeel (duurzame) kerosine gebruikt wordt deze op de korte termijn aan te sluiten op het DPO-netwerk.

7.1.2 Infrastructuur voor elektriciteitsvoorziening

Op dit onderwerp zijn de volgende onderzoeksvragen van toepassing:

- Welke infrastructurele ontwikkelingen zijn nodig in de keten om elektrische vliegtuigen te faciliteren op de Nederlandse luchthavens?
- Wat is het gewenste tijdspad voor de opschaling en verdere ontwikkeling van de benodigde infrastructuur?

Bijna overal in Nederland is er sprake van netcongestie. Alle luchthavens krijgen hier ook mee te maken op het moment dat zij hun elektriciteitsvraag dusdanig zien toenemen dat ze een grotere aansluiting nodig hebben. De elektriciteitsvraag op luchthavens zal toenemen door diverse oorzaken, waar elektrisch vliegen er één van is. Elektrisch vliegen bevindt zich nu nog in een ontwikkelfase, maar de verwachting is dat dit in de komende jaren flink gaat toenemen en zeker op kleine luchthavens richting 2050 een groot aandeel zal hebben in de energiemix voor vliegtuigen. Daarnaast zal ook vliegen op waterstof leiden tot aanvullende elektriciteitsvraag omdat waterstof gekoeld moet worden om gebruik in vloeibare vorm mogelijk te maken. De verwachting is dat het koelen op of nabij de luchthavens zal moeten gebeuren.

Om te bepalen welke ontwikkelingen van het elektriciteitsnet nodig zijn voor de energietransitie in de luchtvaart moet per luchthaven een gedetailleerde analyse uitgevoerd van de huidige vermogensvraag en hoe deze zich tot 2050 gaat ontwikkelen. Het is raadzaam om, minstens als extra scenario, hierin energiebehoefte mee te nemen voor koelcapaciteit voor waterstof. Omdat het uitbreiden van de capaciteit van het elektriciteitsnet veel tijd kost, is het belangrijk voor de luchthavens om ver vooruit te plannen: voor kleine luchthavens minimaal 5 jaar tot wel 10 jaar voor de grote luchthavens. Dit stelt luchthavens in staat om samen met de netbeheerder proactief om te gaan met de verwachte toename in de vraag naar elektriciteit en de mogelijke impact op het elektriciteitsnet. In de meeste gevallen zal dit de regionale netbeheerder betreffen, maar voor de grote luchthavens komt hierbij ook TenneT in beeld, omdat het om vermogens groter dan 100 MW kan gaan of omdat een uitbreiding op de luchthaven doorwerkt op een onderstation van de regionale netbeheerder en deze de aansluit naar TenneT moet vergroten. Naast een grotere aansluiting op het elektriciteitsnet is het ook belangrijk optimaal gebruik te maken van het vermogen dat al beschikbaar is: load balancing en het inzetten van batterijen kan hieraan bijdragen, eventueel in combinatie met lokale opwek.

Omdat door andere elektrificatie trajecten op de luchthaven de vraag naar elektriciteit nu al toeneemt moeten de luchthavens nu al in gesprek met de netbeheerder over uitbreiding. De verwachting is dat na 2040 de vraag naar elektrisch hard gaat oplopen en moet er richting 2030 al geïnventariseerd worden of deze vermogens voldoende zijn.

7.1.3 Infrastructuur Waterstof

Op dit onderwerp zijn de volgende onderzoeksvragen van toepassing:

- Welke infrastructurele ontwikkelingen zijn nodig om de vraag naar pure waterstof (vloeibaar/gas) te vervoeren naar de Nederlandse luchthavens?
- Welke rol speelt transport via vrachtwagens in de toevoer van de grote hoeveelheden duurzame energiedragers naar de Nederlandse luchthavens?
- Welke infrastructurele ontwikkelingen zijn nodig om de opslag van de verschillende duurzame energiedragers te waarborgen? Welke voorwaarden m.b.t. veiligheid zijn hieraan verbonden?
- Wat is het gewenste tijdspad voor de opschaling en verdere ontwikkeling van de benodigde infrastructuur?

Alle benodigde infrastructuur voor de levering van waterstof aan de luchthavens moet nog gerealiseerd worden. Er wordt door HyNetwork Services (onderdeel van Gasunie) een landelijk transportnet voor gasvormige waterstof gerealiseerd waar ook de grote productie- en importclusters in Nederland op worden aangesloten. Er zijn op dit moment nog geen aftakkingen naar luchthavens voorzien. De keuze voor levering via een buisleiding of via transporten over de weg zijn afhankelijk van het jaarlijkse volume, de afstand van de luchthaven tot het landelijk waterstofnetwerk en de mogelijkheden voor koel- en opslaglocaties op de luchthaven. Gegeven de verwachte volumes en de ligging lijkt een aansluiting voor de luchthavens Schiphol, Rotterdam The Hague Airport, Eindhoven Airport en Maastricht Aachen Airport voor de hand te liggen. Voor Groningen Airport Eelde hangt het ervan of hoe de vraag naar waterstof zich op de luchthaven ontwikkelt of een aansluiting op het landelijke waterstofnetwerk rendabel is. Voor de kleine luchthavens lijkt de vraag te klein te zijn. Dit is sterk afhankelijk van de te kiezen strategie qua brandstofmix van de luchthaven. Wanneer er lokale distributienetwerken ontwikkeld worden is dit mogelijk wel rendabel. Op dit moment loopt het HyRegions programma dat de mogelijkheden voor lokale distributie van waterstof onderzoekt.

Door het landelijk waterstof netwerk kan alleen gasvormige waterstof getransporteerd worden. De verwachting is dat de luchtvaart met name vloeibare waterstof nodig heeft om mee te vliegen omdat dit een hogere energiedichtheid heeft dan gasvormige waterstof onder druk waardoor er meer waterstof aan boord meegenomen kan worden. Dit betekent dat de luchthavens lokaal waterstof vloeibaar moeten maken of hiervoor een locatie buiten de hekken moeten zoeken. Is dit niet mogelijk, dan kunnen de luchthavens via de weg bevoorraad worden vanuit de import- en productieclusters. Het ligt voor de hand dat marktpartijen hier de regie in nemen. Op dit moment zijn er nog geen concrete initiatieven of samenwerkingen die hierop gericht zijn. Eén en ander zal afhangen van de daadwerkelijke behoefte in de markt. Als ontwikkelingen die richting op gaan kan de overheid aanjager zijn door marktpartijen bijeen te brengen en/of zelf initiatieven te ontwikkelen.

Wanneer er overgeschakeld wordt op waterstof als brandstof voor vliegtuigen, vereist dit een herontwerp van zowel de vliegtuigen zelf als de daarbij behorende infrastructuur, omdat de eigenschappen van waterstof verschillen van die van kerosine. Nieuwe protocollen en werkprocedures moeten worden ontwikkeld om op de luchthaven veilig met waterstof te kunnen werken. Hierbij kan veel geleerd worden van andere sectoren, zoals de automotive sector en de ruimtevaart.

Het in kaart brengen van deze veiligheidsaspecten rondom het gebruik van waterstof op luchthavens is een studie op zich. Het is van belang dat de overheid hierin een faciliterende rol speelt en toeziet dat veiligheidsnormen zullen worden geïntegreerd op de luchthavens

7.1.4 Sectorbelang en rol van de overheid

Op dit onderwerp zijn de volgende onderzoeksvragen van toepassing:

- Hoe verhouden de behoeften en belangen van de luchtvaart zich tot andere (mobiliteits)sectoren en waar liggen de mogelijkheden voor de luchtvaart om samen op te trekken?
- Welke investeringen moeten worden gedaan in het kader van infrastructuurontwikkeling en opschaling (Europees/ nationaal beleid)? Welke rol heeft de overheid in het faciliteren en stimuleren van de ontwikkeling hiervan en waar liggen de verantwoordelijkheden voor de sector?

Op basis van stakeholderonderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken ten aanzien van het sectorbelang en de rol van de overheid:

- De regelgeving, waaronder de Europese bijmengverplichting, zal de vraag naar SAF doen toenemen. Hoewel volgens ketenpartijen SAF (nu hoofdzakelijk in de vorm van biokerosine) voldoende beschikbaar zou zijn, zal er in het wegverkeer een vraag naar biodiesel ontstaan. Duurzame kerosine concurreert met biodiesel omdat beide productieprocessen gebruik maken van dezelfde grondstoffen. Schaarste van raffinagecapaciteit en feedstock kan leiden tot concurrentie tussen wegvervoer en luchtvaart. Dit temeer omdat bestaande dieselvrachtwagens biodiesel als drop-in brandstof kunnen gebruiken. Deze sectoren zouden op zijn minst van elkaar moeten weten welke ontwikkelingen zij verwachten en nastreven. Laten zij dit leggen naast de verwachte productiecapaciteit door hierover contact te hebben met de producenten. Het opzetten van een (tijdelijke) tafel hiervoor, en/of het doen van een studie, is aanbevelenswaardig. Het vraagstuk wordt urgenter naarmate de voorgeschreven bijmengverplichting groter is. Gezien die urgentie lijkt het zinvol dat de overheid hier een aanjagende rol heeft en ook monitoring organiseert. Wellicht kan één en ander in Europees verband worden opgepakt, nu dit vraagstuk in meerdere lidstaten speelt.
- De stakeholderanalyse identificeert specifieke uitdagingen voor (over het algemeen kleine) luchtvaartmaatschappijen en vliegscholen, welke kleine vliegtuigen exploiteren met zuigermotoren op Avgas (General Aviation). Avgas is qua samenstelling vrijwel gelijk aan benzine en niet aan kerosine. Daarom zijn er voor Avgas geen mogelijkheden om te voldoen aan de bijmengverplichting, en moet er rekening worden gehouden met de geleidelijke uitfasering van deze brandstof. Voor kleine vliegtuigen met zuigermotoren vinden er momenteel ook ‘conversies’ van plaats, waarbij Avgasmotoren worden vervangen door kerosinemotoren. Het verbruik daarvan is een stuk lager, en deze motoren zijn wel geschikt voor bijmenging.
- Luchthavens hebben een belangrijke rol in het faciliteren van de infrastructuur voor Sustainable Aviation Fuels. Hoewel er op dit moment geen knelpunten worden verwacht, moeten luchthavens voorbereid zijn op mogelijke uitbreidingen en veranderingen in de brandstofvraag. Schiphol, als centrale speler in Nederland, heeft een unieke positie met betrekking tot de aanvoer van brandstof via pijpleidingen en deze positie vereist aandacht voor samenwerkingsverbanden en gelijke toegang tot de infrastructuur.
- Alle luchthavens bevinden zich in gebieden waar netcapaciteit een probleem is, en naar verwachting zal de huidige netaansluiting in de toekomst niet meer voldoen. Daarom zal een verzwaring of netuitbreiding nodig zijn. Het realiseren of verzwaren van midden- en hoogspanningsverbindingen vergt coördinatie met veel stakeholders: gemeenten, provincies, waterschappen, Rijkswaterstaat (voor het oversteken van waterwegen en rijkswegen) en maatschappelijke belanghebbenden zoals omwonenden en natuurorganisatie. Hier is een regierol voor de overheid weggelegd.
- Wanneer netcongestie een obstakel vormt voor de elektrificatie van de luchtvaart kan er een rol voor de overheid zijn weggelegd om te prioriteren bij de verdeling van transportcapaciteit. De landelijke overheid moet dan bepalen of elektrificatie van de luchtvaart een hoge prioriteit heeft.
- Er wordt in Nederland een hoofdtransportnet voor waterstof ontwikkeld met invoeders en afnemers uit verschillende sectoren. Dit netwerk heeft voldoende capaciteit om ook de grote luchthavens te voorzien. Het is van belang dat de wens voor een aansluiting op tijd kenbaar wordt gemaakt en aangevraagd bij de netbeheerder. De vraag van kleine luchthavens is te klein om aangesloten te worden op het hoofdnet. Op dit moment worden de mogelijkheden voor lokale distributie(netten) onderzocht in het HyRegions programma.

7.2 Aanbevelingen

7.2.1 Tijdig bijstellen projecties en nader onderzoek

Deze studie is gebaseerd op ‘top-down’ projecties voor de Nederlandse luchtvaart. Daarnaast is ook ‘bottom-up’ aanpak nodig. De ontwikkelingen gaan erg snel, en het zal nodig zijn om de cijfers regelmatig bij te stellen. Een gedetaillerde studie naar de toekomstige projecties per luchthaven (niet onderdeel van deze studie) zou zeer nuttig zijn. De luchthavens zullen allemaal de energiedragers moeten voorzien, maar er is mogelijkheid tot een zekere clustering qua energie-type (bijvoorbeeld Rotterdam: Waterstof, vliegveld Teuge: elektrisch vliegen)

7.2.2 Aanbevelingen planvorming en technische studies

Deze studie heeft op hoofdlijnen een inzicht gegeven in welke uitdagingen er voor de luchtvaart zijn op het gebied van infrastructuur vanwege de transitie naar duurzame energiedragers:

1. Luchthavens moeten een duidelijke strategie bepalen in relatie tot de brandstoffenmix voor de toekomst. Zeker voor de kleine luchthavens is het goedkoper en minder complex om slechts één type energiedrager te faciliteren.
2. Elke luchthaven moet een grondige analyse uitvoeren van hun huidige vermogensvraag en hoe deze zich naar verwachting zal ontwikkelen. Hierbij moet rekening worden gehouden met de elektrificatie van vliegtuigen, het koelen van waterstof en andere luchthavenactiviteiten.
3. Het is aan te bevelen om ver vooruit te plannen, voor kleine luchthavens minimaal 5 jaar tot wel 10 jaar voor de grote luchthavens. Dit stelt luchthavens in staat om samen met de netbeheerder proactief om te gaan met de verwachte toename in de vraag naar elektriciteit en de mogelijke impact op het elektriciteitsnet.
4. In geval van toenemende netcongestie moeten luchthavens overwegen om oplossingen te implementeren, zoals het gebruik van batterijtechnologie en load balancing. Deze maatregelen kunnen helpen om de piekvraag te beheersen en de belasting op het elektriciteitsnet te verminderen. Voor de aanpak van netcongestie kan worden aangesloten bij de Landelijke Aanpak Netcongestie, waar al veel ervaring is opgedaan met de aanpak en mitigerende maatregelen. Ook binnen de Nationale Agenda Laadinfrastructuur is hiermee al veel ervaring opgedaan.
5. Het is verstandig voor kerosine gedetailleerde studies per luchthaven uit te voeren om wegtransport te vervangen door transport per pijpleiding.
6. Mogelijk blijven er oude vliegtuigen operationeel die geen SAF kunnen tanken. Dit kan mogelijk beperkend zijn voor de aanvoerketens van luchtvaartbrandstoffen. Om dit te voorkomen is het beter om deze vliegtuigen afzonderlijk te bevoorraden met fossiele brandstoffen zodat de bijmengpercentages voor kerosine in de rest van de vloot verhoogd kunnen worden. Ook kan de keuze gemaakt worden om deze vliegtuigen te weren/ontmoedigen wat ook bijdraag aan het verlagen van de CO_2 uitstoot van de luchtvaart.
7. Als de strategie van een luchthaven bepaald is in relatie tot de brandstoffen mix en ervoor is gekozen om te vliegen op waterstof moet er een detailstudie gedaan worden naar de mogelijkheden voor de aanlevering van waterstof. Daarbij is het belangrijk te kijken naar de mogelijkheden voor een aansluiting op het landelijk waterstofnetwerk, de beschikbare (veiligheids)ruimte voor opslag en koelen van waterstof en een integrale studie naar de energiebalans voor de luchthaven om te bepalen of er genoeg koelvermogen beschikbaar is en of de vrijgekomen warmte elders te gebruiken is. Voor de opslag van vloeibare waterstof is het goed om te kijken naar de ervaringen vanuit de ruimtevaart. Europese bedrijven hebben hier al ervaring mee en biedt kansen voor Europa om hierin voorop te lopen.
8. Wanneer er meer duidelijk is over de ontwikkelstrategie van lokale waterstofdistributienetten kan er uitgezocht worden wat de mogelijkheden zijn voor het aansluiten van de kleinere luchthavens op een lokaal waterstofnet.

8 Bibliografie

AeroDelft. (2023). *What if we can make aviation sustainable?* Opgehaald van AeroDelft: https://aerodelft.nl/project-phoenix/

Aerospace Technology Institute. (2022). *Integration of Sustainable Aviation Fuels into the air transport system.* Airports Council International.

CBI. (2022). *Liquid Hydrogen Storage Solutions.* Opgehaald van https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage

CBS. (2023). *Aardoliegrondstoffen- en aardolieproductenbalans; aanbod en verbruik*. Opgehaald van https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/84596NED/table

CBS. (2023, November 1). *Luchtvaart; vliegtuigbewegingen op kleine luchthavens*. Opgehaald van CBS Statline: https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/60058ned/table

CE Delft. (mei 2023). *CO2-emissies van Nederlandse luchtvaart.*

Connected Places Catapult . (2023). *Zero Emission Flight Infrastructure - Hydrogen Infrastructure Options for Airports.*

de Raad van de EU. (2023, november 2). *Fit for 55*. Opgehaald van https://www.consilium.europa.eu/nl/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/

de Raad van de EU. (2023, november 2). *Fit for 55: gebruik van groenere brandstoffen in de lucht- en zeevaart verhogen*. Opgehaald van https://www.consilium.europa.eu/nl/infographics/fit-for-55-refueleu-and-fueleu/

Defensie. (2023). *Pijpleidingnetwerk*. Opgehaald van Defensie pijpleidingen: https://www.defensie.nl/onderwerpen/taken-in-nederland/defensie-pijpleidingen/pijpleidingnetwerk

E-Flight Academy. (2022, augustus 18). *E-Flight Academy vliegt met 4 volledig elektrische vliegtuigen*. Opgeroepen op november 20, 2023, van https://www.eflight.nl/blogs/e-flight-notices/e-flight-academy-vliegt-nu-met-4-elektrische-vliegtuigen

European Commission. (2022). *Hydrogen*. Opgehaald van European Commission: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen_en

European Union Aviation Safety Agency. (2020, juni 10). *EASA certifies electric aircraft, first type certification for fully electric plane world-wide*. Opgeroepen op november 9, 2023, van https://www.easa.europa.eu/en/newsroom-and-events/news/easa-certifies-electric-aircraft-first-type-certification-fully-electric

Europese Commissie. (2018, december 11). *Richtlijn (EU) 2018/2001 ter bevordering van het gebruik van energie uit hernieuwbare bronnen*. Opgehaald van EUR-Lex: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=CELEX:32018L2001

Europese Commissie. (2021). *“Fit for 55”: het EU-klimaatstreefdoel voor 2030 bereiken op weg naar.* Opgehaald van EUR-LEX: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0550

Europese Commissie. (2023, oktober 18). *VERORDENING (EU) 2023/2405 VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD.* Opgehaald van EUR-LEX: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202302405&qid=1703154055480

FD. (2023, november 7). *Privéjets niet meer welkom op Eindhoven Airport*. Opgehaald van Financieel Dagblad: https://fd.nl/bedrijfsleven/1495679/privejets-niet-meer-welkom-op-eindhoven-airport

Groningen Airport Eelde. (2023, juni 1). *Wereldprimeur op Groningen Airport Eelde: onthulling waterstof-GPU*. Opgehaald van Groningen Airport Eelde: https://www.groningenairport.nl/actueel/wereldprimeur-op-groningen-airport-eelde-onthulling-waterstof-gpu#:~:text=Vandaag%20werd%20op%20Groningen%20Airport,diesel%2DGPU's%20ingezet%20op%20luchthavens.

HyNework Services. (2023). Market update Hydrogen Network Netherlands.

JRC. (2022). *Assessment of hydrogen delivery options.*

KiM. (2023, november 17). *Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid*. Opgehaald van Gebruik van trein kan klein deel vluchten vervangen: https://www.kimnet.nl/actueel/nieuws/2023/10/17/gebruik-van-trein-kan-klein-deel-vluchten-vervangen

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2020). *Verantwoord vliegen naar 2050 - Luchtvaartnota 2020-2050*. Opgehaald van https://toekomstluchtvaart.mett.nl/ontwikkeling+luchtvaart/duurzame+luchtvaart+nieuw/default.aspx

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2023). *Innovatiestrategie Luchtvaart.*

NEa. (2023). Opgehaald van https://www.emissieautoriteit.nl/onderwerpen/inboeken

NESTE. (2023). *Brussels Airlines start nieuwe jaar met eerste levering van Neste MY Sustainable Aviation Fuel op Brussels Airport via CEPS-pijpleiding*. Opgehaald van https://www.neste.nl/releases-and-news/renewable-solutions/brussels-airlines-start-nieuwe-jaar-met-eerste-levering-van-neste-my-sustainable-aviation-fuel-op

Netbeheer Nederland. (2023, november 16). *Capaciteitskaart afname elektriciteitsnet*. Opgehaald van https://capaciteitskaart.netbeheernederland.nl/

Netbeheer Nederland. (30 juni 2023). *Het energiesysteem van de toekomst: de II3050-scenario's - Integrale energiesysteemverkenning 2030-2050.*

NLR. (2023, november 9). *https://www.nlr.nl/aandachtsgebieden/strategische-themas-2022-2025/thema-duurzame-luchtvaart/pipistrel/*. Opgehaald van https://www.nlr.nl/aandachtsgebieden/strategische-themas-2022-2025/thema-duurzame-luchtvaart/pipistrel/

NOS. (2023, november 6). *Grote meerderheid partijen ziet uitbreiding Lelystad Airport niet meer zitten*. Opgehaald van NOS: https://nos.nl/collectie/13871/artikel/2496841-grote-meerderheid-partijen-ziet-uitbreiding-lelystad-airport-niet-meer-zitten

NOS. (2023, september 1). *Iets minder krimp voor Schiphol, kabinet onderzoekt nachtsluiting*. Opgehaald van NOS: https://nos.nl/artikel/2488810-iets-minder-krimp-voor-schiphol-kabinet-onderzoekt-nachtsluiting

NOS. (2023, september 1). *Ruzie over krimp Schiphol loopt hoog op, VS dreigt met sancties*. Opgehaald van NOS: https://nos.nl/artikel/2488777-ruzie-over-krimp-schiphol-loopt-hoog-op-vs-dreigt-met-sancties

Rijksoverheid. (2023, december 21). *CO_2-uitstoot luchtvaart verminderen*. Opgehaald van https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/luchtvaart/co2-uitstoot-luchtvaart

RRP. (2023). *Bedrijf*. Opgehaald van Rotterdam-Rijn Pijpleiding: https://www.rrpweb.nl/bedrijf/

Staatscourant. (2023). Opgehaald van https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2021-50278.html

Studio Gear Up. (20 december 2022). *Hernieuwbare waterstof voor luchtvaartbrandstoffen in Nederland.*

Synkero. (2021). *Synkero: Futureproof Aviation - Whitpaper.* Opgehaald van https://synkero.com/wp-content/uploads/2021/08/2021060830-Synkero-White-Paper-NL-1.pdf

TenneT. (2023, november 15). *Aansluiten op het Nederlandse hoogspanningsnet - Welke aansluiting*. Opgehaald van https://www.tennet.eu/nl/de-elektriciteitsmarkt/aansluiten-op-het-nederlandse-hoogspanningsnet/welke-aansluiting

U.S. DOE. (2023). *Hydrogen storage*. Opgehaald van Hydrogen and fuel cell technologies office: https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage

Wet milieubeheer RED-III. (2023, december). Opgehaald van overheid.nl: https://www.internetconsultatie.nl/wet_milieubeheer_rediii/b1

Bijlage A Lijst met betrokken actoren

In dit overzicht geven wij in willekeurige volgorde aan welke partijen betrokken zijn geweest in verschillende overleggen en onderzoeksmethoden binnen dit onderzoek.

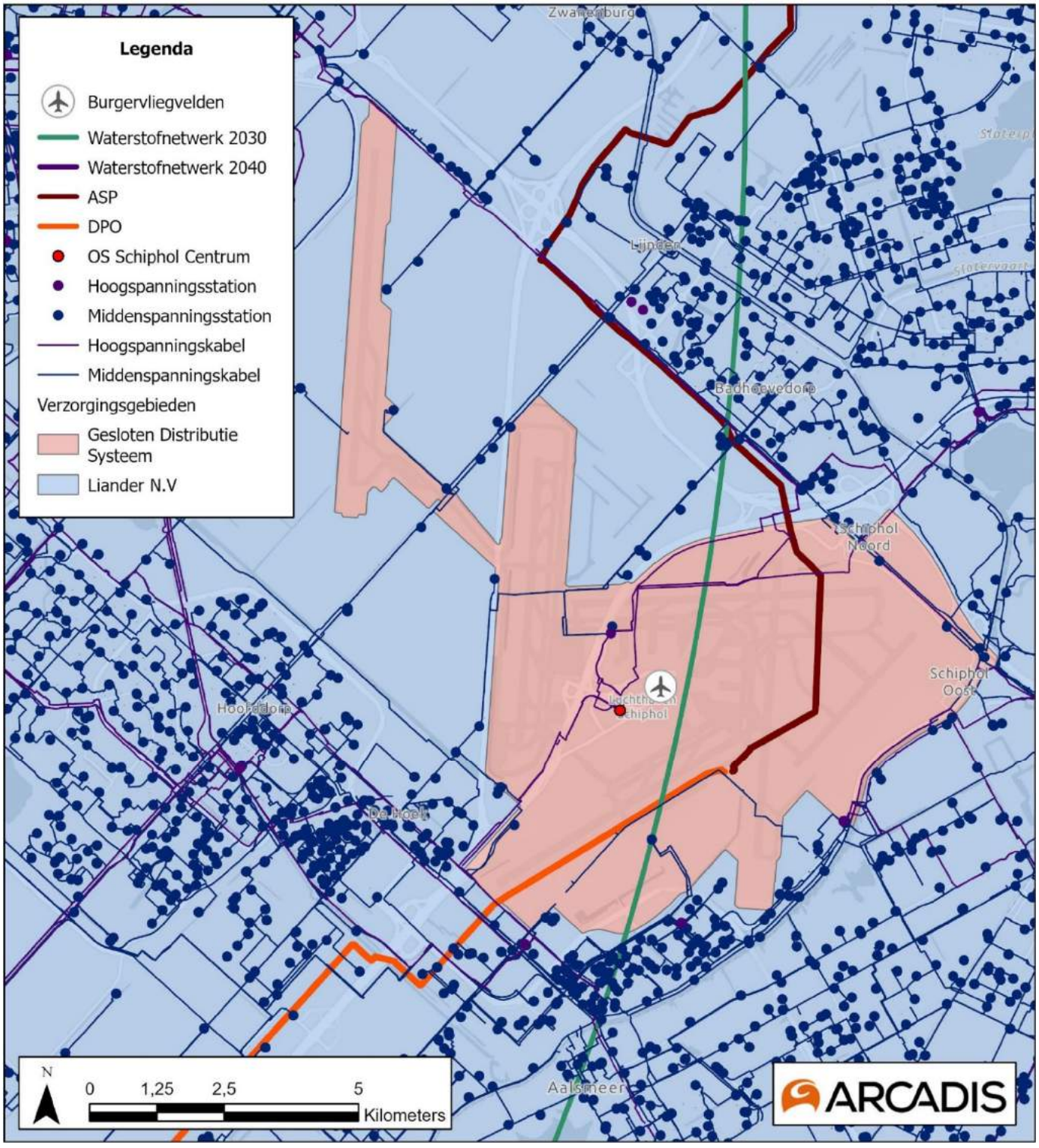
Projectteamoverleg & Begeleidingscommissie: vertegenwoordigers van de ministeries IenW en EZK en de RVO.

Er is door 11 partijen een **vragenlijst** ingevuld[24], en er zijn bijna 20 **interviews** geweest met vertegenwoordigers of is informeel mee gesproken:

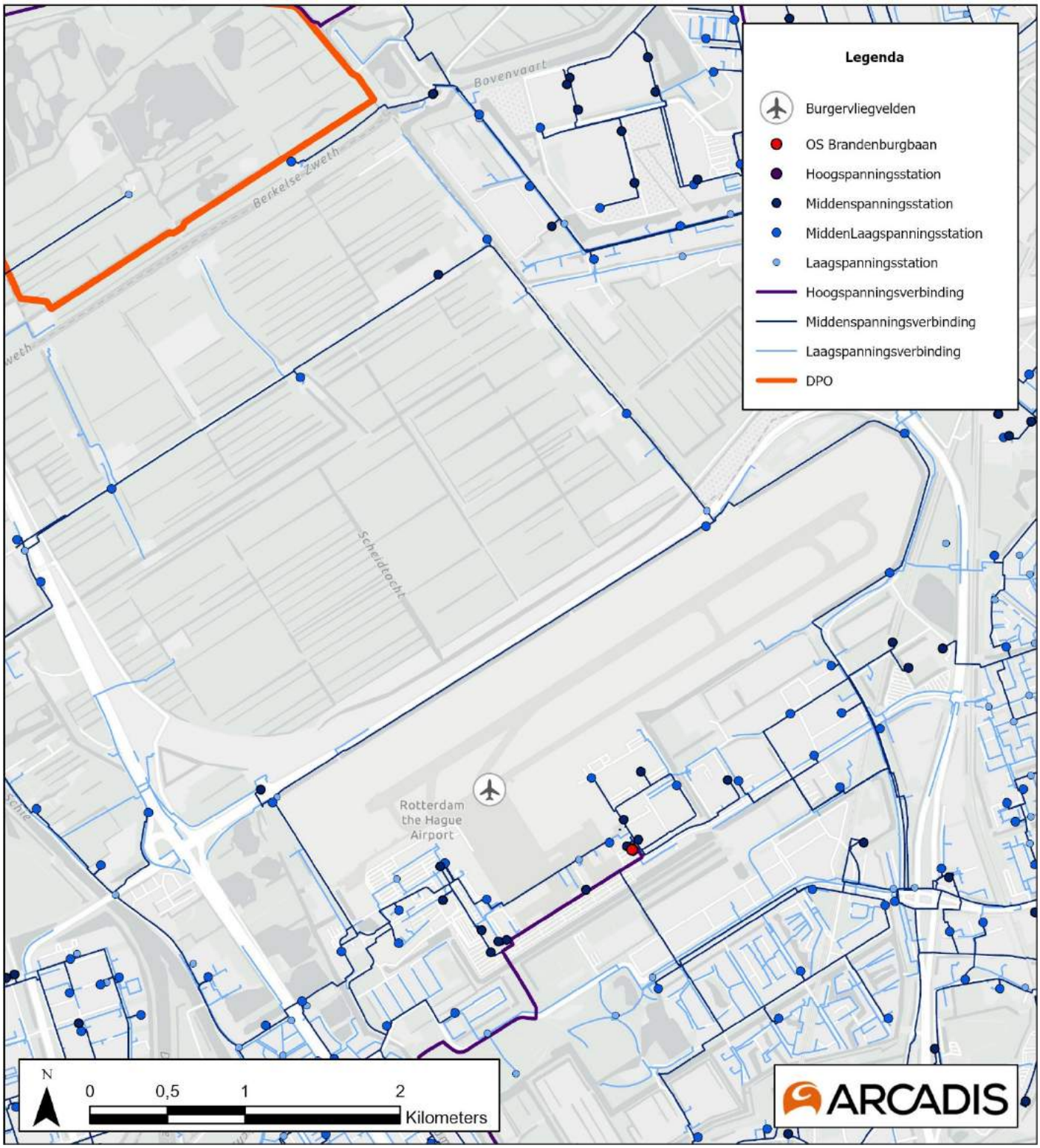
- AFS
- Air Cargo Netherlands
- Commissie Transport Gevaarlijke Goederen
- DPO
- Eindhoven Airport
- EVOS
- Gasunie/ HyNetwork Services
- Groningen Airport Eelde
- Groningen Seaports
- Havenbedrijven Rotterdam
- Het ministerie van IenW
- KLM
- KNVvL
- Koole (Terminals)
- NACA
- NAG
- NEa
- Nederlandse Vereniging van Luchthavens
- Neste
- Schiphol Groep
- Shell
- SkyNRG/ Synkero
- Stichting Rotterdam The Hague Innovation Airport
- Velin
- Vereniging Nederlandse Gemeenten
- VOTOB

[24] De vragenlijst is door de respondenten serieus ingevuld. Gemiddeld is een respondent 33 minuten bezig geweest met invullen.

Bijlage B Huidige en geplande infrastructuur rondom de grote luchthavens

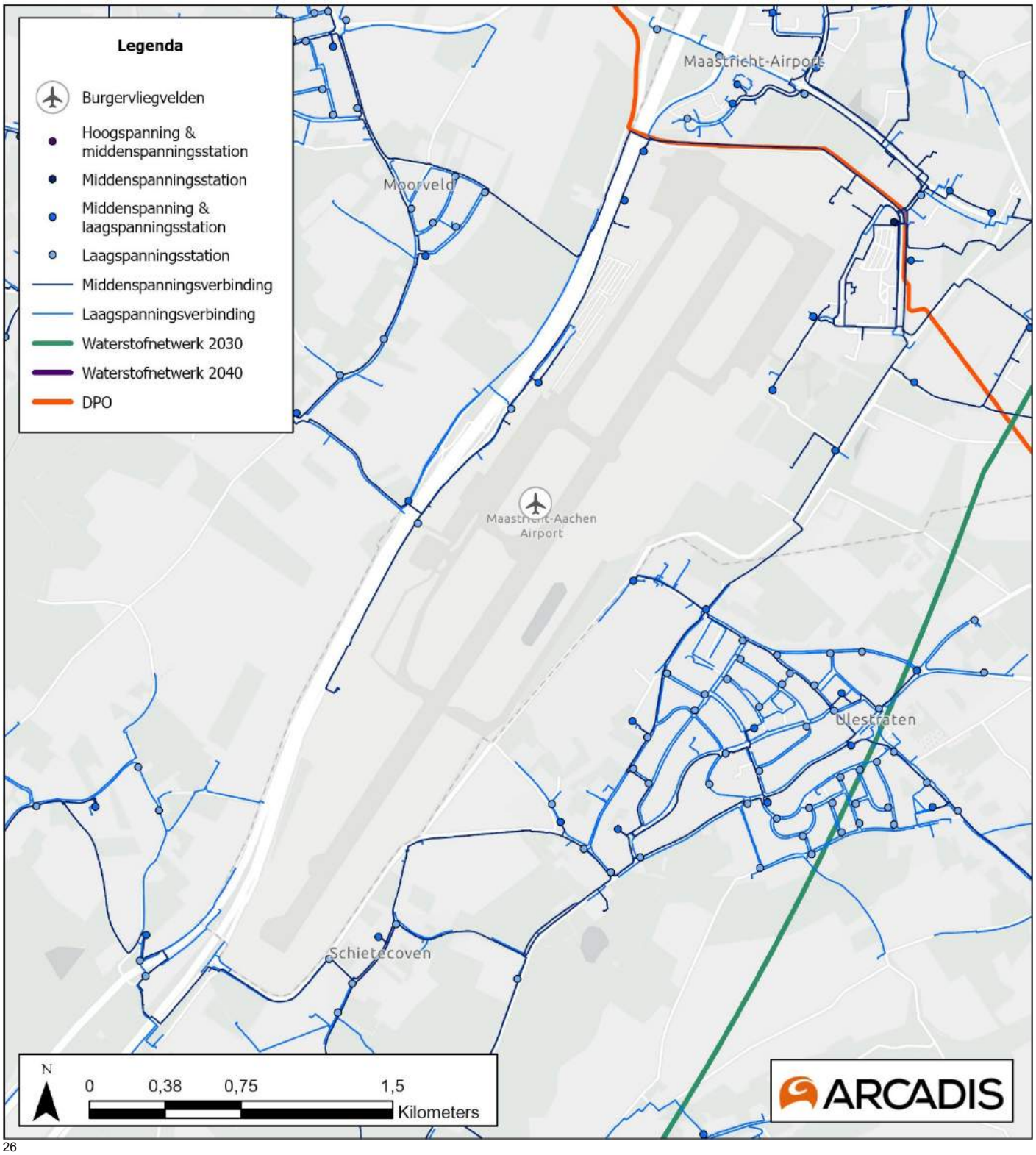


Figuur 8-1 Huidige en geplande infrastructuur rondom Schiphol[25]



Figuur 8-2 Huidige infrastructuur rondom Rotterdam The Hague Airport

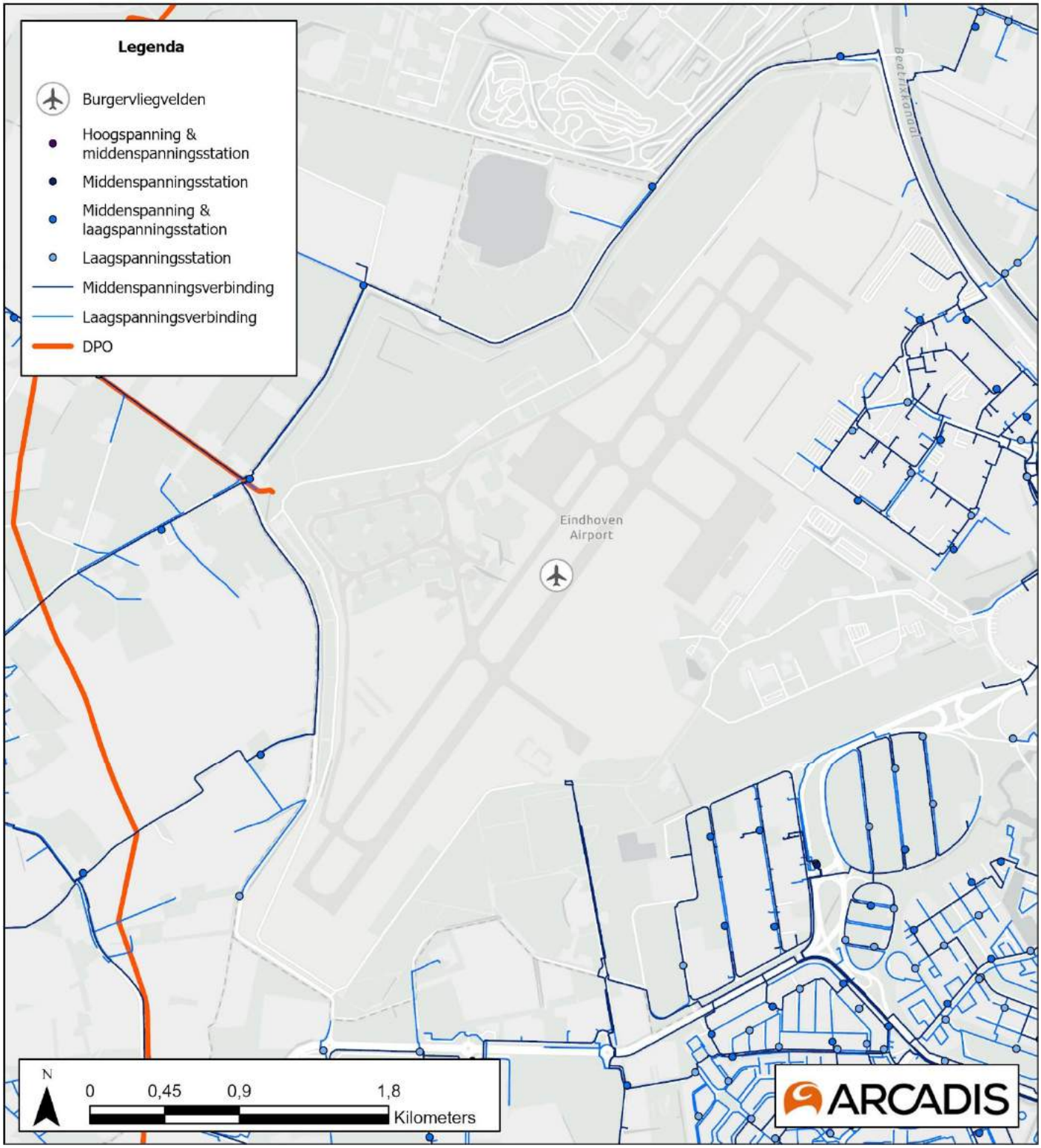
[25] Geodata van de European Hydrogen Backbone (EHB) is gebruikt in deze figuur en is op Europees niveau ingetekend en is daarom minder nauwkeurig.



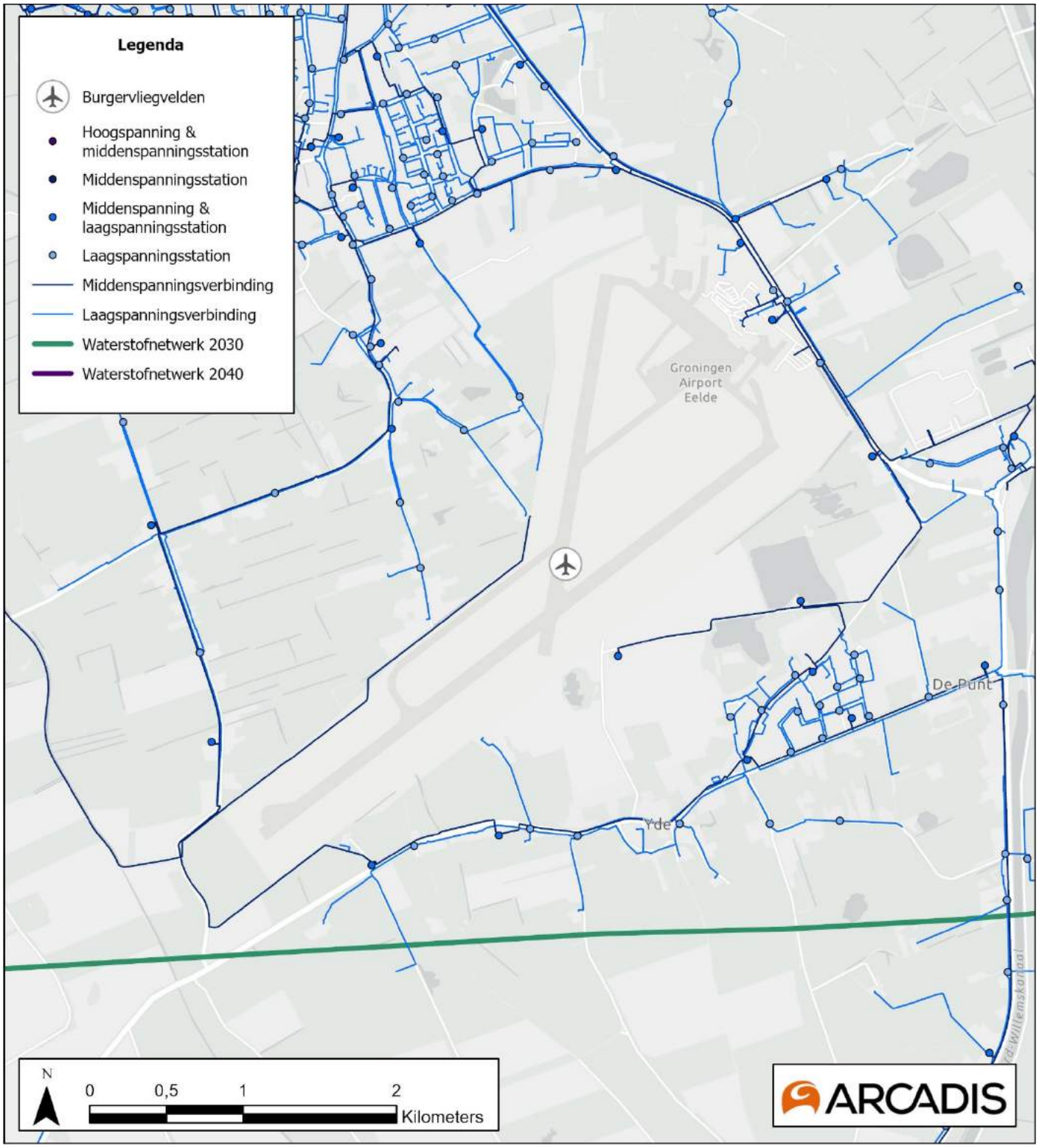
26

Figuur 8-3 Huidige en geplande infrastructuur rondom Maastricht-Aachen Airport

[26] Geodata van de European Hydrogen Backbone (EHB) is gebruikt in deze figuur en is op Europees niveau ingetekend en is daarom minder nauwkeurig.



Figuur 8-4 Huidige en geplande infrastructuur rondom Eindhoven Airport



Figuur 8-5 Huidige en geplande infrastructuur rondom Groningen Airport Eelde[27]

[27] Geodata van de European Hydrogen Backbone (EHB) is gebruikt in deze figuur en is op Europees niveau ingetekend en is daarom minder nauwkeurig.

Colofon

ONDERZOEK INFRASTRUCTUUR DUURZAME ENERGIEDRAGERS LUCHTVAART

KLANT
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

AUTEUR
Arcadis, IvCB

ONZE REFERENTIE
V4TEAA3YEPVD-590817576-1034:4.0

DATUM
13 februari 2024

STATUS
Definitief

Over Arcadis

Arcadis is de leidende wereldwijd opererende ontwerp- en consultancyorganisatie op het gebied van de natuurlijke en gebouwde omgeving. Wij helpen onze klanten en de maatschappij met doeltreffende, duurzame en digitale oplossingen. Wij zijn met 36.000 mensen actief die in ruim zeventig landen meer dan €4,2 miljard aan omzet genereren. Wij helpen UN-Habitat met onze mensen, die kennis en expertise leveren om de moeilijke leefomstandigheden te verbeteren in gebieden die lijden onder de gevolgen van klimaatverandering.

www.arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 220
3800 AE Amersfoort
Nederland

T +31 (0)88 4261 261