
Voorzieningen voor laad- en tankinfrastructuur op luchthavens in Nederland voor duurzame luchtvaart

Referentie BJ5345
Datum 29 februari 2024
Versie 04

Voorzieningen voor laad-en tankinfrastructuur op luchthavens in Nederland voor duurzame luchtvaart

Referentie

BJ5345



Status

Definitief

NACO, Netherlands Airport Consultants
Schenkkade 49,
2595 AR The Hague, The Netherlands
(+31) 88 348 1300
www.naco.nl

Datum

29 februari 2024

Project naam

Voorzieningen voor laad- en tankinfrastructuur op
luchthavens in Nederland voor duurzame luchtvaart

Project nummer

BJ5345

Disclaimer

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden vervaelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever. Let op: dit document bevat mogelijk persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V.. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderszins openbaarmaking), dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat.

Classificatie

Vertrouwelijk

Inhoudsopgave

1.	Inleiding.....	7	9.	Ontwikkeltrajecten waterstof.....	72
2.	Inventarisatie van luchthaveninfrastructuur.....	12	10.	Infrastructuur en ontwikkelingen SAF.....	85
3.	Luchthaven categorisering.....	24	11.	Ontwikkeltrajecten SAF.....	87
4.	Inventarisatie van elektrische luchthaveninfrastructuur.....	26	12.	Samenvatting en conclusie.....	92
5.	Ontwikkelingen elektrisch vliegen.....	32	A	Literatuurlijst.....	100
6.	Ontwikkeltrajecten elektrisch vliegen.....	47	B	Afkortingenlijst.....	107
7.	Inventarisatie van waterstof luchthaveninfrastructuur.....	61			
8.	Ontwikkelingen waterstof.....	66			

Figuren- en tabellenlijst

Tabel 1.1	Overzicht van Nederlandse luchthavens volgens AIP	10
Tabel 2.1	Toebehorende spanwijdtes per ICAO code letter	13
Tabel 5.1	Indicatief overzicht van de laadmogelijkheden per type verkeer inclusief het verwachte introductiejaar en de kosten van de laadmogelijkheden	43
Tabel 6.1	Betrokken en uitvoerende partijen en afhankelijkheden per fase in het ontwikkeltraject elektrisch vliegen voor categorie 1 luchthavens	51
Tabel 6.2	Betrokken en uitvoerende partijen en afhankelijkheden per fase in het ontwikkeltraject elektrisch vliegen voor categorie 2 luchthavens	54
Tabel 6.3	Betrokken en uitvoerende partijen en afhankelijkheden per fase in het ontwikkeltraject elektrisch vliegen voor categorie 3 luchthavens	57
Tabel 9.1	Betrokken en uitvoerende partijen en afhankelijkheden per fase in het ontwikkeltraject waterstof voor categorie 1 luchthavens	75
Tabel 9.2	Betrokken en uitvoerende partijen en afhankelijkheden per fase in het ontwikkeltraject waterstof voor categorie 2 luchthavens	78
Tabel 9.3	Betrokken en uitvoerende partijen en afhankelijkheden per fase in het ontwikkeltraject waterstof voor categorie 3 luchthavens	81
Figuur 1.1	Locatie van Nederlandse luchthavens	10
Figuur 2.1	Locatie van EHAM and EHEH	14
Figuur 2.2	Locatie van EHRD en EHGG	15
Figuur 2.3	Locatie van EHLE en EHBK	16
Figuur 2.4	Locatie van EHMZ en EHTE	17
Figuur 2.5	Locatie van EHTX en EHBD	18
Figuur 2.6	Locatie van EHHV en EHTW	19
Figuur 2.7	Locatie van EHSE en EHAL	20

Figuren- en tabellenlijst

Figuur 2.8	Locatie van EHKD en EHTL	21
Figuur 2.9	Locatie van EHDR en EHOW	22
Figuur 2.10	Locatie van EHHO en EHST	23
Figuur 4.1	Indicatief overzicht van netcongestie in Nederland	27
Figuur 4.2	Indicatief overzicht van beschikbare capaciteit per dekkingsgebied van elk hoogspanningsstation	28
Figuur 4.3	Situatie van de luchthaven Eindhoven waarin een extra hypothetische energievraag is toegevoegd aan de gegevens uit figuur 4.4.	29
Figuur 4.4	Indicatief overzicht van huidige beschikbare capaciteit per dichtstbijzijnde hoogspanningsstation van de luchthavens en de 5-jarige geplande investeringen	29
Figuur 4.5	Het mobiele laadstation voor de Velis Electro	30
Figuur 4.6	Overzicht van luchthavens met permanente laadvoorziening ten behoeve van elektrische vliegtuigen	30
Figuur 4.7	Stroomvoorziening ten behoeve van laadvoorzieningen van elektrische vliegtuigen op Groningen Airport Eelde	31
Figuur 4.8	Overzicht van luchthavens met enkel een compatibel aansluitpunt voor een laadvoorziening ten behoeve van elektrische vliegtuigen	31
Figuur 5.1	Indicatie van de plaatsing van batterijtechnologie en straalmotoren/kerosine op de S-curve	33
Figuur 5.2	Overzicht van verwachte certificering van batterij-elektrische GA-vliegtuigen	35
Figuur 5.3	Overzicht van verwachte certificering van batterij-elektrische commerciële vliegtuigen	36
Figuur 5.4	eVTOL ontwerp van Joby	37
Figuur 5.5	Elektrische GPU en pushback truck	37
Figuur 5.6	Schematisch overzicht van modulair opgebouwde laadinfrastructuur	38

Figuren- en tabellenlijst

Figuur 5.7	Vast laadstation van Pipistrel	41
Figuur 5.8	Mobiele lader van ELECTRA.AERO en vast modulair op te bouwen omvormstation van Heliox	41
Figuur 5.9	Indicatie van één centraal laadgebied	44
Figuur 5.10	Indicatie van decentrale laadgebieden	45
Figuur 6.1	Doelen met betrekking tot duurzame luchtvaart volgens de Luchtvaartnota	48
Figuur 7.1	Indicatief overzicht van verwachte ontwikkelingen ter bevordering van een binnenlands waterstof transportnet in 2025/2026	62
Figuur 7.2	Indicatief overzicht van verwachte ontwikkelingen ter bevordering van een binnenlands waterstof transportnet in 2027/2028	63
Figuur 7.3	Indicatief overzicht van verwachte ontwikkelingen ter bevordering van een binnenlands waterstof transportnet in 2030	63
Figuur 7.4	Overzicht van luchthavens met commerciële passagiersvluchten en plannen met betrekking tot het gebruik, opslag of produceren van waterstof	64
Figuur 7.5	Overzicht van luchthavens zonder commerciële passagiersvluchten en plannen met betrekking tot het gebruik, opslag of produceren van waterstof	65
Figuur 8.1	Overzicht van verwachte certificering van waterstof aangedreven vliegtuigen	68
Figuur 8.2	Overzicht van groene waterstofwaardeketen	69
Figuur 8.3	Voorbeeld van geplande pijpleiding voor gasvormige waterstof	71
Figuur 8.4	Transportwagen voor het vervoeren van gasvormige waterstof	71
Figuur 8.5	Transportwagen voor het vervoeren van vloeibare waterstof	71
Figuur 10.1	Transportketen van SAF	86
Figuur 11.1	Minimaal verplichte SAF bijmenging volgens ReFuelEU	88
Figuur 11.2	SAF bijmengingspercentages behaald door luchtvaartmaatschappijen in 2022	91

1. Inleiding

Inleiding

De luchtvaartindustrie ondergaat op dit moment een transitie naar duurzamere energiedragers, met elektriciteit, waterstof en Sustainable Aviation Fuel (SAF) als alternatieven voor traditionele brandstoffen.

De transitie naar een duurzamere luchtvaart, door middel van deze alternatieve energiedragers, brengt uitdagingen met zich mee op het gebied van de hiervoor benodigde voorzieningen en infrastructuur op luchthavens.

Te verwachten is dat tijdens de transitie er zowel een vraag zal ontstaan naar traditionele brandstoffen als naar alternatieve energiedragers. Indien luchthavens willen voorzien in deze vraag, dan heeft dit mogelijk gevolgen voor huidige laad- en tankvoorzieningen. Onderzocht dient te worden in welke mate hierin voorzien zal worden, alsmede wat en wanneer nodig is om dit te kunnen accommoderen.

Om een beter beeld te krijgen bij de impact van de transitie, heeft het ministerie van Infrastructuur & Waterstaat opdracht gegeven om een kwalitatief onderzoek uit te voeren naar de duurzame energietransitie binnen de Nederlandse luchthavensector. Het onderzoek is inmiddels uitgevoerd en dit rapport belicht de uitkomsten van het onderzoek.

Als onderdeel van de scope zijn in het onderzoek de energiedragers elektriciteit, waterstof en SAF meegenomen. Daarnaast heeft de focus van het onderzoek gelegen op de met deze energiedragers gepaard gaande benodigde

infrastructurele voorzieningen op Nederlandse luchthavens die voor civiele doeleinden worden gebruikt.

De centrale onderzoeksvraag luidt als volgt:

Welke voorzieningen voor laad- en tankinfrastructuur kunnen luchthavens treffen om de ontwikkelingen tot en vanaf 2030 omtrent het vliegen op waterstof, elektriciteit en SAF te accommoderen en welke technische, economische en eventuele juridische belemmeringen staan opschaling hiervan op de luchthavens in de weg?

Het onderzoek is opgedeeld en uitgevoerd in drie fases. De uitkomsten van deze fases geven gezamenlijk antwoord op de centrale onderzoeksvraag.

Fase 1: Inventarisatie van luchthavens in Nederland

De eerste stap in het onderzoek betrof een inventarisatie en categorisatie van de Nederlandse luchthavens*. Op basis van verschillende eigenschappen, zoals het aantal vliegtuigbewegingen, start-en-landingsbaanlengte en het type verkeer, is een eerste indeling gemaakt. Deze indeling maakte het vervolgens mogelijk om per luchthavencategorie overeenkomstige ontwikkelingsscenario's naar duurzame luchtvaart te definiëren.

Fase 2: Workshops en inventarisatie van duurzame luchtvaart

In de tweede fase zijn drie activiteiten uitgevoerd.

Allereerst is een workshop georganiseerd over duurzame luchtvaart, waarbij deelnemende luchthavens inzicht hebben gekregen in actuele en verwachte ontwikkelingen op het gebied van waterstof- en elektrisch vliegen en SAF. In deze workshop is informatie gedeeld over mogelijke kansen en de rol van luchthavens in de energietransitie binnen de luchtvaartsector. Het doel van de workshop was enerzijds om kennis te delen en anderzijds om actuele doelstellingen van de luchthavens te begrijpen.

Daarnaast is er een inventarisatie gemaakt van huidige ontwikkelingen op het gebied van waterstof- en elektrisch vliegen en SAF en de daarvoor benodigde infrastructuurle voorzieningen. Zowel landelijke als internationale ontwikkelingen zijn in kaart gebracht om zodoende een zo breed mogelijk perspectief hierop te verkrijgen.

Tenslotte is een workshop georganiseerd met deelnemende luchthavens, die zich richtte op het valideren en verder verdiepen van de opgestelde ontwikkelingsscenario's in fase 1. Hierbij kregen de luchthavens de gelegenheid om vanuit eigen perspectief, ervaringen en ambities de ontwikkelingsscenario's te beoordelen en hierin mogelijke focuspunten aan te brengen.

Inleiding

Fase 3: Laad- en tankinfrastructuur ontwikkelingsplannen

In de laatste fase is voort gebouwd op de ambities van de luchthavens. Vanuit de scenario's zijn typische ontwikkelingstrajecten ontwikkeld per luchthavencategorie, voor zowel de kleinere als grotere luchthavens. De trajecten geven beeld bij typische laad- en tankinfrastructuur en een indicatie van investeringen waar aan gedacht kan worden, uitgezet in de tijd. De tijdens de workshops uitgesproken ambities en vastgestelde belemmeringen op zowel technisch, economisch als ook juridisch vlak zijn hierbij ook beschreven.

Rapportage opzet

Voordat de resultaten van de verschillende fasen worden gepresenteerd, wordt op de volgende pagina van deze inleiding eerst een overzicht gegeven van de in dit onderzoek meegenomen luchthavens, welke de kaders van dit onderzoek afbakenen. Daarnaast zal in deze inleiding een beknopt overzicht gegeven worden van relevante belanghebbenden, die ook later in dit onderzoek naar voren komen. Het beoogde doel hiervan is om achtergrond informatie te geven.

De drie onderzoeksfasen worden in dit rapport bij elkaar gebracht.

De resultaten van fase 1 worden gepresenteerd in hoofdstuk 2 (inventarisatie van luchthaveninfrastructuur) en hoofdstuk 3 (luchthaven categorisering).

Fase 2 en 3 zijn verwerkt per energiedrager (elektrisch, waterstof en SAF). De ontwikkelingen en ontwikkeltrajecten rondom elektrisch vliegen zullen worden gepresenteerd in hoofdstuk 4 tot en met 6. Waterstofvliegen zal behandeld worden in hoofdstuk 7 tot en met 9. De resultaten voor SAF zullen in hoofdstuk 10 en 11 gepresenteerd worden.

**In de offerte-aanvraag worden de termen 'vliegveld' en 'luchthaven' specifiek genoemd. Hoewel de term 'luchthaven' doorgaans verwijst naar een groter vliegveld, zal deze studie de algemene term 'luchthaven' gebruiken om de consistentie te waarborgen.*

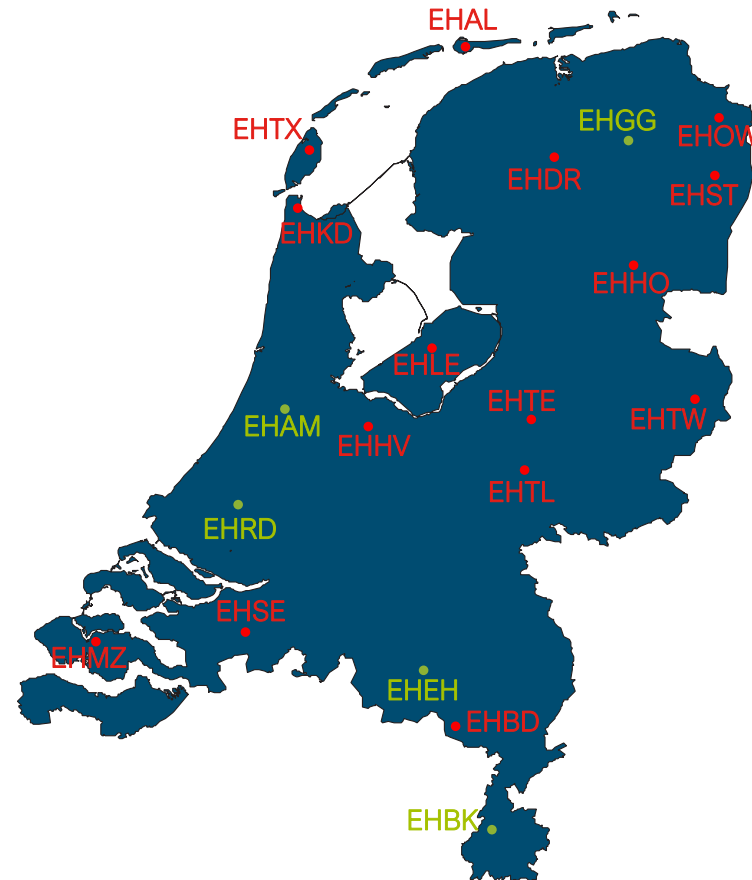
Inleiding

Nederland telt 20 luchthavens voor burgerluchtvaart, waarvan er 5 commerciële passagiersvluchten kunnen afhandelen

Op basis van de Aeronautical Information Publication ^[1] (AIP) van Luchtverkeersleiding Nederland (LVNL) is vastgesteld dat Nederland beschikt over 20 civiele luchthavens. Deze luchthavens zijn openbaar toegankelijk en hebben geen militaire doeleinden. Als uitzondering hierop geldt dat de luchthavens Eindhoven en De Kooy in essentie militaire luchthavens zijn, waarbij medegebruik van een deel van de infrastructuur en faciliteiten voor civiele doeleinden wordt toegestaan. Het onderzoek heeft zich op deze 20 luchthavens gericht. Heliports zijn buiten beschouwing van dit onderzoek gelaten.

Tabel 1.1 geeft een overzicht weer van deze 20 luchthavens en bijhorende International Civil Aviation Organization (ICAO) luchthavencodes. Figuur 1.1 geeft een kaart van Nederland weer, waarbij middels de ICAO luchthavencode is aangegeven waar de betreffende luchthavens zich bevinden.

Van de geïdentificeerde luchthavens bleken er 5 in staat om commerciële passagiersvluchten te kunnen faciliteren, op basis van zowel nationale- als internationale regelgeving (deze zijn aangegeven in groen in figuur 1.1 en tabel 1.1). De overige 15 luchthavens bleken primair geschikt voor algemeen luchtverkeer, ook wel "General Aviation" genoemd (deze zijn aangegeven in rood in figuur 1.1 en tabel 1.1).



Figuur 1.1: Locatie van Nederlandse luchthavens

Tabel 1.1: Overzicht van Nederlandse luchthavens volgens AIP

Luchthaven ICAO Code	Luchthaven naam
EHAL	Ameland
EHAM	Schiphol Airport
EHBD	Budel
EHBK	Maastricht Aachen Airport
EHDR	Drachten
EHEH	Eindhoven Airport
EHGG	Groningen Airport Eelde
EHHO	Hoogeveen
EHHV	Hilversum
EHKD	De Kooy
EHLE	Lelystad Airport
EHMZ	Midden-Zeeland
EHOW	Oostwold
EHRD	Rotterdam The Hague Airport
EHSE	Seppe
EHST	Stadskanaal
EHTE	Teuge
EHTL	Terlet
EHTW	Twente Airport
EHTX	Texel

Commerciële passagiersvluchten Geen commerciële passagiersvluchten

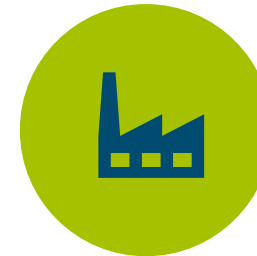
Inleiding

Zes stakeholdergroepen kunnen geïdentificeerd worden die invloed hebben op de introductie en opschaling van duurzame energiedragers

De Nederlandse luchthavens stonden in dit onderzoek centraal. Echter zullen de infrastructurele aanpassingen die benodigd zijn om duurzame energiedragers te laden of te tanken ook afhankelijk zijn van andere sectoren en partijen. In de 'Roadmap - Elektrisch vliegen in het Nederlandse Koninkrijk' [2] zijn reeds groepen met belanghebbenden, de zogenaamde 'stakeholdergroepen', geïdentificeerd die van invloed zijn op de introductie van elektrische luchtvaart in Nederland. Zes van deze stakeholdergroepen zijn ook van belang voor de laad- en tankinfrastructuur van elektrisch en waterstof vliegen, alsmede SAF. Later in dit rapport zullen de afhankelijkheden en relaties tussen deze groepen met belanghebbenden en benodigde infrastructuur nader worden toelicht.

- Fabrikanten: Ontwikkelen en produceren van vliegtuigen & motoren op duurzame energiedragers (bijvoorbeeld Pipistrel, Ampaire, Airbus of Boeing)
- Autoriteiten en instanties: Certificeren en standaardiseren op basis van veiligheid (bijvoorbeeld EASA of FAA)
- Luchtvaartmaatschappijen: Aanbieden van luchtvaarttransport voor passagiers en vracht (bijvoorbeeld KLM of TUI)
- Luchthavens: Faciliteren van luchtvaarttransport (bijvoorbeeld Schiphol of Midden-Zeeland)

- Energieleverancier en netbeheerder: Produceren en distribueren van energie, opgesplitst in commerciële leveranciers, zes regionale netbeheerders (bijvoorbeeld Liander of Stedin) en nationale netbeheerder (TenneT). Binnen dit onderzoek worden ook brandstofleveranciers (kerosine, waterstof en SAF) tot de energieleveranciers gerekend.
- Overheid: Maken en uitvoeren van beleid, monitoren op basis van wet- en regelgeving



Fabrikanten



Autoriteiten en instanties



Luchtvaartmaatschappijen



Luchthavens



Energieleveranciers en netbeheerders



Overheid

2. Fase 1: Inventarisatie van luchthaveninfrastructuur

Inventarisatie van luchthaveninfrastructuur

Elk van de 20 luchthavens zijn geanalyseerd op 6 verschillende kenmerken

Nieuwe technologieën in de luchtvaart kunnen significante verschillen met zich meebrengen in infrastructuurstandaarden ten opzichte van huidige infrastructuurstandaarden. In dit hoofdstuk is daarom een inventarisatie gemaakt van de reeds aanwezige infrastructuur op de luchthavens in scope van het onderzoek. Naast civiele infrastructuur is er ook gekeken naar ondersteunende faciliteiten.

In totaal is naar zes kenmerken gekeken die relevant kunnen zijn voor een toekomstig ontwikkeltraject naar een duurzame luchtvaart. Ter verduidelijking worden deze zes kenmerken eerst toegelicht. Voor drie van de kenmerken is één gemeenschappelijke bron gebruikt, namelijk de eerder benoemde AIP. Bij het overzicht op deze pagina is dit aangegeven waar dit het geval is middels de bronverwijzing ^[1]. Voor elk ander besproken kenmerk wordt direct verwezen naar de bron(nen) op de volgende pagina's. Waar luchthavens geen publieke informatie beschikbaar hadden, is dit kenmerk weggelaten uit het overzicht.

- **Start- en landingsbaan:** Infrastructuur voor het starten en landen van vliegtuigen. De lengte van de (langste) baan, alsmede of er een verharde of onverharde baan aanwezig is, zal worden benoemd. ^[1] Dit kenmerk is van belang om in te kunnen schatten of een toekomstig vliegtuig, mogelijk met een langere landingsbaaneis, gebruik zou kunnen maken van de luchthaven, zonder

aanpassingen aan de huidige landingsbaan.

- **Aantal passagiers:** Het aantal vertrekkende, aankomende en transferpassagiers van commercieel vliegverkeer in één jaar. Dit kenmerk geeft samen met het aantal vliegtuigbewegingen een indicatie van de (relatieve) grootte van de luchthaven en hoeveelheid afgehandeld verkeer.
- **Aantal vliegtuigbewegingen:** Het aantal starts en landingen van alle typen verkeer op de luchthaven in het jaar 2022.
- **Toegestane vliegtuigtypen:** De vliegtuigtypen die op basis van spanwijdte (ICAO code letter, zie Tabel 2.1) of maximaal startgewicht (MTOW) de infrastructuur van de luchthaven veilig kunnen gebruiken. Hiervoor is ofwel de AIP ^[1] geraadpleegd, ofwel is de huidige infrastructuur door middel van openbare satellietdata geanalyseerd en is op basis van ICAO Annex 14 (richtlijnen voor het ontwerp van luchthaveninfrastructuur) een code letter toegewezen. Dit kenmerk geeft een indicatie van de grootte van vliegtuigen die gebruik kunnen maken van de luchthaven.

Tabel 2.1: Toebehorende spanwijdtes per ICAO code letter ^[3]

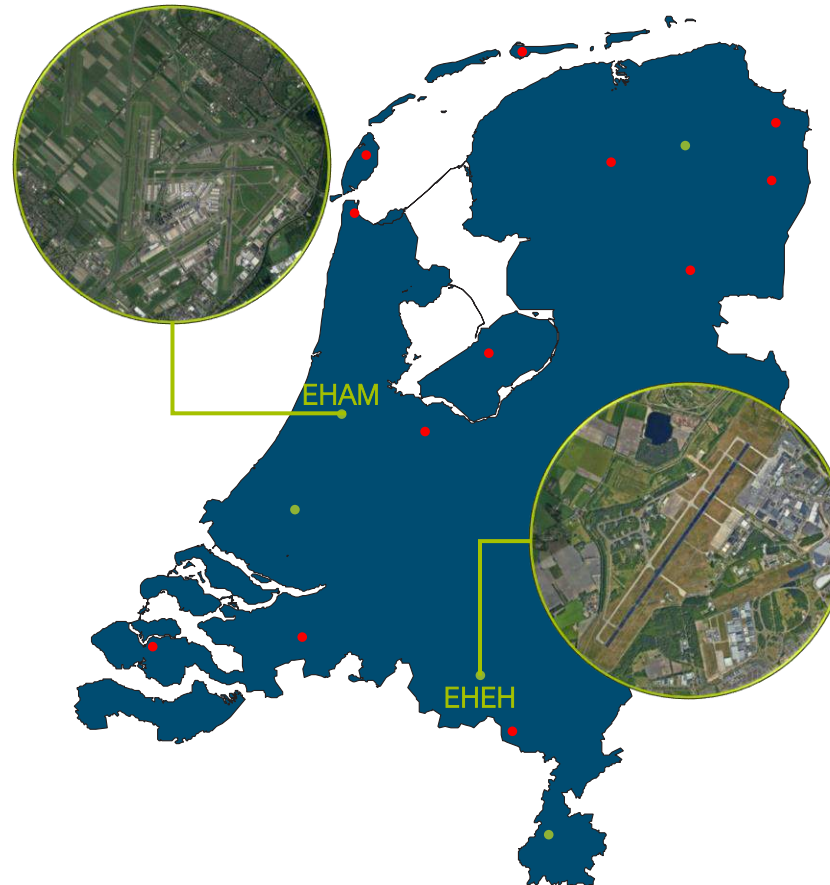
ICAO code letter	A	B	C	D	E	F
Spanwijdte (m)	Tot 15	15 tot 24	24 tot 36	36 tot 52	52 tot 65	65 tot 80

- **Verkeerstypen:** Op basis van de aanwezige infrastructuur en faciliteiten is een inschatting gemaakt van de verschillende typen verkeer die gebruik maken van de luchthaven. Er wordt onderscheid gemaakt tussen General Aviation (GA)-, commercieel-, militair- en vrachtverkeer. Belangrijk hierbij is dat er bij GA-verkeer onderscheid is gemaakt tussen het kunnen afhandelen van straalvliegtuigen (jets) of niet. Dit is gedaan omdat deze subcategorie andere faciliteiten en infrastructuur (bijvoorbeeld een verharde start- en landingsbaan) kan vereisen ten opzichte van het overige GA-verkeer. Daarnaast hebben vluchten van deze aard vaak een andere route- en marktfocus, wat van belang kan zijn om te bepalen of een toekomstige energiedrager geschikt is of niet.
- **Vliegclubs en -scholen:** De aanwezigheid van één of meerdere vliegclubs of vliegscholen. Het betreft hier een organisatie die met GA-vliegtuigen recreatief vliegt of met de intentie om toekomstige piloten op te leiden voor deze kleinere toestellen (exclusief straalvliegtuigen). Deze vliegclubs en -scholen bezitten vaak één of meerdere vliegtuigen die gestationeerd zijn op de luchthaven, wat zich kan vertalen tot een potentiële behoefte van laad- en tankinfrastructuur op deze specifieke luchthaven.

Inventarisatie van luchthaveninfrastructuur

Amsterdam Airport Schiphol

- Start- en landingsbanen: 6 banen aanwezig, maximale lengte van 3.800 m (allen verhard)
- Aantal passagiers (2022): 52,5 miljoen ^[4]
- Aantal vliegtuigbewegingen (2022): 398 duizend ^[4]
- Toegestane vliegtuigtypen: t/m ICAO code F
- Verkeerstypen: GA, commercieel, vracht
- Vliegclubs en -scholen: aanwezig ^[5]



Eindhoven Airport

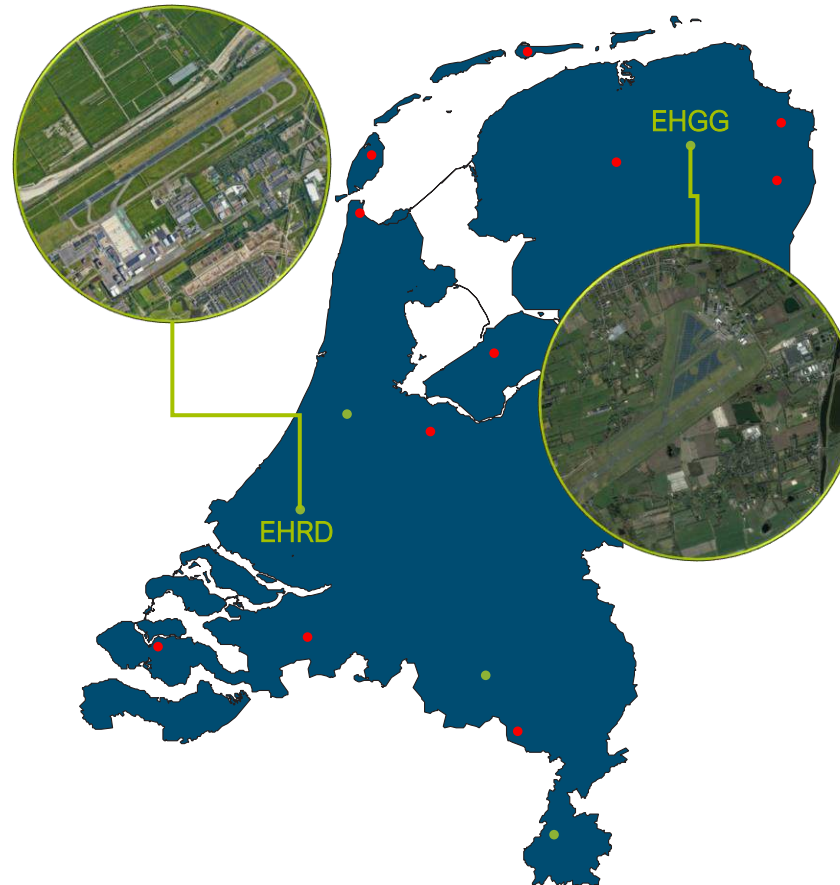
- Start- en landingsbaan: 3.000 m (verhard)
- Aantal passagiers (2022): 6,3 miljoen ^[4]
- Aantal vliegtuigbewegingen (2022): 40 duizend ^[4]
- Toegestane vliegtuigtypen: t/m ICAO code F
- Verkeerstypen: GA, commercieel, militair, vracht
- Vliegclubs en -scholen: aanwezig ^[6]

Figuur 2.1: Locatie van EHAM and EHEH

Inventarisatie van luchthaveninfrastructuur

Rotterdam The Hague Airport

- Start- en landingsbaan: 2.199 m (verhard)
- Aantal passagiers (2022): 2,1 miljoen ^[4]
- Aantal vliegtuigbewegingen (2022): 59 duizend ^[7]
- Toegestane vliegtuigtypen: t/m ICAO code E
- Verkeerstypen: GA, commercieel
- Vliegclubs en –scholen: meerdere aanwezig ^[8,9,10]



Groningen Airport Eelde

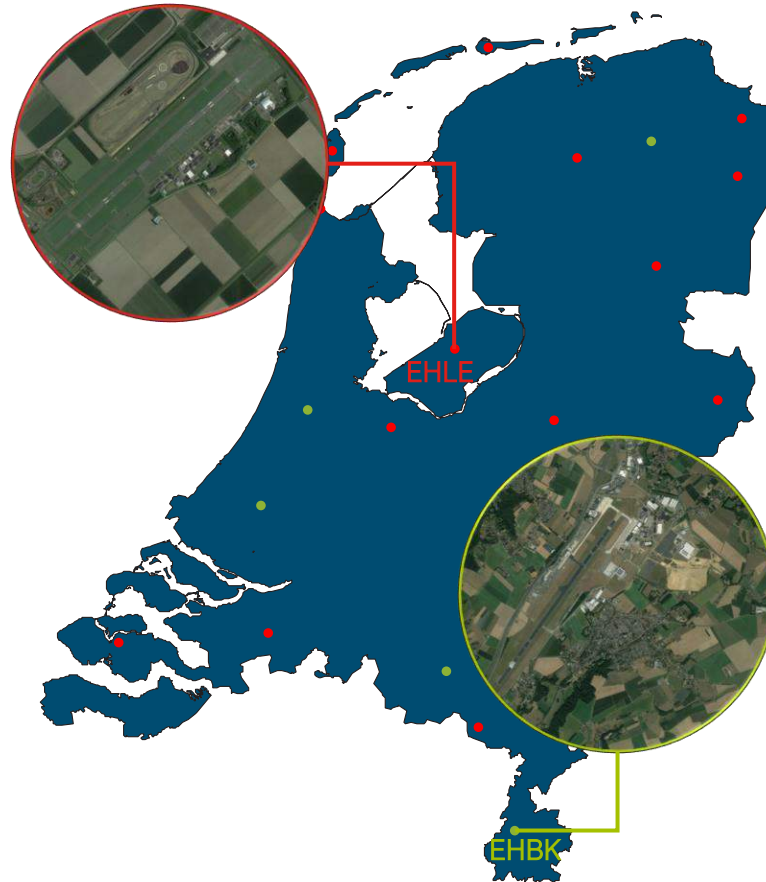
- Start- en landingsbaan: 2.500 m (verhard)
- Aantal passagiers (2022): 100 duizend ^[11]
- Aantal vliegtuigbewegingen (2022): 60 duizend ^[11]
- Toegestane vliegtuigtypen: t/m ICAO code E
- Verkeerstypen: GA, commercieel
- Vliegclubs en –scholen: aanwezig ^[12,13,14]

Figuur 2.2: Locatie van EHRD en EHGG

Inventarisatie van luchthaveninfrastructuur

Lelystad Airport

- Start- en landingsbaan: 2.700 m (verhard)
- Aantal passagiers per jaar: geen commerciële passagiers
- Aantal vliegtuigbewegingen per jaar: 84 duizend ^[15]
- Toegestane vliegtuigtypen: t/m ICAO code C
- Verkeerstypen: GA, mogelijk commercieel in de toekomst
- Vliegclubs en –scholen: aanwezig ^[16,17,18]



Figuur 2.3: Locatie van EHLE en EHBK

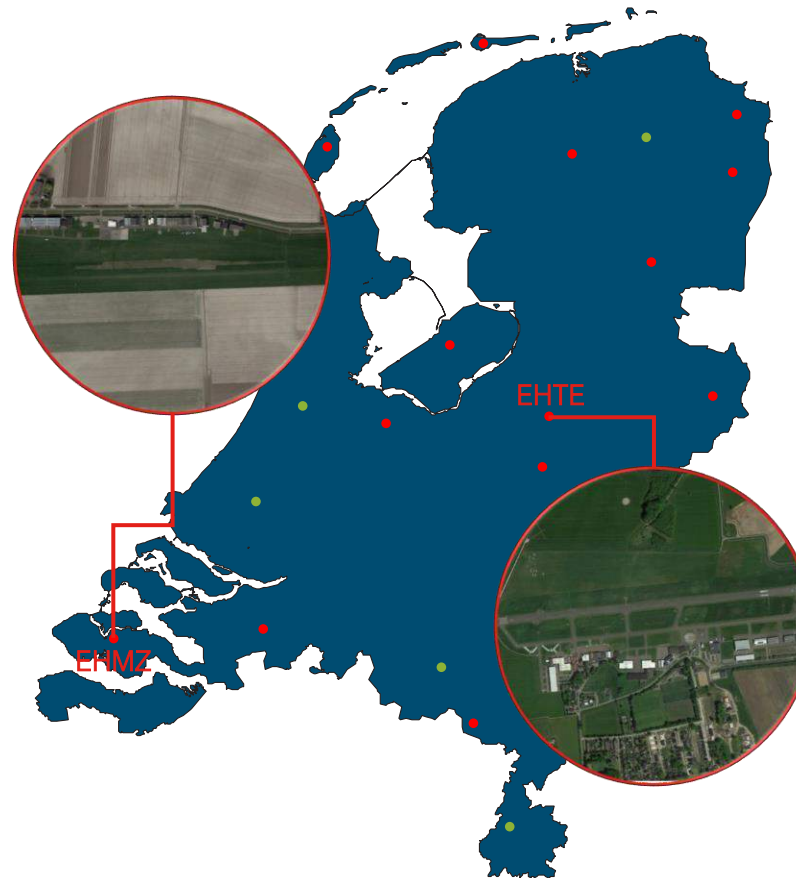
Maastricht Aachen Airport

- Start- en landingsbaan: 2.750 m (verhard)
- Aantal passagiers (2022): 266 duizend ^[19]
- Aantal vliegtuigbewegingen (2022): 14 duizend ^[19]
- Toegestane vliegtuigtypen: t/m ICAO code E
- Verkeerstypen: GA, commercieel, vracht
- Vliegclubs en –scholen: aanwezig ^[20]

Inventarisatie van luchthaveninfrastructuur

Luchthaven Midden-Zeeland

- Start- en landingsbaan: 1.000 m (onverhard)
- Aantal vliegtuigbewegingen per jaar: 34 duizend ^[15]
- Toegestane vliegtuigtypen: t/m ICAO code B, tot 6.000 kg MTOW
- Verkeerstypen: GA (exclusief straalvliegtuigen)
- Vliegclubs en –scholen: aanwezig ^[21,22,23]



Luchthaven Teuge

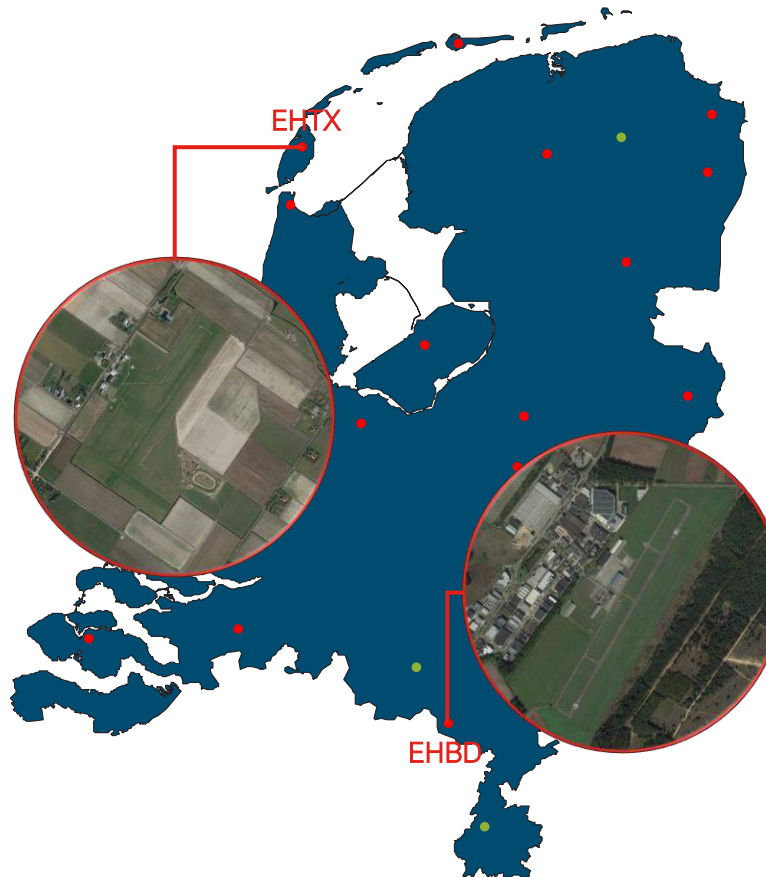
- Start- en landingsbaan: 1.199 m (verhard)
- Aantal vliegtuigbewegingen per jaar: 69 duizend ^[15]
- Toegestane vliegtuigtypen: t/m ICAO code B
- Verkeerstypen: GA
- Vliegclubs en –scholen: aanwezig ^[24,25]

Figuur 2.4: Locatie van EHMZ en EHTe

Inventarisatie van luchthaveninfrastructuur

Luchthaven Texel

- Start- en landingsbanen: 2 banen aanwezig, maximale lengte van 1.109 m (beide onverhard)
- Aantal vliegtuigbewegingen per jaar: 32 duizend ^[15]
- Toegestane vliegtuigtypen: vliegtuigen tot 6.000 kg MTOW inclusief zweefvliegtuigen
- Verkeerstypen: GA (exclusief straalvliegtuigen)
- Vliegclubs en –scholen: aanwezig ^[24,26]



Figuur 2.5: Locatie van EHTX en EHBD

Luchthaven Budel

- Start- en landingsbanen: 2 banen aanwezig, maximale lengte van 1.199 m (de langere baan is verhard, de kortere onverhard)
- Aantal vliegtuigbewegingen per jaar: 47 duizend ^[15]
- Toegestane vliegtuigtypen: t/m ICAO code B
- Verkeerstypen: GA
- Vliegclubs en –scholen: aanwezig ^[27]

Inventarisatie van luchthaveninfrastructuur

Luchthaven Hilversum

- Start- en landingsbanen: 3 banen aanwezig, maximale lengte van 700 m (allen onverhard)
- Aantal vliegtuigbewegingen (2022): 44 duizend ^[15]
- Toegestane vliegtuigtypen: vliegtuigen tot 6.000 kg MTOW inclusief zweefvliegtuigen. Helikopters boven de 6.000 kg MTOW mogen alleen vliegen met voorafgaande toestemming.
- Verkeerstypen: GA (exclusief straalvliegtuigen)
- Vliegclubs en –scholen: aanwezig ^[28,29,30,31]



Twente Airport

- Start- en landingsbaan: 2.406 m (verhard)
- Toegestane vliegtuigtypen: t/m ICAO code E (op aanvraag)
- Verkeerstypen: GA
- Vliegclubs en –scholen: aanwezig ^[32,33]

Figuur 2.6: Locatie van EHHV en EHTW

Inventarisatie van luchthaveninfrastructuur

Luchthaven Seppe

- Start- en landingsbaan: 830 m (verhard)
- Aantal vliegtuigbewegingen (2022): 49 duizend ^[15]
- Toegestane vliegtuigtypen: vliegtuigen tot 5.700 kg MTOW. Geen gewichtsbependingen voor helikopters. Vliegtuigen met MTOW < 390 kg vereisen voorafgaande toestemming
- Verkeerstypen: GA
- Vliegclubs en –scholen: aanwezig ^[34,35,36]



Luchthaven Ameland

- Start- en landingsbaan: 860 m (onverhard)
- Aantal vliegtuigbewegingen (2022): 6 duizend ^[15]
- Toegestane vliegtuigtypen: vliegtuigen tot 6.000 kg
- Verkeerstypen: GA (exclusief straalvliegtuigen)

Figuur 2.7: Locatie van EHSE en EHAL

Inventarisatie van luchthaveninfrastructuur

Luchthaven De Kooy

- Start- en landingsbaan: 1.275 m (verhard)
- Aantal passagiers (2022): 75 duizend* [37]
- Aantal vliegtuigbewegingen (2022): 15 duizend [37]
- Toegestane vliegtuigtypen: t/m ICAO code B, helikopters
- Verkeerstypen: GA, militair
- Vliegclubs en –scholen: aanwezig [38]

**Dit passagiersaantal werd vooral gedreven door het transporteren van personen van en naar windparken op zee. Het is dus niet afkomstig van commerciële lijnvluchten.*



Figuur 2.8: Locatie van EHKD en EHTL

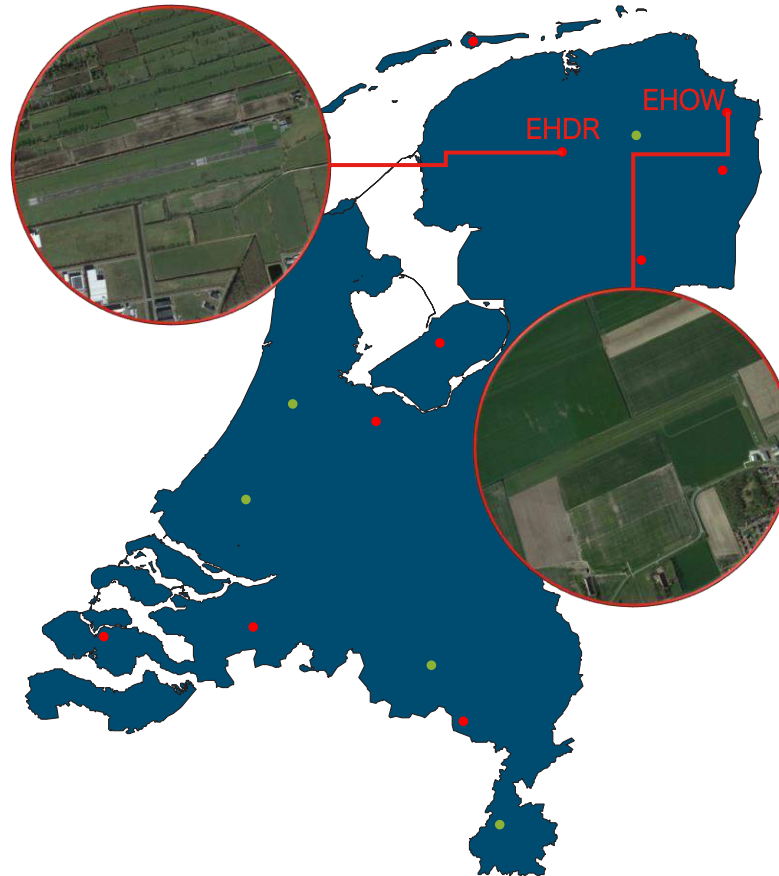
Luchthaven Terlet

- Start- en landingsbanen: 6 lier/lanceersporen, maximale lengte van 1.100 m. Voor motorzweefvliegtuigen een aparte strip
- Toegestane vliegtuigtypen: beschikbaar voor gebruik door zweefvliegtuigen en motorzweefvliegtuigen
- Verkeerstypen: GA (exclusief straalvliegtuigen)
- Vliegclubs en –scholen: voor zweefvliegen aanwezig [39,40,41]

Inventarisatie van luchthaveninfrastructuur

Luchthaven Drachten

- Start- en landingsbaan: 730 m (verhard)
- Aantal vliegtuigbewegingen (2022): 5 duizend ^[15]
- Toegestane vliegtuigtypen: vliegtuigen tot 6.000 kg MTOW
- Verkeerstypen: GA (exclusief straalvliegtuigen)
- Vliegclubs en –scholen: aanwezig ^[42,43]



Luchthaven Oostwold

- Start- en landingsbaan: 800 m (onverhard)
- Aantal vliegtuigbewegingen (2022): 6 duizend ^[15]
- Toegestane vliegtuigtypen: vliegtuigen tot 5.700 kg MTOW
- Verkeerstypen: GA (exclusief straalvliegtuigen)
- Vliegclubs en –scholen: aanwezig ^[44]

Figuur 2.9: Locatie van EHDR en EHOW

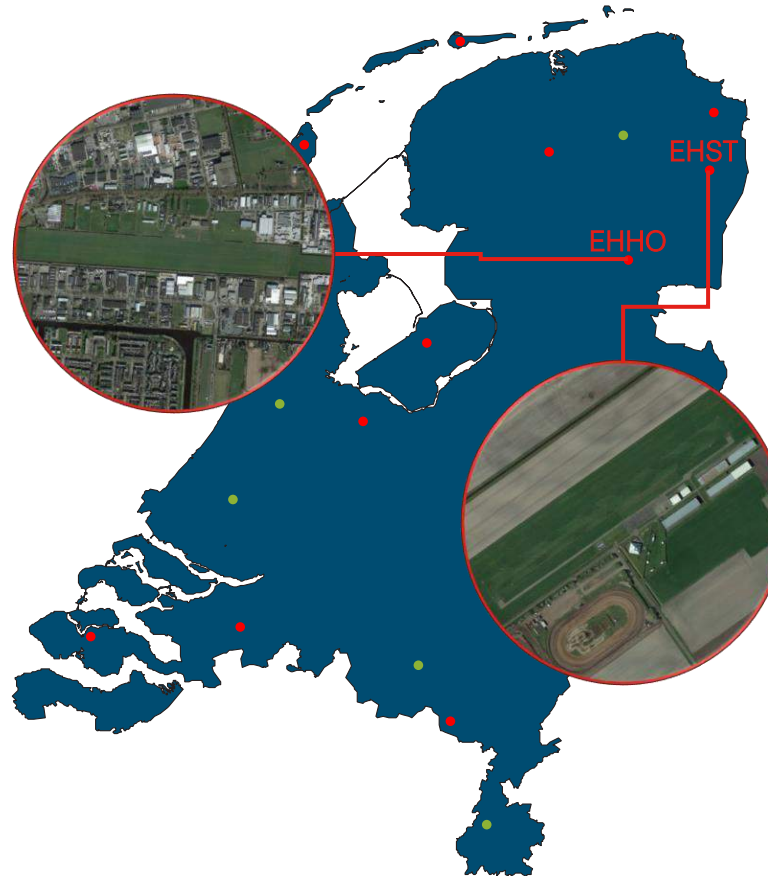
Inventarisatie van luchthaveninfrastructuur

Luchthaven Hoogeveen

- Start- en landingsbaan: 1.190 m (onverhard)
- Aantal vliegtuigbewegingen (2022): 23 duizend ^[15]
- Toegestane vliegtuigtypen: vliegtuigen tot 5.000 kg MTOW
- Verkeerstypen: GA (exclusief straalvliegtuigen)
- Vliegclubs en –scholen: aanwezig ^[45,46]

Luchthaven Stadskanaal

- Start- en landingsbaan: 500 m (onverhard)
- Toegestane vliegtuigtypen: vliegtuigen tot 890 kg en hanggliders
- Verkeerstypen: GA (exclusief straalvliegtuigen)
- Vliegclubs en –scholen: aanwezig ^[47]



Figuur 2.10: Locatie van EHHO en EHST

3. Fase 1: Luchthaven categorisering

Luchthavencategorisering

Op basis van de in hoofdstuk 2 geïntroduceerde kenmerken kan een categorisering van de luchthavens in scope van dit onderzoek worden gemaakt. Deze indeling is gebaseerd op het type verkeer dat afgehandeld wordt per luchthaven, omdat dit een impact heeft op het type alternatieve energiedrager waarmee het vervangen kan worden. Daarnaast hangt het type verkeer nauw samen met andere kenmerken zoals bijvoorbeeld de verharding van de start- en landingsbaan.

1 Categorie 1: GA-luchthavens (exclusief straalvliegtuigen)

Ameland, Drachten, Hilversum, Hoogeveen, Midden-Zeeland, Oostwold, Stadskanaal, Terlet, Texel

Binnen de eerste categorie vallen de Nederlandse luchthavens die enkel GA-verkeer kunnen verwerken, exclusief straalvliegtuigen binnen het GA-segment. Uitzonderd de luchthaven Drachten, heeft elke luchthaven binnen deze categorie de beschikking over een onverharde start- en landingsbaan. De baanlengte ligt tussen de 500 en 1.190 meter, waarmee verschillende types GA-verkeer afgehandeld kunnen worden: van zweefvliegtuigen en lesvliegtuigen, tot iets grotere vliegtuigen die parachutisten droppen, of zelfs langere, iets meer zakelijke routes kunnen bedienen.

2 Categorie 2: GA-luchthavens (inclusief straalvliegtuigen)

Budel, De Kooy, Lelystad, Seppe, Teuge, Twente

In de tweede categorie luchthavens kan het gehele GA-segment afgehandeld worden. Deze categorie omvat ook de straalvliegtuigen, of 'business jets'. Alle luchthavens binnen deze categorie hebben de beschikking over een verharde start- en landingsbaan van tussen de 830 en 2.700 meter.

3 Categorie 3: GA + commerciële luchthavens

Eindhoven, Groningen, Maastricht, Rotterdam, Schiphol

De laatste categorie omvat de vijf Nederlandse luchthavens die commerciële passagiers- en/of vrachtluchten af kunnen handelen. Het betreft hier vaak reguliere lijndiensten, echter vallen eventuele chartervluchten hier ook onder. Gezien de faciliteiten kan ook het volledige GA-verkeer afgehandeld worden. De lengte van de verharde start- en landingsbanen varieert van 2.199 tot 3.800 meter.

A Categorie A: Pionier luchthaven(s)

Elektrisch: Rotterdam, Teuge

Waterstof: Rotterdam, Groningen

SAF: Schiphol

Naast de drie reguliere categorieën zal er in dit onderzoek ook kort aandacht worden geschonken aan zogenoemde pionier luchthavens. Deze luchthavens hebben als kenmerk dat deze vroeg bij nieuwe ontwikkelingen betrokken zijn of hierin geïnvesteerd hebben. Ze zijn vaak ook betrokken bij testen van nieuwe, nog niet gecertificeerde technologieën. Er zou dus binnen deze categorie van 'voorlopers' gesproken kunnen worden, waarna overige luchthavens deze stappen zelf ook kunnen nemen, na succesvolle tests.

De luchthavens in deze categorie zijn ingedeeld op basis van twee criteria. Ten eerste is gekeken of er momenteel laad- en tankinfrastructuur aanwezig is voor de specifieke energiedrager. Naast deze infrastructuur is ook gekeken naar het aantal vliegtuigbewegingen die structureel worden uitgevoerd met deze specifieke technologie. Incidentele (test)vluchten worden hier niet onder gerekend. Voor waterstof is dit in mindere mate van belang, aangezien deze technologie nog geen vluchten toestaat.

NB: ondanks dat vier luchthavens expliciet genoemd worden binnen deze categorie, betekent dit niet dat de samenstelling van deze categorie kan veranderen in de toekomst. Het is een momentopname op basis van gevonden informatie.

4. Inventarisatie van elektrische luchthaveninfrastructuur

Inventarisatie van het landelijke elektriciteitsnetwerk

Behalve in delen van de Randstad en Groningen is er vrijwel geen capaciteit beschikbaar op het huidige elektriciteitsnetwerk

Naast dat de civiele infrastructuur en aanwezige faciliteiten een limitatie kunnen vormen voor toekomstige vliegtuigen, zal ook de elektrische infrastructuur meegenomen moeten worden. Hierbij wordt eerst gekeken naar de algemene landelijke situatie in Nederland, waarna ook lokaal, nabij de luchthaven, wordt ingegaan op de beschikbare capaciteit van het elektriciteitsnetwerk. Als laatste zal ook worden bekeken welke laadinfrastructuur reeds aanwezig is op de Nederlandse luchthavens.

Landelijke netcongestie

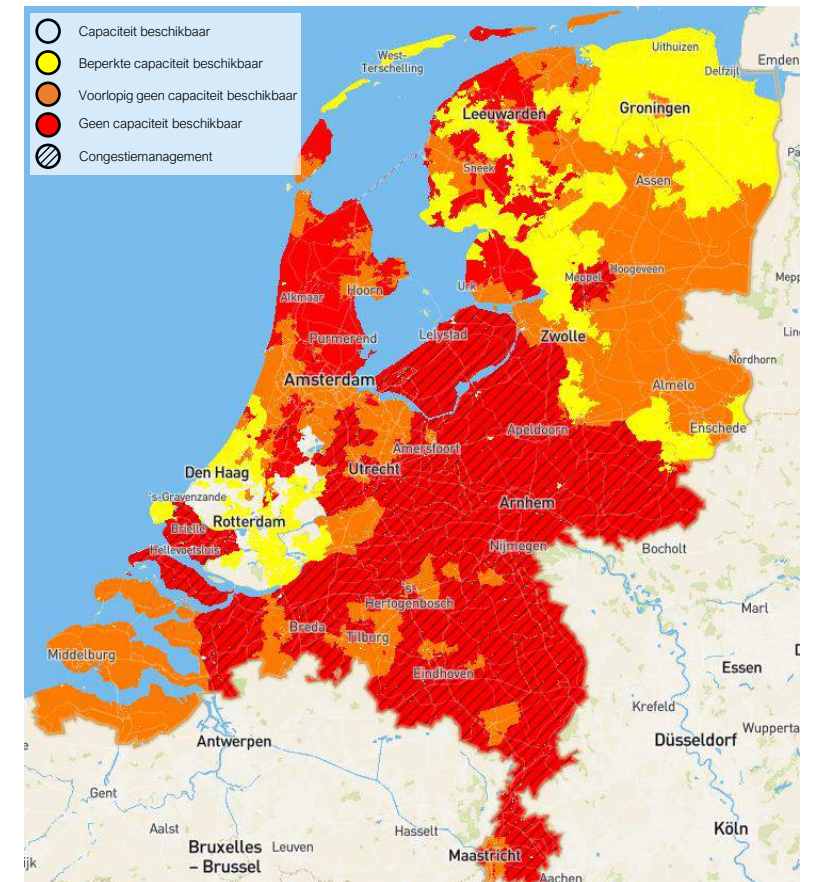
In Nederland wordt de komende jaren tot 2030 een gemiddelde stijging van 3% verwacht van de totale elektriciteitsafname [48]. Naast dat de energievraag hoger wordt, zal ook de elektriciteitstoevoer toenemen door de opwekking van stroom van bijvoorbeeld zonnepanelen of windturbines. Dit heeft als gevolg dat de druk op het nationale elektriciteitsnetwerk toeneemt.

Voor luchthavens kan de extra energievraag bijvoorbeeld voortkomen uit de laadvraag van elektrische vliegtuigen of grondvoertuigen, maar bijvoorbeeld ook van systemen in de waterstofketen (opslag, productie, etc.; zie hoofdstuk 7 tot en met 9). Hierbij hebben elektrische infrastructurele aspecten dus een impact op het (kunnen) faciliteren van nieuwe technologische ontwikkelingen.

Een indicatie van beschikbare netcapaciteit wordt gegeven in figuur 4.1. Deze kaart laat zien waar de netcongestie (de term om aan te duiden in welke mate de maximale capaciteit bereikt is) momenteel het hoogst is per regio in Nederland. In deze figuur duidt een oranje kleur aan dat er voorlopig geen capaciteit beschikbaar is, in afwachting van netcongestiemanagement. Dit houdt in dat er wordt onderzocht of er op een slimme manier nog capaciteit vrijgemaakt kan worden.

In grote delen van Nederland is er in de huidige situatie (voorlopig) geen capaciteit beschikbaar. Alleen enkele noordelijke regio's en de (zuidelijke) Randstad tonen nog beperkte capaciteit. Aangezien vrijwel elke luchthaven nu voor het grootste deel afhankelijk is van het lokale elektriciteitsnetwerk, zal dit weinig groeimogelijkheden bieden voor toekomstige energiedragers op basis van de verwachte toenemende energievraag.

Momenteel staat de vliegtuigtechnologie van de alternatieve energiedragers nog in de kinderschoenen. In de volgende hoofdstukken zal per energiedrager duidelijk worden wanneer welke energievraag wordt verwacht. Deze vraag zal toenemen en dit zal dus invloed hebben op de druk op het nationale elektriciteitsnetwerk, in zowel de nabije als de verdere toekomst. Figuur 4.1 zal daarom veranderen naar aanleiding van deze energievraag en mogelijke capaciteitsuitbreidingen van het net in de toekomst.



Figuur 4.1: Indicatief overzicht van netcongestie in Nederland (28-11-2023) [49]

Inventarisatie van het elektriciteitsnetwerk rondom luchthavens

Per dekkinggebied kan gekeken worden naar de huidige en toekomstige verwachte capaciteit

Lokale netcapaciteit

Op een lokaal niveau kan ook gekeken worden hoeveel capaciteit op het elektriciteitsnetwerk nog beschikbaar is. Dit wordt gedaan op basis van openbare informatie van de regionale netbeheerders over het dichtstbijzijnde hoogspanningsstation. De informatie van deze stations is vooral geschikt voor grote energievragen en de verstrekte getallen zeggen dus minder over de kleinere aansluitingen van bijvoorbeeld meer huishoudelijke aard.

Data is verstrekt over de huidige gebruikte en beschikbare capaciteit. Dit omvat alle (grotere) lokale aansluitingen en energievragen per hoogspanningsstation. Voor enkele luchthavens zal dit dus ook inclusief de huidige energievraag zijn van het opladen van elektrische vliegtuigen, grondvoertuigen of elektrische auto's.

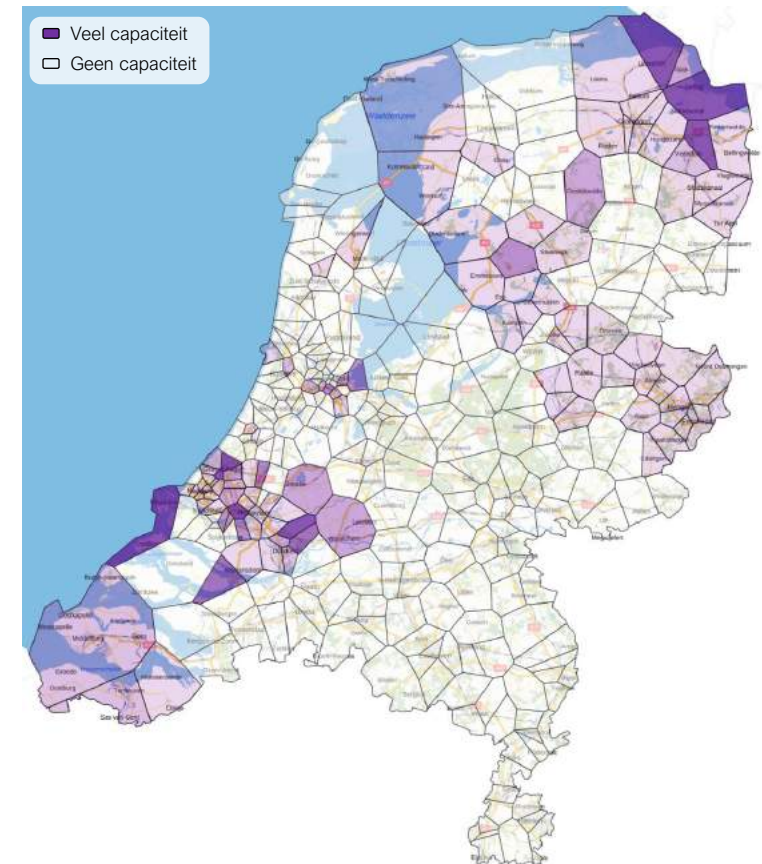
Naast de huidige situatie, is ook de situatie over vijf jaar meegenomen waarbij de netbeheerders de verwachte gebruikte capaciteit en de verwachte beschikbare capaciteit per station hebben vastgesteld. Hierbij zijn ook de huidige geplande investeringen voor capaciteitsuitbreiding meegenomen. Daarnaast kunnen in de toekomstige situatie ook al toegekende capaciteitsvragen zitten van bijvoorbeeld nog te bouwen grootgebruikers zoals fabrieken of

datacenters.

De verwachte verhoogde energievraag is hierin niet meegenomen.

De capaciteit wordt gegeven in MVA (Mega Volt-Ampère, equivalent aan megawatt). Dit zal een eerste indicatie geven, echter is voor een gedetailleerder beeld het gehele lokale netwerk inclusief sub-stations nodig.

Figuur 4.2 geeft de beschikbare capaciteit per dekkinggebied, eind 2023, van alle hoogspanningsstations in Nederland aan. Te zien is dat deze data in grote lijnen overeenkomt met de informatie getoond in figuur 4.1. Hierbij kan men tot dezelfde conclusie komen dat op dit moment in het grootste deel van Nederland weinig tot geen afnamecapaciteit beschikbaar is op het elektriciteitsnetwerk.



Figuur 4.2: Indicatief overzicht van beschikbare capaciteit per dekkinggebied van elk hoogspanningsstation (22-12-2023) [50]

Inventarisatie van het elektriciteitsnetwerk rondom luchthavens

De meeste Nederlandse luchthavens hebben zowel in de huidige situatie als over vijf jaar geen tot beperkte capaciteit op het lokale elektriciteitsnetwerk

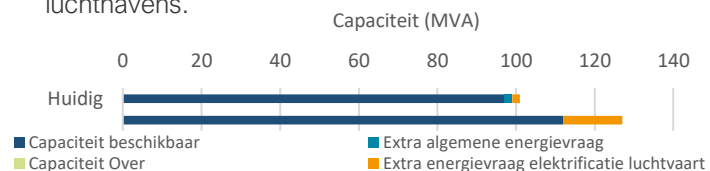
In figuur 4.3 is de informatie van het dichtstbijzijnde hoogspanningsstation van elke luchthaven weergegeven. Voor Schiphol geldt dat er meerdere stations het gehele luchthaventerrein dekken. Er is daarom gekozen om de gegevens van het station, dat de meeste terminalgebieden dekt, te gebruiken.

Zoals blijkt uit de figuur zijn dertien luchthavens te onderscheiden die in de huidige en toekomstige situatie weinig tot geen capaciteit beschikbaar hebben op het dichtstbijzijnde hoogspanningsstation. Daarnaast valt op dat binnen de overige zeven luchthavens, vier luchthavens alleen over vijf jaar capaciteit beschikbaar hebben op het dichtstbijzijnde hoogspanningsstation om aan een mogelijke verhoogde energievraag te voldoen. Hoogspanningsstations bij drie luchthavens tonen zowel in de huidige als in de toekomstige situatie beschikbaarheid van capaciteit om aan een grotere energievraag te voldoen.

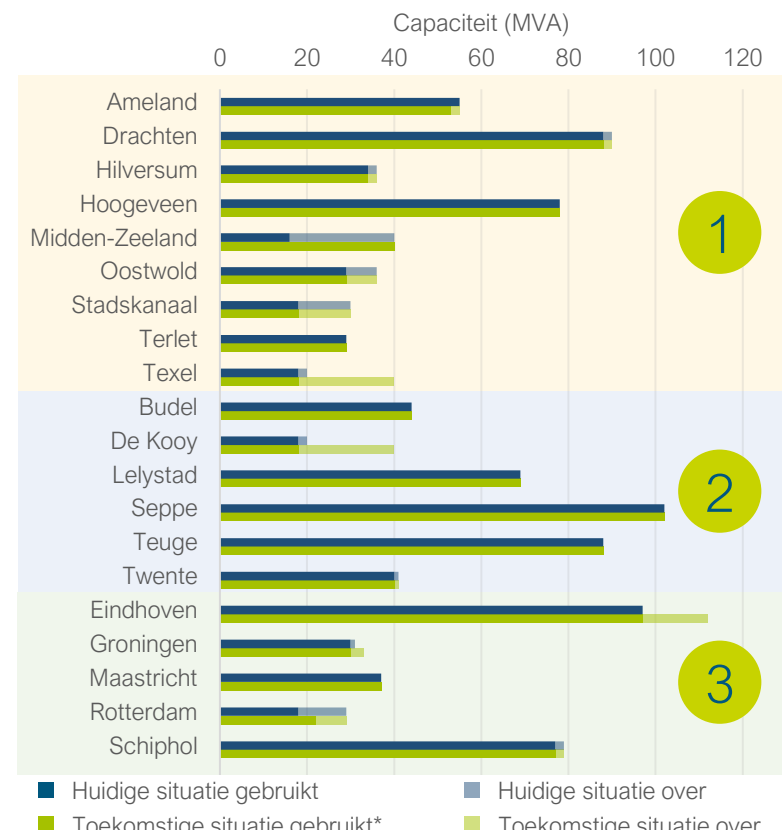
Hieruit blijkt dus dat op het overgrote deel van de luchthavens er momenteel geen ruimte is om aan een verhoogde elektriciteitsvraag te voldoen. Ontwikkelingen die dus nu al een verhoogde vraag met zich mee brengen, zoals de elektrificatie van grondvoertuigen, kunnen daardoor deels of helemaal niet uitgevoerd worden. Ondanks dat de situatie over vijf jaar zal verbeteren, zal het elektriciteitsnetwerk nog steeds niet in staat zijn om bij meer dan de helft van de luchthavens aan een verhoogde

electriciteitsvraag te voldoen.

Juist omdat de technologie van de energiedragers in de luchtvaart zich nog verder ontwikkelt, wordt de energievraag hoger. Figuur 4.3 toont, in een hypothetisch voorbeeld, deze situatie voor de luchthaven Eindhoven. Hierin is in de huidige situatie al niet voldoende ruimte om aan de laadvraag van grondvoertuigen te voldoen. Dit geldt ook voor een algemene extra energievraag van andere partijen. In de toekomstige situatie kan er mogelijk worden voldaan aan de extra energievraag van andere partijen (door uitbreiding van het hoogspanningsstation), echter blijft er onvoldoende ruimte over om aan de laadvraag van elektrisch vliegen en elektrische grondvoertuigen te voldoen. Mocht er wel capaciteit beschikbaar zijn, betekent dit dus ook dat de beschikbare capaciteit verdeeld moet worden over de luchthaven en andere verhoogde behoeften. Voor luchthavens blijft er dan minder over om een duurzamere luchtvaart te faciliteren. Het uitbreiden van de capaciteit op het elektriciteitsnetwerk is dus cruciaal voor de ontwikkeling en infasering van nieuwe technologie die een verhoogde energievraag met zich mee brengt op luchthavens.



Figuur 4.3: Situatie van de luchthaven Eindhoven, waarin een extra hypothetische energievraag is toegevoegd aan de gegevens uit figuur 4.4.



Figuur 4.4: Indicatief overzicht van huidige beschikbare capaciteit per dichtstbijzijnde hoogspanningsstation van de luchthavens en de 5-jarige geplande investeringen (22-12-2023)^[50] * De 'toekomstige situatie gebruikt' bevat niet de verwachte toenemende energievraag

Inventarisatie van laadinfrastructuur op luchthavens

Op de luchthavens Lelystad, Rotterdam en Teuge is een laadvoorziening voor de Pipistrel Velis Electro aanwezig op permanente basis

Naast het elektriciteitsnetwerk en beschikbare capaciteit, is geïnventariseerd welke luchthavens reeds beschikking hebben over laadinfrastructuur voor elektrische vliegtuigen. Hierbij kan onderscheid gemaakt worden tussen luchthavens die permanent een laadstation in gebruik hebben en luchthavens die de mogelijkheid hebben om, wanneer nodig, een laadstation aan te sluiten.

Permanente laadfaciliteiten

In Nederland bestaan drie luchthavens waar op dit moment permanent laadinfrastructuur aanwezig is [24, 51, 52]. Hierbij kan de luchthaven Teuge gezien worden als voorloper door de aanwezigheid van de enige elektrische vliegschool van Nederland. In totaal worden hier vier elektrische vliegtuigen gebruikt die hiervoor laadinfrastructuur nodig hebben. Ook Rotterdam beschikt over een vaste laadvoorziening om onderzoek te doen en om verdere (praktische) kennis op te doen met elektrische lesvluchten. Ten slotte heeft de luchthaven Lelystad de beschikking over een laadstation die bezoekende vliegtuigen kan opladen.

Op alle drie de luchthavens is de laadvoorziening specifiek voor de Pipistrel Velis Electro en (nog) niet compatibel met andere vliegtuigen. Het specifieke laadstation kan een maximaal vermogen van 20 kW leveren [53]. In vergelijking: snelladers voor auto's kunnen op dit moment al 400 kW

halen [54]. Door wielen in het onderstel kan de lader dichtbij het vliegtuig worden geplaatst waarna de laadkabel aangekoppeld kan worden. Naast een aansluiting aan het vliegtuig, zal de lader ook aangesloten moeten worden op een stroomvoorziening van minimaal 30 ampère en 130-400 volt (3-fase). Deze 'krachtstroom' met bijbehorende connectoren, anders dan het huis-tuin-en-keukenstopcontact, is vereist op de luchthaven voor gebruik. Op dit moment lopen de kabels van laadstation tot stopcontact nog volledig over de grond, zowel in hangaars als op luchtzijdige vliegtuigopstelplaatsen.



Figuur 4.5: Het mobiele laadstation voor de Velis Electro [55]



Figuur 4.6: Overzicht van luchthavens met permanente laadvoorziening ten behoeve van elektrische vliegtuigen

Inventarisatie van laadinfrastructuur op luchthavens

Negen luchthavens hebben in de geschiedenis laten zien dat zij een laadvoorziening voor de Velis Electro kunnen aansluiten, deze lader is niet op permanente basis aanwezig

Aansluitmogelijkheden voor laadfaciliteiten

Naast dat er Nederlandse luchthavens zijn met een laadstation voor de Velis Electro met compatibele (net)aansluiting, zijn er meerdere luchthavens die al hebben bewezen een laadstation aan te kunnen sluiten. Voor het opladen van elektrische vliegtuigen op deze luchthavens zal het laadstation ofwel meegenomen dienen te worden, ofwel via een andere weg naar de luchthaven moeten worden gebracht.

De luchthavens Schiphol, Eindhoven, Maastricht, Hoogeveen, Seppe, Budel, Texel, Twente en Groningen hebben in het verleden ook vluchten afgehandeld van de eerder benoemde Pipistrel [56,57,58]. Het ging hierbij niet om een permanente operatie, maar om tijdelijke of incidentele vluchten. Op Schiphol betrof dit bijvoorbeeld laadvoorzieningen om twee dagen lang tussen deze luchthaven en de luchthaven Lelystad te vliegen ter kennismaking van elektrische luchtvaart. De luchthavens Texel en Twente hebben beide een tijdelijke operatie van elektrische lesvluchten gefaciliteerd.

Op al deze luchthavens is de elektrische infrastructuur dus op een zodanig niveau aanwezig dat in ieder geval de Velis Electro opgeladen kon worden. Soortgelijke laadstations voor andere (toekomstige) elektrische vliegtuigen zouden dus ook aangesloten kunnen worden, mits de connectoren

compatibel zijn en voldoende vermogen geleverd kan worden. In de komende jaren worden echter elektrische vliegtuigen verwacht die een grotere vermogens- en energievraag hebben. De huidige elektrische infrastructuur zal dan verbeterd moeten worden om deze toekomstige vliegtuigen compatibel te kunnen laden. Deze toekomstige vraag wordt verder toegelicht in hoofdstuk 5.



Figuur 4.7: Stroomvoorziening ten behoeve van laadvoorzieningen van elektrische vliegtuigen op Groningen Airport Eelde [59]



Figuur 4.8: Overzicht van luchthavens met enkel een compatibel aansluitpunt voor een laadvoorziening ten behoeve van elektrische vliegtuigen

5. Ontwikkelingen elektrisch vliegen

Ontwikkelingen elektrisch vliegen

Elektrische luchtvaarttechnologie wordt gedreven door de energiedichtheid van batterijen, die verwacht wordt te verbeteren

Nadat een beeld is geschetst van de aanwezige laadinfrastructuur voor elektrische vliegtuigen, richt dit hoofdstuk zich op de huidige en toekomstige ontwikkelingen op het gebied van elektrisch vliegen. Hierbij wordt eerst een korte algemene introductie gegeven over elektrische vliegtuigtechnologie, en achtergrond worden gegeven met betrekking tot batterijtechnologie en hybride-technologie. Daarna zal verder uiteen worden gezet wat voor type vliegtuigen er verwacht worden in de komende jaren. Als laatst zullen de vliegtuig types gekoppeld worden aan de benodigde infrastructuur en het specifieke laadvermogen.

Batterijen en energiedichtheid

Binnen deze studie wordt 'elektrisch vliegen' aangemerkt als vliegtuigen die geheel of gedeeltelijk worden aangedreven door energie opgeslagen in een batterij (of in andere bewoording, een accu). Het verschil met conventionele vliegtuigen is dat kerosine vervangen wordt door een batterij als energiedrager. Naast dat deze verandering een positieve bijdrage levert door geen emissies uit te stoten tijdens de vlucht, brengt het ook een significant nadeel met zich mee. Doordat de energiedichtheid (hoeveelheid energie per massa) van kerosine vele malen hoger ligt dan de huidige energiedichtheid van batterijen, zal er meer massa meegenomen moeten worden aan boord om dezelfde

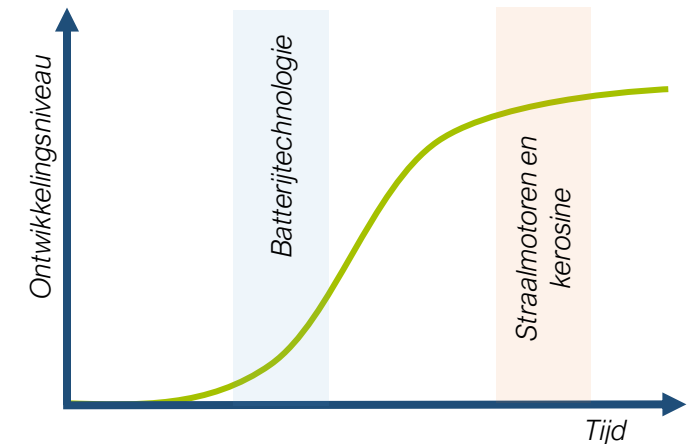
hoeveelheid energie mee te nemen.

Vanwege efficiëntie en duurzaamheid wordt er binnen de luchtvaart naar gestreefd het gewicht van een vliegtuig zo laag mogelijk te houden. Het idee hierachter is dat met minder massa aan boord, er minder brandstof nodig is voor een vlucht en dus minder uitstoot en kosten zullen worden gerealiseerd. Een omschakeling naar batterijen zou dus op dat vlak minder gunstig zijn.

Op dit moment ligt de energiedichtheid van kerosine op 12 kWh/kg [60,61]. De energiedichtheid van de huidige batterijtechnologie ligt tussen de 0.25 en 0.3 kWh/kg [62,63]. Er is dus 40 tot 50 keer meer massa aan batterijen nodig in vergelijking tot kerosine. Kijkend naar de gehele energieketen zal deze factor in de praktijk lager liggen door een efficiëntere werking van elektrische aandrijving.

Ondanks dat dit als een groot verschil kan worden aangemerkt, zal ook rekening gehouden moeten worden met de verschillen in efficiëntie van de verschillende typen aandrijving. De technologie rondom straalmotoren en kerosine is de laatste decennia al doorontwikkeld tot een hoog niveau. Hierbij zullen in de toekomst geen echte grote ontwikkelingen meer verwacht worden op basis van de S-curve weergegeven in figuur 5.1. Echter bevindt batterijtechnologie zich in een eerder stadium van ontwikkeling. De verwachting is dat de energiedichtheid nog

verder zal toenemen. Batterijen die nu gecertificeerd zijn en in de toekomst vervangen worden door een 'beter' type, zullen dan met hetzelfde gewicht, meer energie op kunnen slaan. Voor laadinfrastructuur betekent dit dat deze op deze capaciteitsgroei zal moeten aansluiten in de toekomst.



Figuur 5.1: Indicatie van de plaatsing van batterijtechnologie en straalmotoren/kerosine op de S-curve

Ontwikkelingen elektrisch vliegen

Bij hybride elektrische luchtvaarttechnologie wordt naast een batterij ook een tweede energiedrager gebruikt om voorstuwing mogelijk te maken

Hybride elektrische technologie

Naast dat er volledige elektrische vliegtuigen bestaan die enkel gebruik maken van een batterij als energiebron, is er ook de parallelle ontwikkeling van hybride elektrische vliegtuigen. Hierbij wordt maar een deel van de benodigde voorstuwingsenergie gehaald uit batterijen en komt het andere deel uit een andere energiedrager. Deze andere vorm van energie kan bijvoorbeeld conventionele kerosine of SAF zijn, maar bijvoorbeeld ook waterstof. Bij gebruik van deze alternatieven zal er dus, naast elektrische laadinfrastructuur, ook een vraag zijn naar laad- en/of tankinfrastructuur voor de andere energiedrager op de luchthaven.

Het grote voordeel ten opzichte van volledig batterij-elektrisch is dat met hybride-elektrische technologie het bereik en ladingscapaciteit van het vliegtuig wordt vergroot ten opzichte van volledig batterij-elektrisch. Dit komt met name door het wegnemen van een deel van de zwaardere batterij(en) ten gunste van een lichtere energiedrager. Onderscheid kan gemaakt worden tussen hybride-elektrische technologie waarbij batterijen alleen de energie leveren voor een deel van de vlucht (voornamelijk taxiën, opstijgen en klimmen naar kruishoogte; 1^e generatie) en hybride elektrische technologie waarbij de batterijen gebruikt kunnen worden voor de gehele vlucht, maar waarbij een tweede energiedrager aanwezig is als reservebrandstof

of om het bereik te vergroten (2^e generatie). Bij de 1^e generatie zal de laadvraag lager liggen dan bij volledig batterij-elektrisch.

Brandveiligheid

De overgang van kerosine naar batterij-elektrisch brengt ook veranderingen op het gebied van brandveiligheid met zich mee. De karakteristieken van een vlamgevatte batterij zijn anders dan een kerosinebrand, wat mogelijk ook andere procedures of brandbestrijdingsmiddelen met zich meebrengt. Wanneer luchthavens willen inspelen op deze technologieën is het aan te raden zich hier op voor te bereiden.

Ontwikkelingen elektrisch vliegen

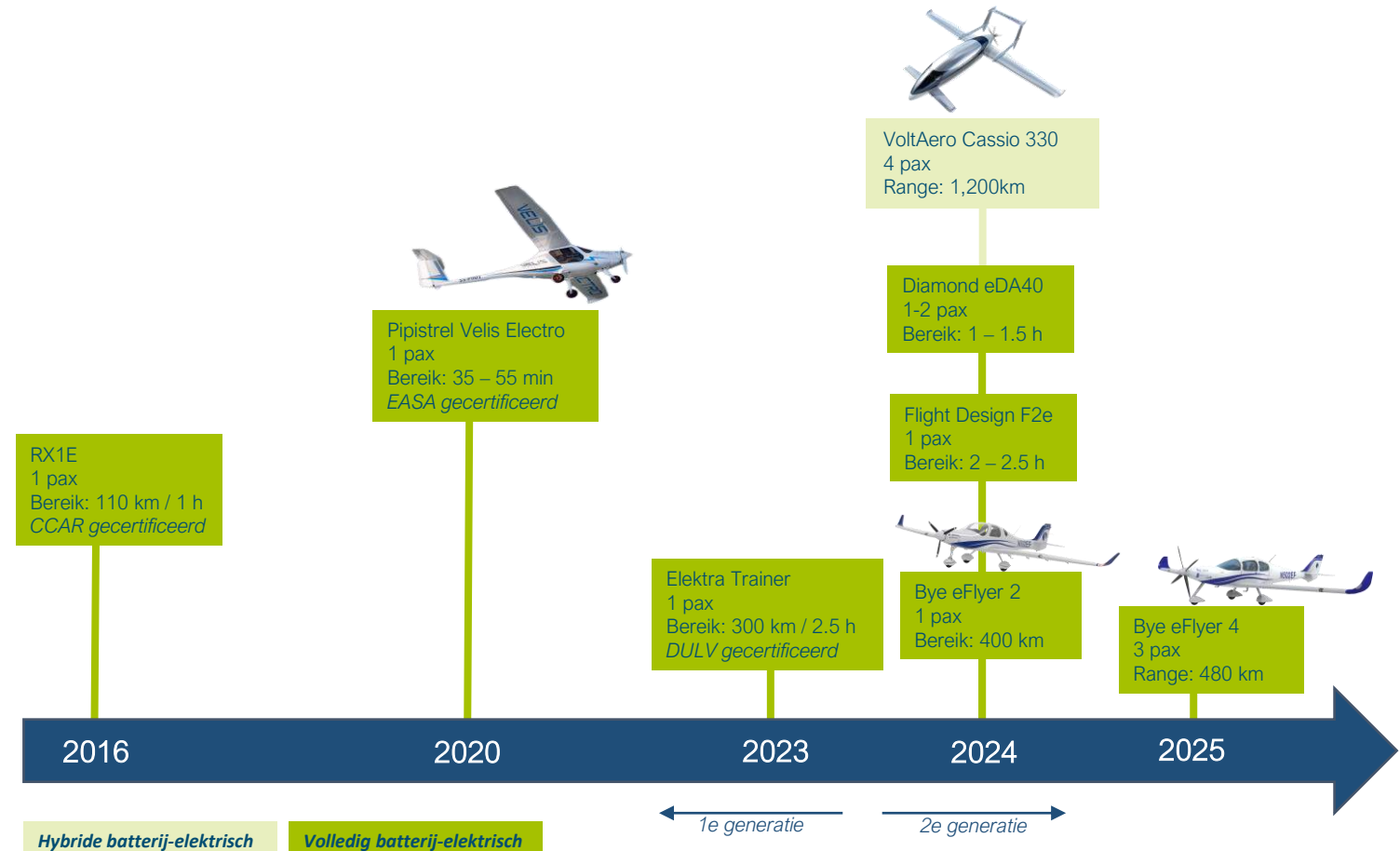
Voor GA-verkeer heeft volledig batterij-elektrisch de overhand

General Aviation vliegtuigen

De genoemde technologieën worden reeds toegepast in bestaande en in ontwikkeling zijnde fysieke vliegtuigtypen. In afbeelding 5.2 wordt een tijdlijn weergegeven van het (verwachte) certificeringsjaar van elektrisch aangedreven vliegtuigen die bestemd zijn voor General Aviation.

In China is het eerste type in 2016 al nationaal gecertificeerd en geïntroduceerd. Het betreft een vliegtuig voor de opleiding van piloten. Datzelfde doel heeft ook het eerste Europese type van het Sloveense Pipistrel. Dit vliegtuig is Europees gecertificeerd door EASA. Beide vliegtuigtypen vliegen op volledig batterij-elektrische technologie. In 2023 is in Duitsland een certificaat afgegeven aan de Elektra Trainer. Met dit certificaat mag alleen recreatief worden gevlogen en piloten mogen met dit type toestel niet opgeleid worden.

In de toekomst zal de lijn die nu is ingezet door worden getrokken met de toevoeging van tweede generatie GA-toestellen. De komende jaren worden in dit verkeerssegment meerdere nieuwe vliegtuigtypen verwacht die vrijwel allemaal volledig batterij-elektrische technologie ingebouwd hebben en het voornaamste doel hebben om piloten op te leiden. Afhankelijk van de vorderingen in batterijtechnologie kan deze focus ook langzaam naar langere recreatieve vluchten met een grotere energie- en vermogensvraag.



Figuur 5.2: Overzicht van verwachte certificering van batterij-elektrische GA-vliegtuigen (indicatief, niet compleet)
[64,65,66,67,68,69,70,71]

Ontwikkelingen elektrisch vliegen

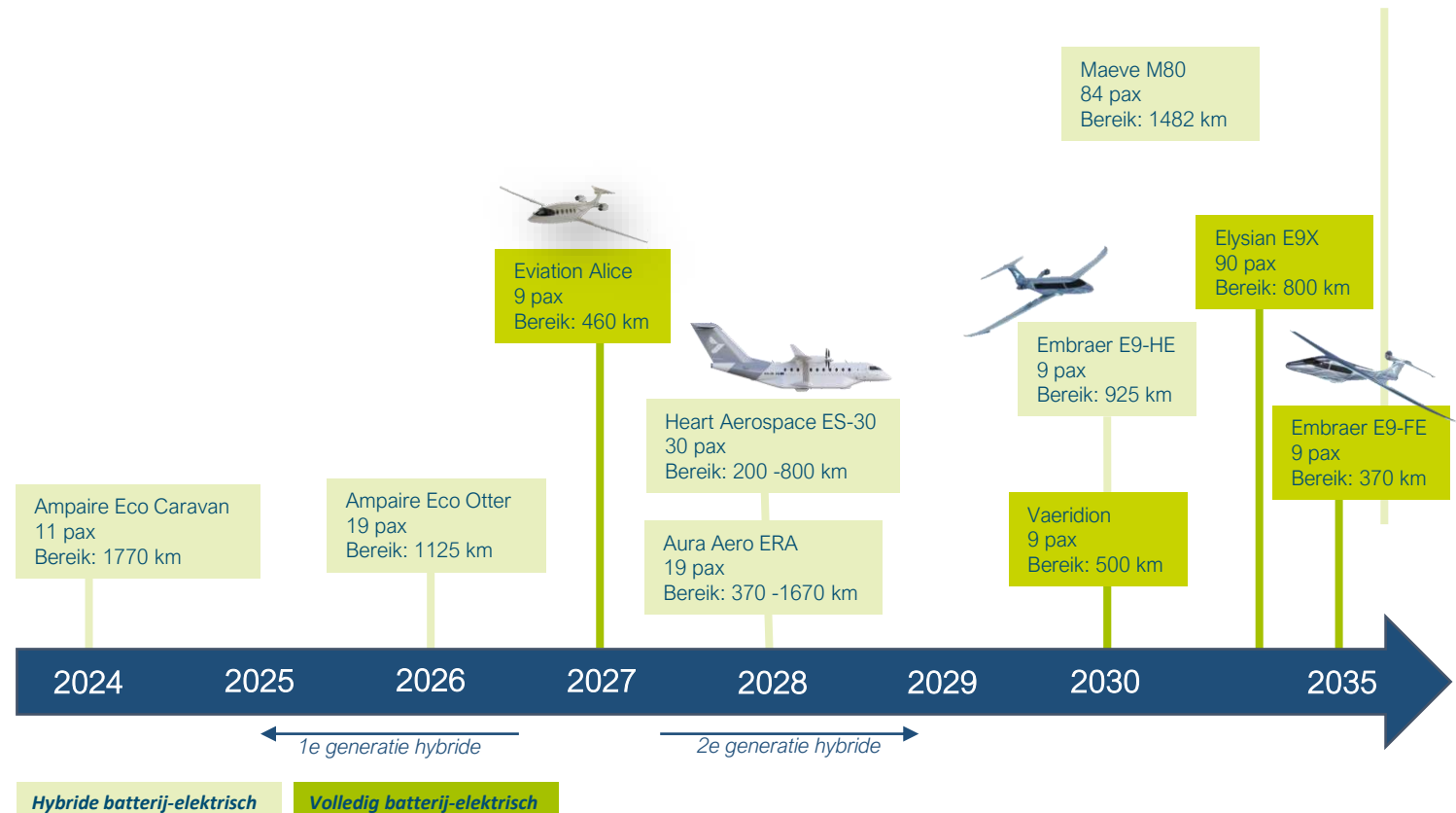
Hybride-elektrische technologie heeft verleden jaar de overhand genomen binnen de commerciële luchtvaart

Commerciële vliegtuigen

Waar de eerste GA-vliegtuigen reeds gecertificeerd zijn, is dat bij de meer commercieel georiënteerde vliegtuigen anders. In deze categorie, die toekomstige passagierstoestellen en meer zakelijk GA-verkeer behelst, moet certificering nog voor het eerst plaatsvinden. De tijdlijn rechts geeft de huidige verwachte certificeringsjaren aan per vliegtuigtype.

De verwachte volledig batterij-elektrische toestellen kunnen 9 passagiers meenemen aan boord over afstanden tot 500 kilometer. Voor de hybride-elektrische toestellen ligt de capaciteit hoger: tot 50 passagiers en een bereik tot ongeveer 1.800 kilometer.

In 2023 heeft er een verandering plaatsgevonden waarbij de voorkeur is veranderd van het type batterij-elektrische technologie. In dit jaar hebben meerdere fabrikanten de keuze gemaakt om van een volledig batterij-elektrisch ontwerp over te stappen op een hybride-elektrisch toestel. Dit kan mogelijk te maken hebben met het feit dat op dit moment een hybride elektrisch vliegtuig een groter marktaandeel (langere routes, met meer passagiers) kan faciliteren dan de volledig batterij-elektrische toestellen.



Figuur 5.3: Overzicht van verwachte certificering van batterij-elektrische commerciële vliegtuigen (indicatief, niet compleet) [72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81]

Ontwikkelingen elektrisch vliegen

Technologie op het gebied van elektrische aandrijving komt steeds vaker voor bij nieuwe generatie vliegtuigen, grondvoertuigen of het nieuwere concept van Regional Air Mobility

Regional Air Mobility

Naast de meer conventionele vliegtuigmodellen die op dit moment ontworpen worden of zijn met elektrische aandrijving, is er ook een ontwikkeling gaande binnen de luchtvaart: Regional Air Mobility. Hierbij wordt er vaak gesproken over 'drones', 'air taxi's' of 'eVTOLs'. Deze nieuwe luchtvaartuigen hebben een net ander doel dan de conventionele luchtvaart. Binnen het concept van Regional Air Mobility wordt de nadruk vooral gelegd op het vervoeren van personen of goederen binnen een kleinere regio en krijgen de kleinere luchthavens een prominentere rol. Verder wordt er minder gekeken naar het vervangen van conventionele vliegtuigen, maar wordt het gezien als een toevoeging of aanvulling.

Aangezien dus ook de kleinere regionale luchthavens hierin een rol hebben, zal dit eisen voor de infrastructuur met zich meebrengen. Vooral zal zich dit richten op laadinfrastructuur voor elektrische luchtvaartuigen binnen dit segment. Momenteel worden er met dit type luchtvaartuigen meerdere testvluchten gedaan in het buitenland. De certificatie van de eerste commerciële toestellen wordt over ongeveer drie tot vijf jaar verwacht.

Helaas is er op dit moment nog relatief weinig bekend over de specificaties van deze nieuwe luchtvaartuigen. Daarom wordt er in deze studie uit gegaan van het meest

conservatieve scenario qua infrastructuur en wordt Regional Air Mobility geschaard onder het commerciële verkeer.

Grondvoertuigen

Ook op de luchthaven zelf worden maatregelen genomen om duurzamer te werk te gaan. Dit omvat ook alle grondvoertuigen die op het luchthaventerrein gebruikt worden. Het elektrificeren van deze voertuigen heeft hierin al een enorme vlucht genomen. Waar deze voertuigen eerst nog conventioneel getankt konden worden met vooral diesel of benzine, zullen deze nu een laadvoorziening tot hun beschikking moeten hebben. Deze laadvoorzieningen vallen veelal binnen de hekken van het luchthaventerrein en zullen in deze studie dus ook mee worden genomen.

Als er gekeken wordt naar de voertuigen die al geëlektrificeerd zijn, dan kan er een breed scala worden geïdentificeerd. Van bagagetrekkers tot toiletvoertuigen en van cateringwagens tot de lichtere sleepvoertuigen, allen worden op dit moment al elektrisch aangeboden of zelfs al gebruikt. De zwaardere voertuigen die op een luchthaven rond rijden (bijvoorbeeld zware sleepvoertuigen, tankwagens en bepaalde vrachtvoertuigen) kunnen op dit moment nog niet als elektrische equivalent worden ingezet. De verwachting is dat dit met verbeterde batterijtechnologie in de nabije toekomst wel mogelijk is.



Figuur 5.4: eVTOL ontwerp van Joby [82]



Figuur 5.5: elektrische GPU en pushback truck [83,84]

Ontwikkelingen elektrisch vliegen

De elektrische voertuigenindustrie heeft al veel praktische kennis opgebouwd

Voordat er gekeken wordt naar de specifieke laadvoorzieningen voor vliegtuigen, wordt eerst geïnventariseerd welke infrastructuur op dit moment al gebruikelijk is in de elektrische voertuigenindustrie. Op basis van deze informatie kunnen vervolgens lessen worden getrokken voor de elektrische luchtvaart.

Elektrische voertuigenindustrie

Het elektrificeren van auto's is al jaren geleden begonnen. Hierbij is de laadinfrastructuur veranderd, vooral op het vlak van het vermogen dat geleverd kan worden. Waar thuisladers kleine tientallen kilowattages kunnen opbrengen, zijn er ook snelladers aanwezig (bijvoorbeeld langs snelwegen) die tot wel 400 kW aan vermogen kunnen leveren aan gekoppelde voertuigen. Dit betreft dan vooral personenauto's die aan individuele laders worden aangesloten.

Echter kan ook worden gekeken naar de wat zwaardere voertuigen: elektrische bussen en vrachtwagens. Deze typen voertuigen hebben vaak een grotere batterij dan personenauto's en worden op een andere manier ingezet. Bij bussen is het vooral belangrijk dat een bepaalde route gereden wordt volgens een bepaald schema. Er zal dus alleen op vaste tijden geladen kunnen worden op vooraf bepaalde plaatsen om geen concessies te doen aan een

mindere inzet van het voertuig. Ook bij vrachtwagens zullen er maar bepaalde laadpunten gebruikt kunnen worden. Binnen deze segmenten bevinden die laadpunten zich dan ook vaak op begin-, eind- en/of tussenhalthes waar langere stops zijn gepland.

Bij zowel elektrische bussen als vrachtwagens is het dus van belang dat er voldoende geladen kan worden op bepaalde punten binnen een bepaalde tijd. Dit vertaalt zich in relatief hoge laadvermogens om hieraan te voldoen. Voor beide typen voertuigen heeft de industrie hiervoor al laadvoorzieningen gerealiseerd met maximale vermogens van ongeveer 600 kilowatt tot 1 megawatt ^[85]. Deze vermogens worden dan opgewekt in een centrale laadvoorziening waarna deze verdeeld kan worden over meerdere individuele laadpalen voor voertuigen (zie figuur 5.6). Vaak zijn deze centrale laadvoorzieningen modulair opgebouwd om zo op een makkelijke manier extra capaciteit bij te kunnen plaatsen.

Naast de conventionele laadpalen is er een andere oplossing om met een hoger energieniveau weg te rijden. Dit kan door de (bijna) lege batterij te verwisselen met een volledig opgeladen exemplaar. Als grote voordeel heeft dit tijd, aangezien er geen rekening gehouden hoeft te worden met een laadtijd totdat de batterij tot een bepaald niveau opgeladen is. Om dit te faciliteren zijn er wel meer infrastructurele aanpassingen nodig in vergelijking met

laadpalen.



Figuur 5.6: Schematisch overzicht van modulaair opgebouwde laadinfrastructuur ^[85]

Ontwikkelingen elektrisch vliegen

Vanuit de elektrische voertuigenindustrie kunnen verschillende lessen getrokken worden

Parallellen met de elektrische voertuigenindustrie

Met de informatie op de vorige pagina kunnen drie belangrijke parallellen worden getrokken met de elektrische luchtvaarttechnologie.

Ten eerste blijkt uit de praktijk dat het verwisselen van batterijen in de voertuigenindustrie nog maar zelden voorkomt. Verwacht wordt dat dit ook zal gaan gelden voor de luchtvaart. Het verwisselen van batterijen wordt in de luchtvaart namelijk gezien als onderhoudsactiviteit waarvoor extra training nodig is. Zeker gezien de hoge vermogens en voltages die de grotere batterijen met zich mee brengen zullen hoge veiligheidseisen gesteld worden die mogelijk niet gewaarborgd kunnen worden in de korte(re) omdraaitijd van een vliegtuig.

Ten tweede kan een één-op-één relatie getrokken worden met de locaties waarop laadinfrastructuur geplaatst moet worden. Vooral voor commerciële (lijn)vluchten die volgens een vast schema opereren betekent dit dat op specifieke luchthavens de vliegtuigen opgeladen moeten kunnen worden. Het ligt voor de hand dat centrale laadlocaties van een luchtvaartmaatschappij worden geplaatst op de hub of operationele basis van deze maatschappij. Echter zal er mogelijk ook moeten worden geladen op een bestemmingsluchthaven. Dit is afhankelijk van het bereik van het toekomstige elektrische vliegtuig en dus of het

voldoende batterijcapaciteit heeft om nog veilig terug te vliegen naar de hub of basis. Een andere consequentie kan zijn dat vluchtschema's aangepast worden of dat bijvoorbeeld op een kleinere luchthaven laadvoorzieningen gevraagd worden ondanks dat het geen hub of basis van een maatschappij betreft.

Voor GA-verkeer zal zich dit vertalen in de aanwezigheid van een laadfaciliteit op de standplaats van het vliegtuig. Dit zijn bijvoorbeeld vliegscholen of –clubs. Hierbij zullen beide organisaties rekening moeten houden met laadtijden en kan de verhuurtijd van vliegtuigen mogelijk minder worden.

Als laatste zullen de vermogens die nu al gehaald worden in de voertuigenindustrie (tot 1 MW) ook verwacht worden in de elektrische luchtvaart aangezien deze laadfaciliteiten intrinsiek niet veel van elkaar verschillen. Echter zullen de huidige hoge(re) vermogens van de voertuigenindustrie nog niet direct kunnen worden geïntroduceerd in de luchtvaart. Dit heeft vooral te maken met de certificatie welke in de luchtvaart vaak achterloopt op de technologie.

Gezien de verwachte hogere batterijcapaciteit en energievraag samen met de korte(re) omdraaitijden zal op den duur 1 MW mogelijk niet voldoende zijn voor de (commerciële) luchtvaart. Er zal dus op een luchthaven al rekening gehouden moeten worden met een mogelijke significante uitbreiding van laadcapaciteit. De modulair

opgebouwde systemen die al veelvuldig gebruikt worden voor elektrische bussen en vrachtwagens zullen dan van pas komen om deze extra vermogens op te kunnen wekken. Een landreservering zal dan wel in acht moeten worden genomen samen met een mogelijke uitbreiding van de centrale netaansluiting van het modulaire systeem.

Ontwikkelingen elektrisch vliegen

Mobiele laadsystemen zullen een lager maximaal vermogen kunnen leveren dan een individueel vast laadstation

Kijkende naar voertuigen bestaan er op dit moment al meerdere mogelijkheden qua laadfaciliteiten. In de luchtvaart is dit (nog) niet zo. Momenteel is er een gering aanbod van het aantal verschillende laadpalen, mede door het ontbreken van een grote(re) elektrische vloot. Drie typen laadsystemen kunnen onderscheiden worden die al beschikbaar zijn, dan wel in de toekomst verwacht worden.

Mobiel laadsysteem

Zoals is gebleken uit de studie in hoofdstuk 4 zijn de meest voorkomende laadsystemen in Nederland mobiel. De huidige mogelijkheden kunnen een vermogen tot 80 kW leveren. In 2023 is eenzelfde type lader uitgerold met een vermogen van maximaal 240 kW ^[86]. Sommige van deze laders zijn echter nog niet geschikt om bestaande vliegtuigen op te laden. Dit komt doordat de bestaande vliegtuigen de precieze manier van laden (nog) niet ondersteunen of omdat ze de maximale vermogens niet aan kunnen.

Het grote voordeel van mobiele laders is de flexibiliteit waarmee vliegtuigen geladen kunnen worden op het luchthaventerrein. Met andere woorden: er kan overal op het luchthaventerrein een (verleng)kabel naartoe worden getrokken om het vliegtuig te laden. Hierbij kan wel hinder ondervonden worden van de kabel(s) die mogelijk in de weg liggen. Zonder duidelijke veiligheidsprotocollen kan de

operationele veiligheid mogelijk niet worden gewaarborgd.

De kosten van een dergelijk laadsysteem zijn afhankelijk van het maximale vermogen en kunnen oplopen tot ongeveer €150.000,- voor ca. 250 kW ^[2,87,88,89,90]. Dit is exclusief de installatiekosten, welke enkel de stroomvoorziening betreft. Dit is wederom afhankelijk van het vermogen. Voor een vermogen tot 15-20 kW zal dit minimaal zijn in vergelijking met de aanschafprijs.

Vanwege de compactheid van de mobiele laders en de gelimiteerde grootte van de componenten, wordt verwacht dat ca. 250 kW het maximale vermogen is dat een mobiel laadsysteem kan leveren. Ondanks de gelimiteerde vermogenscapaciteit zal dit type laadsysteem alle grondvoertuigen, GA-verkeer en de eerste generatie hybride elektrische vliegtuigen kunnen laden.

Vast individueel laadsysteem

Naast mobiele laders is er nu ook een vast laadstation op de markt gekomen die twee vliegtuigen tegelijk kan laden (maximaal 40 kW). Deze is initieel bedoeld voor de elektrische vliegtuigen van Pipistrel. Dit principe lijkt op de bekende laadpalen voor elektrische auto's en met de ontwikkeling van grotere elektrische vliegtuigen zal dit type laadsysteem nog verder ontwikkeld worden. Als de lijn met elektrische auto's gevolgd wordt, dan zal een vermogen tot

zo'n 600 kW in de toekomst haalbaar zijn. Bij hogere vermogens gaat hierbij koeling van de batterij en laadsystemen een grotere rol spelen vanwege de warmte die bij het laadproces vrijkomt. De snelheid van deze ontwikkeling is afhankelijk van de certificatie en de verwachte hogere vermogensvraag van vooral commerciële elektrische vliegtuigen (volledig batterij-elektrisch of 2^e generatie hybride). Voor deze toestellen is een korte omdraaitijd essentieel om de business case rond te krijgen en bij de uitrol van een dergelijk type vliegtuig (verwacht vanaf 2027) zal een geschikte lader op de markt beschikbaar moeten zijn.

De vaste individuele laadsystemen zullen geschikt zijn voor alle typen vliegverkeer en grondvoertuigen. Het maximale vermogen van de lader kan dan wel verschillen per type verkeer. Waar het grotere vermogen dus een voordeel is ten opzichte van de mobiele laders, zal voor deze systemen wel een grotere infrastructurele investering nodig zijn. Kabels vanaf een individuele netaansluiting zullen nu namelijk direct naar de lader moeten worden getrokken, wat vaak ondergrondse werkzaamheden zijn. Indicatief zou hiervoor gerekend kunnen worden met € 100.000,- per lader. De aanschafprijs van een dergelijk vast individueel laadsysteem kan oplopen tot ongeveer € 250.000,- voor een maximaal vermogen van zo'n 600 kW ^[2,87,88,89,90]. Bijkomend dient ook nog rekening gehouden worden met de kosten van de aansluiting op het elektriciteitsnetwerk.

Ontwikkelingen elektrisch vliegen

Centrale omvormsystemen zullen essentieel zijn voor het opladen van commercieel verkeer

Centraal laadsysteem

Door de elektrische bus- en vrachtwagenindustrie zijn meer centrale systemen ontwikkeld. Het draait hier dan om één centrale locatie waar de stroom binnenkomt en omgevormd wordt tot een maximaal vermogen. Dit vermogen kan dan verdeeld worden over meerdere vliegtuigen, via fysieke laadpalen. Het grote voordeel hierbij is dat hogere vermogens (600+ kW) gehaald kunnen worden dan individuele laadpalen. Verder biedt de modulariteit van het systeem simpele uitbreidingsmogelijkheden om het maximale vermogen verder te verhogen zoals al bewezen is in de praktijk met elektrische bussen en vrachtwagens. In de toekomst zal er waarschijnlijk ook nadruk worden gelegd op de ontwikkeling van geschikte koelingssystemen. Deze systemen zijn essentieel om te voorkomen dat de laadinfrastructuur oververhit raakt.

Vanwege de hogere vermogenscapaciteit zal een centraal laadsysteem vrijwel alleen gebruikt worden door volledig batterij-elektrische en de 2^e generatie hybride vliegtuigen. Voor de overige typen verkeer zijn deze vermogens te hoog. Ook de investeringskosten (vanaf ongeveer €200.000 [2,87,88,89,90]) zijn significant waarbij de aansluitkosten en infrastructurele kosten er ook nog bij opgeteld moeten worden. Per losse laadpaal aangesloten op het centrale systeem kan dit oplopen tot ongeveer €100.000,- [2,90], al is dit ook sterk afhankelijk van de locaties van de systemen en

laadpalen. Daarnaast zal de uitbreiding van de netaansluiting veel tijd kunnen vergen gezien de netcongestie in vele gebieden van Nederland en de gevraagde hoge vermogens binnen dit systeem.

Op dit moment is deze technologie nog niet beschikbaar voor de luchtvaart en wordt pas na 2026 verwacht door een hogere vermogensvraag op luchthavens. Dit is de enige technologie die meerdere commerciële vliegtuigen tegelijk kan laden. Ook direct na de introductie van de 2^e categorie hybride en volledig batterij-elektrische vliegtuigen zal deze technologie nog niet nodig zijn, omdat grote vloten van elektrische vliegtuigen dan nog niet mogelijk zijn. Daarom is de verwachting dat centrale laadsystemen pas nodig zullen zijn bij een uitgebreide inzet van elektrische (commerciële) vliegtuigen. Dit zal waarschijnlijk pas na 2035 zijn.



Figuur 5.7: Vast laadstation van Pipistrel [91]



Figuur 5.8: Mobiele lader van ELECTRA.AERO (L) en vast modulair op te bouwen omvormstation van Heliox (R) [85,86]

Ontwikkelingen elektrisch vliegen

Het type verkeer en het aantal vliegtuigen dat tegelijk verwacht wordt te laden is essentieel in het bepalen van het type laadsysteem

Omslagpunten van laadsystemen

Om inzicht te krijgen in de karakteristieken die invloed hebben op het wel of niet plaatsen van een laadsysteem, moet altijd gekeken worden naar het type verkeer, de gewenste omdraaitijden en het aantal vliegtuigen dat tegelijk geladen moet worden.

Voor de categorie 1 luchthavens (GA, zonder straalvliegtuigen) geldt dat voor toekomstige GA-verkeer mobiele laders gebruikt kunnen worden voor het laden. Voor grondvoertuigen zou dit ook mogelijk zijn, maar vanwege mogelijke (vaste) parkeerplaatsen is het aannemelijker dat vaste individuele laadpalen de voorkeur hebben. Wanneer er meerdere GA-vliegtuigen tegelijk geladen moeten worden, zal het op een bepaald punt beter zijn om vaste laadstations te installeren, vanwege hogere vermogensvraag. Dit geeft minder flexibiliteit, echter zal er dan wel meer duidelijkheid zijn over waar de vliegtuigen geladen kunnen worden op de luchthaven en hoeven er geen kabels over en weer te worden getrokken. Daarnaast zal de vaste infrastructuur hogere vermogens aankunnen die later in de ontwikkeling van de elektrische luchtvaart verwacht worden.

Op luchthavens in de tweede categorie zal voor het GA-verkeer hetzelfde gelden als voor categorie 1 luchthavens. Hier bovenop komt de energievraag van vooral zakelijk GA-verkeer dat uitgevoerd wordt door commerciële elektrische

vliegtuigen (hybride of volledig batterij-elektrisch). Aangezien dit zakelijke verkeer niet gekenmerkt wordt door korte omdraaitijden zou een mobiel laadsysteem mogelijk nog voldoende zijn. Bij kortere omdraaitijden zal altijd een vast laadsysteem moeten worden geïnstalleerd.

Voor de commerciële luchthavens in Nederland geldt dat voor commercieel verkeer altijd minimaal een vast laadsysteem aanwezig moet zijn. Ook nu geldt: als er veel vliegtuigen tegelijk moeten laden, zal over moeten worden gegaan op een groter systeem. In dit geval zou dat een centraal laadsysteem zijn. Hierbij zal rekening gehouden moeten worden met het mogelijk uitbreiden van de capaciteit van het centrale modulaire systeem in een landreservering.

De omslagpunten zijn niet exact te bepalen gezien de afhankelijkheden. Ook het aantal vliegtuigen dat tegelijk geladen kan worden voordat er over gegaan moet worden op een ander, groter systeem zal per locatie of per luchthaven verschillen. Hiervoor is specifiek onderzoek nodig op de luchthavens dat rekening houdt met de verkeersverwachting, netcongestie en huidige netaansluiting.

Ontwikkelingen elektrisch vliegen

Het type verkeer bepaalt het piekvermogen en daarmee het type laadfaciliteit

Op basis van de belichte elektrische laadtechnologie kan een schematisch overzicht gemaakt worden van de verwachte typen laadinfrastructuur per type verkeer. Dit overzicht wordt weergegeven in Tabel 5.1.

De laagste vermogens worden verwacht bij de huidige (1^e) generatie van GA-verkeer en huidige en toekomstige kleine(re) grondvoertuigen. Deze laadfaciliteiten zijn op dit moment al beschikbaar en zullen in toekomst uitgebreid worden. Ondanks dat momenteel enkel mobiele laders aanwezig zijn op Nederlandse luchthavens, is de verwachting dat op luchthavens met meer verkeer, op den duur, vaste laadpunten zullen worden geïnstalleerd.

Als de elektrische vliegtuigen voor GA-verkeer zich verder ontwikkelen, zal ook de energie- en vermogensvraag toenemen. Voor de 2^e generatie zal dit vanaf 2024 zijn. Hierdoor zullen mobiele laders minder geschikt zijn ten opzichte van vaste laadpunten. Naast GA-verkeer zal ook de 1^e generatie hybride-elektrische vliegtuigen ongeveer 50 tot 250 kilowatt aan vermogen vragen, net als de wat zwaardere grondvoertuigen die eventueel ook snellaad functionaliteiten vereisen.

De hoogste vermogens zullen nodig zijn voor de eerste generatie volledig batterij-elektrische vliegtuigen (inclusief Regional Air Mobility) en voor de tweede generatie van

hybride-elektrische vliegtuigen. In het geval dat meerdere vliegtuigen tegelijk zullen worden laden, dan zal dit alleen gefaciliteerd kunnen worden door een centraal laadsysteem.

Tabel 5.1: Indicatief overzicht van de laadmogelijkheden per type verkeer inclusief het verwachte introductiejaar en de kosten van de laadmogelijkheden ^[2,87,88,89,90]

Type verkeer / vliegtuig	Verwachte introductie	Verwachte vermogen per vliegtuig / voertuig	Laadmogelijkheden	Kostenindicatie lader
Kleinere grondvoertuigen	Al beschikbaar	Tot 50 kW	Mobiele of vaste individuele lader	€20.000,- tot €50.000,-
1e generatie GA	Al beschikbaar	Tot 50 kW		
Grotere grondvoertuigen	Al beschikbaar	50 tot 250 kW	Enkele tegelijk: mobiele laders mogelijk Meerdere tegelijk: Vaste individuele laders	€60.000,- tot €150.000,-
2e generatie GA	Vanaf 2024	50 tot 250 kW		
1e generatie hybride	Vanaf 2024	50 tot 250 kW		
2e generatie hybride	Vanaf 2028	400+ kW	Enkele tegelijk: vaste individuele laders mogelijk Meerdere tegelijk: centraal systeem (na 2035)	Vanaf €175.000,-
Volledig elektrisch commercieel	Vanaf 2027	400+ kW		

Ontwikkelingen elektrisch vliegen

Per luchthaven kan een bewuste keuze worden gemaakt tussen een centraal of decentraal laadgebied

Om elektrische vliegtuigen en voertuigen te kunnen voorzien in hun laadbehoeften is nieuwe fysieke infrastructuur benodigd. De vraag die hiermee gepaard gaat is waar deze (nieuwe) infrastructuur te plaatsen. Bestaande luchtzijdige indelingen van opstelplaatsen en platforms zullen bij de locatiekeuze van invloed zijn.

Luchthavengebruikers op het terrein van GA-luchthavens binnen categorie 1 hebben vaak een netaansluiting los van de algemene luchthavenaansluiting. Dit betekent dat potentiële elektrische GA-toestellen vaak hier hun standplaats hebben en mogelijk ook geladen worden. Gezien de lagere laadvermogens van GA-vliegtuigen (vooral mobiele laders) zal dit decentraal goed mogelijk kunnen zijn. Zo worden de operaties van verschillende gebruikers zoals vliegclubs of –scholen gespreid. De toegang tot de geparkeerde vliegtuigen van de luchthavengebruiker is dan kort en simpel.

Als blijkt dat (een deel van) de losse netaansluitingen niet in voldoende mate uitgebreid kunnen worden om aan de laadvraag van GA-vliegtuigen te kunnen voldoen, kan de aanleg van een centraal laadgebied overwogen worden. Dit zal altijd in overleg met de luchthavenbeheerder gaan om de investering zo goed als mogelijk aan te laten sluiten bij de behoefte van (potentiële) gebruikers. Dit geldt ook voor vaste laders, aangezien deze investering meer civiele infrastructurele werken omvat en de daarmee gemoeide

kosten hoger zijn. Bijkomend voordeel, naast het hebben van één investeringsgebied, is dat er dan geen gescheiden laadoperaties plaatsvinden. Dit zal echter wel betekenen dat luchthavengebruikers een grotere afstand van hun eigen voorziening naar het vliegtuig moeten afleggen.

Op de kleinere luchthavens binnen deze categorie zal het verschil tussen een centraal of decentraal laadgebied minimaal zijn, aangezien er minder verkeer afgehandeld wordt. Als laatste zal ook rekening gehouden moeten worden met bezoekende GA-vliegtuigen die laadbehoeften hebben. Met een centraal laadgebied zal dit makkelijker te accommoderen zijn doordat het de enige (openbare en algemene) laadvoorzieningen zijn. Echter bij decentrale laadgebieden zal een bezoekend vliegtuig mogelijk een aanvraag moeten doen bij een van de luchthavengebruikers met laadvoorzieningen, tenzij de luchthaven ook een algemeen decentraal laadgebied heeft.



Figuur 5.9: Indicatie van één centraal laadgebied (Bonaire)

Ontwikkelingen elektrisch vliegen

Per luchthaven kan een bewuste keuze worden gemaakt tussen een centraal of decentraal laadgebied

Wanneer op een GA-luchthaven ook straalvliegtuigen afgehandeld kunnen worden (categorie 2), zal de focus meer komen te liggen op een centraal laadgebied. Ondanks dat kleinere gebruikers van GA nog steeds via hun eigen voorzieningen vliegtuigen mobiel kunnen opladen, zal er voor de meer zakelijke vluchten een grotere vermogensbehoefte bestaan. Dit heeft als gevolg dat er hoe dan ook een grote(re) investering benodigd is om aan deze behoefte te voldoen. Dit gaat vaak ook gepaard met vaste laders, waarvoor de investerings- en aansluitkosten hoger liggen dan voor mobiele laders. Hier geldt dan de algemene regel, hoe groter de vermogensvraag, hoe voordeliger het zal zijn om één gemeenschappelijke investering te doen (in plaats van alleen maar losse). Als gevolg hiervan zullen de gestationeerde vliegtuigen niet naar hun standplaats kunnen worden gebracht om te laden.

Bij de commerciële luchthavens (categorie 3) zal voor het commerciële verkeer het voor de hand liggen een centraal laadgebied te ontwerpen. De reden is dat benodigde investeringen voor een decentraal laadgebied simpelweg veel hoger zijn dan een centrale oplossing. Dit komt mede doordat de modulaire decentrale systemen een hogere investering vereisen. Vaak zijn er op deze categorie luchthavens ook speciale gebieden aangewezen waarop GA-verkeer afgehandeld kan worden. In deze gebieden zal afhankelijk van het verwachte vliegverkeer ook een centraal laadgebied de voorkeur hebben.



Figuur 5.10: Indicatie van mogelijke decentrale laadgebieden (Rotterdam)

Ontwikkelingen elektrisch vliegen

Vorbereidend onderzoek naar de energie- en vermogensbehoefte is cruciaal

Het eerder getoonde schema geeft een indicatie van het piekvermogen (maximale waarden) dat verwacht kan worden per individueel vliegtuig of grondvoertuig. Echter zal het in de praktijk voorkomen dat meerdere laadperiodes overlap zullen hebben en dus het totaal aan laadvermogen hoger ligt. Dit betekent dat van de (elektrische) infrastructuur gevraagd hiermee compatibel te zijn. Als conservatieve schatting zouden de individuele maximale vermogens opgeteld kunnen worden van alle overlappende laadbehoeften. Voor de luchthaven Rotterdam zouden drie commerciële vluchten die tegelijkertijd moeten laden (à 600 kW) dan ruim 13% van het totale piekvermogen van de geïnstalleerde zonnepanelen gebruiken. Hoe zich dit verhoudt tot het piekvermogen van de luchthaven in het algemeen is niet goed in te schatten. De energievraag is daarentegen wel in te schatten. Voor acht commerciële vluchten per dag is de jaarlijkse energievraag voor de elektrische vliegtuigen minimaal 33% van de totale jaarlijkse energievraag van de luchthaven ^[92].

Omdat de infrastructuur en de bijbehorende investeringen grotendeels schalen met het maximale piekvermogen dat geleverd moet en kan worden, is dit een belangrijke factor om mee te nemen in de studie naar de energie- en laadvermogens, die hierna verder zal worden aangeduid als 'inventarisatiestudie'. Een conservatieve schatting, zoals degene die hierboven is gemaakt, hoeft dan niet altijd

realistisch te zijn aangezien optimalisaties het piekvermogen nog kunnen verlagen. Dit kan tot wel 50% aan investeringskosten schelen als er flexibeler om kan worden gegaan met de periodes waarin en de vermogens waarmee geladen wordt ^[90].

Een beter inzicht in de vermogens- en energiebehoefte is hierbij dus cruciaal om de uiteindelijke infrastructuur te kunnen inschatten, schalen en in meer detail te ontwerpen. Hierbij zouden in ieder geval de verwachtingen omtrent het toekomstige (elektrische) verkeer in beeld moeten worden gebracht. Het piekvermogen en het afvlakken hiervan behoort ook tot de focuspunten aangezien dit infrastructuur behoeft die ook op het luchthaventerrein geplaatst zal moeten worden. Daarnaast zal onderzocht dienen te worden hoeveel de huidige netaansluitingen met het elektriciteitsnetwerk uitgebreid moeten worden voor de verwachte laadinfrastructuur en wanneer dit mogelijk zou zijn. Dit zal dus een diepere analyse vergen dan de eerder geïntroduceerde netcongestie. Afhankelijk van de verwachte verkeerstypen zou een optimalisatieslag ook deel uit kunnen maken van deze studie.

In bovenstaande tekst wordt er vanuit gegaan dat de benodigde energie volledig uit het elektriciteitsnetwerk komt. Met de eerder benoemde netcongestieproblemen is dat voor een luchthaven mogelijk niet haalbaar. In dat geval kan worden overwogen om vanuit de luchthaven zelf

energieopwekking met eventueel bijbehorende energieopslag op te zetten. De druk op het regionale elektriciteitsnetwerk wordt dan verlicht, terwijl de afhankelijkheid voor bijvoorbeeld zonne- en windenergie verhoogd wordt. In een aparte studie, mogelijk gekoppeld aan de studie naar de vermogens- en energiebehoeften, zou de energieopwekking en -opslag op luchthavens gekwantificeerd kunnen worden.

6. Ontwikkeltrajecten elektrisch vliegen

Ontwikkeltrajecten elektrisch vliegen

De 'Luchtvaartnota' en de 'Innovatiestrategie Luchtvaart' stellen doelen voor emissieloze luchtvaart

Voordat de vertaalslag gemaakt kan worden naar de voorgestelde ontwikkeltrajecten, is vaststelling van de gerelateerde doelen benodigd. Deze doelen vertalen zich in een gekwantificeerd eindpunt van een bepaald ontwikkeltraject. Het beginpunt wordt (vaak) al bepaald door de geïntroduceerde ontwikkelingen in de (elektrische) technologie.

Een van de belangrijkste documenten voor luchtvaartdoelen in Nederland, is de door de overheid opgestelde Luchtvaartnota uit 2020 ^[93]. Hierin worden verschillende aspecten uiteengezet over hoe de luchtvaart er tot 2050 uit zou moeten zien. Het aspect duurzaamheid maakt hier ook onderdeel van uit, waarbij doelen worden gesteld voor uitstoot van emissies.

Voor grondgebonden operaties is het doel om in 2030 volledig emissieloos te zijn. Dit betreft dus ook de grondvoertuigen op een luchthaven, waarvoor binnen de 'Focusgroep Grondgebonden en luchthavens' een concreet plan is opgesteld om deze doelstelling te behalen ^[94]. Voor de binnenlandse luchtvaart (inclusief veelal GA-verkeer) is de wens om in 2030 een 15% reductie van emissies te realiseren, terwijl in 2050 dit luchtvaartsegment zonder enige emissies zou moeten opereren binnen Nederland. De commerciële luchtvaart zal rekening moeten houden met een verlaagd emissieniveau in 2030 en de operatie van de eerste (hybride) elektrische vliegtuigen. In 2050 wordt het

doel gesteld om alle commerciële vluchten tot ongeveer 500 kilometer volledig te elektrificeren. Het jaar 2070 valt officieel niet binnen het kader van de Luchtvaartnota, echter is dit jaartal wel opgenomen om alvast vooruit te kijken en aan te geven dat uiteindelijk een volledig emissieloze luchtvaart dient te worden gerealiseerd.

Naast de Luchtvaartnota heeft het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat ook hun innovatiestrategie voor de luchtvaart gepubliceerd ^[95].

Hierin worden, voor onder andere duurzame energiedragers, verschillende innovatierichtingen gepresenteerd die vanuit de Rijksoverheid gestimuleerd zullen worden. Hierbij wordt aangegeven dat er gestreefd moet worden om in 2050 alle energiedragers binnen de luchtvaart duurzaam te krijgen. Dit gaat dus verder dan de opgestelde Luchtvaartnota.

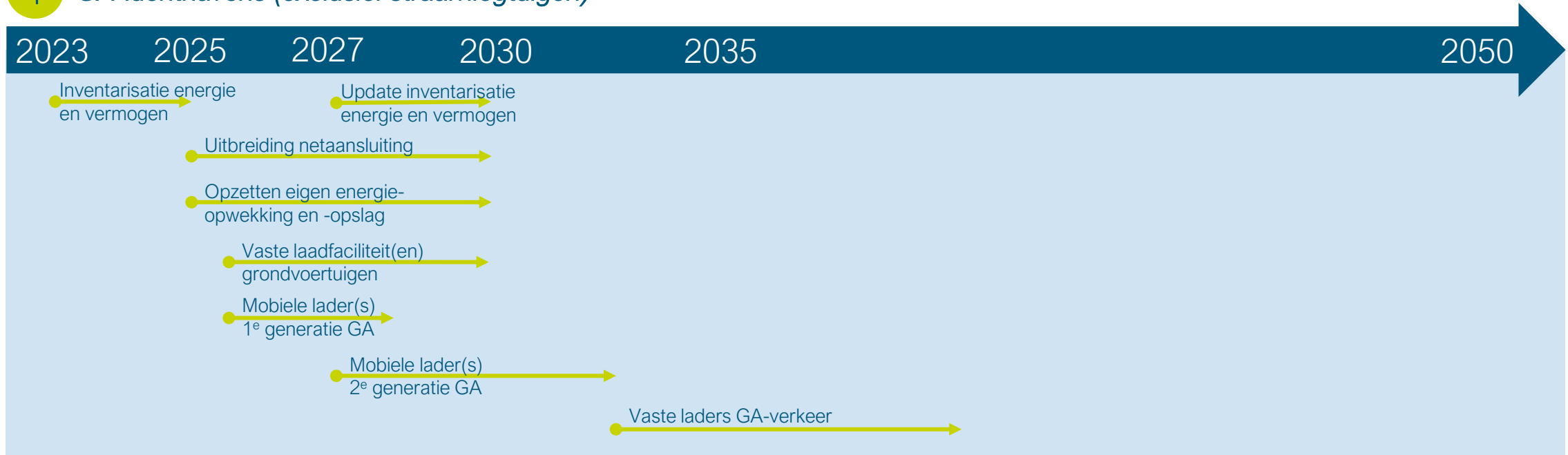
	2030	2050	2070
Roadmap grondgebonden operaties	<ul style="list-style-type: none"> De emissies van grondgebonden operaties met 100% te reduceren Elektrisch taxiën is standaard-procedure 		
Roadmap General Aviation	<ul style="list-style-type: none"> 'Living lab' voor de innovaties in de commerciële luchtvaart 15% reductie in 2030 van de binnenlandse luchtvaart ten opzichte van emissieniveau van 1990 	<ul style="list-style-type: none"> Zero emissie van de binnenlandse luchtvaart in 2050 	
Roadmap commerciële luchtvaart	<ul style="list-style-type: none"> Eerste hybride elektrische toestellen met 20-50 passagiers in gebruik De internationale commerciële luchtvaartactiviteiten vanuit Nederland in 2030 rond het CO₂-emissieniveau van 2005 	<ul style="list-style-type: none"> Halvering CO₂-emissies t.o.v. 2005 (in lijn met ICAO-doelstelling) Alle korte-afstandsvluchten vanuit Nederland tot ongeveer 500 km volledig elektrisch 	<ul style="list-style-type: none"> Zero emissie van de internationale luchtvaart als stip op de horizon

Figuur 6.1: Doelen met betrekking tot duurzame luchtvaart volgens de Luchtvaartnota ^[93]

Ontwikkeltrajecten elektrisch vliegen

Op luchthavens met alleen GA-verkeer kan elektrificatie al beginnen na een inventarisatiestudie en uitbreiding van de netaansluiting

1 GA-luchthavens (exclusief straalvliegtuigen)



Ontwikkeltrajecten elektrisch vliegen

Op luchthavens met alleen GA-verkeer kan elektrificatie al beginnen na een inventarisatiestudie en uitbreiding van de netaansluiting

1 GA-luchthavens (exclusief straalvliegtuigen)

Samenvatting ontwikkeltraject

Het ontwikkeltraject voor de eerste categorie luchthavens focust zich vooral op het infasieren van de laadinfrastructuur voor elektrisch aangedreven GA-verkeer. Een initiële studie worden geadviseerd die de laad- en energievraag van het verwachte verkeer en de grondvoertuigen kwantificeert. Aangezien de 1^e generatie elektrische GA-toestellen en grondvoertuigen al beschikbaar zijn en omdat er al voldoende gegevens zijn over de 2^e generatie GA-vliegtuigen, zou deze studie met de huidige kennis van zaken op dit moment al uitgevoerd kunnen worden.

Het wordt geadviseerd om deze initiële studie in 2025 afgerond te hebben. Deze tijdlijn komt voort uit de verwachte tijdlijnen na deze stap, welke de uitbreiding van de netaansluiting omvat en/of de plaatsing van een eigen energieopwekking en –opslag. Bij uitbreiding van de netaansluiting bestaat de kans dat significante vertraging opgelopen wordt vanwege de staat van het elektriciteitsnetwerk (netcongestie). Mocht uit de inventarisatiestudie blijken dat de investeringen in de netaansluiting relatief snel gerealiseerd kunnen worden, dan zou meteen kunnen worden overgegaan op het infasieren van mobiele laders voor 1^e generatie elektrische GA-vliegtuigen en eventuele vaste laders voor elektrische grondvoertuigen.

Gezien de ontwikkelingen en verwachte introductie van de

tweede generatie elektrische GA-vliegtuigen zal de infasering van de eerste mobiele laders relatief kort zijn en naar verwachting eindigen voor 2030. Mobiele laders met een hoger maximaal vermogen, die meer inspelen op deze 2^e generatie, zullen vanaf 2027 geïnstalleerd kunnen worden. Ondanks dat de eerste toestellen van de 2^e generatie elektrische GA-vliegtuigen al verwacht worden vanaf 2024, is er in het ontwikkelingstraject rekening gehouden met een periode waarin de markt op gang moet komen.

Deze periode tussen 2027 en 2030 kan ook gebruikt worden om de initiële inventarisatiestudie te herzien. Met nieuwe marktontwikkelingen of focuspunten per luchthaven kan dit een hogere energie- en vermogensvraag opleveren waar op ingespeeld moet worden. Het jaar 2030 wordt ook gemarkeerd als het jaar waarin alle grondvoertuigen laadvoorzieningen moeten hebben vanwege de gestelde doelen. Daarnaast is dit jaar het uiterste jaar voor de uitbreiding van de netaansluiting, zodat een verdere marktintroductie van elektrische GA-toestellen niet wordt belemmerd. Op deze manier blijft Nederland ruimte houden voor de opschaling van het elektrische GA-verkeer.

Hoe de opschaling van het elektrische GA-verkeer zich daarna gaat ontwikkelen is nog nader te onderzoeken. Hiervoor wordt ingeschat dat de infasering van de mobiele laders met hogere maximale vermogens nodig zal zijn tot in de periode 2030-2035. Vanaf dit punt kan er per luchthaven

gekozen worden, mede door inzichten vanuit de (herziene) energie- en vermogensvraag, om over te schakelen van mobiele laders op vaste laders voor het elektrische GA-verkeer. Doorslaggevend zullen hierbij het aantal elektrisch aangedreven vliegtuigbewegingen en het aantal elektrisch aangedreven vliegtuigen die tegelijk laden.

Al voor het jaar 2050, waarin de binnenlandse luchtvaart volgens doelstellingen emissieloos moet zijn, zal de elektrische laadinfrastructuur op deze categorie luchthavens op orde moeten zijn om dit te bewerkstelligen. Dit betekent niet dat er vanaf ca. 2040 geen investeringen meer gedaan hoeven te worden, echter zal dit met behulp van dit ontwikkeltraject alleen uitbreidingen omvatten die eerder al inzichtelijk gemaakt zullen moeten zijn in de inventarisatiestudie.

Verwachte uitvoering

Doordat de technologie van elektrisch GA-verkeer al opkomend is en ook al deels bewezen is, wordt verwacht dat de getoonde ontwikkeltrajecten voor elke luchthaven binnen categorie 1 zullen gelden. Ook doordat de initiële investeringen relatief simpel te realiseren zijn en weinig invloed zullen hebben op de infrastructuur, zal het dus mogelijk zijn voor deze GA-luchthavens om de voorgestelde tijdlijnen te volgen.

Ontwikkeltrajecten elektrisch vliegen

Op luchthavens met alleen GA-verkeer kan elektrificatie al beginnen na een inventarisatiestudie en uitbreiding van de netaansluiting

1 GA-luchthavens (exclusief straalvliegtuigen)

Verantwoordelijkheden

Na het vaststellen van de verschillende ontwikkelingstijdslijnen, kan er per fase worden gekeken welke partijen hierbij betrokken zijn in de uitvoering, en of er eventuele afhankelijkheden zijn.

De ruimtelijke indeling en opzet van het luchthaventerrein is van groot belang voor de mogelijke investeringspartijen in de verschillende fasen van het voorgestelde ontwikkeltraject. Hierbij zijn de luchthaven(beheerder) en de individuele luchthavengebruikers (bijvoorbeeld vliegclubs of -scholen) de voornaamste betrokken partijen.

De inventarisatiestudie zal luchthaven-breed geïnitieerd moeten worden om zo de totale energie- en vermogensvraag inzichtelijk te maken van alle

luchthavengebruikers. Hierbij zal het gaan over de totale extra capaciteit die het lokale elektriciteitsnetwerk aan zou moeten kunnen. Investeringspartijen kunnen dan uitgevoerd worden door de netbeheerder, mits er ruimte voor is op het landelijke netwerk op basis van nationaal beleid. Welke aansluitingen exact uitgebreid moeten worden ligt onder andere aan de beslissing of er een centraal laadgebied door de luchthaven zal worden gerealiseerd, of dat decentrale laadgebieden bij de verschillende luchthavengebruikers zullen worden gerealiseerd. Individuele luchthavengebruikers en/of de luchthavenbeheerder kunnen er ook voor kiezen om een eigen energieopwekking en – opslag te bouwen. Deze keuze kan gemaakt worden doordat bijvoorbeeld de netaansluiting(en) niet op tijd gerealiseerd kan worden, terwijl er toch een verhoogde

energie- en vermogensvraag verwacht wordt.

Het initiëren van de plaatsing van de laadinfrastructuur zal gedaan moeten worden door de luchthavengebruikers voor eigen elektrische vliegtuigen en/of grondvoertuigen. Daarnaast kan de luchthavenbeheerder hier ook een rol in spelen als bijvoorbeeld algemene laadvoorzieningen voor bezoekende vliegtuigen gerealiseerd moeten worden of bij een geheel centraal laadgebied. Alle laadfaciliteiten kunnen pas geplaatst worden als er voldoende capaciteit is op het lokale elektriciteitsnetwerk.

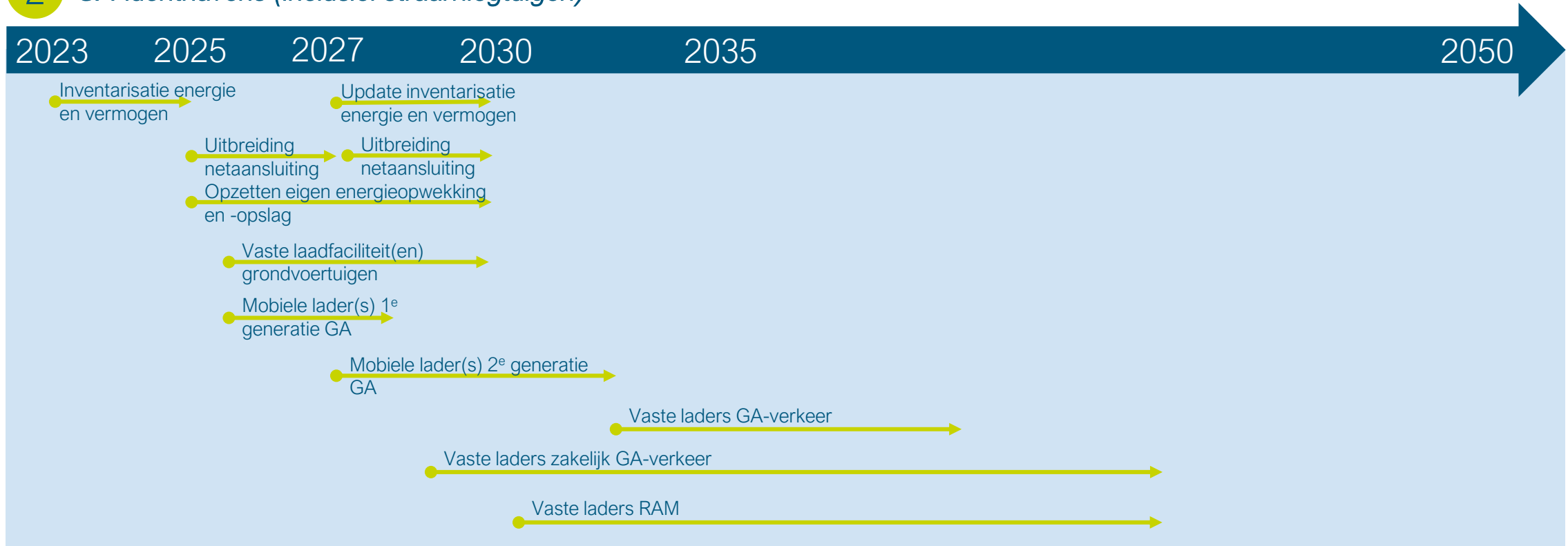
Tabel 6.1: Betrokken en uitvoerende partijen en afhankelijkheden per fase in het ontwikkeltraject elektrisch vliegen voor categorie 1 luchthavens

Ontwikkeltraject fase	Betrokken partijen	Uitvoering	Afhankelijkheden
Inventarisatie energie en vermogen	Luchthaven	Luchthaven, externe partij	-
Uitbreiding netaansluiting	Luchthavengebruiker	Regionale netbeheerder	Nationaal beleid (overheid), nationale netbeheerder
Opzetten eigen energieopwekking en -opslag	Luchthavengebruiker, luchthaven	Externe partij	-
Plaatsing vaste laadfaciliteit(en) grondvoertuigen	Luchthavengebruiker, luchthaven	Externe partij	Voldoende aansluitcapaciteit
Plaatsing mobiele laders GA-verkeer	Luchthavengebruiker, luchthaven	-	Voldoende aansluitcapaciteit
Plaatsing vaste laders GA-verkeer	Luchthavengebruiker, luchthaven	Externe partij	Voldoende aansluitcapaciteit

Ontwikkeltrajecten elektrisch vliegen

Naast kleiner elektrisch GA-verkeer zal ook rekening gehouden moeten worden met laadinfrastructuur voor zakelijke GA-vluchten en Regional Air Mobility

2 GA-luchthavens (inclusief straalvliegtuigen)



Ontwikkeltrajecten elektrisch vliegen

Naast kleiner elektrisch GA-verkeer zal ook rekening gehouden moeten worden met laadinfrastructuur voor zakelijke GA-vluchten en Regional Air Mobility

2 GA-luchthavens (inclusief straalvliegtuigen)

Samenvatting ontwikkeltraject

In vergelijking met categorie 1 luchthavens, zullen de luchthavens in categorie 2, naast het al benoemde ontwikkelingstraject, rekening moeten houden met grotere elektrische vliegtuigen in vooral het zakelijke GA-segment en een groter aantal vliegtuigbewegingen die elektrisch zullen opereren. Daarnaast zou voor deze luchthavens een rol weggelegd kunnen zijn binnen Regional Air Mobility (RAM). Voor de infrastructuur betekent dit vooral een hogere verwachte energie- en vermogensvraag welke gekwantificeerd zal moeten worden binnen de inventarisatiestudie.

Vanwege deze verhoogde vraag zal de uitbreiding van de netaansluiting extra belangrijk zijn. Daarnaast zal het opzetten van eigen energieopwekking en –opslag eerder overwogen worden dan voor categorie 1 luchthavens, vanwege de makkelijkere realisatie van extra vermogen in vergelijking met het uitbreiden van de netaansluiting. Het zou voor kunnen komen dat de uitbreiding qua energiec capaciteit van de netaansluiting niet in één keer kan worden uitgevoerd, maar in meerdere delen moet worden gesplitst. Bijvoorbeeld door eerst aan het kleinere elektrische GA-verkeer te voldoen om daarna een extra uitbreiding te doen voor het grotere GA-segment.

Vanaf 2024 worden de eerste commerciële hybride batterij-elektrische toestellen verwacht die mogelijk ook zakelijke GA-vluchten uit kunnen voeren. Echter wordt verwacht dat deze toestellen zich eerst in het commerciële segment zullen begeven alvorens als zakelijk toestel te worden ingezet. Hierdoor zal er naar verwachting pas tussen 2027 en 2030 een vraag ontstaan voor elektrisch zakelijk GA-verkeer en eventueel ook Regional Air Mobility. Wanneer de omdraaitijden van deze zakelijke vluchten klein zijn en als gevolg hiervan hoge piekvermogens vragen, zal installatie van een vaste lader nodig zijn om aan deze hogere vermogens te kunnen voldoen. Als dit niet het geval is, zullen de mobiele laders die ook gebruikt worden voor de 2^e generatie elektrische GA-toestellen ook voldoende zijn.

De infasering van de grotere zakelijke elektrische GA-toestellen zal minder snel gaan dan de commerciële inzet van dezelfde vliegtuigen. Hierdoor zal er niet meteen geïnvesteerd hoeven worden in meerdere laders maar zal deze opschaling mogelijk meerdere (tientallen) jaren in beslag nemen. De opschaling is sterk afhankelijk van de verwachte certificering van elektrische toestellen en zal daarom pas echt een vlucht kunnen nemen vanaf 2030. Echter zal voor het deel van dit GA-segment, dat minder dan 500 kilometer vliegt, in 2050 alles emissieloos moeten zijn en zullen er dus laders aanwezig moeten zijn.

Als de luchthaven onderdeel gaat worden van Regional Air Mobility zal ook minimaal een vaste lader geplaatst moeten worden vanwege de hoge vermogensvraag van deze luchtvaartuigen. Dit type verkeer wordt namelijk ook gekenmerkt door korte(re) omdraaitijden.

Verwachte uitvoering

De eerste tijdlijnen die voor het kleinere GA-verkeer gelden (zie categorie 1) zullen ook voor elke categorie 2 luchthaven haalbaar zijn. Echter zullen de tijdlijnen voor het meer zakelijke GA-verkeer en RAM niet voor elke luchthaven hetzelfde zijn. Dit heeft vooral te maken met initiële routes die gevlogen zullen worden met een langzaam toenemend aantal vliegtuigen. Hierbij zullen dus niet alle luchthavens tegelijk klaar moeten zijn om deze elektrische toestellen te ontvangen. De marktwerking zal dan bepalen welke luchthavens de voorgestelde ontwikkeltrajecten volgen om hier als eerste klaar voor te zijn en welke luchthavens deze twee tijdlijnen een aantal jaar uit kunnen stellen om daarna deze toestellen te kunnen afhandelen.

Ontwikkeltrajecten elektrisch vliegen

Naast kleiner elektrisch GA-verkeer zal ook rekening gehouden moeten worden met laadinfrastructuur voor zakelijke GA-vluchten en Regional Air Mobility

2 GA-luchthavens (inclusief straalvliegtuigen)

Verantwoordelijkheden

De betrokken partijen bij categorie 2 luchthavens zijn grotendeels hetzelfde als bij de luchthavens in categorie 1. Gezien de nog steeds meer gespreide operaties van luchthavengebruikers binnen categorie 2, blijft het van belang om gezamenlijk de inventarisatiestudie uit te voeren. Mogelijke ruimte op het lokale en nationale elektriciteitsnetwerk wordt nu ook belangrijker, aangezien de energie- en vermogensvraag verwacht wordt hoger te liggen dan bij categorie 1. De overheid en de netbeheerders zullen hiervoor dus voldoende investeringen uit moeten voeren.

Vanwege de verhoogde vraag aan vermogen, zal ook de laadinfrastructuur deels anders worden.

Luchthavengebruikers met GA-verkeer zullen nog steeds de mobiele laders kunnen aanschaffen voor hun eigen vloot. Wanneer vaste laadfaciliteiten voor GA-verkeer geplaatst worden, zal dit altijd in overleg moeten gaan met de luchthavenbeheerder. Dit heeft te maken met de coördinatie van investeringen die mogelijk later nog gemaakt worden ten behoeve van het grotere zakelijke GA-verkeer of Regional Air Mobility. Zeker voor dit laatste type verkeer zullen hoge (400+ kW) vermogens verwacht worden, welke significante infrastructurele aanpassingen met zich meebrengen.

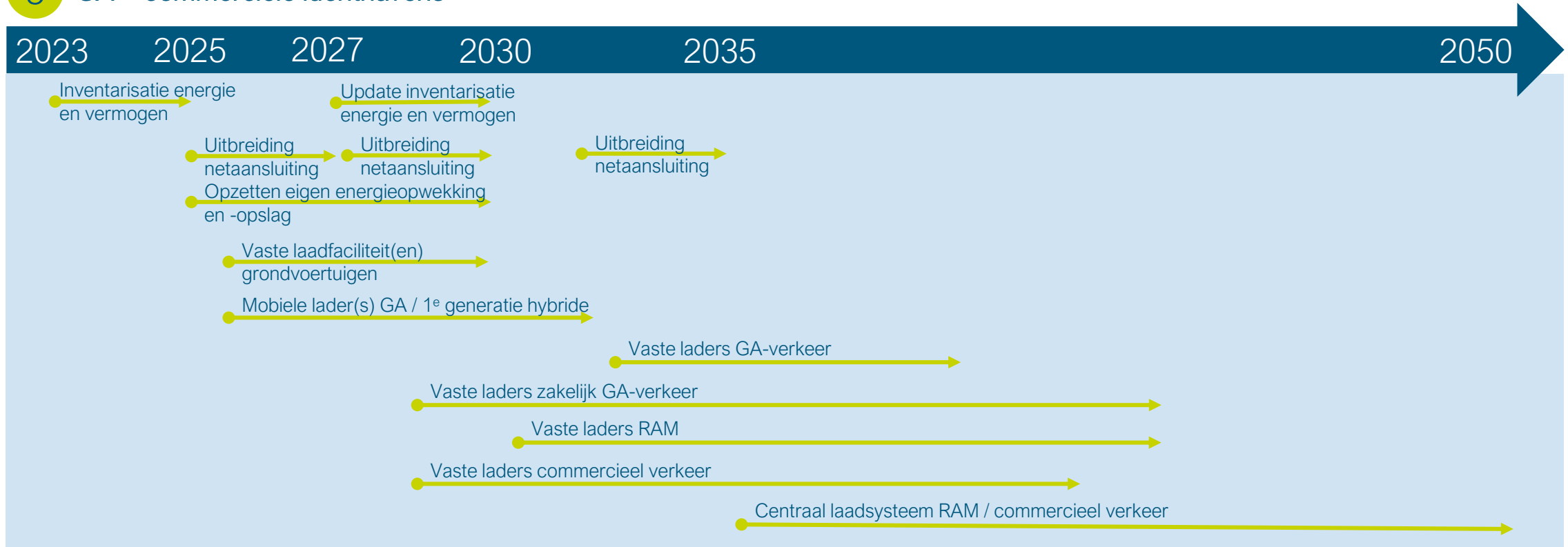
Tabel 6.2: Betrokken en uitvoerende partijen en afhankelijkheden per fase in het ontwikkeltraject elektrisch vliegen voor categorie 2 luchthavens

Ontwikkeltraject fase	Betrokken partijen	Uitvoering	Afhankelijkheden
Inventarisatie energie en vermogen	Luchthaven	Luchthaven, externe partij	-
Uitbreiding netaansluiting	Luchthavengebruiker, luchthaven	Regionale netbeheerder	Nationaal beleid (overheid), nationale netbeheerder
Opzetten eigen energieopwekking en -opslag	Luchthavengebruiker, luchthaven	Externe partij	-
Plaatsing vaste laadfaciliteit(en) grondvoertuigen	Luchthavengebruiker, luchthaven	Externe partij	Voldoende aansluitingscapaciteit
Plaatsing mobiele laders GA-verkeer	Luchthavengebruiker, luchthaven	-	Voldoende aansluitingscapaciteit
Plaatsing vaste laders GA-verkeer	Luchthavengebruiker, luchthaven	Externe partij	Voldoende aansluitingscapaciteit
Plaatsing vaste laders zakelijk GA-verkeer / RAM	Luchthaven	Externe partij	Voldoende aansluitingscapaciteit

Ontwikkeltrajecten elektrisch vliegen

Elektrificatie van grondvoertuigen zal in de komende jaren een uitdaging worden, daarna zal commercieel verkeer grote laadvermogens nodig hebben

3 GA + commerciële luchthavens



Ontwikkeltrajecten elektrisch vliegen

Elektrificatie van grondvoertuigen zal in de komende jaren een uitdaging worden, daarna zal commercieel verkeer grote laadvermogens nodig hebben

3 GA + commerciële luchthavens

Samenvatting ontwikkeltraject

De vijf commerciële luchthavens van Nederland vertonen grote verschillen qua type verkeer dat afgehandeld wordt en in welke mate. Ten aanzien van één aspect zullen de luchthavens echter in de komende jaren al actie moeten ondernemen: het elektrificeren van de grondvoertuigen. Ondanks dat meerdere luchthavens hier al mee bezig zijn, blijft het streven naar emissieloze grondafhandeling in 2030 een uitdaging gezien de beperkte ruimte op het elektriciteitsnetwerk de komende jaren. Uitbreidingen van de netaansluiting op de korte termijn zullen hiervoor nodig zijn.

In vergelijking met de twee overige categorieën zal op de commerciële luchthavens wel commercieel verkeer afgehandeld kunnen worden. De eerste generatie hybride toestellen worden vanaf 2024 verwacht. Echter zullen deze vliegtuigen nog opgeladen kunnen worden met mobiele laders, vergelijkbaar met die van het GA-verkeer. Vanwege deze compatibiliteit zal er dus niet extra geïnvesteerd hoeven te worden in andere typen laadinfrastructuur. Voor de volledig elektrische en 2^e generatie hybride vliegtuigen zal dit wel nodig zijn, in de vorm van vaste laadsystemen. Deze typen vliegtuigen zullen vanaf 2027/2028 gecertificeerd worden. Echter is de verwachting dat deze toestellen nog enkele jaren marktintroductie nodig zullen hebben voordat de eerste toestellen in Nederland vluchten uit zullen voeren.

Ook nu kan er sprake zijn van een gefaseerde uitbreiding van de netaansluiting. Voor 2030 zal deze dan moeten zijn uitgevoerd om aan de nieuwe verhoogde vermogensvraag van volledig elektrische en hybride vliegtuigen te voldoen.

Wanneer het commercieel verkeer in de elektrische vorm verder groeit zal overgeschakeld kunnen worden naar een centraal laadsysteem. Wederom is dit afhankelijk van het aantal verwachte elektrische vliegtuigbewegingen en de hoeveelheid vliegtuigen die tegelijkertijd zullen laden. Ook voor Regional Air Mobility zou een dergelijk centraal systeem nodig zijn, zodra dit type operaties opgeschaald wordt.

Verwachte uitvoering

Op de luchthavens binnen deze categorie zal de uitwerking van de tijdlijnen om elektrisch GA-verkeer af te handelen afhankelijk zijn van de focus per luchthaven. Voor alle luchthavens geldt wel dat de tijdlijn van elektrische grondvoertuigen gevolgd dient te worden om het doel in 2030 te behalen. Om dezelfde redenen als bij categorie 2 luchthavens zullen ook niet alle luchthavens in categorie 3 de tijdlijnen voor zakelijk GA-verkeer en RAM volgen. Wederom zullen enkele luchthavens deze tijdlijnen willen uitstellen, omdat er simpelweg nog geen vliegtuigen of routes beschikbaar zijn naast de initieel ingestelde

startpunten. Dit zal ook gelden voor commerciële routes, waarbij er alleen gevlogen kan worden als er een route opgesteld kan worden naar een luchthaven met (ook) compatibele laadinfrastructuur. Voor de commerciële tijdlijnen geldt dus ook dat niet van elke luchthaven verwacht wordt dat de voorgestelde commerciële tijdlijnen exact gevolgd wordt, maar ook uitgesteld kan worden.

Ontwikkeltrajecten elektrisch vliegen

Elektrificatie van grondvoertuigen zal in de komende jaren een uitdaging worden, daarna zal commercieel verkeer grote laadvermogens nodig hebben

3 GA + commerciële luchthavens

Verantwoordelijkheden

Voor de commerciële luchthavens van Nederland zal de rol van de luchthavenbeheerder zelf groter worden. Deze heeft namelijk invloed op alle processen en betreft mogelijk ook externe partijen die volgens een overeenkomst werk uitvoeren voor en op de luchthaven. Deze partijen kunnen bijvoorbeeld ook faciliteiten huren van de luchthaven waarvoor de luchthaven nog steeds verantwoordelijk is, inclusief de netaansluiting. Alles omtrent de energievoorziening op de luchthaven zal dus geregeld moeten worden door de luchthavenbeheerder.

Van afhandelingsbedrijven zal een investering gevraagd worden ten aanzien van elektrische grondvoertuigen. De bijbehorende laadinfrastructuur zal echter pas geplaatst

kunnen worden door de luchthavenbeheerder zodra er voldoende netcapaciteit gerealiseerd is. Laadpalen kunnen dan gebruikt worden door meerdere afhandelingsbedrijven of er kan gekozen worden voor specifieke laadgebieden per afhandelingsbedrijf of type voertuig.

Commercieel verkeer zal alleen geladen kunnen worden met vaste laders, mogelijk in combinatie met een centraal laadsysteem. Deze zullen naar verwachting door de luchthaven geplaatst worden vanwege de hoge investeringskosten. Als deze laadsystemen los van elkaar worden geplaatst en aangesloten, zal dit hogere kosten met zich meebrengen. Daarnaast kan de luchthaven op deze manier meerdere elektrische luchtvaartmaatschappijen de kans bieden om vanaf de luchthaven te opereren. Er ontstaat zo dus geen alleenrecht van een

luchtvaartmaatschappij op deze laadfaciliteiten. Dit zal in mindere mate gerealiseerd kunnen worden wanneer luchtvaartmaatschappijen zelf de infrastructuur plaatsen op de luchthaven.

Tabel 6.3: Betrokken en uitvoerende partijen en afhankelijkheden per fase in het ontwikkeltraject elektrisch vliegen voor categorie 3 luchthavens

Ontwikkeltraject fase	Betrokken partijen	Uitvoering	Afhankelijkheden
Inventarisatie energie en vermogen	Luchthaven	Luchthaven, externe partij	-
Uitbreiding netaansluiting	Luchthaven	Regionale netbeheerder	Nationaal beleid, nationale netbeheerder
Opzetten eigen energieopwekking en -opslag	Luchthaven	Externe partij	-
Plaatsing vaste laadfaciliteit(en) grondvoertuigen	Luchthaven, concessiehouders	Externe partij	Voldoende aansluitingscapaciteit
Plaatsing mobiele laders GA-verkeer	Luchthavengebruiker, luchthaven, concessiehouders	-	Voldoende aansluitingscapaciteit
Plaatsing vaste laders en/of centraal laadsysteem	Luchthaven	Externe partij	Voldoende aansluitingscapaciteit

Ontwikkeltrajecten elektrisch vliegen

Pionier luchthavens kunnen innovatie faciliteren

Buiten het feit dat luchthavens de markt kunnen volgen met betrekking tot ontwikkelingen op het gebied van elektrische luchtvaart, kan er ook een meer proactieve rol ingenomen worden om ontwikkelingen mogelijk te maken of zelfs te versnellen. Deze zogenoemde pionier luchthavens zijn vaak al vroeg betrokken bij nieuwe initiatieven en acteren hierop doelgericht en daadkrachtig, niet wachtende op volledige zekerheid vanuit bijvoorbeeld wetgeving of standaardisatie.

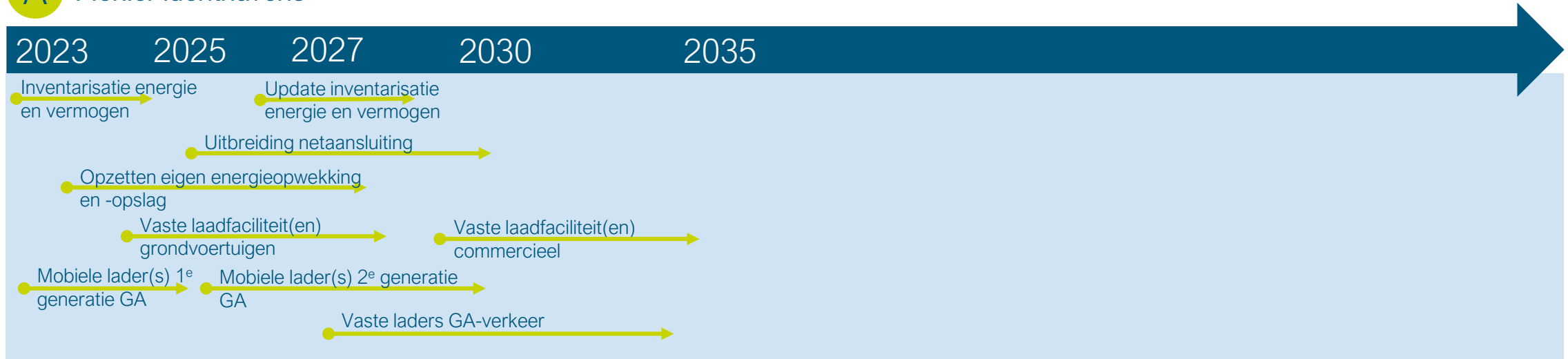
De eerste stap van deze categorie luchthavens zal, net

zoals bij elk voorgestelde ontwikkeltraject, altijd een inventarisatiestudie zijn (geweest). Daarna zal vaak direct worden overgegaan op de infasering van infrastructuur voor de eerste generatie GA-vliegtuigen door middel van mobiele laders. In Nederland bevinden de luchthavens Teuge, Rotterdam en Lelystad zich op dit niveau.

Er kan ook gekozen worden om testen te faciliteren tijdens bijvoorbeeld het certificatieproces van vliegtuigen of nieuwe laadsystemen. Vooral voor elektrische vliegtuigen in

ontwikkeling kunnen deze pionier luchthavens een uitkomst bieden omdat de infrastructuur vaak al op een bepaald niveau aanwezig is. Naast de geïntroduceerde ontwikkeltrajecten zou dit ontwikkeltraject dus parallel kunnen lopen.

A Pionier luchthavens



Ontwikkeltrajecten elektrisch vliegen

In Scandinavië worden ambitieuzere doelen gesteld op het gebied van commercieel verkeer

Gezien de Nederlandse ontwikkelingen op het gebied van elektrische luchtvaart kan er gezegd worden dat er sprake is van een progressieve lijn. Maar hoe verhoudt zich dit tot ontwikkelingen in het buitenland? En welke doelen worden er in andere landen gesteld? Ter validatie van de voorgestelde ontwikkeltrajecten zullen deze vragen nu kort belicht worden.

Elektrische vliegscholen

Kijkende naar elektrische vliegscholen is Nederland één van de landen waar nu al gevlogen wordt met de Pipistrel Velis Electro. Naast het Verenigd Koninkrijk, Spanje, Zweden en IJsland, worden ook in Australië al lesvluchten aangeboden met dit volledig elektrische vliegtuig. Ondanks dat er nu misschien nog maar relatief weinig vliegscholen of vliegclubs zijn overgestapt op elektrische toestellen, zijn er vele van deze organisaties al actief bezig met deze technologie. Bij voornamelijk vliegscholen zijn er namelijk veel elektrische toestellen in bestelling bij fabrikanten. Dit betreft types die nog gecertificeerd moeten worden, maar welke de komende jaren worden verwacht. Ook in Nederland heeft bijvoorbeeld de KLM Flight Academy elektrische toestellen in bestelling ^[96].

Nog maar weinig landen hebben echt concrete doelen en plannen gepresenteerd op het gebied van elektrische luchtvaart. In Scandinavië zijn er echter twee landen die vol inzetten op elektrische vluchten.

Zweden

Zweden heeft zichzelf ten doel gesteld om in het jaar 2030 alle binnenlandse vluchten fossielvrij te laten opereren. Deze routes zijn vaak wat korter van aard en bedienen relatief kleine markten, waardoor toekomstige commerciële elektrische vliegtuigen hiervoor zeer geschikt zullen zijn. Sommige van deze binnenlandse routes vallen ook binnen een (gesubsidieerde) openbare dienstverplichting (of PSO), die een minimale service borgt, vanwege de vitaliteit van deze routes.

Om de gestelde doelstelling te behalen wordt er al geïnvesteerd in innovatie rondom en voor het in gereedheid brengen van de elektrische luchtvaart. Dit bedraagt ongeveer €1.4 miljoen per jaar. Daarbij moeten er tien Zweedse luchthavens in 2025 al gereed zijn om elektrische vluchten af te handelen. Specifiek wordt Malmö genoemd als testluchthaven van de toekomstige Heart Aerospace ES-30 en zal de luchthaven in Östersund algemene tests uitvoeren voor elektrische luchtvaart inclusief Regional Air Mobility ^[97,98].

Noorwegen

Ook in Noorwegen zijn er doelen gesteld op het gebied van duurzame luchtvaart. Deze worden gedragen door de overheidsinstantie Avinor, die alle luchthavens in het land uitbaat. Om inzicht te krijgen is al relatief vroeg begonnen met inventarisaties op het gebied van duurzame(re) energiedragers, waaronder de mogelijkheden van elektrisch vliegen. Dezelfde soort routes als in Zweden (korter, met weinig passagiersvolume en deels onder openbare dienstverplichting) worden hier ook aangemerkt als te elektrificeren routes. Het streven is om in 2040 alle korte vluchten (onder de 1.5 uur) 100% elektrisch te vliegen ^[99].

Ontwikkeltrajecten elektrisch vliegen

Mogelijke belemmeringen voor de introductie van elektrisch vliegen zijn onder andere: netcongestie, groene energievoorziening, energieopslag, standaardisatie en de initiële investering

Naast dat er vele kansen liggen op het gebied van elektrische luchtvaart, zijn er ook een aantal uitdagingen die de introductie van deze nieuwe energiedrager kunnen belemmeren.

Ten eerste zijn fabrikanten nu vooral bezig met hun eigen toestellen en voor de bijbehorende laders is geen afstemming over een algemene aanpak omtrent de laadfaciliteiten. Hieronder vallen onder andere de compatibiliteit van verschillende type stekkers op de verschillende vliegtuigen en de laadprotocollen die laders kunnen genereren. Daarnaast zouden toekomstige koelingsystemen met bijbehorende interne vliegtuigsystemen hieronder kunnen vallen. Als er geen standaardisatie plaatsvindt op deze vlakken, zou dat kunnen betekenen dat elk vliegtuig afhankelijk is van de specifieke infrastructuur per luchthaven, in plaats van simpelweg het wel of niet aanwezig zijn van laadfaciliteiten. De introductie van de elektrische luchtvaart zou vertraging op kunnen lopen op het moment dat er een gebrek ontstaat aan luchthavens waar vliegtuigen daadwerkelijk de juiste laadinfrastructuur kunnen gebruiken. Het kan dan minder aantrekkelijk worden om in dergelijke toestellen te investeren. Het ligt voor de hand dat deze standaardisatie wordt gecoördineerd door internationale certificeringsorganisaties zoals EASA en FAA. Deze kunnen dan ook geïntegreerd worden in het certificatieproces wat op zichzelf ook nog een belemmering zou kunnen zijn,

omdat dit vaak meer tijd vraagt bij nieuwe technologische ontwikkelingen.

Daarnaast zal de elektrische luchtvaart een extra energie- en vermogensbehoefte op luchthavens met zich meebrengen. Deze energiebehoefte zal afhankelijk zijn van het type verkeer, maar zal altijd geleverd moeten kunnen worden door de luchthavens met laadfaciliteiten. Bij de inventarisatie van het elektriciteitsnetwerk in Nederland is gebleken, dat lang niet alle luchthavens de komende jaren de beschikking kunnen hebben over een vergrote of verzwaarde aansluiting op het net vanwege congestie. Voor een betrouwbare en continue stroomtoevoer is dit echter wel noodzakelijk. Om dit mogelijk te maken zullen de overheid, landelijke netbeheerder en regionale netbeheerders samen met een plan moeten komen, zodat niet alleen luchthavens ruimte wordt geboden om te innoveren, maar ook andere sectoren. In lijn met deze extra energiebehoefte zou een luchthaven er ook voor kunnen kiezen om zelf in energieopwekking te investeren. Op deze manier wordt de druk op het vaak al volle elektriciteitsnetwerk verlicht. Er kan dan ook worden gekozen voor een hernieuwbare opwekkingsvorm van energie in plaats van een fossiele bron. Zeker in combinatie met energieopslag verhoogt dit de mogelijkheden om elektrische en dus emissieloze luchtvaart te voorzien van groene stroom.

Als laatste is er een financieel aspect dat nog voor belemmeringen van de introductie van elektrische luchtvaart kan zorgen. De investeringskosten van nieuwe technologie zijn namelijk vaak hoger dan de kosten om te investeren in gevestigde technologie. Voor de elektrische luchtvaart kan dit oplopen tot een twee keer zo grote aanschafprijs van het vliegtuig zelf ^[2]. Daarnaast is de verwachting dat ook de laadinfrastructuur duurder zal zijn dan voor de voertuigenindustrie vanwege de strengere eisen die de luchtvaart stelt met betrekking tot met name veiligheid.

De 'business case' om elektrisch te gaan vliegen is op dit moment minder goed te maken vanwege een hogere initiële investering, ondanks dat het wel een positieve bijdrage kan leveren aan duurzaamheid en duurzaamheidsdoelen. Zeker in de beginfase zal een bepaalde (financiële) prikkel kunnen helpen om deze nieuwe technologie van de grond te krijgen. Daarentegen zullen de operationele kosten van elektrische vliegtuigen wel lager liggen dan van conventionele vliegtuigen. Hierdoor zullen op den duur bijvoorbeeld tickets van commerciële elektrische vluchten lager uit kunnen vallen. In opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft de vliegtuigfabrikant Ampaire hier al een studie voor gedaan ^[100]. Deze studie focust zich op een hybride-elektrische Cessna Caravan die tussen de eilanden Aruba, Bonaire en Curaçao zal gaan vliegen.

7. Inventarisatie van waterstofluchthaveninfrastructuur

De verwachte ontwikkeling van waterstofinfrastructuur in Nederland

Het Nationaal Waterstof Programma (NWP) komt voort uit het Klimaatakkoord en zal helpen met het realiseren van doelen en ambities op het gebied van waterstof

Het Klimaatakkoord, gesloten in 2019, bevat een pakket aan maatregelen en doelstellingen met als centrale doel het verminderen van de nationale broeikasgasuitstoot met 49%, in 2030, ten opzichte van 1990 ^[101].

Waterstof wordt zowel in het klimaatakkoord als in het National Waterstof Programma (NWP) gezien als een energiedrager met meerdere cruciale functies, waaronder het faciliteren van CO₂-vrije mobiliteit. Mede hierdoor is er een uitgesproken doel om voor 2030 tussen 3 en 4 gigawatt (GW) aan elektrolysevermogen te hebben geïnstalleerd ^[101]. Tussentijds bestaat de ambitie om in 2025 al 500MW geïnstalleerde elektrolysecapaciteit te hebben in Nederland. Het jaar 2025 wordt ook aangemerkt als een keuzemoment met betrekking tot de definitieve inrichting van de verwachte opschalingsfase tussen 2026 en 2030 ^[101].

Nationaal Waterstof Programma (NWP)

Om de doelstelling van het klimaatakkoord te halen is het NWP opgericht in 2022. Twee van de belangrijkste thema's binnen dit programma zijn het importeren van hernieuwbare waterstof en de infrastructuur voor transport- en opslagcapaciteit voor de Nederlandse waterstofbehoefte ^[102].

Met betrekking tot opslag wordt in het NWP vooral bedoeld

op grootschalige opslag, bijvoorbeeld in lege gasvelden of zoutcavernes ^[102]. Verder ligt de focus op het gebied van infrastructuur op het behalen van een waterstoftransportnetwerk, zoals aangegeven in figuur 7.1. Hierin is de eerste fase van een waterstoftransportnet te zien. Deze zal zich in de eerste decennia richten op het verbinden van clusters voor het bevorderen van binnenlands gebruik van waterstof en het distribueren van geïmporteerde waterstof.

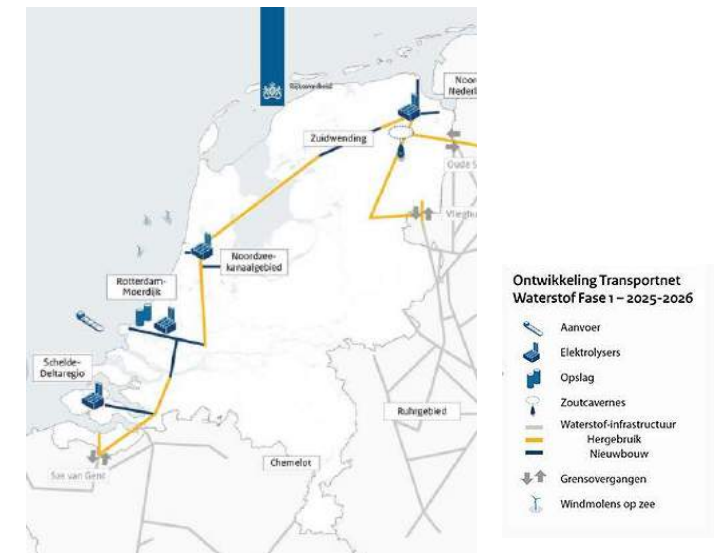
Waterstof in de luchtvaart

Met betrekking tot luchtvaart worden er twee rollen voorzien voor waterstof. De eerste richt zich op het gebruik van waterstof als grondstof voor 'duurzame drop-in brandstoffen', zoals biobrandstoffen of synthetische kerosine, voor gebruik in huidige vliegtuigen. Deze rol komt voort uit de voorgestelde EU regelgeving 'ReFuelEU' waarin doelen en eisen worden gesteld aan de hoeveelheid duurzame brandstoffen dat beschikbaar moet zijn op alle Europese luchthavens ^[103]. Ten tweede, zijn er meerdere vliegtuigfabrikanten bezig met het maken en ontwerpen van een waterstofvliegtuig.

Als onderdeel van de routekaart en werkplan bestaat er in de eerste fase (tot 2025) het doel om productie van biobrandstoffen en synthetische kerosine op te schalen, onder andere door het importeren van waterstof. Met

betrekking tot door waterstof aangedreven vliegtuigen, is de aanname dat er vooral gekeken zal worden naar het ontwikkelingstempo en innovatietrajecten rondom vliegtuigen en grondgebonden activiteiten ^[102]. Dit zal als leidraad dienen in het opstellen van waterstofinfrastructuur op luchthavens.

Er worden op dit moment weinig tot geen doelen gesteld door het klimaatakkoord of NWP met betrekking tot infrastructuur en opslag van waterstof op of nabij luchthavens.



Figuur 7.1: Indicatief overzicht van verwachte ontwikkelingen ter bevordering van een binnenlands waterstof transportnet in 2025/2026 ^[104]

De verwachte ontwikkeling van waterstofinfrastructuur in Nederland

Het Nationaal Waterstof Programma geeft aan wat de verwachte ontwikkelingen zijn op het gebied van een binnenlands waterstoftransportnetwerk

In figuur 7.2 is een indicatief overzicht weergegeven van verwachte ontwikkelingen ter bevordering van een waterstof transportnet in 2027/2028/ Ten opzichte van figuur 7.1 (2025/2026) is te zien dat er voornamelijk in het oosten van Nederland zal worden gewerkt aan het waterstoftransportnet tussen 2025/2026 en 2027/2028. In eerste instantie zal de focus liggen op grote industriële clusters aan de kust en verbindingen met opslagfaciliteiten. Figuur 7.3, waarin een indicatie van het verwachte net in 2030 getoond wordt, laat zien dat naar verwachting vanaf 2028 tot en met 2030 in het zuiden van het land zal worden gewerkt aan het realiseren van overige tracés van het transportnet.

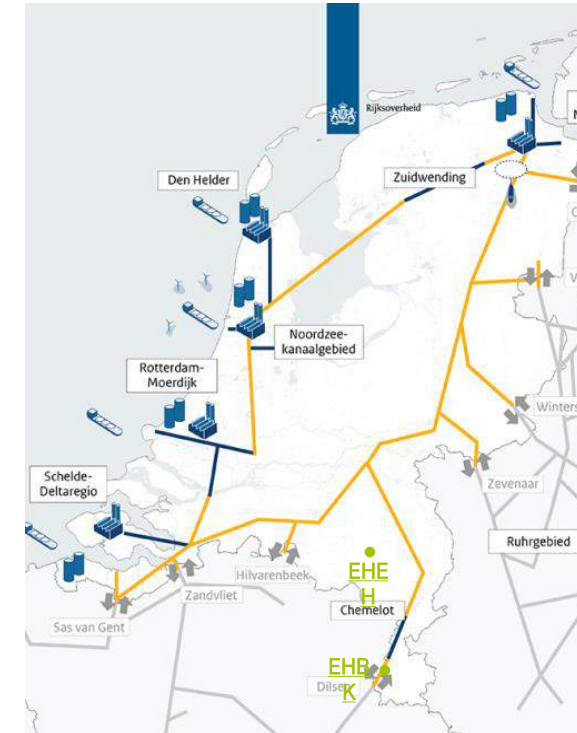
In figuren 7.2 en 7.3 zijn tevens de vijf luchthavens met commerciële passagiersvluchten weergegeven. Hieruit is te herleiden dat de luchthavens Rotterdam, Schiphol en Groningen al in de tweede fase (2027/2028) dichtbij het geplande transportnet liggen, terwijl Eindhoven en Maastricht pas in de laatste fase eenzelfde proximititeit hebben tot het transportnet.

Er zal rekening gehouden dienen te worden met de energiedichtheid van waterstof voor toepassingen in de luchtvaart. In de luchtvaart zal het gebruik van waterstof zich primair richten op vloeibare waterstof vanwege de hoge specifieke energiedichtheid. Deze is 3 tot 4 keer hoger dan bij gasvormige waterstof. Het vervoeren van vloeibare waterstof is over lange afstanden nog niet haalbaar vooral vanwege de vereiste koelingsgraad. Op korte termijn zal vervoer doormiddel van vrachtwagens

gebeuren of door gasvormige waterstof op locatie vloeibaar te maken. Naar verwachting zal het langeafstandsvervoer van vloeibare waterstof per pijpleiding pas na 2050 haalbaar zijn.



Figuur 7.2: Indicatief overzicht van verwachte ontwikkelingen ter bevordering van een binnenlands waterstof transportnet in 2027/2028 ^[104]



Figuur 7.3: Indicatief overzicht van verwachte ontwikkelingen ter bevordering van een binnenlands waterstof transportnet in 2030 ^[104]

Inventarisatie van waterstofluchthaveninfrastructuur

De luchthavens Groningen en Rotterdam zijn voorlopers op het gebied van waterstofplannen, Schiphol bestudeert impact waterstof binnen haar operaties

In 2023 waren er geen luchthavens in Nederland die beschikking hadden over een vaste waterstofinfrastructuur. Wel heeft het NLR een 'dewaar' (opslagvat) met een capaciteit van 150L voor het opslaan van vloeibare waterstof op een terrein te Marknesse. Meerdere luchthavens zijn op dit moment bezig met projecten om te evalueren wat de verwachte omvang van waterstofvliegtuigen of grondgebonden voertuigen zal zijn en welke mogelijkheden dit met zich meebrengt.

De luchthaven van Groningen heeft een uitgesproken doel om de meest duurzame luchthaven van Europa te worden en tegelijkertijd een waterstofhub ^[105]. Ter bevordering van dit doel bestaat er een samenwerking met NXT airport, een initiatief dat zich richt op het verduurzamen van de luchtvaart. Om eventuele elektrolyse te voorzien van groene stroom, beschikt de luchthaven over een 22 megawatt (MW) zonnepark. Naast het duurzaam produceren van hernieuwbare waterstof, heeft luchthaven Groningen ook als doel dat alle grondafhandelingen in 2030 volledig emissieloos zijn. In juni 2023 is de eerste waterstof Ground Power Unit (GPU) gepresenteerd om mogelijk alle diesel-aggregaten op de luchthaven te vervangen ^[106]. Groningen is een van de voorlopers in Nederland op het gebied van plannen omtrent waterstof.

De luchthaven van Rotterdam, onderdeel van de Schiphol Group, streeft ernaar om in 2030 emissievrij te zijn. Dit geldt ook voor grondafhandelingen, waar de

nadruk ligt op het elektrificeren van voertuigen. Rotterdam Airport maakt ook deel uit van een Europees consortium TULIPS dat in 2021 een toekenning kreeg vanuit de EU om innovaties te ontwikkelen om de luchtvaart te verduurzamen ^[107]. Als onderdeel hiervan werkt de luchthaven van Rotterdam samen met partners om een vloeibare waterstofopslag op de luchthaven te plaatsen, ter bevordering van testvluchten ^[108]. De introductie van waterstof op het luchthaventerrein brengt nieuwe uitdagingen met zich mee. Zo analyseert Rotterdam Airport de impact op de omgeving en toepasbaarheid van regelgeving.

Buiten het consortium heeft Rotterdam Airport ook samenwerkingsovereenkomsten gesloten met waterstofvliegtuigfabrikanten zoals ZeroAvia en Conscious Aerospace (sinds kort gevestigd op Rotterdam). Beide bedrijven hebben aangegeven om in de komende jaren vanaf Rotterdam te willen vliegen ^[109]. Hiermee is Rotterdam Airport één van de toonaangevende luchthavens op het gebied van waterstof binnen de Nederlandse luchtvaart.

De luchthaven Schiphol maakt ook deel uit van het TULIPS consortium en onderzoekt diverse mogelijkheden om de luchtvaart, inclusief grondafhandeling te verduurzamen ^[107]. Schiphol focust meer op de langere termijn met een studie gericht op het analyseren van de verwachte impact van waterstof op het 'masterplan' van de luchthaven.



Figuur 7.4: Overzicht van luchthavens met commerciële passagiersvluchten en plannen met betrekking tot het gebruik, opslag of produceren van waterstof

Inventarisatie van waterstofluchthaveninfrastructuur

Luchthaven Twente faciliteert waterstoftesten voor drones, Lelystad Airport werkt samen met andere partijen als potentiële waterstofgebruiker

Naast de drie eerder genoemde luchthavens, worden de mogelijkheden van waterstof ook geëvalueerd door Lelystad Airport en Twente Airport.

Lelystad Airport maakt deel uit van het consortium Flevoland Hydrogen Valley (FLY) [110] met als doel het stimuleren van de waterstofeconomie in de provincie Flevoland. Het consortium heeft een plan om een gaswaterstofpijpleiding te realiseren tussen een nabijgelegen toekomstige waterstofproductielocatie en de luchthaven zelf [111].

Twente Airport, in 2017 heropend als burgerluchthaven, wil meewerken aan de toekomst van de luchtvaart. Binnen de kaders van het H2 Hub Twente maakt het deel uit van het H2 Big Drone project, met als doel het testen en realiseren van een drone die vliegt op waterstof [112]. Door innovatie te faciliteren wil Twente Airport zich positioneren als proeftuin voor toekomstige innovaties.



Figuur 7.5: Overzicht van luchthavens zonder commerciële passagiersvluchten en plannen met betrekking tot het gebruik, opslag of produceren van waterstof

8. Ontwikkelingen waterstof

Ontwikkelingen waterstof

Energiedichtheid vormt de drijfveer om waterstof te gebruiken als toekomstige energiedrager in de luchtvaart

Op basis van de inventarisatie van huidige waterstofinfrastructuur en de plannen omtrent het opzetten van een waterstofnetwerk in Nederland, is er al een stap gezet naar het analyseren van de mogelijkheden tot aanvoer van waterstof naar luchthavens in Nederland. Om de impact op luchthaventankinfrastructuur te kunnen analyseren is behoefte aan duidelijkheid omtrent de vraag naar waterstof vanuit de luchtvaart. Momenteel wordt er gekeken naar het gebruiken van waterstof als energiedrager voor zowel vliegtuigen als grondgebonden voertuigen (GSE).

Dit hoofdstuk zal zich richten op de huidige en verwachte ontwikkelingen met betrekking tot het gebruik van waterstof als energiedrager in de luchtvaart. Dit vergt eerst een algemene introductie over de rol van waterstof als energiedrager. Daarna volgt er een analyse van de verwachte ontwikkelingstijdlijnen van waterstofvliegtuigen en grondvoertuigen. Ten slotte zal er een stap worden gezet naar de eisen op het gebied van infrastructuur voor de verschillende eindgebruikers.

Waterstofluchtvaarttechnologie

Hoewel waterstof pas relatief recent wordt aangemerkt als een energiedrager voor de toekomst, zijn er in voorgaande decennia al enkele studies gedaan op het gebied van waterstof aangedreven vliegtuigen. Een voorbeeld hiervan zijn de studies die zijn geleid door Brewer ^[113] eind jaren 80

bij Lockheed & NASA, met als eindresultaat een studie naar de haalbaarheid van een 400 passagiers vliegtuig, voor afstanden tot en met 5000 nautische mijlen (9260 km). Daarnaast is er in 1988/89 in Rusland gevlogen met een gemodificeerde Tupolev 154, de TU-155 ^[114], waarvan één van de drie straalmotoren werd aangedreven door vloeibare waterstof (LH₂) ^[115]. Ten slotte is er begin jaren '00 een project opgestart door de EU, om te kijken naar de nieuwe vliegtuigconfiguraties, die het vliegen op waterstof moesten faciliteren ^[116].

Er zijn twee drijfveren voor het gebruik van waterstof als energiedrager. De eerste is de hoge energiedichtheid en de tweede is de koolstofvrije verbranding van waterstof. De energiedichtheid van waterstof is ongeveer drie keer zo hoog als de energiedichtheid van de huidige vliegtuigbrandstof (Jet-A1). Bij Jet-A1 geldt een energiedichtheid van 43.2 MJ per kilo ^[117] terwijl dit voor waterstof bijna 142 MJ per kilo is. Hier moet wel worden gekeken naar de volumetrische energiedichtheid, waaruit blijkt dat het benodigde volume voor 1 kilo gasvormige waterstof ongeveer 4 keer hoger is dan voor 1 kilo Jet-A1. Hierdoor wordt voornamelijk gekeken naar de mogelijkheden om waterstof vloeibaar te maken, om zo de volumetrische energiedichtheid te verhogen, en de impact op vliegtuigontwerpen te beperken.

Bij alle verbrandingsprocessen van koolwaterstoffen, waaronder Jet-A1, komt koolstofdioxide (CO₂) vrij. Bij het verbranden van waterstof, is er echter geen CO₂-uitstoot vanwege het gebrek aan koolstof in de chemische samenstelling van waterstof. Hierdoor zou op het gebied van CO₂-uitstoot veel gewonnen kunnen worden met een overstap naar waterstof in verbrandingsmotoren ^[118].

Verbrandingsmotoren zijn niet de enige manier waarop waterstof kan worden gebruikt. De mogelijkheid bestaat ook om brandstofcellen te gebruiken om de waterstof naar elektrische energie te transformeren om zo elektrisch gedreven propellers aan te drijven. Voor het gebruik van brandstofcellen zijn de eisen met betrekking tot de zuiverheid van waterstof strenger dan bij een verbrandingsmotor.

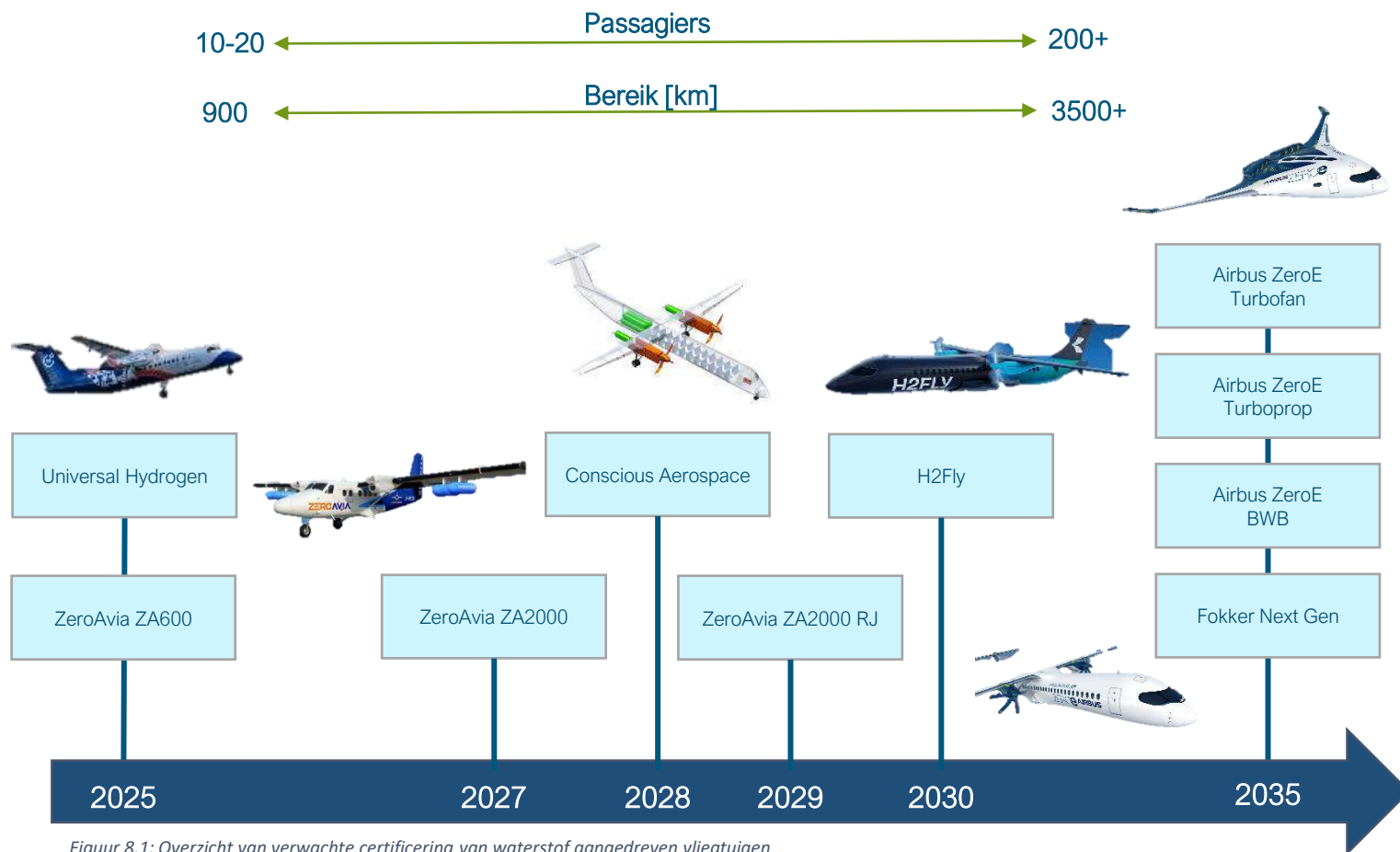
Hierdoor bestaan er 4 verschillende mogelijkheden tot gebruik van waterstof in vliegtuigen. Gasvormige waterstof met verbrandingsmotoren (1) of met brandstofcellen (2). Of vloeibare waterstof met verbrandingsmotoren (3) of brandstofcellen (4). Bij grondvoertuigen is er echter weinig behoefte aan vloeibare waterstof, omdat de energiebehoefte lager ligt en ruimte minder beperkt is in vergelijking met vliegtuigen. Samen met de technische eisen om vloeibare waterstof koel te houden (-253°C), is de kans gering dat vloeibare waterstof zal worden gebruikt voor grondgebonden activiteiten.

Ontwikkelingen waterstofvliegtuigen

De eerste generatie waterstofvliegtuigen richten zich voornamelijk op de korte en middellange vluchten, vergelijkbaar met de huidige vloot 'narrowbody' vliegtuigen

Meerdere bedrijven en projecten focussen zich op het realiseren van een vliegtuig dat volledig wordt aangedreven door waterstof, mede gedreven door de hoge energiedichtheid van waterstof. De eerste generatie vliegtuigen, van ZeroAvia en Universal, hebben in 2023 testvluchten uitgevoerd. Beide concepten hebben testvluchten uitgevoerd op basis van gasvormige waterstof voor het gebruik in een brandstofcel en hebben plannen om over te stappen naar vloeibare waterstof om de hogere volumetrische energiedichtheid te benutten. In September 2023 is door H2Fly een testvlucht uitgevoerd op basis van vloeibare waterstof en is daarmee het eerste bedrijf wereldwijd geweest die dit heeft gedaan. De eerste waterstofvliegtuigen worden al in 2025 verwacht. De passagiersaantallen en vluchtafstanden zullen echter beperkt zijn. Daarom zullen de eerste vluchten worden gebruikt voor de regionale luchtvaart. Verder wordt verwacht dat het bereik en de passagierscapaciteit van de toestellen groter zal worden, in lijn met de huidige 'narrowbody' toestellen, bijvoorbeeld door de ZeroE vloot van Airbus, met een verwacht bereik van bijna 4000 km.

Vanwege de energiedichtheid wordt vooral gekeken naar de middellange afstanden voor waterstofvliegtuigen. Op langeafstandsvluchten bestaan nog enkele technische belemmeringen zijn met betrekking tot het gebruik van waterstof als energiedrager.



Figuur 8.1: Overzicht van verwachte certificering van waterstof aangedreven vliegtuigen

Ontwikkelingen waterstof

Waterstof heeft een lange waardeketen, waarbij meerdere technische processen nodig zijn om groene waterstof te leveren

De waardeketen van groene waterstof bestaat uit meerdere stappen, elk met verschillende doelen.

Groene waterstofproductie betreft een duurzaam en milieuvriendelijk proces waarbij water door middel van elektrolyse wordt gesplitst in waterstof en zuurstof, gebruikmakend van hernieuwbare energiebronnen zoals wind, zonne-energie, of waterkracht. Na elektrolyse kan de geproduceerde groene waterstof vloeibaar worden gemaakt om aan de behoefte van de luchtvaart te voldoen. Transport en opslag vormen essentiële schakels in deze keten, waarbij gebruik wordt gemaakt van pijpleidingen, vrachtwagens of schepen om de waterstof naar eindgebruikers te vervoeren. Deze benadering, in lijn met duurzame doelstellingen, vereist vooruitgang in technologie en infrastructuurontwikkelingen om een schonere, emissievrije toekomst te ondersteunen.

Vanwege de meerdere stappen is het mogelijk om te kijken naar de interactie tussen de waardeketen en de luchthavengrens. Voor luchthavens in categorie 3 bestaat de mogelijkheid om op, of nabij de luchthaven een liquefactiefaciliteit te realiseren. Voor luchthavens met voldoende toevoer van duurzame energie is het mogelijk om een volledige waardeketen op te zetten, hoewel er meerdere factoren moeten worden meegenomen in deze overweging, waaronder kosten en technische haalbaarheid.

Het integreren van waterstof in de luchtvaart zal een aantal impactgebieden met zich meebrengen voor luchthavens. De eerste betreft de ruimtelijke planning en indeling waarbij moet worden gekeken naar de hoeveelheid ruimte die er beschikbaar is, tegenover de eisen van verschillende processen in de waardeketen.

De tweede betreft de grootte verschillen tussen operationele concepten gebaseerd op het gebruik van waterstof, vooral vanwege de huidige wetgeving rondom waterstofprocessen, bijvoorbeeld grotere veiligheidsafstanden. Hierbij komt ook kijken dat de veiligheids- en risicoanalyse voor waterstof anders zal zijn dan bij kerosine, vanwege verschillen in chemische kenmerken. Voor luchthavens betekent dit onder andere dat brandweerpersoneel opgeleid dient te worden om met waterstof om te gaan.

Om dit allemaal te faciliteren, zullen luchthavens samen moeten werken met meerdere partijen, waaronder de chemische industrie, om zodoende 'best practices' te vertalen naar de context van een luchthaven.

Ten slotte is de financiering van (een deel van) de waterstof waardeketen een belangrijke vraag. Hierbij moet worden gekeken naar mogelijke verminderingen van investeringsrisico door investeringen te delen en in de tijd te spreiden. Ook kan worden gekeken naar het verkopen van waterstof aan andere sectoren, om meerdere

inkomstenbronnen op te zetten.



Figuur 8.2: Overzicht van groene waterstofwaardeketen

Luchthavenwaterstofinfrastructuur & Ruimtelijke planning

Binnen de waterstofwaardeketen genereert elektrolyse de grootste ruimtevrage, gemiddeld rond de 80% van de totale ruimtevrage

De waterstofwaardeketen bestaat uit vijf verschillende stappen. Alle stappen verschillen in ruimtevrage en in energiebehoefte. De opslag en verplaatsing van waterstof zal impact hebben op alle luchthavens. Echter zal de impact verschillen tussen categorieën, vanwege verschillen in opslag en transportmiddelen.

Waterstofopslag op luchthavens

Het opslaan van gasvormige waterstof gebeurt als gecompriemd gas. De gasvormige waterstof wordt opgeslagen in vaten of cilinders. De druk in de vaten kan verschillen en kan tussen de 100 en 700 bar (tot wel 700x de atmosferische druk) zijn. Bij hogere druk is de dichtheid van de gasvormige waterstof vele malen hoger en wordt de ruimtevrage kleiner. Hierbij moet wel rekening worden gehouden dat hogere druk ook voor grotere veiligheidsafstanden zorgt. Dit is omdat er bij een lekkage van hogere druk een groter risicogebied ontstaat vanwege de hogere snelheid waarmee de gasvormige waterstof kan ontsnappen. Ten tweede zal rekening gehouden moeten worden met dat compressie van waterstof een verlaging van energie met zich mee brengt, tussen de 10-15%. Voor de opslag van gasvormige waterstof na de compressie bestaat geen energiebehoefte, aangezien er geen actieve koeling nodig is.

Vloeibare waterstof wordt vooral in bolvormige tanks opgeslagen en in sommige gevallen worden deze tanks actief gekoeld om de verdamping en eventueel lekken van waterstof te vertragen. Hierdoor verschillen de energiebehoeftes van vloeibare waterstofopslagtanks vergeleken met gasvormige waterstof. De ruimtevrage van een vloeibare waterstoftank is afhankelijk van de hoogte van de tank. De tanks van NASA zijn rond de 20 meter hoog, waardoor er met een beperkte ruimtevrage ongeveer 270 ton aan vloeibare waterstof kan worden opgeslagen. Het verdampingstempo van dit soort opslagtanks ligt tussen de 0.1% en 1% per dag, afhankelijk van de luchttemperatuur.

Bij het opslaan van waterstof op de luchthaven komen twee factoren aan bod. Ten eerste, gelden er strenge regels met betrekking tot de maximale hoogte van een object binnen een bepaalde afstand van de start- en landingsbaan. Dit heet de 'obstacle limitation surfaces' (OLS). Dit vormt een beperking op de hoogte van opslagtanks en kan er dus voor zorgen dat de ruimtevrage groter is dan gewenst.

Behalve de ruimte van de opslagtank zelf vormen de veiligheidsafstanden het grootste deel van de ruimtevrage van opslagfaciliteiten voor waterstof, zowel gasvormig als vloeibaar. Deze veiligheidsafstanden worden berekend op basis van de PGS-35 richtlijn en sinds 2024 geldt de omgevingswet ook als juridisch kader voor de veiligheid rondom dergelijke installaties. De grootten van de

veiligheidsafstanden verschillen sterk en zijn afhankelijk van lokale weersomstandigheden (waaronder windsnelheden), de druk op de opslagtank, de hoeveelheid waterstof en het risico op falen. Hierbij wordt gekeken naar de omgeving en type gebouwen en wegen in de buurt. Hierbij is de grootte van de veiligheidsafstanden vaak meerdere keren de grootte van de opslagtank zelf. Hierdoor is het onwaarschijnlijk dat opslaglocaties zich dichtbij publieke gebouwen, waaronder de terminal, zullen bevinden.

Typische veiligheidsafstanden tot publieke gebouwen zijn in de orde van 60-80 meter op basis van EIGA regelgeving (European Industrial Gases Association). Dit kan sterk verschillen en bij de vergunningsaanvraag voor een waterstofopslaginstallatie zal er altijd een kwantitatieve risicoanalyse (QRA) moeten worden uitgevoerd, waarna de resultaten moeten worden gedeeld met de regionale milieudienst en veiligheidsregio. Toegestane activiteiten in de veiligheidszone verschillen, maar permanente bewoning of publieke gebouwen zijn niet toegestaan. Dit kan van toepassing zijn op luchthavens waar mogelijke opslaglocaties dichtbij de grens van het luchthaventerrein zijn, waardoor deel van de veiligheidszone mogelijk buiten de instellingsgrens komt te vallen.

Ontwikkelingen waterstof

Het vervoeren van waterstof tussen productielocaties en eindgebruikers kan op drie verschillende manieren

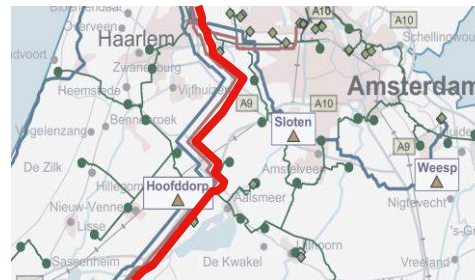
Het transporteren van waterstof tussen de verschillende stadia van de waardeketen kan op meerdere manieren. Bij gasvormige waterstof bestaat de mogelijkheid om te kiezen voor grootschalige pijpleidingnetwerken. Een voorbeeld hiervan is de 'hydrogen backbone' van Gasunie. Dit soort transport is geschikt voor het vervoeren van hoge volumes gasvormige waterstof over lange afstanden. Voor de luchtvaart zou het vervoeren van gasvormige waterstof vanuit grote productie- of importlocaties een mogelijkheid zijn, om daarna dichterbij de eindgebruiker de waterstof vloeibaar te maken.

Voor de kleinere volumes gasvormige waterstof bestaat de mogelijkheid om waterstof in transportwagens onder druk te transporteren. Een waterstoftransportwagen, op basis van 350 bar druk, zou dan 1 ton aan gasvormige waterstof kunnen transporteren. Dit is wellicht een geschikte mogelijkheid voor luchthavens in categorie 1 en 2. Voor categorie 3 luchthavens is de mogelijkheid beperkt. Dit komt door de verwachte grotere hoeveelheden.

Voor vloeibare waterstof zijn tankwagens momenteel de enige transportmogelijkheid over afstanden langer dan een paar honderd meter. Tankwagens die vloeibare waterstof transporteren kunnen ongeveer 3 tot 4 ton meenemen en zouden moeten worden ingezet om zowel vloeibare waterstof naar de luchthaven te brengen als het op de luchthaven te verdelen. De ontwikkeling van pijpleidingen

voor vloeibare waterstof zal op de lange termijn een technische belemmering zijn voor het opschalen van waterstof in de luchtvaart.

Op de korte termijn zal het vervoer van vloeibare waterstof moeten worden gedaan met tankwagens. Op Schiphol zal naar verwachting een voorkeur bestaan voor uitrol van een pijpleidingsysteem voor vloeibare waterstof vanwege de hoge bezettingsgraad van het 'airside' wegennetwerk^[119]. Dit zal mogelijk ook voor andere grotere Nederlandse luchthavens gelden. In Rotterdam wordt op dit brandstof per truck naar de luchthaven gebracht, hoewel de huidige operatie de grenzen van drukte op de wegen en opslagcapaciteit beproeven. Bij verdere groei, zal de parkeerruimte voor deze tankwagens moeten worden uitgebreid^[120].



Figuur 8.3: Voorbeeld van geplande pijpleiding voor gasvormige waterstof



Figuur 8.4: Transportwagen voor het vervoeren van gasvormige waterstof



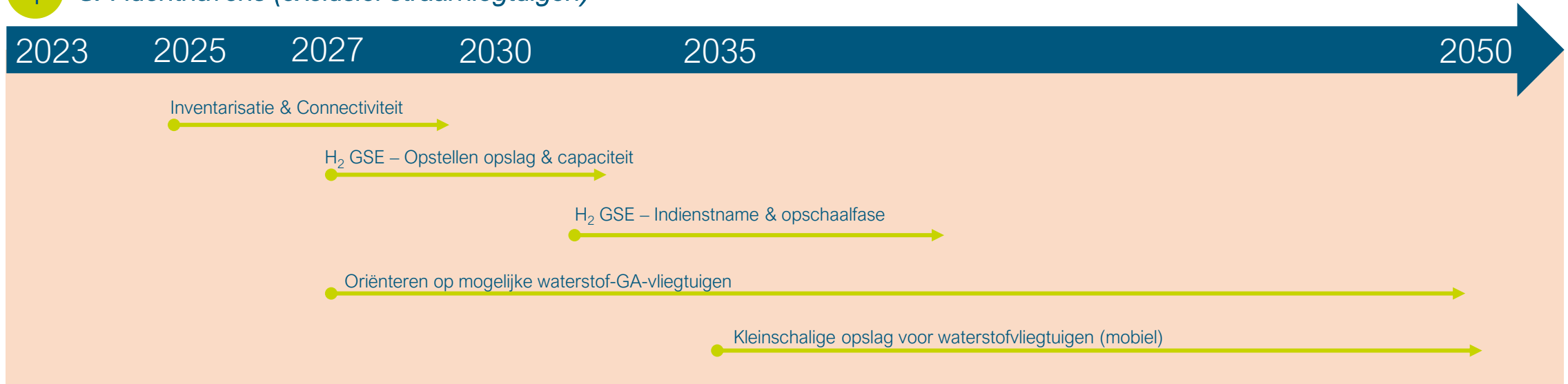
Figuur 8.5: Transportwagen voor het vervoeren van vloeibare waterstof

9. Ontwikkeltrajecten waterstof

Ontwikkeltrajecten waterstof

Op GA-luchthavens wordt de rol van waterstof als energiedrager als gering ingeschat

1 GA-luchthavens (exclusief straalvliegtuigen)



Ontwikkeltrajecten waterstof

Op GA-luchthavens wordt de rol van waterstof als energiedrager als gering ingeschat

1 GA-luchthavens (exclusief straalvliegtuigen)

Samenvatting ontwikkeltraject

Voor de eerste categorie luchthavens is de verwachting dat de rol van waterstof momenteel beperkt is. Dit geldt zowel voor vliegtuigen als grondvoertuigen. Mocht er toch een rol worden voorzien voor waterstof, dan zou dit eerst om een studie vragen naar de haalbaarheid van de aanvoer en opslag van gasvormige waterstof. Dit wordt op het vroegst voorzien vanaf 2025. Hierbij dient rekening te worden gehouden met de benodigde hoeveelheden waterstof en het verwachte operationele gebruikspatroon van de grondvoertuigen.

Bij grondvoertuigen wordt waterstof beschouwd als energiedrager voor grotere voertuigen, zoals sleepvoertuigen of grondgebonden aggregaten (GPU's).

Luchthavens in categorie 1 zullen waarschijnlijk weinig tot geen beschikking hebben over grotere GSE-voertuigen. Door de verwachte hogere kosten van waterstof in vergelijking met elektriciteit, alsmede de beperkte beschikbaarheid op de markt van waterstofvoertuigen voor grondgebruik, is de verwachting dat op categorie 1-luchthavens eerder gefocust zal worden op het elektrificeren van grondvoertuigen.

Met betrekking tot vliegtuigen is eerder getoond dat de doelgroep voor waterstofvliegtuigen voornamelijk de commerciële vluchten op korte en middellange afstanden

zijn. Hierdoor wordt verwacht dat de grootste energiedrager voor categorie 1 luchthavens elektriciteit zal zijn. Echter zijn er verschillende projecten bezig, waaronder het aanpassen van de Pipistrel Velis Electro met een waterstoftank en de ombouw van een Sling 12 vliegtuig naar vloeibare waterstof door AeroDelft. Deze projecten richten zich op vliegtuigen die vaak voorkomen op categorie 1 luchthavens. Hierdoor bestaat de behoefte om op termijn op deze luchthavens alsnog een kleinschalige opslagfaciliteit voor waterstof te realiseren om eventueel kleine vliegtuigen te tanken, waarschijnlijk mobiel van vorm. Dit zou bijvoorbeeld kunnen worden gerealiseerd door een mobiele dewaar. Echter zijn deze nog niet in Nederland commercieel beschikbaar en zullen op maat gemaakt dienen te worden, waardoor er weinig inzicht is in de investeringskosten. Grotere, vaste opslagtanks van chemische bedrijven zijn wel al beschikbaar. Echter zal er hierbij rekening moeten worden gehouden met veiligheidsvoorschriften van bijvoorbeeld PGS-35 en de omgevingswet.

Hierbij moet ook worden afgewogen of de geringe rol van waterstof op categorie 1 luchthavens geen onevenredige invloed zal hebben. Op dit moment zijn er geen juridische verplichtingen met betrekking tot het faciliteren van waterstof. Een keuze om waterstof niet te faciliteren zou niet ten koste mogen gaan van het behalen van de gestelde doelen van de Luchtvaartnota. Verder moet er tussen de

luchthavens en overheid afgestemd worden in welke mate de connectiviteit van verschillende regio's wordt beïnvloed door deze keuze. Het maken van deze keuze moet worden gebaseerd op de resultaten van een inventarisatie van de huidige vloot en marktsegmenten.

Verwachte uitvoering

Voor luchthavens in categorie 1 is de rol van waterstof waarschijnlijk zeer beperkt of is hier zelfs helemaal geen rol voor weggelegd. Indien er alsnog een rol wordt voorzien door technische ontwikkelingen, zullen de grotere categorie 1 luchthavens de ontwikkelingstijdlijn moeten doorlopen. Voor kleinere luchthavens zal er daardoor een mindere tijdsdruk zijn met betrekking tot het doorlopen van de ontwikkelingstijdlijn. Dit zal afhankelijk zijn van de marktontwikkeling en de opschaalfase van de elektrische vliegtuigtechniek. Volledige opschaling van waterstof infrastructuur op alle categorie 1 luchthavens zal waarschijnlijk tot na 2035/2040 duren, gezien de verwachte hoge aanschafkosten van waterstof vliegtuigen, die de marktopname zullen vertragen.

Ontwikkeltrajecten waterstof

Op GA-luchthavens wordt de rol van waterstof als energiedrager als gering ingeschat

1 GA-luchthavens (exclusief straalvliegtuigen)

Verantwoordelijkheden

Om de ontwikkelingstijdlijn van waterstof op categorie 1 luchthavens te faciliteren, zijn er meerdere acties nodig, die door verschillende partijen moeten worden uitgevoerd.

De eerste stap is een inventarisatie van de toekomstige vlootplannen en connectiviteit die wordt geboden door, en aangeboden aan, huidige luchthavengebruikers. Dit betreft meerdere segmenten in de GA categorie, waaronder vliegscholen en parachutespringcentra. Op basis van de vlootvernieuwingsplannen van de gebruikers, kan een categorie 1 luchthaven bepalen of waterstof in de toekomst wordt gefaciliteerd of niet. Dit moet in samenspraak gebeuren met de overheid, regionaal bestuur en eindgebruikers om te voorkomen dat de connectiviteit

nadelig wordt beïnvloed door het eventueel niet faciliteren van waterstof.

Uit de inventarisatie studie zal ook blijken of grondgebonden materiaal op waterstof zal worden gebruikt. Dit zal waarschijnlijk gering voorkomen op categorie 1 luchthavens. Indien wel wordt besloten om over te stappen op waterstof aangedreven GSE, dan zou de luchthaven met de grondafhandelaren (indien van toepassing) moeten afspraken hoe, en wanneer de transitie gebeurt. Daarnaast moet er voldoende beschikbaarheid van waterstof zijn. De eventuele komst van waterstof zal er ook toe leiden dat de luchthaven een vergunningsaanvraag zal moeten doen bij de veiligheidsregio en milieudienst. Hierbij hoort een QRA, waarvoor de luchthaven wellicht een externe partij moet inhuren.

Indien beleid ertoe leidt dat een kleine luchthaven waterstof dient te faciliteren, zal er een overeenkomst moeten komen tussen de beleidsbepalende instantie en de luchthaven over de financiering van de infrastructuur. Dit zal moeten gebeuren voor de in gebruikname.

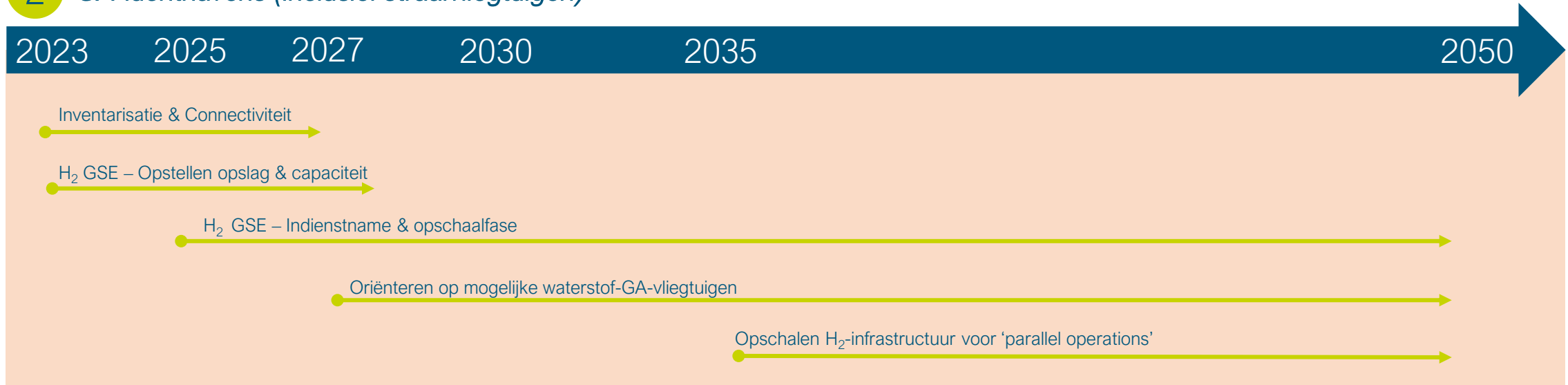
Tabel 9.1: Betrokken en uitvoerende partijen en afhankelijkheden per fase in het ontwikkeltraject waterstof voor categorie 1 luchthavens

Ontwikkeltraject fase	Betrokken partijen	Uitvoering	Afhankelijkheden
Inventarisatie & Connectiviteit	Luchthaven & Luchthavengebruiker & Overheid	Luchthaven	Inzicht luchthavengebruiker toekomstige vloot, Nationaal beleid
H2 GSE – Opstellen opslag & capaciteit	Luchthaven	Luchthaven, externepartij	Toevoer waterstof & QRA / Vergunningsaanvraag
H2 GSE – Indienstname & opschaalfase	Luchthavengebruiker, luchthaven	Luchthaven, externepartij	Voldoende financiering
Oriënteren op mogelijke waterstof-GA-vliegtuigen	Luchthavengebruiker, luchthaven	Luchthaven, externepartij	-
Kleinschalige opslag voor waterstofvliegtuigen (mobiel)	Luchthavengebruiker, luchthaven	Luchthaven	Voldoende financiering

Ontwikkeltrajecten waterstof

De rol van waterstof voor luchthavens met zakelijk verkeer zal groter zijn dan bij GA, maar zal concurrentie ervaren van SAF in een markt die minder prijsgevoelig is.

2 GA-luchthavens (inclusief straalvliegtuigen)



Ontwikkeltrajecten waterstof

De rol van waterstof voor luchthavens met zakelijk verkeer zal groter zijn dan bij GA, maar zal concurrentie ervaren van SAF in een markt die minder prijsgevoelig is.

2 GA-luchthavens (inclusief straalvliegtuigen)

Samenvatting ontwikkeltraject

De tweede categorie luchthavens zal naast de laadinfrastructuur voor kleiner GA-verkeer ook rekening moeten houden met mogelijk gebruik van waterstof door groter zakelijk GA-verkeer. Dit zal een groter infrastructureel netwerk vergen, gedreven door de verwachte verhoging in vraag naar waterstof. Het uitgebreidere waterstofnetwerk zal vergeleken met categorie 1 luchthavens bestaan uit grotere, vaste opslagtanks. Voor categorie 2 luchthavens wordt op dit moment niet verwacht dat het vloeibaar maken van waterstof op of nabij de luchthaven een geschikte oplossing is. Dit komt doordat de hoge initiële kosten en energievraag niet financieel rendabel zullen zijn bij kleine afnamehoeveelheden. Indien dit niet mogelijk is vanwege de uitkomsten van de QRA, kan er gebruik worden gemaakt van mobiele tankwagens die als opslagtank dienen.

Er zijn geen projecten bekend waarin waterstofvliegtuigen ontwikkeld worden voor het zakelijke GA-verkeer. Dit kan betekenen dat kleinere waterstofvliegtuigen ingezet zullen gaan worden op zakelijke routes. Dit is mogelijk vanwege het grotere vliegbereik bij waterstof vergeleken met elektrische vliegtuigen.

Voor het zakelijk verkeer wordt verwacht dat waterstof meer concurrentie zal ervaren van SAF dan in andere sectoren van de markt. Dit wordt deels gedreven door de mogelijkheid om met SAF, in de komende 15-20 jaar,

langere routes te vliegen en deels door de minimale veranderingen die nodig zijn om een vliegtuig op SAF te laten vliegen. Hierdoor is het mogelijk dat luchthavens in categorie 2 een driedelige energiemix zullen faciliteren, bestaande uit enerzijds elektrische vliegtuigtechnologie voor GA en anderzijds SAF en waterstof energiedragers zijn voor zakelijk verkeer.

Om dit te realiseren zal er in de periode tot en met 2027 moeten worden gekeken naar het gebruik van waterstof in grondvoertuigen om in 2030, conform de luchtvaartnota, alle grondgebonden operaties emissieloos uit te voeren. De keuze tussen afhandelingsmaterieel aangedreven door waterstof, en afhandelingsmaterieel op elektriciteit, zal sterk afhankelijk zijn van de huidige vloot. Voor kleinere voertuigen is elektrificatie geschikter. Dit is vanwege de lagere kosten en de grotere hoeveelheid commercieel beschikbaar materieel. Hierdoor is de verwachting dat elektrificatie van grondvoertuigen geschikter is voor luchthavens van categorie 2.

Daarnaast is de verwachting dat na 2035 mogelijk moet worden opgeschaald om ervoor te zorgen dat de infrastructuur op categorie 2 luchthavens bereid is 'parallel operations' van meerdere waterstofvliegtuigen af te handelen. Hierbij is het mogelijk dat luchthavens moeten kijken naar vloeibare waterstof voor vliegtuigen en gasvormige waterstof voor grondvoertuigen en de passende infrastructuur daar omheen. Dit vergt gasopslagtanks,

vloeibare waterstofopslagtanks en tankwagens voor vloeibare waterstof. Bij categorie 2 luchthavens zal zakelijk verkeer de drijfveer zijn voor waterstof. Indien de sector niet overstapt op waterstof zullen categorie 2 luchthavens voor dezelfde keuze staan als categorie 1 luchthavens: het faciliteren van waterstof, of niet. Echter moet hier rekening bij worden gehouden dat de verharde landingsbanen van categorie 2 luchthavens er toe zal leiden dat deze luchthavens in noodgevallen kunnen worden gebruikt als uitwijk luchthavens voor toekomstige waterstofvliegtuigen. Om een uitgeweken vliegtuig te voorzien van waterstof zal een basisinfrastructuur aanwezig moeten zijn, bestaande uit een tankwagen en een toevoer van, of opslagtank, van waterstof.

Verwachte uitvoering

Voor luchthavens in categorie 2 kan er onderscheid worden gemaakt tussen GA en zakelijk verkeer. Het ontwikkeltraject voor GA zal overeenkomsten vertonen met categorie 1 luchthavens, omdat het dezelfde markt betreft. Echter zal er bij de ontwikkeling van zakelijk verkeer een verschil ontstaan tussen verschillende luchthavens in categorie 2. De marktwerking zal bepalen hoe snel waterstof wordt gebruikt als energiedrager voor zakelijk verkeer. Hierdoor wordt verwacht dat sommige kleinere categorie 2 luchthavens wellicht de ontwikkelingstijdlijnen met een paar jaar zullen uitstellen.

Ontwikkeltrajecten waterstof

De rol van waterstof voor luchthavens met zakelijk verkeer zal groter zijn dan bij GA, maar zal concurrentie ervaren van SAF in een markt die minder prijsgevoelig is.

2 GA-luchthavens (inclusief straalvliegtuigen)

Verantwoordelijkheden

Vergeleken met categorie 1 luchthavens, is het begin van de ontwikkelingstijdlijn hetzelfde. Hierbij moet rekening worden gehouden of de ambitie bestaat om waterstof te faciliteren. Het vormen van deze ambitie zal voor categorie 2 luchthavens vooral worden bepaald door de keuzes die worden gemaakt met betrekking tot het zakelijke verkeer.

Voor categorie twee luchthavens zal zakelijk verkeer de drijfveer zijn voor het faciliteren van waterstof. Om deze sector over te laten stappen naar waterstof is een beleidsmatige aanpassing nodig, waarbij zowel waterstof en SAF kunnen worden gebruikt om eventuele bijmengingsplichten te vervullen.

Het opstellen van eventuele grondgebonden, gasvormige, infrastructuur zal afhangen van de huidige vloot en vervangingsplannen van de grondafhandelaren. Op dit moment zorgt de doelstelling in de luchtvaartnota voor 2030 ervoor dat de meeste grondafhandelaren overstappen op elektrische voertuigen, mede door de grotere commerciële beschikbaarheid er van.

Bij het oriënteren op waterstofvliegtuigen moet rekening worden gehouden met eventuele bijmengingsplichten voor zakelijk verkeer. Aan de huidige RefuelEU bijmengingsverplichting, zoals gemeld in artikel 4.1.a. van EU Regulation 2023/2405, kan met zowel SAF als waterstof worden voldaan. Daarnaast moeten luchthavens samen met eindgebruikers een beeld vormen van de toekomstige

vlootsamenstelling, om zo te bepalen hoeveel waterstof nodig zal zijn op bepaalde tijdstippen.

Na het bepalen van de hoeveelheid waterstof, zal de luchthaven een vergunningstraject moeten doorlopen, om zo vergunningen te krijgen voor het opslaan van (vloeibare) waterstof op eigen terrein. Hiervoor zullen meerdere externe partijen moeten worden betrokken, waaronder de commerciële leverancier van de opslagtanks en tankwagens. De informatie die wordt verstrekt zal worden gebruikt voor de QRA, op basis waarvan uiteindelijk een vergunning kan worden aangevraagd.

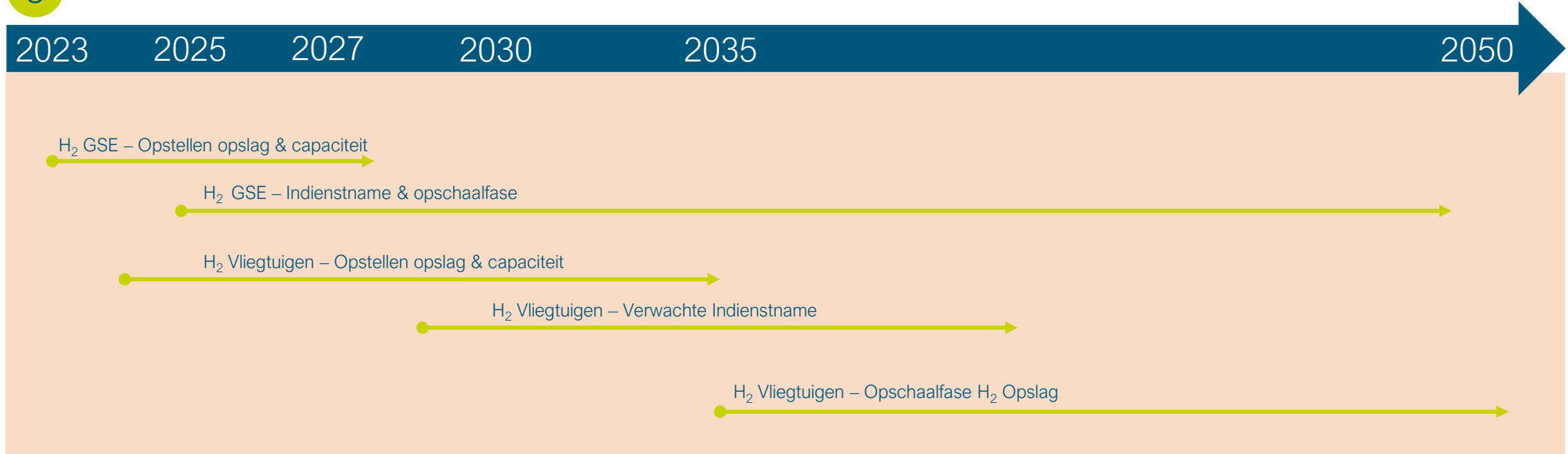
Tabel 9.2: Betrokken en uitvoerende partijen en afhankelijkheden per fase in het ontwikkeltraject waterstof voor categorie 2 luchthavens

Ontwikkeltraject fase	Betrokken partijen	Uitvoering	Afhankelijkheden
Inventarisatie & Connectiviteit	Luchthaven & Luchthavengebruiker & Overheid	Luchthaven	Inzicht luchthavengebruiker toekomstige vloot, Nationaal beleid
H2 GSE – Opstellen opslag & capaciteit	Luchthaven	Luchthaven, externepartij	Toevoer waterstof & QRA / Vergunningsaanvraag
H2 GSE – Indienstname & opschaalfase	Luchthavengebruiker, luchthaven	Luchthaven, externepartij	Voldoende financiering
Oriënteren op mogelijke waterstof-GA-vliegtuigen	Luchthavengebruiker, luchthaven	Luchthaven, externepartij	-
Opschalen H ₂ -infrastructuur voor 'parallel operations'	Luchthavengebruiker, luchthaven	Luchthaven, externepartij	QRA, Vergunning, Energiebeschikbaarheid, Ruimte

Ontwikkeltrajecten waterstof

De rol van waterstof zal het grootst zijn op de grotere luchthavens, en heeft grote impact op de laad- en tankinfrastructuur voor zowel vliegtuigen als grondvoertuigen

3 GA + commerciële luchthavens



Ontwikkeltrajecten waterstof

De rol van waterstof zal het grootst zijn op de grotere luchthavens, en heeft grote impact op de laad- en tankinfrastructuur voor zowel vliegtuigen als grondvoertuigen

3 GA + commerciële luchthavens

Samenvatting ontwikkeltraject

De verwachting is dat waterstof een grotere rol zal spelen bij de vijf grotere luchthavens in Nederland, waar commercieel luchtverkeer mogelijk is (categorie 3), dan bij luchthavens met ander verkeer. Dit geldt voor zowel grondvoertuigen als vliegtuigen. De eerste generatie waterstofvliegtuigen is geschikt voor kortere afstandsvluchten binnen commerciële lijndiensten. Deze vliegtuigen zullen hoogstwaarschijnlijk gebruik maken van vloeibare waterstof, terwijl grondvoertuigen over het algemeen gasvormige waterstof zullen gebruiken.

De categorie 3 luchthavens beschikken over grondvoertuigen met hoge mate van geschiktheid om aan te worden gedreven door waterstof. Primair voorbeeld hiervan zijn de sleepvoertuigen voor grotere en zwaardere vliegtuigen, waarbij een hogere vermogensvraag beter past bij waterstof dan batterijen. Om in 2030 alle grondgebonden operaties emissieloos te faciliteren, zullen categorie 3 luchthavens de komende jaren moeten analyseren wat de grootte van de vloot zal zijn. De hoeveelheid grondafhandelingsvoertuigen zou mogelijk kunnen toenemen in vergelijking met de huidige situatie, door operationele eisen. Bijvoorbeeld dat een sleepwagen op diesel, vervangen wordt door twee waterstof aangedreven voertuigen, vanwege een kleinere actieradius. Afhankelijk hiervan zal al dan niet infrastructuur voor het opslaan en tanken van waterstof-GSE, waarschijnlijk gasvormig, moeten worden aangelegd.

Voor vliegtuigen wordt verwacht dat tussen 2030 en 2035 de eerste vluchten op waterstof zullen opereren en dat er na 2035 een grote opschaalfase nodig zal zijn voor vloeibare waterstof. De opschaalfase kenmerkt zich door een vergroting van de infrastructuur. Hierbij moet ook rekening worden gehouden met rand- en interne wegenetwerken en deze zouden ook moeten worden uitgebreid. Dit geldt vooral voor categorie 3 luchthavens waar grote hoeveelheden waterstof hoogstwaarschijnlijk per truck worden aangevoerd in het begin van de opschaalfase. Daarnaast moet de totale hoeveelheid waterstof die beschikbaar is in Nederland worden vergroot. Om inzicht te geven in de vraag moet per categorie 3 luchthaven worden geanalyseerd wat het verwachte groeipercentage zal zijn, samen met de toekomstige vlootsamenstelling.

Daarnaast vergt de opschaalfase een analyse specifiek per luchthaven om te kijken wat de mogelijkheden zijn met betrekking tot het lokaal inwinnen van waterstof, het vloeibaar maken en het opslaan ervan. Hierbij moet rekening worden gehouden met de ruimtevraag van elektrolyse. Binnen de waardeketen heeft elektrolyse, met ongeveer 80% van de totale ruimtevraag, de grootste ruimtevraag van alle stappen. Hierdoor zal het alleen mogelijk zijn om lokaal waterstof te produceren bij overschot aan ruimte en elektriciteit. Luchthavens zullen zich goed moeten oriënteren op regionale ontwikkelingen om in te kunnen spelen op mogelijke samenwerkingsverbanden met chemische- en energiebedrijven die lokaal waterstof kunnen

produceren.

Gezien de grotere hoeveelheden waterstof die nodig zullen zijn, is het wellicht mogelijk om de categorie 3 luchthavens te voorzien van een liquefactiefaciliteit met een buisaansluiting tot de waterstofnetwerk. Hierdoor kan de luchthaven worden voorzien van zowel gasvormige als vloeibare waterstof. Liquefactie van waterstof vergt grote hoeveelheden energie en verschillende chemische stoffen die nodig zijn voor het koelingsproces. Het opslaan van vloeibare waterstof kost ongeveer 750 euro per Megawattuur (MWh). Dit komt ongeveer neer op 30 kilogram vloeibare waterstof. Op basis van huidige analyse, zullen de grootste luchthavens honderden tonnen vloeibare waterstof moeten opslaan op de midden-lange termijn (2040/2050).

Verwachte uitvoering

Categorie 3 luchthavens zullen de grootste verschillen tonen in de ontwikkelingstijdlijn. Het gebruik van waterstof zal afhankelijk zijn van luchtvaartmaatschappijen, hun netwerk en vlootvervangingsplannen. In het vroegste geval wordt verwacht dat een opschaalfase zal moeten gebeuren vanaf 2035, hoewel dit misschien 5-10 jaar zou kunnen worden uitgesteld.

Ontwikkeltrajecten waterstof

De rol van waterstof zal het grootst zijn op de grotere luchthavens, en heeft grote impact op de laad- en tankinfrastructuur voor zowel vliegtuigen als grondvoertuigen

3 GA + commerciële luchthavens

Verantwoordelijkheden

Categorie 3 luchthavens zullen de grootste impact ervaren van de ontwikkeling van waterstof in de luchtvaart. Omdat voor middellange- en korte-afstandsvluchten waterstofvliegtuigen geschikt zullen zijn, is de verwachting dat categorie 3 luchthavens waterstof zullen faciliteren voor vliegtuigen. Bij grondgebonden voertuigen is de verwachting dat er mix zal ontstaan tussen elektrische en waterstof aangedreven voertuigen.

De luchtvaartnota stelt een doel van emissieloze grondoperaties in 2030 en daarom zijn de meeste categorie 3 luchthavens al bezig met het vervangen van de huidige vloot. Hierbij moet worden vermeld dat elektrische voertuigen geschikt blijken voor het gros van de operationele taken. Gecombineerd met de grotere

beschikbaarheid op de markt, is er een kleine, maar niet geringe rol, weggelegd voor waterstof voertuigen. Vooral bij zwaardere voertuigen, zoals sleepwagens, blijft de mogelijkheid daar om waterstof te gebruiken. Om de vraag in te kunnen schatten moet er nauw worden samengewerkt tussen de luchthaven en grondafhandelaren om zodoende een beeld te vormen van de benodigde hoeveelheid waterstof. Hierbij moet rekening worden gehouden met de aanvoer van gasvormige waterstof, vooral in de eerste stadia van ontwikkeling. De luchthaven zal een balans moeten vinden tussen de vlootgrootte en de toevoer per truck, indien de druk op het rand- en interne wegennetwerk te hoog wordt. Om dit te realiseren zal er eerst moeten worden gekeken naar mogelijke fasering van de investeringen en mogelijke geldstromen, waaronder leningen bij verschillende instanties.

Ten aanzien van infrastructuur voor vliegtuigen moet er een duidelijk financieel plan zijn voor het investeren in opslagtanks. Daarnaast moet er worden gekeken door de luchthaven, in samenwerking met de overheid, naar de mogelijkheden om een aansluiting op de waterstof backbone te realiseren.

Luchthavens van categorie 3 zullen ook moeten analyseren wat de mogelijke groei van waterstofvliegtuigbewegingen zal zijn om zo de hoeveelheid waterstof in te kunnen schatten. Hierna kan er worden gekeken naar mogelijke marktoplossingen voor de toevoer van waterstof, in samenhang met de beschikbaarheid van waterstof in Nederland. Het is onwaarschijnlijk dat categorie 3 luchthavens zelf waterstof zullen opwekken vanwege de ruimte- en energievraag.

Tabel 6.3: Betrokken en uitvoerende partijen en afhankelijkheden per fase in het ontwikkeltraject voor categorie 3 luchthavens

Ontwikkeltraject fase	Betrokken partijen	Uitvoering	Afhankelijkheden
H2 GSE – Opstellen opslag & capaciteit	Luchthaven	Luchthaven, externepartij	Toevoer waterstof & QRA / Vergunningsaanvraag
H2 GSE – Indienstname & opschaalfase	Luchthavengebruiker, luchthaven	Luchthaven, externepartij	Voldoende financiering
H2 Vliegtuigen – Opstellen opslag & capaciteit	Luchthaven	Luchthaven	-
H2 Vliegtuigen – Verwachte Indienstname	Luchthaven, concessiehouders	Luchthaven	Vliegtuigen beschikbaar
H2 Vliegtuigen – Opschaalfase H2 Opslag	Luchthavengebruiker, luchthaven, concessiehouders	Luchthaven	Voldoende waterstof, financiering en infrastructuur

Ontwikkeltrajecten waterstof

Pionier luchthavens kunnen innovatie faciliteren en zullen hierdoor vervroegde ontwikkelingstrajecten doorlopen

Hoewel alle luchthavens in Nederland in één van de drie categorieën kunnen worden geplaatst, zijn er luchthavens met grotere ambities. Deze luchthavens kiezen ervoor om een actieve rol te pakken met betrekking tot het ontwikkelen van infrastructuur en operationele concepten voor het gebruik van waterstof. Het betreft hier de luchthavens Rotterdam (EHRD) en Groningen (EHGG).

In Rotterdam ligt de nadruk op het testen van drones, vliegtuigen en opslagtanks voor vloeibare waterstof. Dit wordt gedaan in samenwerking met verschillende

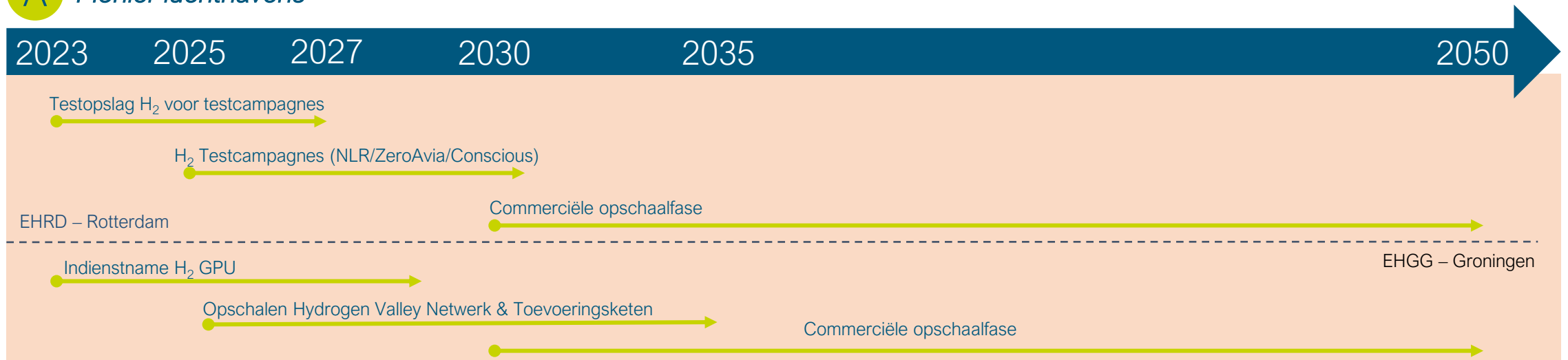
vliegtuigontwerpbedrijven, waaronder ZeroAvia en Conscious Aerospace en het NLR. De verwachting is dat tot en met 2030 een testfase zal plaatsvinden om ervaring op te doen met het gebruik van waterstof, zodat vanaf 2030 een opschaaftase gefaciliteerd kan worden.

In Groningen ligt de nadruk op het opschalen van een waterstofwaardeketen in het kader van de regionale ontwikkeling van een 'hydrogen valley'. Het eerste voorbeeld hiervan is de indienstneming van een waterstoffaggregaat. Verder wordt er verwacht dat er tot 2030 een opschaaftase

zal zijn, om daarna over te stappen naar een commerciële opschaaftase. De commerciële opschaaftase zou mogelijkheden bieden om de verbindingen tussen de Noordzee-steden als Hamburg en Groningen te versterken.

In het algemeen kan gesteld worden dat de pionier luchthavens vooruitlopen op verwachte ontwikkeltrajecten. Dit biedt de mogelijkheid om relevante ervaring op te doen voordat infrastructuur op nationaal niveau moet worden opgezet.

A Pionier luchthavens



Ontwikkeltrajecten waterstof

Europa is wereldleider in het onderzoeken en realiseren van waterstof in de luchtvaart en het Nederlandse tempo van ontwikkelingen sluit hier op aan

Op dit moment zijn er geen overheden met concrete doelstellingen met betrekking tot het gebruik van waterstof in de luchtvaart. Wel bestaan er, om de opschaling van waterstofluchtvaart mogelijk te maken, (wereldwijd) talrijke initiatieven die als doel hebben de benodigde infrastructuur voor waterstofvliegtuigen te onderzoeken. Een inventarisatie van projecten laat zien dat de meerderheid momenteel in Europa is gestationeerd. Ter validatie van de voorgestelde ontwikkeltrajecten zullen deze projecten en ondernemingen nu kort worden belicht.

Luchtvaart in Transitie (LIT) is een Nederlands project, met als doel het faciliteren van de verduurzaming van de luchtvaart in 2050. Meerdere projecten worden door LIT gefaciliteerd, waarvan er vier expliciet gericht zijn op het realiseren van waterstof als energiedrager in de luchtvaart. LIT is een uniek project, en zet Nederland op de kaart als voorloper in de verduurzaming van de luchtvaart.

De meerderheid van projecten komt voort uit samenwerkingsverbanden. Meestal tussen vliegtuigbouwers en luchthavens. Voorbeelden hiervan zijn de samenwerking tussen Airbus en Hamburg Airport om een Hydrogen Aviation Lab op te zetten ^[121]. Daarnaast werkt Airbus samen met chemiebedrijf Linde om waterstofinfrastructuur te ontwikkelen, zowel in Europa als in Singapore.

Behalve Airbus werkt ook ZeroAvia samen met meerdere

luchthavens in het Verenigd Koninkrijk om de benodigde infrastructuur te realiseren. Hierbij komt de expertise van ZeroAvia samen met de operationele kennis van de luchthavens van onder andere Gloucestershire, Manchester en Aberdeen.

In Nederland zijn er momenteel samenwerkingen tussen luchthavens als onderdeel van de 'Green Deal' van de EU, om te analyseren wat de toekomst van de luchtvaart zal vergen van luchthavens en infrastructuur. Hierbij is TULIPS, met Schiphol als 'lighthouse airport', een voorbeeld waarin het NLR een waterstofdrone zal testen op Rotterdam The Hague Airport (RTHA) om de werking ervan aan te tonen.

Daarnaast werkt RTHA samen met ZeroAvia om routes tussen het Verenigd Koninkrijk en RTHA op waterstof te realiseren en is hierin dus leider in Nederland. Nieuwe samenwerkingsovereenkomsten met de Nederlandse vliegtuigbouwer Conscious Aerospace zorgen ervoor dat het Nederlandse tempo van ontwikkelingen hoog is.

Ter bevordering van het Nederlandse tempo zou de ontwikkeling van een waterstofvliegtuig door GKN-Fokker gunstig zijn. Een mogelijke samenwerking wordt al besproken met de luchthaven Groningen ^[122]. Dit zou dan de derde samenwerking zijn tussen een vliegtuigbouwer en een luchthaven in Nederland.

Bij de grondgebonden voertuigen is het eveneens het geval

dat Nederland toonaangevend is door het gebruik van waterstof te faciliteren op luchthavens ten behoeve van grotere voertuigen. Dit is vergelijkbaar met de doelstelling van Finavia, in Finland, om zwaardere grondvoertuigen op waterstof aan te passen.

Hoewel het ontwikkelingstempo vergelijkbaar is met het buitenland op het gebied van vliegtuigen en voertuigen, is de integratie van grootschalig transport van waterstof, van en naar luchthavens, nog nader te bepalen. Een voorbeeld uit het buitenland is Manchester Airport, waar een directe waterstofpijpleiding zal worden gerealiseerd, door middel van een samenwerking met een energieleverancier. Om dit te doen in Nederland zouden de luchthavens een studie kunnen uitvoeren met Gasunie om de mogelijke aansluitingen op de 'hydrogen backbone' te analyseren.

Ontwikkeltrajecten waterstof

Mogelijke belemmeringen voor de introductie van waterstof zijn onder andere: groene energievoorziening, waterstoftransport, marktbeschikbaarheid van voertuigen en wetgeving omtrent veiligheid

Waterstof wordt gezien als een drijfveer van de energietransitie in de luchtvaart vanwege het ontbreken van koolstofuitstoot bij gebruik in zowel verbrandingsmotoren als brandstofcellen. Echter bestaan er belemmeringen, zowel technisch als financieel en juridisch, die moeten worden overkomen, voordat waterstofvliegtuigen een grote rol kunnen spelen in de sector.

Ten eerste geldt dat er op dit moment nog meerdere technische belemmeringen zijn voor vliegtuigen. Dit betreft bijvoorbeeld het koelen van brandstofcellen, vanwege de lagere temperaturen waarop deze moeten fungeren. Daarnaast zullen langeafstandsvluchten op waterstof pas mogelijk worden bij het realiseren van een verbrandingsmotor op basis van waterstof. Hierbij spelen meerdere technische belemmeringen, waaronder de aanvoer van gekoelde waterstof voor een vliegtuig. Echter wordt hier veel aan gewerkt, onder andere door Rolls Royce, in samenwerking met verschillende partners ^[123]. Hoewel hierbij geldt ook, net als bij elektrische vliegtuigen, dat er nog geen internationale standaard is voor de tankkoppeling voor waterstof in vliegtuigen. Dit zal een belangrijke belemmering vormen voor luchthavens en diens grondafhandelaren, tijdens het inkopen van geschikt materieel.

Buiten de luchthaven, bestaan er verdere technische belemmeringen. Primair betreft het de groene energievoorziening die nodig is voor alle stappen in de

waterstofwaardeketen. Hierbij is het niet voldoende voor een luchthaven om alleen te werken en zal er moeten worden gewerkt met regionale, nationale en internationale partners om (groene) energie te produceren of in te kopen waar nodig. Daarnaast zijn er nog weinig oplossingen met betrekking tot het transporteren van vloeibare waterstof over langere afstanden, behalve door gebruik van een tankwagens. Dit zal voor grotere luchthavens een operationele belemmering vormen vanwege de huidige drukte op wegennetwerken. Om de operationele impact van waterstof te verminderen zou er dan moeten worden gekeken naar het vloeibaar maken van waterstof in de omgeving van, of op de luchthaven. Dit is een uitdagend proces en zal naar verwachting weinig luchthavens aanspreken. Pijpleidingen voor vloeibare waterstof worden gezien als mogelijke oplossing, maar zijn nog in de ontwikkelingsfase, vooral voor afstanden van meer dan een paar honderd meter.

Op economisch vlak is de grootste belemmering momenteel de prijs van waterstof. Hoewel dit niet direct impact zal hebben op de luchthaven, kan dit wel een algehele belemmering vormen voor luchtvaartmaatschappijen. Daarnaast bestaat de mogelijkheid dat luchthavens voor een uitgebreidere waardeketen kiezen vanwege operationele drijfveren, hoewel dit een hogere initiële investering vergt. Hierbij moet worden gekeken naar manieren om de initiële investering te faciliteren en ook naar

het opzetten van meerdere inkomstenbronnen, bijvoorbeeld het verkopen van waterstof aan meerdere sectoren vanuit een productiecluster. Dit zou ook helpen met het verminderen van het investeringsrisico.

Op juridisch vlak is de grootste belemmering momenteel het gebrek aan wetgeving omtrent het gebruik van waterstof, zowel in vliegtuigen als op de luchthavens. Hoewel er bestaande wetgeving is voor de chemische industrie, bijvoorbeeld PGS 35, is nog niet duidelijk in hoeverre dit aansluit met de operationele eisen op een drukke luchthaven, bijvoorbeeld met betrekking tot het tankproces bij een drukke terminal. Mogelijk moet er, door middel van samenwerkingsverbanden tussen autoriteiten, luchthavens, de technische industrie en kennisinstututen, worden gekeken naar mitigerende processen, zowel operationeel, bijvoorbeeld tijdens het tanken, als juridisch. Dit zou kunnen in de vorm van specifieke richtlijnen voor de luchtvaart in plaats van algemene wetgeving. Dit zou de operationele integratie van waterstof bespoedigen, door bijvoorbeeld veiligheidsafstanden bij het tanken van vliegtuigen te verkleinen, zodat meerdere vluchten naast elkaar zouden kunnen worden getankt.

Samenwerkingen op gebied van waterstofveiligheid zouden ook kunnen bijdragen aan het maatschappelijk draagvlak voor waterstof als energiedrager in de luchtvaart. Dit draagvlak zal een sleutelrol spelen in het realiseren van een duurzame toekomst voor de sector.

10. Infrastructuur en ontwikkelingen SAF

Infrastructuur en ontwikkelingen SAF

De huidige infrastructuur voor kerosine voldoet ook voor SAF

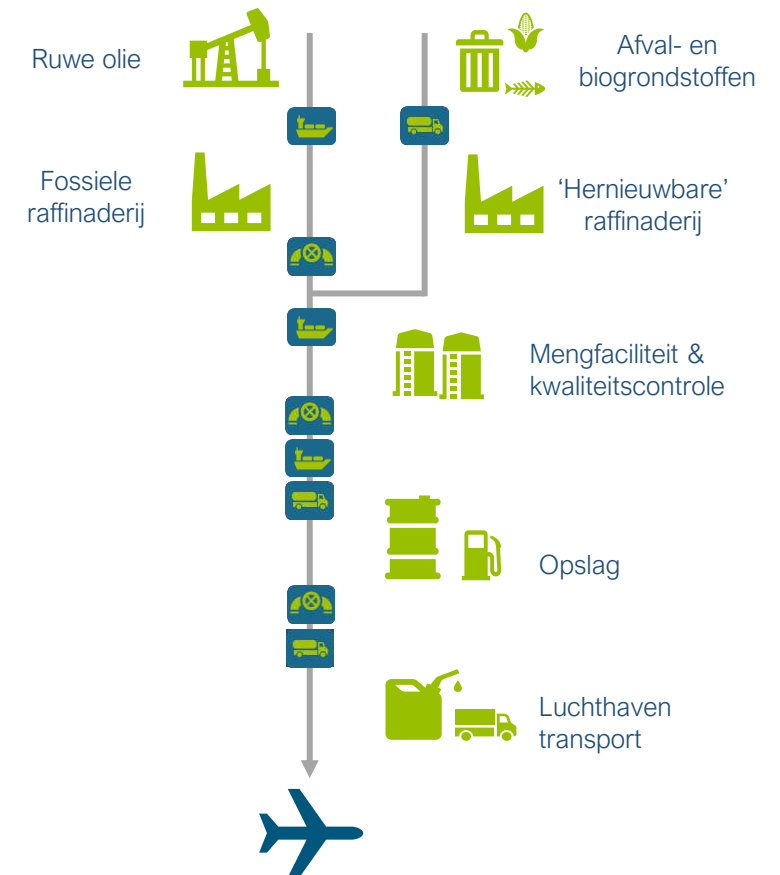
Sustainable Aviation Fuel (SAF) is een alternatieve brandstof voor de luchtvaart die bestaat uit conventionele kerosine (JET-A1) en kerosine gemaakt uit hernieuwbare bronnen. Het moet dus worden gezien als een mengsel waarbij een deel duurzamer is geproduceerd. Momenteel wordt de 'hernieuwbare' kerosine gemaakt van (bio-)afvalstoffen die in een raffinaderij worden omgezet in kerosine. Beide typen kerosine worden dan gemengd in een speciale mengfaciliteit waarna eerst een kwaliteitscontrole plaats moet vinden in een laboratorium voordat de brandstof naar de luchthaven en vliegtuigen mag worden getransporteerd.

Gezien de grote overeenkomsten met conventionele kerosine, kan voor SAF dezelfde infrastructuur gebruikt worden. Momenteel wordt in Nederland de luchthaven Schiphol bevoorradt door middel van het Central European Pipeline System (CEPS) dat kerosine ondergronds brengt naar opslagtanks op het luchthaventerrein. Alle overige Nederlandse luchthavens worden bevoorradt door middel van losse tankwagens.

Sinds 2023 is het mogelijk om SAF te transporteren door het CEPS. In Brussel en Luxemburg is SAF al op deze wijze getransporteerd [124,125]. Om SAF naar de Nederlandse luchthavens te brengen worden nu tankwagens gebruikt. Momenteel kan de huidige infrastructuur alleen gebruikt worden voor SAF met een maximale bijmenging (van hernieuwbare kerosine) van 50%. Dit komt door moleculaire

stoffen (aromaten) die in conventionele kerosine voorkomen, maar niet in SAF, en waar de huidige straalmotoren nog van afhankelijk zijn. De verwachting is dat rond het jaar 2030 ook 100% SAF mengsels gecertificeerd kunnen worden [126].

De huidige tankinfrastructuur kan dus grotendeels in stand worden gehouden. Hierbij is het belangrijk om op te merken dat luchthavens nog altijd afhankelijk blijven van externe productielocaties. In Nederland betreft dit momenteel één productielocatie, waarbij er in de komende vier jaar vier nieuwe locaties gepland zijn, inclusief een uitbreiding van een bestaande locatie [127]. Het wordt op de korte termijn nog niet verwacht dat een deel van de SAF productie op het luchthaventerrein zelf plaats gaat vinden. Hier zou op de langere termijn (na het jaar 2045) eventueel verandering in kunnen komen door de verdere ontwikkeling van zogenoemde 'power-to-liquid' technologie wat iets minder plaats inneemt dan conventionele raffinaderijen. Daarvoor zal wel een waterstofaanvoer aanwezig moeten zijn en behoeft dit proces veel energie. Naast de productiefaciliteit zal ook een mengfaciliteit en kwaliteitslaboratorium dichtbij aanwezig moeten zijn, welke ook grote oppervlakten vereisen. Vanwege de (nog steeds) grote oppervlakten die bij deze nieuwe technologie verwacht worden, is het niet de verwachting dat dergelijke faciliteiten op het luchthaventerrein geplaatst zullen worden.



Figuur 10.1: Transportketen van SAF

11. Ontwikkeltrajecten SAF

Ontwikkeltrajecten SAF

Vanaf 2025 gelden er Europese regels voor de minimale bijmenging van SAF

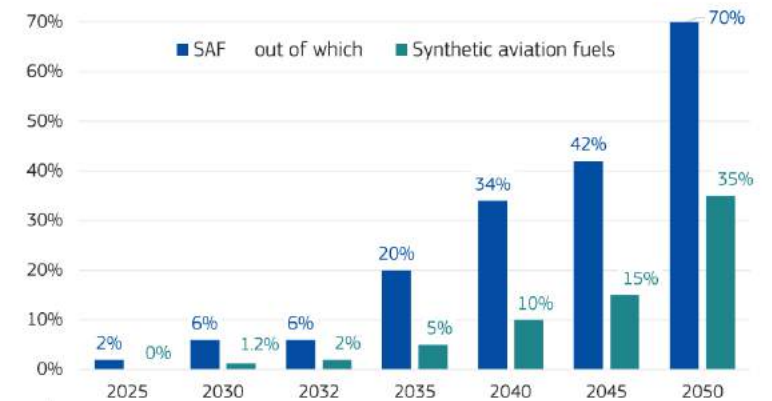
Als onderdeel van de Green Deal gepresenteerd door de Europese Commissie ligt er ook een pakket op tafel voor de luchtvaart. In de ReFuelEU Aviation-verordening ^[128] worden verplichtingen gesteld voor het minimale bijmengingspercentage van SAF voor alle lidstaten. Deze verplichtingen worden ingesteld per 1 januari 2025 en geven per jaar aan welk minimaal bijmengingspercentage over de gehele kerosineconsumptie behaald dient te worden. Deze verplichtingen gelden voor drie groepen zoals gedefinieerd in artikel 3 van de verordening:

- Brandstofleveranciers worden door de EU verplicht om toenemende hoeveelheden SAF te leveren aan zogenoemde 'unieluchthavens' (zie hieronder). Hierbij mag er in de periode 2025-2034 gerekend worden met de totale geleverde hoeveelheid SAF van alle unieluchthavens samen. Het kan dus voorkomen dat een unieluchthaven in deze periode nog geen SAF ontvangt, of juist meer ontvangt dan de gestelde minimale bijmenging. Vanaf het jaar 2035 geldt dit flexibiliteitsmechanisme niet meer en zal elke unieluchthaven SAF moeten faciliteren en ontvangen.
- Unieluchthavens zullen in staat moeten zijn om SAF te faciliteren. Volgens artikel 3.1 van de ReFuelEU-verordening worden unieluchthavens gedefinieerd als luchthavens die minimaal 800.000 passagiers en/of minimaal 100.000 ton vracht afhandelen per jaar. In

Nederland zijn dit de luchthavens Schiphol, Eindhoven, Rotterdam en Maastricht. Luchthavens met minder jaarlijkse passagiers of vracht vallen niet onder de verordening.

- Luchtvaartmaatschappijen (of luchtvaartuigexploitanten) zullen SAF met de verplichte bijmenging moeten afnemen bij leveranciers als deze vanaf unieluchthavens vertrekken. Dit geldt alleen voor maatschappijen die minimaal 500 commerciële passagiersvluchten of minimaal 52 commerciële vrachtluchten (per jaar) uitvoeren vanaf een unieluchthaven. Belangrijk is hierbij dat commerciële zakenvluchten ook onder commerciële passagiersvluchten vallen volgens de gestelde definities.

Naast dat een minimale bijmenging wordt voorgeschreven, wordt ook aangegeven welke verhouding van de hernieuwbaar geproduceerde kerosine uit een synthetisch proces dient te komen. Hierbij gaat het om kerosine die gemaakt is zonder biologische oorsprong, zoals nu het geval is door gebruik te maken van biograndstoffen. De eerder genoemde 'power-to-liquid' methode om kerosine te maken valt bijvoorbeeld onder synthetische brandstof.



Figuur 11.1: minimaal verplichte SAF bijmenging volgens ReFuelEU ^[128]

Ontwikkeltrajecten SAF

Geringe impact door SAF verwacht op luchthaveninfrastructuur van GA-luchthavens

De meeste kleinere toestellen binnen het GA-verkeer gebruiken geen JET-A1 als brandstof, maar een ander type brandstof. Omdat SAF een vervanger is voor JET-A1 wordt verwacht dat SAF een mindere rol gaat spelen bij categorie 1 luchthavens. Wel zou het voor kunnen komen dat specifieke vliegtuigen, die wel SAF kunnen en willen gebruiken, vaak of vaker gebruik willen maken van een bepaalde luchthaven in deze categorie, of hierop zelfs gestationeerd willen zijn. Hiervoor dient er per luchthaven een duidelijke inventarisatie gemaakt te worden om de mogelijkheden voor SAF te onderzoeken. Deze studie kan met de huidige kennis van zaken al plaatsvinden.

Categorie 2 luchthavens kunnen naast de kleinere GA-

vliegtuigen ook de meer zakelijke GA-vluchten afhandelen. Deze vluchten vliegen vaak wel op conventionele kerosine en zullen dus ook SAF kunnen gebruiken.

De impact op de infrastructuur zal voor deze categorie luchthavens zeer beperkt blijven tot het faciliteren van een extra tankwagen specifiek voor SAF. Dit kan zich vertalen in een extra parkeerpositie op de luchthaven als conventionele kerosine en SAF naast elkaar zullen bestaan. De verwachting is dat deze aanpassing pas nodig is vanaf 2025 als de SAF-productie iets meer op gang is gekomen.

Wanneer er geen tankwagen aanwezig is op de luchthaven is er zelfs helemaal geen aanpassing nodig. De

bevoorrading wordt dan simpelweg gedaan door tankwagens met SAF in plaats van conventionele kerosine.

1 2 GA-luchthavens



Ontwikkeltrajecten SAF

De luchthavens Schiphol, Eindhoven, Rotterdam en Maastricht zullen vanaf 2035 SAF moeten faciliteren en vanaf 2025 geldt een minimale collectieve afname binnen de EU

Alle commerciële luchthavens in Nederland (Groningen uitgezonderd) vallen onder de ReFuelEU-verordening. Voor de periode 2025-2034 betekent dit nog niet dat het faciliteren van SAF verplicht is vanwege het flexibiliteitsmechanisme. Het wordt geadviseerd om in deze periode wel het tanken van SAF mogelijk te maken om zo minder afhankelijk te zijn van andere unieluchthavens. Daarnaast zal de toevoer van SAF een grote rol spelen voor de hoeveelheid die getankt zal kunnen worden in Nederland. Vanaf het jaar 2035 zullen alle vier de luchthavens het tanken van SAF mogelijk moeten maken.

Gezien de huidige SAF-operaties die met losse tankwagens wordt uitgevoerd, zullen er net als bij GA-luchthavens weinig

infrastructurele aanpassingen verwacht worden. Ook nu geldt dat er mogelijk extra parkeerplaatsen gerealiseerd moeten worden voor tankwagens die specifiek SAF bevatten. Luchthaven Schiphol kan hierop de uitzondering zijn aangezien deze luchthaven aangesloten is op het CEPS. Hierdoor zullen op den duur geen extra SAF-tankwagens meer nodig zijn, als SAF wordt toegestaan in het Nederlandse deel van het CEPS. Voor de overige drie luchthavens blijft gelden dat tankwagens de SAF naar het vliegtuig moeten transporteren.

Op de lange termijn zou ook onderzocht kunnen worden wat de kansen zijn om zelf een SAF-productielocatie op het luchthaventerrein te plaatsen. Dit zal dan in combinatie zijn

met een mengfaciliteit en kwaliteitslaboratorium nabij de nieuwe productielocatie. Deze inventarisatie is zeer afhankelijk van de ontwikkelingen in de SAF-productietechnologie.

3 GA + commerciële luchthavens



Ontwikkeltrajecten SAF

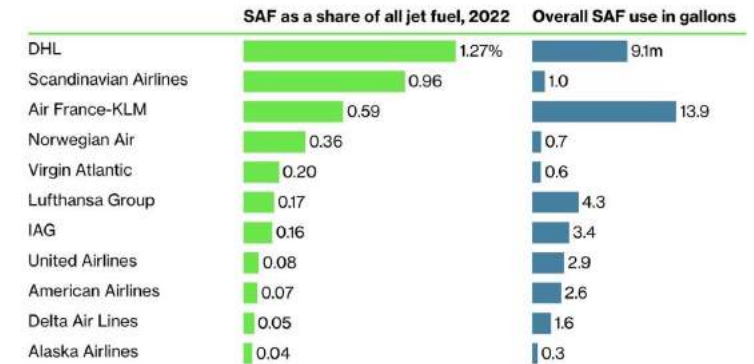
Belemmeringen voor SAF omvatten vooral de traceerbaarheid, de beschikbaarheid en het transport

Vanwege de geringe verschillen in infrastructuur tussen SAF en conventionele kerosine, en de afhankelijkheid van externe productielocaties, kan er minder gesproken worden van een pioniersrol in vergelijking met elektrisch of waterstof aangedreven luchtvaart. Toch kan al wel operationeel geëxperimenteerd worden met SAF, bijvoorbeeld met betrekking tot op welke manier SAF in eerste instantie naar het vliegtuig wordt gebracht (tankwagens of ondergrondse pijpleidingen). Dit zal ook afhankelijk zijn van het transport naar de individuele luchthavens toe. Hiervoor zouden ook proeven opgezet kunnen worden op een pionier luchthaven.

Kijkend naar het buitenland wordt met dit soort transport al geëxperimenteerd. Vooral het transport naar de luchthaven via het CEPS heeft in Nederland nog niet plaatsgevonden, maar in België en Luxemburg wel. Om grotere hoeveelheden SAF te kunnen faciliteren op luchthavens is de verwachting dat het CEPS hierin een rol gaat spelen. Het wordt daarom aanbevolen om te inventariseren waarom SAF op dit moment nog niet door de Nederlandse pijpleidingen mag of kan stromen en hoe dit verholpen kan worden.

Het gebruik van de pijpleidingen brengt echter ook een nadeel met zich mee. De traceerbaarheid van de SAF bijmenging wordt hierdoor namelijk niet vergemakkelijkt. Bij een tankwagen zal dit vele malen makkelijker zijn doordat deze vanuit een SAF opslag één specifiek mengsel zal zijn.

De beschikbaarheid van SAF blijft ook nog een reden tot zorgen. In 2022 heeft nog geen enkele luchtvaartmaatschappij het eerstvolgende verplichte doel (2025) van 2% bijmenging gehaald. Als positieve noot kan wel vermeld worden dat Europese luchtvaartmaatschappijen bovenin het lijstje gevonden kunnen worden met betrekking tot het relatieve gebruik van SAF. Ondanks dat er in de komende jaren meer SAF-productiecapaciteit wordt verwacht^[127], blijft het op dit moment nog een uitdaging om voldoende SAF voor alle vluchten te kunnen produceren, zeker met het oog op de gestelde Europese verordening.



Figuur 11.2: SAF-bijmengingspercentages behaald door luchtvaartmaatschappijen in 2022^[129]

12. Samenvatting

Samenvatting

Inleiding

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft opdracht gegeven voor het uitvoeren van een kwalitatief onderzoek naar alternatieve duurzame energiedragers en wat de introductie ervan betekent voor de infrastructurele voorzieningen op Nederlandse civiele luchthavens. De onderzoeksvraag luidt als volgt:

“Welke voorzieningen voor laad- en tankinfrastructuur kunnen luchthavens treffen om de ontwikkelingen tot en vanaf 2030 omtrent het vliegen op waterstof, elektriciteit en SAF te accommoderen en welke technische, economische en eventuele juridische belemmeringen staan opschaling hiervan op de luchthavens in de weg?”

Om deze vraag te beantwoorden heeft de focus gelegen op twintig luchthavens in Nederland, die zijn ingedeeld in de volgende categorieën ten behoeve van de ontwikkeltrajecten:

Categorie	Type verkeer	# Luchthavens
Categorie 1	General Aviation (GA), exclusief straalvliegtuigen	9
Categorie 2	GA, inclusief straalvliegtuigen	6
Categorie 3	Commerciële vluchten + GA, inclusief straalvliegtuigen	5

Uit het onderzoek zijn de volgende belemmeringen en bijbehorende adviezen voortgekomen. De belemmeringen en adviezen worden onderverdeeld in drie hoofdcategorieën: technische, economische en juridische.

Technische belemmeringen en adviezen

De technische belemmeringen en bijbehorende adviezen zijn georganiseerd per energiedrager: elektriciteit, waterstof en Sustainable Aviation Fuel (SAF).

Advies voor alle energie dragers

Het is van belang dat Nederlandse luchthavens uit alle categorieën een inventarisatiestudie uitvoeren om inzicht te krijgen in de beschikbare capaciteit per type duurzame energiedrager (elektriciteit, waterstof en SAF) en de verwachte verkeersvraag en -verdeling over tijd. Op basis van deze bevindingen kunnen knelpunten worden geïdentificeerd en concrete plannen voor luchthavenontwikkeling worden opgesteld. Dit onderzoek dient ook aandacht te besteden aan de organisatie van het laadproces voor elektrische vliegtuigen en grondvoertuigen, waarbij verschillende laadmogelijkheden, zoals vaste of mobiele laadstations, centrale of decentrale laadgebieden, en snelle of langzame laders worden overwogen. Het is van cruciaal belang om gebruikers bij dit proces te betrekken, zodat de laadinfrastructuur optimaal kan worden afgestemd op de daadwerkelijke vraag.

Belemmeringen energiedrager elektriciteit

- **Netcongestie:** De energiebehoefte van elektrische vliegtuigen is aanzienlijk. De aansluiting op het elektriciteitsnetwerk kan een knelpunt vormen voor de levering van voldoende stroom aan de luchthavens. Dit kan vooral een uitdaging vormen in gebieden waar al sprake is van netcongestie, zoals sommige delen van Nederland, waar de huidige capaciteit mogelijk niet voldoende is om aan de extra vraag te voldoen.
- **Standaardisatie:** De laadinfrastructuur voor elektrische vliegtuigen is nog niet gestandaardiseerd. Op dit moment ontwikkelen vliegtuigfabrikanten individuele toestellen met hun eigen laders en laadprotocollen, zonder een gecoördineerde aanpak voor algemene laadfaciliteiten en -protocollen.
- **Certificatie:** Het proces van certificatie voor elektrisch aangedreven vliegtuigen neemt tijd in beslag.

Adviezen energiedrager elektriciteit

Om de opschaling van laadinfrastructuur op luchthavens te bevorderen, is een gecoördineerde inspanning nodig van verschillende belanghebbenden. Allereerst zijn investeringen nodig om het elektriciteitsnetwerk te versterken en uit te breiden, om zo de toenemende vraag naar elektriciteit te accommoderen.

Samenvatting

Het is aan te raden dat luchthavens tijdig in overleg treden met netbeheerders op lokaal en mogelijk zelfs op landelijk niveau over de uitbreiding van de netaansluiting. Door de transitie naar duurzame energiedragers zal de elektriciteitsvraag groeien, wat onvermijdelijk de uitbreiding van de netaansluiting vereist. De bevindingen uit de inventarisatiestudie kunnen helpen om concreet te bepalen in welke mate de netaansluiting moet worden uitgebreid. Ook moeten luchthavens rekening houden met andere partijen en sectoren die ook uitbreiding van de netaansluiting vereisen vanwege netcongestie, om zo de innovatie niet in de weg te staan.

Tegelijkertijd is het cruciaal dat fabrikanten samenwerken aan een gestandaardiseerde aanpak voor laadfaciliteiten, inclusief de compatibiliteit van stekkers en laadprotocollen. Internationale certificeringsorganisaties zoals EASA en FAA dienen een coördinerende rol te vervullen en deze standaardisatie te integreren in het certificatieproces.

Belemmeringen energiedrager waterstof

Opslagfaciliteiten voor zowel gasvormige als vloeibare waterstof vergen grote veiligheidsafstanden, wat leidt tot een significant ruimtebeslag en specifieke ruimtelijke vereisten. Dit stelt luchthavens voor aanzienlijke uitdagingen bij het vinden van geschikte locaties die aan deze eisen voldoen. Het is dan ook niet waarschijnlijk dat (grootschalige) opslagfaciliteiten zich in de nabijheid van publieke gebouwen

zullen bevinden of binnen de grenzen van de luchthaven zullen worden gevestigd.

Adviezen energiedrager waterstof

Om de opschaling van tankinfrastructuurvoorzieningen op luchthavens te bewerkstelligen, dienen luchthavens grondig onderzoek te verrichten naar de interactie tussen de waardeketen en de luchthavengrens. Bij het integreren van waterstof in de luchtvaart moeten diverse factoren worden overwogen, waaronder kosten en technische haalbaarheid. Daarnaast is het van belang dat luchthavens ook de ruimtelijke planning en indeling zorgvuldig afwegen, waarbij beschikbare ruimte wordt afgewogen tegen de eisen van verschillende processen in de waardeketen.

Ten slotte is het aan te bevelen voor luchthavens die in de toekomst te maken krijgen met een vraag naar waterstof om een transportstudie uit te voeren. Deze studie zou moeten verduidelijken hoe de capaciteit voor waterstof kan worden vergroot op de luchthaven, welk transport hiervoor noodzakelijk is, welke betrokken partijen hierbij een rol spelen, en wat de impact is op de grondoperaties van de luchthavens. Op basis van de uitkomsten van deze transportstudie kunnen een roadmap en realisatieplan worden opgesteld die aansluiten op de infrastructurele plannen van de luchthaven.

Belemmering energiedrager SAF

SAF stelt momenteel geen problemen bij het invoeren van de brandstof voor de infrastructuur op luchthavens, omdat het voldoet aan de relevante regelgeving.

De belemmering voor luchthavens ligt in de complexiteit en variabiliteit van de mogelijke wensen van luchtvaartmaatschappijen en luchthavens met betrekking tot de bijmenging van SAF met conventionele kerosine.

Advies energiedrager SAF

Om de bijmenging van SAF met conventionele kerosine te bevorderen, is het van cruciaal belang om onafhankelijke internationale samenwerking te stimuleren voor het standaardiseren van regels rondom traceerbaarheid. Daarnaast is het aan te bevelen om op luchthavens diverse transportmethoden zoals tankwagens en ondergrondse pijpleidingen te onderzoeken om de meest geschikte optie per luchthaven te vinden. Het benutten van buitenlandse praktijkervaringen, met name met betrekking tot het gebruik van pijpleidingen zoals het Central European Pipeline System (CEPS), biedt waardevolle inzichten. Tot slot is het essentieel om te blijven investeren in het vergroten van de productiecapaciteit van SAF om te voldoen aan de groeiende vraag, in lijn met Europese verordeningen.

Samenvatting

Economische belemmeringen en adviezen

De overgang naar duurzame brandstoffen in de luchtvaart wordt beïnvloed door diverse economische factoren. Momenteel liggen de prijzen van waterstof, elektriciteit en SAF hoger dan die van conventionele brandstoffen, wat de vraag en het aanbod van duurzame luchtvaart kan belemmeren. Bovendien is de marktbeschikbaarheid van duurzame energiedragers nog beperkt en afhankelijk van de productie- en distributiecapaciteit. Dit kan leiden tot een mismatch tussen de vraag en het aanbod, wat de betrouwbaarheid en de concurrentiepositie van de duurzame luchtvaart kan schaden. Daarnaast zijn de initiële investeringen voor de benodigde laad- en tankinfrastructuur aanzienlijk en vergen een lange terugverdientijd. Dit kan een risico vormen voor luchthavens en andere betrokken partijen, vooral als er geen financiële prikkels of subsidies beschikbaar zijn.

Adviezen

Om de genoemde economische belemmeringen aan te pakken, wordt aanbevolen om klein te beginnen en proeftuinen op luchthavens financieel te ondersteunen. Dit stelt luchthavens in staat om de benodigde laad- en tankinfrastructuur te testen en te optimaliseren, terwijl de risico's worden beperkt. De overheid kan hierbij een cruciale rol spelen door de productieopscaling te stimuleren met regelgeving en/of maatregelen, zoals subsidies, om de

marktbeschikbaarheid van duurzame energiedragers te vergroten. Door middel van dergelijke initiatieven kunnen de kosten worden verlaagd, de terugverdientijd worden verkort en kan de vraag naar duurzame luchtvaart worden gestimuleerd, waardoor de sector zich verder kan ontwikkelen richting een meer duurzame toekomst.

Juridische belemmeringen en adviezen

Momenteel ontbreekt duidelijkheid omtrent de eisen en procedures voor het certificeren en standaardiseren van infrastructuur en brandstoffen die elektriciteit, waterstof of SAF gebruiken. Dit gebrek aan helderheid kan leiden tot vertragingen, onzekerheden en extra kosten voor alle betrokken partijen.

Verschillende wetten en regels beïnvloeden de mogelijkheden en verplichtingen van luchthavens en andere belanghebbenden met betrekking tot het gebruik of aanbod van duurzame energiedragers. Echter, sommige van deze voorschriften zijn nog niet aangepast aan de nieuwe technologieën en brandstoffen. Dit kan resulteren in juridische onduidelijkheden, beperkingen, of risico's voor alle betrokken partijen.

Adviezen

Het is van belang om prioriteit te geven aan certificering en standaardisering. Dit vereist een duidelijk kader van eisen en procedures voor het certificeren en standaardiseren van infrastructuur en brandstoffen die gebruik maken van elektriciteit, waterstof of SAF. Het is aan te bevelen om een coördinerende rol toe te kennen aan relevante instanties, zoals internationale certificeringsorganisaties en regelgevende instanties, om deze processen te stroomlijnen en te versnellen.

Daarnaast is het van belang om wet- en regelgeving aan te passen aan de nieuwe technologieën en brandstoffen. Dit omvat niet alleen de regels met betrekking tot het gebruik en aanbieden van duurzame energiedragers, maar ook wet- en regelgeving met betrekking tot last mile transport op de luchthaven, van opslag tot vliegtuig. Door deze aanpassingen kunnen juridische onduidelijkheden, beperkingen en risico's worden verminderd, waardoor een gunstiger juridisch klimaat ontstaat voor investeringen in duurzame luchtvaartinfrastructuur. Het is cruciaal dat alle betrokken partijen nauw samenwerken met regelgevende instanties om deze wijzigingen effectief en efficiënt door te voeren.

Samenvatting

Voorzieningen voor laad- en tankinfrastructuur per categorie luchthavens

1 GA-luchthavens (exclusief straalvliegtuigen)

De luchthavens in categorie 1 zullen naar verwachting voornamelijk veranderingen moeten doorvoeren in hun infrastructuur om toekomstig elektrisch General Aviation (GA) verkeer te kunnen voorzien van laadfaciliteiten. Tot ongeveer het jaar 2035 zullen mobiele laadstations waarschijnlijk voldoende zijn. Als er meer elektrisch verkeer wordt verwacht, kan overwogen worden om vaste laadfaciliteiten te installeren. Beide soorten laadstations kunnen alleen worden aangesloten als er voldoende capaciteit beschikbaar is op het lokale elektriciteitsnetwerk.

Waterstof zal hoogstwaarschijnlijk geen rol spelen op de luchthavens van categorie 1. De verwachte hoge kosten van waterstof maken het noodzakelijk voor luchthavens om bewuste keuzes te maken over de haalbaarheid en de wenselijkheid ervan. Dit hangt ook af van de marktontwikkelingen van waterstof-aangedreven GA-vliegtuigen, waar momenteel nog weinig tot geen vooruitgang op is geboekt.

Wat betreft Sustainable Aviation Fuel (SAF) zal slechts in beperkte mate rekening moeten worden gehouden met aanpassingen in de infrastructuur.

2 GA-luchthavens (inclusief straalvliegtuigen)

De elektrificatie van General Aviation (GA) vliegtuigen blijft de belangrijkste infrastructurele aanpassing voor GA-luchthavens die ook straalvliegtuigen kunnen bedienen. Afhankelijk van het karakter van de meer zakelijk gerichte GA-vluchten, kan het nodig zijn om naast mobiele oplaadpunten ook vaste oplaadfaciliteiten te installeren. Deze vaste laadpunten zullen zeker nodig zijn als de luchthavens in deze categorie deel gaan uitmaken van Regional Air Mobility.

Hoewel er een kleine kans bestaat dat zakelijke GA-vluchten deels op waterstof zullen draaien, zal het voor deze luchthavens toch een weloverwogen keuze moeten zijn of ze al dan niet waterstofinfrastructuur willen aanbieden. Dit komt mede doordat de behoefte aan waterstof voor GA beperkt zal zijn.

Wat betreft SAF zal dit voornamelijk betekenen dat er één of meerdere extra parkeerfaciliteiten voor tankwagens moeten worden toegevoegd.

3 GA + commerciële luchthavens

Tot het jaar 2030 zullen commerciële luchthavens voornamelijk de uitdaging hebben om de elektrificatie van grondvoertuigen te ondersteunen. Het gelijktijdig laden van mogelijk grote aantallen voertuigen kan bemoeilijkt worden door huidige netcongestie. Voor de elektrificatie van commerciële vliegtuigen zullen op zijn minst vaste laadpalen nodig zijn. Indien meerdere elektrische vliegtuigen tegelijkertijd moeten worden opgeladen, zal een centraal laadsysteem worden vereist. Dit kan worden geïntegreerd met de infrastructuur voor Regional Air Mobility.

Binnen deze categorie luchthavens is de potentie voor waterstof het grootst. Met het oog op de ontwikkelingen van waterstof-aangedreven vliegtuigen moet rekening worden gehouden met mogelijke waterstofopslag vanaf ongeveer het jaar 2035. Echter, vanwege ruimte- en energiebeperkingen zal opslag van waterstof op de luchthaven mogelijk zijn, maar er zal geen productie van waterstof plaatsvinden voor het gebruik in waterstof-aangedreven vliegtuigen.

Niet alle vluchten zullen worden vervangen door elektrische of waterstofvliegtuigen. Voor het resterende deel zal SAF moeten worden gebruikt in overeenstemming met Europese regelgeving. Infrastructureel zullen hierdoor geen significante veranderingen nodig zijn voor de luchthavens.

Samenvatting

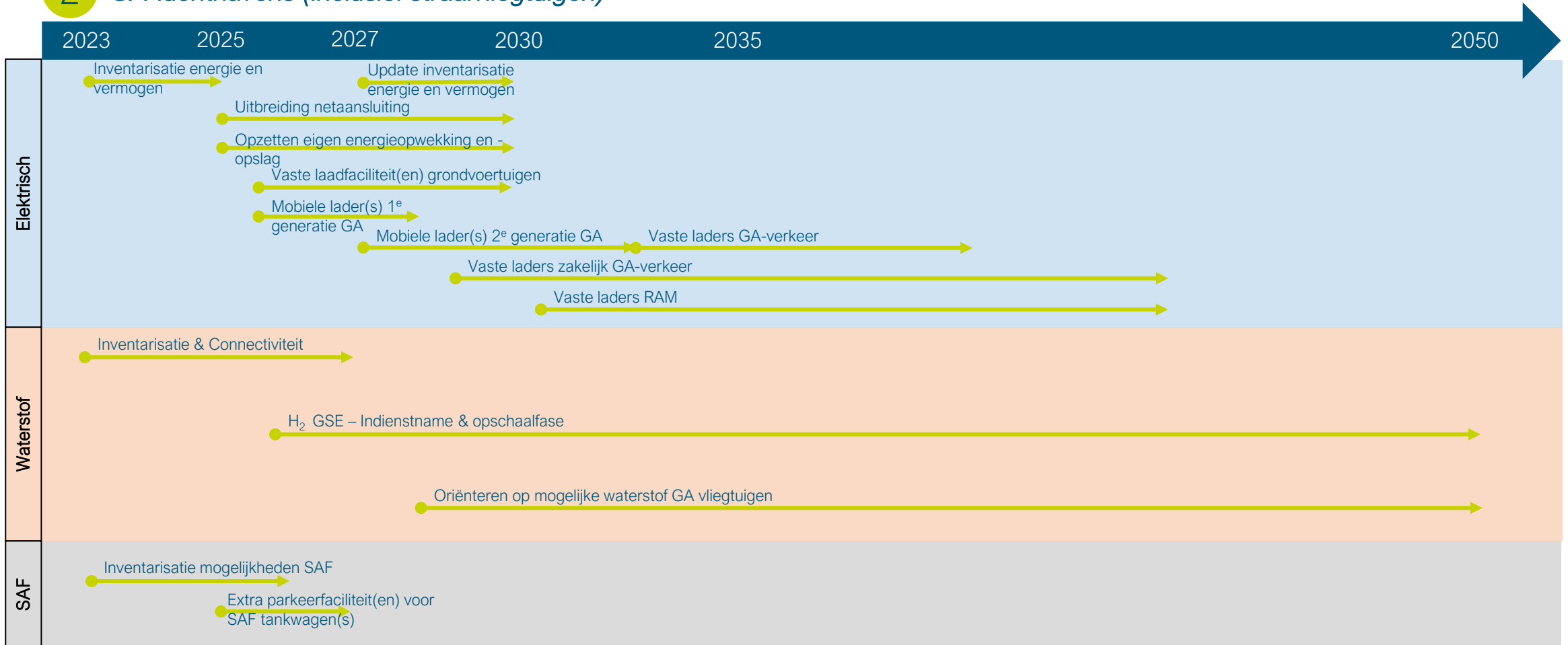
Mogelijke ontwikkeltrajecten per categorie luchthavens (indicatief)

1 GA-luchthavens (exclusief straalvliegtuigen)



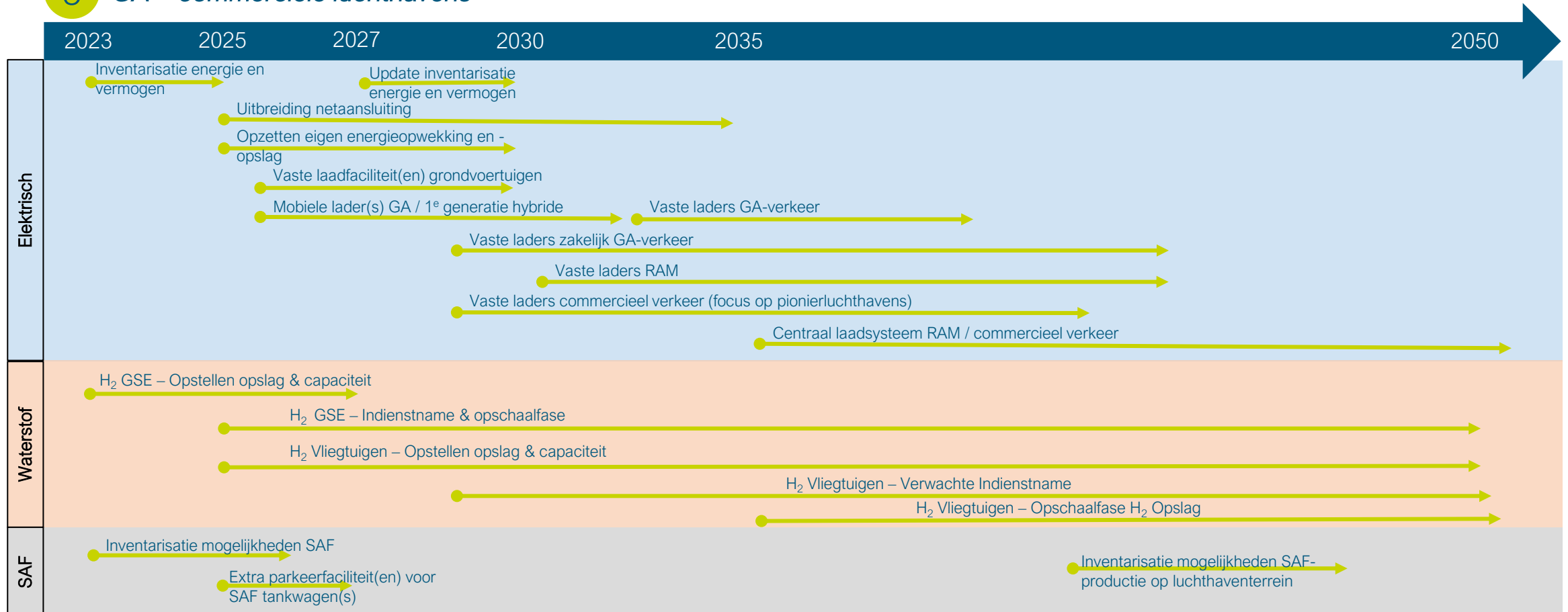
Samenvatting

2 GA-luchthavens (inclusief straalvliegtuigen)



Samenvatting

3 GA + commerciële luchthavens



A. Literatuurlijst

Literatuurlijst

- [1] LVNL. (2023). *Aeronautical Information Publication (AIP) – Netherlands*. <https://eaip.lvn.nl/web/2023-07-27-AIRAC/html/index-en-GB.html>
- [2] Hak, M. & Driessen, C.- (2021). *ROADMAP – Electric flight in the Kingdom of the Netherlands*. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2022/02/18/bijlage-2-roadmap-electric-flight-naco-nlr-report>
- [3] ICAO. (2022). *Annex 14 – Aerodromes (Volume 1, 9th edition)*.
- [4] Schiphol. (2023). *Traffic review 2022*. <https://www.schiphol.nl/en/download/b2b/1681204509/01sROKX6dQFHMXNEWINb1S.pdf>
- [5] Vliegclub Schiphol. (n.d.). *Een vliegclub voor Schiphol en de Randstad*. <http://www.vliegclubschiphol.nl/>
- [6] Eindhovense Aeroclub Motorvliegen. (n.d.). <https://www.eacm.nl/contact/>
- [7] Rotterdam The Hague Airport. (2023). *Overzicht verkeer en vervoer 2022 per maand*. <https://www.rotterdamthehagueairport.nl/wp-content/uploads/Totaal-per-maand-2022-8.pdf>
- [8] Vliegclub Rotterdam. (n.d.). <https://www.vliegclubrotterdam.nl/>
- [9] Lion Air. (2023). *Vliegschool Rotterdam Lion Air vliegles vliegbrevet PPL LAPL Night Rating*. <https://lionair.nl/vlieglessen/>
- [10] Rotterdamsche Aeroclub. (2021). *Leer nu vliegen bij de Rotterdamsche Aeroclub*. <https://rotterdamsche-aeroclub.nl/#opleiding>
- [11] Groningen Airport Eelde. (2023). *Jaarverslagen*. <https://www.groningenairport.nl/uploads/fckconnector/2371f4c7-a904-590f-b414-09b3a5b12271/3239259887/Bestuursverslag%20en%20Jaarrekening%20Groningen%20Airport%20Eelde%202022.pdf>
- [12] Groningen Airport Eelde. (n.d.). *Informatie over lesvluchten (KLM Flight Academy)*. <https://www.groningenairport.nl/over-groningen-airport-eelde/de-organisatie/omwonenden/informatie-over-lesvluchten-klm-flight-academy>
- [13] AeroEelde. (n.d.). *Rondvluchten*. <https://www.aeroeelde.nl/rondvluchten/algemeen>
- [14] Vliegles.info. (n.d.). *Flightlessons*. <https://vliegles-eelde.nl/flightlessons-groningen-airport-eelde>
- [15] Centraal Bureau voor de Statistiek. (2023). *Hoeveel vliegbewegingen zijn er van en naar Nederland?* <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/verkeer-en-vervoer/verkeer/vliegbewegingen>
- [16] Lelystad Airport. (n.d.). *Lesvluchten*. <https://www.lelystadairport.nl/vluchten/lesvluchten>
- [17] KLM Aeroclub. (7 juli 2023). *Vliegclub op Lelystad Airport – Over de KLM Aeroclub*. <https://klmaeroclub.com/over-de-klm-aeroclub/>
- [18] Vliegclub Flevo. (7 maart 2022). *De vliegschool in Lelystad*. <https://www.vliegclub-flevo.nl/vliegschool-lelystad/>
- [19] Maastricht Aachen Airport. (23 maart 2023). *Cijfers over Maastricht Aachen Airport*. <https://www.maa.nl/over-ons/cijfers/>
- [20] Cycloon Holland. (2020). *Vliegschool*. <https://www.cyclooholland.nl/vliegschool/>
- [21] FTMZ. (28 september 2022). *Bij Vliegschool Flight Training Midden Zeeland haal je vliegbrevet*. <https://www.ftmz.nl/>
- [22] Vliegschool Angel Air (n.d.). *RPL LAPL PPL opleiding*. <http://www.angelair.eu/>
- [23] Aero Club Zeeland. (n.d.). <https://www.aeroclubzeeland.nl/>
- [24] E-Flight Academy (n.d.). *Vlieg elektrisch!*. <https://www.eflight.nl/>
- [25] Zweefvliegclub Teuge. (2023). *Geluidloos genieten boven de prachtige Veluwe*. <https://www.zweven.nl/>
- [26] Zweefvliegclub Texel. (n.d.). <http://www.mzct.nl/v2.23/procmzct.php>
- [27] Kempen Airport. (n.d.). *Introductielessen*. <https://www.kempenairport.nl/vliegopleiding/introductielessen>
- [28] Vliegschool Hilversum. (6 maart 2022). *Dé vliegschool voor privévliegers en gebrevetteerden*. <https://www.vliegschool-hilversum.nl/>

Literatuurlijst

- [29] SMB Dimona (n.d.). *Wie zijn wij*. <http://www.smb-dimona.nl/Wie-zijn-wij/>
- [30] Aeroclub Hilversum-Amsterdam. (2 februari 2023). *Welkom bij de Aeroclub Hilversum-Amsterdam (ACHA)*. <https://vliegclubhilversum.nl/>
- [31] Gooise Zweefvliegclub. (n.d.). *Onze club*. <https://www.gezc.nl/onze-club>
- [32] Vliegclub Twente. (5 maart 2022). *Vliegen boven en vanaf Twente!* <https://www.vliegclubtwente.nl/>
- [33] Twentsche Zweefvlieg Club. (20 mei 2022). <https://www.tzc.aero/www4/>
- [34] Vliegclub Seppe. (n.d.). <https://www.vliegclubseppe.nl/home>
- [35] TTC-Seppe. (n.d.). *Test & Training Centre*. <https://tccseppe.nl/>
- [36] Breda Aviation. (n.d.). <https://www.breda-aviation.nl/nl>
- [37] Den Helder Airport. (29 augustus 2023). *Luchthaven*. <https://denhelderairport.nl/luchthaven/>
- [38] Aeroclub Maritime. (n.d.). <https://www.aeroclubmaritime.com/home.html>
- [39] Zweefvlieginfo.com. (n.d.). *Over Ons*. <https://zweefvlieginfo.com/overons>
- [40] Veld Terlet. (n.d.). *Zweefvliegen - Gliding Adventures Europe*. <https://www.zweven.eu/Veld-Terlet/>
- [41] De Gelderse Zweefvliegclub. (3 april 2023). <https://www.gezc.org/>
- [42] Flightlevel. (25 juni 2020). <https://flightlevel.eu/>
- [43] Vliegclub Fryslân. (n.d.). <https://www.vliegclub-fryslan.nl/>
- [44] Oostwold Airport. (n.d.). *Flight courses*. <https://oostwold-airport.nl/flight-courses/>
- [45] Vliegclub Hoogeveen. (n.d.). <https://vliegclubhoogeveen.nl/>
- [46] AirBet. (29 januari 2016). *That's Flying!* <http://www.airbet.nl/>
- [47] Vliegveld Stadskanaal. (n.d.). *Vliegschool*. <https://ehst.nl/vliegschool/>
- [48] Planbureau voor de Leefomgeving. (2023). *Klimaatdoel 2030 voor het eerst in zicht; snelle en ambitieuze uitwerking plannen crucial*. <https://www.pbl.nl/nieuws/2023/klimaatdoel-2030-voor-het-eerst-in-zicht-snelle-en-ambitieuze-uitwerking-plannen-cruciaal/>
- [49] Netbeheer Nederland. (2023). *Capaciteitskaart afdruk elektriciteitsnet*. <https://capaciteitskaart.netbeheernederland.nl/> (Bekeken op 28-11-2023)
- [50] Publieke Dienstverlening Op de Kaart | Beschikbare Capaciteit Elektriciteitsnet. (2023). <https://app.pdok.nl/viewer/>
- [51] Lelystad Airport. (2023). *Operationele info*. <https://www.lelystadairport.nl/voor-piloten/operationele-info/>
- [52] Rotterdam The Hague Airport. (2023). *Elektrische (les)vluchten op Rotterdam The Hague Airport*. <https://www.rotterdamthehagueairport.nl/luchthaven-en-ik/organisatie/nieuws/item/elektrische-lesvluchten-op-rotterdam-the-hague-airport/>
- [53] Pipistrel. (2020). *Pipistrel SKYCHARGE M20 Portable charger instruction manual*. <https://www.lausanne-aeroclub.ch/>
- [54] FASTNED (2023). *FASTNED Locations*. <https://fastnedcharging.com/en/locations>
- [55] Ed Hicks. (2021). Pipistrel charging unit [afbeelding]. <https://flyer.co.uk/feature/pipistrel-velis-electro/>
- [56] KLM. (2023). *Een vlucht naar de toekomst: KLM geeft startsein voor Electric Flying Connection Tour*. <https://nieuws.klm.com/een-vlucht-naar-de-toekomst-klm-geeft-startsein-voor-electric-flying-connection-tour/>

Literatuurlijst

- [57] NLR. (n.d.). *Het Rondje Nederland elektrisch vliegen is van start!* <https://www.nlr.nl/aandachtsgebieden/strategische-themas-2022-2025/thema-duurzame-luchtvaart/over-het-rondje-nl/>
- [58] E-Flight Academy. (2023). *E-Flight gaat ook elektrisch vliegen op Texel en Twente.* <https://www.eflight.nl/blogs/e-flight-notices/nieuw-e-flight-pop-ups>
- [59] Groningen Airport Eelde. (2020). *Groningen Airport Eelde eerste luchthaven met elektrische laadpaal voor vliegtuigen* [afbeelding] <https://www.groningenairport.nl/actueel/groningen-airport-eelde-eerste-luchthaven-met-elektrische-laadpaal-voor-vliegtuigen>
- [60] A.P Brdnik et al. (2019). *Market and Technological Perspectives for the New Generation of Regional Passenger Aircraft.* In: *Energies* 12. DOI: 10.3390/en12101864.
- [61] M. Janovec et al. (2022). *Design of batteries for a hybrid propulsion system of a training aircraft.* In: *Energies* 15. DOI: 10.3390/en15010049.
- [62] A. Kozakiewicz en T. Grzegorzczak. (2021). *Electric Aircraft Propulsion.* In: *KONBiN* 51. DOI: 10.2478/jok-2021-0044.
- [63] M. Marksel et al. (2019). *MAHEPA Ground infrastructure investment plan.*
- [64] Rhyxeon General Aircraft Co., Ltd. (2020). *RX1E.* http://rxgac.com/c/RX1E_en.html
- [65] PIPISTREL. (2023). *Velis Electro.* <https://www.pipistrel-aircraft.com/products/velis-electro/>
- [66] Elektra Solar GmbH. (2022). *Elektra Trainer – The pilot training electric aircraft.* <https://www.elektra-solar.com/products/elektra-trainer-solar/>
- [67] VoltAero. (2023). *SPECIFICATIONS.* <https://www.voltaero.aero/en/the-vision/specifications/>
- [68] Diamond Aircraft Industries. (2023). *eDA40 – All-Electric Aircraft.* <https://www.diamondaircraft.com/en/flight-school-solution/aircraft/eda40/overview/>
- [69] Alcock, C. (2023). *Diamond's Electric eDA40 Trainer Makes First Flight.* <https://www.ainonline.com/aviation-news/futureflight/2023-07-26/diamonds-electric-da40-training-aircraft-makes-first-flight>
- [70] Flight Design general aviation GmbH. (2023). *THE F2e – the future of flight training.* <https://flightdesign.com/flightdesignf2e>
- [71] Bye Aerospace. (2023). *Electric Training Aircraft.* <https://byeaerospace.com/electric-airplane/>
- [72] Ampaire Inc. (2023). *Eco Caravan.* <https://www.ampaire.com/vehicles/eco-caravan>
- [73] Ampaire Inc. (2023). *Eco Otter.* <https://www.ampaire.com/vehicles/eco-otter-aircraft>
- [74] Eviation. (2023). *Alice.* <https://www.eviation.com/aircraft/>
- [75] Ganesh, S. (2023). *CEO Interview: Eviation Alice's Trajectory.* <https://airwaysmag.com/ceo-eviation-alices-trajectory/>
- [76] Heart Aerospace. (2023). *Learn more about the ES-30.* <https://heartaerospace.com/es-30/>
- [77] AURA AERO. (2023). *ERA.* <https://aura-aero.com/en/era/#video>
- [78] Maeve Aerospace B.V. (2023). *Maeve M80.* <https://maeve.aero/aircraft>
- [79] Embraer. (2023). *Energia Hybrid E9-HE.* <https://embraercommercialaviationsustainability.com/wp-content/uploads/2021/11/Spec-Energia-Hybrid.pdf>
- [80] Vaeridion GmbH. (2023). *Leading the green revolution in aviation.* <https://vaeridion.com/>
- [81] ELYSIAN. (2024). *Redefining Zero-Emission Air Travel.* <https://www.elysianaircraft.com/>
- [82] Joby Aviation. (2023). *Joby Delivers First eVTOL Aircraft to Edwards Air Force Base Ahead of Schedule.* [afbeelding] <https://www.jobyaviation.com/news/joby-delivers-first-evtol-edwards/>

Literatuurlijst

- [83] KLM Royal Dutch Airlines. (2023). *New electric pushback trucks*. [afbeelding] https://www.linkedin.com/posts/klm_klm-pushback-activity-7062874173114572801-KBTZ/
- [84] Schiphol. (2023). *New electric ground equipment at Schiphol*. [afbeelding] <https://www.schiphol.nl/en/schiphol-group/blog/new-electric-ground-equipment-at-schiphol/>
- [85] Heliox Energy. (2023). *Megawatt charging system*. <https://www.heliox-energy.com/megawatt-charging-system>
- [86] Electro.Aero Pty Ltd. (2023). *Electric Aircraft Chargers*. [afbeelding] <https://www.electro.aero/>
- [87] CHRG Network. (2023). *ABB Terra 54 DC – 50kW fast charging station*. <https://chargingshop.eu/product/abb-terra-54-dc-50kw-fast-charging-station/>
- [88] ICF International Inc. (2022). *How much does electric vehicle charging infrastructure actually cost?* <https://www.icf.com/insights/transportation/electric-vehicle-charging-infrastructure-costs>
- [89] RHDHV. (2022). Internal project information on electric vehicle charging
- [90] Van Amstel, N. (2023). *Optimizing the energy and charging infrastructure costs for regional electric aircraft operations*.
- [91] General Aviation News. (2023). *Charge four electric aircraft simultaneously*. [afbeelding] <https://generalaviationnews.com/2018/07/26/charge-four-electric-aircraft-simultaneously/>
- [92] Rotterdam The Hague Airport. (2022). [VIDEO] *Zonnepark op vliegveld in gebruik*. <https://www.rotterdamthehagueairport.nl/luchthaven-en-ik/innovatie/item/zonnepark-op-vliegveld-in-gebruik#:~:text=Het%20Zonnepark%20Rotterdam%20The%20Hague.van%20Nieuwenhuizen%20het%20eerste%20paneel.>
- [93] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2020). *Verantwoord vliegen naar 2050 – Luchtvaartnota 2020-2050*. <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-c2ae4e29-a960-4c91-99af-7bca52b8c9f9/pdf>
- [94] Focusgroep Grondgebonden en luchthavens. (2023). *Uitvoeringsagenda – Action Plan V1.0*
- [95] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2023). *Innovatiestrategie luchtvaart*. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/06/13/bijlage-innovatiestrategie-luchtvaart>
- [96] KLM Flight Academy. (2021). *KLM FLIGHT ACADEMY MAAKT WERK VAN ELEKTRISCH VLIEGEN BIJ 75-JARIG JUBILEUM*. <https://klmflightacademy.nl/klm-flight-academy-maakt-werk-elektrisch-vliegen-75-jarig-jubileum-2/>
- [97] Orban, A. (2023). *Swedish government invests in research in order to quickly get electric aviation in place*. <https://www.aviation24.be/electric-aviation/swedish-government-invests-in-research-in-order-to-quickly-electric-aviation-in-place/>
- [98] Hampel, C. (2020). *Sweden to equip airports for domestic e-flights*. <https://www.electrive.com/2020/02/17/sweden-to-equip-airports-for-domestic-electric-flights/>
- [99] Efler, M. (2023). *Could Norwegian Electric Planes Be a Model for the Rest of the World?* <https://www.spiegel.de/international/business/pioneers-in-green-aviation-could-norwegian-electric-planes-be-a-model-for-the-rest-of-the-world-a-b3aef6b5-1078-4d1a-8699-ed37926797f9>
- [100] Ampaire. (2023). Inventarisatie studie elektrische proefvluchten Bonaire door Ampaire in opdracht van Ministerie IenW, gepresenteerd op DCCA conferentie 6-7 november 2023
- [101] Ministerie van Algemene Zaken. (2019). *Klimaatkoord*. Rapport | Rijksoverheid.nl. <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/documenten/rapporten/2019/06/28/klimaatkoord>
- [102] Nationaal Waterstof Programma (2021). *Werkplan Nationaal Waterstof Programma*. [Werkplan Nationaal Waterstof Programma 2022-2025 | Jaarplan | Rijksoverheid.nl](https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2021/06/28/werkplan-nationaal-waterstof-programma-2022-2025-jaarplan-rijksoverheid.nl)
- [103] Think Tank European Parliament. (2023). *ReFuelEU Aviation initiative: Sustainable aviation fuels and the fit for 55' package* [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI\(2022\)698900](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(2022)698900)
- [104] Nationaal Waterstof Programma (2022) *Routekaart Waterstof*. <https://nationaalwaterstofprogramma.nl/documenten/handlerdownloadfiles.ashx?idnv=2339011>

Literatuurlijst

- [105] Groningen Airport Eelde. (2021). *Groningen Airport Eelde eerste Hydrogen Valley Airport van Europa*. <https://www.groningenairport.nl/nl/actueel/groningen-airport-eelde-eerste-hydrogen-valley-airport-van-europa>
- [106] Groningen Airport Eelde. (2023). *Wereldprimeur op Groningen Airport Eelde: onthulling waterstof-GPU*. <https://www.groningenairport.nl/nl/actueel/wereldprimeur-op-groningen-airport-eelde-onthulling-waterstof-gpu>
- [107] Schiphol. (2021). *Schiphol leidt breed Europees samenwerkingsverband om verduurzaming luchtvaart te versnellen*. <https://nieuws.schiphol.nl/schiphol-leidt-breed-europees-samenwerkingsverband-om-verduurzaming-luchtvaart-te-versnellen/>
- [108] NACO, Netherlands Airport Consultants. (2023). *NACO to study hydrogen storage at Rotterdam The Hague Airport*. <https://www.naco.nl/en/news-and-insights/2023/naco-signs-contract-with-rotterdam-the-hague-airport-for-hydrogen-storage-study>
- [109] Schiphol. (2023). *Eerste route op waterstof*. <https://www.schiphol.nl/nl/schiphol-group/blog/eerste-route-op-waterstof/>
- [110] Lelystad Airport. (2023). *Vandaag is het platform Flevoland Hydrogen Valley gelanceerd*. <https://www.lelystadairport.nl/actueel/vandaag-is-het-platform-flevoland-hydrogen-valley-flhy-gelanceerd>
- [111] Circul8.Energy. (2023). *Groene Waterstof in Flevoland*. <https://circul8.energy/project/groene-waterstof-in-flevoland>
- [112] Innovation Origins. (2022). *Waterstofdrone, thermoplastisch composite en vliegveld als proeftuin: zo werkt Twente aan luchtvaart van morgen*. <https://innovationorigins.com/nl/waterstofdrone-thermoplastisch-composiet-en-vliegveld-als-proeftuin-zo-werkt-twente-aan-luchtvaart-van-morgen/>
- [113] Brewer, G. D. (1991). *Hydrogen Aircraft Technology*. CRC Press.
- [114] Dorrington, G.E., Baxter, G., Bil, C., Subic, A., & Trivailo, P.M. (2013). Prospects for liquefied natural gas and other alternative fuels for future civil air transportation.
- [115] PSC "Tupolev". (n.d.). *CRYOGENIC AIRCRAFT*. Retrieved November 30, 2023, from web.archive.org/web/20130218231656/www.tupolev.ru/English/Show.asp?SectionID=82
- [116] CORDIS. (2002, May 30). *EU Funded Project Confirms Viability of Liquid Hydrogen Fuelled Aircraft*. Retrieved from cordis.europa.eu/article/id/18465-eu-funded-project-confirms-viability-of-liquid-hydrogen-fuelled-aircraft
- [117] IATA. (n.d.). *IATA Fact Sheet 7*. Retrieved November 30, 2023, from www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/fact_sheet7-hydrogen-fact-sheet_072020.pdf
- [118] Mehta, J. M., et al. (2023, March 3). Hydrogen, the Zero Carbon Fuel. In *Combustion Chemistry and the Carbon Neutral Future*. Elsevier. Retrieved from www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780323992138000114
- [119] NACO/RHDHV. (2023). *Waterstofstudie Amsterdam Airport Schiphol*
- [120] NACO/RHDHV. (2023). *Waterstofstudie Rotterdam The Hague Airport*
- [121] Hamburg Airport. (2022, October 28). "A New Lease of Life in the Service of Science – an Airbus A320 Is Transformed into a Field Lab for Hydrogen Technology in Hamburg." Hydrogen Aviation Lab. www.hamburg-airport.de/en/hydrogen-aviation-lab-61634.
- [122] van den Berg, S. (2023, November 7). *Fokker NG Kijkt Naar Groningen Voor Fabriekslocatie. Pilot & Vliegtuig*. Retrieved from www.pilootenvliegtuig.nl/2023/11/07/fokker-next-gen-kijkt-naar-groningen-voor-fabriekslocatie
- [123] Rolls-Royce. (n.d.). *Rolls-Royce and EasyJet Set New World First*. Retrieved from www.rolls-royce.com/media/press-releases/2022/28-11-2022-rr-and-easyjet-set-new-aviation-world-first-with-successful-hydrogen-engine-run.aspx
- [124] Brussels Airport Company NV. (2023). *Brussels Airport en Brussels Airlines starten het nieuwe jaar met eerste levering Sustainable Aviation Fuel via de NAVO-pijplijn*. <https://www.brusselsairport.be/nl/pressroom/news/first-saf-flight>
- [125] LUX Airport. (2023). *Cargolux inaugurates SAF at Luxembourg airport and operates carbon neutral flight to Zhengzhou in China*. <https://www.lux-airport.lu/cargolux-inaugurates-saf-at-luxembourg-airport-and-operates-carbon-neutral-flight-to-zhengzhou-in-china/>
- [126] EASA. (2023). *Sustainable Aviation Fuels*. <https://www.easa.europa.eu/eco/eaer/topics/sustainable-aviation-fuels>
- [127] Studio Gear Up B.V. (2022). *Hernieuwbare waterstof voor luchtvaartbrandstoffen in Nederland*.
- [128] European Commission. (2021). *ReFuelEU Aviation – Sustainable Aviation Fuels*. EUR-Lex - 32023R2405 - EN - EUR-Lex (europa.eu)

Literatuurlijst

- [129] Elgin, B. (2023). *How United and Other US Airlines Lost Momentum on Sustainable Jet Fuel*. [afbeelding]
<https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-10-05/how-us-airlines-fell-behind-europe-on-sustainable-jet-fuel#xj4y7vzkg>

B. Afkortingenlijst

Afkortingenlijst

AIP	Aeronautical Information Publication
CEPS	Central European Pipeline System
EASA	European Union Aviation Safety Agency
GPU	Grondaggregaat / Ground Power Unit
GSE	Grondafhandelingsvoertuigen / Ground Service Equipment
ICAO	International Civil Aviation Organization
LVNL	Luchtverkeersleiding Nederland
MTOW	Maximum takeoff weight (Maximum startgewicht)
NLR	Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum
NWP	National Waterstof Programma
PSO	Openbare dienstverplichting / Public Service Obligation
SAF	Sustainable Aviation Fuel
eVTOL	Elektric Vertical Take-Off and Landing