



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

Supply chains voor duurzame vliegtuigbrandstoffen (SAF) in België

Sander Van Hercke

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de handelswetenschappen, afstudeerrichting supply chain management

PROMOTOR :

Prof. dr. Robert MALINA

BEGELEIDER :

Mevrouw Elisabeth WOELDGEN



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

www.uhasselt.be
Universiteit Hasselt
Campus Hasselt:
Martelarenlaan 42 | 3500 Hasselt
Campus Diepenbeek:
Agoralaan Gebouw D | 3590 Diepenbeek

2022
2023



Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

Supply chains voor duurzame vliegtuigbrandstoffen (SAF) in België

Sander Van Hercke

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de handelswetenschappen, afstudeerrichting supply chain management

PROMOTOR :

Prof. dr. Robert MALINA

BEGELEIDER :

Mevrouw Elisabeth WOELDGEN

1. Woord vooraf

Deze masterthesis vormt het sluitstuk van de masteropleiding Handelswetenschappen, afstudeerrichting supply chain management. Het doel van deze masterthesis is een antwoord te bieden op volgende hoofdonderzoeksvraag: *Hoe moet SAF geïntegreerd worden in de huidige toeleveringsketen van vliegtuigbrandstoffen om de Belgische luchtvaart duurzamer te maken?*

Om deze hoofdonderzoeksvraag te beantwoorden werden enkele deelonderzoeksvragen geformuleerd:

- Wat is de relevantie van het onderwerp?
- Wat is SAF, Sustainable Aviation Fuel?
- Hoe ziet de huidige toeleveringsketen van vliegtuigbrandstoffen er uit?
- Welke regelgeving is van toepassing op de huidige toeleveringsketen?
- Wat moet er gebeuren om de huidige toeleveringsketen duurzamer te maken?
- Welke verschillen zijn er tussen de huidige toeleveringsketen van vliegtuigbrandstoffen en de onderzochte alternatieven?
- Welke uitdagingen zou men kunnen tegenkomen bij de implementatie van de onderzochte alternatieve toeleveringsketens?

2. Samenvatting

In juli 2021 formuleerde de Europese Commissie een reeks wetvoorstellen (*Fit for 55* pakket) om tegen 2030 de netto-uitstoot van broeikasgassen met ten minste 55% te verminderen. Een van de onderdelen van deze voorstellen is gericht op de luchtvaartindustrie, namelijk het *ReFuelEU Aviation Initiative*. Dit initiatief heeft als doel de productie en ingebruikname van duurzame vliegtuigbrandstoffen of *Sustainable Aviation Fuels* (SAF) in de Europese Unie te stimuleren, aangezien SAF de grootste bijdrage zal leveren aan het verminderen van de CO₂-uitstoot. Door middel van een mengmandaat worden leveranciers van vliegtuigbrandstoffen verplicht een minimumaandeel duurzame vliegtuigbrandstoffen te leveren als onderdeel van de totale toelevering van vliegtuigbrandstoffen in EU-luchthavens, inclusief een minimumaandeel synthetische brandstoffen. Het mengmandaat gaat van start in 2025, met een minimumaandeel van 2% SAF, om te eindigen in 2050, met een minimumaandeel van 70% SAF (waarvan 28% synthetische brandstoffen).

SAF is een mengeling van conventionele vliegtuigbrandstoffen en *neat*-SAF, dat geproduceerd kan worden van een hele reeks *feedstocks*. SAF is een *drop-in* oplossing, waardoor de bestaande technologieën en supply chains voor conventionele vliegtuigbrandstoffen kunnen worden gebruikt. Vandaag de dag zijn er negen technische *pathways* voor de productie van SAF, elk met hun eigen maximale mengpercentage. De meest onderzochte en gebruikte *pathway* is HEFA. De belangrijkste *feedstocks* voor HEFA zijn afvalvetten zoals bakolie en plantaardige oliën. De Europese Unie heeft een hele lijst gepubliceerd van goedgekeurde *feedstocks* voor de productie van SAF, aangezien niet alle *feedstocks* even duurzaam zijn.

Het doel van dit onderzoek is om te begrijpen hoe SAF geïntegreerd dient te worden in de huidige toeleveringsketen van vliegtuigbrandstoffen om de Belgische luchtvaart duurzamer te maken. Op basis van een literatuurstudie, een interview en berekeningen werd de huidige toeleveringsketen van vliegtuigbrandstoffen voor de verschillende Belgische luchthavens in kaart gebracht.

Vervolgens werden de verschillende schakels die noodzakelijk zijn in de toeleveringsketen van SAF onderzocht door middel van een literatuurstudie en nieuwsartikelen. Tenslotte werden op basis van bovenstaande informatie voorstellen geformuleerd om SAF te integreren in de toeleveringsketens van vliegtuigbrandstoffen voor de verschillende Belgische luchthavens.

Brussels Airport is de grootste luchthaven in België op vlak van kerosineverbruik. In 2022 werd de vraag naar vliegtuigbrandstoffen op Brussels Airport geschat op 1133 miljoen liter. De luchthaven van Luik-Bierset is de tweede grootste, met een geschatte vraag van 521 miljoen liter. De overige drie luchthavens (Charleroi, Oostende en Antwerpen) hebben een geschatte vraag van respectievelijk 373, 39 en 11 miljoen liter. Brussels Airport en Luik-Bierset zijn de enige Belgische luchthavens die rechtstreeks aangesloten zijn op het pijpleidingnetwerk van de NAVO, het CEPS. Daarnaast beschikken zij over een *fuel hydrant* systeem, een ondergronds netwerk van pijpleidingen, om hun vliegtuigen te voorzien van brandstof. Alle vliegtuigbrandstoffen die geleverd worden aan Brussels Airport, worden geleverd via het CEPS. Luik-Bierset ontvangt het merendeel van haar vliegtuigbrandstoffen via het CEPS, maar moet ook leveringen via het wegvervoer inschakelen om aan de vraag te kunnen voldoen. De overige drie luchthavens worden allemaal uitsluitend bevoorrad via wegvervoer.

Om de implementatie van SAF mogelijk te maken, werden de verschillende schakels in deze toeleveringsketen onderzocht. De eerste schakel is de beschikbaarheid van *feedstocks* in de Europese Unie. De hoeveelheid beschikbare *feedstocks* in de Europese Unie blijft gedurende de eerste 15 jaar constant, met een waarde van 124,3 Mt per jaar. De maximale jaarlijkse productie van SAF doorheen de verschillende periodes op basis van deze *feedstocks* neemt toe door technologische ontwikkelingen en toename in de productiecapaciteit: 1,9 Mt per jaar in 2025, 3,4 Mt per jaar in 2030 en 4,5 Mt per jaar in 2035. Tot 2030 zal de Europese Unie zelfvoorzienend kunnen zijn op vlak van *feedstocks* voor de productie van SAF. Nadien is er nood aan extra *feedstocks* en productiemogelijkheden van SAF. Anno 2023 zijn er reeds 13 actieve SAF productiesites in de Europese Unie, met nog zeker 30 nieuwe geplande sites. Na het converteren van *feedstocks* in *blendstocks*, kunnen deze *blendstocks* gemengd worden met conventionele vliegtuigbrandstoffen. Een belangrijk onderdeel van het mengen van SAF is de certificatie. Alle vliegtuigbrandstoffen dienen voor gebruik gecertificeerd te worden volgens de ASTM standaard. *Neat*-SAF wordt gecertificeerd volgens ASTM D7566. Na het mengen met Jet A1 (ASTM D1655) wordt het mengsel beschouwd als ASTM D1655, waardoor het gebruikt mag worden in de bestaande vliegtuigtechnologieën en supply chains. Voor het mengen van *neat*-SAF met CAF zijn er verschillende mogelijkheden: in een brandstofterminal, in een raffinaderij, op de luchthaven of in een pijpleiding. Elk van deze menglocaties heeft zijn voor- en nadelen die overwogen dienen te worden.

De transportwijze om vliegtuigbrandstoffen te vervoeren hangt af van enkele elementen: de plaats van productie, het soort brandstof, de kosten en de volumes. De meest gebruikte transportmodi zijn: zeeschip, vrachtwagen, spoor, binnenschip en pijpleiding, waarbij deze laatste de meest kostenefficiënte wijze van transport is (indien de infrastructuur reeds aanwezig is). Het belangrijkste pijpleidingnetwerk in de Europese Unie is het CEPS, dat rechtsreeks toegang heeft tot zes internationale luchthavens (waaronder Brussels Airport en Luik-Bierset). Om de gemengde SAF te gebruiken bestaan er drie opties: fysieke scheiding (gemengde SAF en Jet A1 worden apart opgeslagen), *mass balance* (gemengde SAF en Jet A1 worden samen opgeslagen in dezelfde tank en kunnen door alle eindgebruikers worden gebruikt) en *book and claim* (gemengde SAF wordt niet fysiek op de luchthaven aangeleverd, maar de voordelen van CO₂-reductie kunnen wel op deze luchthaven worden geclaimd door een luchtvaartmaatschappij).

Sinds 1 januari 2023 mag gemengde SAF getransporteerd worden via het CEPS, waardoor Brussels Airport en Luik-Bierset rechtstreeks toegang hebben tot gemengde SAF. Vanop beide luchthavens zijn reeds (symbolische) vluchten vertrokken die gemengde SAF aan boord hebben. Daarnaast zijn er nog verschillende opties om gemengde SAF tot in het vliegtuig te brengen. *Neat*-SAF kan worden opgeslagen op de luchthaven, waar deze gemengd wordt met Jet A1 door middel van een statische of mobiele menginstallatie. Het grootste hekelpunt van deze optie is de certificatie en infrastructuurkosten. Daarnaast kan reeds gemengde (en gecertificeerde) SAF rechtstreeks aan de luchthavens worden aangeleverd door middel van vrachtwagens, waar deze gemengde SAF apart of samen met Jet A1 kan worden opgeslagen in afwachting van gebruik. De luchthaven Luik-Bierset zou in de toekomst gebruik kunnen maken van de binnenhaven van Luik om reeds gemengde of *neat*-SAF op een duurzamere manier aan te leveren. Deze optie dient verder onderzocht te worden op vlak van haalbaarheid en kosten. De luchthavens van Oostende en Antwerpen hebben omwille van hun kleine omvang slechts beperkte mogelijkheden tot de aanlevering van gemengde SAF. Zij zullen hoogstwaarschijnlijk enkel reeds gemengde SAF ontvangen (niet zelf mengen op de luchthaven). De luchthaven van Charleroi zou wel zelf *neat*-SAF kunnen mengen door middel van een mobiele menginstallatie. Echter, de *fuel farm* op deze luchthaven is zeer beperkt (slechts één opslagtank), waardoor bijkomende investeringen in de *fuel farm* aan te raden zijn. Tenslotte worden nog enkele beleidsopties besproken om de implementatie van SAF soepel te laten verlopen.

De grootste beperking in dit onderzoek was de beperkte beschikbaarheid en vertrouwelijkheid van de informatie die nodig was om de effectieve (SAF) supply chains van de Belgische luchthavens in kaart te brengen. In dit werkstuk werden theoretische ontwerpen voor SAF supply chains gepresenteerd die gebaseerd zijn op literair onderzoek. Echter, de praktijk zal er hoogstwaarschijnlijk anders uitzien. Om een realistisch beeld te scheppen van de werkelijke SAF supply chains in de Belgische luchthavens is het noodzakelijk om diepgaande interviews af te leggen met de verschillende betrokken partijen: luchthavens, luchtvaartmaatschappijen, brandstofleveranciers, tankoperatoren, logistieke dienstverleners enzovoort. Zij zouden extra inzichten, lopende projecten en praktische beperkingen kunnen aanreiken.

Desalniettemin geeft dit werkstuk een theoretisch overzicht van hoe SAF supply chains in België ontworpen zouden kunnen worden. Dit werkstuk verzamelde het beperkt aantal literaire werken met betrekking tot SAF supply chains (slechts een handvol, waarvan het merendeel gefocust is op de Verenigde Staten) en bundelde deze in verschillende overzichtelijke schema's. Het is nu aan de (Belgische) luchtvaartindustrie en alle betrokken stakeholders om de theorie om te zetten in de praktijk, waarbij dit werkstuk een eerste aanzet kan geven.

3. Inhoudsopgave

Inhoud

1.	Woord vooraf	1
2.	Samenvatting	1
3.	Inhoudsopgave	5
4.	Afkortingen	8
5.	Context	10
6.	Introductie in SAF-technologieën, regelgeving en feedstocks	13
6.1.	Introductie.....	13
6.2.	Definitie	14
6.3.	Regelgeving voor CAF.....	16
5.3.1	Refinery Certificate of Quality	17
5.3.2	Certificate of Analysis	17
5.3.3	Recertification Test Certificate.....	17
6.4.	Regelgeving voor SAF.....	17
6.5.	Technical pathways	21
6.5.1.	Fischer Tropsch synthesized isoparaffinic kerosene (FT-SPK).....	24
6.5.2.	Synthesized isoparaffins (SIP)	24
6.5.3.	Hydroprocessed fatty acid esters and fatty acids (HEFA)	24
6.5.4.	Hydroprocessed Hydrocarbonssynthesized isoparaffinic kerosene (HH-SPK).....	24
6.5.5.	Alcohol to jet (ATJ)	24
6.6.	Feedstocks.....	24
6.6.1.	Suiker/zetmeel feedstocks	25
6.6.2.	Olie feedstocks	25
6.6.3.	Lignocellulose feedstock	26
6.6.4.	Goedgekeurde feedstocks EU.....	26
7.	Huidige supply chain vliegtuigbrandstoffen in België.....	28
6.1.	Brussels Airport	28
6.2.	Luik-Bierset	30
6.3.	Oostende en Antwerpen	32
6.4.	Charleroi	33
8.	Huidige consumptie van vliegtuigbrandstoffen in België	34
9.	Schakels in de toeleveringsketen van SAF	37
9.1.	Introductie.....	37

9.2.	Feedstocks.....	39
9.2.1.	Beschikbaarheid van <i>feedstocks</i>	39
9.3.	Productie van neat-SAF.....	43
9.3.1.	Clean Skies for Tomorrow	43
9.3.2.	Productielocaties	43
9.3.3.	Productie neat-SAF in de Europese Unie	46
9.3.4.	Investerings	47
9.3.5.	Productiekosten	49
9.4.	Productie van SAF.....	50
9.4.1.	Introductie	50
9.4.2.	SAF mengen en certificeren.....	51
9.4.3.	Menglocaties voor SAF	53
9.5.	Transport	59
9.5.1.	Typische supply chain	59
9.5.2.	Transportmodi	63
9.6.	Opslag en ingebruikname	68
9.6.1.	Fysieke scheiding	68
9.6.2.	Mass balance	68
9.6.3.	Book and claim	68
10.	SAF supply chains in België.....	70
10.1.	Brussels Airport	73
10.2.	Luik-Bierset	77
10.3.	Oostende-Antwerpen	79
10.4.	Charleroi	80
11.	Beleidsopties in de Europese Unie	82
11.1.	Probleemdefinitie	82
11.2.	Policy Option A1: verplichting op de aanbodzijde (volume).....	82
11.3.	Policy Option A2: verplichting op de aanbodzijde (CO ₂ -intensiteitsvermindering).....	83
11.4.	Policy Option B1: verplichting op de vraagzijde (binnen en buiten de EU)	83
11.5.	Policy option B2: verplichting op de vraagzijde (binnen de EU)	83
11.6.	Policy Option C1: verplichting inzake levering en toename SAF (volume)	84
11.7.	Policy Option C2: verplichting inzake levering en toename SAF (CO ₂ -intensiteitsvermindering)	85

12.	Conclusie	85
13.	Bronvermelding	87
14.	Lijst met figuren en tabellen.....	93
14.1.	Figuren	93
14.2.	Tabellen	95

4. Afkortingen

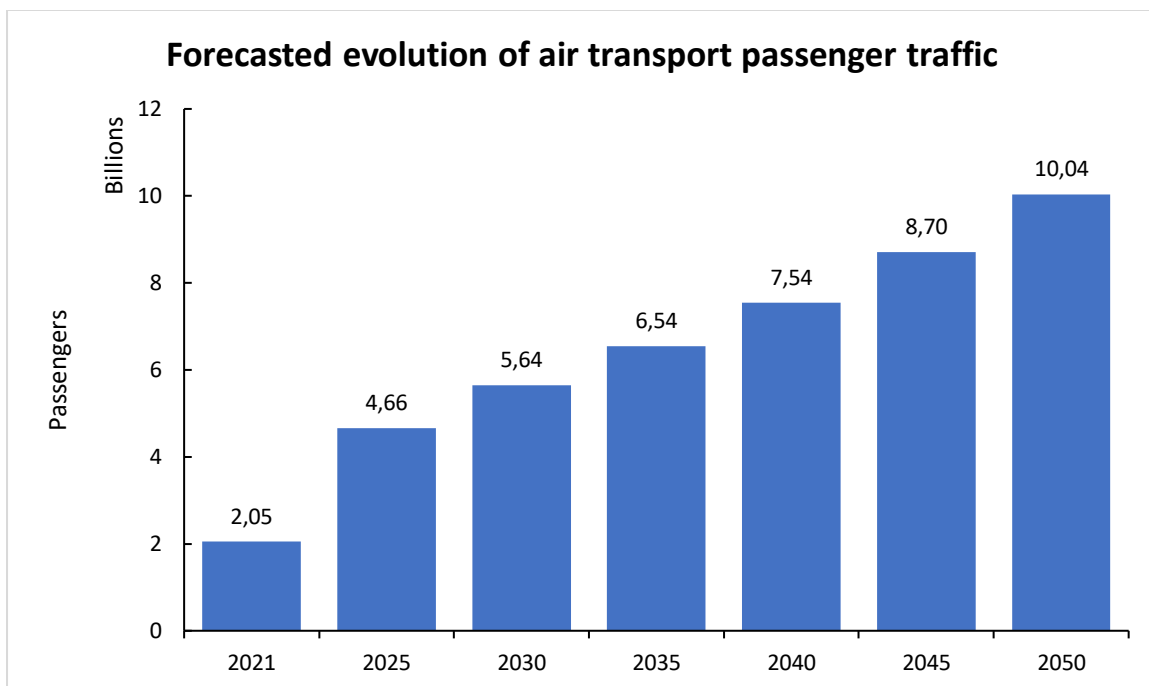
- ACI	Airports Council International
- ASTM	American Society for Testing Materials
- AT	Oostenrijk
- ATAG	Air Transport Action Group
- ATJ	Alcohol to Jet
- BCU	Book and Claim Unit
- BSCA	Brussels South Charleroi Airport
- CAF	Conventional Aviation Fuel – conventionele vliegtuigbrandstof
- CAPEX	Capital Expenditures
- CEPS	Central European Pipeline System
- COA	Certificate of Analysis
- CORDIS	the Community Research and Development Information Service
- CORSIA	Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation
- CoS	Certificate of Sustainability
- CST	Clean Skies for Tomorrow
- ECAC	European Civil Aviation Conference
- EI	Energy Institute
- FIN	Finland
- FT	Fisher Tropsch
- FT-SPK	Fischer Tropsch synthesized isoparaffinic kerosene
- G/FT	Gasification/FT
- HEFA	Hydroprocessed fatty acid esters and fatty acids
- HH-SPK	Hydroprocessed Hydrocarbonssynthesized isoparaffinic kerosene
- IATA	International Air Transport Association
- ICAO	International Civil Aviation Organisation
- ICCT	International Council on Clean Transportation
- JIG	Joint Inspection Group
- Km	kilometer
- LCA	levenscyclusanalyse
- Mt	Megaton – 1.000 miljoen kilogram – 1 miljoen ton
- Mtoe	million tonnes of oil equivalent
- NATO	North Atlantic Treaty Organization
- NAVO	Noord-Atlantische Verdragsorganisatie
- neat-SAF	zuivere, ongemengde SAF
- NEPS	North European Pipeline System
- NPS	NATO Pipeline System
- OPEX	Operating Expenditures
- PTC	Periodic Test Certificate
- PtL	Power-to-Liquid
- R&D	Research & Development
- RC	Release Certificate

- RCQ Refinery Certificate of Quality
- RED Renewable Energy Directive
- RTC Recertification Test Certificate
- SAF Sustainable Aviation Fuel – duurzame vliegtuigbrandstof
- SAF-TG Sustainable Aviation Fuels Task Group
- SBC Synthetic Blend Component
- SIP Synthesized isoparaffins
- UCO Used Cooking Oils
- UK United Kingdom
- US United States
- WEF World Economic Forum
- WLU Work Load Unit

5. Context

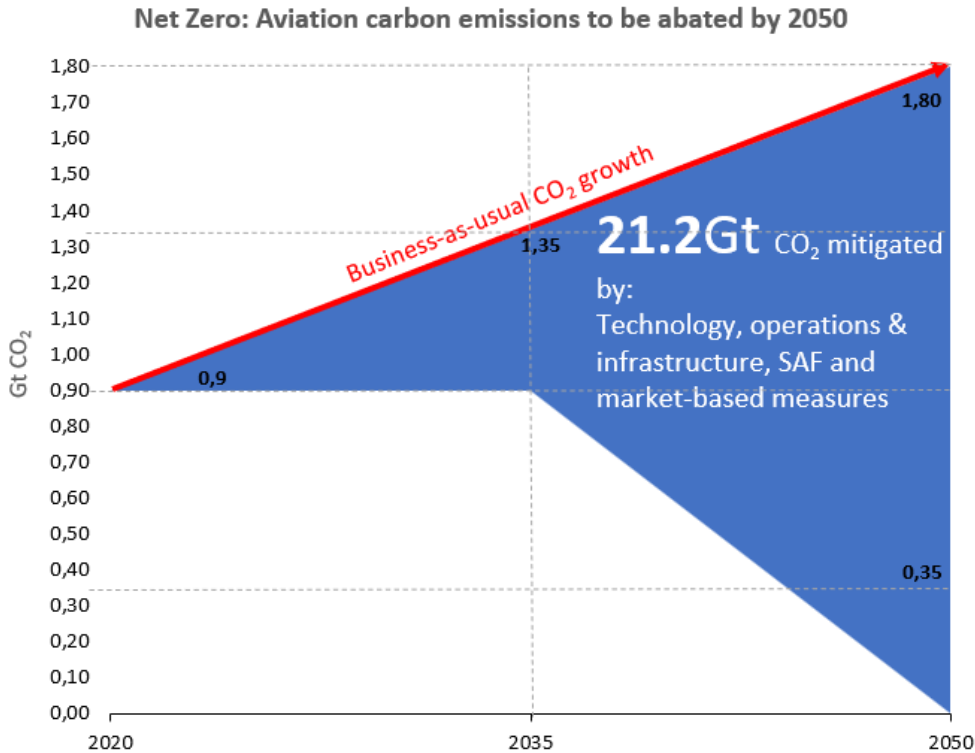
Op 4 oktober 2021 keurde IATA (*International Air Transport Association*) tijdens de 77^e jaarlijkse algemene vergadering de beslissing goed om tegen 2050 de globale luchtvaartindustrie volledige CO₂-neutraal te krijgen (*Fly Net Zero Programme*). Deze beslissing ligt in lijn met het Parijs-akkoord dat als doel heeft de opwarming van de aarde te beperken tot een stijging van maximaal 1,5 graden Celsius. De luchtvaartindustrie zal haar uitstoot van CO₂ geleidelijk aan moeten terugdringen terwijl de vraag naar commerciële vluchten enorm zal stijgen. (IATA, 2021)

Volgens de huidige voorspellingen (IATA) zal de vraag naar commerciële vluchten tegen 2050 meer dan 10 miljard individuele vluchten overschrijden.



Figuur 1: Voorspelde evolutie van het aantal passagiers in de wereldwijde luchtvaart (eigen werk, gebaseerd op IATA)

Indien de luchtvaartindustrie volgens de huidige manier blijft werken (*business-as-usual*) om aan de vraag 10 miljard passagiers te voldoen, zal de CO₂-uitstoot van de luchtvaartmaatsector tegen 2050 ongeveer 21,1 gigaton bedragen. Met andere woorden, om de *net-zero objective* te behalen, zal er tegen 2050 ongeveer 21,1 gigaton CO₂ afgebouwd moeten worden door middel van technologische innovaties, het verbeteren van activiteiten en infrastructuur, de ingebruikname van SAF (*Sustainable Aviation Fuel*) en marktgerichte maatregelen. (Figuur 2)

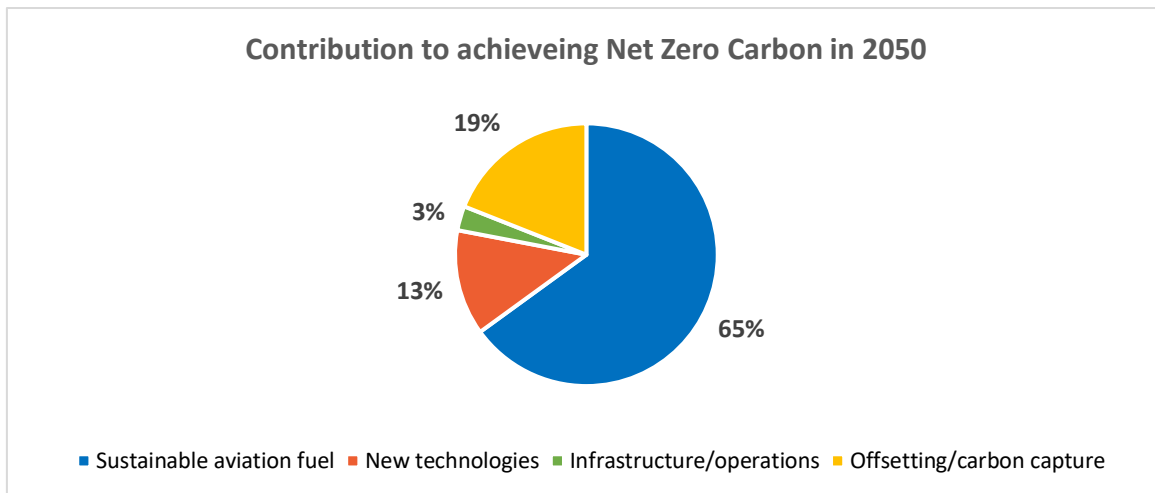


Figuur 2: Net Zero: CO₂-uitstoot te verminderen tegen 2050 in de luchtvaartindustrie (eigen werk, gebaseerd op IATA)

Echter, de inspanningen voor een CO₂-neutrale luchtvaartindustrie moeten niet enkel gedragen worden door de luchtvaartmaatschappijen, maar door alle stakeholders in de industrie: luchthavens, brandstofproducenten, luchtvaarnavigatie dienstverleners, overheden en de luchtvaartmaatschappijen zelf.

Om de *net-zero objective* te bereiken, zal de industrie gebruik maken van een combinatie van maximale eliminatie van emissies aan de bron en het gebruik van goedgekeurde compensatiemaatregelen en technologieën om CO₂ op te vangen. Enkele sleutelementen:

- (Het vergroten van) de ingebruikname van SAF (*Sustainable Aviation Fuel*), afkomstig van grondstoffen die niet schadelijk zijn voor het milieu en niet concurreren met het gebruik van water of voedsel;
- Het investeren in nieuwe luchtvaarttechnologieën, zoals nieuwe aerodynamische en alternatieve stuwkrachtoplossingen (elektriciteit en waterstof);
- Het continue verbeteren van de infrastructuur en de operationele efficiëntie, waarbij de focus ligt op een beter luchtverkeersbeheer;
- Het gebruik van goedgekeurde compensatiemaatregelen, inclusief technologieën voor het opvangen en opslaan van CO₂.



Figuur 3: Bijdrage aan Net Zero Carbon tegen 2050 (eigen werk, gebaseerd op IATA)

Uit Figuur 3 blijkt dat SAF de belangrijkste oplossing zal worden, goed voor een bijdrage van ongeveer 65% aan *Net Zero Carbon* tegen 2050. (McCausland, 2022)

CORDIS (the Community Research and Development Information Service) is de primaire bron van de Europese Commissie voor resultaten van projecten die door de EU-programma's voor onderzoek en innovatie worden gefinancierd. (*About CORDIS | CORDIS | European Commission, z.d.*)

Horizon 2020 was het EU-financieringsprogramma voor onderzoek en innovatie van 2014 tot 2020, met een budget van bijna 80 miljard euro. Dit programma werd eind 2020 opgevolgd door het EU-financieringsprogramma *Horizon Europe* (van 2021 tot 2027) en heeft een budget van 95,5 miljard euro. (Directorate-General for Research and Innovation (European Commission), 2021)

Een van de programma's dat gefinancierd wordt door *Horizon Europe* is *SOCIETAL CHALLENGES – Smart, Green and Integrated Transport*, met een budget van iets meer dan 6 miljard euro. Onder dit programma valt het STARGATE project (SusTainable AiRports, and Green heArT of Europe). Dit project ging van start op 1 november 2021 en heeft een kost van 33 miljoen euro, waarvan bijna 25 miljoen euro gefinancierd wordt door de Europese Unie (ongeveer 75% van de totale kost). Het doel van dit project is het ontwikkelen, testen en inzetten van innovatieve oplossingen, die luchthavens en luchtvaart duurzamer moeten maken. (Europese Commissie, 2021b)

De drie hoofddoelen van het STARGATE project zijn:

1. Het verder uitbreiden van decarbonisatie;
2. Het stimuleren van de modal shift;
3. Het verbeteren van de lokale levensomgeving.

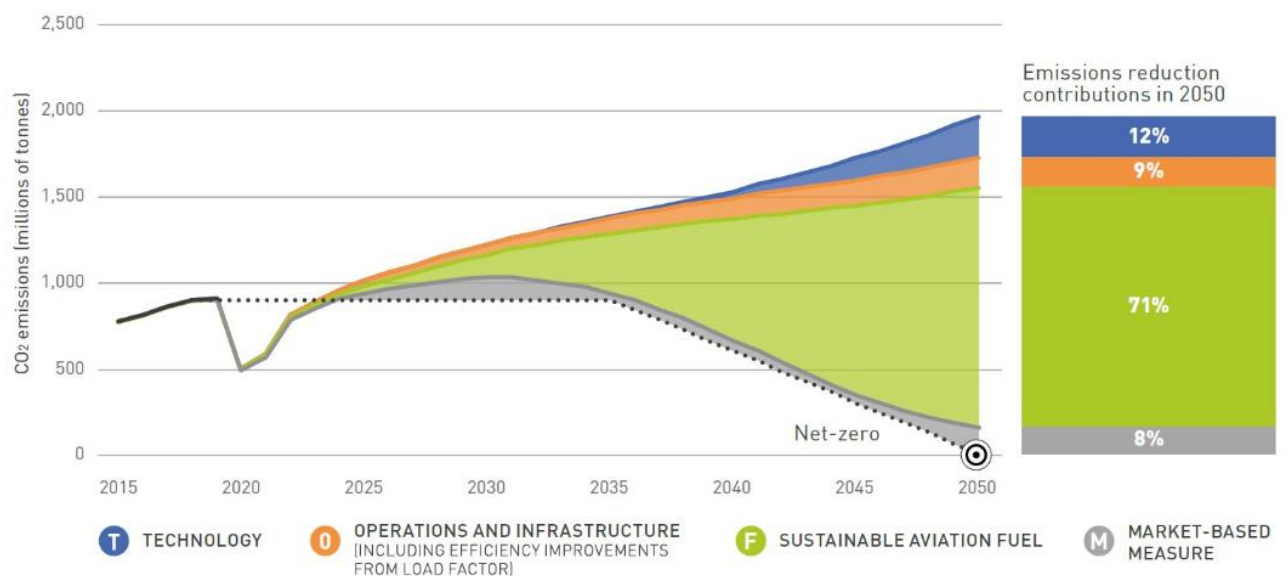
Dit project is een primeur in België, aangezien de luchthaven Brussels Airport de leidende rol op zich neemt. Brussels Airport zal samenwerken met 21 partners, waaronder kennisinstellingen en academici (vb. Universiteit Hasselt), luchthavenpartners (vb. SKEYES, Air Cargo Belgium, DHL en TUI) en drie andere Europese luchthavens (Toulouse, Boedapest en Athene). De resultaten van deze paper kunnen gebruikt worden voor het STARGATE project. (Stargate, z.d.)

6. Introductie in SAF-technologieën, regelgeving en feedstocks

6.1. Introductie

Hoewel de Europese Unie de laatste decennia zware inspanningen heeft geleverd om de energiesector te decarboniseren, is de transportsector achtergebleven. De Europese transportsector vertegenwoordigt nog steeds 32% van de finale Europese energieconsumptie. Zowel de civiele als industriële sector tonen een constante en zelfs dalende trend in de uitstoot van Europese broeikasgassen, terwijl deze trend in de Europese transportsector constant en zelfs stijgend is, goed voor 22% van de totale broeikasgassen in 2015. (Chiaramonti, 2019) Ondanks dat luchtvaart "slechts" verantwoordelijk is voor 2% tot 2,6% van de totale jaarlijkse uitstoot van CO₂ wereldwijd, wordt er geschat dat de impact groter is aangezien de uitstoot van CO₂ plaatsvindt op grote hoogte. (Ahmad et al., 2021)

Om de doelstelling van *net-zero by 2050*, besproken in het hoofdstuk *Context*, te behalen, formuleerde de Air Transport Action Group (ATAG) drie scenario's waarmee de luchtvaartsector door middel van technologie, operaties en infrastructuur, ingebruikname van SAF en marktgerelateerde maatregelen CO₂-neutraal kan worden. In alle drie de scenario's voorspelt men dat de verdere uitbouw van SAF de grootste bijdrage (tussen 50 en 75%) zal hebben bij het verminderen van de CO₂-uitstoot tegen 2050. Onderstaande Figuur 4 is een van deze scenario's. (ATAG, 2021)



Figuur 4: Scenario 2: agressieve ingebruikname SAF (atag.org)

6.2. Definitie

Sustainable Aviation Fuel, kortweg SAF, is de Engelse verzamelnaam voor duurzame vliegtuigbrandstoffen. SAFs zijn vloeibare brandstoffen die in commerciële luchtvaart worden gebruikt en het potentieel hebben om ongeveer 80% van de CO₂-uitstoot van luchtvaart te verminderen. SAFs kunnen geproduceerd worden uit een aantal grondstoffen, zogenaamde *feedstocks*, waaronder gebruikte olie en vetten (menselijke consumptie), groen- en huishoudelijk afval en gewassen die niet bestemd zijn voor consumptie. (McCausland, z.d.)

Daarnaast kan SAF ook synthetisch geproduceerd worden via een proces waarbij CO₂ rechtstreeks uit de lucht wordt opgenomen. Terwijl het gebruik van fossiele brandstoffen bijdraagt aan een toename van het CO₂-niveau (aangezien koolstoffen vrijkomen die voorheen in de aardbol zaten), recycleert SAF de CO₂-uitstoot die de *feedstocks* gedurende hun levensduur hebben opgenomen. (McCausland, z.d.)

Het belangrijkste aspect van SAF is het woord *sustainable* (duurzaam). In 2016 keurde IATA het *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA)* goed, dat als doel heeft de CO₂-emissies van de luchtvaartindustrie aan te pakken. Sinds 1 januari 2019 is *CORSIA* van toepassing op de internationale luchtvaart, waardoor alle luchtvaartmaatschappijen (die lid zijn van de ICAO¹, 193 leden) verplicht zijn hun jaarlijkse CO₂-uitstoot te rapporteren. (IATA, z.d.)

In november 2022 werd de derde editie van het ICAO document "*CORSIA Sustainability Criteria for CORSIA Eligible Fuels*" gepubliceerd, waarin duurzaamheidscriteria voor SAF werden opgenomen. Zoals eerder vermeld is *sustainability* het belangrijkste aspect van SAF, waardoor deze duurzaamheidscriteria verplicht zijn voor alle SAF dat gebruikt wordt in de internationale luchtvaart. Enkele van deze criteria zijn:

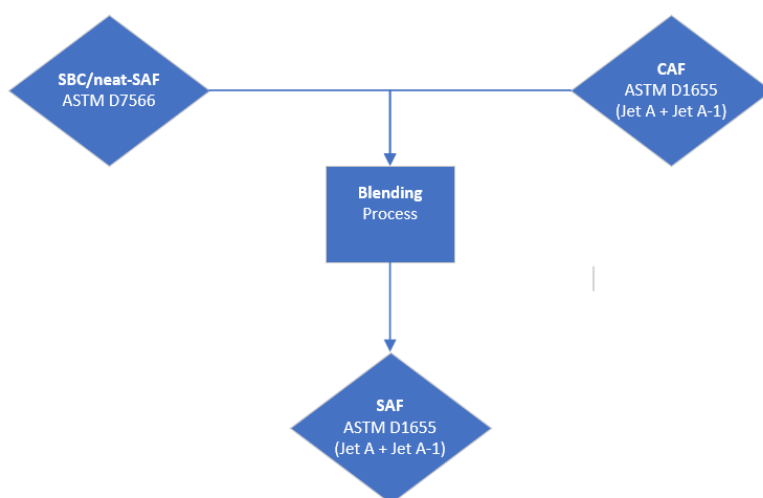
- Broeikasgassen: CORSIA SAF moet minstens 10% minder GHG (netto) uitstoten in vergelijking met de referentiewaarden van reguliere vliegtuigbrandstof gedurende de volledige levenscyclus;
- Water: de productie van CORSIA SAF moet de huidige waterkwaliteit en beschikbaarheid behouden of verbeteren;
- Lucht: de productie van CORSIA SAF moet de negatieve effecten op de luchtkwaliteit minimaliseren (door middel van limieten);
- Voedselzekerheid: de productie van CORSIA SAF moet de voedselzekerheid in voedselonzekere regio's promoten. (ICAO, 2022)

¹ *International Civil Aviation Organisation*

SAFs moeten dezelfde kwaliteit en karakteristieken hebben als conventionele vliegtuigbrandstof (CAF, *Conventional Aviation Fuel*). Dit is belangrijk zodat vliegtuigfabrikanten geen motoren of volledige vliegtuigen moeten herontwerpen en zodat brandstofleveranciers en luchthavens geen nieuwe toevoersystemen voor brandstoffen moeten ontwikkelen (wat nodig zou zijn voor andere alternatieven zoals waterstof of elektrificatie). Dit noemt men een *drop-in* oplossing. Momenteel ligt de focus op het produceren van SAF als *drop-in* vervangingen voor CAF. Aangezien vliegtuigen in verschillende landen CAFs (voornamelijk Jet A en Jet A-1 kerosine) moeten tanken, zijn er internationale specificaties opgesteld voor vliegtuigbrandstoffen. De internationale standaard specificatie voor vliegtuigbrandstoffen (Jet A en Jet A-1) is D1655, uitgegeven voor de American Society for Testing Materials (ASTM). De Britse standaard (UK Defence Standard) voor dezelfde vliegtuigbrandstof is Def-Stan 91-091. Deze organisaties stellen eisen voor bepaalde criteria, zoals de samenstelling, volatiliteit, vloeibaarheid, verbranding, corrosie, thermische stabiliteit, verontreiniging enzovoort om ervoor te zorgen dat de vliegtuigbrandstof compatibel is wanneer deze wordt gemengd met *neat*-SAF (zuiver, niet gemengd). Om *neat*-SAF als *drop-in fuel* te kunnen gebruiken (en dus gecertificeerd te zijn), moet deze gemengd worden met CAF volgens de standaarden. Alle *drop-in fuels* moeten voldoen aan deze criteria en standaarden vooraleer ze gebruikt mogen worden in vliegtuigen. (*Standard Specification for Aviation Turbine Fuels, 2022*)

Sustainable Aviation Fuel is het resultaat van een mengproces van twee belangrijke componenten. Enerzijds bestaat SAF uit een SBC, *Synthetic Blend Component*, ook wel *neat*-SAF (zuiver, niet gemengd) genoemd (ASTM D7566). Anderzijds bestaat SAF uit CAF, *Conventional Aviation Fuel*. Door het mengen *neat*-SAF (ASTM D7566) met CAF (ASTM D1655), verkrijgt men het eindproduct SAF. Dankzij het mengproces mag SAF verkocht worden volgens dezelfde standaard specificatie ASTM D1655 en/of Def-Stan 91-091, waardoor SAF gebruikt mag worden als brandstof in dezelfde vliegtuigen als CAF. Indien de SBC niet gemengd zou worden met CAF, zou deze SBC niet binnen het bereik vallen van de door de ASTM goedgekeurde vliegtuigbrandstoffen. (Wright, 2021)

Afhankelijk van de SBC bestaat er een maximaal gecertificeerde menglimiet om SAF te produceren. Voor de productie van SAFs zijn er verschillende mogelijkheden, de zogenaamde technische *pathways*. Deze *pathways* worden op de bondig besproken in deel 6.5. (Wright, 2021)



Figuur 5: vereenvoudigde voorstelling productie SAF (eigen werk)

6.3. Regelgeving voor CAF

Voor de veiligheid van de luchtvaartindustrie is het van essentieel belang dat vliegtuigbrandstoffen van constante kwaliteit zijn, gebaseerd op erkende standaarden. Er zijn operationele procedures opgesteld door de ICAO voor de levering, opslag, transport, testen en het tanken van vliegtuigbrandstoffen. Deze procedures zijn gestandaardiseerd aangezien vliegtuigbrandstoffen worden aangeleverd via gedeelde infrastructuur. De meest gekende standaard voor vliegtuigbrandstoffen Jet A en Jet A1 is de D1655 *Standard specification for aviation turbine fuels*, ontwikkeld en goedgekeurd door ASTM, dat eerder besproken werd op bladzijde 14. (CBSCI.CA, 2019)

Om duplicatie van infrastructuur en extra kosten te vermijden, worden op grote luchthavens opslagtanks en brandstoftoevoersystemen gedeeld tussen verschillende brandstofleveranciers. Deze verschillende brandstofleveranciers richtten in 1970 de JIG (*Joint Inspection Group*) op om standaarden te bepalen voor gedeelde brandstofinfrastructuur. Vandaag de dag werken de meeste Europese luchthavens volgens de JIG richtlijnen. Deze richtlijnen richten zich niet enkel op operaties op de luchthaven zelf (JIG 1 en 2 standaard), maar omvatten ook de stroomopwaartse toeleveringsketen, inclusief de raffinaderijen (EI 1530 standaard). (CBSCI.CA, 2019)

Verschillende internationale instanties waaronder het EI (*Energy Institute*), de JIG, het *American Petroleum Institute* en het *SAE International* ontwikkelden samen werkmethodes om de brandstofkwaliteit in de gehele toeleveringsketen te garanderen. De ICAO, samen met IATA, ACI (Airports Council International) en *Airlines for America* formuleerden een samenvatting van de belangrijkste methodes in de *Manuel on Civil Aviation Jet Fuel Supply (2012)*.

Naast de standaarden voor de vliegtuigbrandstoffen zelf (zoals ASTM – D1655), zijn er ook standaarden op vlak van het toevoegen van additieven, het nemen van monsters om vliegtuigbrandstoffen te testen, laboratoriumvereisten en documentatie. Documentatie is een integraal onderdeel van een solide kwaliteitsborging. Documentatie wordt doorheen de volledige toeleverings- en distributieketen gebruikt voor verschillende doeleinden, zoals het certificeren van de brandstofkwaliteit na productie en distributie, het vastleggen van kwaliteits- en onderhoudscontroles en de traceerbaarheid aan te tonen. Bepaalde documentatie is verplicht zoals het *Refinery Certificate of Quality* of het *Certificate of Analysis*, om aan te tonen dat de vliegtuigbrandstof voldoet aan de vereiste specificatie. De belangrijkste documenten zijn:

(ICAO, 2012)

- *Refinery Certificate of Quality (RCQ)*;
- *Certificate of Analysis (COA)*;
- *Recertification Test Certificate (RTC)*;

5.3.1 Refinery Certificate of Quality

Een RCQ wordt opgesteld in de raffinaderij voor elke geproduceerde batch conventionele vliegtuigbrandstof. De RCQ dient als traceerbaarheidsdocument en bevat het batchnummer, de naam van de raffinaderij, de datum, documentatie dat de geteste vliegtuigbrandstof voldoet aan de ASTM standaard (D1655 voor Jet A(1)), het type vliegtuigbrandstof en het volume van additieven. (Federal Aviation Administration (FAA) et al., 2021)

5.3.2 Certificate of Analysis

Een COA wordt opgesteld door een onafhankelijk en gecertificeerd laboratorium na de productie op elk overgangspunt. De COA bevat het batchnummer, de naam van de raffinaderij, de datum, documentatie dat de geteste vliegtuigbrandstof voldoet aan de ASTM standaard (D1655 voor Jet A(1)) en bijhorende bijlages. (Federal Aviation Administration (FAA) et al., 2021)

5.3.3 Recertification Test Certificate

Een RTC wordt opgesteld wanneer er gevaar bestaat voor brandstofverontreiniging, bijvoorbeeld na dat vliegtuigbrandstof doorheen een *multiproduct* pijpleidingsysteem of schip vervoerd wordt. De documentatie van de RTC is gelijkaardig aan de RCQ. Het testen zorgt ervoor dat de brandstof binnen de specificatiegrenzen valt en dat er geen significante veranderingen worden vastgesteld voor elke eigenschap van het testcertificaat. (Federal Aviation Administration (FAA) et al., 2021)

6.4. Regelgeving voor SAF

Op vlak van regelgeving voor SAF is er maar weinig verschil met CAF. Het grootste verschil is de specificatie. Voor SAF is de specificatie ASTM D7566, voor CAF is de specificatie ASTM D1655 of Def Stan 91-091. Wanneer SAF gemengd is en in gebruik genomen wordt, dient deze ook aan ASTM D1655 of Def Stand 91-091 standaard te voldoen. Ook de documentatie die noodzakelijk is voor CAF is quasi identiek aan de documentatie van SAF. Voor SAF wordt het gebruik van een extra document, het zogenaamde *Certificate of Sustainability (CoS)*, uitdrukkelijk aangeraden. De eerder vermelde documentatie (RCQ, COA, RTC) en specificatie (ASTM D7566, Def Stan 91-91 enzovoort) garanderen geen duurzaamheidsbewijs, maar louter fysieke eigenschappen van de brandstoffen zelf. Er zijn verschillende redenen waarom het gebruik van een *CoS* wordt aangeraden:

- Simpelweg gebruik maken van SAF vermindert niet noodzakelijk de uitstoot van koolstof. Het gebruik van SAF moet een netto koolstofreductie kunnen aantonen door middel van een levenscyclusanalyse (LCA), dat een essentieel onderdeel is van het *CoS*;
- Financiële steunmaatregelen van de overheid voor de productie en/of het gebruik van SAF zijn enkel beschikbaar indien er voldaan wordt aan de duurzaamheidscriteria geformuleerd in het *CoS*;
- In de Verenigde Staten en de Europese Unie mogen enkel gecertificeerde SAFs bijdragen aan overheidsmandaten voor volumes of quota's van hernieuwbare brandstoffen. (IATA, 2015)

Het *Certificate of Sustainability (CoS)* wordt als volgt gedefinieerd: een document dat door een erkende organisatie wordt afgegeven om te certificeren dat een SAF van een specifieke oorsprong

en geproduceerd via een specifieke *technical pathway* voldoet aan de criteria van een bepaalde duurzaamheidsnorm, zelfs als het niet alle kenmerken van een "certificaat" in strikte zin bevat. Normaal gezien is het de producent die het CoS uitgeeft. In sommige gevallen kan het CoS zelfs geüpdatet worden na elke overdracht van bewaring, om zo de extra koolstofvoetafdruk van elk transport weer te geven. (IATA, 2015)

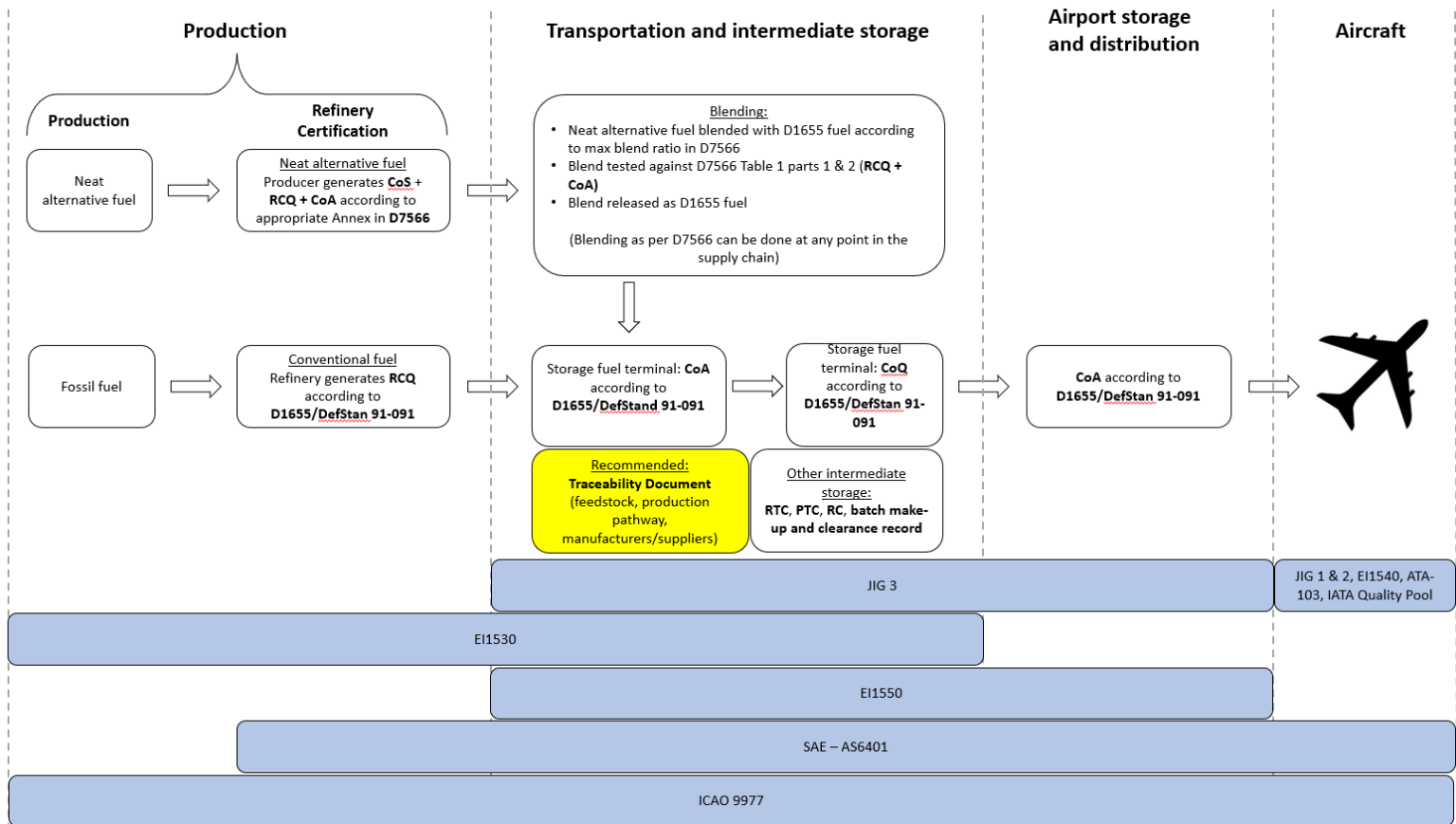
Er zijn verschillende criteria om de duurzaamheid van een SAF te bepalen. Enkele van de meest voorkomende maatstaven zijn:

- Koolstofemissies gedurende de levenscyclus;
- Directe en indirecte veranderingen in het gebruik van bodem;
- Overwegingen op vlak van bodem, lucht en water;
- Het beheer van meststoffen en pesticiden;
- Afvalbeheer en
- De bestrijding van invasieve soorten.

Opvallend is dat de verschillende internationale instanties die SAF erkennen, denk maar aan EI, JIG, IATA en ICAO elk een andere opvatting hebben van de voorwaarden waaraan SAF moet voldoen om als duurzaam te worden beschouwd. (IATA, 2015)

Onderstaande Figuur 6 vergelijkt de documentatie, specificaties en aanbevolen procedures (blauw) met betrekking tot kwaliteitscontrole van vliegtuigbrandstoffen SAF en CAF.

(Miller et al., 2014) (IATA, 2015)



Figuur 6: overzicht kwaliteitscontrole proces (eigen werk, gebaseerd op FAA en IATA)

Elke batch vliegtuigbrandstof moet voor de ingebruikname worden gecertificeerd. Voor conventionele vliegtuigbrandstoffen is het de raffinaderij waar de productie van vliegtuigbrandstoffen plaatsvindt die het eerste certificaat opmaakt. Dit certificaat is het RCQ, voornamelijk volgens de D1655 of DefStan 91-091 standaard. Vervolgens zal de vliegtuigbrandstof vervoerd worden via pijpleiding, binnenvaartschip, vrachtwagen of trein naar een tussentijdse opslagplaats (of rechtstreeks naar de luchthaven). Op elk overgangspunt zal de vliegtuigbrandstof opnieuw geïnspecteerd worden, om vervolgens een CoA te bekomen volgens de desbetreffende standaard (voornamelijk D1655 of DefStan 91-091). Vervolgens wordt een CoQ opgesteld. Enkele andere gangbare documenten in de luchtvaartindustrie zijn het RTC (*Recertification Test Certificate*), PTC (*Periodic Test Certificate*), RC (*Release Certificate*), *batch make-up* en *clearance record*. Bepaalde documenten, zoals de RCQ en CoA zijn verplicht, terwijl de andere hierboven genoemde documenten aangeraden worden (maar niet verplicht zijn).

De productie van SAF is gelijkaardig op vlak van documentatie, al zijn er toch enkele belangrijke verschillen. Bij de productie van *neat alternative fuel* dient de producent een CoS, RCQ en CoA op te stellen volgens de corresponderende standaard, D7566. Vervolgens wordt de *neat alternative fuel* gemengd met conventionele vliegtuigbrandstof. Het mengen van deze brandstoffen kan plaatsvinden op quasi elk punt in de toeleveringsketen: in de raffinaderij, in tussentijdse opslag, op de luchthaven enzovoort. Hierover meer in deel 9.4. Het mengproces ziet er steeds hetzelfde uit, ongeacht waar het mengen plaatsvindt. De *neat alternative fuel* wordt gemengd met conventionele vliegtuigbrandstof (D1655) volgens de maximale menglimieten geformuleerd in D7566. Vervolgens wordt deze mengeling geclassificeerd en getest volgens D7566, waarbij ook een RCQ en CoA worden opgesteld volgens D7566. Wanneer de test in orde blijken te zijn, wordt de batch vrijgegeven als D1655, namelijk conventionele vliegtuigbrandstof. Vervolgens wordt de mengeling (vanaf hier SAF genoemd) getransporteerd naar een tussentijdse opslag (of rechtstreeks naar een luchthaven). Ook voor SAF geldt de regel dat voor elk overgangspunt een CoA volgens D1655 opgesteld dient te worden. Ook een RCQ volgens D1655 is noodzakelijk. Daarnaast worden dezelfde gangbare documenten aangeraden als bij *conventional fuel*, namelijk: RTC (*Recertification Test Certificate*), PTC (*Periodic Test Certificate*), RC (*Release Certificate*), batch make-up en clearance record. Tenslotte wordt voor SAF ook een *Traceability Document* aangeraden. Deze beschrijft onder andere de gebruikte *feedstock*, *technical pathway*, de producenten en leveranciers. Tenslotte kan de SAF geleverd worden aan de luchthaven, waar ook weer een CoA verplicht is.

De blauwe stroken weergegeven in Figuur 6 vertegenwoordigen de procedures die aanbevolen worden door verschillende instanties om de kwaliteit van vliegtuigbrandstof doorheen de volledige toeleveringsketen te verzekeren. Enkele van deze instanties zijn EI (Energy Institute), JIG (Joint Inspection Group), ICAO (International Civil Aviation Organisation) en IATA (International Air Transport Association).

6.5. Technical pathways

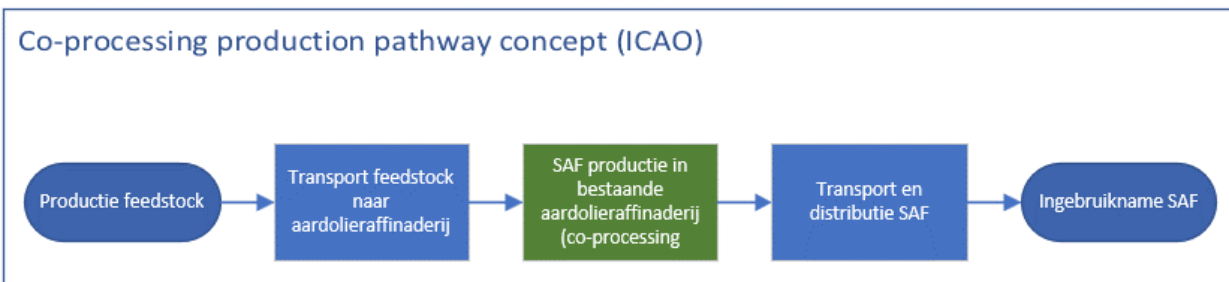
Anno 2023 zijn er negen technische *pathways* voor de productie van SAFs. Tegen 2025 zouden dit er elf moeten zijn. Hoe meer opties, hoe meer SAFs geproduceerd kunnen worden. Onderstaande *Tabel 1: technical pathways (ICAO)* geeft een overzicht van de negen technologische *pathways* die *drop-in* SAFs kunnen produceren, de maximale mengpercentages en hun belangrijkste *feedstocks*. (ICAO, 2021)

Tabel 1: technical pathways (ICAO)

Technical pathway	Maximum blend (%)	Feedstocks
FT-SPK	50%	Steenkool, aardgas, biomassa
FT-SPK/A	50%	Steenkool, aardgas, biomassa
HEFA-SPK	50%	Bio-oliën, dierlijke vetten, gerecycleerde oliën
HHC-SPK of HC-HEFA	10%	Algen
Synthesized Iso-Paraffin (SIP-SPK of HFS-SIP)	10%	Biomassa voor suikerproductie
ATJ-SPK (Isobutanol en Ethanol)	50%	Biomassa voor productie van ethanol en isobuthanol
Catalytic Hydrothermolysis Jet fuel (CHJ)	50%	Triacylglycerol (vb. sojaolie, Jatropha-olie, Tungolie,...)
Co-processed HEFA	5%	Vetten en oliën (co-processed met petroleum)
Co-processed FT	5%	Fischer-Tropschbrandstoffen (co-processed met petroleum)

Sinds oktober 2021 zijn er twee extra conversieprocessen, de zogenaamde co-processing. Deze twee processen zijn goedgekeurd volgens de ASTM D1655 standaard: (ICAO, 2021)

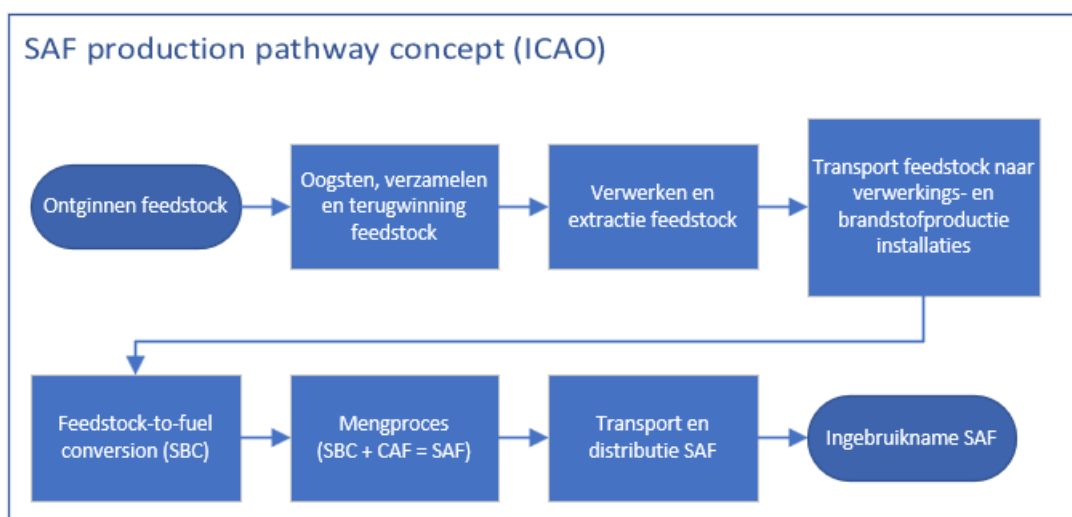
- 1) *Co-processed HEFA: co-hydroprocessing of esters and fatty acids in a conventional petroleum refinery;*
- 2) *Co-processed FT: co-hydroprocessing of Fischer-Tropsch hydrocarbons in a conventional petroleum refinery.*



Figuur 7: Co-processing production pathway concept (eigen werk, gebaseerd op ICAO)

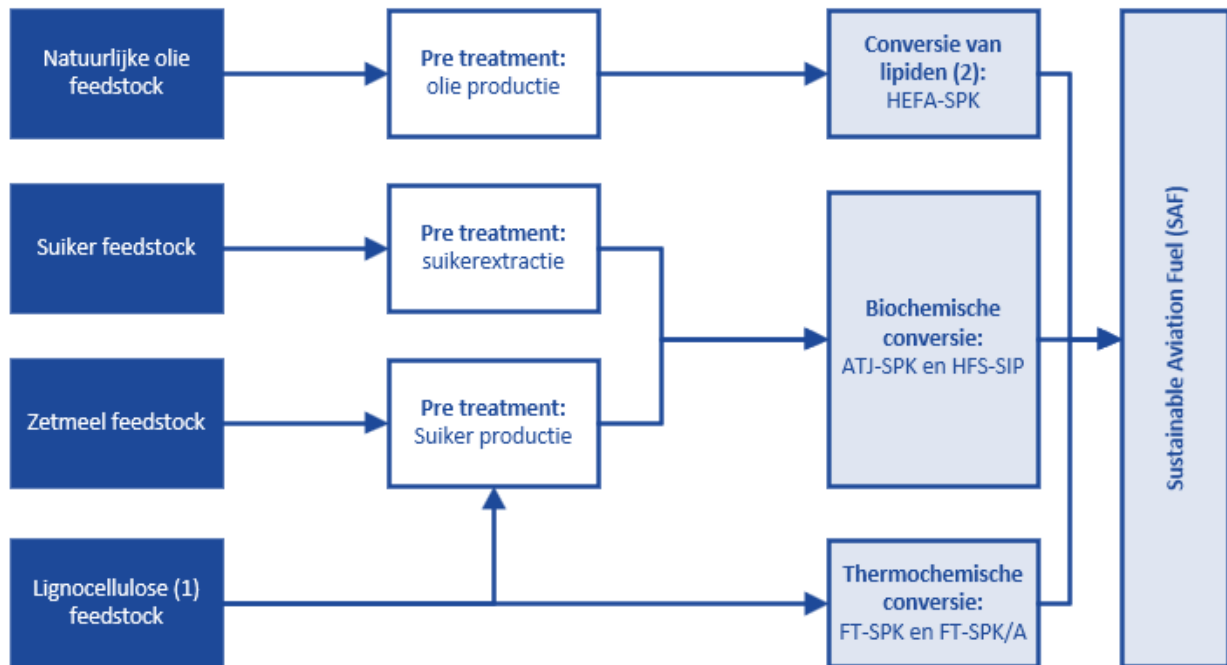
Figuur 7 beschrijft het co-processing productieproces. Eerst worden *feedstocks* geproduceerd en/of verzameld. Vervolgens worden de *feedstocks* getransporteerd naar een aardolieraffinaderij. In deze aardolieraffinaderij worden de *feedstocks* rechtstreeks gebruikt in het productieproces (en niet gemengd zoals de andere *production pathways*). Het eindresultaat is SAF, dat vervolgens getransporteerd wordt naar de luchthavens, waar SAF in gebruik genomen kan worden.

Onderstaande Figuur 8 beschrijft beknopt het productieproces van SAF. In een eerste stap is er nood aan de productie/verzameling van *feedstocks*, gevolgd door een voorbehandeling (verwerken en extractie) van de *feedstocks* zodat er aan de eisen voor het effectieve omzettingsproces wordt voldaan. Vervolgens worden de *feedstocks* getransporteerd naar verwerkings- en brandstofproductie installaties. In een volgende fase vindt het effectieve omzettingsproces plaats en bekomt men SBC als eindproduct. Tenslotte wordt de SBC gemengd (volgens de maximale toelaatbare mengpercentages, zie Tabel 1: *technical pathways (ICAO)*) met CAF en bekomt men SAF. Deze SAF wordt vervolgens getransporteerd naar de verschillende luchthavens, waar de SAF in gebruik genomen kan worden.



Figuur 8: SAF production pathway concept (eigen werk, gebaseerd op ICAO)

Figuur 9 geeft een schematisch overzicht van de belangrijkste *feedstocks* en conversieprocessen voor de productie van de verschillende SAFs. De meest onderzochte conversieprocessen is de conversie van lipiden², alsook biochemische- en thermochemische conversie. De belangrijkste *feedstocks* voor deze conversieprocessen zijn (natuurlijke) oliën, suikers, zetmeel en lignocellulose³. (ICAO, 2018)



Figuur 9: algemeen overzicht van SAF pathways (eigen werk, gebaseerd op ICAO)

² Vetten en vetachtige stoffen, een organische stof opgebouwd uit glycerol en vetzuren.

³ Alle vezelhoudende plantaardige materie (ook wel lignocellulosebiomassa genoemd).

6.5.1. Fischer Tropsch synthesized isoparaffinic kerosene (FT-SPK)

FT-SPK werd in september 2009 goedgekeurd door de ASTM en opgenomen in ASTM D7566. In dit productieproces worden kolen, aardgas of biomassa's vergast tot een synthesegas dat bestaat uit waterstof en monoxide. Dit synthesegas wordt vervolgens omgezet tot een vloeibaar brandstofmengels in een FT-reactor⁴. *Fischer Tropsch synthesized kerosene with aromatics* (FT-SPK/A) werd in november 2015 opgenomen in ASTM D7566. FT-SPK/A is een variant van het FT-proces waarbij een volledig synthetische alternatieve vliegtuigbrandstof met aromaten wordt geproduceerd.

6.5.2. Synthesized isoparaffins (SIP)

SIP werd in juli 2014 opgenomen in ASTM D7566. Het SIP-proces maakt gebruik van een gistingproces om suikers om te zetten in koolwaterstofmoleculen, die vervolgens gemengd worden met conventionele vliegtuigbrandstof.

6.5.3. Hydroprocessed fatty acid esters and fatty acids (HEFA)

HEFA werd door ASTM goedgekeurd en opgenomen in ASTM D7566 in juni 2011. In het HEFA-proces worden lipiden zoals planten- en algenolie, talg (dierlijke vetten) of afvalvetten zoals bakolie ontzuurd en vervolgens met waterstof verwerkt tot zuivere koolwaterstof als brandstofcomponent.

6.5.4. Hydroprocessed Hydrocarbonssynthesized isoparaffinic kerosene (HH-SPK)

HH-SPK is vrij recent toegevoegd aan ASTM D7566, namelijk in mei 2020. In dit productieproces ligt de nadruk op hydroprocessing van bio-afgeleide koolwaterstoffen die afkomstig zijn van een specifieke algensoort (*otryococcus braunii*).

6.5.5. Alcohol to jet (ATJ)

ATJ werd in april 2016 opgenomen in ASTM D7566, waarbij 50% isobutanol gebruikt mag worden als mengpercentage. Het ATJ-proces maakt gebruik van dehydratatie, oligomerisatie en hydroverwerking om alcohol feedstocks om te zetten in koolwaterstof als component voor brandstof. In april 2018 werd ethanol als feedstock toegevoegd aan het ATJ-proces met een mengpercentage van 50%.

(Wright, 2021)

6.6. Feedstocks

In dit onderdeel worden de *feedstocks* besproken die gebruikt worden in de meest onderzochte en toegepaste conversieprocessen (zie Figuur 9). De productie van *feedstocks* is de eerste belangrijke stap voor de productie van SAFs. De *feedstocks* kunnen uit verschillende bronnen komen, zoals landbouw, bosbouw, biologisch afval en andere afvalsoorten. (ICAO, 2018)

⁴ Fischer-Tropsh-reactor

6.6.1. Suiker/zetmeel feedstocks

Suiker- of zetmeelhoudende planten leveren fermenteerbare⁵ *feedstocks* op die gemakkelijk omgezet kunnen worden in alcohol (zoals butanol of ethanol). In sommige processen kan SAF zelfs rechtstreeks uit suiker worden geproduceerd.

Enkele suikerhoudende planten zijn suikerriet, suikerbiet en gierst, waarbij suikerriet het merendeel van de productie van suikerhoudende planten op zich neemt. De grootste producten van suikerriet is Brazilië, gevolgd door India en China.

Enkele zetmeelhoudende planten zijn maïs, tarwe en maniok. In deze planten zijn de suikers niet onmiddellijk beschikbaar (dit is wel het geval bij de suikerhoudende planten), maar de suikers kunnen wel verkregen worden uit het zetmeel dankzij een chemisch proces. De productie van maïs is het grootst als zetmeelhoudende plant, waarvan het merendeel geproduceerd wordt in Noord-Amerika, voornamelijk de Verenigde Staten.

6.6.2. Olie feedstocks

Plantaardige oliën of olieresten (vb. bakolie) kunnen worden omgezet in SAF door middel van het HEFA-proces. De belangrijkste plantaardige oliën zijn palmolie en olie van sojabonen. Beide worden voornamelijk gebruikt in de productie van voeding in biodiesel. De Verenigde Staten en Brazilië zijn de grootste producenten van biodiesel, waarbij sojabonen de belangrijkste feedstock is.

De productie van palmolie, afkomstig van de oliepalm vindt voornamelijk plaats in (tropische) Aziatische landen, zoals Maleisië en Indonesië. Het grote voordeel van de oliepalm t.o.v. sojaolie is de hogere productiviteit. Daarnaast leeft de oliepalm langer dan de sojaplant (20 jaar t.o.v. 1 jaar). Hierdoor worden ook andere palmsoorten getest op hun bruikbaarheid in SAF productie. Ook *Jatropha* en huttentut zijn mogelijke alternatieve bronnen van natuurlijke olie voor de productie van SAFs vanwege hun niet-eetbaar karakter (ze concurreren dus niet met menselijk voedsel) en hun hoge olieopbrengsten. Ook algen zijn een mogelijk alternatief.

Binnen de groep olie *feedstocks* vallen ook de gebruikte bakoliën (*UCO, Used Cooking Oils*) en overgebleven dierlijke vetten van de vleesindustrie, zoals talg en gele vetten (vb. frituurolie). Deze *feedstocks* zijn vooral interessant wegens hun lage kosten en het verminderen van de ecologische gevolgen geassocieerd met hun recyclage.

⁵ afbreekbare

6.6.3. Lignocellulose feedstock

Beide bovenstaande *feedstocks* kunnen in twijfel getrokken worden op vlak van duurzaamheid: zijn het concurrenten op vlak van voedselzekerheid? Lignocellulose is dat zeker niet, waardoor het een interessant alternatief voor bovenstaande twee *feedstocks* wordt. Van deze *feedstock* kan SAF geproduceerd worden op twee manieren: thermische processen (gebruiken van hoge temperaturen) en biochemische conversie. Onder lignocellulose beschouwen we voornamelijk plantaardige biomassa, zoals hout en houtresten.

De meest voor de hand liggende voorbeeld is hout en houtrestanten. Deze *feedstock* kan men bekomen door middel van kort roterende bosbouw (vb. populier, wilg en eucalyptus) of door middel van houtrestanten of bijproducten van houtverwerkende industrieën, bijvoorbeeld zaagsel. Een ander alternatief zijn verschillende grassoorten, bijvoorbeeld vingergras. Deze biomassa's worden gekenmerkt door hun relatief hoge opbrengst, lage kosten en hun potentieel om op marginale gronden⁶ te groeien.

Daarnaast beschouwen we landbouwafval ook als lignocellulose. Denk maar aan bladeren, stengels, stro, kaf en bagasse⁷. Tenslotte kan huishoudelijk afval (na recyclage van glas, plastic en metalen) ook gebruikt worden voor de productie van SAFs.

6.6.4. Goedgekeurde feedstocks EU

Feedstocks kunnen uit verschillende bronnen komen, zoals zoals agricultuur, bosbouw, biologisch afval en andere afvalsoorten. Echter, niet al deze bronnen zijn door de Europese Commissie goedgekeurd. Zoals reeds toegelicht is de belangrijkste eigenschap van SAF het duurzaamheidsaspect. De *Renewable Energy Directive* (RED) vormt het wettelijk kader voor de ontwikkeling van hernieuwbare energie in alle sectoren van de EU-economie en ondersteunt de samenwerking tussen de EU-landen. In 2020 formuleerde het RED een lijst (Annex IX) met betrekking tot *feedstocks* die al dan niet gebruikt worden voor de productie van biobrandstoffen. De belangrijkste categorieën van *feedstocks* die gepromoot worden door RED zijn afval (*waste*), residuen (*residues*), bijproducten (*by-products*) en enkele primaire producten (*primary products*).

⁶ Grond die om bepaalde redenen niet gebruikt wordt voor de productie van voedsel of niet geschikt is voor bouwprojecten.

⁷ Vezelachtig afval na het persen van suikerrietstengels.

Annex IV, deel A omvat volgende *feedstocks*:

- a) Algen indien gekweekt op land, in vijvers of in fotobioreactoren;
 - b) Biomassa van gemengd stedelijk afval, maar geen gescheiden huishoudelijk afval onderworpen aan de recyclagedoelstellingen onder artikel 11(2), punt (a) van richtlijn 2008/98/EC;
 - c) Bioafval zoals omschreven in artikel 3, punt 4, van Richtlijn 2008/98/EC van particuliere huishoudens die gescheiden worden ingezameld als omschreven in artikel 3, punt 11, van die richtlijn;
 - d) Biomassa van industrieel afval dat niet geschikt is voor gebruik in de voedsel- of voederketen, met inbegrip van materiaal afkomstig van de detail- en groothandel en de agrovoedingsindustrie en de vis- en aquacultuursector, en met uitzondering van de in deel B van deze bijlage vermelde grondstoffen;
 - e) Stro;
 - f) Dierlijke mest en rioolslib;
 - g) Afvalwater van palmoliefabrieken en lege palmvruchtentrossen;
 - h) Pek van tallolie;
 - i) Ruwe glycerine;
 - j) Bagasse;
 - k) Druivendraf en wijnmoer;
 - l) Notendopjes;
 - m) Schillen;
 - n) Kolven ontdaan van maiskorrels;
 - o) Biomassa van afval en residuen van de bosbouw en de houtverwerkende industrie, namelijk bast, takken, gedunde bomen (commercieel gebruik), bladeren, naalden, boomtoppen, zaagsel, schaafsel, zwart residuloog, bruin residuloog, vezelslib, lignine en tallolie;
 - p) Ander cellulosehoudend materiaal dan levensmiddelen;
 - q) Ander lignocellulosehoudend materiaal, met uitzondering van zaag- en fineerstammen.
- (Buffet, 2020)

Annex IV, deel B omvat volgende *feedstocks*:

- a) Gebruikte bak- en braadolie;
 - b) Dierlijke vetten die ingedeeld zijn volgens categorie 1 en 2 volgens Verordening (EC) 1069/2009.
- (Buffet, 2020)

Op de bovenstaande lijst van *feedstocks* kwam er echter veel reactie van de luchtvaartindustrie en andere betrokken partijen. Zij vonden dat de gepubliceerde lijst onduidelijk en onvolledig was. Er stonden *feedstocks* op die volgens hen niet duurzaam waren en eenmaal *feedstocks* opgenomen waren in de lijst, konden deze niet verwijderd worden. (Buffet, 2020)

Uitgebreide tests van de *feedstocks* en de uiteindelijke mengpercentages zijn nodig om ervoor te zorgen dat de brandstof geschikt is voor gebruik en presteert binnen de verwachte normen. Elke nieuwe SAF moet worden geëvalueerd en goedgekeurd volgens de beginselen omschreven in ASTM D4054, vooraleer deze kan worden opgenomen in de ASTM D7566 standaard. Kortom, D4054 is een proces dat bestaat uit verschillende stappen, waarbij verschillende tests vereist zijn. Deze tests nemen toe in complexiteit, alsook de kosten om ze uit te voeren:

- Niveau 1: Test volgens de basisspecificatie;
- Niveau 2: Fit for purpose testing, waarbij de focus voornamelijk ligt op laboratoriumtesten van onder andere eigenschappen, analyse van samenstelling, materiaalcompatibiliteit, prestatie-eigenschappen enzovoort;
- Niveau 3: Rig scale testing om het gedrag onder bepaalde casco- en/of motoromstandigheden te bepalen, bijvoorbeeld thermische stabiliteit, verbranding onder ongunstige omstandigheden enzovoort;
- Niveau 4: volledige motortest om de impact op prestatie, duurzaamheid, emissies enzovoort te beoordelen. ((European Civil Aviation Conference, 2023)

7. Huidige supply chain vliegtuigbrandstoffen in België

6.1. Brussels Airport

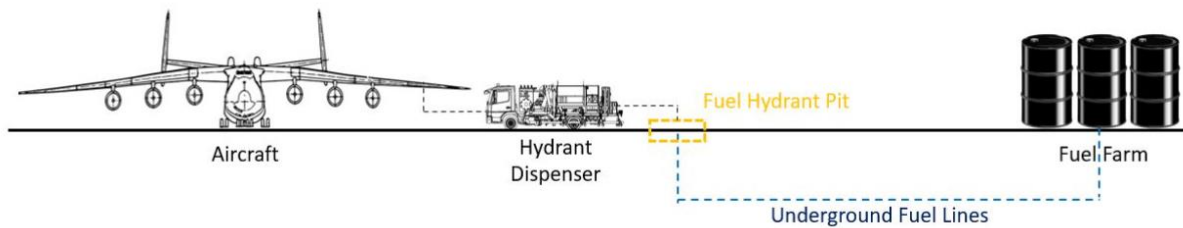
Op de luchthaven van Brussels Airport verzorgt Skytanking de verschillende diensten met betrekking tot vliegtuigbrandstoffen. Onder deze diensten vallen het tanken van vliegtuigen, de opslag van vliegtuigbrandstof en hydrantmanagement, investeringen in vliegtuigbrandstoffaciliteiten op luchthavens en engineering.

Tegenwoordig wordt 100% van de Jet A1 fuel via CEPS (*Central European Pipeline System*, zie Figuur 35) aangeleverd op Brussels Airport. Jet A1 *fuel* dat vanuit het binnen- of buitenland wordt aangeleverd, wordt opgeslagen in Gent (Evos nv) of Antwerpen. Vervolgens wordt de Jet A1 fuel geïnjecteerd in CEPS in Gent of Schoten (Antwerpen). Evos Gent is rechtstreeks aangesloten op het CEPS-netwerk. Vervolgens wordt de Jet A1 fuel via het CEPS-pijpleidingnetwerk naar verschillende opslagdepots getransporteerd. Het NATO-opslagdepot nabij Brussels Airport is dat van Melsbroek, dat voor Luik-Bierset is dat van Glons.

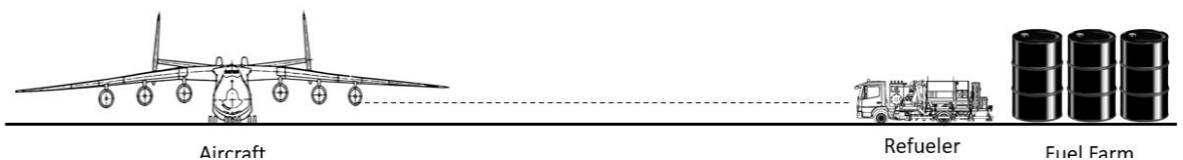
Brussels Airport beschikt momenteel over acht tanks, elk met een opslagcapaciteit van 5000m³, goed voor vijf dagen voorraad. De verzamelnaam voor deze tanks is *fuel farm*. Van deze acht tanks zijn er zes *transfer* tanks en twee *receiving* tanks. Het CEPS-netwerk werkt steeds met batches van 4500m³. Van zodra een batch verzonden wordt via het netwerk, wordt een staal verstuurd naar het laboratorium in Antwerpen. In afwachting van het resultaat van de analyse van het staal, wordt de Jet A1 *fuel* ontvangen in de *receiving* tanks. Van zodra het staal wordt goedgekeurd, wordt de batch overgebracht van de *receiving* tank naar een van de *transfer* tanks. (interview Katrien Vermeiren, 2023)

Deze *transfer tanks* staan in verbinding met het *fuel hydrant system* van Brussels Airport. Een *fuel hydrant system* is een ondergronds netwerk van pijpleidingen die de *fuel farm* verbinden met de verschillende *aircraft stands*, waar passagiers en/of cargo worden geladen *on airside* (het gedeelte van de luchthaven waar vliegtuigen opstijgen en landen). Via het *fuel hydrant system* vloeit Jet A1 *fuel* naar ondergrondse bunkers (kranenkamer). Van hieruit ontvangen vliegtuigen Jet A1 *fuel* door middel van een *fuel hydrant pit*. Deze *fuel hydrant pit* staat niet rechtstreeks in connectie met een vliegtuig: een *fuel hydrant dispenser* (een klein voertuig) verbindt de *fuel hydrant pit* met het vliegtuig. (Figuur 10) Op deze manier kan Jet A1 *fuel* veilig en gecontroleerd afgeleverd worden aan een vliegtuig. (Aviation Learnings Team, 2020)

Echter, niet alle zones van Brussels Airport zijn verbonden met het *fuel hydrant system* of hebben



Figuur 10: *fuel hydrant system* (Aviation Learning Team)

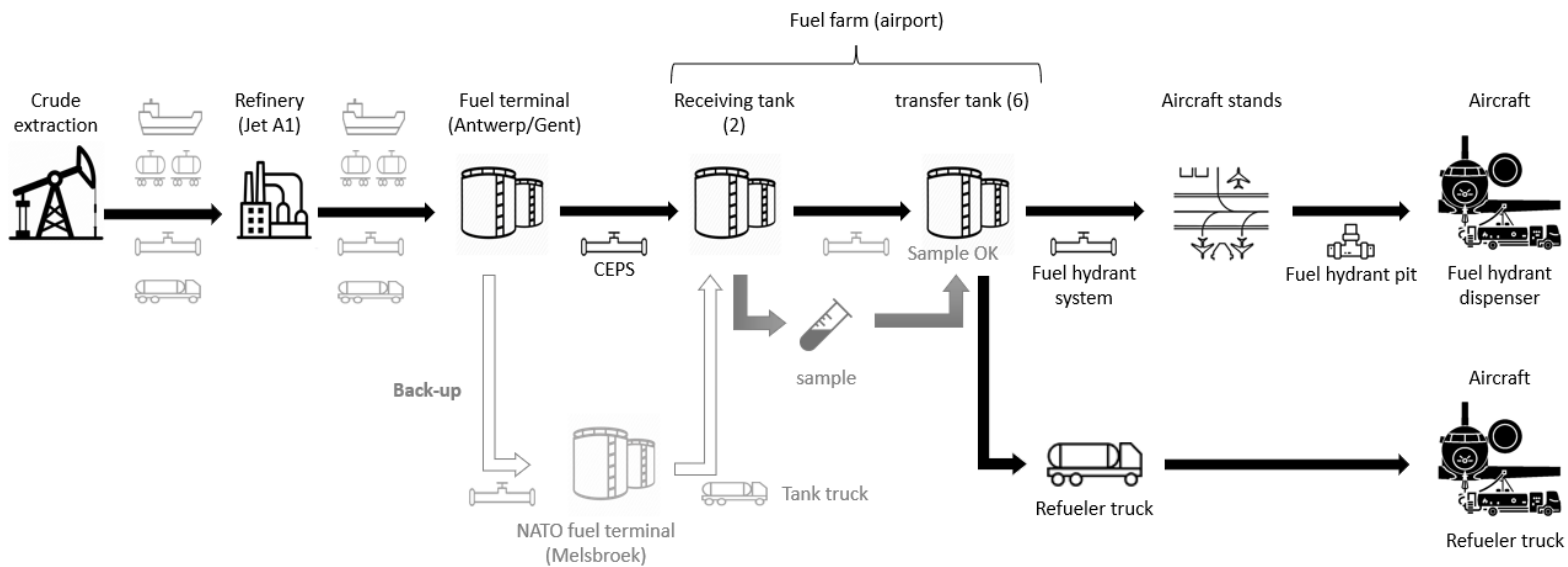


Figuur 11: *refueler truck* (Aviation Learnings Team)

geen *fuel hydrant pits* ter beschikking (bijvoorbeeld Brucargo). In dat geval worden de vliegtuigen in die bepaalde zones aangeleverd met Jet A1 *fuel* door middel van *refueler trucks*. Deze trucks kunnen enkele duizenden liters Jet A1 *fuel* vervoeren. Zij halen Jet A1 *fuel* op in de *fuel farm*, transporteren deze brandstof naar de desbetreffende zone en leveren de brandstof af aan een vliegtuig door middel van een pompsysteem met brandstofslangen. (Figuur 11) (Aviation Learnings Team, 2020)

Brussels Airport beschikt ook over een (zeer beperkte) back-up voor het CEPS-netwerk: op de luchthaven zijn er vier ontlaaideilanden waar tankwagens Jet A1 *fuel* kunnen lossen. De Jet A1 *fuel* voor deze back-up komt van het NATO-opslagdepot in Melsbroek. Tot op heden heeft Brussels Airport nog geen gebruik moeten maken van deze back-up.

Figuur 12 op volgende bladzijde geeft een schematisch overzicht weer van de huidige supply chain voor conventionele vliegtuigbrandstoffen op Brussels Airport.

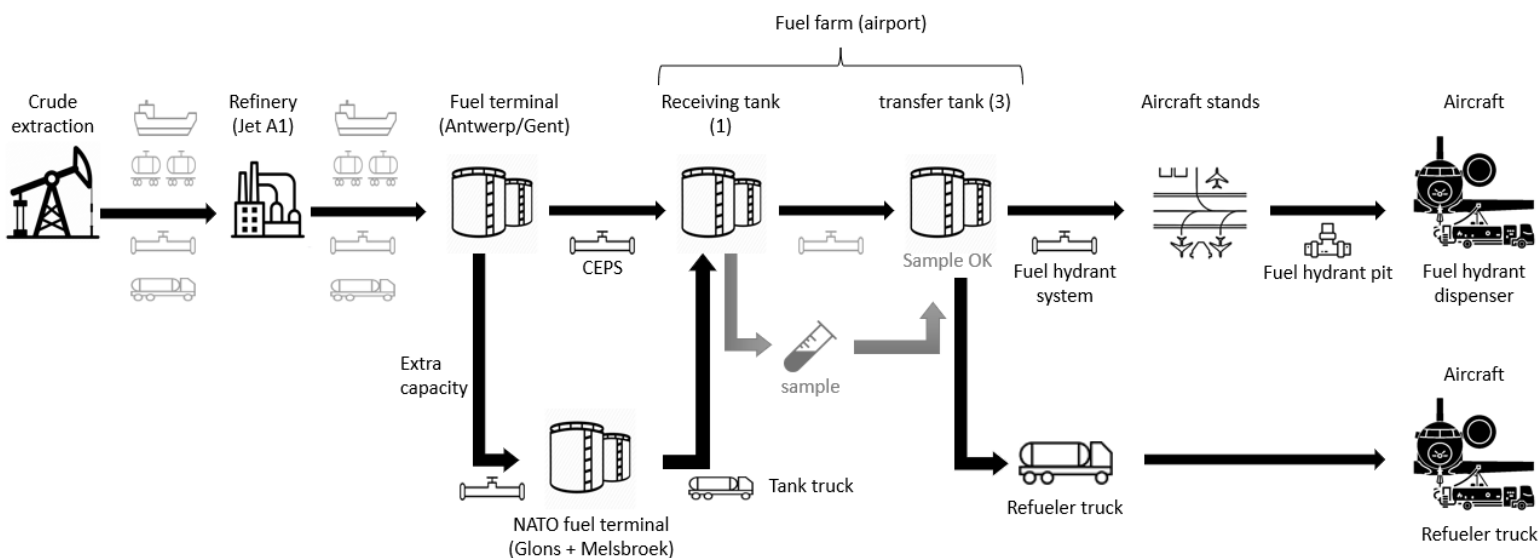


Figuur 12: huidige supply chain kerosine Brussels Airport (eigen werk)

6.2. Luik-Bierset

De luchthaven van Luik-Bierset is net zoals de luchthaven van Brussels Airport aangesloten op het CEPS-netwerk. Zoals eerder vermeld bevindt het dichtstbijzijnde depot zich in Glons. Luik-Bierset heeft echter slechts twee onlaadeilanden voor tankwagens als back-up voor het CEPS-netwerk. Hoewel Luik-Bierset ook is aangesloten op het CEPS-netwerk, is er een groot verschil met Brussels Airport, namelijk de diameter van de pijpleidingen. Voor Brussels Airport bedraagt de diameter 12 inch, voor Luik-Bieret slechts 8 inch. Hierdoor heeft Luik-Bierset minder capaciteit dan Brussels Airport, zowel op vlak van opslag als transport. Om aan de capaciteit te voldoen is Luik-Bierset genoodzaakt om extra transporten in te leggen tussen de luchthaven en de opslagplaats in Melsbroek en Glons. Luik-Bierset werkt net zoals Brussels Airport met een *fuel farm* en een *fuel hydrant system* waar mogelijk. (AIP for BELGIUM (Section AD-2.EBLG), 2023) (LIEGE AIRPORT renouvelle sa confiance en Scania, z.d.) (Skytanking_Services_Engineering.pdf, z.d.)

Enkele jaren geleden is er een project geweest voor de luchthaven van Luik-Bierset om alternatieven rond dit extra transport in kaart te brengen. Omwille van de vertrouwelijkheid zal hier niet in detail worden getreden. Kort samengevat: de luchthaven van Luik-Bierset ligt vlakbij de Maas, een grote rivier in West-Europa die in Frankrijk ontspringt en via Nederland en België stroomt. In dit project werd onderzocht of het al dan niet mogelijk was om de luchthaven te bevoorraden van Jet A1 via binnenschepen. Om dit mogelijk te maken was er nood aan additionele infrastructuur aan de Maas (denk maar aan opslag tanks en pijpleidingen die in verbinding staan met de luchthaven). Dit zouden zware investeringen met zich mee brengen. In combinatie met de dalende waterstand van de Maas (en alle andere Europese rivieren) werd uiteindelijk beslist om het project niet te laten doorgaan. Onderstaande Figuur 13 geeft een schematisch overzicht weer van de huidige supply chain voor conventionele vliegtuigbrandstoffen op Luik-Bierset.



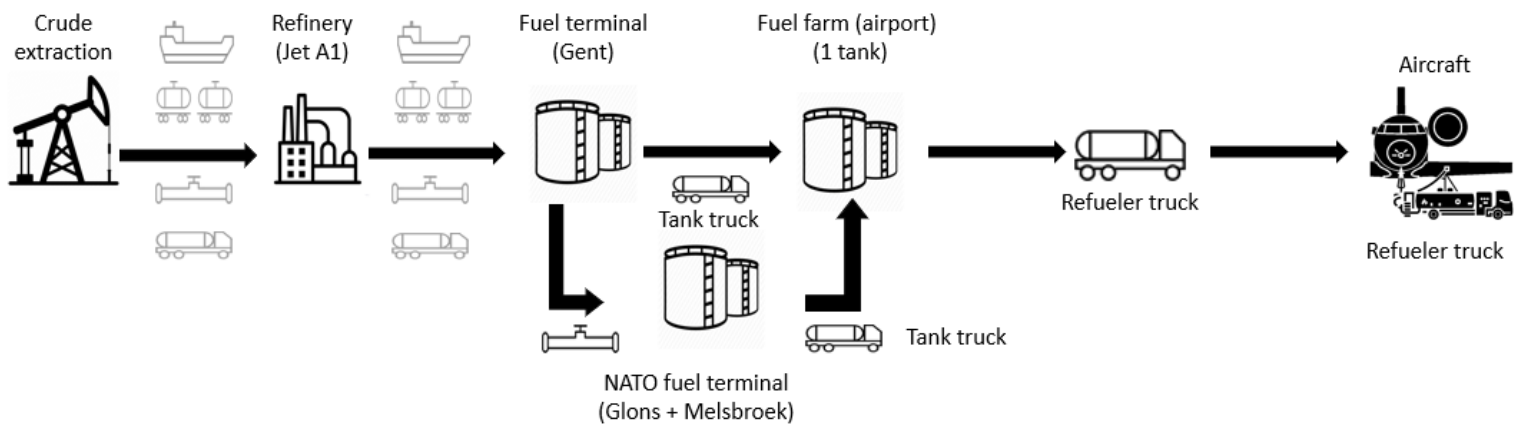
Figuur 13: huidige supply chain kerosine Luik-Bierset (eigen werk)

6.3. Oostende en Antwerpen

De luchthavens van zowel Oostende als Antwerpen zijn niet aangesloten op het CEPS-netwerk. Wegens de kleine omvang van beide luchthavens worden enkel tankwagens ingezet om de luchthavens te bevoorraden van Jet A1 fuel. Deze vrachtwagens worden gevuld in Gent (Evos) en af en toe in Melsbroek of Glons. Na opslag in de *fuel farm* worden door middel van *refueler trucks* de vliegtuigen gevuld met Jet A1 fuel. Onderstaande Figuur 14 geeft een schematisch overzicht weer van de huidige supply chain voor conventionele vliegtuigbrandstoffen op Oostende-Antwerpen.

(AIP for BELGIUM (Section AD-2.EBAW), 2023)

(AIP for BELGIUM (Section AD-2.EBOS), 2023)



Figuur 14: huidige supply chain kerosine Oostende-Antwerpen

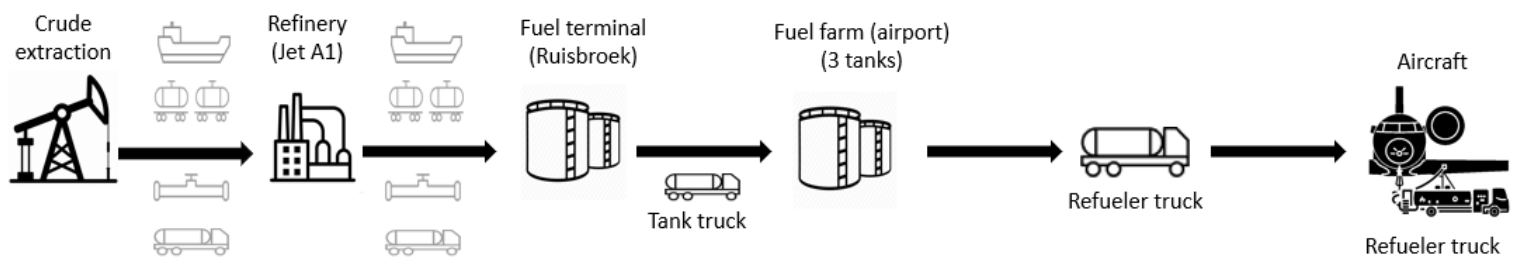
6.4. Charleroi

De luchthaven van Charleroi (BSCA – Brussels South Charleroi Airport) is niet aangesloten op het CEPS-netwerk. De Jet A1 fuel vanuit de verschillende binnen- en buitenlandse raffinaderijen wordt eerst opgeslagen in tanks in Ruisbroek. Vervolgens wordt de Jet A1 fuel door middel van tankwagens afgeleverd aan de luchthavens van Charleroi. Dagelijks arriveren er ongeveer 20 tankwagens om vliegtuigbrandstof af te leveren. Deze brandstof wordt vervolgens opgeslagen op het luchthaventerrein van BSCA in de *fuel farm*. Deze bestaat uit drie tanks met een totale capaciteit van 1,8 miljoen liter brandstof. BSCA beschikt momenteel niet over een *fuel hydrant system*, waardoor de Jet A1 fuel door middel van *refueler trucks* tot bij de vliegtuigen wordt getransporteerd, om ze vervolgens te vullen met Jet A1. Onderstaande Figuur 15 geeft een schematisch overzicht weer van de huidige supply chain voor conventionele vliegtuigbrandstoffen op Luik-Bierset.

(AIP for BELGIUM (Section AD-2.EBCI), 2023)

(Q8 Aviation: The reliable, long-term aviation fuel supplier., z.d.)

(Ad, 2011)



Figuur 15: huidige supply chain kerosine Charleroi

8. Huidige consumptie van vliegtuigbrandstoffen in België

In dit deel wordt data gebruikt om de huidige consumptie van vliegtuigbrandstoffen voor de verschillende Belgische luchthavens in kaart te brengen. Deze analyse zal verder in dit werk gebruikt worden om te schatten hoeveel SAF er uiteindelijk nodig zal zijn voor de Belgische markt.

De Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer verzamelt de belangrijkste jaarstatistieken voor de Belgische luchthavens. Deze statistieken bevatten:

- Het aantal vliegtuigbewegingen (opstijgingen en landingen van vliegtuigen);
- Het aantal vervoerde passagiers;
- De hoeveelheid vervoerde cargo (in ton).

Het zijn de Belgische luchthavenexploitanten die deze gegevens verstrekken. Sinds 2013 worden deze gegevens op een uniforme manier verzameld, waardoor het mogelijk is om de verschillende luchthavens met elkaar te vergelijken. (FOD Mobiliteit en Vervoer, 2022)

Voor deze analyse zijn enkel het aantal passagiers en de hoeveelheid vervoerde cargo (in ton) relevant.

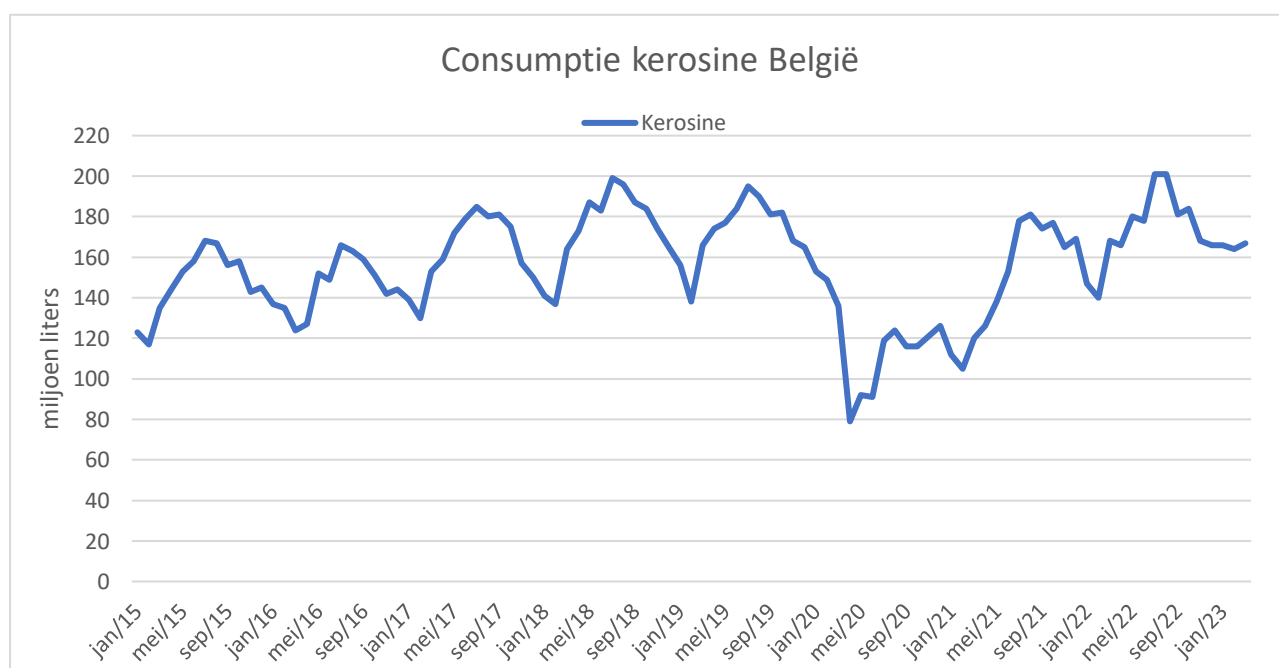
Tabel 2: aantal passagiers Belgische luchthavens (eigen werk, gebaseerd op FOD Mobiliteit en Vervoer)

Aantal passagiers	Antwerpen	Brussel Zaventem	Charleroi	Luik-Bierset	Oostende-Brugge
2015	221.138,00	23.460.018,00	6.957.596,00	299.427,00	276.027,00
2016	276.311,00	21.818.418,00	7.304.800,00	382.619,00	434.970,00
2017	273.130,00	24.783.911,00	7.702.099,00	192.381,00	365.555,00
2018	298.403,00	25.675.939,00	8.033.071,00	171.028,00	420.213,00
2019	306.330,00	26.360.003,00	8.226.572,00	170.400,00	457.644,00
2020	87.078,00	6.743.395,00	2.559.372,00	44.188,00	111.501,00
2021	141.955,00	9.357.221,00	3.758.833,00	76.436,00	221.161,00
2022	239.517,00	18.930.698,00	8.271.138,00	166.705,00	369.363,00
TOTAAL	1.843.862,00	157.129.603,00	52.813.481,00	1.503.184,00	2.656.434,00

Tabel 3: aantal vervoerde cargo (in ton) voor de Belgische luchthavens (eigen werk, gebaseerd op FOD Mobiliteit en Vervoer)

Cargo (in ton)	Antwerpen	Brussel Zaventem	Charleroi	Luik-Bierset	Oostende-Brugge
2015	1.543,70	489.303,40	26,13	651.001,22	16.844,00
2016	2.179,90	494.637,26	92,55	660.643,27	22.223,00
2017	2.202,60	535.634,00	108,98	716.893,87	23.368,00
2018	3.291,54	543.492,01	1.425,83	871.595,98	27.718,00
2019	2.609,90	500.702,96	388,05	902.047,40	24.754,00
2020	613,18	511.613,75	425,47	1.113.987,64	52.656,00
2021	1.141,80	668.109,38	474,97	1.412.206,18	62.055,00
2022	2.003,90	621.482,53	383,87	1.140.060,18	51.190,00
TOTAAL	15.586,52	4.364.975,29	3.325,85	7.468.435,73	280.808,00

Daarnaast publiceert de Federale Overheidsdienst Economie ook maandelijks de consumptie van kerosine in België. De consumptie van kerosine is enkel en alleen voor de luchtvaart. In onderstaande grafiek is de consumptie van kerosine zeer seizoensgebonden: in de zomermaanden juli en augustus zijn er grote pieken in de consumptie. We zien ook duidelijk de invloed van de coronacrisis en bijhorende maatregelen (het bijna-volledig stopzetten van passagiersverkeer tussen maart en juni 2020), waardoor de consumptie drastisch daalde. Sinds 2022 worden opnieuw normale consumptiewaarden gemeten zoals van voor de coronacrisis. (FOD Economie, 2023)



Figuur 16: consumptie kerosine België (eigen werk, gebaseerd op FOD Economie)

Om een schatting te maken van de jaarlijkse consumptie van kerosine per luchthaven (aangezien deze gegevens niet openbaar zijn), is er nood aan een gestandaardiseerde eenheid, die zowel rekening houdt met het aantal passagiers als de vervoerde cargo (in ton).

Binnen de luchtvaart wordt deze gestandaardiseerde eenheid omschreven als WLU, Work Load Unit. Een WLU wordt gedefinieerd als 1 passagier of 100 kg cargo. Met andere woorden: 1 WLU = 1 passagier = 100 kg cargo. (Struyf, z.d.)

Dankzij de data die beschikbaar wordt gesteld door de FOD Mobiliteit en Verkeer, zie *Tabel 2* en *Tabel 3*, is het mogelijk om per jaar per luchthaven het totale aantal WLU in kaart te brengen in onderstaande *Tabel 4: WLU per jaar per luchthaven (België) (eigen werk, gebaseerd op FOD Mobiliteit en Vervoer)*.

Tabel 4: WLU per jaar per luchthaven (België) (eigen werk, gebaseerd op FOD Mobiliteit en Vervoer)

WLU	Antwerpen	Brussel Zaventem	Charleroi	Luik-Bierset	Oostende-Brugge	TOTAAL WLU
2015	236.575,00	28.353.052,00	6.957.857,30	6.809.439,23	444.467,00	42.801.390,53
2016	298.110,00	26.764.790,60	7.305.725,50	6.989.051,67	657.200,00	42.014.877,77
2017	295.156,00	30.140.251,00	7.703.188,80	7.361.319,67	599.235,00	46.099.150,47
2018	331.318,40	31.110.859,10	8.047.329,30	8.886.987,79	697.393,00	49.073.887,59
2019	332.429,00	31.367.032,60	8.230.452,50	9.190.874,01	705.184,00	49.825.972,11
2020	93.209,80	11.859.532,50	2.563.626,70	11.184.064,36	638.061,00	26.338.494,36
2021	153.373,00	16.038.314,80	3.763.582,70	14.198.497,76	841.711,00	34.995.479,26
2022	259.556,00	25.145.523,30	8.274.976,70	11.567.306,81	881.263,00	46.128.625,81

In onderstaande **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** wordt de verdeling van WLU per jaar per luchthaven weergegeven als percentage van het totaal WLU.

Tabel 5: % of WLU per jaar per luchthaven (België) (eigen werk, gebaseerd op FOD Mobiliteit en Vervoer)

% of WLU	Antwerpen	Brussel Zaventem	Charleroi	Luik-Bierset	Oostende-Brugge
2015	1%	66%	16%	16%	1%
2016	1%	64%	17%	17%	2%
2017	1%	65%	17%	16%	1%
2019	1%	63%	17%	18%	1%
2020	0%	45%	10%	42%	2%
2021	0%	46%	11%	41%	2%
2022	1%	55%	18%	25%	2%

Tabel 6: totale consumptie kerosine België (eigen werk, gebaseerd op FOD Economie)

Tenslotte wordt de totale consumptie van kerosine per jaar in België in *Tabel 6* weergegeven.

Totale consumptie kerosine België	Miljoen liter
2015	1.767,00
2016	1.749,00
2017	1.960,00
2019	2.076,00
2020	1.422,00
2021	1.798,00
2022	2.080,00

In volgende tabel worden Tabel 5 en Tabel 6 gecombineerd om een schatting te geven van de totale nood aan kerosine per jaar per luchthaven.

Tabel 7: nood aan kerosine (mio l) per jaar per luchthaven (eigen werk)

Nood aan kerosine (mio l)	Antwerpen	Brussel	Charleroi	Luik	Oostende	TOTAAL kerosine (mio l)
2015	9,77	1.170,52	287,25	281,12	18,35	1.767,00
2016	12,41	1.114,17	304,12	290,94	27,36	1.749,00
2017	12,55	1.281,47	327,52	312,98	25,48	1.960,00
2018	14,11	1.324,98	342,73	378,49	29,70	2.090,00
2019	13,85	1.306,91	342,92	382,94	29,38	2.076,00
2020	5,03	640,29	138,41	603,82	34,45	1.422,00
2021	7,88	824,02	193,37	729,49	43,25	1.798,00
2022	11,70	1.133,84	373,13	521,58	39,74	2.080,00

Op basis van vertrouwelijke gegevens (die omwille van hun vertrouwelijkheid niet mogen worden gebruikt) blijken de schattingen in Tabel 7 vrij accuraat te zijn.

9. Schakels in de toeleveringsketen van SAF

9.1. Introductie

In juni 2021 werd de Europese klimaatwetgeving goedgekeurd, waarin de Europese doelstellingen werden vastgelegd om de uitstoot van broeikasgassen met 55% te reduceren tegen 2030, in vergelijking met het niveau van 1990. Deze Europese klimaatwetgeving ligt in lijn met de doelstellingen van de Europese *Green Deal*. Op 14 juli 2021 publiceerde de Europese Commissie het 'fit for 55' pakket met een aantal wetsvoorstellen die bij zullen dragen aan van de Europese klimaatwetgeving. Het 'fit for 55' pakket omvat verschillende voorstellen om de emissies in de vervoerssector terug te dringen. Een van de onderdelen van het 'fit for 55' pakket is gericht op de luchtvaartindustrie, namelijk het *ReFuelEU Aviation Initiative*. Met dit initiatief wil de Europese Commissie de productie en ingebruikname van duurzame vliegtuigbrandstoffen promoten. (Soone, 2022)

De nieuwe voorgestelde regels zullen brandstofleveranciers verplichten om steeds een groter aandeel duurzame vliegtuigbrandstoffen te leveren als onderdeel van de totale toelevering van vliegtuigbrandstoffen in EU-luchthavens. Daarnaast zullen de nieuwe regels ook de problematiek van *tankering practices* aan banden leggen. Onder *tankering practices* verstaan we vliegtuigmaatschappijen die in bepaalde luchthavens meer brandstof tanken dan nodig is om een veilige vlucht uit te voeren, omdat in de desbetreffende luchthavens de brandstof goedkoper zou zijn. Met de nieuwe voorgestelde regels wil de Europese Commissie gelijke concurrentievoorwaarden voor luchtvervoerexploitanten versterken, alsook de extra uitstoot aan banden leggen die wordt veroorzaakt door vliegtuigen die een te hoog gewicht hebben (door *tankering practices*), waardoor ze meer uitstoten dan normaal. (Soone, 2022)

Naast het vergroten van het aandeel duurzame vliegtuigbrandstoffen door brandstofleveranciers, wordt er ook een SAF mengmandaat (*SAF blending mandate*) geïntroduceerd dat van toepassing is op alle vluchten die vertrekken van Europese luchthavens. Dit mandaat verplicht zowel EU als non-EU vliegvaartmaatschappijen die vertrekken van een (grote) Europese luchthaven om een minimumhoeveelheid aan SAF als vliegtuigbrandstof te gebruiken. De concrete doelstellingen voor het aandeel van SAF in de Europese luchtvaartindustrie is samengevat in onderstaande tabel. (EASA, z.d.) (Transport & Environment, 2023)

Tabel 8: SAF mengmandaat ReFuelEU (eigen werk, gebaseerd op EASA en Transport & Environment)

	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Percentage of SAF used in air transport	2%	5%	20%	32%	38%	70%
Of which: sub-mandate Synthetic fuels (e-fuels)	-	1,2%	2%	8%	11%	28%

Om de klimaatdoelstellingen te halen, wordt verwacht dat tegen 2050 minstens 70% van alle vliegtuigbrandstoffen voor vluchten die vertrekken vanuit EU-luchthavens SAF zou moeten zijn. Synthetische brandstoffen (of *e-fuels*) zullen een belangrijke rol spelen bij het koolstofvrij maken van de luchtvaartindustrie en hebben een groot potentieel. In de voorgestelde regels wordt daarom een subdoelstelling vastgesteld om ervoor te zorgen dat een bepaalde hoeveelheid gebruikte SAF synthetische brandstoffen zijn. De volgende SAF categorieën en hun respectievelijke *feedstock* zijn opgenomen in de nieuwe regels:

- Geavanceerde biobrandstoffen, geproduceerd van feedstocks opgelijst in Annex IX, deel A (RED);
- Brandstoffen geproduceerd van feedstocks opgelijst in Annex IX, deel B (RED);
- *Synthetic Aviation fuels (Power-to-liquid of e-fuels)*. (EASA, z.d.)

Synthetische vliegtuigbrandstoffen, *e-fuels* of *Power-to-liquid (PtL)* brandstoffen zijn brandstoffen gemaakt van hernieuwbare bronnen die geen biomassa zijn, zoals wind- of zonne-energie. De hernieuwbare energie wordt samen met water in een elektrolyser gebruikt om waterstof te produceren, dat vervolgens met CO₂ wordt gesynthetiseerd tot syngas. Dit syngas wordt vervolgens verder bewerkt tot vliegtuigbrandstof. (EASA, z.d.)

9.2. Feedstocks

Zoals reeds besproken is er voor de productie van SAFs nood aan twee elementen, namelijk SBC (*Synthetic Blend Component*, ook wel *neat-SAF* genoemd) en CAF (*Conventional Aviation Fuel*) (zie Figuur 5). De grondstoffen van SBC zijn *feedstocks* (zie 6.6.4) en worden geproduceerd door middel van conversieprocessen (zie 6.5). Sinds 2019 is de overgrote meerderheid van biobrandstofproductie in de Europese Unie afkomstig van een *first-generation*, op voedsel gebaseerde biobrandstof. Deze biobrandstof omvat koolzaad-, soja-, en palmolie, alsook tarwe, suikerbiet en maïs. Echter, de Europese Unie is meer en meer voorstander van weg te trekken van deze op voedsel gebaseerde biobrandstoffen. Beleidsmakers van het *Renewable Energy Directive* (RED II) hebben een maximum ingevoerd op de bijdrage van deze biobrandstoffen in de luchtvaartindustrie en stellen voor, in het kader van *ReFuelEU*, zich te richten op de promotie van geavanceerde biobrandstoffen, waarbij de *feedstocks* omschreven worden in Annex IX, deel A en B van RED II (zie 6.6.4). (O'Malley et al., 2021)

De bijdrage van SAF aan het koolstofvrij maken van de luchtvaartindustrie wordt beperkt door enkele factoren, bijvoorbeeld economische levensvatbaarheid, de beschikbaarheid van *feedstocks* en het tempo waarin nieuwe technologieën worden ingevoerd. In dit deel wordt de beschikbaarheid van *feedstocks* in Europa onderzocht die noodzakelijk zijn voor de productie van SAFs. De beschikbaarheid van *feedstocks* is de eerste van vele schakels in de toeleveringsketen van SAF.

9.2.1. Beschikbaarheid van *feedstocks*

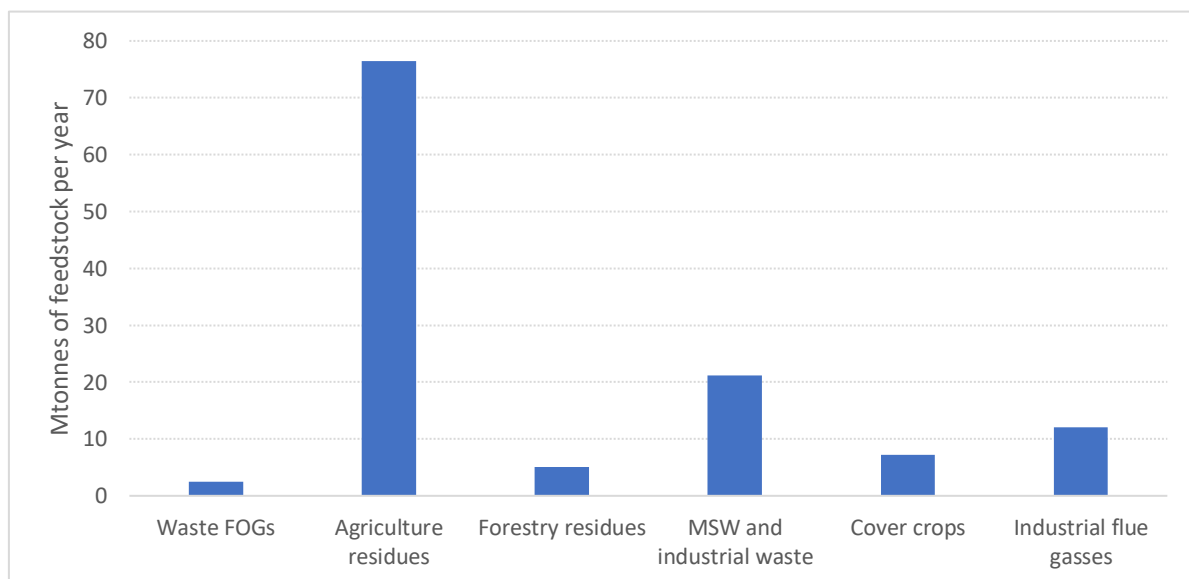
De Europese Commissie schatte het binnenlands (binnen de Europese Unie) aanbod van biomassa voor de productie van bio-energie op 134,4 miljoen ton (olie-equivalent) in 2016. Voor een Europese bevolking van ongeveer 510 miljoen inwoners (inclusief het Verenigd Koninkrijk) komt dit neer op 263,4 kg olie-equivalent per capita. Ter vergelijking: binnen het Europese parlement schat men dat een gelijke verdeling van de wereldwijde biomassabronnen overeenkomt met ongeveer 360 kg olie-equivalent per capita. Op basis van deze schattingen vermoeden we dat de Europese Unie mogelijks een beperkte toegang heeft tot (geïmporteerde) koolstofarme *feedstocks*. Om een schatting te maken voor de beschikbaarheid van *feedstocks* tegen 2030, worden voorgaande analyses van het ICCT (*International Council on Clean Transportation*) met betrekking tot de fysieke productie van *feedstocks* in acht genomen. Enkele belangrijke elementen hierbij zijn de oogstcapaciteiten, de lokale ecologische waarde en het gebruik van *feedstocks* in andere markten. Het toewijzen van *feedstocks* voor de productie van SAF aan de luchtvaartindustrie zal voor een vermindering zorgen in de beschikbaarheid van *feedstocks* voor andere transporttoepassingen zoals het wegvervoer. (O'Malley et al., 2021)

Afvalvetten (zoals gebruikte bak- of frituurolie) zijn het makkelijkste te verwerken tot *drop-in* brandstoffen. Echter, lignocellulosehoudende *feedstocks* (vezelhoudende plantaardige materie) zijn talrijker aanwezig en kunnen theoretisch gezien meer SAF opleveren. Eerder onderzoek (Searle en Malins, 2016) over de beschikbaarheid van lignocellulosehoudende *feedstocks* in de Europese Unie resulteerde in de classificatie van drie categorieën duurzame lignocellulosehoudende *feedstocks*: landbouwresiduen, bosbouwresiduen en gemeentelijk en industrieel afval.

Het ICCT vult deze lijst aan met nog eens drie potentiële SAF *feedstocks*: gewassen, industriële rookgassen en *e-fuels* (geproduceerd door middel van (hernieuwbare) elektriciteit, CO₂ en water). (O'Malley et al., 2021)

Afvaloliën, zoals gebruikte bak- of frituurolie, dierlijke vetten en andere vetzuren bieden de gemakkelijkste en goedkoopste manier aan om met de huidige technologie SAF te produceren. HEFA brandstoffen zijn de meest voorkomende alternatieve *drop-in* vliegtuigbrandstoffen, met een productiecapaciteit van ongeveer 360.000,00 ton in de Europese Unie in 2018. HEFA brandstoffen worden geproduceerd door het hydrogeneren van afval- en plantaardige oliën en hebben een mengpercentage tot 50% (zie Tabel 1: technical pathways (ICAO)). Het grote voordeel van HEFA brandstoffen is dat de infrastructuur reeds aanwezig is om grote volumes SAF te produceren. In een eerdere studie (Pavlenko et al., 2019) wordt geschat dat HEFA brandstof waarschijnlijk de goedkoopste bron van SAF zal zijn in de nabije toekomst. In deze studie berekent men een productiekost van €0,88 per liter, dubbel de kost voor de productie van een liter vliegtuigbrandstof op basis van aardolie. Andere conversieprocessen (naast HEFA) zullen tot maar liefst acht keer meer kosten dan vliegtuigbrandstof op basis van aardolie. (O'Malley et al., 2021)

Onderstaande Figuur 17 vat de schatting met betrekking tot de beschikbaarheid van duurzame *feedstocks* voor de productie van biobrandstoffen tegen 2030 voor de Europese Unie samen.



Figuur 17: Geschatte beschikbaarheid feedstocks EU in 2030 (eigen werk, gebaseerd op ICCT)

Het overgrote deel van de beschikbare *feedstocks* is afkomstig van landbouwresiduen (*agriculture residues*, 76,5 Mt), gevolgd door stedelijk en industrieel afval (*MSW and industrial waste*, 21,2Mt). Daarnaast vertegenwoordigen afvalvetten en oliën (*waste FOGs*, 2,45 Mt), bosbouwresiduen (*forestry residues*, 5,1 Mt), gewassen (*cover crops*, 7,15 Mt) en industriële rookgassen (*industrial flue gasses*, 12Mt, waarvan 3,3MT geüpgraded kan worden naar transportbrandstof) een beperkt deel in de beschikbaarheid van duurzame *feedstocks*. Opgelet, deze waarden gaan ervan uit dat alle *feedstocks* gebruikt zullen worden voor de productie van transportbrandstoffen (dus niet enkel vliegtuigbrandstoffen). In deze analyse wordt ervan uitgegaan dat bioraffinaderijen de output voor de productie van vliegtuigbrandstoffen maximaliseren. (O'Malley et al., 2021)

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de verschillende onderzochte *feedstocks* met bijhorende productie *pathways*, beschikbaarheid (*availability feedstocks* in Mt per jaar) en opbrengst (*yield*, in ton brandstof per ton feedstock) anno 2021.

Tabel 9: Overzicht beschikbaarheid feedstocks EU 2021 (eigen werk, gebaseerd op ICCT)

Feedstocks	Conversion pathway	Availability feedstocks 2021 (Mt/year)	Yield (tonnes liquid/ tonne feedstock)
Waste oils	HEFA	2,45	0,9
Agriculture residues	Gasification-FT	76,5	0,2
Forestry residues	Gasification-FT	5,1	0,22
Municipal and industrial waste	Gasification-FT	21,2	0,07
Cover crops	Gasification-FT	7,15	0,2
Flue gas	ATJ	3,3	0,46
TOTAL		115,7	

Op basis van allerhande assumpties (O'Malley et al., 2021) is het mogelijk om een schatting te maken voor de hoeveelheid beschikbare *feedstock*, de maximale SAF productie en het aandeel van deze SAF in de totale vraag naar vliegtuigbrandstof voor de verschillende periodes (2025, 2030 en 2035) binnen de Europese Unie. De hoeveelheid beschikbare binnenlandse *feedstocks* gedurende de verschillende periodes blijft constant, met een waarde van 124,3 Mt per jaar. Echter, de maximale productie van SAF doorheen de verschillende periodes neemt toe door technologische ontwikkelingen en het vergroten van de productiecapaciteit: 1,9 Mt per jaar in 2025, 3,4 Mt per jaar in 2030 en 4,5 Mt per jaar in 2035. Dit is een aandeel van 3,5% (2025), 5,5% (2030) en 6,4% (2035) in de totale vraag naar vliegtuigbrandstoffen binnen de Europese Unie. (O'Malley et al., 2021)

Tabel 10: Schatting SAF productie tegen 2025, EU (eigen werk, gebaseerd op ICCT)

Feedstocks	Available feedstock (Mt)	Max SAF production (Mt)	% 2025 Jet fuel demand
Waste oils	2,4	1,2	2,1%
Agriculture residues, cover crops	83,7	0,2	0,4%
Forestry residues	5,1	0,1	0,1%
Municipal and industrial waste	21,2	0,1	0,2%
Flue gas	12,1	0,4	0,7%
Electrofuels	-	0	0,0%
TOTAL	124,3	1,9	3,5%

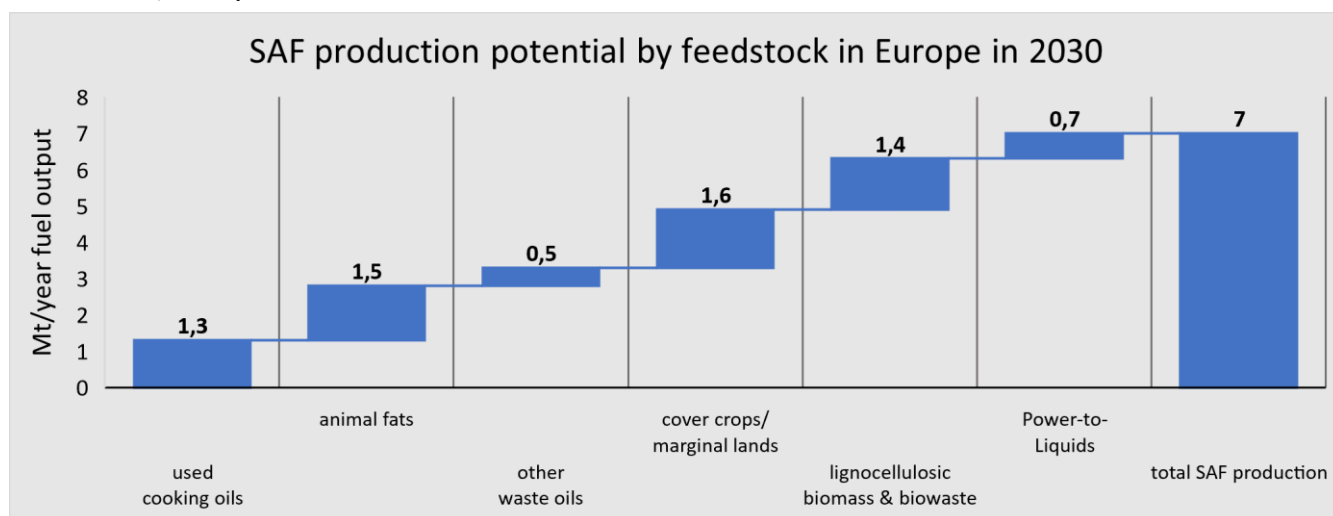
Tabel 11: Schatting SAF productie tegen 2030, EU (eigen werk, gebaseerd op ICCT)

Feedstocks	Available feedstock (Mt)	Max SAF production (Mt)	% 2030 Jet fuel demand
Waste oils	2,4	1,2	1,9%
Agriculture residues, cover crops	83,7	0,9	1,4%
Forestry residues	5,1	0,2	0,3%
Municipal and industrial waste	21,2	0,3	0,4%
Flue gas	12,1	0,8	1,2%
Electrofuels	-	0,1	0,2%
TOTAL	124,3	3,4	5,5%

Tabel 12: Schatting SAF productie tegen 2035, EU (eigen werk, gebaseerd op ICCT)

Feedstocks	Available feedstock (Mt)	Max SAF production (Mt)	% 2035 Jet fuel demand
Waste oils	2,4	1,2	1,7%
Agriculture residues, cover crops	83,7	1,3	1,9%
Forestry residues	5,1	0,3	0,4%
Municipal and industrial waste	21,2	0,3	0,4%
Flue gas	12,1	1,1	1,6%
Electrofuels	-	0,2	0,3%
TOTAL	124,3	4,5	6,4%

Er zijn zelfs studies (*Clean Skies for Tomorrow – CST*) die schatten dat de Europese productie van SAF tegen 2030 ongeveer 10% van de totale vraag naar vliegtuigbrandstoffen binnen Europa zal vertegenwoordigen. Deze schatting is op basis van de theoretische beschikbaarheid van *feedstocks* en verschilt met de doelstelling van het *ReFuelEU Aviation Initiative*. Hiervoor is er nood aan een productie van bijna 7 Mt SAF per jaar (zie figuur) (World Economic Forum & Energy Transition Commission, 2021)



Figuur 18: productiepotentieel per feedstock in de Europese Unie in 2030 (eigen werk, gebaseerd op World Economic Forum)

Hieruit concluderen we dat de Europese Unie op korte termijn (tot 2030) zelfvoorzienend kan zijn op vlak van beschikbaarheid van *feedstocks* en de productie van SAF volgens de vooropgestelde doelstellingen van *ReFuelEU Aviation Initiative* (Tabel 8). Na 2030 is er echter nood aan extra *feedstocks* en productiemogelijkheden van SAF binnen de Europese Unie om aan deze doelstellingen te kunnen voldoen. (O'Malley et al., 2021) Ter vergelijking: een studie van het Wereld Economisch Forum (*World Economic Forum, WEF*) onderzocht de beschikbaarheid van *feedstocks* en productiemogelijkheden voor SAF tegen 2030 wereldwijd. Uit deze studie bleek dat, voor de vier meest aantrekkelijke en schaalbare productieprocessen (HEFA, Alcohol-to-Jet, Gasification/FT en Power-to-Liquid), er tegen 2030 zeker 3.815,00 Mt per jaar (wereldwijd) aan *feedstocks* beschikbaar zou kunnen zijn. Deze 3.815,00 Mt per jaar vertegenwoordigt een theoretische 490 Mt SAF output per jaar, goed voor 120% van de geschatte totale vraag naar vliegtuigbrandstof wereldwijd tegen 2030. (World Economic Forum & McKinsey & Company, 2020)

9.3. Productie van neat-SAF

9.3.1. Clean Skies for Tomorrow

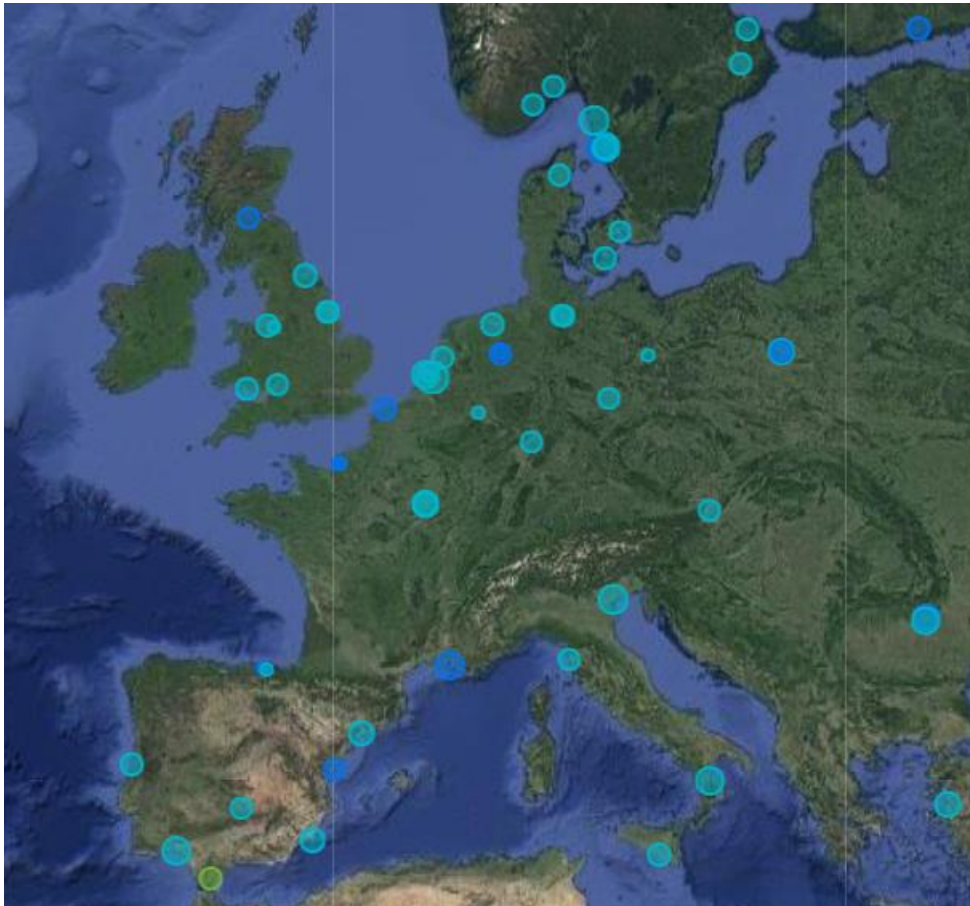
Het *Clean Skies for Tomorrow* (CST) initiatief (publiek-privaat partnerschap), gelanceerd door de *WEF* is een coalitie van verschillende leiders in de luchtvaartindustrie, met als doel tegen 2050 de CO₂-uitstoot van de Europese luchtvaartindustrie te neutraliseren. De focus ligt hierbij op het versnellen van de ingebruikname en verlagen van de kosten van SAF. Er zijn reeds tal van projecten op touw gezet om de productiecapaciteit van SAF te vergroten tegen 2025. In theorie, als alle aangekondigde projecten doorgevoerd zullen worden binnen de vooropgestelde tijdlijnen en al deze projecten een maximale inspanning leveren voor de productie van SAF, zouden deze projecten maximaal 3 Mt per jaar aan SAF opleveren. Deze 3 Mt SAF output vertegenwoordigt ongeveer 5% van de Europese vraag naar vliegtuigbrandstoffen. Echter, indien er geen sterk beleid wordt geïmplementeerd om SAF output te maximaliseren, zou de SAF output tegen 2025 beperkt worden tot 1,5-2 Mt per jaar, ongeveer 2,5% - 3% van de Europese vraag naar vliegtuigbrandstoffen. Indien er onmiddellijk een sterk beleid wordt geïntroduceerd is het mogelijk dat tegen 2030 de productie van SAF binnen de Europese Unie 10% van de totale vraag naar vliegtuigbrandstoffen vertegenwoordigt. Hiervoor is er nood aan een productie van ongeveer 7 Mt SAF per jaar. (World Economic Forum & Energy Transition Commission, 2021)

9.3.2. Productielocaties

In juli 2021 waren er minstens 8 bestaande productiesites in Europa, met nog zeker 20 nieuwe productiesites gepland in de komende vijf jaar. Deze productiesites zouden theoretisch gezien tegen 2025 ongeveer 3 Mt SAF per jaar kunnen produceren (5% van de Europese vraag naar vliegtuigbrandstoffen), indien volgende elementen snel geïmplementeerd worden:

- 1) Een SAF mengmandaat dat zekerheid biedt over de toekomstige vraag naar SAF;
- 2) Grootschalige particuliere kapitaalinvesteringen;
- 3) Financiële overheidssteun om het risico van de particuliere kapitaalinvesteringen te verminderen. (World Economic Forum & Energy Transition Commission, 2021)

De ICAO publiceert een interactieve kaart die informatie verstrekt met betrekking tot productiesites (wereldwijd) die de mogelijkheid hebben om SAF te produceren. De ICAO maakt hierbij een onderscheid tussen bestaande en aangekondigde productiesites, inclusief de naam van de producent, het land, het jaar van ingang, de gebruikte *feedstocks*, het productieproces, de capaciteit en een link met meer informatie. Volgens de laatste update van deze kaart (mei 2023) zijn er 13 actieve productiesites in de Europese Unie (in blauw) die de mogelijkheid hebben om SAF te produceren. Daarnaast zijn er meer dan 30 geplande productiesites in de Europese Unie (in turquoise). De volgende figuur geeft een afdruk van deze interactieve kaart. (ICAO, 2023)



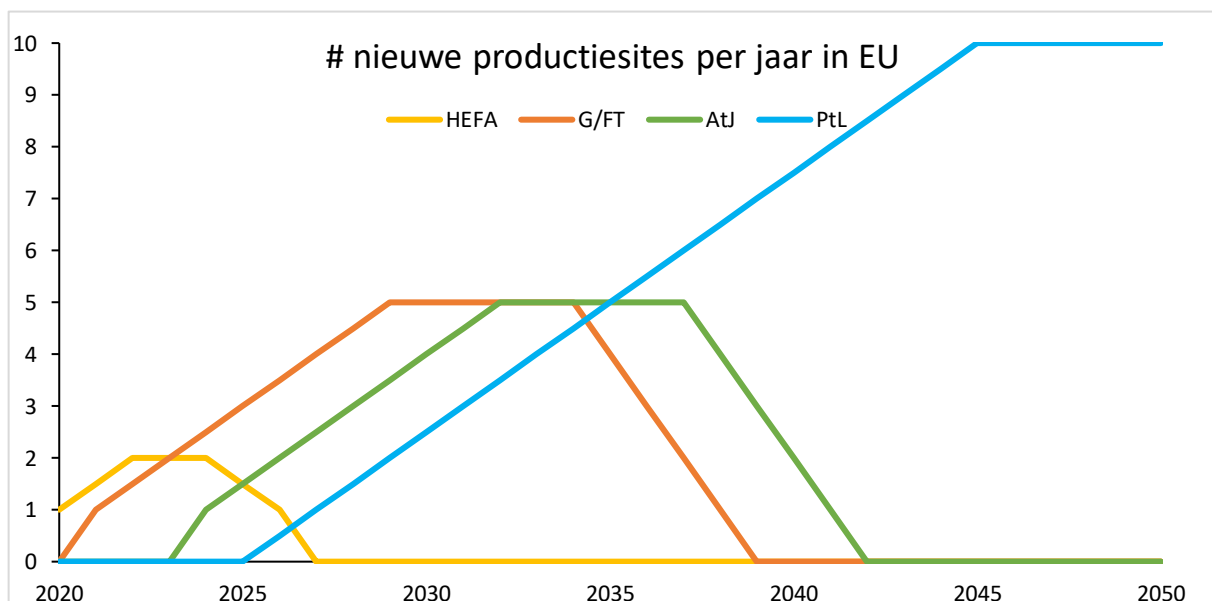
Figuur 19: ICAO kaart van SAF productiesites (ICAO)

In het ideale scenario van het CST-initiatief van het Wereld Economisch Forum, zou er in de Europese Unie tegen 2030 ongeveer 7 Mt SAF per jaar geproduceerd kunnen worden, goed voor 10% van de totale Europese vraag naar vliegtuigbrandstoffen (zie 9.3.1). Dit scenario is gebaseerd op enkele veronderstellingen:

- 1) Nieuwe technologieën (Gasification/FT, Alcohol-to-Jet en Power-to-Liquid) overkomen technische belemmeringen voor productie op grote schaal en kunnen commercieel ingezet worden voor de productie van SAF tegen 2030;
- 2) Er wordt rekening gehouden met strenge duurzaamheidscriteria die ondersteund worden door transparante en doeltreffende verificatie- en rapporteringsmechanismen;
- 3) Alle geplande projecten tegen 2025 worden voltooid en operationeel;

- 4) Eenmaal er aan de productie van de huidige bestaande verplichtingen in andere sectoren (wegvervoer) is voldaan, zullen alle bestaande en nieuwe duurzame brandstofinstallaties die de capaciteit hebben om SAF te produceren de output van SAF optimaliseren;
- 5) Duurzame biomassafeedstocks zijn gericht voor het gebruik in de luchtvaart (40% van de totale duurzame biomassa in Europa zal toegewezen worden aan de productie van SAF. (World Economic Forum & Energy Transition Commission, 2021)

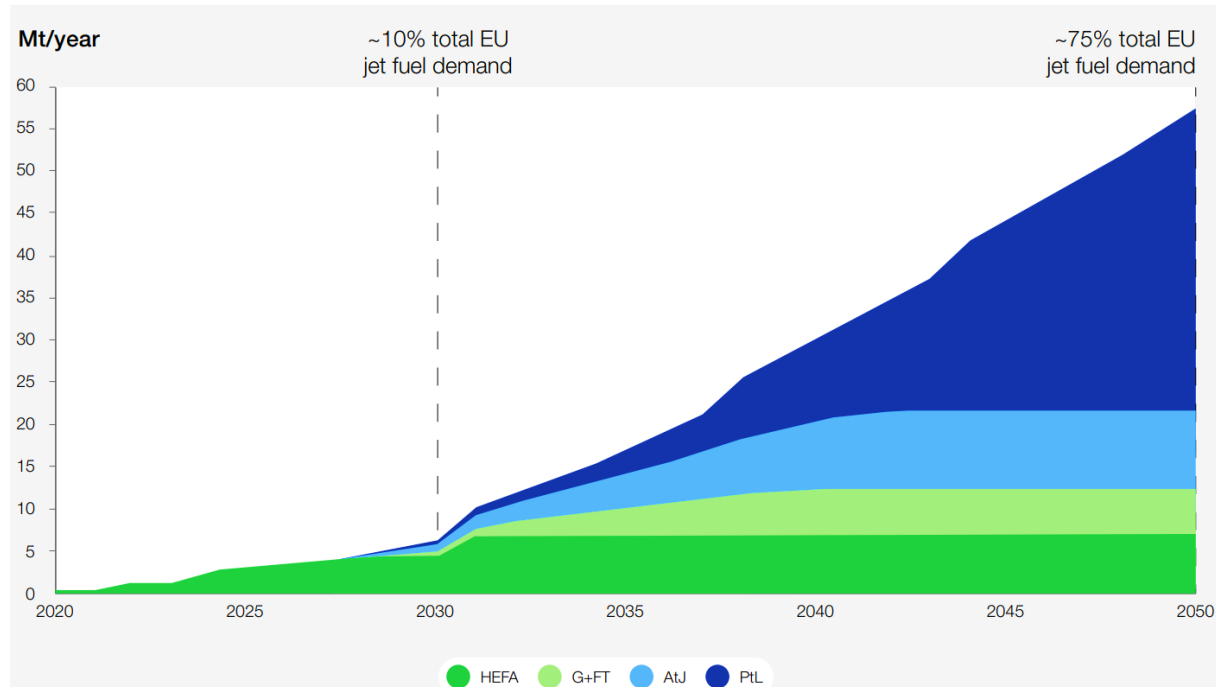
Het totaal aantal productiesites per technologie wordt beperkt door de beschikbaarheid van duurzame biomassa dat gebruikt wordt als *feedstock* bij de productie van *neat-SAF*. Wanneer de productie vergroot wordt, kunnen er niet meer productiesites worden gebruikt dan is toegelaten met betrekking tot de beschikbaarheid van duurzame *feedstocks* (vastgelegd in een reeks strikte duurzaamheidscriteria). Hierdoor gaat men er bijvoorbeeld vanuit dat tegen 2050 maximaal 20 HEFA productiesites zullen worden gebruikt op basis van de veronderstelde beschikbaarheid van duurzame *feedstocks*. Het openen van extra HEFA productiesites zou impliceren dat er extra *feedstocks* geproduceerd dienen te worden om deze productiesites draaiende te houden, maar deze *feedstocks* zouden hierdoor niet meer duurzaam zijn (omdat ze bijvoorbeeld landbouwgrond vereisen die ook gebruikt kan worden voor de productie van gewassen voor menselijke consumptie). In volgende figuur is duidelijk dat in de opstartfase van *neat-SAF* productie voornamelijk nieuwe HEFA productiesites zullen worden geopend wegens hun relatieve lage productiekost ten opzichte van andere technologieën. Echter, na 2025 neemt het aantal nieuwe HEFA productiesites per jaar af, aangezien de *feedstocks* voor HEFA schaarser worden en nieuwe productietechnologieën goedkoper worden. Vanaf 2025 neemt het aantal nieuwe productiesites per jaar voor *Gasification/FT* en *Alcohol-to-Jet* sterk toe, aangezien zij in deze periode de meest kost competitieve oplossingen zijn. Na 2035 neemt het aantal nieuwe productiesites voor deze technologieën af. Echter, rond deze periode begint het aantal nieuwe productiesites per jaar voor *Power-to-Liquid* sterk toe te nemen wegens de lage verwachte productiekosten. Dit zal niettemin een grote hoeveelheid hernieuwbare elektriciteit en grote hoeveelheden duurzame koolstof als *feedstocks* vereisen, wat de potentiële schaalvergroting van *neat-SAF* productie met deze technologie zal blijven beperken. (World Economic Forum & Energy Transition Commission, 2021)



Figuur 20: aantal nieuwe productiesites per jaar in de EU (World Economic Forum)

9.3.3. Productie neat-SAF in de Europese Unie

De volgende figuur geeft een overzicht van de bijdrage van de verschillende belangrijke productieprocessen voor SAF tussen 2020 en 2050 volgens het ideale scenario van CST. (World Economic Forum & Energy Transition Commission, 2021)



Figuur 21: SAF output volgens productietechnologie (World Economic Forum)

Zoals zichtbaar in bovenstaande figuur zal de opbouw van SAF productie in de Europese Unie verlopen volgens drie fases. In een eerste fase, van 2020 tot 2025, zal het volledige potentieel van het HEFA productieproces moeten worden benut. HEFA is momenteel het enige productieproces dat op commerciële schaal SAF kan produceren en is daarnaast ook het goedkoopste productieproces, met een aanzienlijke bijdrage aan de koolstofvermindering (73-84% minder CO₂ uitstoot dan conventionele vliegtuigbrandstoffen (World Economic Forum & Energy Transition Commission, 2021)). Het Europese aanbod van lipiden (vetten) uit afval en residuen als *feedstock* resulteert in een productie van SAF die 5% van de totale vraag naar vliegtuigbrandstoffen vertegenwoordigt. Dit aandeel kan nog aanzienlijk vergoot worden door middel van import van *feedstocks*, alsook het gebruik van oliën uit covergewassen of gewassen van gedegradeerde gronden⁸. In een volgende fase (vanaf 2025 tot 2030) zal er extra productiecapaciteit kunnen worden ingezet door gebruik te maken van nieuwe omzettingsprocessen, zoals *Gasification/FT*, *Alcohol-to-Jet* en *Power-to-Liquid*. Deze technologieën zijn momenteel nog niet beschikbaar op commerciële schaal, maar hebben wel de mogelijkheid om op lange termijn een belangrijke rol te spelen, voornamelijk door de overvloedige aanwezigheid van hun *feedstocks* (resten uit landbouw, bosbouw en gemeentelijk en industrieel afval). Het grootste volume SAF zal op lange termijn (vanaf 2030) geproduceerd kunnen worden door middel van het *Power-to-Liquid* productieproces.

⁸ Bodem/gronden die niet meer geschikt zijn of gebruikt worden voor het telen van gewassen menselijke consumptie.

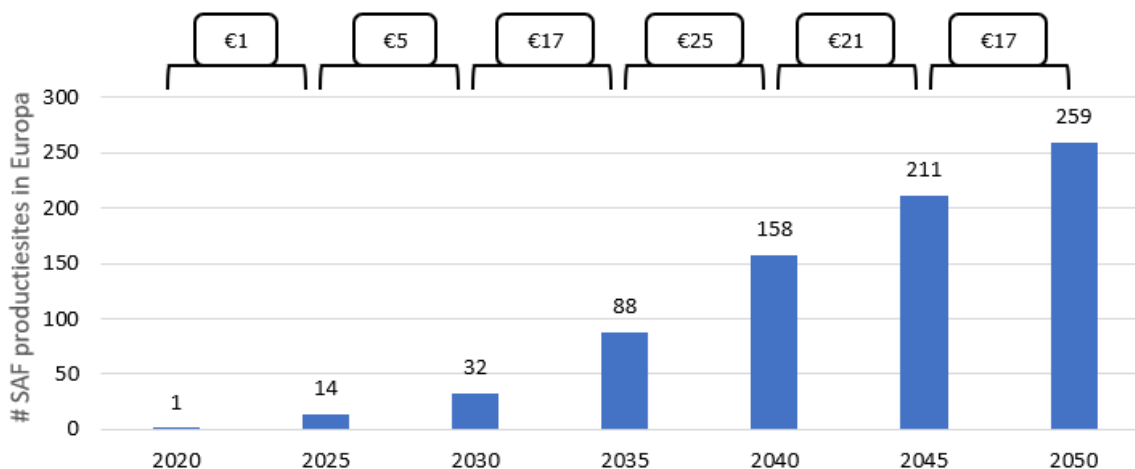
Hierbij worden synthetische brandstoffen (*synfuels* of *e-fuels*) geproduceerd uit hernieuwbare elektriciteit, waterstof en CO₂. Deze technologie heeft ook het grootste potentieel om op lange termijn de productiekosten van SAF te drukken in vergelijking met andere technologieën. (World Economic Forum & Energy Transition Commission, 2021)

9.3.4. Investeringsen

Om de vooropgestelde doelen van het *RefuelEU Aviation Initiative* (Tabel 8) te halen, is er nood aan additionele investeringen in SAF productiesites. Tegen 2030 is er nood aan extra 30 productiesites (voornamelijk HEFA), tegen 2050 is er nood aan 250 extra productiesites (G/FT, AtJ en PtL). Hiervan zijn er reeds 15 gepland in Europa. Het merendeel van de nieuwe productiesites voor 2030 zullen waarschijnlijk HEFA productiesites zijn. HEFA productiesites zijn doorgaans groter dan productiesites die andere technologieën gebruiken, omdat er grotere mogelijkheden op vlak van centralisatie mogelijk zijn dankzij de transporteerbaarheid van de *feedstocks*. SAF productiesites hebben doorgaans een doorlooptijd van drie tot vier jaar zodra een productietechnologie commercieel is gelanceerd. Het is daarom van groot belang dat men zo snel mogelijk de uitbouw van nieuwe productiesites plant. (World Economic Forum & Energy Transition Commission, 2021)

Om de bovenstaande toename in productiesites te realiseren is er nood ongeveer 15 miljard euro investering per jaar tussen 2020 en 2050. Het merendeel van deze investeringen zal gebruikt worden voor de grootschalige uitrol van SAF productiesites voor *gasification/FT*, *Alcohol-to-Jet* en *Power-to-Liquids*. Om aan de doelstelling van CST tegen 2030 te voldoen (SAF productie die 10% van de totale vraag naar vliegtuigbrandstoffen vertegenwoordigd), zijn er maar 20 HEFA productiesites nodig. Deze vertegenwoordigen een investering van slechts zeven miljard euro. Momenteel zijn er reeds 13 HEFA productiesites in de Europese Unie, hoewel een deel van deze sites ook biobrandstoffen produceren voor het wegvervoer. Echter, indien men tegen 2030 de kloof wil dichten tussen de productie met HEFA technologie en de overige technologieën, alsook een stijging in de vraag naar SAF wil opvangen (als gevolg van het Europese mengmandaat), is er nood aan bijkomende investeringen in de overige technologieën: 25 miljard euro tussen 2025 en 2030. Het merendeel van de kapitaalinvesteringsen is noodzakelijk na 2030 voor een capaciteitsuitbreiding van *Gasification/FT*, *Alcohol-to-Jet* en *Power-to-Liquids* technologieën. Tussen 2030 en 2050 is er nood aan ongeveer 550 miljard euro investeringen. Onderstaande figuur geeft een overzicht van de geschatte investeringen per jaar en het aantal SAF productiesites. (World Economic Forum & Energy Transition Commission, 2021)

Jaarlijkse investering
(in miljarden/jaar)



Figuur 22: Totaal aantal SAF productiesites Europa (eigen werk, gebaseerd op World Economic Forum)

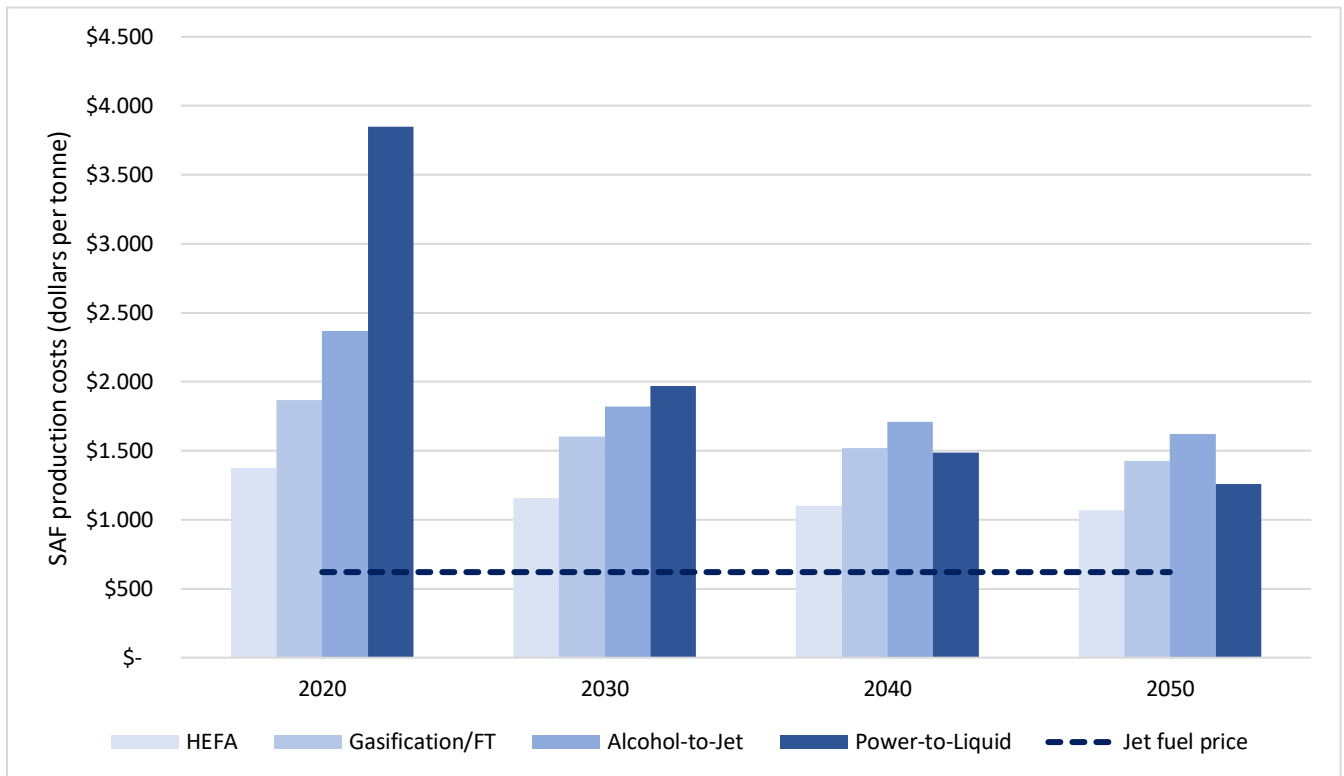
Om de aanloopfase van SAF productie te versnellen is er nood aan financiële ondersteuning. Deze ondersteuning zal afhangen van het type en mate van volwassenheid van de toegepaste technologie. Men verwacht dat deze financiële steun vanaf 2030 geleidelijk aan zal worden afgebouwd. Voor productietechnologieën die reeds voldoende ontwikkeld zijn (zoals HEFA) zal overheidssteun voornamelijk plaatsvinden op vlak van risicobeperkende maatregelen om privaat kapitaal aan te trekken (vb. fiscale voordelen of lening garanties). Men schat dat de overheidssteun beperkt blijft tot 10% van de totale kapitaalkosten voor de uitbreiding van HEFA productiesites, wat neerkomt op 700 miljoen euro steun tussen 2020 en 2030. Voor productietechnologieën die nog niet zo ver ontwikkeld zijn (vb. lignocellulose biobrandstoffen, Power-to-Liquids) is er meer financiële steun nodig, voornamelijk in R&D⁹. Daarnaast zal ook steun verleend worden voor de bouw van nieuwe productie-installaties. Men verwacht hiervoor overheidssteun van ongeveer 30 miljard euro gedurende 15 jaar. Tenslotte zullen productieprocessen die in de beginfase een hogere productiekost kennen maar wel schaalbaar zijn ook (indirecte) overheidssteun ontvangen in de vorm van bijvoorbeeld maximum prijzen, om zo voldoende inkomensstromen te garanderen. De kost die hieraan verbonden is wordt geschat op 15 miljard euro tussen 2025 en 2035.

(World Economic Forum & Energy Transition Commission, 2021)

⁹ Research & Development

9.3.5. Productiekosten

In onderstaande figuur worden de geschatte productiekosten (uitgedrukt in dollar per geproduceerde ton neat-SAF) weergegeven per productietechnologie doorheen de verschillende tijdsperiodes.



Figuur 23: Productiekost per productietechnologie (eigen werk, gebaseerd op World Economic Forum)

HEFA lijkt tot 2030 de meest kostenefficiënte productietechnologie. Het belangrijkste verschil op vlak van kosten tussen HEFA en de andere technologieën is dat HEFA slechts beperkte kapitaalinvesteringen vereist (minder dan 10% van de totale kosten), waardoor het op korte termijn de meest competitieve productietechnologie is ten opzichte van conventionele vliegtuigbrandstof (met een gemiddelde kost van \$620 per ton). De grootste beperking voor HEFA is de kost en beschikbaarheid van de *feedstocks*, waarbij amper kostenverlagend potentieel is. Tegen 2050 zou de productiekost van HEFA verlagen van bijna \$1400 per ton (2020) tot \$1100 per ton (-22%).

Bijna 80% van de kosten van *Gasification/FT*-technologie zijn kapitaalinvesteringen. Slechts een zeer beperkt deel van de kosten voor deze technologie zijn gelinkt aan de *feedstocks* (voornamelijk gemeentelijk en industrieel afval). Tegen 2050 zou de productiekost voor *Gasification/FT* verlagen van \$1900 per ton (2020) tot \$1400 per ton (-24%).

Voor *Alcohol-to-Jet* zijn 50% van de kosten gelinkt aan kapitaalinvesteringen en 10% aan *feedstocks*. Tegen 2050 zou de productiekost voor *Alcohol-to-Jet* verlagen van \$2400 per ton (2020) tot \$1600 per ton (-32%).

De productietechnologie met het meeste potentieel op vlak van kostenbesparingen in productie is *Power-to-Liquid*. Afhankelijk van het specifieke productieproces binnen deze technologie, vertegenwoordigen de kosten van input en verwerken van waterstof (H₂) tussen de 80 en 90% van de totale kosten. Door R&D is het mogelijk om deze kosten doorheen de tijd drastisch te verlagen. Hierdoor zou de productiekost voor *Power-to-Liquid* tegen 2050 verlagen van \$3800 per ton (2020) tot \$1300 per ton (-67%). (World Economic Forum & McKinsey & Company, 2020)

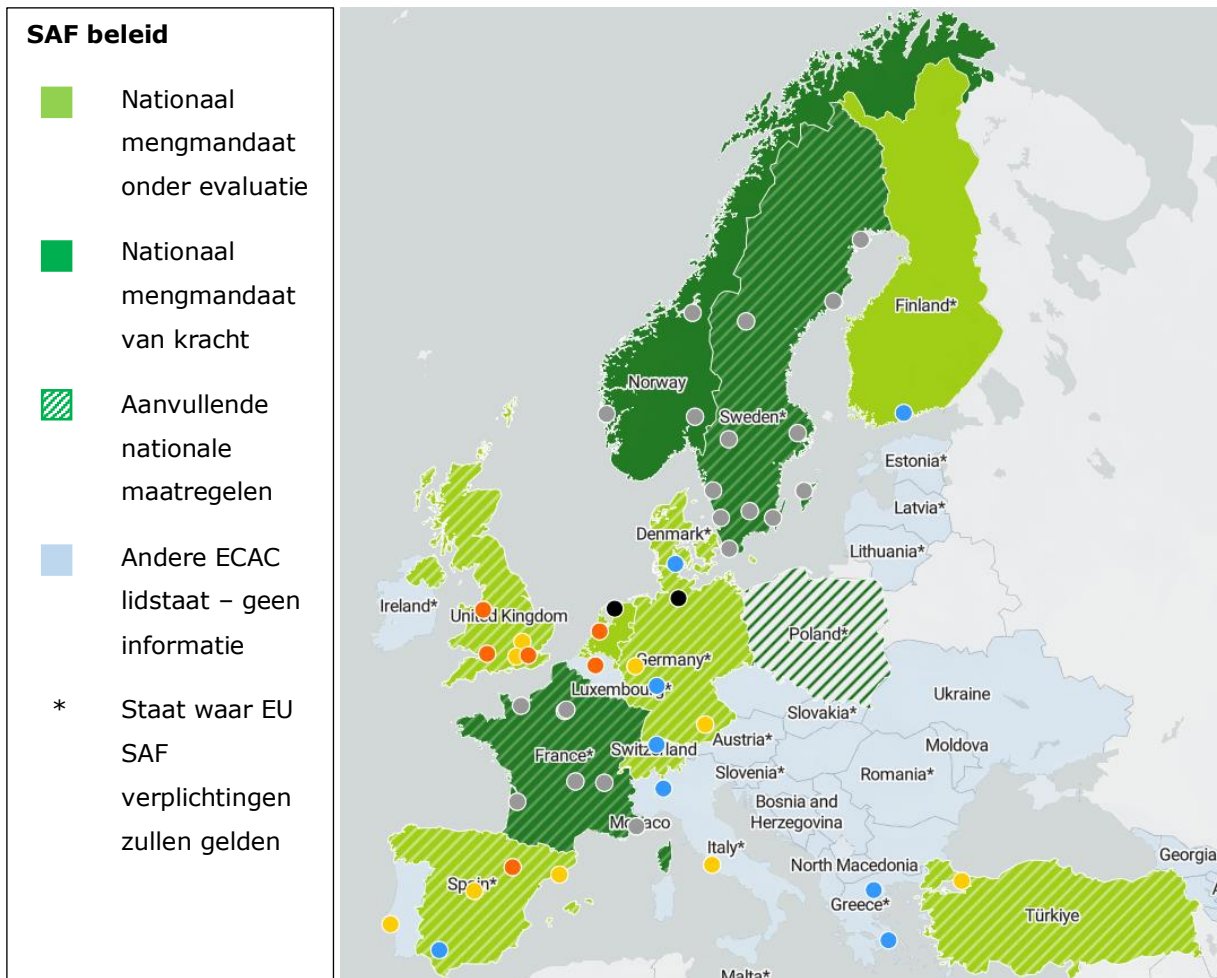
Met andere woorden, tot 2030 blijft HEFA de koploper op vlak van productiekosten. Na 2030 worden de andere technologieën interessanter, wegens onder andere R&D en beperkte beschikbaarheid en kostenverlagende mogelijkheden van *feedstocks* voor HEFA. Echter, geen van de vier beschreven technologieën zal tegen 2050 een lagere productiekost hebben dan conventionele vliegtuigbrandstof. De extra kost zal hoogstwaarschijnlijk (gedeeltelijk) worden doorgerekend aan de klanten (commercieel en cargo).

9.4. Productie van SAF

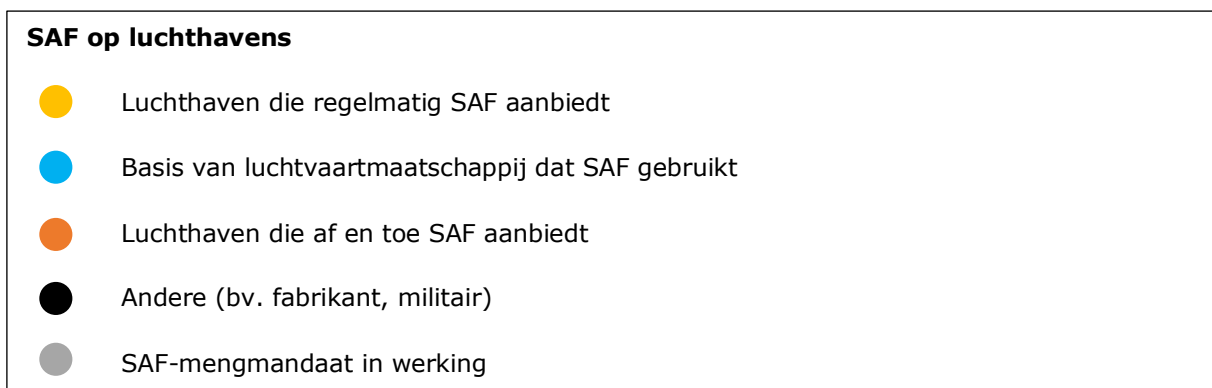
9.4.1. Introductie

Na de productie van *neat-SAF* (of SBC) kan de productie van SAF starten. SAF wordt geproduceerd door het mengen van *neat-SAF* (SBC) en CAF (Figuur 5) volgens bepaalde limieten (Tabel 1). In de zomer van 2021 presenteerde de Europese Commissie het *ReFuelEU* initiatief zoals uitgelegd in deel 9.1. Een belangrijk onderdeel van dit initiatief is het SAF mengmandaat (*SAF blending mandate*), waarbij de Europese Commissie leveranciers van vliegtuigbrandstoffen in de Europese Unie verplicht om geleidelijk aan het aandeel van SAF en *e-fuels* in hun leveringen te vergroten (Tabel 8). Daarnaast werd er ook een voorstel geformuleerd om *tankering practices* door vliegtuigoperatoren aan te pakken (deel 9.1). Echter, voor de lancering van het *ReFuelEU* initiatief, waren er reeds lidstaten van de Europese Unie die op eigen initiatief nationale beleidsmaatregelen hadden vastgelegd om de promotie en ingebruikname van SAF te stimuleren. Het *ReFuelEU* initiatief met bijhorende SAF mengmandaat hoopt een geharmoniseerde aanpak te introduceren voor de promotie en ingebruikname van SAF voor alle lidstaten. (European Civil Aviation Conference, 2023)

De ECAC (*European Civil Aviation Conference*) werkt samen met *EUROCONTROL* om een Europese kaart met betrekking tot duurzame vliegtuigbrandstoffen te ontwikkelen, waarop nationale regelgevende maatregelen en de status van SAF-gebruik worden weergegeven. SAF-TG (*Sustainable Aviation Fuels Task Group*) verleende steun en ontwikkeling bij de ontwikkeling van deze interactieve kaart. Deze kaart is gebaseerd op publieke beschikbare informatie, verzameld en verwerkt door ECAC en *EUROCONTROL*. (European Civil Aviation Conference, 2023)

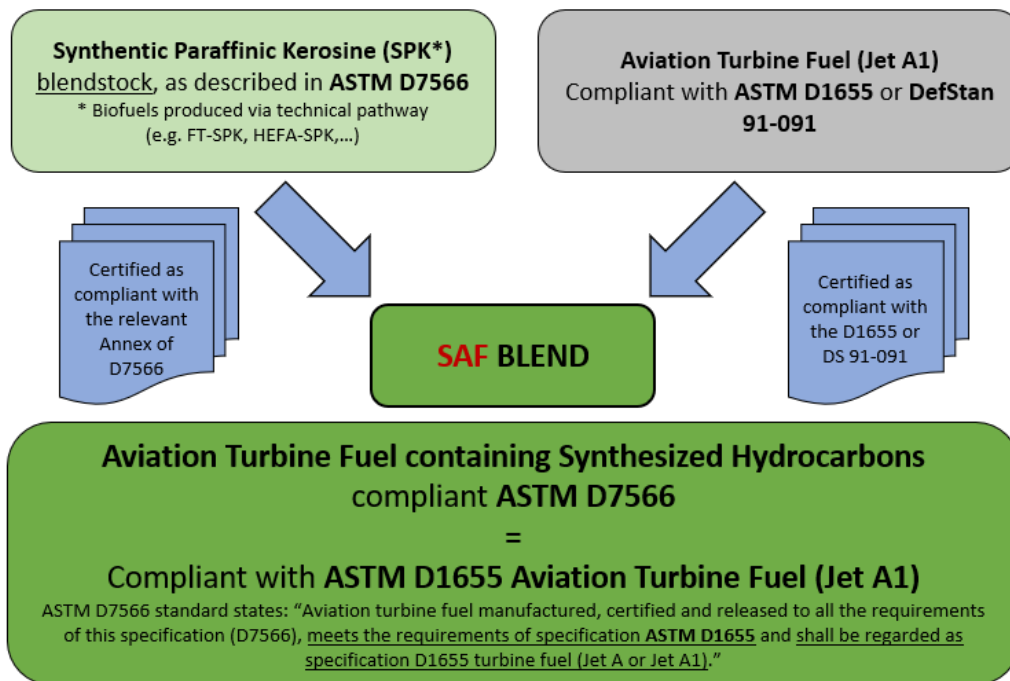


Figuur 24: Europese SAF kaart (EUROCONTROL)



9.4.2. SAF mengen en certificeren

Na het converteren van *feedstocks* volgens een bepaald technologisch productieproces (bv. HEFA, G/FT, AtJ of PtL) spreekt men van *blendstocks* of SBC. Deze *blendstock* wordt vervolgens gemengd met CAF (Jet A1) om het eindproduct SAF te bekomen. Op volgende bladzijde wordt het certificatieproces bondig weergegeven en toegelicht.



Figuur 25: certificatieproces SAF blend (eigen werk, gebaseerd op ECAC)

Zoals eerder vermeld is er voor de productie van SAF nood aan enerzijds *blendstock/SBC* (gecertificeerd volgens ASTM D7566) en anderzijds CAF (gecertificeerd volgens ASTM D1655 of DefStan 91-091). Beide elementen dienen vervolgens gemengd te worden volgens maximum toelaatbare grenzen (Tabel 8), aangezien de *blendstock/SBC* bepaalde chemische eigenschappen niet heeft (bijvoorbeeld aromaten). (ICAO, 2023) Vervolgens wordt deze mengeling (*SAF blend*) opnieuw gecertificeerd volgens ASTM D7566. Vliegtuigbrandstof dat geproduceerd, gecertificeerd en vrijgegeven volgens de ASTM D7566 specificatie, voldoet aan de voorwaarden van ASTM D1655 en wordt als dusdanig beschouwd. (European Civil Aviation Conference, 2023)

Van de negen huidige goedgekeurde productieprocessen van SAF (Tabel 1), zijn er twee productieprocessen die net iets anders verlopen dan de rest, namelijk *co-processing*. Bij *co-processing* worden *feedstocks* rechtstreeks toegevoegd aan het productieproces van conventionele brandstoffen (petroleum). Dit brengt enkele voordelen met zich mee. Zo kan er gebruik gemaakt worden van de bestaande infrastructuur die nodig is voor conventionele brandstofproductie (petroleum) en kan men gebruik maken van de huidige verbindingen met de supply chains. Hierdoor verlagen de kosten en CO₂-uitstoot van *co-processing* ten opzichte van andere SAF productieprocessen. Ook de supply chain van *co-processing* is eenvoudiger door het wegvallen van het mengproces. Echter, vandaag de dag is het maximaal toegestane aandeel van *feedstocks* in *co-processing* slechts 5%. Hoewel dit zeer beperkt lijkt in vergelijking met de andere SAF productieprocessen, is *co-processing* zeer schaalbaar. (Van Dyk, 2022) In 2022 waren er in de Europese Unie 89 olieraffinaderijen met een raffinagecapaciteit van 612 miljoen ton per jaar, waarvan slechts 2 operationele olieraffinaderijen in België (Antwerpen), met een capaciteit van 33 miljoen ton per jaar. Opgeliet, slechts een beperkt deel van deze raffinagecapaciteit wordt gebruikt voor de productie van vliegtuigbrandstoffen (6% voor België in 2022, ongeveer 2 miljoen ton). (Energia, 2022) (Concawe, 2022)



Figuur 26: Kaart olieraffinaderijen in Europa, 2022 (Concawe)

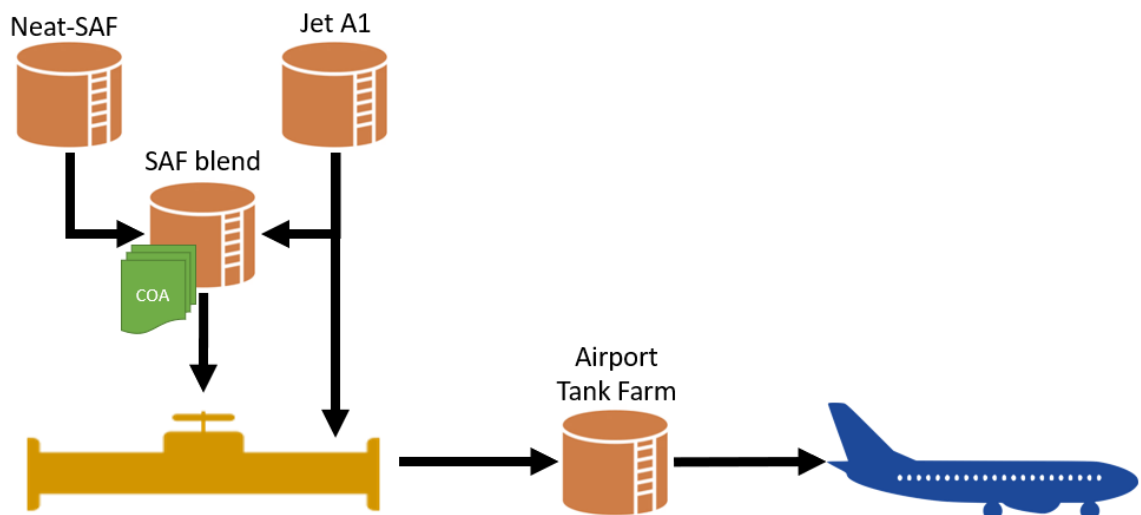
9.4.3. Menglocaties voor SAF

Voor het mengen van *blendstock/SBC* met *CAF* zijn er verschillende locaties mogelijk. Enkele criteria om de beste locatie te selecteren om SAF te ontvangen en/of mengen zijn:

- 1) De hoeveelheid benodigde SAF;
- 2) De ligging van de SAF en CAF raffinaderijen ten opzichte van de luchthaven(s);
- 3) Voldoende beschikbare ruimte voor meng- en opslaginfrastructuur;
- 4) Laad- en losfaciliteiten, opslagtanks, mengsystemen, pijpleidingverbindingen, testfaciliteiten en administratie;
- 5) Beschikbaarheid voor schaalbare transportopties op vlak van volume;
- 6) Aanvaardbaarheid vanuit ecologisch standpunt: de installatie van mengfaciliteiten op industriële locaties (zoals raffinaderijen of andere overslagpunten stroomopwaarts van luchthavens blijkt vaak milieuvriendelijker te zijn. Sommige luchthavens kunnen beperkingen opgelegd krijgen met betrekking tot brandstofactiviteiten anders dan opslag;
- 7) Beschikbaarheid van grond voor aankoop of lease. (Airports Council International & Aerospace Technology Institute, 2022)

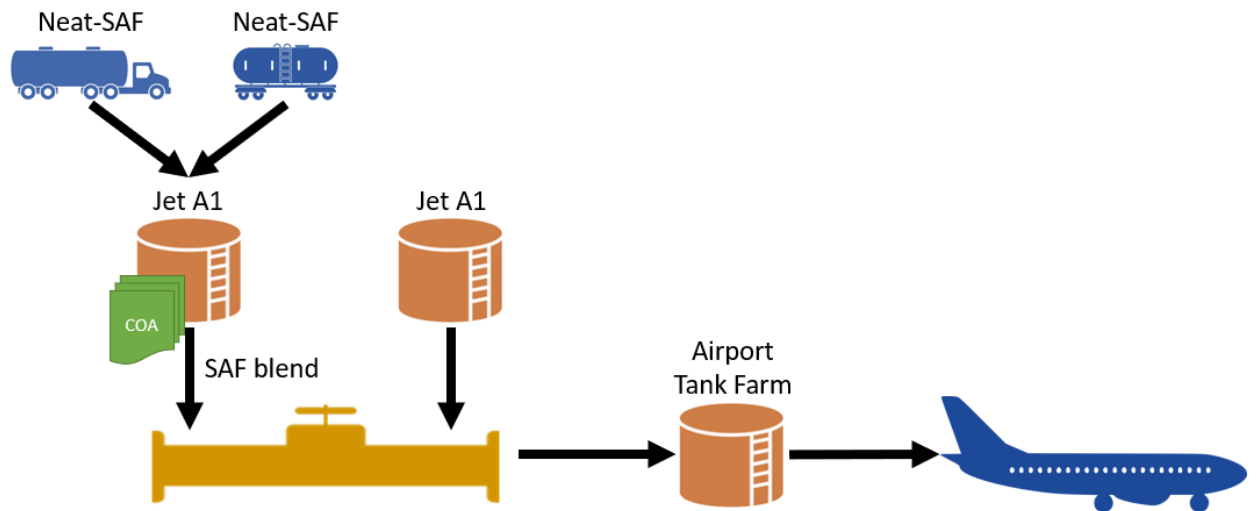
De verschillende menglocaties worden hieronder toegelicht.

- **Optie 1:** *neat*-SAF wordt geleverd (via schip, trein of vrachtwagen) aan een terminal die rechtstreeks verbonden is met een luchthaven. Deze terminal moet beschikken over losplatformen voor vrachtwagens, treinen of schepen, alsook tanks om *neat*-SAF op te slaan en te mengen. *Neat*-SAF en Jet A1 worden vervolgens in afzonderlijke tanks opgeslagen, om ze vervolgens te mengen in een derde tank volgens de maximale mengratio (Tabel 1). Vervolgens dient de mengeling getest te worden om een COA te bekomen dat bevestigt dat de gemengde brandstof voldoet aan de voorwaarden van ASTM D7566 (5.3.1). Indien dat het geval is, wordt de gemengde brandstof geïdentificeerd als ASTM D1655 en kan deze getransporteerd worden naar de desbetreffende luchthaven via bijvoorbeeld een pijpleiding. (Moriarty & Kvien, 2021) (Airports Council International & Aerospace Technology Institute, 2022) In de Europese Unie waren er in 2018 ongeveer 690 terminals, met een totale opslagcapaciteit van meer dan 170.000.000 m³, waarvan bijna 100.000.000 m³ gebruikt wordt voor de opslag van oliën en andere brandstoffen. In België beschikken we over 16 terminals, met een opslagcapaciteit van iets meer dan 10.000.000 m³. (Federation of European Tank Storage Associations, 2018)



Figuur 27: menglocatie optie 1 (eigen werk, gebaseerd op NREL)

- **Optie 2:** rechtstreeks lossen en mengen van *neat*-SAF in een Jet A1 tank (terminal die is aangesloten op een luchthaven), aangeleverd via spoor of vrachtwagen. Vervolgens wordt de mengeling bemonsterd en getest om een COA te bekomen. Bij deze optie is het nodig om mengapparatuur aan te brengen in de terminal om mogelijke verschillen in brandstofkwaliteit aan te pakken. Zorgvuldige controle van metingen en brandstofinventaris is noodzakelijk om ervoor te zorgen dat de maximale mengratio van SAF en Jet A1 niet overschreden wordt. (Moriarty & Kvien, 2021)

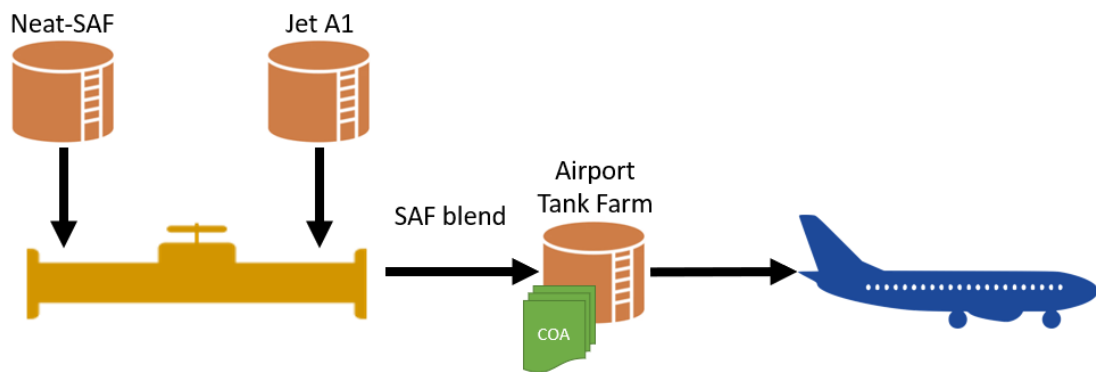


Figuur 28: menglocatie optie 2 (eigen werk, gebaseerd op NREL)

Tabel 13: Overwegingen menglocatie optie 1 & 2 (eigen werk, gebaseerd op ACI-ATI)

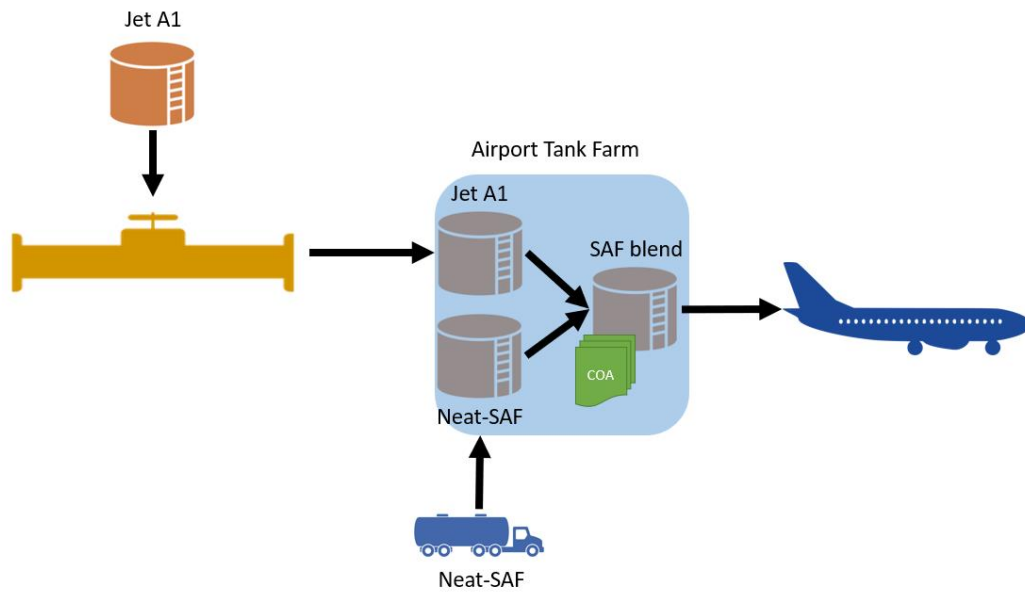
Voordelen	Nadelen	Beperkingen
Grotere mengvolumes dan op een luchthaven.	Vereist SAF-specifieke brandstofinfrastructuur.	Beperkt in ruimte en capaciteit voor de verwachte groei tegen 2050.
Ervaring in de verwerking van biobrandstoffen.		Efficiënt en transparant systeem nodig om brandstof naar verschillende luchthavens te traceren.
Infrastructuur aanwezig voor het laden en lossen van brandstof. Alle downstream infrastructuur kan blijven zoals het is.		
Industriële werking maakt terminal geschikter dan luchthaven.		
Verskillende luchthavens kunnen worden bediend door dezelfde brandstofterminal.		
Sommige terminals hebben meer ervaring met het mengen van brandstoffen.		

- **Optie 3:** theoretisch gezien is het mogelijk om Jet A1 en *neat*-SAF op te slaan in afzonderlijke tanks en beide apart te injecteren op de pijpleiding die in verbinding staat met de *fuel farm* op de luchthaven. Echter, in eerste instantie zouden er op de luchthaven tests uitgevoerd moeten worden om vast te stellen of het mengsel voldoet aan ASTM 1655. Daarnaast dienen de brandstofeigenschappen gemeten in de terminals overeen te komen met de analyse van de gemengde brandstof in de luchthaven (men gaat ervan uit dat door een turbulente stroming in de pijpleiding de brandstoffen zal mengen). (Moriarty & Kvien, 2021)



Figuur 29: menglocatie optie 3 (eigen werk, gebaseerd op NREL)

- **Optie 4:** in deze optie wordt *neat*-SAF rechtstreeks geleverd aan de desbetreffende luchthaven door middel van vrachtwagens en opgeslagen in een aparte tank. De Jet A1 wordt geleverd via bijvoorbeeld pijpleiding en ook opgeslagen in een aparte tank. Vervolgens vindt het mengproces plaats in een derde tank, op de luchthaven. Vervolgens dient de mengeling op de luchthaven getest te worden om ervoor te zorgen dat aan ASTM D1655 voldaan wordt. Bij deze optie zijn er heel wat bedenkingen: luchthavens zijn vaak niet uitgerust met mengsoftware, uitrusting en de bijhorende veiligheids- en lekdetectieapparatuur. Voor het opstellen van een COA zijn er extra tests nodig (die verder reiken dan de tests die reeds op een luchthaven worden uitgevoerd). Het is voordeliger om mogelijke problemen met de kwaliteit van het mengsel stroomopwaarts in de keten aan te pakken, aangezien men hier over meer personeel en uitrusting beschikt. Daarnaast zullen de tankinstallaties op de luchthaven andere verzekeringspolissen vereisen om de mengprocedure te dekken. Daarnaast moet de overweging gemaakt worden voor het belevaren van *neat*-SAF via vrachtwagens. Om deze vrachtwagens te lossen is extra personeel nodig en bovendien duurt het zeker 20 minuten om *neat*-SAF te lossen. Ook het vrachtverkeer in en rond de luchthaven zal evenredig toenemen met de hoeveelheid geleverde *neat*-SAF. (Moriarty & Kvien, 2021) (Airports Council International & Aerospace Technology Institute, 2022)

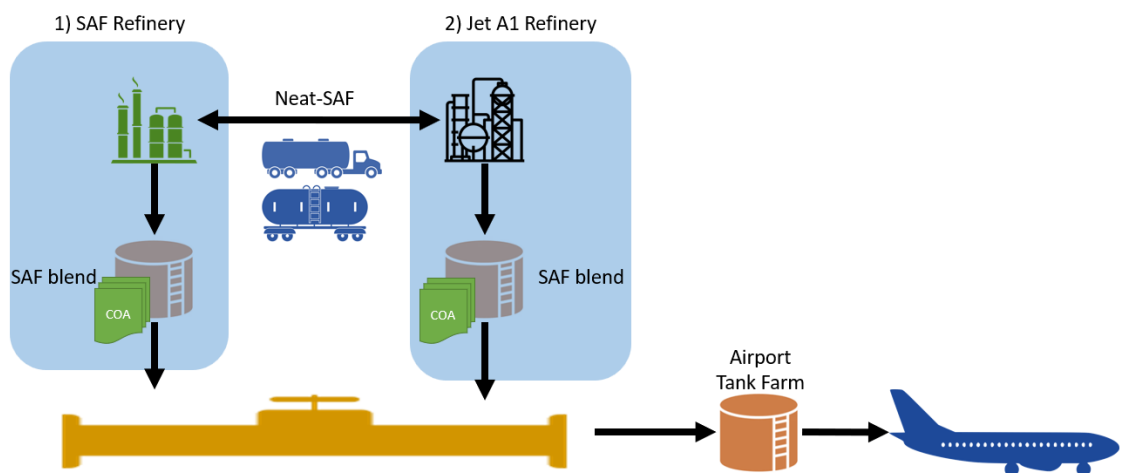


Figuur 30: menglocatie optie 4 (eigen werk, gebaseerd op NREL)

Tabel 14: Overwegingen menglocatie optie 4 (eigen werk, gebaseerd op ACI-ATI)

Voordelen	Nadelen	Beperkingen
Minder vrachtwagens met neat-SAF nodig (1 vrachtwagen met neat-SAF vs 3 vrachtwagens met SAF mengsel van 30%).	Nood aan infrastructuur om brandstof te ontvangen, opslaan en mengen.	Vrachtwagens vereist voor SAF-transport indien neat-SAF niet toegelaten wordt in pijpleiding (huidige situatie), waardoor leveringsvolumes worden beperkt.
Lagere transportkosten.	Congestie in en rond de luchthaven.	Opslagcapaciteit op luchthavens is kleiner ten opzichte van andere locaties.
Hogere zichtbaarheid en aanwezigheid voor luchthavenpersoneel.	Certificeren van brandstof moet <i>on-site</i> gebeuren.	Nood aan voorschriften voor <i>on-site</i> mengen – gebrek aan expertise in certificeringsvereisten.
	Nood van een dubbele toeleveringsketen voor vliegtuigbrandstoffen.	Slechts een beperkte hoeveelheid brandstof kan worden gelost met de huidige infrastructuur.
		Gebrek aan juridisch kader voor neat-SAF-transport in sommige landen.

- **Optie 5:** SAF producenten kunnen hun SAF leveren aan raffinaderijen die Jet A1 produceren of omgekeerd, geformuleerd in volgende 2 scenario's:
 - 1) In de SAF raffinaderijen kan de neat-SAF gemengd worden met Jet A1. Vervolgens wordt het mengsel in de SAF raffinaderij getest en goedgekeurd volgens ASTM D1655. Jet A1 raffinaderijen verwerken zeer grote hoeveelheden brandstof en zijn dus uitermate geschikt om grote hoeveelheden aan te leveren voor het mengproces.
 - 2) In principe zou neat-SAF geleverd kunnen worden aan Jet A1 olieraffinaderijen. Deze laatste zou de aangeleverde SAF mengen met Jet A1, om deze vervolgens te testen en goed te keuren volgens ASTM D1655. Echter, dit scenario is uiterst onwaarschijnlijk. Jet A1 raffinaderijen beschikken niet over losmogelijkheden om brandstof van een derde partij in hun tanks te ontvangen. (Moriarty & Kvien, 2021) Echter, dit scenario kan wel voordelig zijn voor bedrijven die over zowel een SAF- als Jet A1 raffinaderij bezitten (vb. Neste). Jet A1 raffinaderijen kunnen hun reeds opgebouwde verbindingen met de luchthaven (vb. pijpleiding) gebruiken om SAF-mengsels rechtstreeks aan de luchthavens te leveren (na certificatie), waardoor de hoeveelheid vrachtwagens voor transport vermindert.



Figuur 31: menglocatie optie 5 (eigen werk, gebaseerd op NREL)

Tabel 15: menglocatie optie 5, scenario 2 (eigen werk, gebaseerd op ACI-ATI)

Voordelen	Nadelen	Beperkingen
Expertise in de behandeling van verschillende koolwaterstofproducten, inclusief biobrandstoffen.	Enkel geschikt voor zeer grote volumes	Geoptimaliseerd voor zeer grote hoeveelheden, onwaarschijnlijk dat kleine hoeveelheden zullen worden gemengd.
Expertise in de behandeling van vliegtuigbrandstoffen.		Verder weg gelegen van SAF productiesites. Nood aan transport van grote hoeveelheden SAF, waardoor er extra transportinfrastructuur nodig is.
Flexibele transportinfrastructuur (pijpleiding, haven, spoorweg).		

9.5. Transport

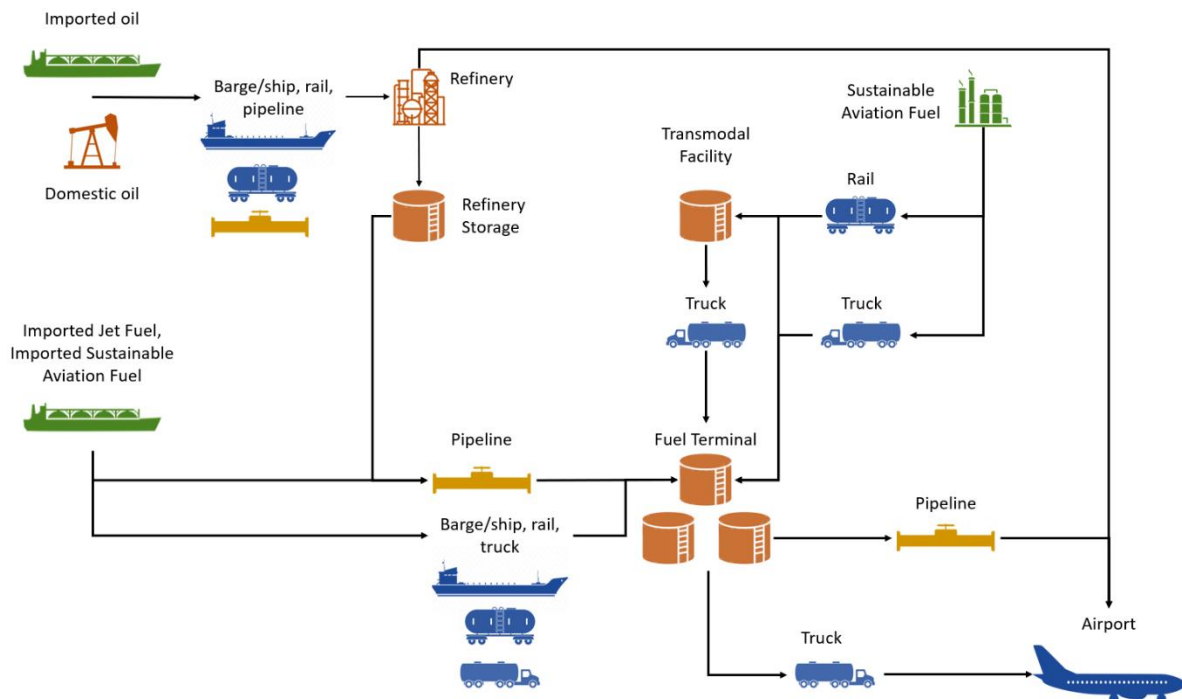
9.5.1. Typische supply chain

De transportwijze om (vliegtuig)brandstoffen te vervoeren hangt af van enkele elementen: de plaats van productie, het soort brandstof, de kosten en de volumes. Er zijn verschillende transportmodi beschikbaar om vloeibare brandstoffen te vervoeren:

- Zeeschip;
- Vrachtwagen;
- Spoor;
- Binnenschip;
- Pijpleiding.

Vaak worden dezelfde binnenschepen en treinwagons gebruikt om verschillende soorten vloeibare brandstoffen te vervoeren. Biobrandstoffen (100% *neat-SAF*) worden in de meeste gevallen vervoerd via spoorvervoer, wegvervoer of binnenscheepvaart. Jet A1 vliegtuigbrandstoffen worden doorgaans via pijpleidingen getransporteerd naar hun bestemming. Luchthavens die niet beschikken over een aansluiting van de *fuel farm* op een pijpleiding beschikken over vrachtwagens die Jet A1 vliegtuigbrandstoffen aanleveren vanuit raffinaderijen of terminals. Luchthavens die wel rechtstreeks verbonden zijn met een pijpleiding kunnen daarnaast ook nog beschikken over een/meerdere loseilanden, waar vrachtwagens vliegtuigbrandstoffen kunnen leveren. Deze extra capaciteit wordt voornamelijk gebruikt in periodes met een hogere vraag, bijvoorbeeld Kerstmis.

Een typische supply chain voor vliegtuigbrandstoffen wordt in onderstaande figuur weergegeven. (Moriarty et al., 2021a)



Figuur 32: Voorbeeld supply chain (eigen werk, gebaseerd op NREL)

Tot voor januari 2022 was Rusland de belangrijkste leverancier van ruwe aardolie voor de Europese Unie, met tussen de 40.000 en 50.000 vaten¹⁰, goed voor 24%-31% van de totale import van ruwe aardolie. De Verenigde Staten waren de tweede grootste leverancier, met ongeveer 20.000 vaten, goed voor ongeveer 13% van de totale import van ruwe aardolie. Ook Noorwegen en Kazachstan leverden gelijkaardige hoeveelheden. Irak, Libië en het Verenigd Koninkrijk leverden ook ongeveer elk 10% van de ruwe aardolie. De inval van Rusland in Oekraïne had een significante impact op de import van ruwe aardolie in de Europese Unie. Geleidelijk aan verminderde de import van Russische ruwe aardolie, dat in december 2022 slechts 4% van de totale import vertegenwoordigde. Deze afname werd gecompenseerd door andere landen. De Verenigde Staten werd de grootste leverancier met ongeveer 35.000 vaten, goed voor 18% van de totale Europese import. Ook Noorwegen vergrootte haar aandeel in de Europese import tot 17%. (Eurostat, 2023c)

In 2021 importeerde de Europese Unie ongeveer 446,5 Mt ruwe aardolie. (Eurostat, 2023) Hiervan importeerde België bijna 29 Mt ruwe aardolie. De voornaamste leveranciers waren Rusland, Noorwegen en Kazachstan. (Eurostat, 2021) Slechts een zeer klein deel van de ruwe aardolie in de Europese Unie is daadwerkelijk hier geproduceerd: 17,5 Mt in 2021. De belangrijkste producenten waren Italië, Denemarken en Roemenië. (Eurostat, 2023)

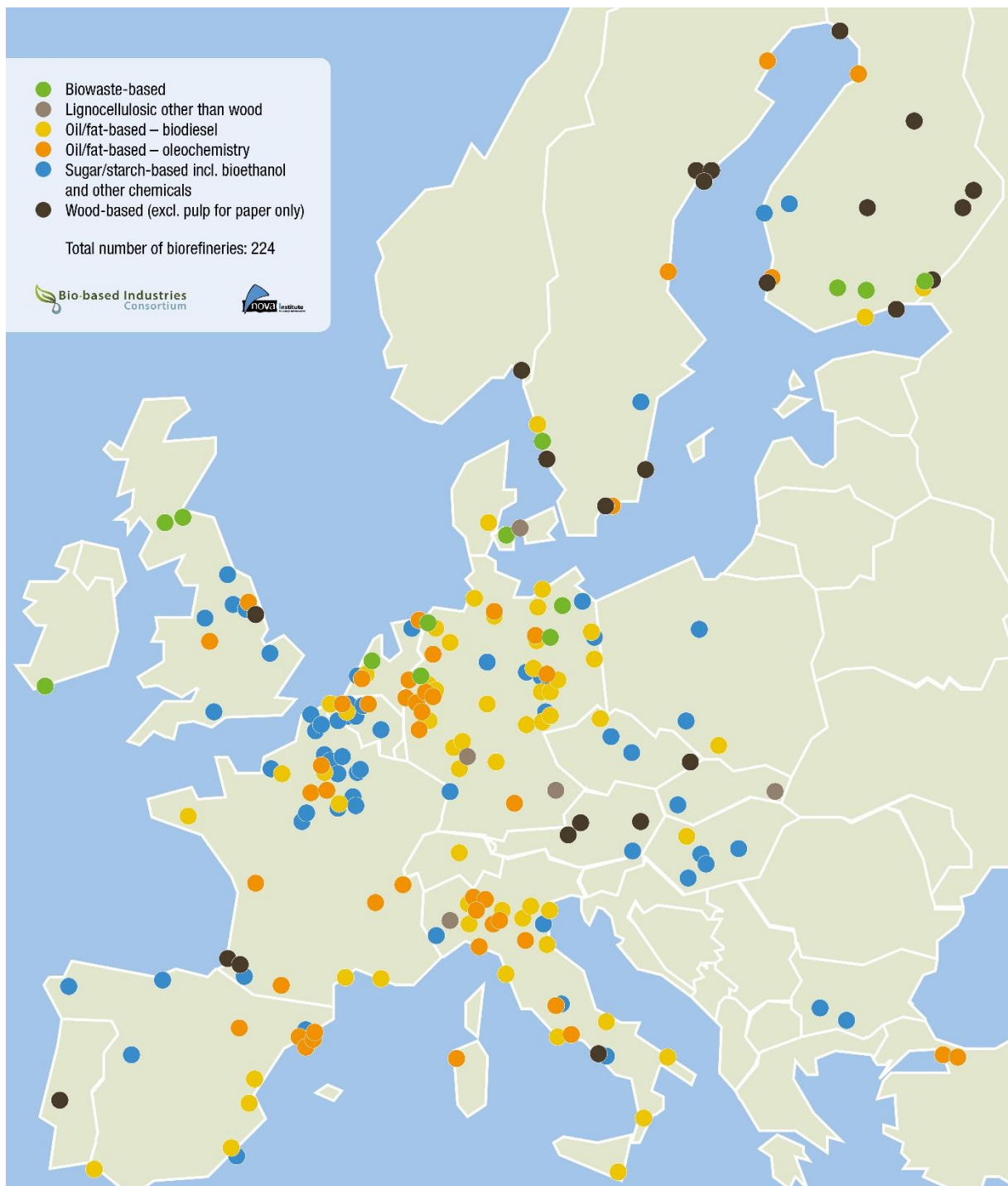
In 2021 produceerde men in de Europese Unie ongeveer 521,0 Mtoe (*million tonnes of oil equivalent*) petroleumproducten. De grootste producenten waren Duitsland, Italië en Nederland. België produceerde slechts 31,0 Mtoe petroleumproducten. Van deze 521,0 Mtoe geproduceerde petroleumproducten was slechts 19,93 Mtoe conventionele vliegtuigbrandstof in 2021. De netto-import van conventionele vliegtuigbrandstof bedroeg in 2021 ongeveer 7,1 Mtoe voor de Europese Unie. (Eurostat, 2023)

De geïmporteerde ruwe aardolie wordt via grote olietankers het Europese grondgebied binnen in een zeehaven (bijvoorbeeld haven van Antwerpen). De lokaal ontgonnen aardolie alsook de geïmporteerde ruwe aardolie worden vervolgens via een binnenschip, trein of pijpleiding naar een olieraffinaderij getransporteerd. In deze olieraffinaderij wordt de ruwe aardolie verwerkt tot petroleumproducten, waaronder conventionele vliegtuigbrandstof. Deze vliegtuigbrandstof wordt opgeslagen in opslagtanks van de raffinaderij. Vervolgens wordt de vliegtuigbrandstof door middel van een pijpleiding naar een brandstofterminal getransporteerd. Dit is een tussentijdse opslagplaats die geëxploiteerd wordt door een derde partij die vaak verschillende brandstofterminals in bezit heeft (bijvoorbeeld Vopak of Evos).

Niet enkel ruwe aardolie wordt geïmporteerd, ook reeds geproduceerde conventionele vliegtuigbrandstoffen of SAF kunnen worden geïmporteerd via een zeehaven. Ook deze brandstoffen worden vanuit de zeehaven naar een brandstofterminal getransporteerd via pijpleiding, binnenschip, trein of vrachtwagen, waar ze opgeslagen worden tot er vraag naar deze producten is.

¹⁰ 1 vat = 119,24 liter

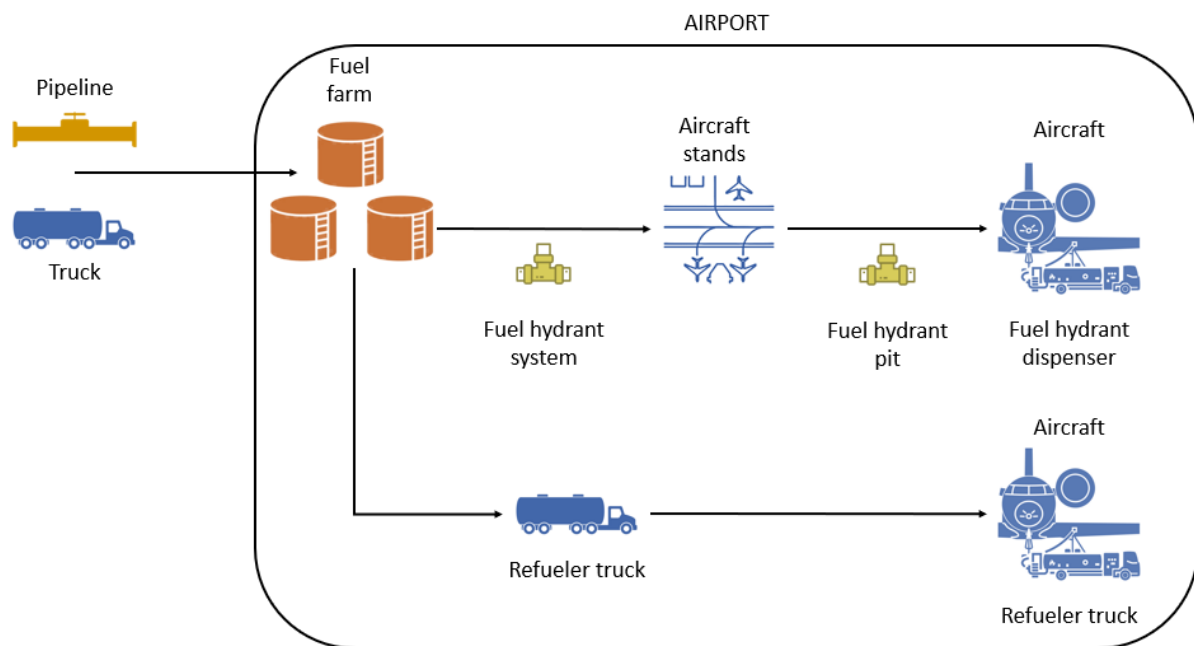
SAF kan ook lokaal (binnen de Europese Unie) geproduceerd worden. In 2017 waren er reeds 224 bioraffinaderijen in de Europese Unie die SAF produceren op basis van verschillende *feedstocks*. Deze worden weergegeven op onderstaande kaart. (Biconsortium, 2017)



Figuur 33: bioraffinaderijen in Europa, 2017 (Biconsortium)

Biobrandstoffen worden voornamelijk vervoerd via trein of vrachtwagen. Af en toe gebruikt men ook binnenschepen, maar dan moet men over voldoende volume beschikken om het transport rendabel te maken. Deze biobrandstof kan rechtstreeks geleverd worden aan een brandstofterminal of eerst via een transmodale voorziening, om vervolgens ook naar een brandstofterminal vervoerd te worden.

Vanuit de brandstofterminals worden vliegtuigbrandstoffen doorgaans via pijpleiding naar de desbetreffende luchthaven getransporteerd (indien de *fuel farm* op de luchthaven is aangesloten op een pijpleidingnetwerk). Voor kleinere luchthavens die geen toegang hebben tot een pijpleidingnetwerk wordt de vliegtuigbrandstof voornamelijk via vrachtwagens aangeleverd. Eenmaal de vliegtuigbrandstoffen aankomen op de luchthaven, worden deze in ontvangst genomen in de *fuel farm*, een verzamelnaam voor een/meerdere brandstoftanks op een luchthaven. In deze *fuel farm* wordt de vliegtuigbrandstof opgeslagen in afwachting van een tankbeurt van een vliegtuig. Grote luchthavens beschikken vaak over een *fuel hydrant system*, een ondergronds netwerk van pijpleidingen dat aangesloten is op de *fuel farm* en vliegtuigbrandstof rechtstreeks tot aan de standplaats van een vliegtuig kan transporteren, waar *fuel hydrant pits* aanwezig zijn. Door middel van een *fuel hydrant dispenser* (een klein voertuig) wordt een connectie gemaakt tussen enerzijds de *fuel hydrant pit* en anderzijds het vliegtuig zelf. Vliegtuigbrandstof kan nu door middel van brandstofslangen rechtstreeks in het vliegtuig gepompt worden. Kleinere luchthavens beschikken vaak niet over een *fuel hydrant system*. Deze luchthavens maken gebruik van *refueler trucks* die brandstof van de *fuel farm* tot aan het standplaats transporteren. Hier worden de brandstoffen door middel van brandstofslangen in het vliegtuig gepompt. Onderstaande figuur geeft deze tankactiviteiten op de luchthaven schematisch weer.



Figuur 34: tankactiviteiten luchthaven (eigen werk)

9.5.2. Transportmodi

- 1) Wegvervoer:** vrachtwagens worden gebruikt om brandstoffen te leveren van terminals naar eindgebruikers (tankstations, luchthavens) die geen toegang hebben tot een pijpleiding. Het is de duurste vervoersmodi om brandstoffen over een lange afstand te transporteren. Vrachtwagens die vliegtuigbrandstoffen vervoeren hebben doorgaans een capaciteit van 8.000 *gallons*¹¹ of 30.000 liter. Vaak hebben luchtvaartmaatschappijen en hun vaste exploitanten met meerdere vrachtondernemingen contracten voor de levering van brandstof aan een luchthaven per vrachtwagen. (Moriarty et al., 2021)
- Vrachtwagens zijn alleen geschikt voor het vervoer van kleine hoeveelheden SAF naar luchthavens, maar kunnen een belangrijke tussenoplossing worden om het gebruik van SAF mogelijk te maken terwijl andere leveringsmechanismen in ontwikkeling zijn of wanneer slechts beperkte hoeveelheden beschikbaar zijn in bepaalde regio's. Sommige luchthavens kunnen ook enkel bereikt worden door middel van wegvervoer. Op lange termijn zijn vrachtwagens niet de oplossing om tegen 2050 honderden miljoenen ton SAF te vervoeren naar de luchthavens. (Airports Council International & Aerospace Technology Institute, 2022)

Tabel 16: overwegingen wegvervoer (eigen werk, gebaseerd op ACI-ATI)

Voordelen	Nadelen
Flexibel en veerkrachtig.	Enkel geschikt voor kleine volumes
Geen grote nood aan laad-, los- en transportinfrastructuur.	De geloste brandstofhoeveelheid wordt beperkt door de loscapaciteit van de luchthaven.
	Naarmate SAF-volumes toenemen, zal er nood zijn aan additionele transportinfrastructuur (halteplaatsen, toegangswegen,...)

- 2) Spoorvervoer:** Het spoorvervoer is de meest gebruikte methode om biobrandstoffen te vervoeren, en de tarieven liggen hoger dan vervoer via binnenvaart of pijpleiding, maar lager dan wegvervoer. Een enkele wagon heeft een laadvermogen van 30.000 *gallons*, ongeveer 140.000 liter. (Moriarty et al., 2021) In 2021 werd er ongeveer 145.000 ton¹² (183.545 liter) aan geraffineerde petroleum producten vervoerd via het spoor. De gegevens voor de Belgische markt zijn vertrouwelijk en kunnen dus niet worden weergegeven. (Eurostat, 2023) Indien spoorverbindingen reeds aanwezig zijn, is spoorvervoer een efficiëntere manier om grote hoeveelheden brandstof te vervoeren. De meeste SAF-faciliteiten bevinden zich dicht bij de grondstoffen maar verder weg van havens of pijpleidingen. Naarmate SAF wordt opgeschaald, zou de ontwikkeling van de spoorweginfrastructuur voor het vervoer van SAF een efficiënte manier zijn om 100% SAF aan te sluiten op bestaande bevoorradingsketens. (Airports Council International & Aerospace Technology Institute, 2022)

¹¹ 1 *gallon* = 3.79 liter

¹² 1 liter = 0,79 kg

Tabel 17: overwegingen spoorvervoer (eigen werk, gebaseerd op ACI-ATI)

Voordelen	Nadelen
Geschikt voor grotere volumes.	Spoorweginfrastructuur vereist van SAF raffinaderij tot menglocatie.
	Gebrek aan flexibiliteit: SAF raffinaderijen moeten spoorverbindingen hebben met de menglocaties.

- 3) Binnenscheepvaart:** binnenschepen worden gebruikt om grote hoeveelheden bulkgoederen te vervoeren, waaronder ook (vliegtuig)brandstoffen. Deze transportmodus is rendabel over langere afstanden. In 2016 bedroeg de totale afstand aan bevaarbare binnenwateren bijna 42.000 kilometer. (Statista, 2018) Bijna 1.400 kilometer van deze bevaarbare binnenwateren bevindt zich in het Vlaams Gewest. Hiervan wordt 1.000 kilometer gebruikt voor handelsvaart. Belangrijke Belgische waterwegen zijn het kanaal Gent-Terneuzen, het Albertkanaal, het zeekanaal Schelde-Brussel en de Bovenschelde. (Statistiek Vlaanderen, 2023) In 2021 werd bijna 6 miljoen ton aan petroleumproducten in België vervoerd via de binnenwateren, ongeveer 8% van de totale hoeveelheid vervoerde goederen via de binnenwateren. (De Vlaamse Waterweg, 2022) Ter vergelijking, in de Europese Unie werd in 2021 ongeveer 84 miljoen ton aan petroleumproducten vervoerd via de binnenwateren. (Eurostat, 2022)
- Normaliter hebben luchthavens geen directe toegang tot binnenhavens voor de overdracht van vliegtuigbrandstoffen. Vervoer via de binnenwateren zal dus waarschijnlijk een tussenstap zijn in een multimodale transportketen. (Airports Council International & Aerospace Technology Institute, 2022) Zo kan bijvoorbeeld 100% SAF vanuit een SAF raffinaderij vervoerd worden tot aan een brandstofterminal. In deel 7 werd reeds een studie besproken met betrekking tot de aanlevering van vliegtuigbrandstoffen voor de luchthaven van Luik-Bierset via binnenwateren.

Tabel 18: overwegingen binnenscheepvaart (eigen werk, gebaseerd op ACI-ATI)

Voordelen	Nadelen
Transport van grote volumes brandstof.	Veel luchthavens beschikken niet over een binnenhaven om brandstof te lossen.
	Grote investeringen in infrastructuur zijn noodzakelijk indien deze nog niet aanwezig is.
	Enkel raffinaderijen/terminals die toegang hebben tot binnenhavens zijn hiervoor geschikt.

4) Pijpleiding: pijpleidingen worden het meest gebruikt om *batches* (vliegtuig)brandstoffen over grote afstanden te vervoeren en zijn over het algemeen het goedkoopst. Er zijn twee soorten pijpleidingen: een *dedicated pipeline* transporteert slechts één soort product, bijvoorbeeld Jet A1, terwijl een *multi-product pipeline* verschillende soorten producten kan vervoeren. Deze producten moeten zorgvuldig op elkaar worden afgestemd om kruisbesmetting tot een minimum te beperken. Vandaag de dag is het nog niet toegestaan om 100% SAF te vervoeren via pijpleidingen, een SAF-mengsel is wel toegestaan. In Europa zijn veel van de pijpleidingen die luchthavens bevoorraden van vliegtuigbrandstof in eigendom van de NAVO ¹³ en worden ook door hen geëxploiteerd. Indien er een voorstel komt om een nieuwe soort brandstof te vervoeren, dienen alle NAVO-leden hun akkoord te geven. Sinds 1 januari 2023 is gemengde SAF toegestaan op het CEPS-netwerk (Central European Pipeline System), dat deel uitmaakt van het NPS (NATO Pipeline System). Het is echter onwaarschijnlijk dat voor 100% SAF nieuwe pijpleidingen worden aangelegd, aangezien zij een kapitaalkost hebben van ongeveer 1 miljoen dollar per kilometer. (Airports Council International & Aerospace Technology Institute, 2022)

In theorie vereisen *drop-in fuels* zoals SAF geen dubbele opslag- of transportinfrastructuur en dient deze infrastructuur ook niet aangepast te worden. Echter, Het identificeren van en toegang hebben tot de vervoerswijze die de meeste beschikbare capaciteit heeft en het meest geschikt is om SAF aan luchthavens te leveren, in termen van afstand ten opzichte van bioraffinaderijen en kosten, is een belangrijke overweging. Hoewel pijpleidingen de meest efficiënte manier om brandstof te vervoeren zijn, in grote hoeveelheden tegen relatief lage kosten, wordt het gebruik van pijpleidingen voor SAF beperkt door minimale batchgroottes. Momenteel staat de productie van SAF in zijn kinderschoenen, waardoor er niet voldaan wordt aan de minimale batchgroottes. Hierdoor is het moeilijk om SAF rechtstreeks aan de eindgebruiker te leveren op een kostenefficiënte wijze. (Herzig et al., 2017)

Tabel 19: overwegingen pijpleiding (eigen werk, gebaseerd op ACI-ATI)

Voordelen	Nadelen
Lage exploitatiekosten en grote volumes.	100% SAF is momenteel nog niet toegestaan op multi-product pijpleidingen (in bepaalde landen wel voor gemengde en gecertificeerde SAF).
Bestaande infrastructuur verbonden met veel luchthavens.	Hoge kapitaalkost voor nieuwe infrastructuur.
	SAF komt de pijpleiding binnen in opvolging van andere producten en is dus enkel te rechtvaardigen voor grote volumes.

¹³ Noord-Atlantische Verdragsorganisatie, NATO (Eng)

Het NPS werd uitgebouwd tijdens de Koude Oorlog om NAVO-strijdkrachten van brandstof te voorzien en het voorziet nog steeds de brandstofbehoeften met de flexibiliteit die de huidige omgeving vereist. Het NPS bestaat uit 10 verschillende opslag en distributiesystemen voor brandstoffen en verbindt opslagdepots, militaire en commerciële luchthavens, laadstations voor vrachtwagens en treinen, raffinaderijen en aan- en afvoerpunten met elkaar. Het NPS bestaat uit ongeveer 10.000 kilometer pijpleiding, loopt door 12 verschillende landen en heeft een opslagcapaciteit van 4.1 miljoen vierkante meter. (NATO, 2017)

Het NPS bestaat uit acht nationale pijpleidingsystemen (Griekenland, IJsland, Italië, Noorwegen, Portugal en Turkije (West en Oost)) en twee multinationale pijpleidingsystemen: het NEPS (North European Pipeline System), gelegen in Denemarken en Duitsland en het CEPS (Central European Pipeline System), gelegen in België, Frankrijk, Duitsland, G.H. Luxemburg en Nederland. Ook de Verenigde Staten zijn lid van CEPS (NATO, 2017)

Het CEPS is het grootste Europese netwerk, ongeveer 5.120 kilometer lang. Het transporteert jaarlijks 13 miljoen kubieke meter aan brandstoffen en heeft een opslagcapaciteit van 1,3 miljoen kubieke meter, verdeeld over 34 CEPS depots en 5 niet-NAVO depots. 24 van deze depots zijn uitgerust met laadstations voor vrachtwagens en treinen. Het CEPS-netwerk wordt op volgende bladzijde weergegeven. (NATO, 2017)

CEPS is verbonden met volgende belangrijke installaties:

- 5 maritieme havens (Rotterdam, Antwerpen, Gent, Le Havre & Marseille/Fos/Lavera);
- 18 raffinaderijen, verspreid over de belangrijkste Europese raffinaderij-sites;
- 14 grote civiele depots (vb. Schoten in België);
- 9 niet-CEPS militaire depots;
- 4 civiele pijpleidingen (vb. RMR-pijpleiding in Duitsland);
- 28 militaire basissen (vb. Beauvechain in België);
- 6 internationale luchthavens (Amsterdam, Luik-Bierset, Brussels Airport Zaventem, Köln/Bonn, Frankfurt en Luxemburg). (NATO, 2017)



Figuur 35: kaart CEPS (NATO)

9.6. Opslag en ingebruikname

9.6.1. Fysieke scheiding

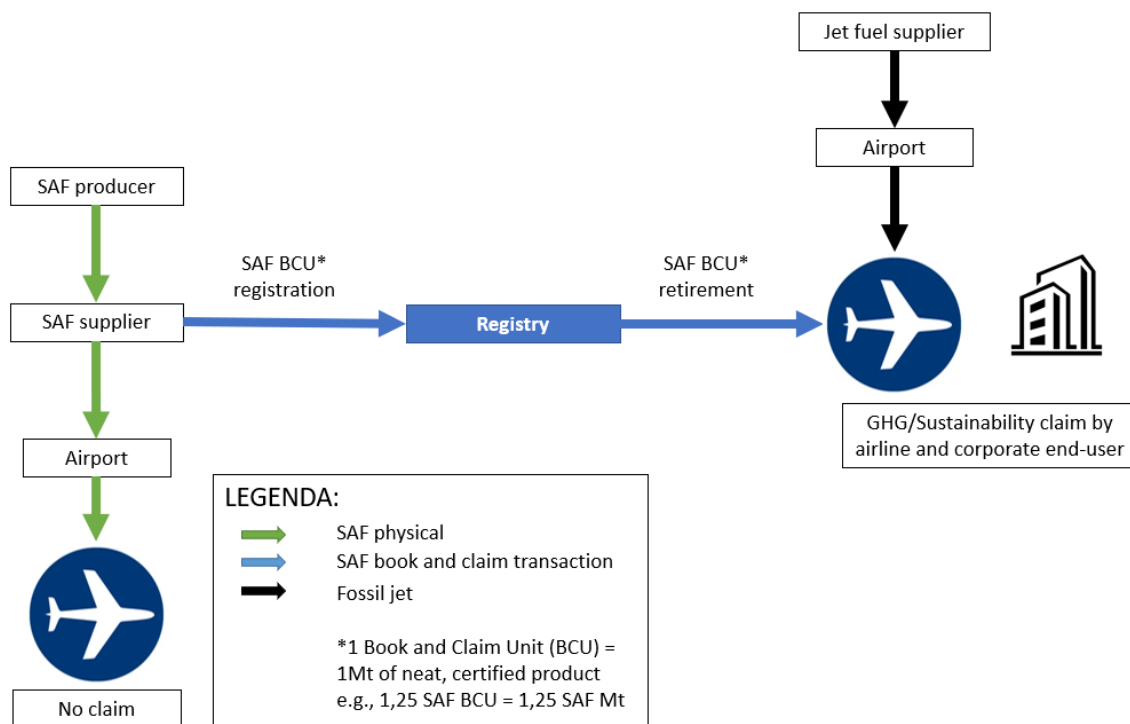
Voor de opslag en ingebruikname van SAF op de luchthavens zijn er verschillende mogelijkheden. In eerste instantie zullen sommige luchthavens opteren om het SAF-mengsel gescheiden te houden van conventionele vliegtuigbrandstoffen, zowel in opslagtanks als transportvoertuigen. Hierdoor wordt de levering en ingebruikname van SAF transparanter: luchtvaartmaatschappijen kunnen ervoor kiezen om bepaalde vluchten te laten vliegen met enkel SAF. Echter, door het scheiden van het SAF-mengsel en conventionele vliegtuigbrandstoffen, kunnen de kosten en complexiteit op de luchthavens die niet over afzonderlijke infrastructuur beschikken wel toenemen. Om beide types brandstof gescheiden te houden is er nood aan investeringen in extra infrastructuur en rollend materieel, waardoor er tweede toeleveringsketen ontstaat op de luchthaven. (Kelly, 2023)

9.6.2. Mass balance

Een tweede optie is om SAF op te slaan met behulp van *mass balance*, waarbij SAF in dezelfde tanks als conventionele vliegtuigbrandstoffen wordt gemengd en opgeslagen. SAF wordt vandaag de dag vaak aangeleverd als mengsel van 30-45% *neat-SAF*. Wanneer deze SAF wordt opgeslagen samen met conventionele vliegtuigbrandstoffen, wordt dit mengsel verder verdund voordat het gebruikt om vliegtuigen bij te tanken. Dit zorgt voor een efficiënte bevoorrading. Hoewel alle klanten die op de desbetreffende luchthaven tanken een deel van de SAF ontvangen (en dus de duurzame *feedstocks* in dit mengsel), kunnen enkel diegenen die de SAF kopen aanspraak maken op de bijhorende duurzaamheidsvoordelen. Dit wordt ondersteund door de onafhankelijke certificering die gepaard gaat met de aankoop van SAF. Dit principe geldt voor alle leveringen die via pijpleiding gebeuren. Het is onmogelijk om in een pijpleidingsysteem specifieke batches toe te wijzen aan specifieke klanten, aangezien er meerdere klanten op het pijpleidingnetwerk zitten en de capaciteit op dit soort netwerken vaak volledig benut wordt. (Kelly, 2023)

9.6.3. Book and claim

Een derde en laatste optie is het zogenaamde *book and claim*-systeem. Dit systeem zorgt voor CO₂ reductie door het gebruik van SAF, zonder fysiek verbonden te zijn aan de leverlocatie van deze SAF. Het systeem stelt brandstofleveranciers (vb. Air bp) in staat om SAF op één luchthaven te leveren en de bijhorende CO₂-reductie te boeken in een online register. De klant/eindgebruiker kan op een andere locatie (luchthaven) deze CO₂-reductie claimen door conventionele vliegtuigbrandstoffen aan te kopen, alsook de voordelen van de CO₂-reductie die online geregistreerd zijn. Dit online register wordt ook onafhankelijk beheerd om de geloofwaardigheid te waarborgen. Het *book and claim*-systeem kan helpen om een bredere toegang tot de markt te voorzien en de ingebruikname van SAF te bevorderen. Hierdoor stijgt de vraag naar SAF, waardoor de kosten op termijn zullen verlagen. (Kelly, 2023) Onderstaande figuur geeft een schematisch overzicht van hoe het *book and claim*-systeem werkt. (RSB, 2023)

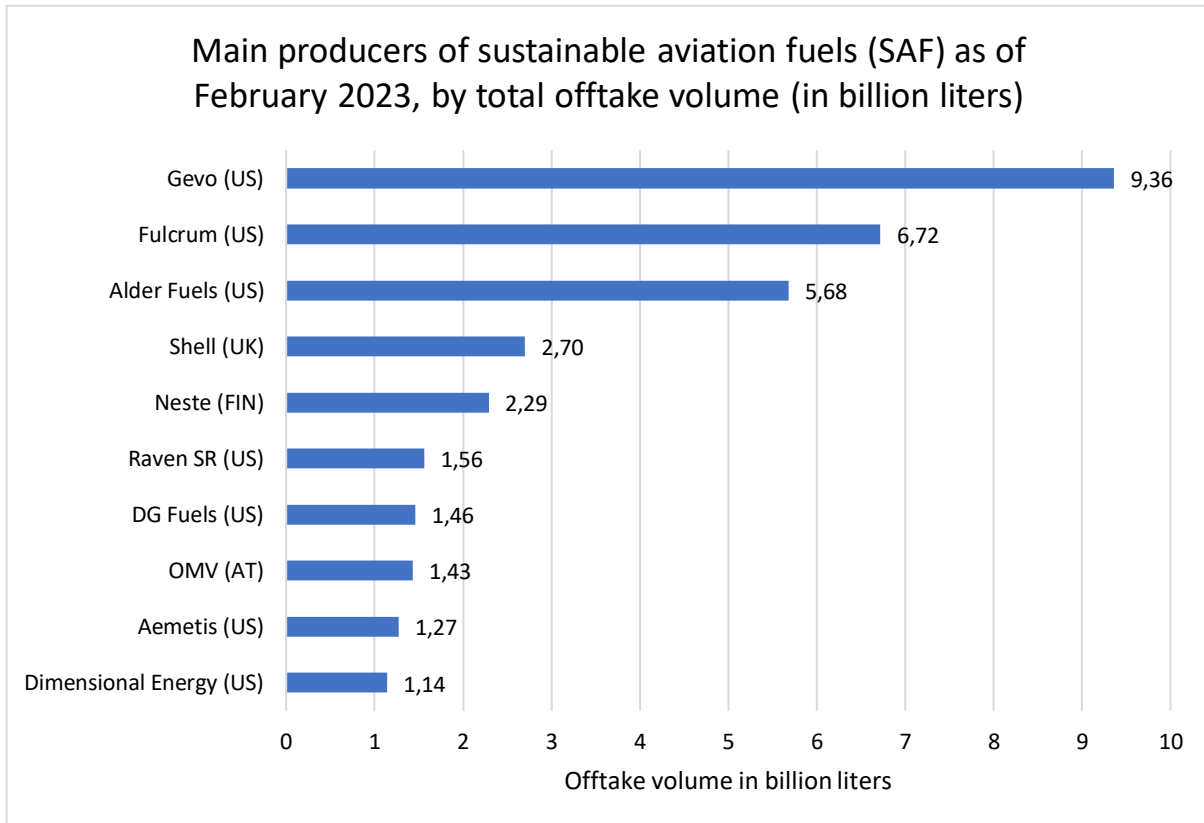


Figuur 36: book and claim (eigen werk, gebaseerd op RSB)

In deel 7 werden de huidige supply chains voor de verschillende Belgische luchthavens geschetst op basis van interviews en nieuwsartikelen. In deel 8 werd de huidige consumptie van vliegtuigbrandstoffen in België onderzocht, waarbij de totale vraag naar kerosine per luchthaven geschat werd. In deel 9 werden de verschillende schakels in de supply chain van vliegtuigbrandstoffen bestudeerd. Op basis van de informatie die beschreven werd in deze drie delen, zullen in het laatste deel van dit werkstuk voorstellen gedaan worden met betrekking tot het oprichten van supply chains voor SAF voor de verschillende Belgische luchthavens. Enkele luchthavens ontvingen reeds hun eerste leveringen SAF, waardoor er reeds een supply chain ontstaan/gebruikt is, terwijl dat voor andere luchthavens nog niet het geval is.

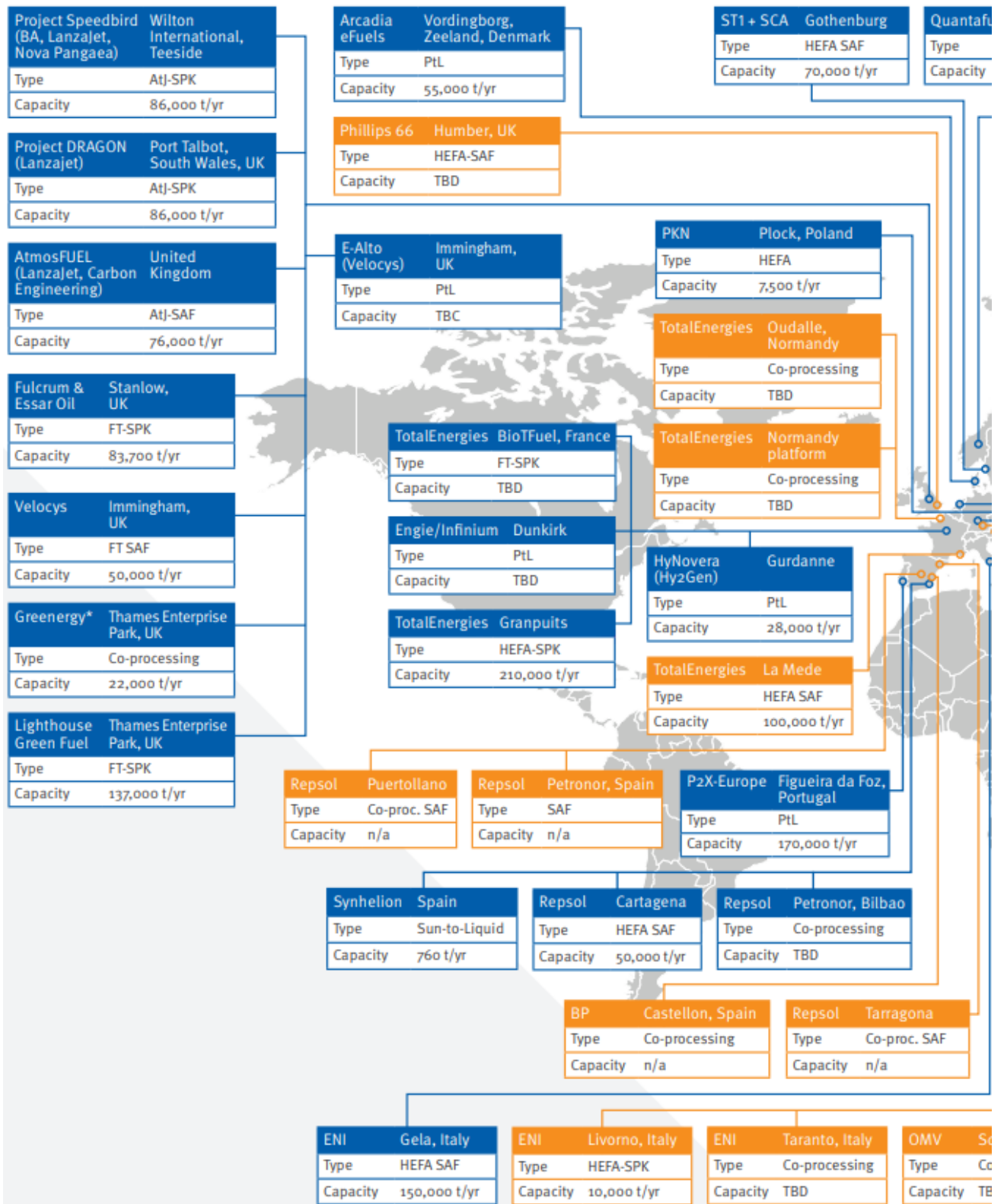
10. SAF supply chains in België

Anno 2023 zijn er heel wat producenten van SAF wereldwijd. De 10 grootste SAF producenten (op basis van *offtake* volumes) worden in onderstaande figuur weergegeven. (Statista, 2023) Het merendeel van deze producenten zijn gevestigd in de Verenigde Staten (US). Enkele producenten zijn gevestigd in Europa, zoals Shell (Verenigd Koninkrijk), Neste (Finland) en OMV (Oostenrijk).

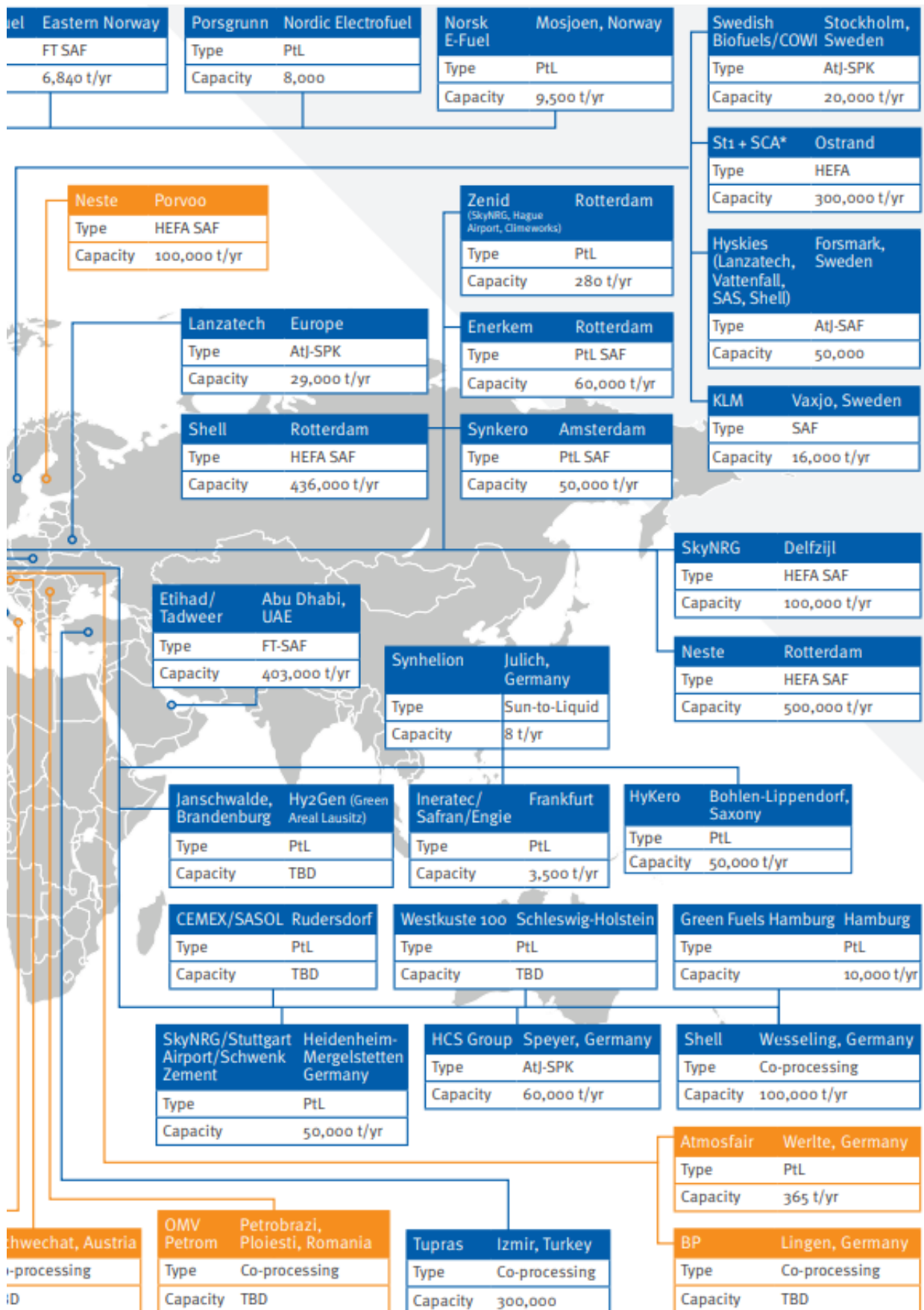


Figuur 37: belangrijkste SAF producenten wereldwijd (eigen werk, gebaseerd op Statista)

Om ten volle te kunnen genieten van de milieuvoordelen die de ingebruikname van SAF met zich teweeg brengt, zou de productie van (*neat*-)SAF liefst zo dicht mogelijk bij de plaats van ingebruikname (luchthavens) moeten plaatsvinden. De import van (*neat*-)SAF van buiten de Europese Unie veroorzaakt extra uitstoot door andere CO₂-uitstoot door het intercontinentale maritieme transport tussen bijvoorbeeld de Verenigde Staten en de Europese Unie. Daarom bekijken we in de figuur op de volgende bladzijde de productiecapaciteit van bioraffinaderijen in de Europese Unie. (Argus, 2022) Opgelet, de weergegeven productiecapaciteit vertegenwoordigt de totale productiecapaciteit (dus niet enkel voor SAF). Wegens de grootte van de kaart is deze opgesplitst in twee delen. De volledige kaart is terug te vinden in de bijlagen. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen productielocaties die reeds SAF produceren (oranje) en productielocaties die plannen om SAF te produceren (blauw). De laatste update van deze kaart was in februari 2022, waardoor het mogelijk is dat deze kaart niet volledig up-to-date is. De meest accurate kaart is terug te vinden in Figuur 19.



Figuur 38: Kaart SAF productie EU (deel 1)(Argus)



Figuur 39: Kaart productie SAF EU (deel 2)(Argus)

10.1. Brussels Airport

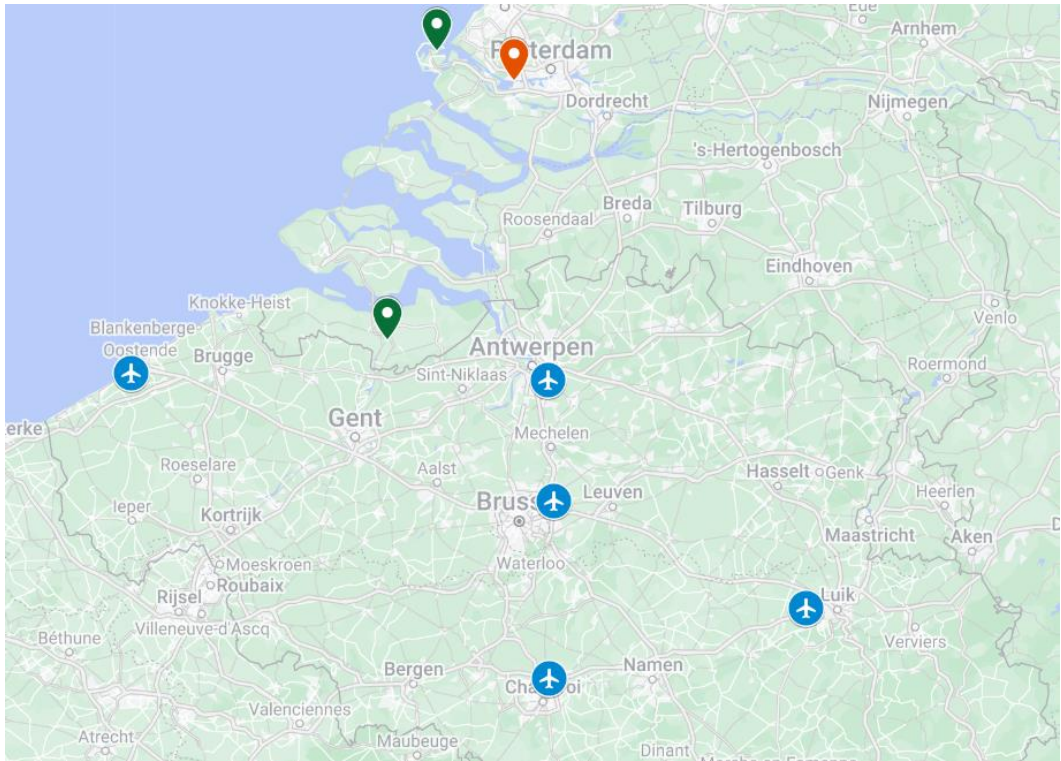
Brussels Airlines voerde op 1 januari 2023 haar eerste symbolische vlucht uit met SAF. Er was enkel sprake van een symbolische vlucht, aangezien pas op 1 januari 2023 voor het eerst SAF via het CEPS-netwerk getransporteerd werd. Brussels Airport kocht 2.000 vaten van elk 1.000 liter SAF met een mengpercentage van 38% (38% *neat*-SAF en 62% conventionele vliegtuigbrandstof). Deze SAF was dus op het moment dat het vliegtuig vertrok (van Brussel naar Malaga) nog niet aanwezig op Brussels Airport, maar de voordelen van SAF konden wel reeds geclaimd worden. Met de aankoop van 2 miljoen liter gemengde SAF kunnen bijna 400 vluchten tussen Brussel en Barcelona (ongeveer 2 uur vliegen) plaatsvinden met het vliegtuigtype A320. (Brussels Airport, 2023)

De leverancier van deze eerste symbolische levering van SAF is Neste. Neste is werelds grootste producent van hernieuwbare (vliegtuig)brandstoffen met productiesites in Rotterdam (Nederland, SAF productie operationeel in de loop van 2023), Porvoo (Finland) en Singapore. Daarnaast beschikt Neste over een site in Sluiskil (Nederland), waar hernieuwbare grondstoffen (*feedstocks*) worden opgeslagen en bewerkt vooraleer ze worden gebruikt om duurzame biobrandstoffen te produceren. De huidige productieactiviteiten (biodiesel en chemische producten) in de raffinaderij in Rotterdam gingen van start in 2011. Deze site is met ongeveer 1,4 miljoen ton jaarlijkse productiecapaciteit (2022) de grootste productiesite van biobrandstoffen in Europa. Tegen 2026 plant Neste deze site uit te breiden tot een jaarlijkse productiecapaciteit van 2,7 miljoen ton, waarvan 1,2 miljoen ton capaciteit voor SAF wordt voorzien. (Neste, 2022)

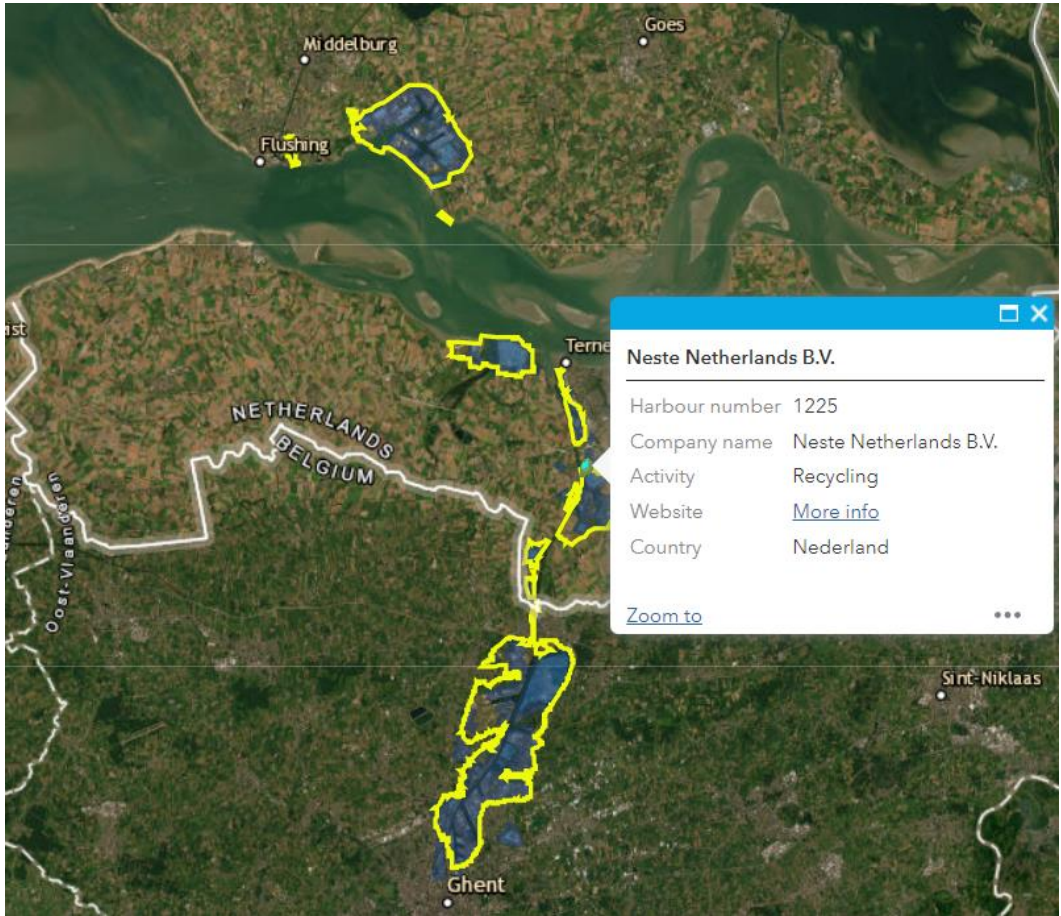
De bioraffinaderij in Rotterdam is gelegen in de Maasvlakte, een groot industriegebied aan de monding van de Maas. De vlakte ligt rechtstreeks aan de Noordzee en maakt deel uit van de haven van Rotterdam. De haven van Rotterdam is de grootste Europese haven en een hub voor producten en ruwe grondstoffen. In 2022 ontving de haven van Rotterdam een kleine 2,5 miljoen ton biomassa, 101 miljoen ton ruwe olie en 32,5 miljoen ton minerale olieproducten. (Port of Rotterdam, 2022)

Naast de grote raffinaderij in Rotterdam en de kleine raffinaderij in Sluiskil beschikt Neste ook over een grote terminallocatie in Vlaardingen (Nederland), vlak bij Rotterdam. De kaart op volgende bladzijde (Figuur 40) geeft de drie locaties van Neste in Nederland, alsook de verschillende Belgische luchthavens weer. In het groen zien we de twee raffinaderijen (Rotterdam en Sluiskil), in oranje de terminal (Vlaardingen) die dient als opslag en in het blauw de Belgische luchthavens.

Sluiskil (Zeeuws-Vlaanderen) is onderdeel van de *North Sea Port*, een samenwerking tussen de havens van Terneuzen, Vlissingen en Gent (*North Sea Port Ghent*). Het is via de raffinaderij in Sluiskil dat SAF in het CEPS-netwerk wordt geïnjecteerd, dat rechtstreeks verbonden is met de brandstofterminals op Brussels Airport. (Orban, 2023) De *neat*-SAF was afkomstig van de raffinaderij in Porvoo, Finland. (Whyte, 2023) De kaart op volgende bladzijde (Figuur 41) geeft weer hoe de *North Sea Port* (geel op de kaart) eruit ziet en waar exact de raffinaderij van Neste zich bevindt in Sluiskil. (North Sea Port, z.d.)

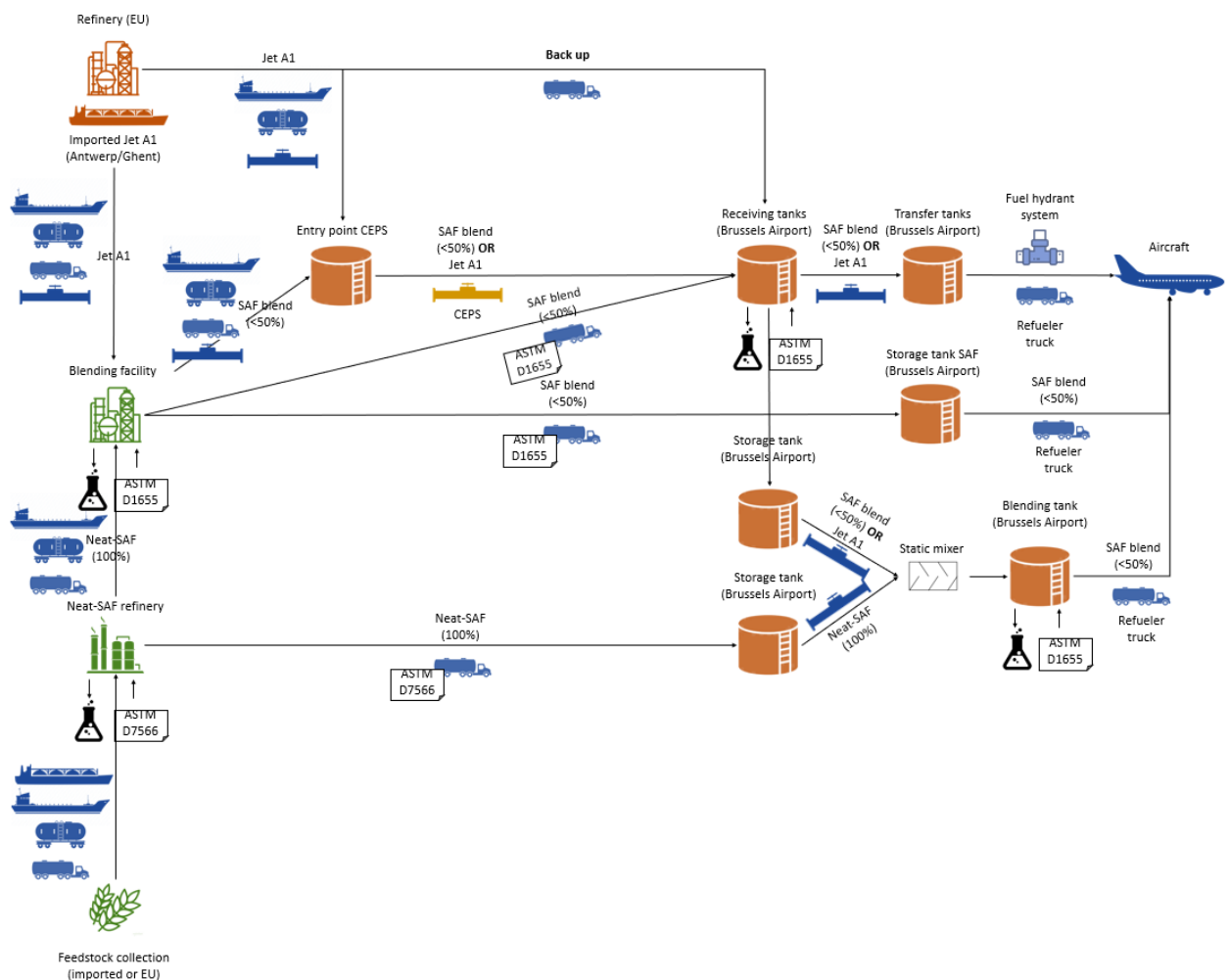


Figuur 40: Kaart Neste Nederland (eigen werk)



Figuur 41: Kaart North Sea Port (North Sea Port)

Op vlak van de SAF supply chain op Brussels Airport zijn er verschillende mogelijkheden. Onderstaande Figuur 42 geeft een overzicht van deze mogelijkheden.



Figuur 42: SAF supply chain Brussels Airport (eigen werk)

De eerste leveringen SAF werden geleverd door Neste. De verzamelde *feedstocks* (al dan niet geïmporteerd) worden geleverd aan een raffinaderij die *neat-SAF* produceert. De *neat-SAF* werd geproduceerd in de SAF-raffinaderij in Porvoo, Finland en goedgekeurd volgens ASTM D7566. (Whyte, 2023) Vervolgens werd deze *neat-SAF* getransporteerd naar de menginstallatie in Gent. In deze menginstallatie worden Jet A1 (geproduceerd in de Europese Unie of geïmporteerd) en *neat-SAF* gemengd en goedgekeurd volgens ASTM D1655. Het eindresultaat is een SAF mengsel met een mengpercentage van maximaal 50% *neat-SAF*. De menginstallatie in Gent is verbonden met het CEPS-netwerk, waardoor (bio)brandstoffen rechtstreeks tot in Brussels Airport kunnen worden getransporteerd via pijpleiding. Deze SAF kan onmiddellijk (na het uitvoeren van enkele tests ter controle) gebruikt worden als vliegtuigbrandstof. Via de *receiving* en *transfer* tanks kan de gemengde SAF tot aan de vliegtuigen worden getransporteerd door middel van het *fuel hydrant system* of *refueler trucks*.

In een tweede scenario worden zowel Jet A1 als reeds gemengde SAF (van een andere leverancier dan Neste) via het CEPS-netwerk of vrachtwagen aangeleverd aan de luchthaven. De brandstoffen komen samen terecht in een van de *receiving* tanks en worden daar opnieuw goedgekeurd volgens ASTM D1655. Doordat gemengde SAF en Jet A1 samen opgeslagen mogen worden, blijft de stroomafwaartss supply chain identiek. Daarnaast kan reeds gemengde SAF die aangeleverd wordt via vrachtwagens ook in een aparte tank opgeslagen worden, vooraleer de gemengde SAF in een vliegtuig terecht komt. Gemengde SAF die via pijpleiding aangeleverd wordt, kan nooit in een aparte opslagtank opgeslagen worden, omdat de verschillende batches niet van elkaar te onderscheiden zijn. Hierdoor werkt men voor SAF-leveringen via pijpleidingen met een *mass balance* systeem. (9.6.2) Een aparte opslagtank vereist wel een investering op het luchthaventerrein, waar vaak niet veel extra ruimte is om een dergelijke tank te bouwen.

Tenslotte is Brussels Airport, in samenwerking met Skytanking (fuel farm operator), van plan om tegen 2025 een eigen menginstallatie op het luchthaventerrein te bouwen en in gebruik te nemen. Deze investering valt onder het Stargate project en hiermee zou Brussels Airport de eerste luchthaven in de wereld worden die over een dergelijke menginstallatie *on-site* beschikt. (Brussels Airport, 2021) in deel 9.4.2 werden de voor- en nadelen van de verschillende menglocaties reeds toegelicht. Het mengen van SAF *on-site* betekent dat *neat-SAF* aangeleverd dient te worden op de luchthaven. Deze dient in een gescheiden opslagtank te worden opgeslagen in afwachting van de mengprocedure. Van zodra er vraag is naar SAF worden Jet A1 en *neat-SAF* samen gevoegd in een statische mixer en kan het mengproces van start gaan. Het mengsel wordt opgeslagen in een *blending* tank, waar het mengsel eerst goedgekeurd dient te worden volgens ASTM D1655. Na goedkeuring kan de gemengde SAF door middel van *refueler trucks* worden aangeleverd aan de vliegtuigen. Door SAF *on-site* te mengen zijn er minder vrachtwagens nodig die (*neat-*)SAF aanleveren. Eén vrachtwagen die 100% *neat-SAF* aanlevert vervangt drie vrachtwagens die een SAF met een mengpercentage van 33% aanlevert. Doordat Brussels Airport tegenwoordig SAF kan ontvangen via het CEPS-netwerk, is deze redenering niet echt van toepassing. Het *on-site* mengen brengt wel zware investeringen (CAPEX¹⁴ en OPEX¹⁵) met zich mee voor de luchthaven. FlyORO (Singapore), een supply chain integrator voor SAF, kondigde in April 2023 haar eerste modulaire SAF mengsysteem aan, de zogenaamde AlphaLite. Deze mobiele menginstallatie kan zonder zware investeringen aangesloten worden op de bestaande luchthavenbrandstofinfrastructuur. Net zoals andere menginstallaties kan deze mobiele installatie SAF mengen tot een mengpercentage van 50%. Het mengen zelf duurt slechts 20 tot 30 minuten en op slechts drie uur is de SAF klaar voor gebruik (mengen, certificeren en distribueren van de SAF). Op een dag kan één AlphaLite module 960.000 liter SAF produceren. Indien dit niet voldoende is voor een luchthaven, kunnen dankzij de modulaire en compacte infrastructuur (40 voet container) meerdere units toevoegt worden. (FlyORO, 2023) Op volgende bladzijde is de AlphaLite afgebeeld. Hoogstwaarschijnlijk zal de menginstallatie op Brussels Airport een vaste installatie zijn en geen mobiele zoals AlphaLite, hoewel dit niet bevestigd kan worden.

¹⁴ Capital Expenditures

¹⁵ Operating Expenditures



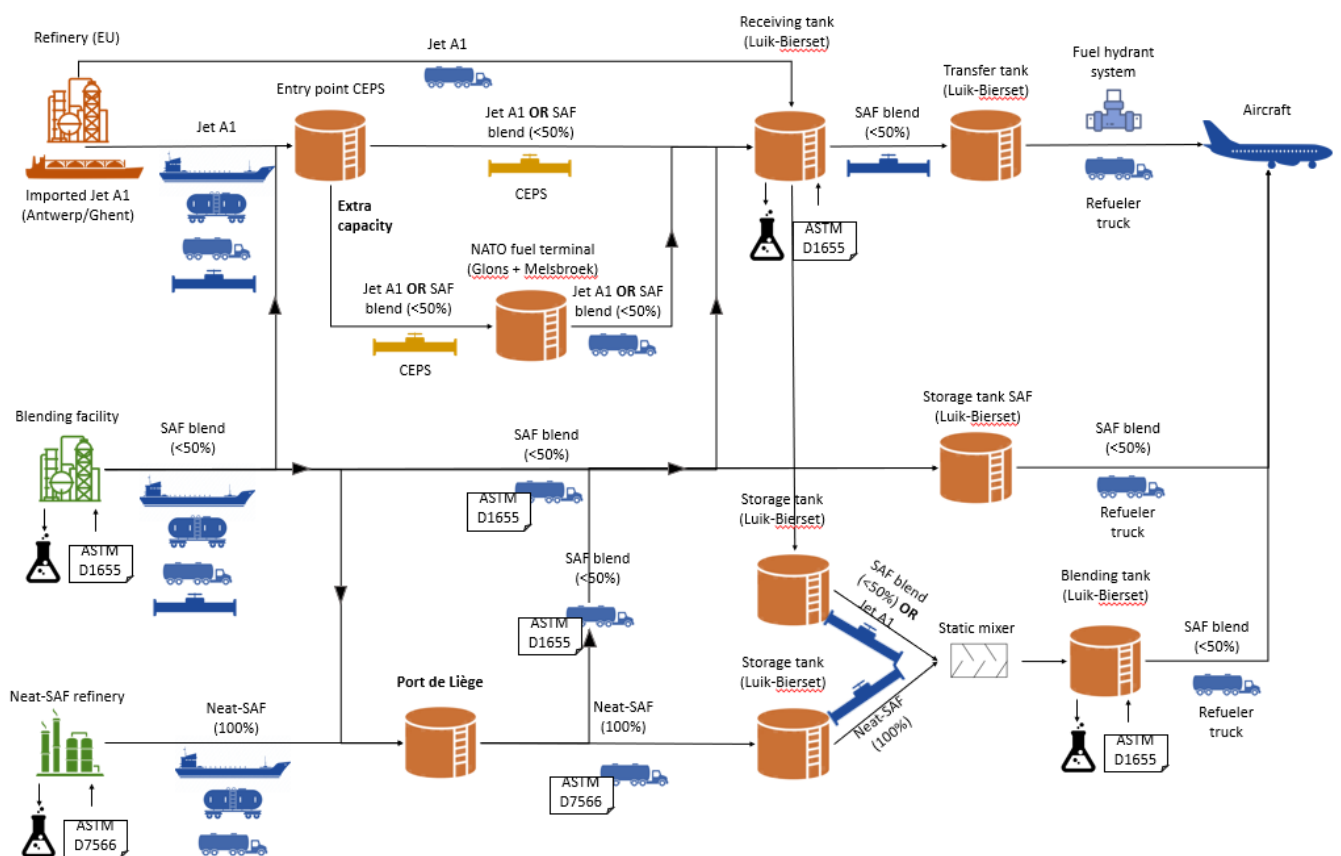
Figuur 43: mobiele menginstallatie AlphaLite (FlyORO)

10.2. Luik-Bierset

De luchthaven van Luik-Bierset is de tweede Belgische luchthaven die aangesloten is op het CEPS-netwerk. De SAF supply chain zal er voor Luik-Bierset grotendeels hetzelfde uitzien als die van Brussels Airport, hoewel er toch enkel verschillen zijn. Zoals reeds aangehaald in deel 7 is de diameter van de pijpleidingen van het CEPS-netwerk voor Luik-Bierset een stuk kleiner dan voor Brussels Airport, waardoor Luik-Bierset naast transport via pijpleidingen ook rekent op de toevoer van vliegtuigbrandstoffen via vrachtwagens.

Zowel Jet A1 als SAF kunnen rechtstreeks met een vrachtwagen worden geleverd aan een van de *receiving tanks* op de luchthaven vanuit een (bio)raffinaderij of als geïmporteerd massagoed. Beide types brandstoffen kunnen ook hier in dezelfde of gescheiden tanks worden opgeslagen vooraleer ze via het *fuel hydrant system* of *refueler truck* tot aan het vliegtuig worden geleverd. Zowel Jet A1 als SAF kunnen ook via verschillende vervoersmodi (binnenvaart, spoor- of wegvervoer of via pijpleiding) tot aan een ingangspunt van het CEPS-netwerk getransporteerd worden (Figuur 35), waar ze vervolgens worden geïnjecteerd om in de *receiving tank* op de luchthaven te worden ontvangen. De extra capaciteit wordt ter beschikking gesteld door de NATO brandstofterminals in Glons en Melsbroek, die beiden verbonden zijn met het CEPS-netwerk. Van hieruit vertrekken vrachtwagens naar de luchthaven met Jet A1 of reeds gemengde SAF, die op dat moment niet meer te onderscheiden zijn (omwille van het *mass balance* systeem).

In deel 7 werd reeds kort aangehaald dat het project om de Maas te verbinden met de luchthaven door middel van pijpleidingen niet is doorgegaan wegens een te hoge kost. Echter, de haven van Luik kan hiervoor een oplossing bieden. De haven van Luik beschikt over onder andere 285.000 m³ aan opslagtanks voor petroleumproducten. (port de Liège, 2023) Er is dus de mogelijkheid dat zowel gemengde SAF als *neat-SAF* via intermodaal transport (binnenvaart, spoor- of wegvervoer) tot in de haven van Luik kan worden getransporteerd. Vanuit deze haven kan gemengde SAF rechtstreeks aan de luchthaven worden geleverd via wegvervoer (15km) . *Neat-SAF* kan vanuit deze binnenhaven geleverd worden aan de opslagtank in de luchthaven indien men ervoor opteert om *on-site* te mengen. De luchthaven van Luik is de tweede grootste luchthaven van België op vlak van de vraag naar vliegtuigbrandstoffen (Tabel 7) en is daarnaast gekend voor lange afstandsvluchten (voornamelijk cargo) waardoor de investering in *on-site* mengen wel te overwegen is.

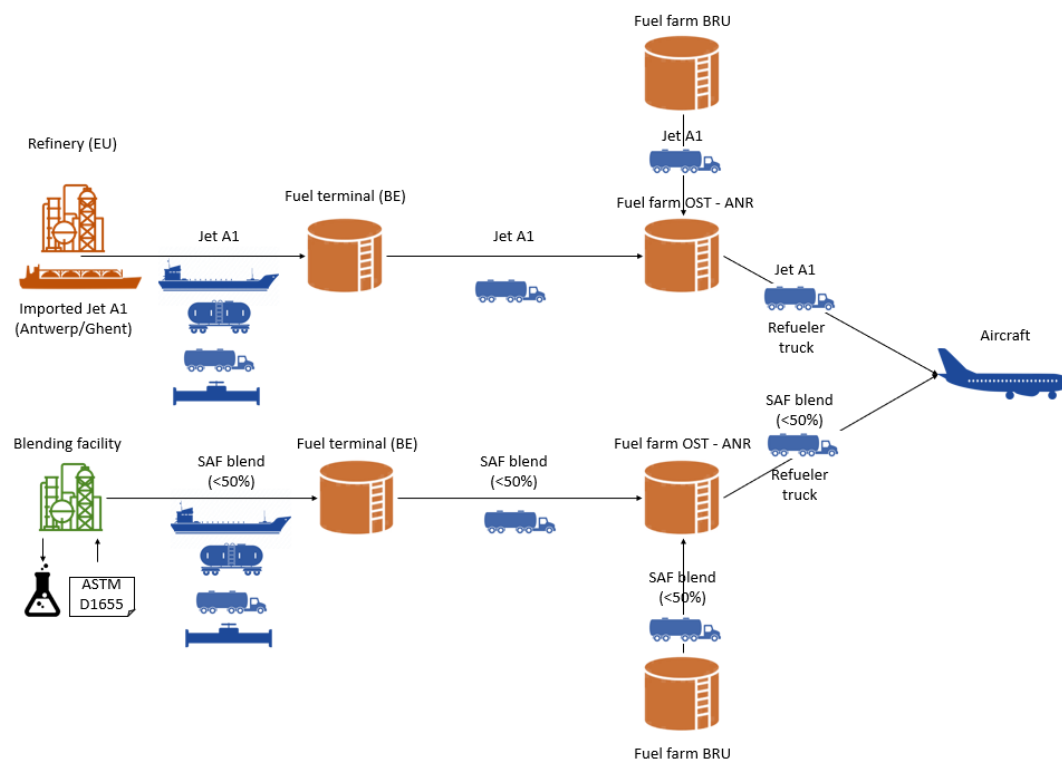


Figuur 44: SAF supply chain Luik-Bierset (eigen werk)

In 2022 was de totale vraag naar vliegtuigbrandstof voor Luik-Bierset ongeveer 521 miljoen liter (Tabel 7). Dat komt neer op ongeveer 1,43 miljoen liter per dag. Een vrachtwagen voor het vervoer van brandstoffen heeft een capaciteit tussen 20.000 en 45.000 liter. We gaan uit van een vulgraad van 40.000 liter per vrachtwagen. Indien 60% van de vraag naar vliegtuigbrandstoffen aangeleverd kan worden via het CEPS-netwerk en 40% via vrachtwagens (eigen veronderstelling), dienen er dagelijks bijna 15 vrachtwagens Jet A1 te lossen op de luchthaven van Luik-Bierset.

10.3. Oostende-Antwerpen

De luchthavens van Oostende en Antwerpen zijn niet aangesloten op het CEPS-netwerk. Deze luchthavens ontvangen hun Jet A1 enkel via wegvervoer. In 2022 vertegenwoordigde deze luchthavens een vraag naar Jet A1 van respectievelijk 39,74 en 11,70 miljoen liter per jaar. Dat is een vraag van respectievelijk 108.800 liter en 32.000 liter per dag. Indien een vrachtwagen 40.000 liter kan transporteren heeft Oostende nood aan drie vrachtwagens per dag en Antwerpen slechts één. Hoewel het brandstofverbruik voor beide luchthavens slechts een zeer klein deel uitmaakt van de totale Belgische vraag naar vliegtuigbrandstoffen (laat staan wereldwijd), wordt er toch een voorstel geformuleerd voor de introductie van SAF voor deze luchthavens. Omdat de luchthavens zo klein zijn in oppervlakte en enkel bereikbaar zijn via wegvervoer, is de SAF supply chain eigenlijk exact dezelfde als de Jet A1 supply chain voor deze luchthavens. Wegens de kleine omvang haal van de luchthavens is het investeren in een menginstallatie overbodig en zullen beide luchthavens enkel rekenen op reeds gemengde SAF vanuit een of meerdere bioraffinaderijen in de omgeving. Deze gemengde SAF kan via verschillende transportmodi (binnenvaart, spoor-of wegvervoer of via pijpleiding) naar een brandstofterminal getransporteerd worden. Vervolgens zullen de luchthavens via uitsluitend wegvervoer bevoorradt worden. Een andere optie, die ook reeds wordt toegepast voor de levering van Jet A1 vliegtuigbrandstoffen, is dat vrachtwagens bij nabij gelegen luchthavens (bijvoorbeeld Brussels Airport) vliegtuigbrandstoffen gaan ophalen om ze vervolgens naar Oostende/Antwerpen te transporteren. Onderstaande figuur geeft een overzicht van de geschetste supply chain. Tot op heden zijn deze luchthavens nog niet bezig met het implementeren van SAF, maar de ingebruikname van SAF zou maar weinig invloed hebben op de huidige toeleveringsketen van vliegtuigbrandstoffen.

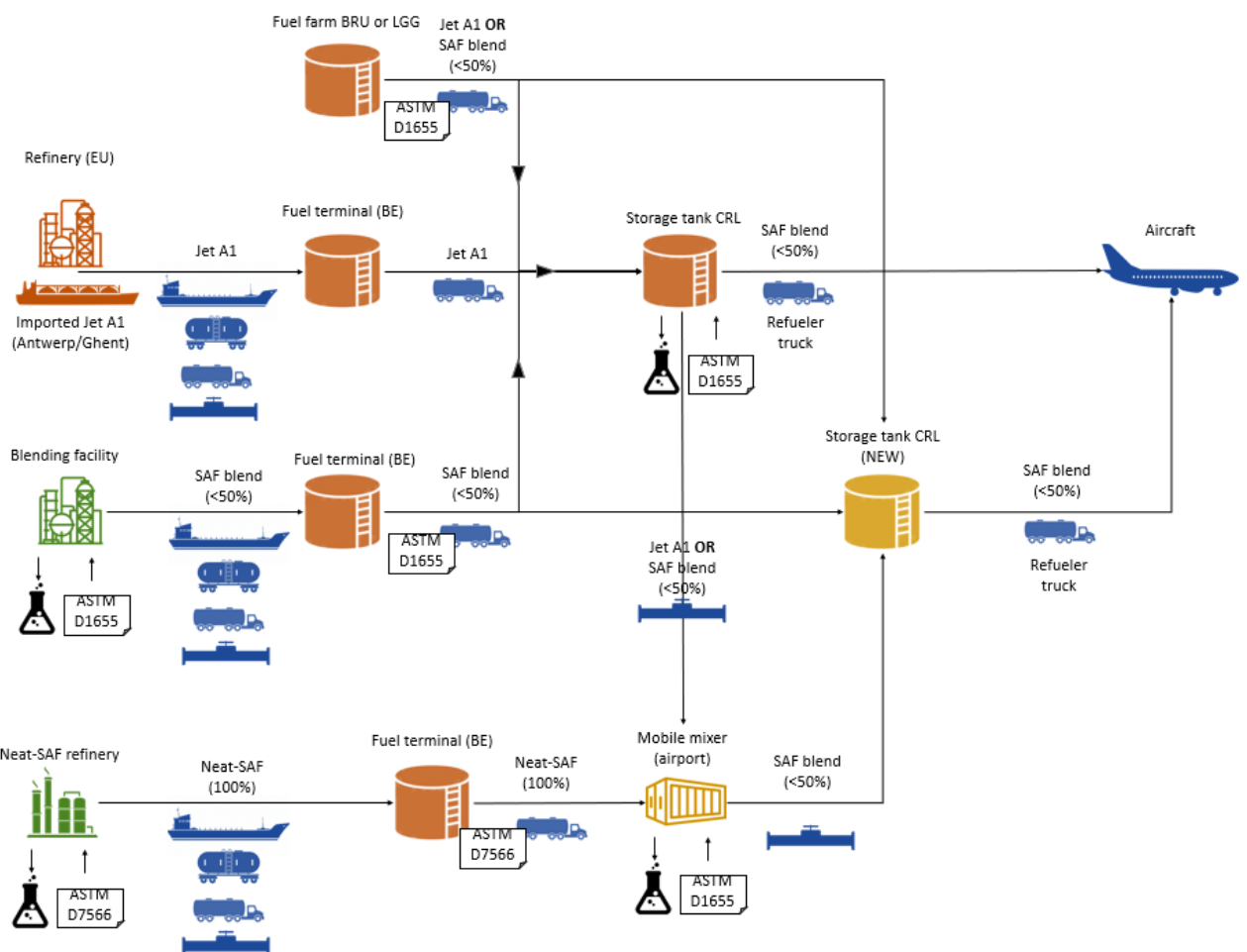


Figuur 45: SAF supply chain Oostende-Antwerpen (eigen werk)

10.4. Charleroi

De luchthaven van Charleroi is niet aangesloten op het CEPS-netwerk. Net zoals bij de luchthavens van Oostende en Antwerpen wordt Jet A1 enkel aangeleverd via het wegvervoer. Toch zijn er verschillende mogelijkheden voor Brussels South Charleroi Airport (BSCA). In 2022 was de totale vraag naar vliegtuigbrandstoffen voor Charleroi 373,13 miljoen liter, ofwel 1,02 miljoen liter per dag, wat neerkomt op 20 à 25 vrachtwagens per dag die brandstoffen leveren.

Onderstaande figuur schetst een overzicht van de mogelijke opties voor een SAF supply chain voor BSCA.

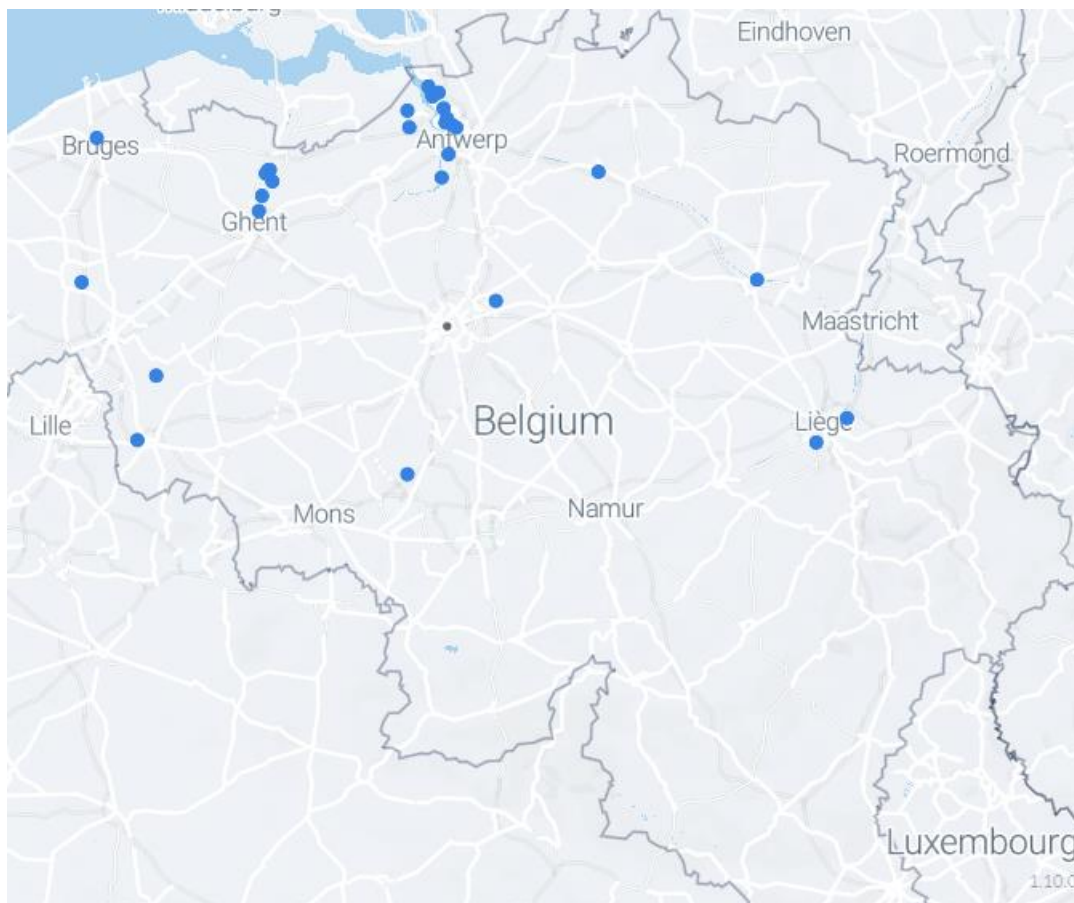


Figuur 46: SAF supply chain Charleroi (eigen werk)

Initieel wordt Jet A1 door middel van verschillende vervoersmodi vanuit de raffinaderij (of import) getransporteerd naar een brandstofterminal. Van hieruit transporteren vrachtwagens de Jet A1 naar de opslagtank in Charleroi. De *fuel farm* op BSCA bestaat slechts uit één tank. Indien er niet wordt geïnvesteerd in een bijkomende brandstoftank zijn de opties eerder beperkt. Gemengde SAF kan vanuit een menginstallatie via een brandstofterminal tot op de luchthaven getransporteerd worden, waarden gemengde SAF en Jet A1 in eenzelfde tank worden opgeslagen in afwachting van hun gebruik. Daarnaast kan BSCA zijn brandstof (zowel Jet A1 als gemengde SAF) bij andere luchthavens gaan halen (Brussels Airport of Luik-Bierset) indien deze luchthavens hun gemengde SAF in een aparte opslagtank opslaan (en niet samen met Jet A1).

Vervolgens wordt het mengsel uit deze tank opnieuw getest en *via refueler trucks* naar de vliegtuigen getransporteerd. Indien BSCA investeert in een nieuwe brandstoftank, zijn er meer opties mogelijk. Gemengde SAF kan dan vanuit een brandstofterminal rechtstreeks in deze tank worden opgeslagen en dus gescheiden blijft van Jet A1. Daarnaast kan gemengde SAF vanuit andere luchthavens (Brussels Airport en Luik-Bierset) ook rechtstreeks in deze tank worden opgeslagen. De nieuwe tank zorgt er ook voor dat het mogelijk wordt om *neat-SAF* zelf te mengen met Jet A1 door middel van een mobiele mixer (zie pagina 77). De *neat-SAF* wordt vanuit een raffinaderij getransporteerd naar een brandstofterminal. Vervolgens wordt deze neat-SAF door middel van wegvervoer naar de luchthaven getransporteerd, waar deze gemengd wordt met Jet A1 in de mobiele mixer. Vervolgens wordt de mengeling goedgekeurd volgens ASTM D1655 en kan de mengeling door middel van pijpleidingen naar de opslagtank worden getransporteerd. Tenslotte gebruikt men *refueler trucks* om vliegtuigen te voorzien van deze gemengde SAF.

Onderstaande kaart geeft een overzicht van de verschillende brandstofterminals in België die gebruikt worden voor de opslag van zowel kerosine als biobrandstoffen. (Tankterminals, 2023)

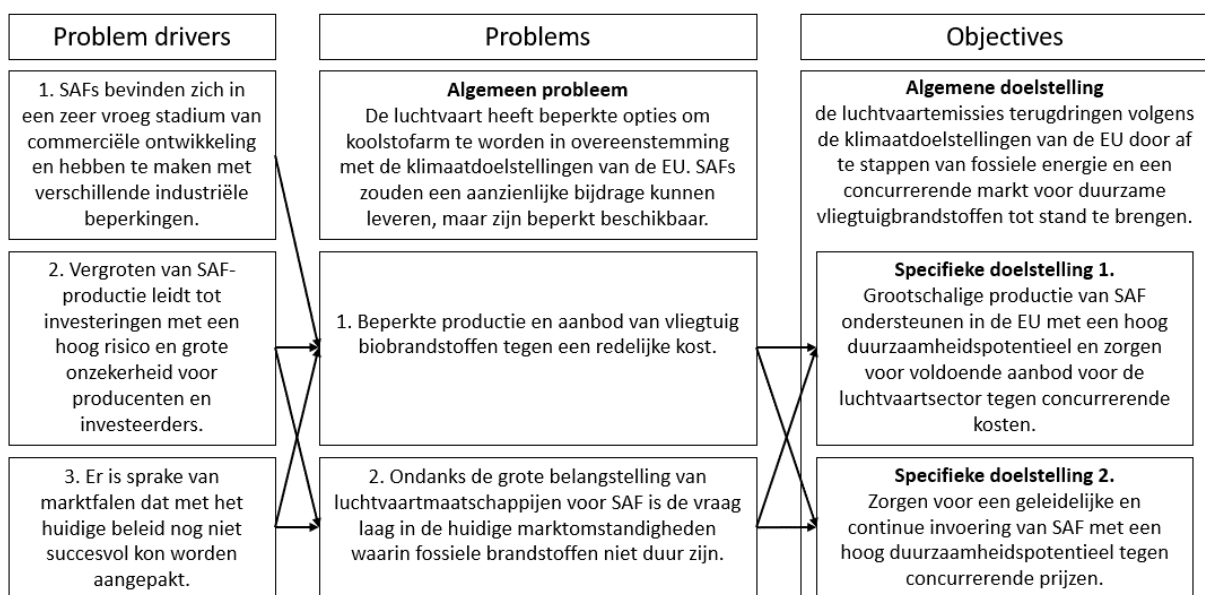


Figuur 47: tankterminals België (Tankterminals.com)

11. Beleidsopties in de Europese Unie

11.1. Probleemdefinitie

SAFs zijn een technologisch haalbare oplossing om conventionele vliegtuigbrandstoffen te vervangen en kunnen als *drop-in* brandstoffen worden gemengd met conventionele vliegtuigbrandstoffen, waardoor er geen nood is aan technologische veranderingen in vliegtuigmotoren. Analyses tonen aan dat er potentieel is om tegen 2030 en 2050 een geleidelijk toenemend aandeel van de EU-luchtvaart te bereiken door middel van SAF, indien aanvullend beleid wordt gevoerd. Dit kan enkel indien de twee grootste problemen worden aangepakt waar men vandaag de dag mee geconfronteerd wordt: de productie en vraag in de huidige marktomstandigheden zijn vrij laag. In onderstaande figuur wordt de probleemdefinitie geschetst. (Europese Commissie, 2021)



Figuur 48: probleemdefinitie beleidsmaatregelen (eigen werk, gebaseerd op de Europese Commissie)

Om bovenstaande probleemdefinitie aan te pakken in het kader van het ReFuelEU initiatief, formuleerde de Europese Commissie verschillende beleidsmogelijkheden (PO, *Policy Option*).

11.2. Policy Option A1: verplichting op de aanbodzijde (volume)

Deze beleids optie houdt in dat brandstofleveranciers verplicht worden om te allen tijden een minimaal aandeel SAF (uitgedrukt in volume) fysiek dienen aan te leveren aan alle EU-luchthavens. Dit betekent dat elke liter vliegtuigbrandstof die aan luchthavens wordt geleverd vanaf 2025 gemengd dient te worden met een minimaal aandeel SAF. Hierdoor worden luchtvaartmaatschappijen die actief zijn op routes binnen en buiten de Europese Unie geen andere keuze dan gemengde SAF te gebruiken bij het vertrek vanaf Europese luchthavens. Het verwachte minimaal aandeel van SAF dat geleverd moet worden komt overeen met het aandeel geformuleerd in het ReFuelEU initiatief (Tabel 8).

De monitoring, rapportering en verificatie van deze verplichting gebeurt via specifieke mechanismen, geformuleerd onder RED II. Eventuele sancties die worden opgelegd aan brandstofleveranciers in geval van niet-naleving van deze verplichting worden bepaald op Europees niveau en indien nodig jaarlijks herzien. Fondsen uit deze boetes worden opnieuw geïnjecteerd in een EU-fonds voor de ontwikkeling van SAF. (Europese Commissie, 2021)

11.3. Policy Option A2: verplichting op de aanbodzijde (CO₂-intensiteitsvermindering)

Deze beleids optie is vergelijkbaar met de eerste beleids optie, met uitzondering van de doelstelling. Deze verplichting legt brandstofleveranciers een minimale vermindering van de CO₂-intensiteit op (d.w.z. de CO₂-emissies gedurende de levenscyclus per eenheid energie) van de totale aangeleverde vliegtuigbrandstof. De vermindering van de CO₂-intensiteit van vliegtuigbrandstoffen in beleids optie A2 is ontworpen om op termijn dezelfde vermindering in CO₂-uitstoot te behalen in de luchtvaartindustrie als beleids optie A1. De monitoring, rapportering en verificatie gebeurt op dezelfde manier als in beleids optie A1, met uitzondering dat brandstofleveranciers verplicht worden de CO₂-intensiteit van de aangeleverde SAF in te geven in een centrale Europese databank. (Europese Commissie, 2021)

11.4. Policy Option B1: verplichting op de vraagzijde (binnen en buiten de EU)

Deze beleids optie bestaat uit het opleggen van een verplichting aan luchtvaartmaatschappijen om een minimumaandeel SAF te gebruiken (uitgedrukt in volume) als onderdeel van hun totale vliegtuigbrandstofverbruik voor vluchten binnen de EU en vluchten van een EU-luchthaven naar een luchthaven buiten de EU. Dit minimumaandeel komt overeen met het aandeel geformuleerd in het ReFuelEU initiatief (Tabel 8). Een luchtvaartmaatschappij is niet strikt verplicht om op elke vlucht gebruik te maken van SAF, zolang deze maar kan aantonen dat ze het gemiddelde minimumaandeel van SAF heeft gebruikt in elke verslagperiode van een jaar. Aangezien sommige luchtvaartmaatschappijen geen fysieke toegang hebben tot SAF op de luchthavens waar zij vluchten aanbieden, stelt een transactiesysteem hen in staat om SAF aan te kopen en de voordelen ervan te claimen, zelfs indien de SAF niet fysiek gebruikt wordt op die luchthaven (9.6, *Book and Claim* principe). De monitoring, rapportering en verificatie van het SAF-gebruik wordt gewaarborgd via de specifieke mechanismen onder de *EU-ETS Monitoring and Reporting Regulation*. Sancties die worden opgelegd aan luchtvaartmaatschappijen in geval van niet-naleving worden bepaald op EU-niveau (die indien nodig jaarlijks worden herzien) en worden gehandhaafd op nationaal niveau. De geïnde boetes worden geïnjecteerd in een EU-fonds voor de ontwikkeling voor SAF. (Europese Commissie, 2021)

11.5. Policy option B2: verplichting op de vraagzijde (binnen de EU)

Deze beleids optie is vergelijkbaar met beleids optie B1, behalve dat het toepassingsgebied wordt beperkt tot vluchten binnen de Europese Unie. Dit betekent dat luchtvaartmaatschappijen worden verplicht een minimum aandeel SAF (uitgedrukt in volume) dienen te gebruiken als onderdeel van hun totale brandstofverbruik op vluchten binnen de EU. Luchtvaartmaatschappijen die enkel intra-Europese vluchten aanbieden dienen dit beperktere toepassingsgebied niet te compenseren.

Met andere woorden, zij moeten hetzelfde minimumaandeel aan SAF gebruiken als beleidsoptie B1 (dat van toepassing is op vluchten binnen én buiten de EU en dus een hoger minimumaandeel aan SAF heeft), maar enkel toegepast op de totale hoeveelheid vliegtuigbrandstof die wordt gebruikt op vluchten binnen de EU. Hierdoor resulteert beleidsoptie B2 in een lagere CO₂-reductie in het luchtvervoer dan alle andere beleidsopties. De monitoring, rapportering en verificatie van het SAF-gebruik wordt gewaarborgd via de specifieke mechanismen onder de *EU-ETS Monitoring and Reporting Regulation*. (Europese Commissie, 2021a)

11.6. Policy Option C1: verplichting inzake levering en toename SAF (volume)

In beleidsoptie C1 worden brandstofleveranciers verplicht om fysiek een minimumaandeel SAF te leveren (uitgedrukt in volume) op alle Europese luchthavens na 2035. Dit betekent dat elke liter vliegtuigbrandstof die aan luchthavens wordt geleverd, moet worden gemengd met een minimumaandeel SAF. Luchtvaartmaatschappijen (zowel EU als niet-EU) die actief zijn op routes binnen en buiten de EU en vliegtuigen hebben die opstijgen vanaf het grondgebied van de EU worden verplicht om gemengde vliegtuigbrandstoffen te gebruiken. Dit minimumaandeel komt overeen met het aandeel geformuleerd in het ReFuelEU initiatief (Tabel 8). Tijdens de overgangperiode (van 2025 tot 2035) kunnen SAF leveranciers gebruik maken van SAF transacties, waarbij ze voldoen aan de minimumhoeveelheden, maar niet alle luchthavens bedienen. Na 2035 worden ze verplicht om wél alle luchthavens te voorzien van SAF. De monitoring, rapportering en verificatie van deze verplichting gebeurt via specifieke mechanismen, geformuleerd onder RED II. Sancties die worden opgelegd aan luchtvaartmaatschappijen in geval van niet-naleving worden bepaald op EU-niveau (die indien nodig jaarlijks worden herzien) en worden gehandhaafd op nationaal niveau. De geïnde boetes worden geïnjecteerd in een EU-fonds voor de ontwikkeling voor SAF. Om een kosten efficiëntere SAF-levering in de eerste jaren van deze verplichting mogelijk te maken, geldt een tweefasige overgangperiode (van 2025 tot 2030 en van 2030 tot 2035):

- Tussen 2025 en 2030 dienen brandstofleveranciers te voldoen aan jaarlijkse de stijgingsdoelstellingen (5% in 2030 en 20% in 2035) en kunnen ze EU-luchthavens voorzien van SAF tussen 0% en 50%, wat overeenkomt met de huidige limiet voor gecertificeerde SAF-mengsels. Dit betekent dat leveranciers niet verplicht zijn om SAF te distribueren op alle EU-luchthavens, zolang ze aan de jaarlijkse stijgingsdoelstellingen voldoen.
- Tussen 2030 en 2035 dienen brandstofleveranciers te voldoen aan de algemene stijgingsdoelstellingen, maar moeten ze alle EU-luchthavens voorzien van SAF tussen 2% en 50%. Dit wil zeggen dat elke liter vliegtuigbrandstof minstens 2% SAF moet bevatten.

Daarnaast bevat deze beleidsoptie maatregelen met betrekking tot *anti-tankering* praktijken. Alle luchtvaartmaatschappijen (EU en niet-EU) die vertrekken vanaf EU-luchthavens zijn verplicht om vóór vertrek vliegtuigbrandstoffen te tanken. De hoeveelheid getankte brandstof moet overeenkomen met de hoeveelheid brandstof die nodig is om de geplande vlucht uit te voeren (inclusief veiligheidsmarges), ongeacht de bestemming.

Hierdoor zijn de hogere brandstofkosten die SAF met zich meebrengt van toepassing op alle luchtvaartmaatschappijen, waardoor Europese luchtvaartmaatschappijen niet lijden onder concurrentienadeel. (Europese Commissie, 2021)

11.7. Policy Option C2: verplichting inzake levering en toename SAF (CO₂-intensiteitsvermindering)

Beleids optie C2 is gelijkaardig aan beleids optie C1, met uitzondering van de beoogde doelstellingen. Deze verplichting legt brandstofleveranciers een minimale vermindering op van de CO₂-intensiteit met betrekking tot de totale hoeveelheid geleverde vliegtuigbrandstoffen. De monitoring, rapportering en verificatie gebeurt op dezelfde manier als in beleids optie C1, met uitzondering dat brandstofleveranciers verplicht worden de CO₂-intensiteit van de aangeleverde SAF in te geven in een centrale Europese databank. (Europese Commissie, 2021)

Beleids opties C1 en C2 worden beschouwd als de meest efficiënte en effectieve manier om CO₂-reducties in de luchtvaartsector te bereiken. Deze opties komen overeen met een totale CO₂-vermindering van respectievelijk 60,8% en 60,2% voor C1 en C2. Het verschil in besparingen is minimaal. Beide beleids opties maken het mogelijk om de SAF-productie en opname op EU-niveau met succes op te schalen en tegen 2050 het gebruik van fossiele vliegtuigbrandstoffen te verminderen met ongeveer 65%. Tegen 2050 zal volgens beleids opties C1 en C2 het aandeel SAF 70% zijn in de vliegtuigbrandstofmix. Tegen 2050 zal 92% van alle SAF die aan de EU-markt wordt geleverd, geproduceerd zijn in de EU, met grondstoffen en hernieuwbare elektriciteit die afkomstig zijn uit de EU. (Europese Commissie, 2021)

12. Conclusie

In de zoektocht naar een duurzame luchtvaartindustrie blijkt SAF de heilige graal te zijn. Er is reeds veel onderzoek gedaan naar de *feedstocks*, productieprocessen, milieuvoordelen, regelgeving, productiekosten enzovoort, maar het ontwerp van SAF supply chains is tot vandaag de dag eerder verwaarloosd. Om de Belgische luchtvaartindustrie duurzamer te maken, kan SAF op de volgende manieren geïntegreerd worden in de huidige toeleveringsketen van vliegtuigbrandstoffen: het mengen van SAF kan plaatsvinden in een brandstofterminal, in een raffinaderij, op de luchthaven of in een pijpleiding. Elk van deze opties heeft zijn voor- en nadelen. De transportwijze om vliegtuigbrandstoffen te vervoeren hangt af van enkele elementen, zoals de plaats van productie, het soort brandstof, de kosten en geproduceerde volumes. De meest gebruikte transportmodi zijn: zeeschip, vrachtwagen, spoor, binnenschip en pijpleiding, waarbij deze laatste de meest kostenefficiënte wijze van transport is (indien de infrastructuur reeds aanwezig is).

De luchthaven van Brussels Airport en Luik-Bierset zijn de grootste Belgische luchthavens op vlak van consumptie van vliegtuigbrandstoffen, waardoor zij de meeste opties hebben om SAF te gebruiken in de vliegtuigen die hier vertrekken. De meest voor de hand liggende optie voor beide luchthavens is het gebruik maken van het CEPS-netwerk voor de aanlevering van SAF. Daarnaast is het mengen *on-site* ook mogelijk, maar hiervoor is er nood aan additionele investeringen. De binnenhaven van Luik zou hier een belangrijke rol in kunnen spelen.

Voor de overige drie Belgische luchthavens, Charleroi, Oostende en Antwerpen, zijn er minder opties omwille van de kleine omvang van deze luchthavens. De meest voor de hand liggende optie is gebruik te maken van de huidige supply chain, voornamelijk wegvervoer, voor de aanlevering van SAF. Charleroi zou kunnen overwegen om een mobiele menginstallatie in gebruik te nemen, waarvoor ook weer additionele investeringen nodig zijn.

Ongeacht welke optie gekozen wordt, de SAF supply chains in België (en in de rest van de wereld) zullen complexer worden dan de huidige supply chains. Elke luchthaven is uniek op vlak van infrastructuur, grootte, bereikbaarheid, logistiek enzovoort, waardoor men nooit twee identieke scenario's zal bekomen. Om tegen 2050 een CO₂-neutrale luchtvaartindustrie te realiseren, zullen luchthavens, luchtvaartmaatschappijen, brandstofleveranciers, tankoperatoren, logistieke dienstverleners enzovoort samen moeten zitten om voor alle stakeholders de beste oplossing te vinden.

13. Bronvermelding

- About *CORDIS* | *CORDIS* | *European Commission*. (z.d.). Geraadpleegd 13 februari 2023, van <https://cordis.europa.eu/about>
- Ad, M. (2011). *Sept mille litres de kérosène en moyenne par avion*. La Libre.be. <https://www.lalibre.be/regions/hainaut/2011/11/02/sept-mille-litres-de-kerosene-en-moyenne-par-avion-JGEDHFCVY5GZDH6WZTDEWH6KMM/>
- Ahmad, S., Ouenniche, J., Kolosz, B. W., Greening, P., Andresen, J. M., Maroto-Valer, M. M., & Xu, B. (2021). A stakeholders' participatory approach to multi-criteria assessment of sustainable aviation fuels production pathways. *International Journal of Production Economics*, 238, 108156. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108156>
- AIP for *BELGIUM (section AD-2.EBAW)* (BELGIUM). (2023, april 6). https://ops.skeyes.be/html/belgocontrol_static/eaip/eAIP_Main/html/eAIP/EB-AD-2.EBAW-en-GB.html
- AIP for *BELGIUM (section AD-2.EBCI)* (BELGIUM). (2023, april 6). https://ops.skeyes.be/html/belgocontrol_static/eaip/eAIP_Main/html/eAIP/EB-AD-2.EBCI-en-GB.html
- AIP for *BELGIUM (section AD-2.EBLG)* (BELGIUM). (2023, april 6). https://ops.skeyes.be/html/belgocontrol_static/eaip/eAIP_Main/html/eAIP/EB-AD-2.EBLG-en-GB.html
- AIP for *BELGIUM (section AD-2.EBOS)* (BELGIUM). (2023, april 6). https://ops.skeyes.be/html/belgocontrol_static/eaip/eAIP_Main/html/eAIP/EB-AD-2.EBOS-en-GB.html
- Airports Council International, & Aerospace Technology Institute. (2022). *Integration of Sustainable Aviation Fuels into the air transport system*. <https://www.ati.org.uk/wp-content/uploads/2022/06/saf-integration.pdf>
- Argus. (2022). *Argus SAF Global Capacity Map 2022—February Update XII*. <https://view.argusmedia.com/rs/584-BUW-606/images/Argus%20SAF%20Global%20Capacity%20Map%202022%20-%20February%20Update%20XII.pdf>
- ATAG. (2021). Balancing growth in connectivity with a comprehensive global air transport response to the climate emergency: A vision of net-zero aviation by mid-century. *Waypoint 2050*, 2, 110.

Aviation Learnings Team. (2020, mei 31). How Aircraft Refueling Works | Role of Fuel Hydrant Dispensers & Aircraft Refueling Trucks. *Aviation Learnings*.
<https://aviationlearnings.com/how-airplane-refueling-works/>

Biconsortium. (2017). *Mapping European Biorefineries*. Bio-Based Industries Consortium.
<https://biconsortium.eu/news/mapping-european-biorefineries>

Brussels Airport. (2021). *Brussels Airport's Stargate project for greener aviation officially launched*. Brussels Airport Website. <https://www.brusselsairport.be/en/pressroom/news/stargate-launched>

Brussels Airport. (2023). *Very first delivery of Sustainable Aviation Fuel*. Brussels Airport Website. <https://www.brusselsairport.be/brusselsairportnews/en/januari-2023/sustainable-aviation-fuel>

Buffet, L. (2020). *RED II and advanced biofuels*. Transport & Environment.
https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/06/2020_05_REDII_and_advanced_biofuels_briefing.pdf

CBSCI.CA. (2019). *Canada's Biojet Supply Chain Initiative (CBSCI) Operations Report 2019: Demonstrating the supply of biojet fuel using existing airport fuel infrastructure*.
<https://cbsci.ca/wp-content/uploads/CBSCI-Operations-Report-Jan2019.pdf>

Chiaromonti, D. (2019). Sustainable Aviation Fuels: The challenge of decarbonization. *Energy Procedia*, 158, 1202-1207. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.308>

Concawe. (2022). *Refineries sites in Europe*. <https://www.concawe.eu/refineries-map/>

De Vlaamse Waterweg. (2022). *Trafiekcijfers Kwartaal 4—2022*. De Vlaamse Waterweg.
https://www.vlaamsewaterweg.be/sites/default/files/trafiek_rvb_dvw_-_kwartaalcijfers_4.pdf

Directorate-General for Research and Innovation (European Commission). (2021). *Horizon Europe, budget: Horizon Europe the most ambitious EU research & innovation programme ever*. Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/202859>

EASA. (z.d.). *Fit for 55 and ReFuelEU Aviation*. EASA. Geraadpleegd 13 mei 2023, van <https://www.easa.europa.eu/en/light/topics/fit-55-and-refueleu-aviation>

Energia. (2022). *Kerncijfers 2022*. <https://www.energiafed.be/nl/publicaties>

European Civil Aviation Conference. (2023). *ECAC GUIDANCE on Sustainable Aviation Fuels (SAF)*. <https://www.ecac-ceac.org/activities/environment/european-aviation-and-environment-working-group-eaeg/saf-task-group>

Europese Commissie. (2021a). *EUR-Lex—52021SC0633—EN - EUR-Lex*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=SWD:2021:633:FIN>

Europese Commissie. (2021b, september 9). *SusTainable AiRports, the Green heArT of Europe | STARGATE Project | Fact Sheet | H2020*. CORDIS | European Commission. <https://cordis.europa.eu/project/id/101037053>

Eurostat. (2022). *Inland waterway transport statistics*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Inland_waterway_transport_statistics

Eurostat. (2023a). *Oil and petroleum products—A statistical overview*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Oil_and_petroleum_products_-_a_statistical_overview

Eurostat. (2023b). *Railway transport measurements—Goods*. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/RAIL_GO_GRPGOOD__custom_6372782/default/table?lang=en

Eurostat. (2023c, maart). *Crude oil imports and prices: Changes in 2022—Products Eurostat News—Eurostat*. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/DDN-20230328-1>

Eurostat, E. (2021). *Energy trade flows*. Energy Trade. https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy_trade/entrade.html

Federal Aviation Administration (FAA), Moriarty, K., & Kvien, A. (2021). *U.S. Airport Infrastructure and Sustainable Aviation Fuel* (NREL/TP--5400-78368, 1768316, MainId:32285; p. NREL/TP--5400-78368, 1768316, MainId:32285). <https://doi.org/10.2172/1768316>

Federation of European Tank Storage Associations. (2018). *Tank Terminals in Europe—Key Figures*. https://www.insights-global.com/wp-content/uploads/2019/02/FETSA_-_TT_-_W.pdf

FlyORO. (2023). *Home*. FlyORO. <https://www.flyoro.co/post/flyoro-launches-alphalite-world-s-first-modular-saf-blending-system-in-singapore>

FOD Economie. (2023). *Maandelijkse consumptie van de voornaamste aardolieproducten*. FOD Economie. <https://economie.fgov.be/nl/themas/energie/energie-cijfers/maandelijkse-consumptie-van-de>

FOD Mobiliteit en Vervoer. (2022, november 30). *Statistieken luchthavens*. mobility. <http://mobilit.belgium.be/nl/luchtvaart/luchthavens-en-luchtvaartterreinen/statistieken>

- Herzig, P., Lewis, K., & Forni, S. (2017). *Refinery to Wing: Transportation Challenges Associated with Alternative Jet Fuel Distribution*.
https://www.caafi.org/resources/pdf/9_Transportation_Issues_September2017.pdf
- IATA. (z.d.). *Offsetting CO2 Emissions with CORSIA*. Geraadpleegd 14 februari 2023, van
<https://www.iata.org/en/programs/environment/corsia/>
- IATA. (2015). *IATA Guidance Material for Sustainable Aviation Fuel Management*.
<https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/iata20guidance20material20for20saf.pdf>
- IATA. (2021, oktober 4). *Net-Zero Carbon Emissions by 2050*.
<https://www.iata.org/en/pressroom/pressroom-archive/2021-releases/2021-10-04-03/>
- ICAO. (2012). *Manual on civil aviation jet fuel supply*. International Civil Aviation Organization.
- ICAO. (2018). Sustainable aviation fuels guide. *transforming global aviation collection*, 4(2).
https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/Sustainable%20Aviation%20Fuels%20Guide_100519.pdf
- ICAO. (2022). *CORSIA Sustainability Criteria for CORSIA Eligible Fuels*.
https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/CORSIA_Eligible_Fuels/ICAO%20document%2005%20-%20Sustainability%20Criteria%20-%20November%202022.pdf
- ICAO. (2021, oktober). *Conversion processes*. <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Conversion-processes.aspx>
- ICAO. (2023a). *ACT-SAF: SAF production technologies and certification*.
<https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ACT-SAF/ACT%20SAF%20series%203%20-%20SAF%20production%20technologies%20and%20certification.pdf#search=SAF%20blending>
- ICAO. (2023b, mei). *ICAO Map of SAF production facilities*.
http://lookerstudio.google.com/reporting/2532150c-ff4c-4659-9cf3-9e1ea457b8a3/page/p_2sq3qol5nc?feature=opengraph
- Kelly, E. (2023, maart 8). *Preparing airports for sustainable aviation fuel*.
<https://www.airportsinternational.com/article/preparing-airports-sustainable-aviation-fuel>

- LIEGE AIRPORT renouvelle sa confiance en Scania. (z.d.). Scania Belgique. Geraadpleegd 29 april 2023, van <https://www.scania.com/be/fr/home/about-scania/newsroom/news/2020/liege-airport-renouvelle-sa-confiance-en-scania.html>
- McCausland, R. (z.d.). *Net zero 2050: Sustainable aviation fuels*.
- McCausland, R. (2022). *Net Zero Resolution*.
- Miller, B., Johnson, D., Thompson, T., Rosenberg, F. L., Driver, J., Biscardi, G. P., Mohtadi, M. K., & Mohtadi, N. J. (2014). *Advanced Jet Fuel Quality and Performance Control Research and Development (R&D) Study*.
- Moriarty, K., & Kvien, A. (2021). *U.S. Airport Infrastructure and Sustainable Aviation Fuel* (NREL/TP--5400-78368, 1768316, MainId:32285; p. NREL/TP--5400-78368, 1768316, MainId:32285). <https://doi.org/10.2172/1768316>
- Moriarty, K., Milbrandt, A., & Tao, L. (2021a). *Port Authority of New York and New Jersey Sustainable Aviation Fuel Logistics and Production Study* (NREL/TP-5400-80716, 1827314, MainId:77500; p. NREL/TP-5400-80716, 1827314, MainId:77500). <https://doi.org/10.2172/1827314>
- Moriarty, K., Milbrandt, A., & Tao, L. (2021b). *Port Authority of New York and New Jersey Sustainable Aviation Fuel Logistics and Production Study* (NREL/TP-5400-80716, 1827314, MainId:77500; p. NREL/TP-5400-80716, 1827314, MainId:77500). <https://doi.org/10.2172/1827314>
- NATO. (2017). *NATO Pipeline System*. NATO. https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_56600.htm
- Neste. (2022). *Rotterdam*. Neste Worldwide. <https://www.neste.com/about-neste/who-we-are/production/rotterdam>
- North Sea Port. (z.d.). *Companies guide*. Geraadpleegd 31 mei 2023, van <https://northseaport.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=2b0da64b95864d7babece953b47a887&locale=en>
- O'Malley, J., Pavlenko, N., & Searle, S. (2021). *Estimating sustainable aviation fuel feedstock availability to meet growing European Union demand*. <https://theicct.org/sites/default/files/publications/Sustainable-aviation-fuel-feedstock-eu-mar2021.pdf>

Orban, A. (2023, januari 1). First plane with Sustainable Aviation Fuel (SAF) takes off from Brussels Airport. *Aviation24.Be*. <https://www.aviation24.be/airports/brussels-airport-bru/first-plane-with-sustainable-aviation-fuel-saf-takes-off-from-brussels-airport/>

Pavlenko, N., Searle, S., & Christensen, A. (2019). *The cost of supporting alternative jet fuels in the European Union*. https://theicct.org/sites/default/files/publications/Alternative_jet_fuels_cost_EU_2020_06_v3.pdf

port de Liège. (2023). *Trilogiport Luik: 1ste Belgische binnenhaven en 3de binnenhaven van Europa*. Port de Liège. <https://www.portdeliege.be/nl/trilogiport>

Port of Rotterdam. (2022). *Jaarverslag 2022*. Jaarverslag 2022. <https://reporting.portofrotterdam.com/jaarverslag-2022/6-overige-informatie/64-kerncijfers>

Q8 Aviation: *The reliable, long-term aviation fuel supplier*. (z.d.). Geraadpleegd 29 april 2023, van <https://www.q8aviation.com/Q3/Our-Airports/LGG/536/78/26>

RSB. (2023, april 5). *Book and Claim*. RSB. https://rsb.org/book-claim/Skytanking_Services_Engineering.pdf. (z.d.). Geraadpleegd 29 april 2023, van https://www.skytanking.com/fileadmin/user_upload/downloads/Skytanking_Services_Engineering.pdf

Soone, J. (2022). *RefuelEU Aviation initiative*. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/698900/EPRS_BRI\(2022\)698900_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/698900/EPRS_BRI(2022)698900_EN.pdf)

Standard Specification for Aviation Turbine Fuels. (2022, november). <https://www.astm.org/d1655-22.html>

Stargate. (z.d.). *Home*. Stargate. Geraadpleegd 14 december 2022, van <https://www.greendealstargate.eu/>

Statista. (2018). *Length of inland waterways in Europe (EU-28) 1995-2016*. Statista. <https://www.statista.com/statistics/451797/length-of-inland-waterways-in-use-in-europe-eu-28/>

Statista. (2023). *Main producers of sustainable aviation fuel 2023*. Statista. <https://www.statista.com/statistics/1365117/announced-offtake-volumes-saf-by-producer/>

Statistiek Vlaanderen. (2023). *Lengte binnenvaartnet*. www.vlaanderen.be. <https://www.vlaanderen.be/statistiek-vlaanderen/mobiliteit/lengte-binnenvaartnet>

Struyf, E. (z.d.). *Passengers and cargo? Cost economies at airport level*.

Tankterminals. (2023). *Tankterminals—Database Tool*. <https://tankterminals.com/tool/dashboard>

Transport & Environment. (2023, april). *EU agrees to world’s largest green fuels mandate for aviation*. Transport & Environment. <https://www.transportenvironment.org/discover/eu-agrees-to-worlds-largest-green-fuels-mandate-for-aviation/>

Van Dyk, S. (2022, maart). *Oil majors look to co-processing as a rapid route to producing sustainable aviation fuels at scale*. <https://www.greenairnews.com/?p=2815>

Whyte, A. (2023). Brussels Airlines takes delivery of Neste SAF from NATO Pipeline System. *SAF Investor*. <https://www.safinvestor.com/news/142150/brussels-airlines-takes-delivery-of-neste-saf-from-nato-pipeline-system/>

World Economic Forum, & Energy Transition Commission. (2021). *Guidelines for a Sustainable Aviation Fuel Blending Mandate in Europe*. https://www3.weforum.org/docs/WEF_CST_EU_Policy_2021.pdf

World Economic Forum, & McKinsey & Company. (2020). *Clean Skies for Tomorrow: Sustainable Aviation Fuels as a Pathway to Net-Zero Aviation*. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Clean_Skies_Tomorrow_SAF_Analytics_2020.pdf?_gl=1*180ulu*_up*MQ..&gclid=CjwKCAjwvJyjBhApEiwAWz2nLRBPjeyGQ0RRkgz9I5IiKibZqbOxHbaYe22kHTcyXvNjUAftgIkskhoCyGQQAvD_BwE

Wright, M. (2021). *Sustainable Aviation Fuel: Technical Certification*.

14. Lijst met figuren en tabellen

14.1. Figuren

Figuur 1: Voorspelde evolutie van het aantal passagiers in de wereldwijde luchtvaart (eigen werk, gebaseerd op IATA).....	10
Figuur 2: Net Zero: CO ₂ -uitstoot te verminderen tegen 2050 in de luchtvaartindustrie (eigen werk, gebaseerd op IATA).....	11
Figuur 3: Bijdrage aan Net Zero Carbon tegen 2050 (eigen werk, gebaseerd op IATA)	12
Figuur 4: Scenario 2: agressieve ingebruikname SAF (atag.org).....	13
Figuur 5: vereenvoudigde voorstelling productie SAF (eigen werk)	15
Figuur 6: overzicht kwaliteitscontrole proces (eigen werk, gebaseerd op FAA en IATA).....	19
Figuur 7: Co-processing production pathway concept (eigen werk, gebaseerd op ICAO)	22
Figuur 8: SAF production pathway concept (eigen werk, gebaseerd op ICAO)	22
Figuur 9: algemeen overzicht van SAF pathways (eigen werk, gebaseerd op ICAO)	23
Figuur 10: fuel hydrant system (Aviation Learning Team)	29

Figuur 11: refueler truck (Aviation Learnings Team).....	29
Figuur 12: huidige supply chain kerosine Brussels Airport (eigen werk)	30
Figuur 13: huidige supply chain kerosine Luik-Bierset (eigen werk).....	31
Figuur 14: huidige supply chain kerosine Oostende-Antwerpen	32
Figuur 15: huidige supply chain kerosine Charleroi.....	33
Figuur 16: consumptie kerosine België (eigen werk, gebaseerd op FOD Economie).....	35
Figuur 17: Geschatte beschikbaarheid feedstocks EU in 2030 (eigen werk, gebaseerd op ICCT)...	40
Figuur 18: productiepotentieel per feedstock in de Europese Unie in 2030 (eigen werk, gebaseerd op World Economic Forum)	42
Figuur 19: ICAO kaart van SAF productiesites (ICAO).....	44
Figuur 20: aantal nieuwe productiesites per jaar in de EU (World Economic Forum).....	45
Figuur 21: SAF output volgens productietechnologie (World Economic Forum).....	46
Figuur 22: Totaal aantal SAF productiesites Europa (eigen werk, gebaseerd op World Economic Forum).....	48
Figuur 23: Productiekost per productietechnologie (eigen werk, gebaseerd op World Economic Forum).....	49
Figuur 24: Europese SAF kaart (EUROCONTROL).....	51
Figuur 25: certificatieproces SAF blend (eigen werk, gebaseerd op ECAC)	52
Figuur 26: Kaart olieraffinaderijen in Europa, 2022 (Concawe).....	53
Figuur 27: menglocatie optie 1 (eigen werk, gebaseerd op NREL).....	54
Figuur 28: menglocatie optie 2 (eigen werk, gebaseerd op NREL).....	55
Figuur 29: menglocatie optie 3 (eigen werk, gebaseerd op NREL).....	56
Figuur 30: menglocatie optie 4 (eigen werk, gebaseerd op NREL).....	57
Figuur 31: menglocatie optie 5 (eigen werk, gebaseerd op NREL).....	58
Figuur 32: Voorbeeld supply chain (eigen werk, gebaseerd op NREL)	59
Figuur 33: bioraffinaderijen in Europa, 2017 (Biconsortium)	61
Figuur 34: tankactiviteiten luchthaven (eigen werk)	62
Figuur 35: kaart CEPS (NATO).....	67
Figuur 36: book and claim (eigen werk, gebaseerd op RSB)	69
Figuur 37: belangrijkste SAF producenten wereldwijd (eigen werk, gebaseerd op Statista)	70
Figuur 38: Kaart SAF productie EU (deel 1)(Argus)	71
Figuur 39: Kaart productie SAF EU (deel 2)(Argus)	72
Figuur 40: Kaart Neste Nederland (eigen werk).....	74
Figuur 41: Kaart North Sea Port (North Sea Port)	74
Figuur 42: SAF supply chain Brussels Airport (eigen werk)	75
Figuur 43: mobiele menginstallatie AlphaLite (FlyORO).....	77
Figuur 44: SAF supply chain Luik-Bierset (eigen werk)	78
Figuur 45: SAF supply chain Oostende-Antwerpen (eigen werk)	79
Figuur 46: SAF supply chain Charleroi (eigen werk)	80
Figuur 47: tankterminals België (Tankterminals.com).....	81
Figuur 48: probleemdefinitie beleidsmaatregelen (eigen werk, gebaseerd op de Europese Commissie).....	82

14.2. Tabellen

Tabel 1: technical pathways (ICAO)	21
Tabel 2: aantal passagiers Belgische luchthavens (eigen werk, gebaseerd op FOD Mobiliteit en Vervoer).....	34
Tabel 3: aantal vervoerde cargo (in ton) voor de Belgische luchthavens (eigen werk, gebaseerd op FOD Mobiliteit en Vervoer).....	35
Tabel 4: WLU per jaar per luchthaven (België) (eigen werk, gebaseerd op FOD Mobiliteit en Vervoer).....	36
Tabel 5: % of WLU per jaar per luchthaven (België) (eigen werk, gebaseerd op FOD Mobiliteit en Vervoer).....	36
Tabel 6: totale consumptie kerosine België (eigen werk, gebaseerd op FOD Economie)	36
Tabel 7: nood aan kerosine (mio l) per jaar per luchthaven (eigen werk).....	37
Tabel 8: SAF mengmandaat ReFuelEU (eigen werk, gebaseerd op EASA en Transport & Environment)	38
Tabel 9: Overzicht beschikbaarheid feedstocks EU 2021 (eigen werk, gebaseerd op ICCT).....	41
Tabel 10: Schatting SAF productie tegen 2025, EU (eigen werk, gebaseerd op ICCT)	41
Tabel 11: Schatting SAF productie tegen 2030, EU (eigen werk, gebaseerd op ICCT)	42
Tabel 12: Schatting SAF productie tegen 2035, EU (eigen werk, gebaseerd op ICCT)	42
Tabel 13: Overwegingen menglocatie optie 1 & 2 (eigen werk, gebaseerd op ACI-ATI).....	55
Tabel 14: Overwegingen menglocatie optie 4 (eigen werk, gebaseerd op ACI-ATI)	57
Tabel 15: menglocatie optie 5, scenario 2 (eigen werk, gebaseerd op ACI-ATI).....	58
Tabel 16: overwegingen wegvervoer (eigen werk, gebaseerd op ACI-ATI)	63
Tabel 17: overwegingen spoorvervoer (eigen werk, gebaseerd op ACI-ATI)	64
Tabel 18: overwegingen binnenscheepvaart (eigen werk, gebaseerd op ACI-ATI).....	64
Tabel 19: overwegingen pijpleiding (eigen werk, gebaseerd op ACI-ATI)	65