

Bieten sich ökonomische Chancen für Flugkraftstoffe aus biobasierten Rest- und Abfallstoffen?

Niels Dögnitz, Max John Müller, Madhumita Gogoi Saikia

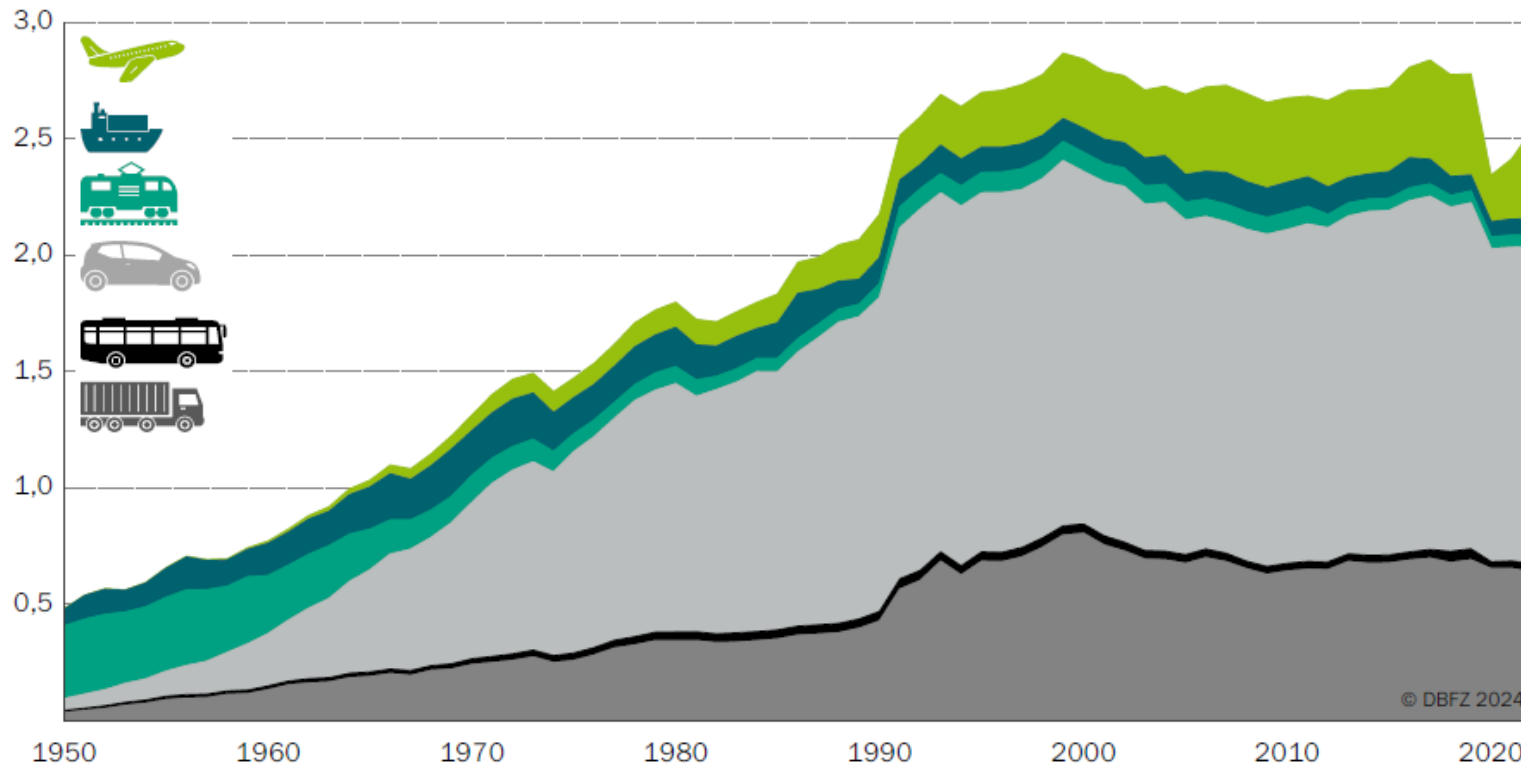
Agenda

- Kerosinnachfrage und Produktionskapazitäten
- Technologischer Überblick
- ICARUS: Projektfokus
- Ökonomische Fragestellung
- Fazit

Endenergiebedarf

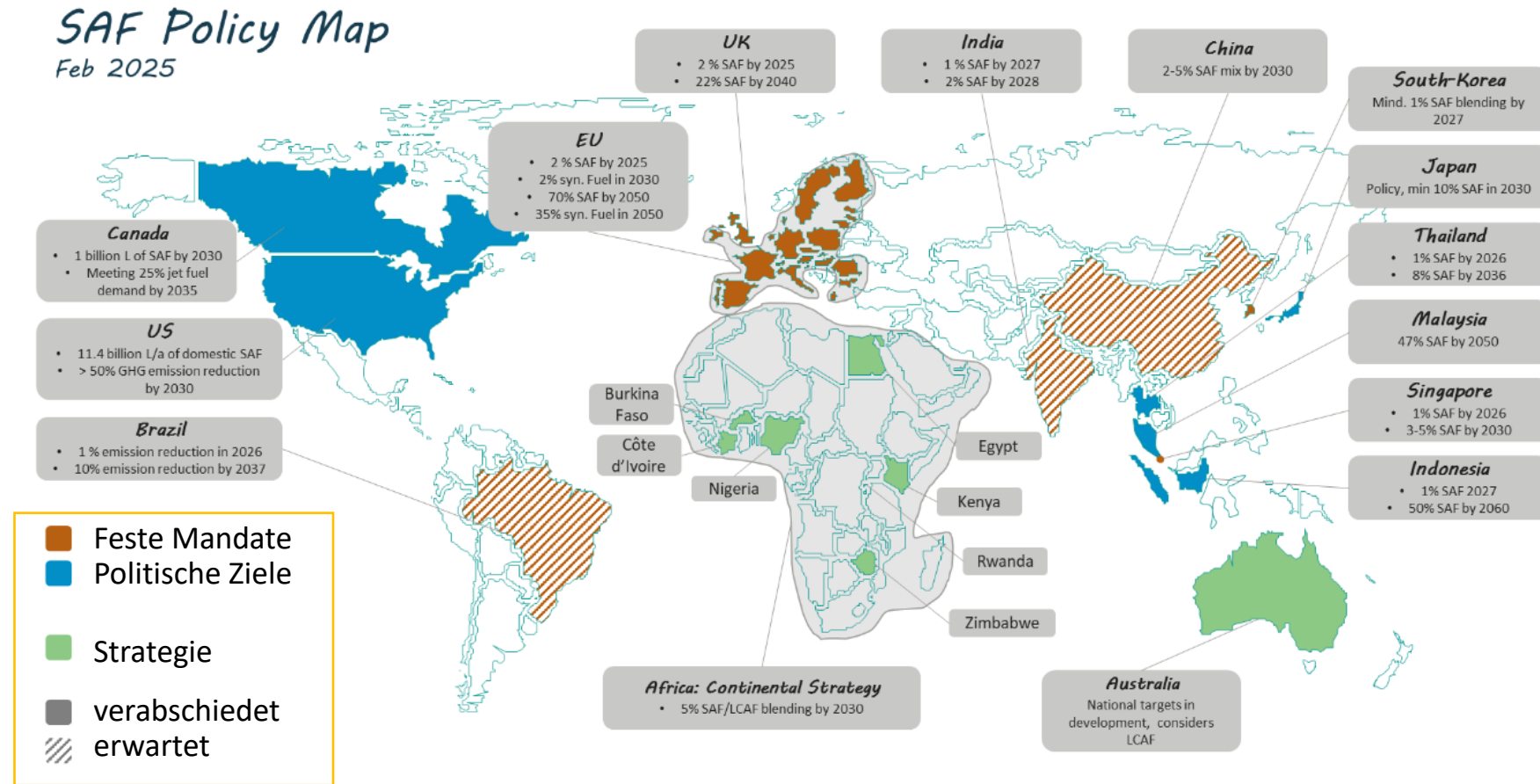
DE | Endenergieverbrauch im Verkehr in EJ

inklusive von Deutschland ausgehender grenzüberschreitender Verkehr



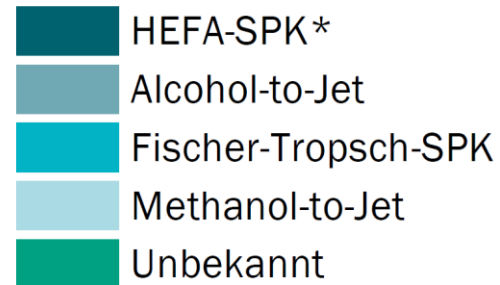
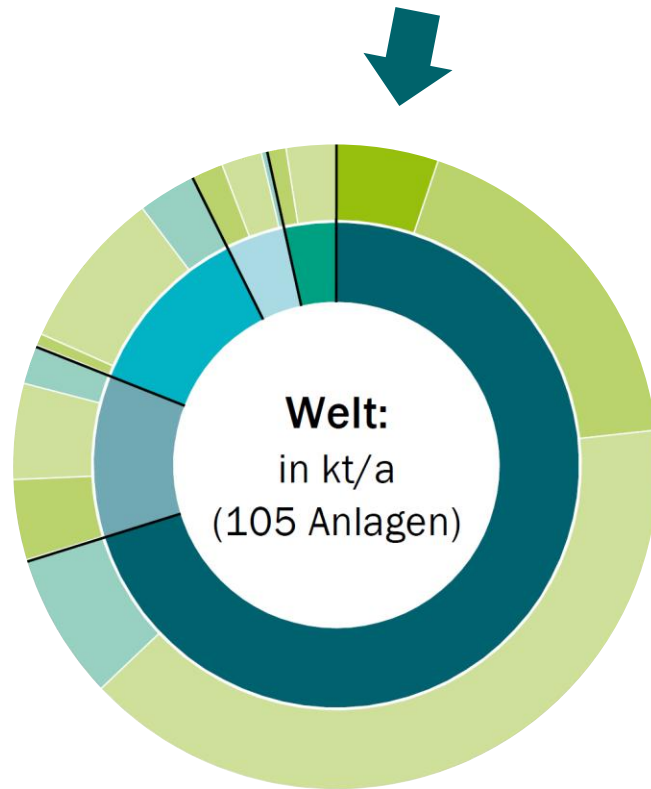
- Kontinuierliche Steigerung Energieverbrauch in Luftverkehr in den vergangenen Jahrzehnten
- Größter, nicht elektrisch substituierbarer Anteil am Endenergieverbrauch

Überblick über SAF-Mandate



- Weltweite Einführung oder Planung von Quoten für nachhaltige Flugkraftstoffe
- Mit Blick 2030: 2 – 5 % in großen Märkten erwartet
- Danach schnell weiter steigend

Produktion und Ausbau für SAF



* inkl. Mitraffination

Geplanter Ausbau bis 2030:

32,1 Mio. t/a

HEFA-SPK, ATJ, FT-SPK, MTJ

Status quo:

1,8 Mio. t/a

Zumeist HEFA-SPK, etwas ATJ und CP-HEFA

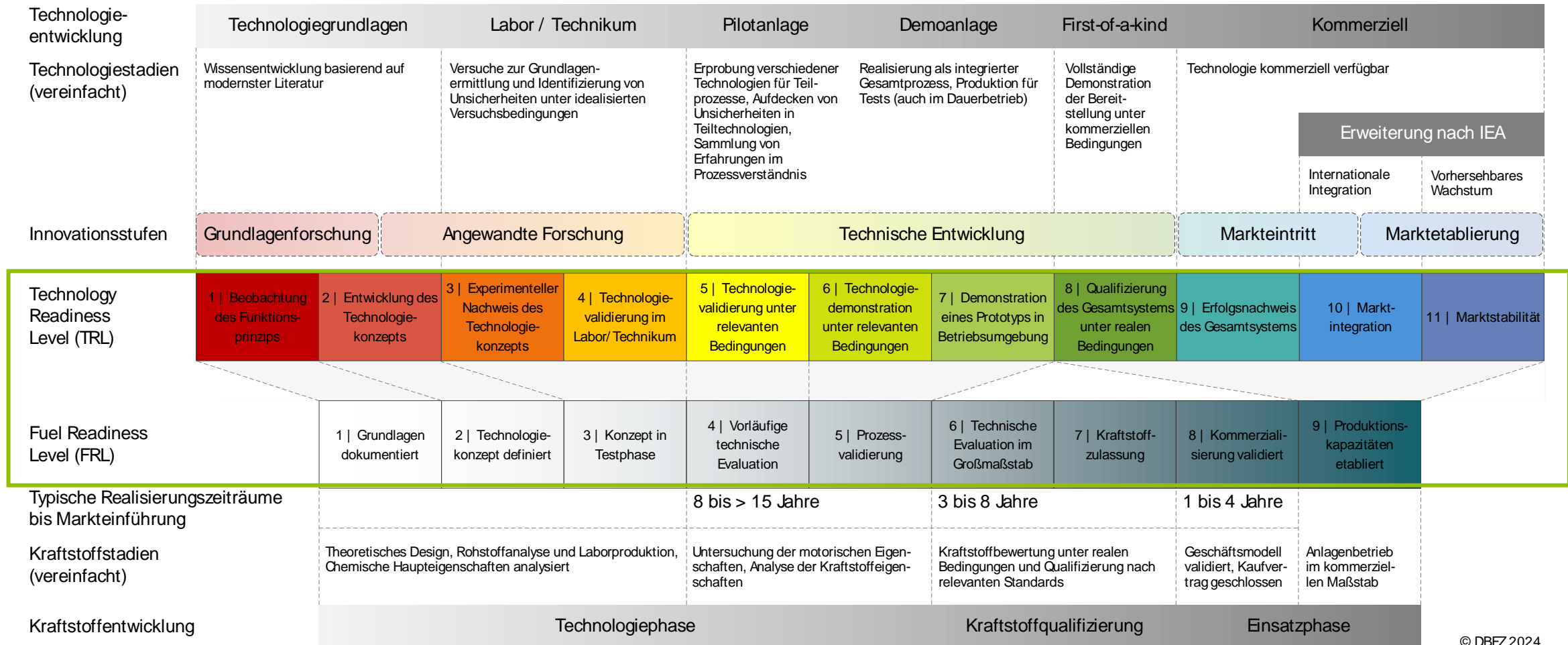
TOP SAF User im Jahr 2024:

IAG International Airlines Group: 162 kt

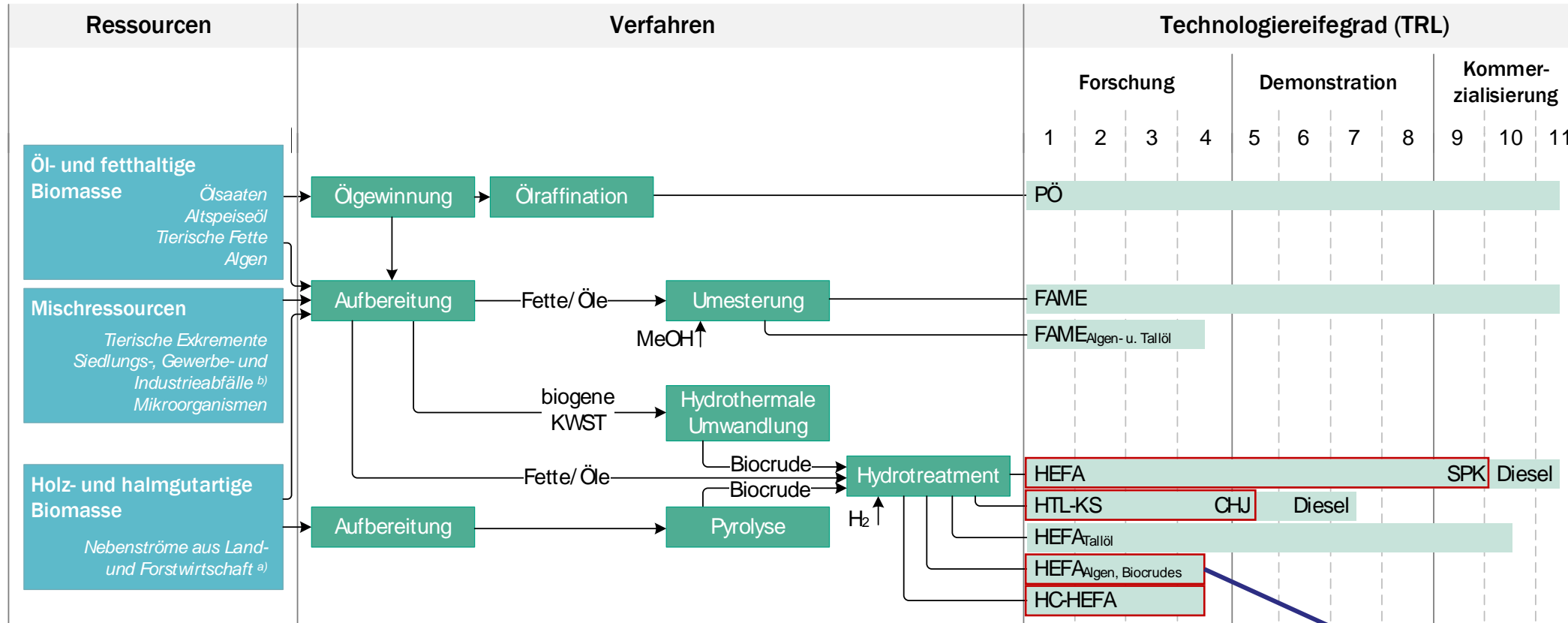
Air France & KLM: 103 kt

DHL: 74 kt

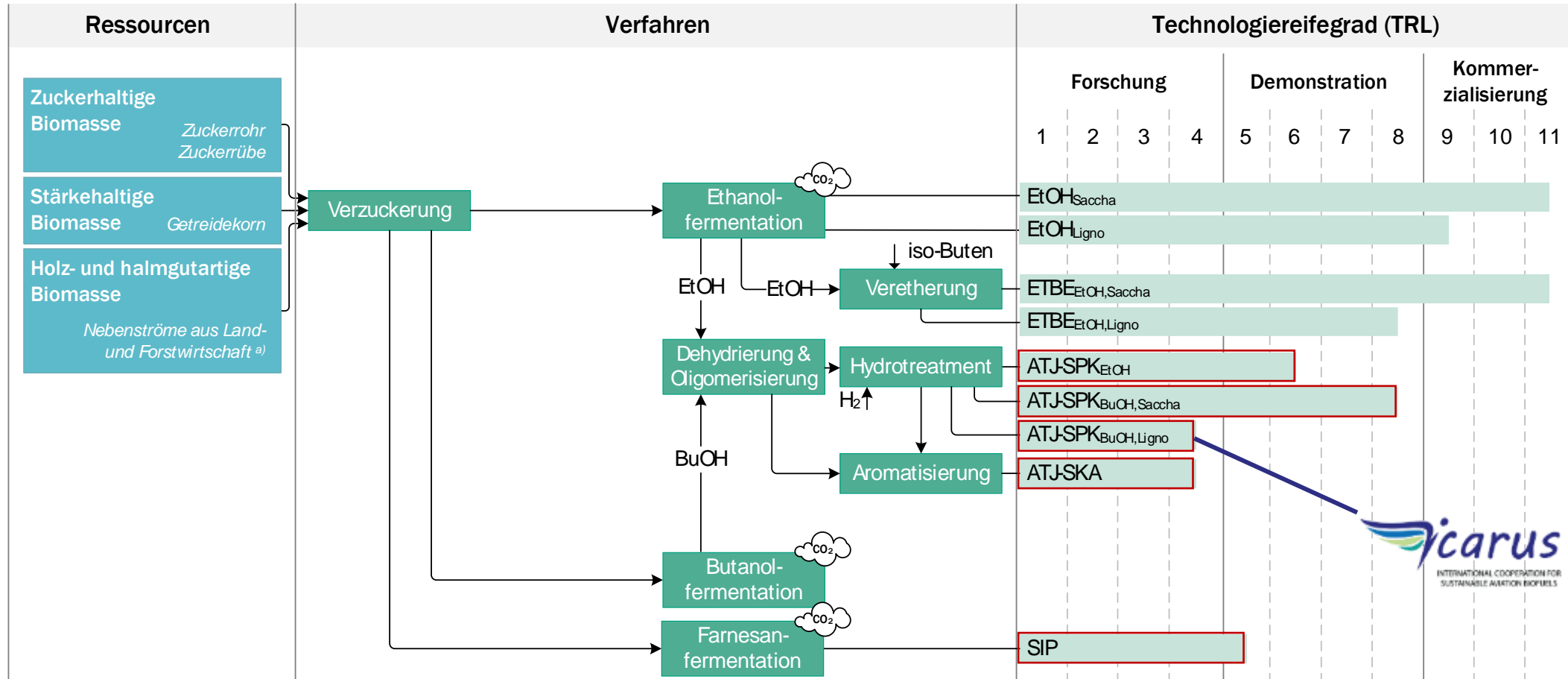
Technologie- und Kraftstoffentwicklung



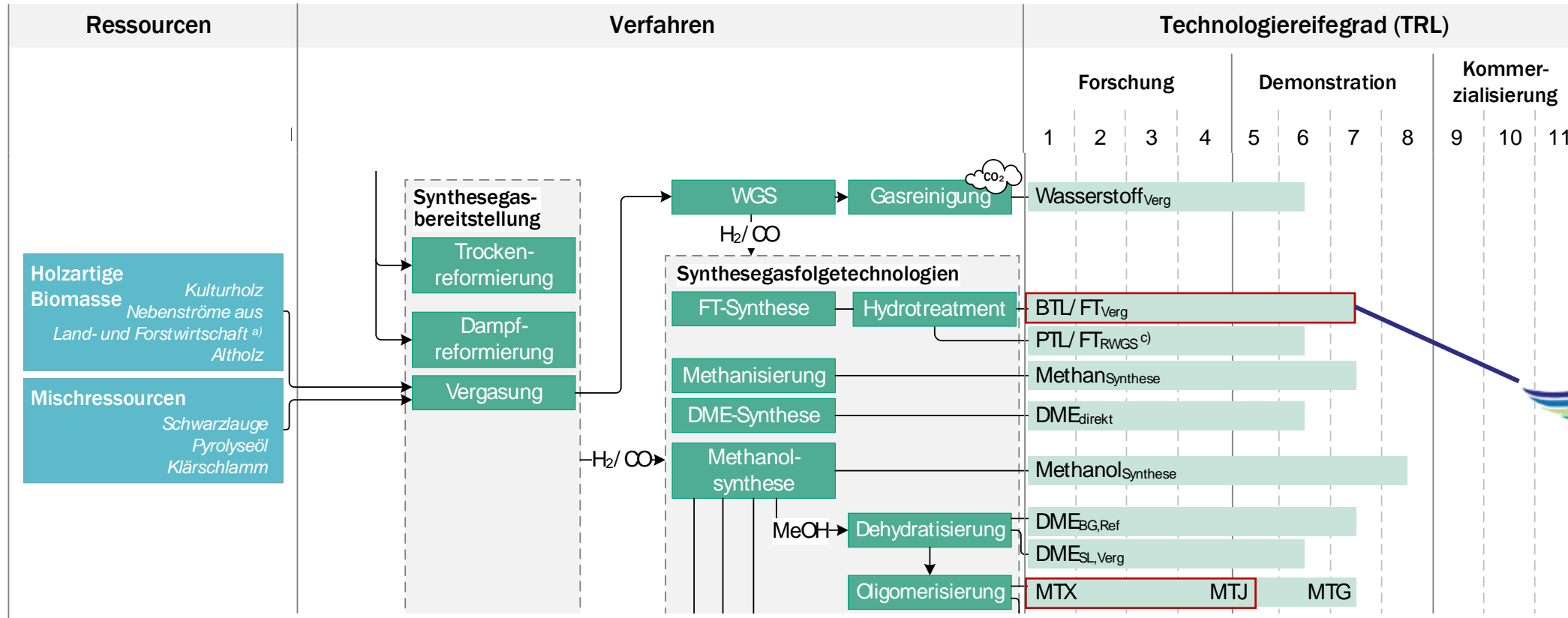
Technologien HEFA-Pfade



Alkohol-basierte Pfade

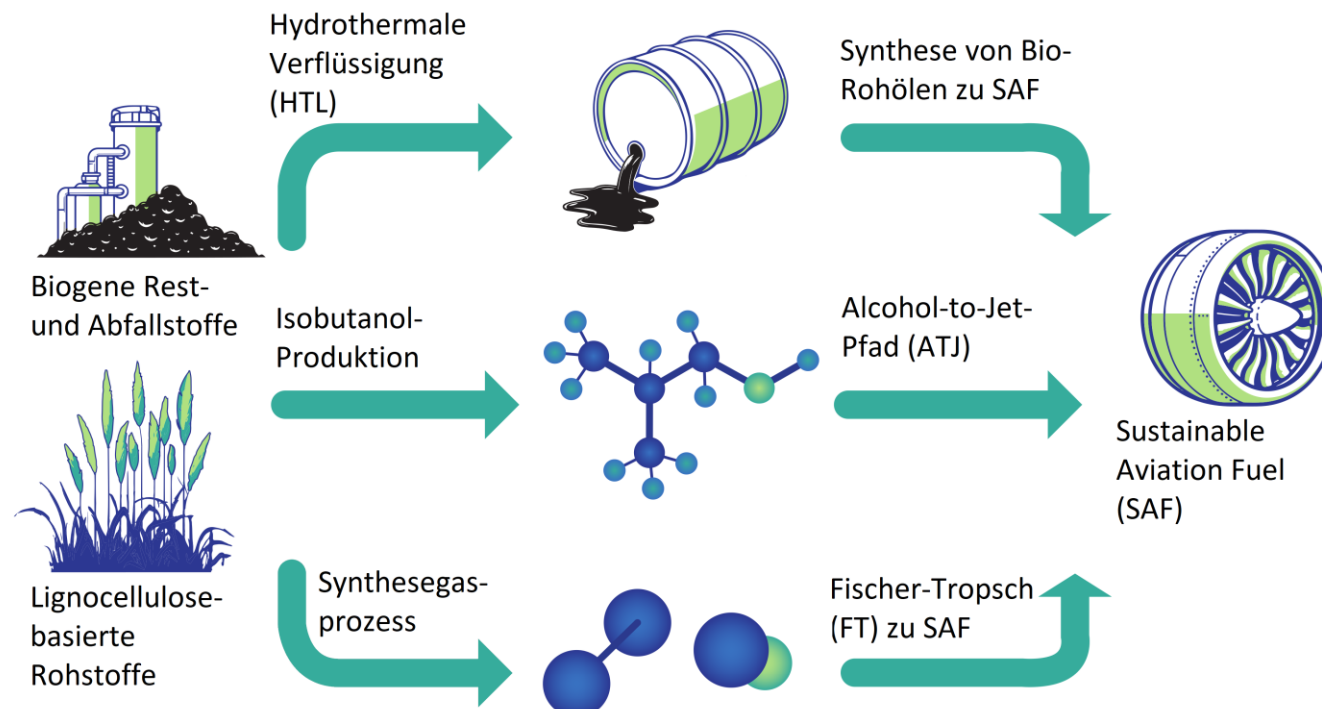


Synthesepfade aus Biomasse



Das Projekt

- Basierend auf bewährten Verfahren (mit verbesserten innovativen Technologien)
- Konzepte (basierend auf Marktzugangskennntnissen)
- Ziel ist die weltweite Produktion nachhaltiger Biokerosine zu beschleunigen.



Meilensteine des Projekts

- Bewertung der Rahmenbedingungen für die Entwicklung von SAF in Europa und den Mission Innovation-Ländern entlang wichtiger Wertschöpfungsketten
- Ausbau ausgewählter Technologien zur Bewältigung von Herausforderungen, die einer Markteinführung im Wege stehen
- Steigerung der Kosteneffizienz und Nachhaltigkeit der großtechnischen Produktion nachhaltiger Biokraftstoffe durch Lebenszyklusanalysen
- Entwicklung zukünftiger Best Practices und Konzepte für gesamte Wertschöpfungsketten auf der Grundlage von Erfahrungen aus Europa und den Mission Innovation-Ländern
- Verbreitung und Nutzung der ICARUS-Aktivitäten und -Ergebnisse unter internationalen Interessengruppen, Endnutzern und der breiten Öffentlichkeit

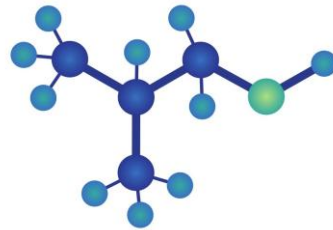
Aufgaben innerhalb des Projekts



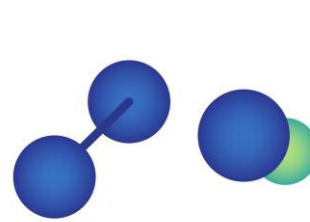
Bewertung
der
Biomassen



Hydro-
thermale
Ver-
flüssigung



Isobutanol-
Produktion



Synthese-
gasprozess



Technische,
ökono-
mische und
ökologische
Bewertung



Anwen-
dungs-
beispiele

Techno-ökonomische Bewertung

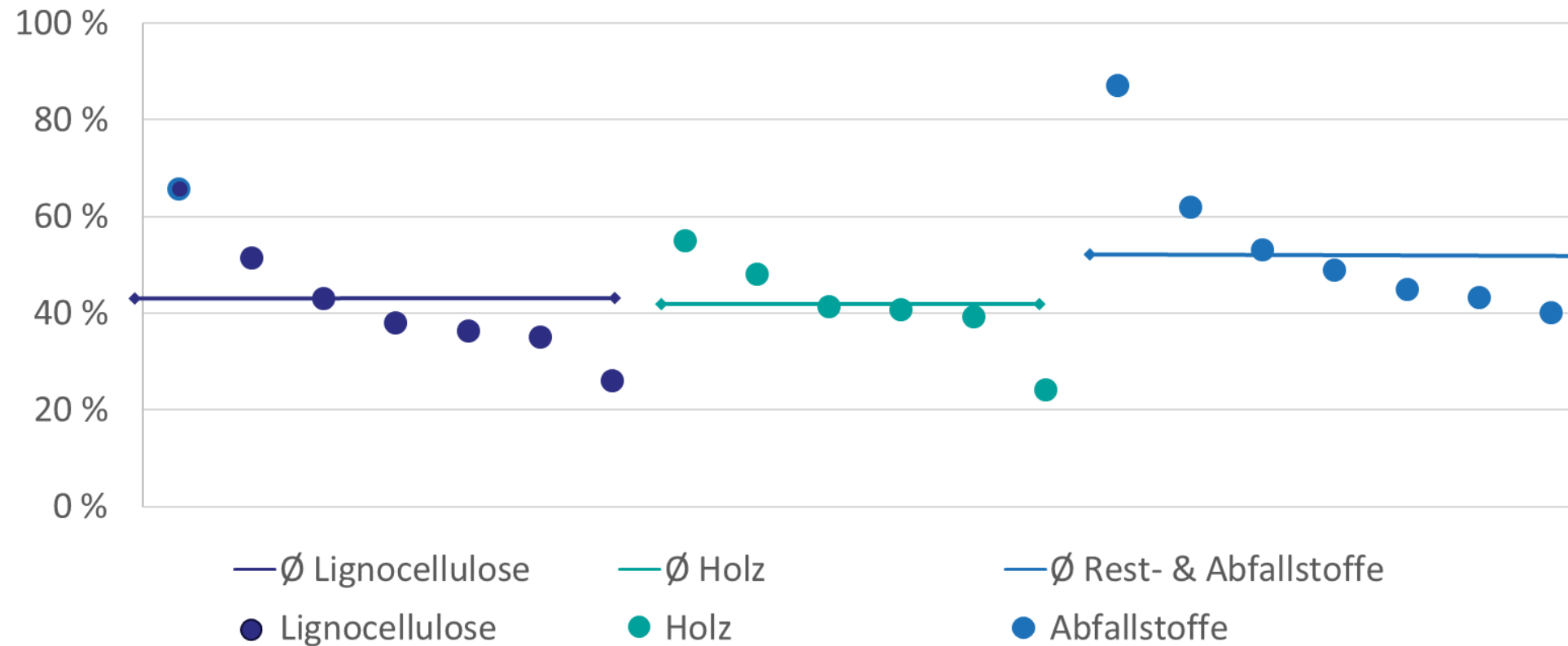
Prozessindikatoren

KPI	Schlüssel-Prozessindikatoren	Definition
TLR	Technologiereifegrad	Eine Methodik zur Bewertung der Reife von Technologien, die eine einheitliche Diskussion über verschiedene Technologien hinweg ermöglicht.
FLR	Kraftstoffreifegrad	Eine Methodik zur Bewertung des Prozesses der Entwicklung, Zertifizierung und Lieferung alternativer Kraftstoffe.
BtFE	Biomasseumwandlungseffizienz zum Kraftstoff	Energieeffizienz der nutzbaren Biomasse, die direkt in den Energiegehalt des Produkts einfließt. $BtFE = \frac{\text{Kraftstoffausbeute} [GJ]}{\text{Biomasse} - \text{Einsatz} [GJ]}$
SPK	Spezifische Produktionskosten	Spezifische Produktproduktionskosten im Verhältnis zum Energieertrag.
CAPEX	Investitionsausgaben	Kosten für Anlagevermögen.
OPEX	Betriebsausgaben	Alle Kosten, die im Rahmen der Geschäftstätigkeit anfallen.
MP	Marktpreis	Referenzpreis im Verhältnis zur fossilen Alternative.

Biomasseeffizienzen

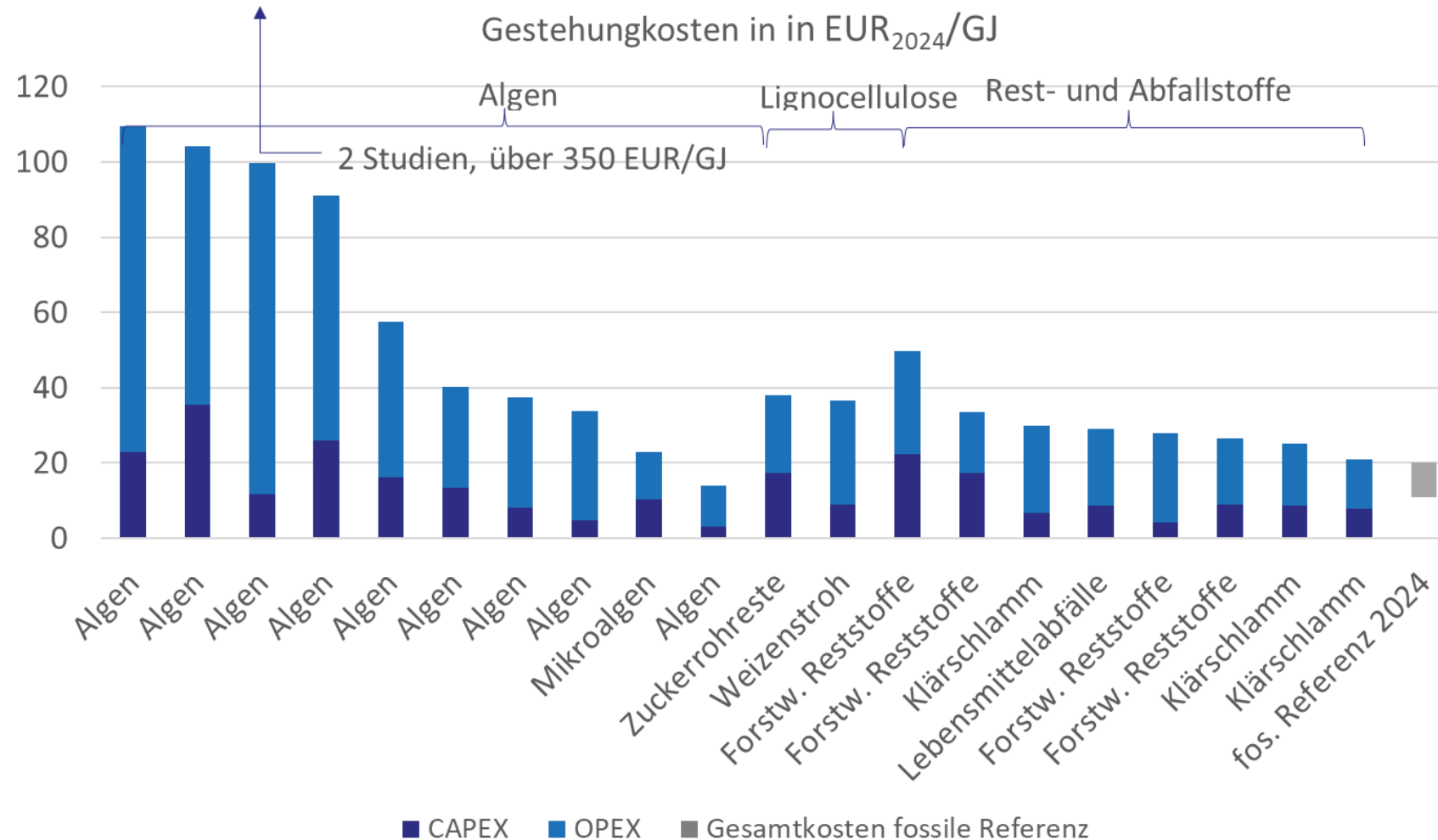


Biomasseumwandlungseffizienz zum Kraftstoff



- Alle Rohstoffe mit recht begrenztem Effizienzbereich
- Rest- und Abfallstoffe sogar mit Vorteilen im Vergleich zu holz- und lignocellulose-basierten Pfaden

Produktionskosten



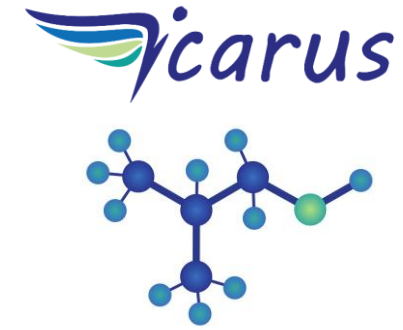
- Algen-basierte Studien mit sehr großen Kostenunterschieden vor allem im Standort und der Skalierung
- Lignocellulose-basierte Biomassen und Reststoffe mit vergleichbaren Ergebnissen
- Gesamtes Niveau sehr nahe an fossiler Referenz

Schlussfolgerungen

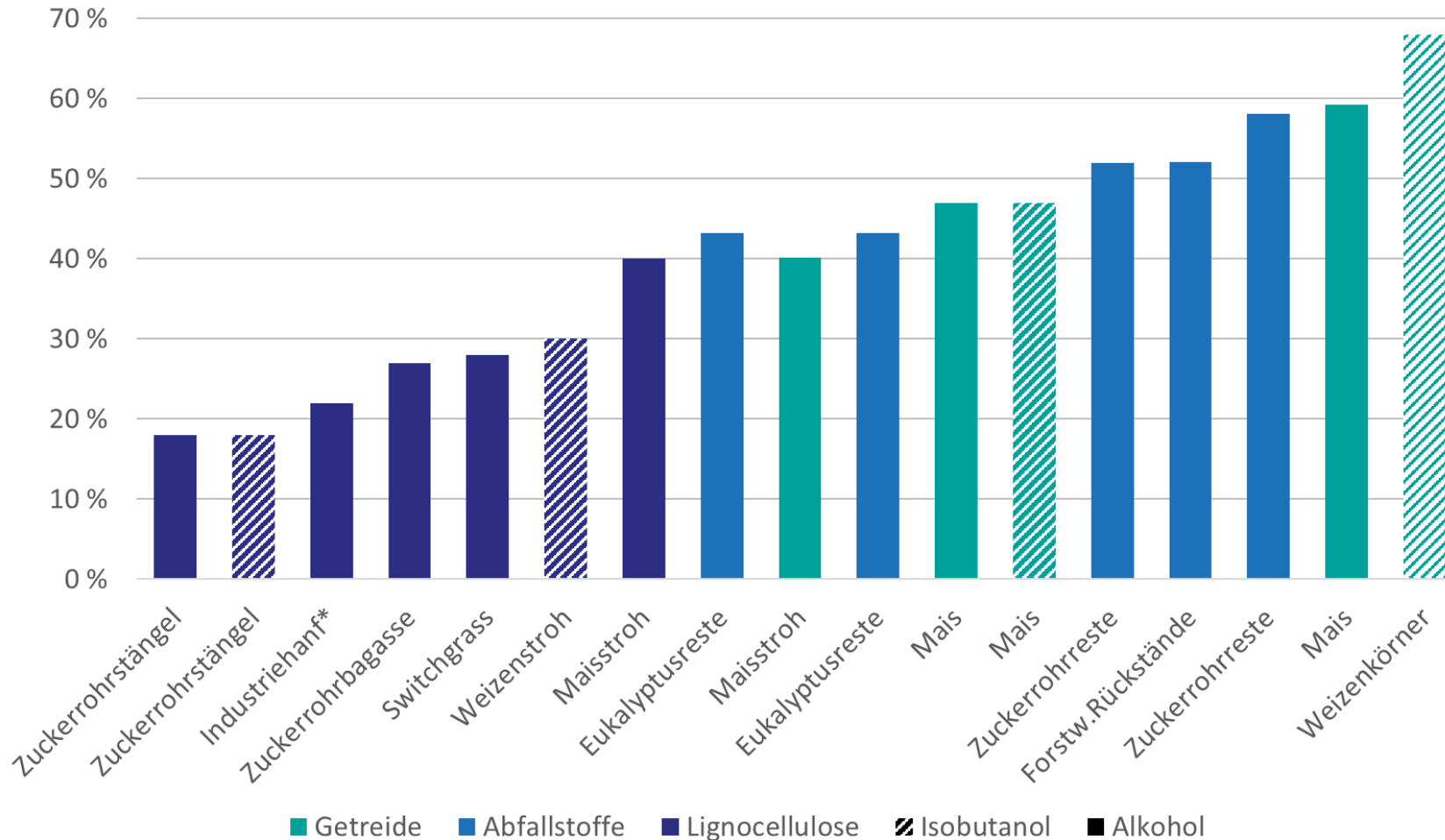


- Aktueller Reifegrad der untersuchten Algen-basierten Routen bei TRL/FRL 4-5
- Weitere Entwicklung und Demonstration erforderlich
- Abweichungen in den Rohstoffen durch Heterogenität, einzigartige Prozessdesigns und diverse Systemintegrationen
- Sensible Kostenfaktoren sind die Bio-Rohöl-Ausbeute, Rohstoffkosten und die Möglichkeiten zur HTL-Anlagen-Skalierung
- Für einen großtechnischen Einsatz sind:
 - Integration mit Co-Produkt-Extraktionsprozessen möglich
 - Optimierung der Anlagengröße entscheidend

Biomasseeffizienzen



Biomasseumwandlungseffizienz zum Kraftstoff

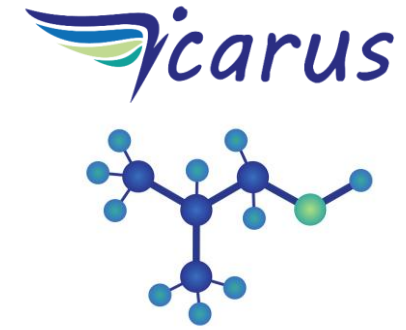


- Getreide oder Getreide-nahe Reststoffe mit deutlich besserer Biomasseumwandlungseffizienz
- Lignocellulose-basierte Rest- und Abfallstoffe mit wesentlich schlechteren Ergebnissen

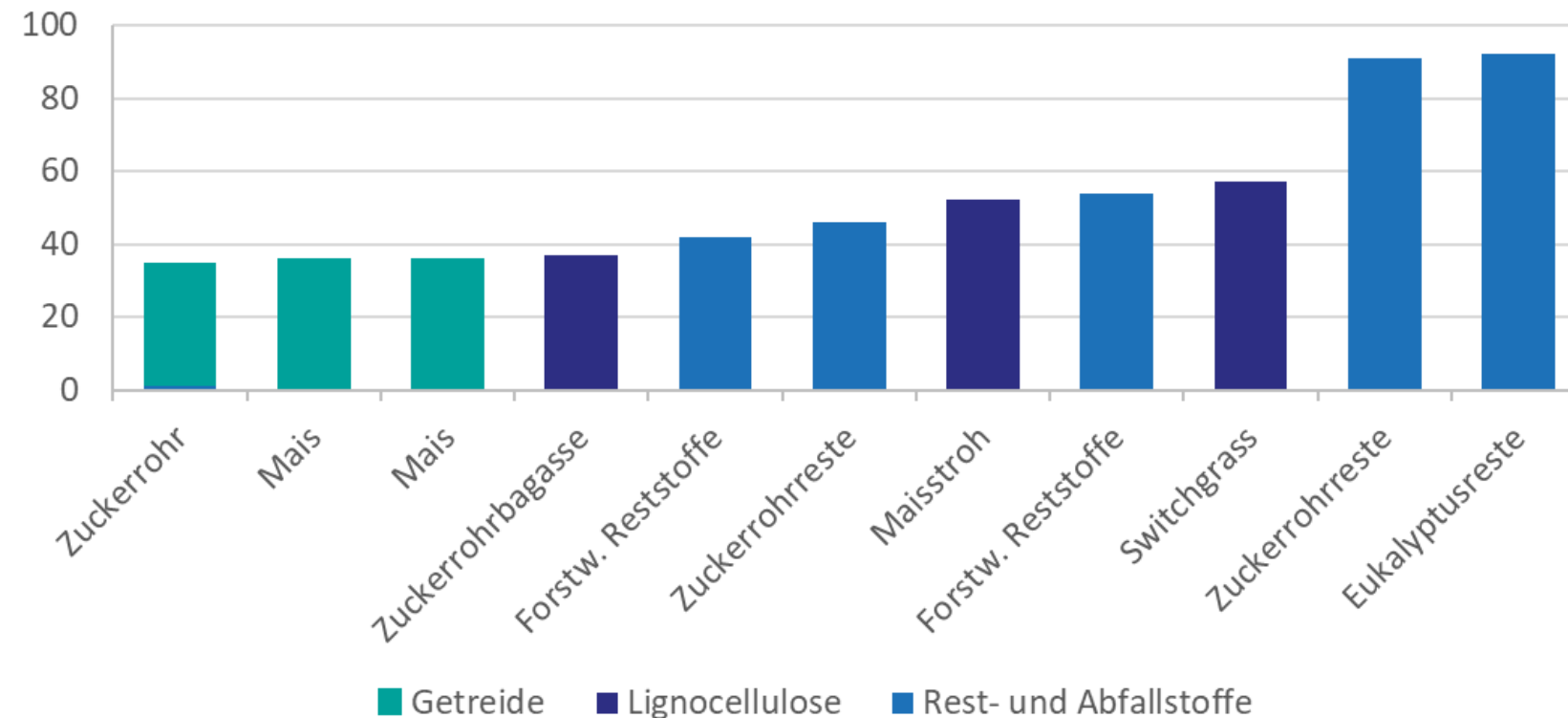
* Finales Produkt nicht SAF

Quelle: Dögnitz, Niels; Müller, Max John; Saikia, Madhumita Gogoi (2025): Economic analysis of selected SAF options. Task T3.1.1: Techno-economic data. Online verfügbar unter <https://www.icarus-biojet.eu/project-outputs/public-deliverables/ICARUS-D3.2.pdf>

Produktionskosten

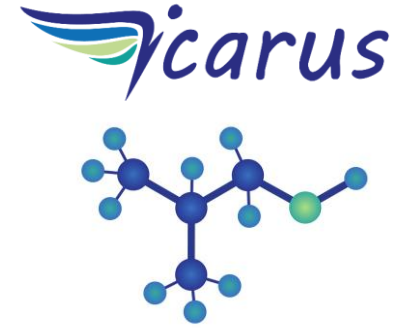


Gestehungskosten in EUR₂₀₂₄/GJ



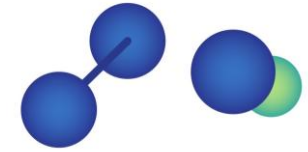
- Unterschiede zwischen der Effizienz der Verarbeitung der Rohstoffe führen zu großen Abweichungen bei den Produktionskosten
- Lediglich wenige Reststoffe im Bereich Getreide-basierter Rohstoffe

Schlussfolgerungen

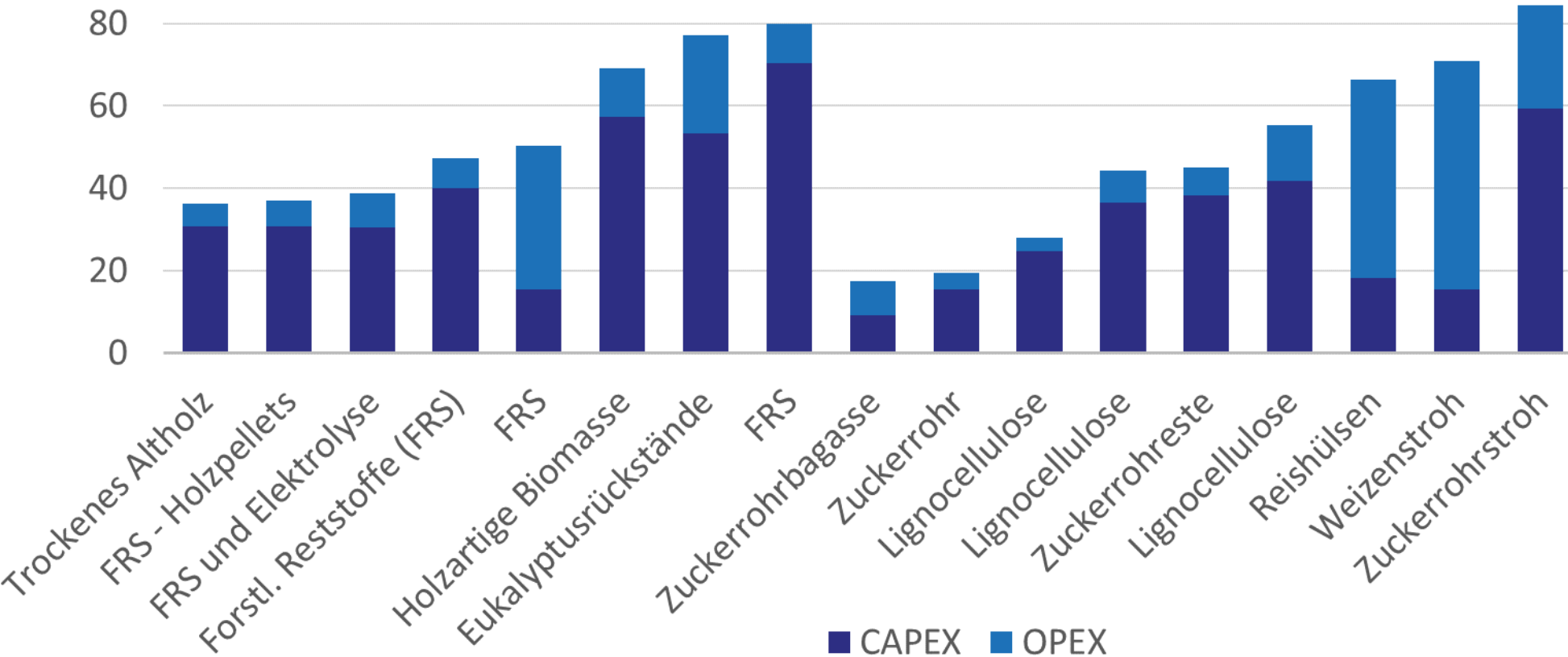


- Bislang lediglich Studien über die direkte Produktion von Isobutanol aus Mais
- Daher auch die Betrachtung von Ethanol-basierten Pfaden
- Rohstoff-Kosten:
 - Unterschiede zwischen den Produktionswertschöpfungsketten
 - Einige Abfall-Reststoffe haben Kostenvorteile
 - Lignocellulose-Rohstoffe bieten keine signifikanten Kostenvorteile gegenüber Getreide-basierten Materialien
- Ziel des ICARUS-Projekts: Entwicklung einer eigenen Kostenberechnung für die Isobutanol-Wertschöpfungskette

Produktionskosten und Kostenstruktur



Gestehungskosten in EUR₂₀₂₄/GJ



- Im Durchschnitt liegen die Betriebskosten bei etwa 56 %
- Insgesamt machen die Investitionskosten für Vergasungsanlagen einen recht hohen Anteil aus
- Durch diesen hohen Kapitalkostenanteil gibt es zwischen den Rohstoffen keine wesentlichen Unterschiede.

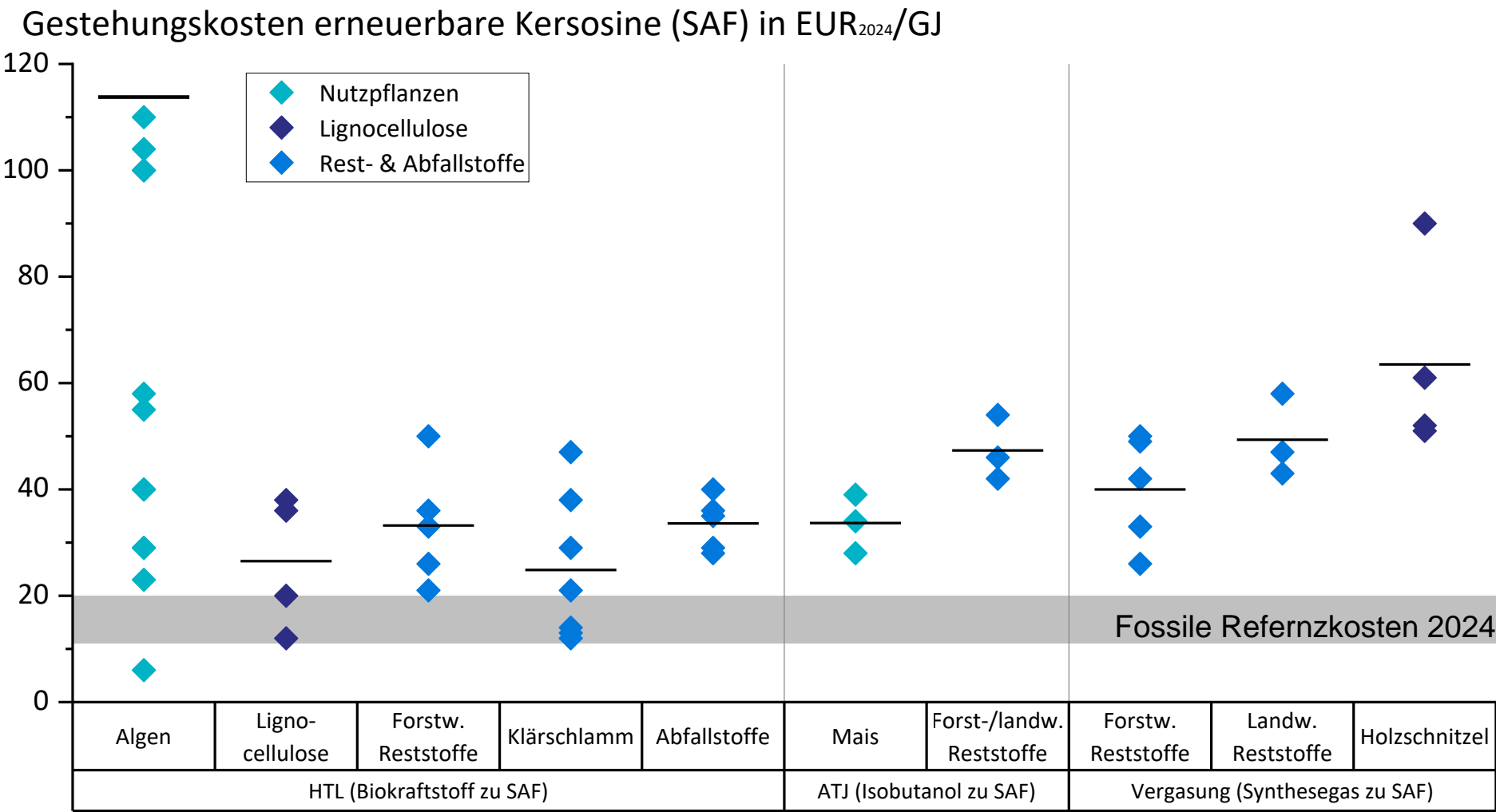
Schlussfolgerungen



- Massive Fortschritte bei operativen und geplanten Projekten weltweit erwartet
- Hauptsächliche Kosteneinflussgrößen:
 - Biomassekosten, CAPEX und Katalysatorkosten
- Herausforderungen auch außerhalb der Biomasse-relevanten Fragestellungen:
 - Zugang zu bezahlbarer erneuerbarer Elektrizität
 - Optimierung von Anlagenstandorten und Logistik unter Berücksichtigung lokaler Bedingungen
 - Übergang von Upstream-Prozessen zur Kommerzialisierung

Techno-Ökonomische Bewertung

Zusammenfassung



Quelle: Erstellt mir Daten aus: Dögnitz, Niels; Müller, Max John; Saikia, Madhumita Gogoi (2025): Economic analysis of selected SAF options. Task T3.1.1: Techno-economic data. Online verfügbar unter <https://www.icarus-biojet.eu/project-outputs/public-deliverables/ICARUS-D3.2.pdf>

Zusammenfassung

- Biobasierte Flugkraftstoffe sind im Vergleich zu herkömmlichen fossilen Brennstoffen derzeit nicht konkurrenzfähig
- Regulatorische Mandate absehbar, welche gute Absätze für erneuerbare Kerosine aus Rest und Abfallstoffen erwarten lassen
- Aktuell wenige ausgereifte technische Routen verfügbar, um erwarteten hohen Bedarf zu decken
- Notwendigkeit von weiterer Skalierung der Prozesse, um die weiteren Pfade und Rohstoffe verfügbar zu machen und Effizienzen zu verbessern
- Begrenzte Verfügbarkeit von geeigneten Rest- und Abfallstoffen zu beachten
- Potenziale für die Produktionskosten für einzelne Pfade erkennbar
- Insbesondere bieten sich jeweils für spezifische Abfall- und Reststoffe ökonomische Nischen

Thank you

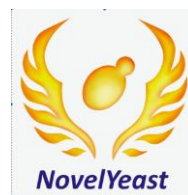
Niels Dögnitz^{*1}, Max John Müller¹,
Madhumita Gogoi Saikia²

¹ DBFZ Deutsches
Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH

² Freie Universität Bozen, Italien



Partners



Associated Partners



ICARUS has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement no. 101122303