



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

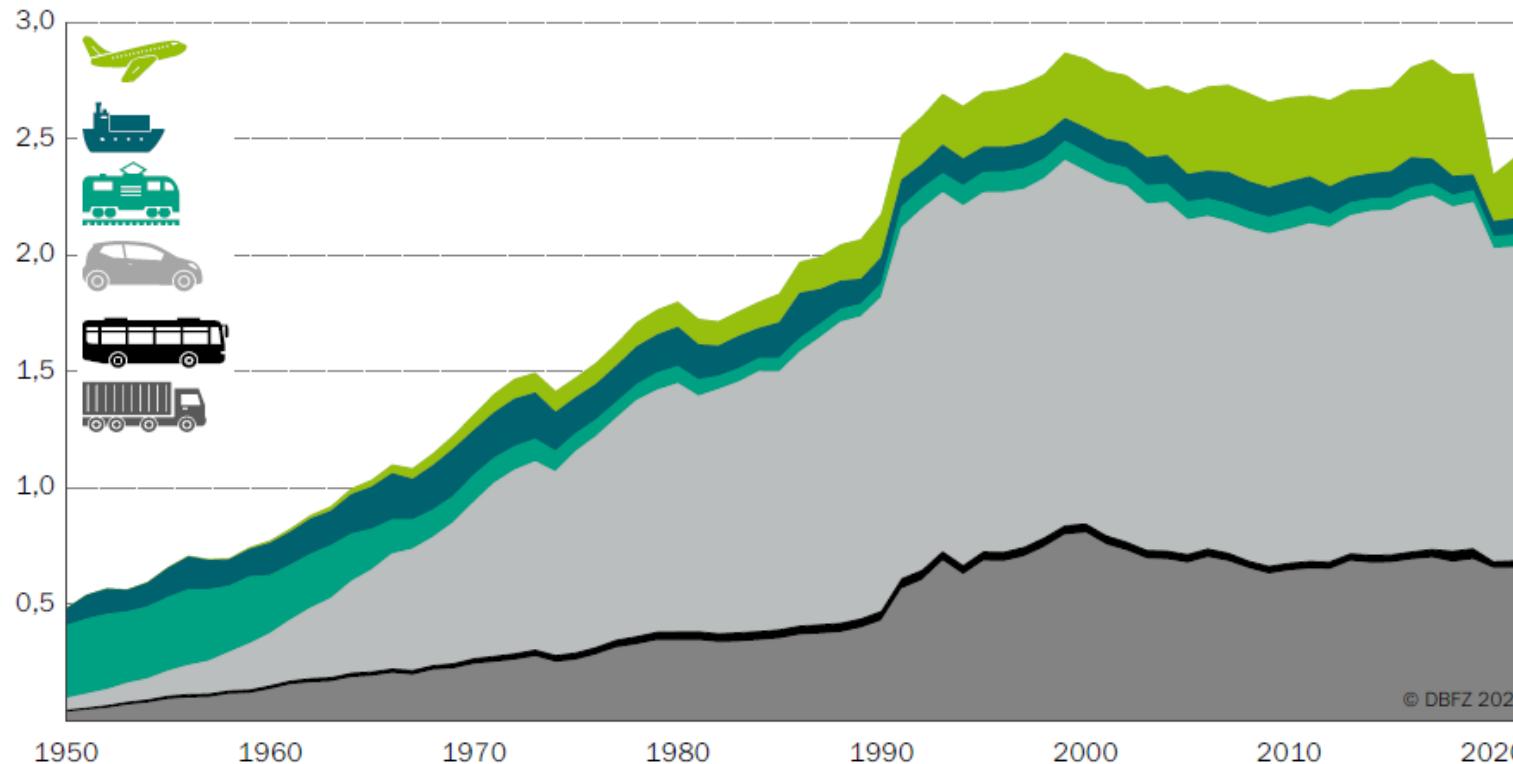
Niels Dögnitz, Max John Müller, Madhumita Gogoi Saikia

# Agenda

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

# Endenergiebedarf

DE | Endenergieverbrauch im Verkehr in EJ  
inklusive von Deutschland ausgehender grenzüberschreitender Verkehr

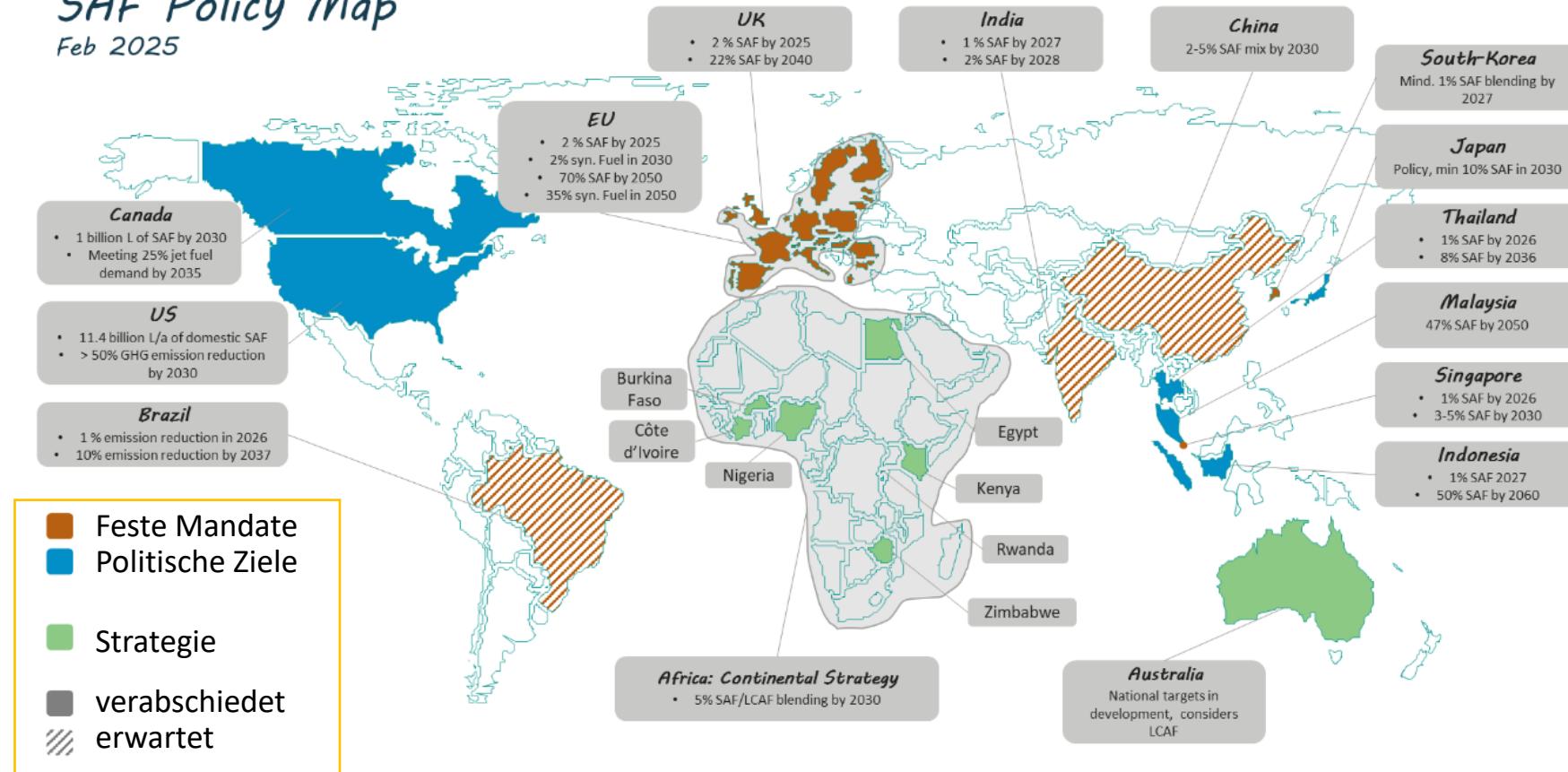


- Kontinuierliche Steigerung Energieverbrauch in Luftverkehr in den vergangenen Jahrzehnten
- Größter, nicht elektrisch substituierbarer Anteil am Endenergieverbrauch

# Überblick über SAF-Mandate

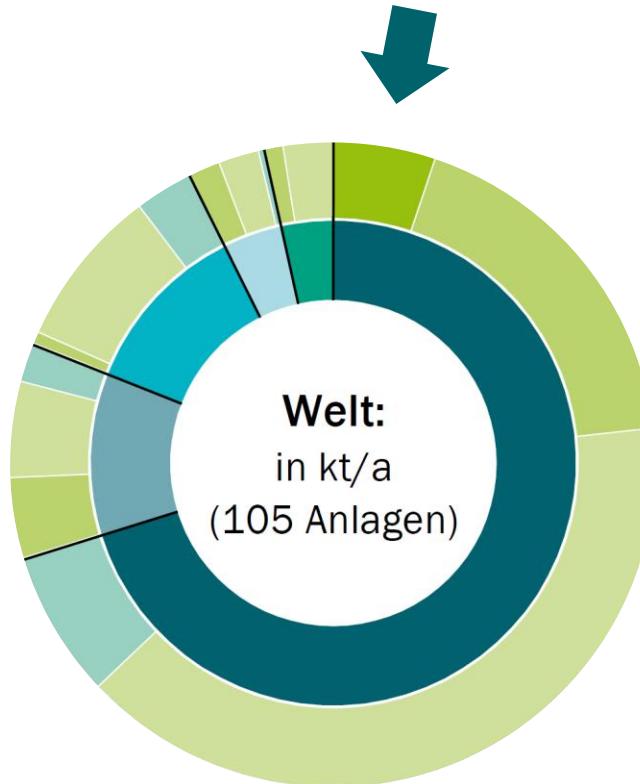
SAF Policy Map

Feb 2025



- 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



- █ HEFA-SPK\*
  - █ Alcohol-to-Jet
  - █ Fischer-Tropsch-SPK
  - █ Methanol-to-Jet
  - █ Unbekannt
- \* 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

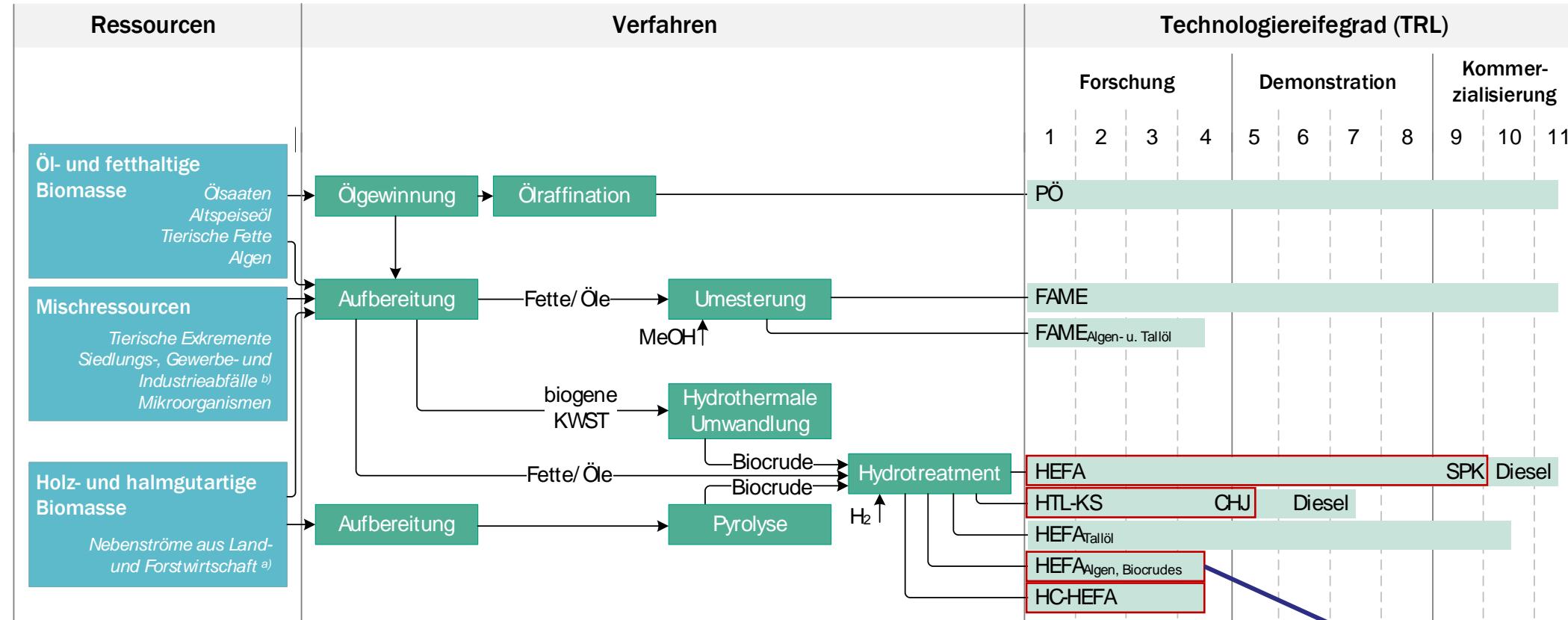
Air France & KLM: 103 kt

DHL: 74 kt

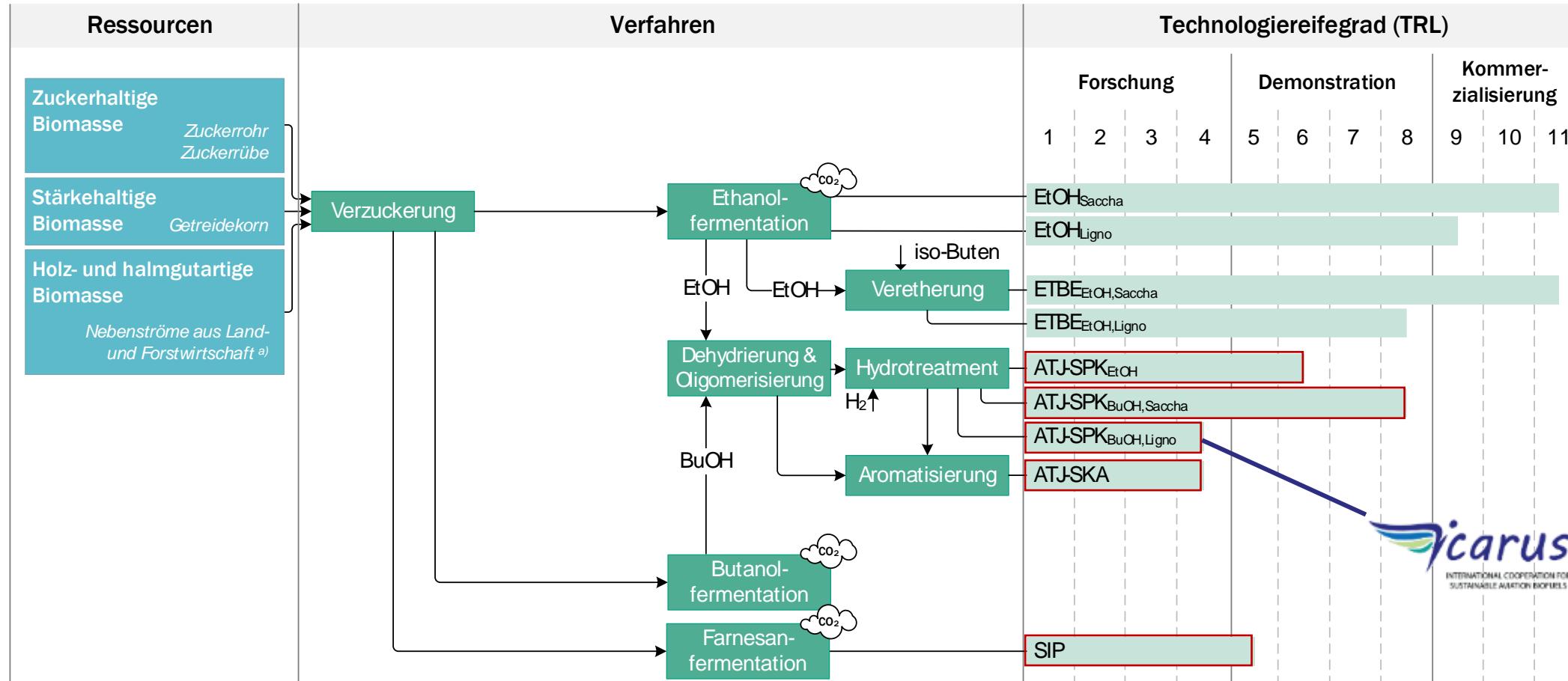
# Technologie- und Kraftstoffentwicklung

Technologie-entwicklung	Technologiegrundlagen	Labor / Technikum	Pilotanlage	Demoanlage	First-of-a-kind	Kommerziell					
Technologiestadien (vereinfacht)	Wissensentwicklung basierend auf modernster Literatur	Versuche zur Grundlagen-ermittlung und Identifizierung von Unsicherheiten unter idealisierten Versuchsbedingungen	Erprobung verschiedener Technologien für Teilprozesse, Aufdecken von Unsicherheiten in Teiltechnologien, Sammlung von Erfahrungen im Prozessverständnis	Realisierung als integrierter Gesamtprozess, Produktion für Tests (auch im Dauerbetrieb)	Vollständige Demonstration der Bereitstellung unter kommerziellen Bedingungen	Technologie kommerziell verfügbar					
Innovationsstufen	Grundlagenforschung	Angewandte Forschung	Technische Entwicklung			Markteintritt	Markttablierung				
Technology Readiness Level (TRL)	1   Beobachtung des Funktions-prinzips	2   Entwicklung des Technologie-konzepts	3   Experimenteller Nachweis des Technologie-konzepts	4   Technologie-validierung im Labor/ Technikum	5   Technologie-validierung unter relevanten Bedingungen	6   Technologie-demonstration unter relevanten Bedingungen	7   Demonstration eines Prototyps in Betriebsumgebung	8   Qualifizierung des Gesamtsystems unter realen Bedingungen	9   Erfolgsnachweis des Gesamtsystems	10   Markt-integration	11   Marktstabilität
Fuel Readiness Level (FRL)	1   Grundlagen dokumentiert	2   Technologie-konzept definiert	3   Konzept in Testphase	4   Vorläufige technische Evaluation	5   Prozess-validierung	6   Technische Evaluation im Großmaßstab	7   Kraftstoff-zulassung	8   Kommerzialisierung validiert	9   Produktions-kapazitäten etabliert		
Typische Realisierungszeiträume bis Markteinführung	8 bis > 15 Jahre			3 bis 8 Jahre		1 bis 4 Jahre					
Kraftstoffstadien (vereinfacht)	Theoretisches Design, Rohstoffanalyse und Laborproduktion, Chemische Haupteigenschaften analysiert			Untersuchung der motorischen Eigen-schaften, Analyse der Kraftstoffeigen-schafte		Kraftstoffbewertung unter realen Bedingungen und Qualifizierung nach relevanten Standards	Geschäftsmodell validiert, Kaufvertrag geschlossen	Anlagenbetrieb im kommerziel- len Maßstab			
Kraftstoffentwicklung	Technologiephase				Kraftstoffqualifizierung		Einsatzphase				

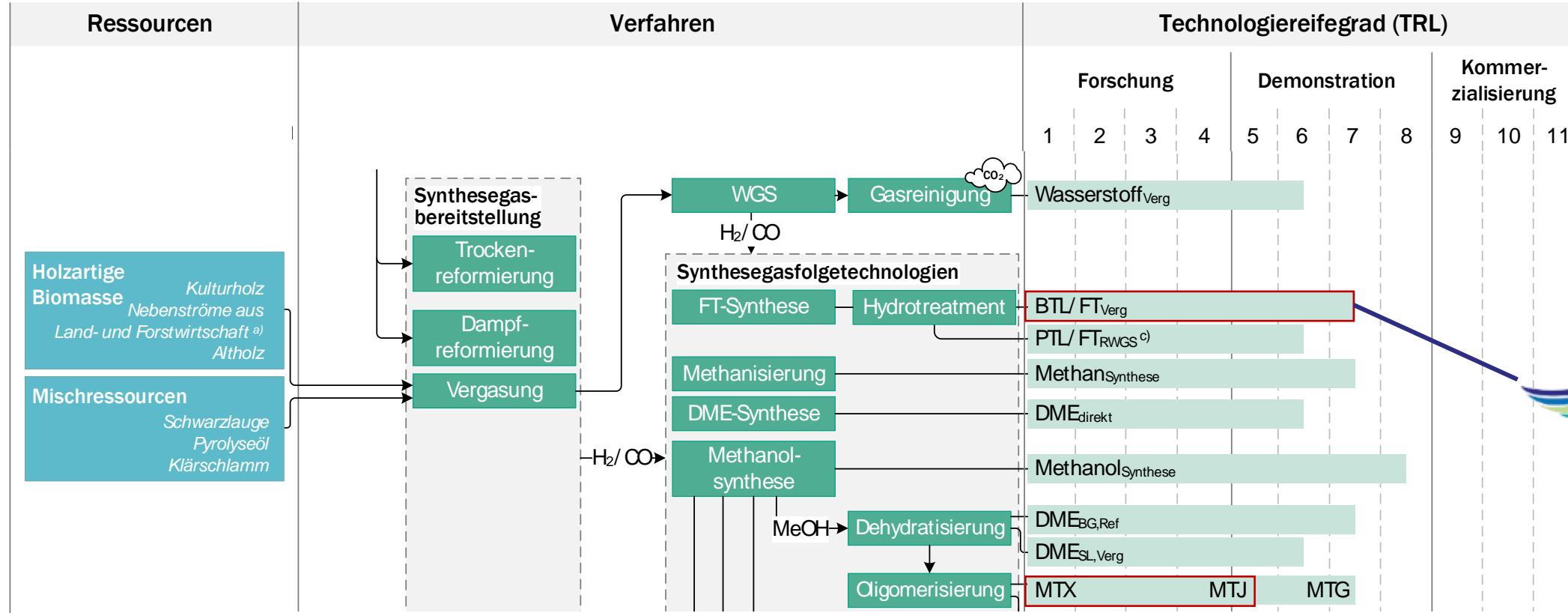
# HEFA-Pfade



# Alkohol-basierte Pfade

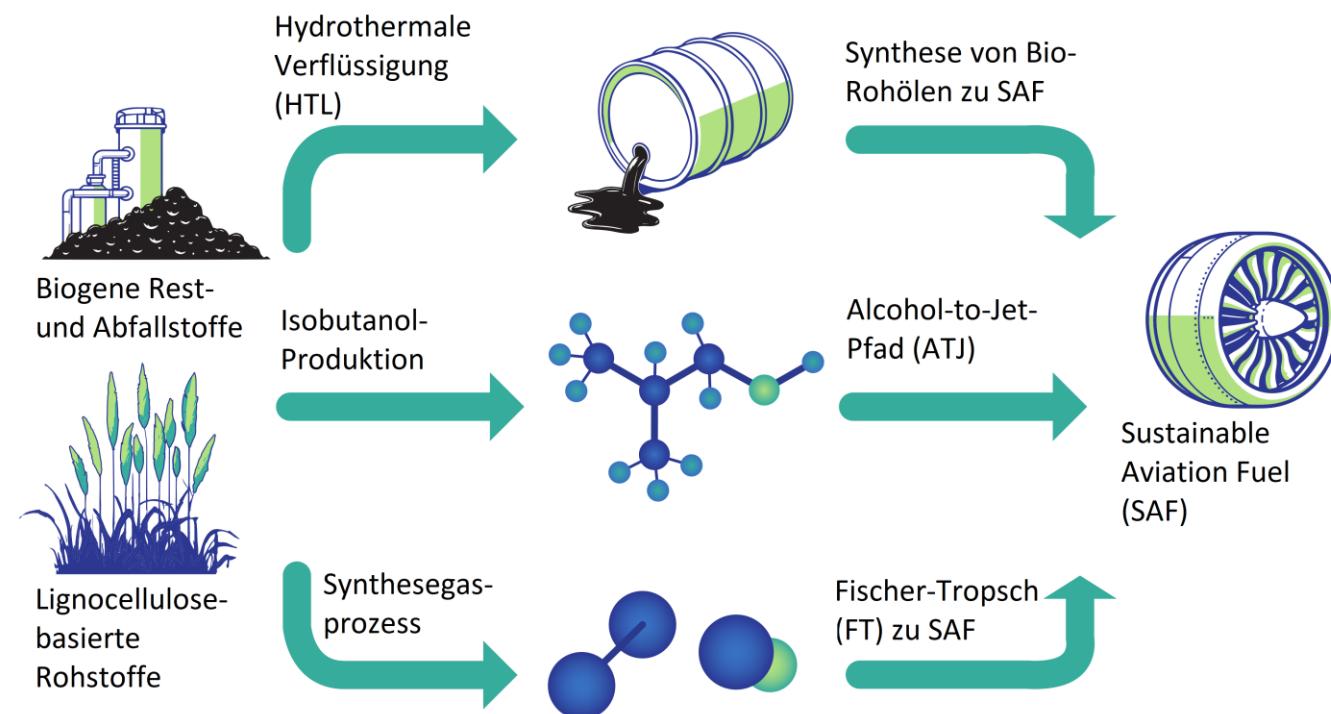


# Synthesepfade aus Biomasse



# Das Projekt

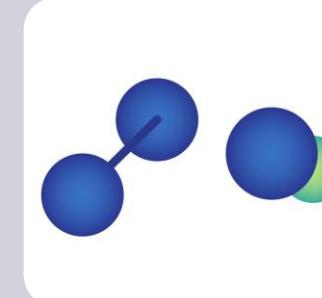
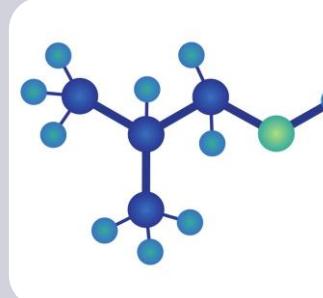
- Basierend auf bewährten Verfahren (mit verbesserten innovativen Technologien)
- Konzepte (basierend auf Marktzugangskenntnissen)
- Ziel ist die weltweite Produktion nachhaltiger Biokerosine zu beschleunigen.



# 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

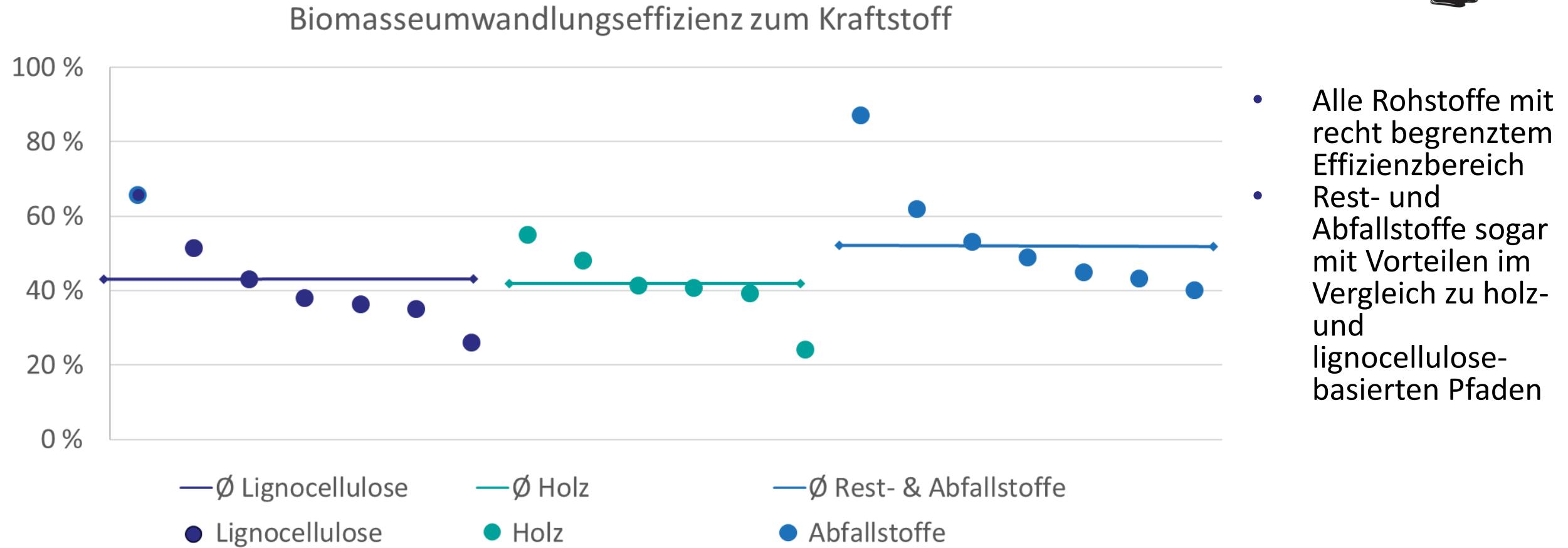
Technische,  
ökono-  
mische und  
ökologische  
Bewertung

Anwen-  
dungs-  
beispiele

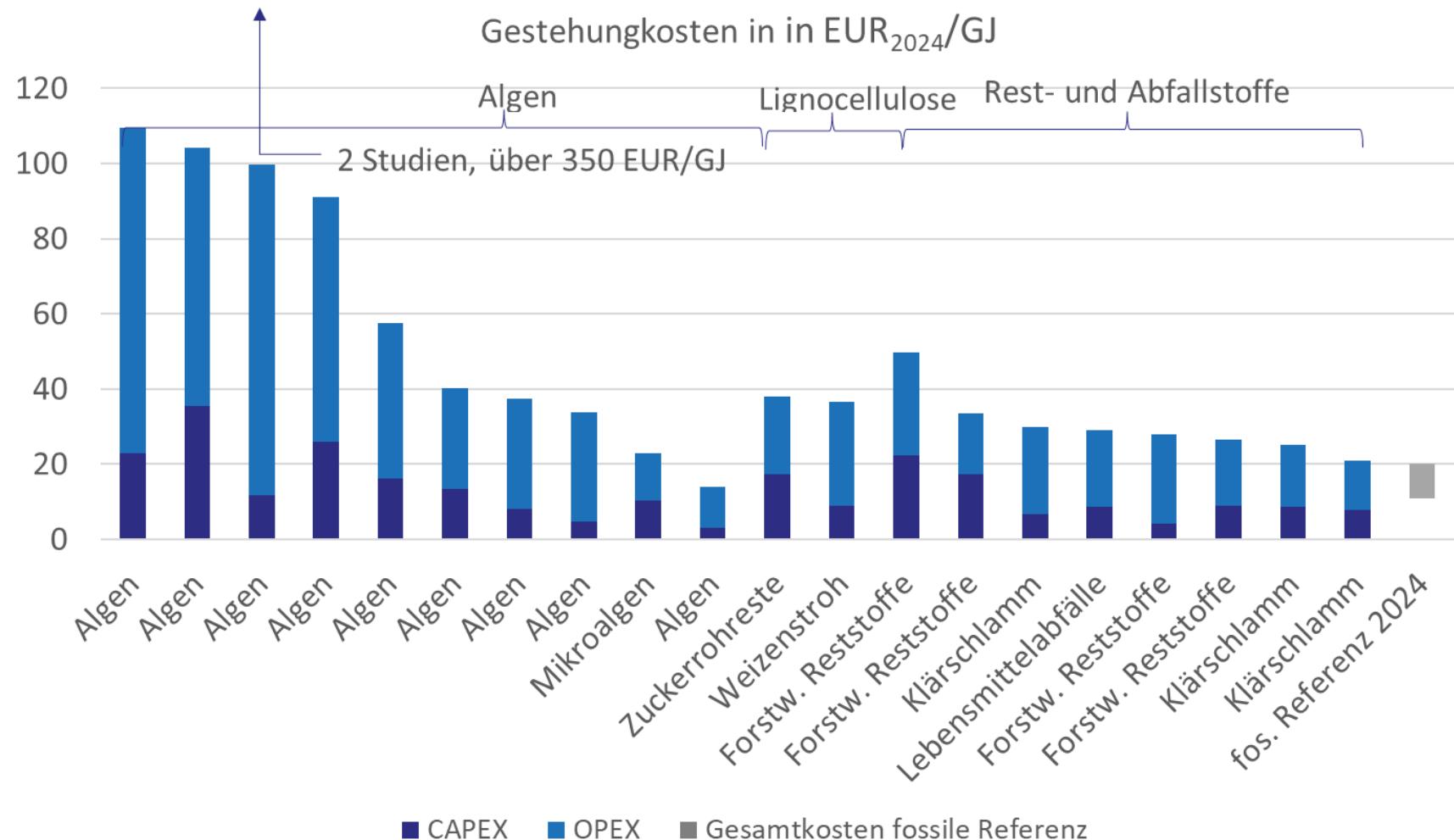
# Prozessindikatoren

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 Produktionskosten 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



# Produktionskosten

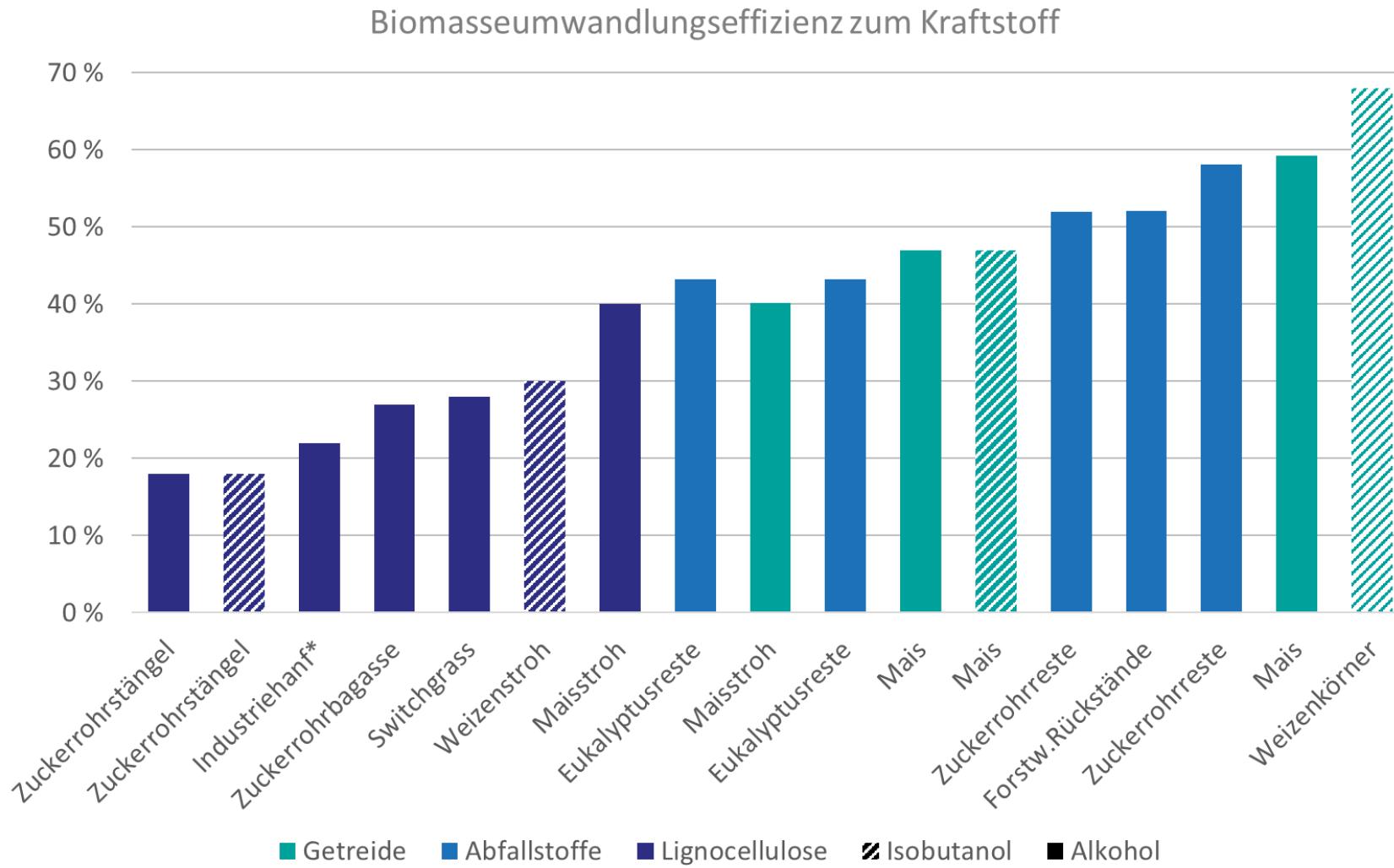


- Algen-basierte Studien mit sehr großen Kostenunterschieden vor allem im Standort und der Skalierung
- Lignocellulose-basierte Biomassen und Reststoffe mit vergleichbaren Ergebnissen
- Gesamtes Niveau sehr nahe an fossiler Referenz

# Schlussfolgerungen

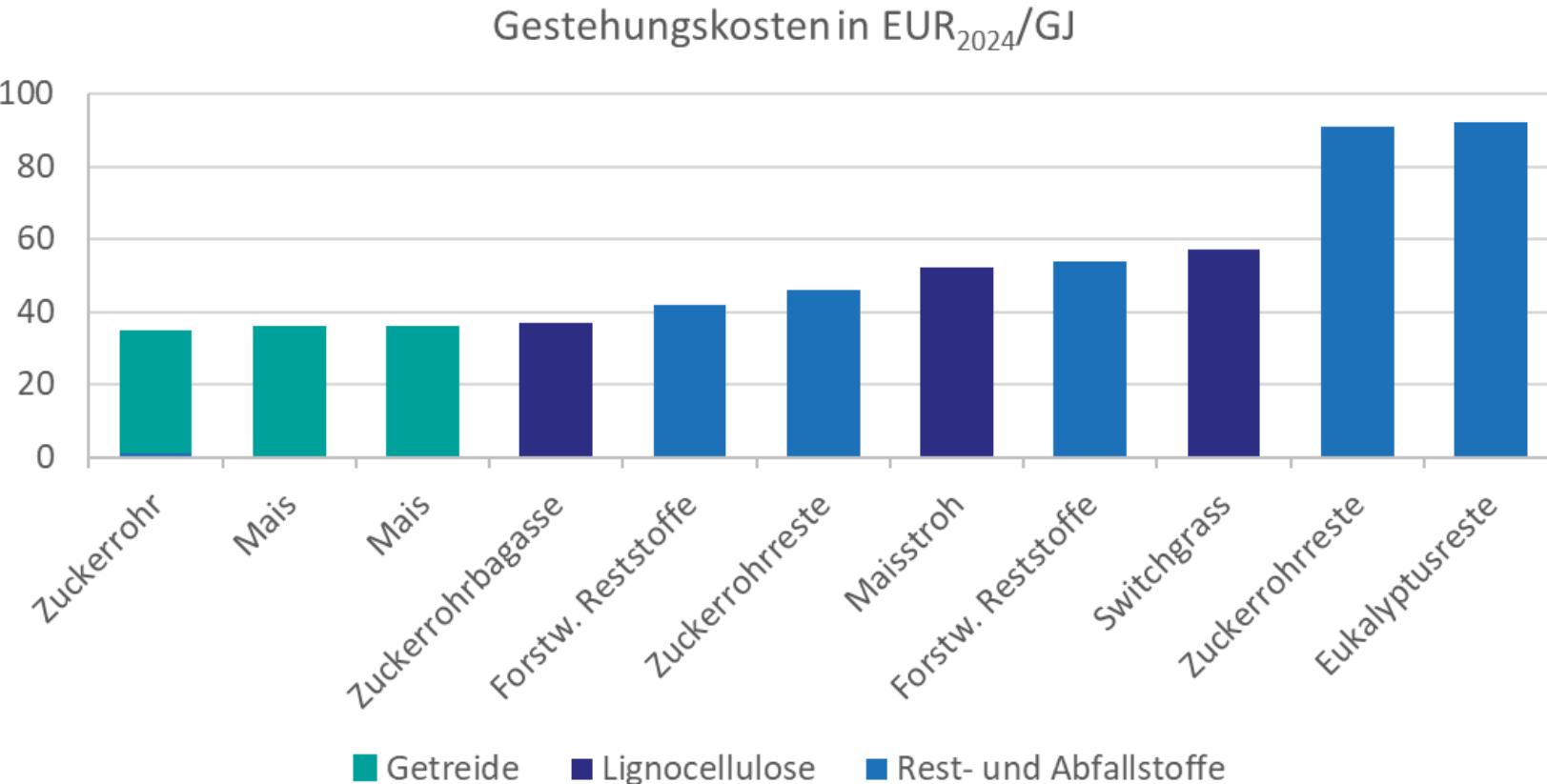
- Aktueller Reifegrad der untersuchten Algen-basierten Routen bei TRL/FRL 4-5
- Weitere Entwicklung und Demonstration erforderlich
- Abweichungen in den Rohstoffen durch Heterogenität, einzigartige Prozessdesigns und diverse Systemintegrationen
- Sensible Kostenfaktoren sind die Bio-Rohöl-Ausbeute, Rohstoffkosten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

# Biomasseeffizienzen



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

# Produktionskosten

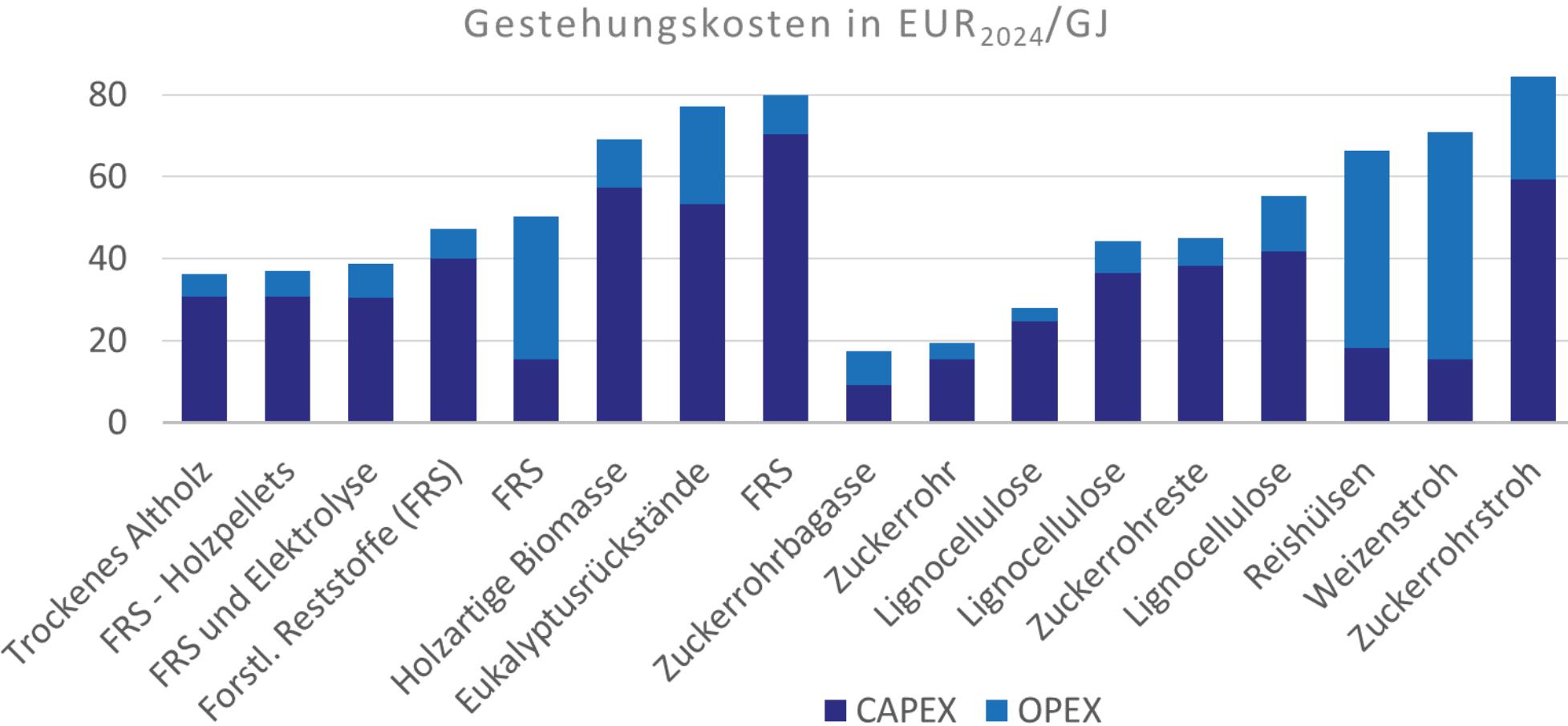


- Unterschiede zwischen der Effizienz der Verarbeitung der Rohstoffe führen zu großen Abweichungen bei den Produktionskosten
- Lediglich wenige Reststoffe im Bereich Getreide-basierter Rohstoffe

# 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

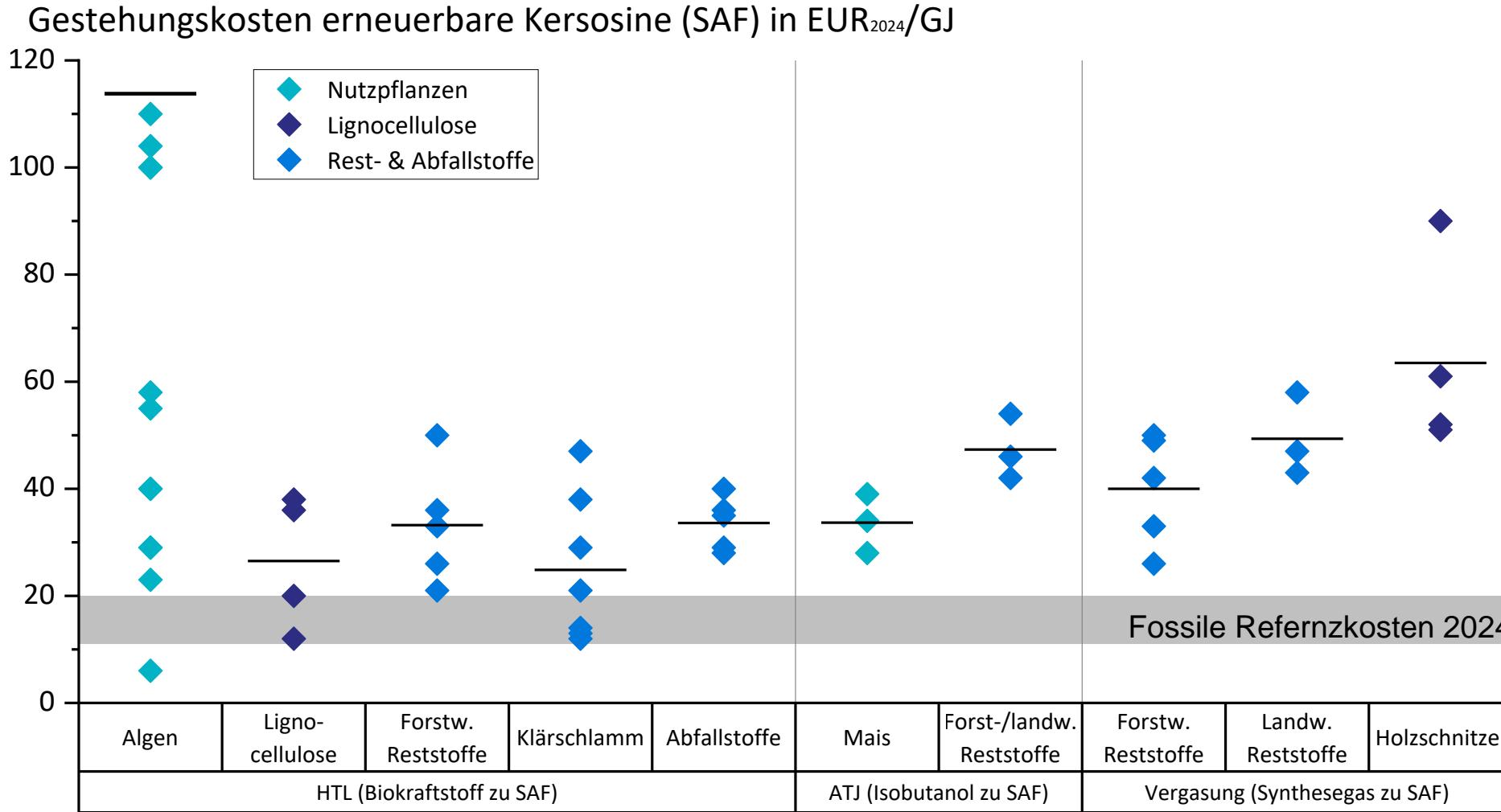


- Im Durchschnitt liegen die Betriebskosten bei etwa 56 %
- Insgesamt machen die Investitionskosten für Vergasungsanlagen einen recht hohen Anteil aus
- Durch diesen hohen Kapitalkostenanteil gibt es zwischen den Rohstoffen keine wesentlichen Unterschiede.

# 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

# Zusammenfassung



## 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<sup>\*1</sup>, Max John Müller<sup>1</sup>,  
Madhumita Gogoi Saikia<sup>2</sup>

<sup>1</sup> DBFZ Deutsches  
Biomasseforschungszentrum  
gemeinnützige GmbH

<sup>2</sup> 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