



Wege zu einer klimafreundlicheren Luftfahrt

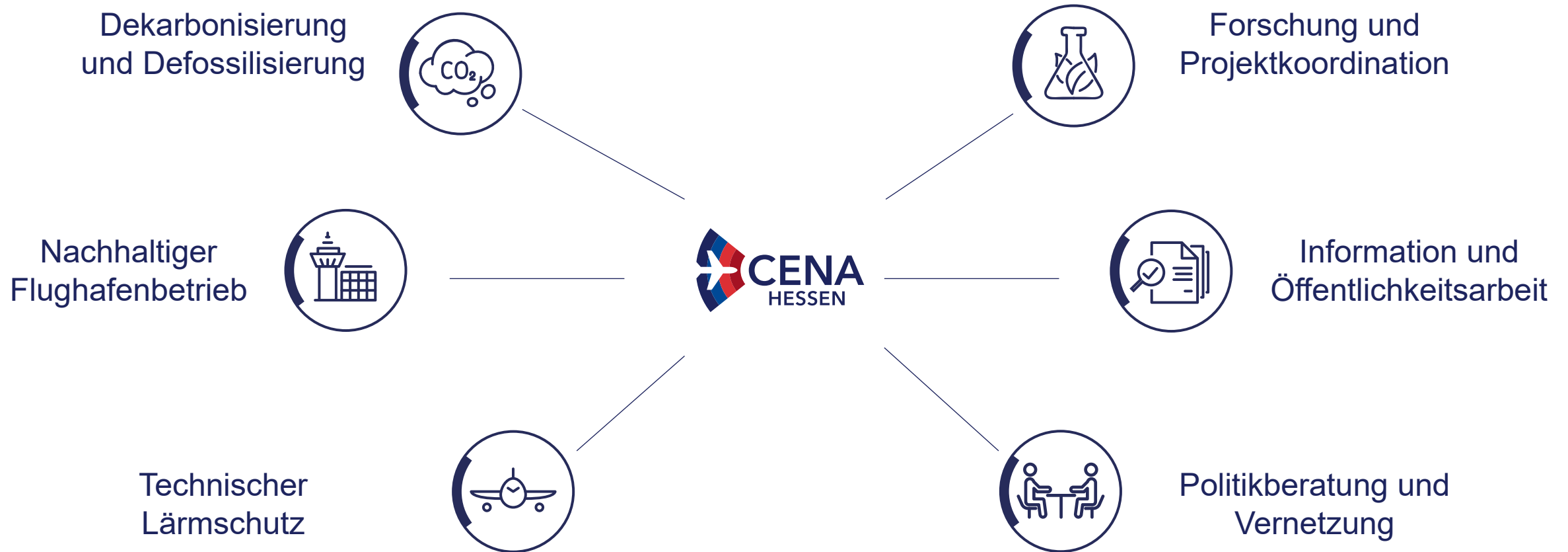
Technologien und Ansätze für eine klimafreundlichere Luftfahrt

Gemeinnützige Umwelthaus GmbH

12. März 2026

Impulsgeber für Innovationen im Luftverkehr

Forschungszentrum & Politikberatung



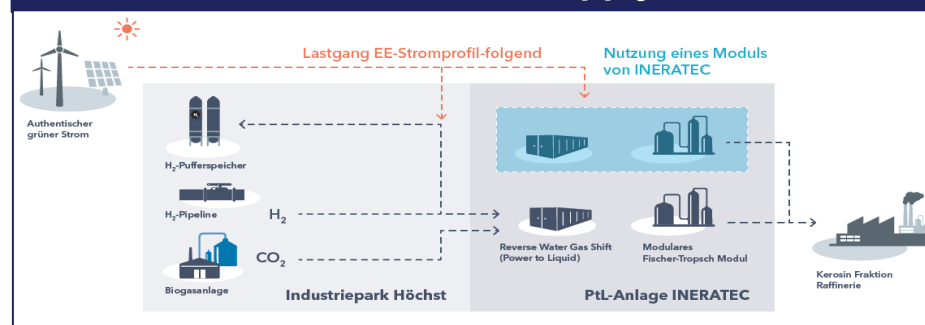
Aktuelle CENA-Forschung

Flexible PtL-Produktion, Supply Chain, Weiterverarbeitung & SAF-Markthochlauf

Innovationsplattform „InnoFuels“



„RePoSe – Real-time Power Supply for e-Fuels“

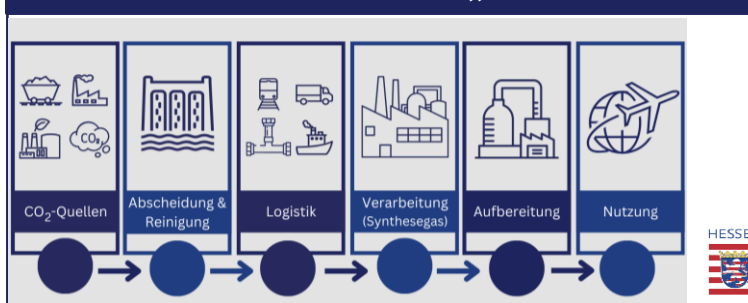


Gefördert durch: **GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE** (Logo), Bundesministerium für Verkehr (Logo), aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Koordiniert durch: **NOW** (Logo), NOW-GMBH.DE

Projekträger: **VDI | VDE | IT** (Logo), HESSEN (Logo)

Durchführbarkeitsstudie „Carbon4PtL“



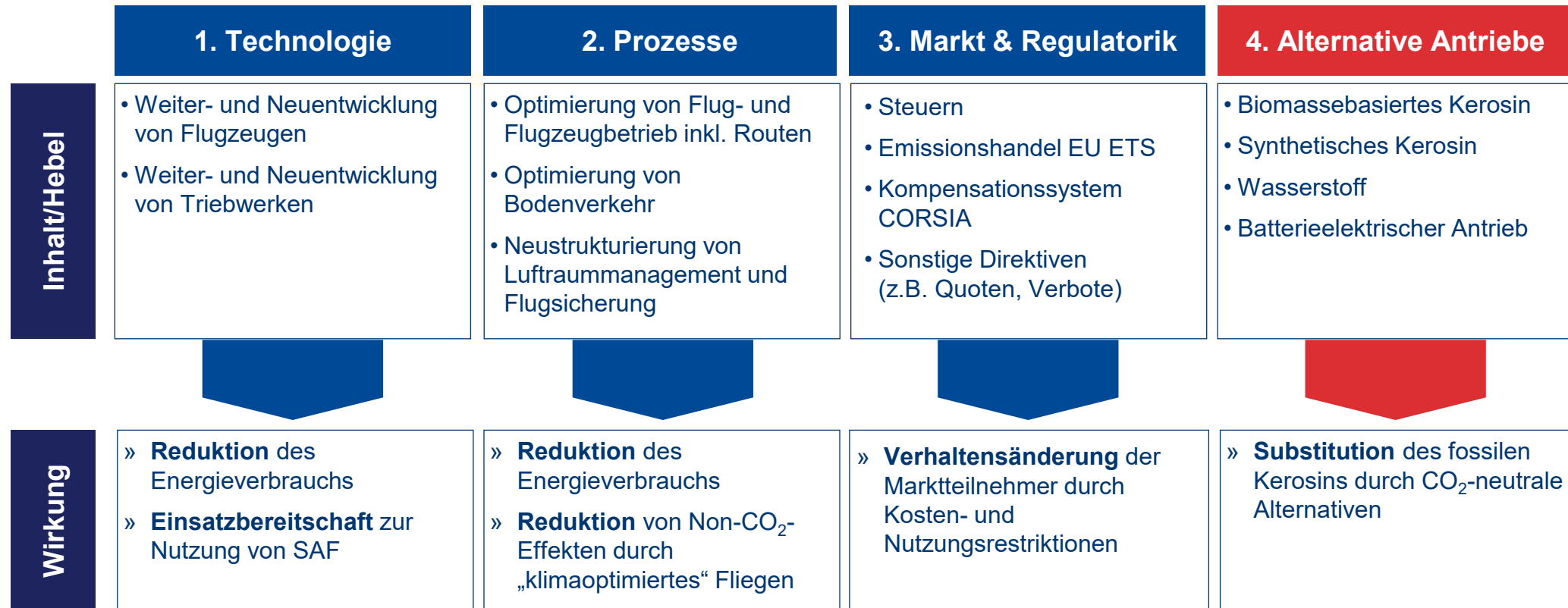
„Kopernikus - P2Fuels“



„CENA-SAF Outlook“



Vier Hebel, um Fliegen klimafreundlicher zu machen



Ziel: Klimaneutralität bis 2050

Klimapolitische Vorgaben zur Dekarbonisierung des Luftverkehrs

European Green Deal and Fit-for-55: Wachstum von CO₂-Emissionen entkoppeln



EU ETS: Phase-Out kostenloser Zertifikate für den Luftverkehr (bis Ende 2025)



Aktuell Diskussion um Einbeziehung der Non-CO₂-Effekte (ab 2025 Berichtspflicht)



Initiative zum Einsatz von Elektro- und Wasserstofffliegern

ReFuelEU Aviation



Beimischungsquote für Sustainable Aviation Fuels (SAF)

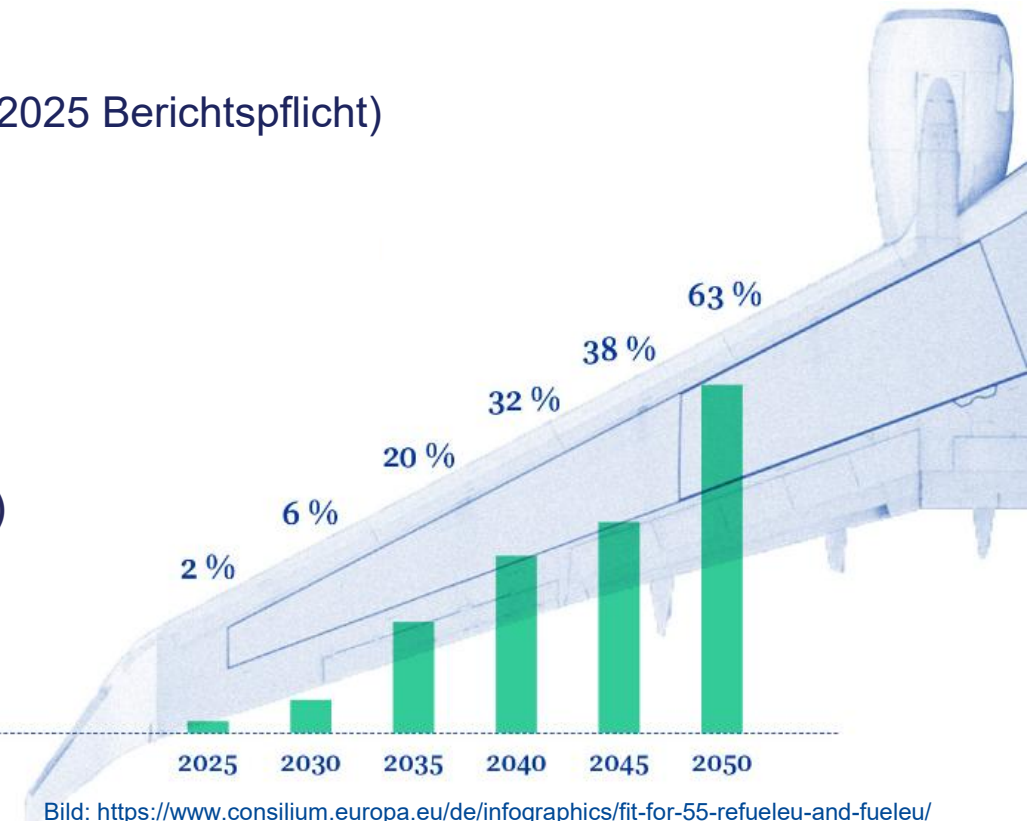


Unterquote für E-Fuels (1,2% in 2030; 35% in 2050)

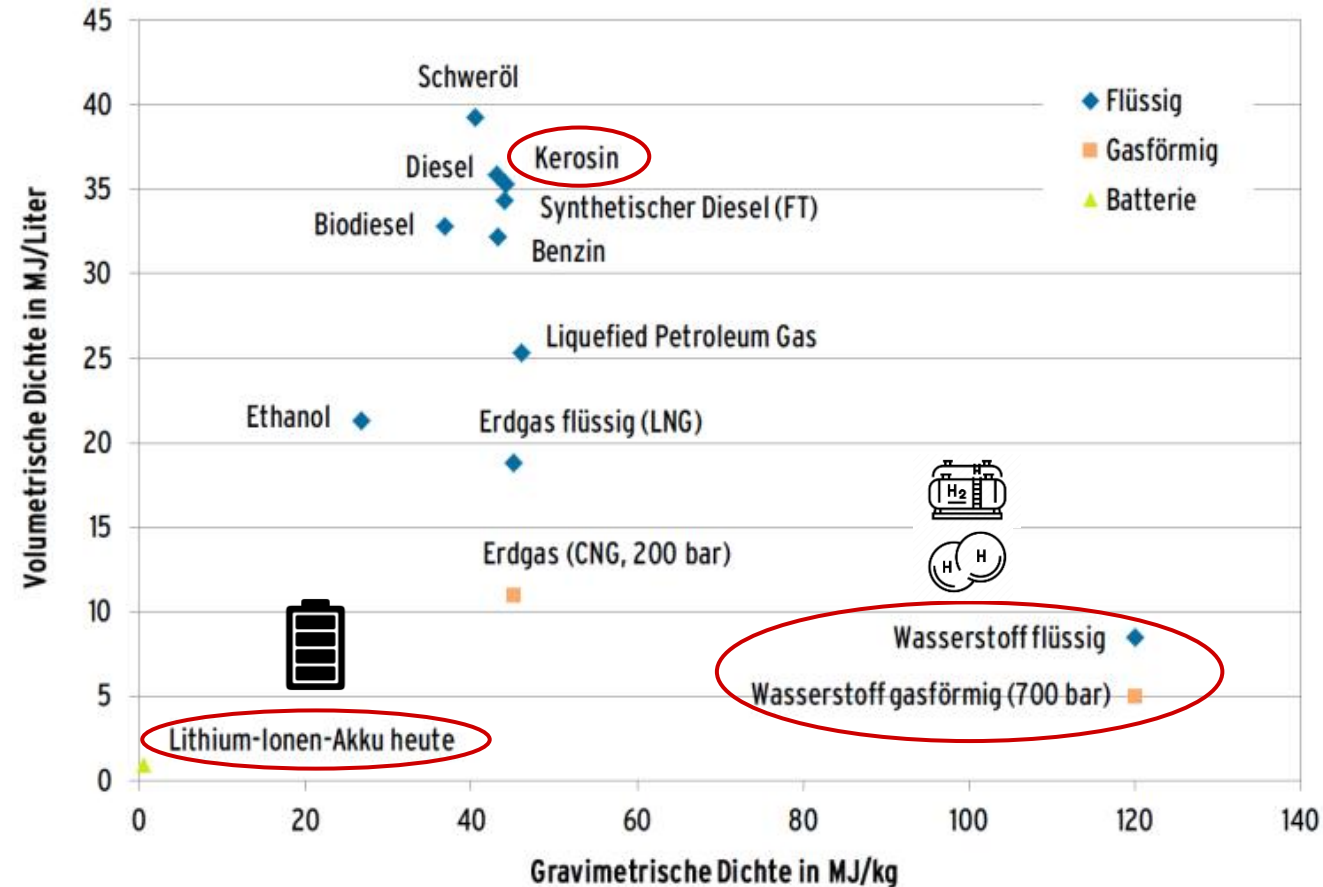


Geldbußen bei Nichteinhaltung

Mindestanteil
nachhaltiger
Flugkraftstoffe (in %)

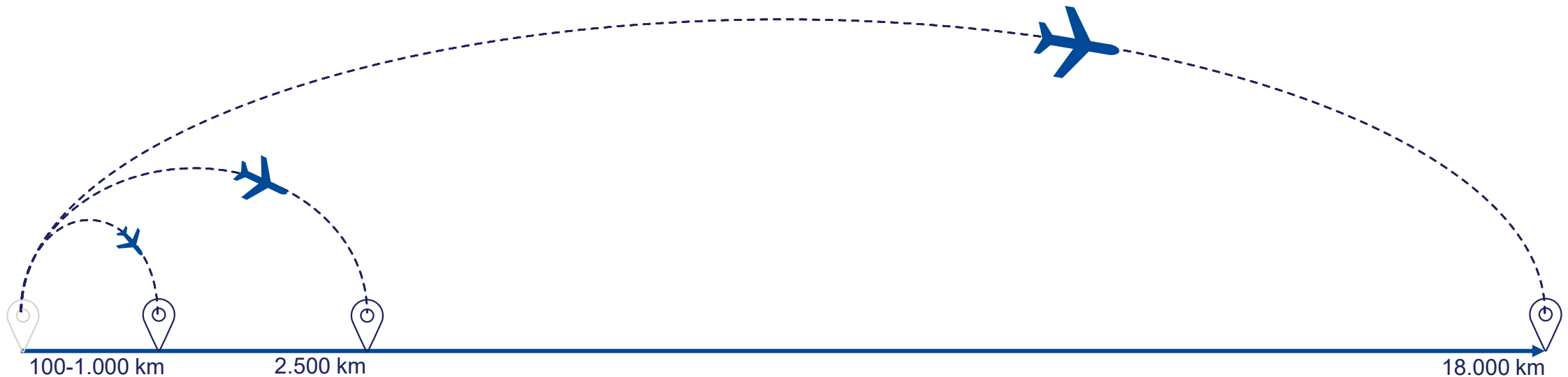


Alternative Antriebe - Eine Frage der Energiedichte ...



Quelle: Umweltbundesamt (2015): Postfossile Energieversorgungsoptionen

... und eine Frage der Reichweite und der Nutzlast



Lithium-Ionen-Batterie

- **Reichweite:** Kurzstrecke
- **Typ:** z.B. Dornier 328
- **Zulassung:** nein
- **Besonderheit:** An Regionalflughäfen erwartet
- **Klima:** Emissionsfrei

Wasserstoff

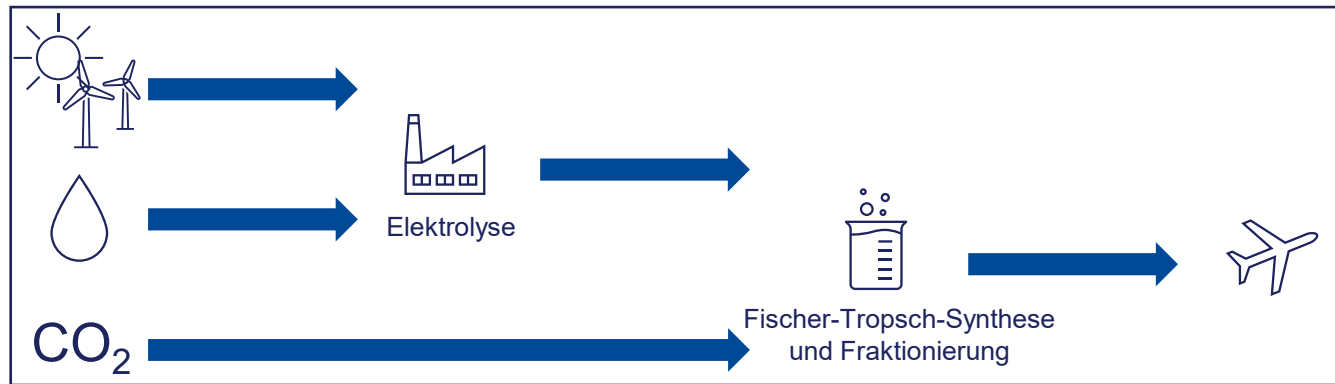
- **Reichweite:** Kurz- bis Mittelstrecke
- **Typ:** z.B. A320
- **Zulassung:** nein
- **Besonderheit:** Neues Flugzeugdesign erforderlich (u.a. 4-9 x größere Tanks als für Kerosin benötigt)
- **Klima:** CO₂-frei

Sustainable Aviation Fuels (SAF)

- **Reichweite:** Langstrecke
- **Typ:** alle, z.B. A350, A380
- **Zulassung:** ja (50% Beimischung)
- **Besonderheit:** Drop-In-Fuels wie fossiles Kerosin nutzbar
- **Klima:** bis zu 80% CO₂-Reduktion

Sustainable Aviation Fuels (SAF): Biofuels und E-Fuels

E-Fuels

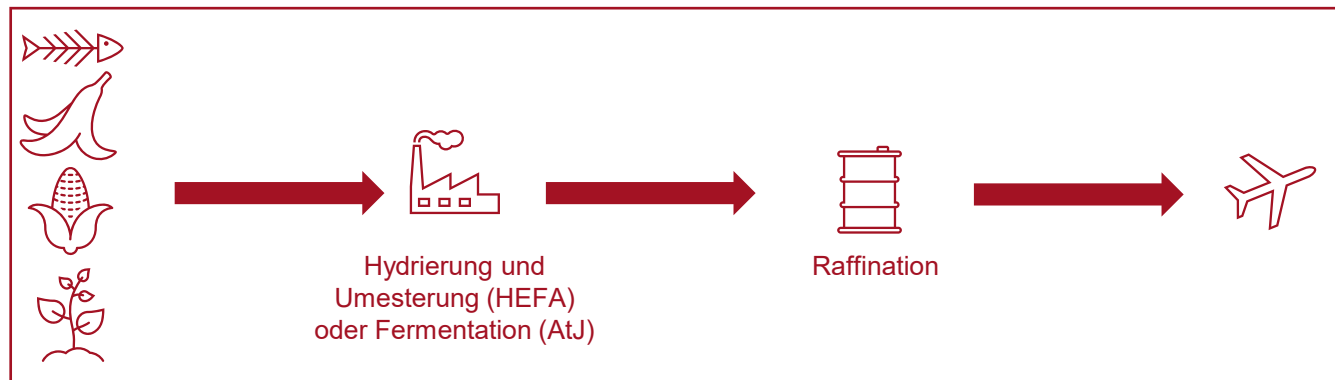


- 80-100% CO_2 -Reduktion möglich
- Vermeidung von Non- CO_2 -Effekten und Verbesserung der Luftqualität am Boden
- Theoretisch nahezu unbegrenzt skalierbar



- Technologie noch nicht erprobt
- Sehr hohe Produktionskosten
- Geringe Verfügbarkeit
- Restriktionen durch Regulatorik und Standortbedingungen für Ausgangsstoffe

Biofuels



- Technologie etabliert (HEFA)
- Produktion schnell skalierbar
- Deutlich günstiger als E-Fuels



- Biomasse nicht unbegrenzt skalierbar
- Tank-oder-Teller-Debatte
- Weniger CO_2 -Einsparung als bei E-Fuels

Was sind erneuerbare Kraftstoffe aus Biomasse?

Prozess	Rohstoffe	Reifegrad Technologie	Zulassung	Beimischung
HEFA Hydroprocessed Esters and Fatty Acids	Natürliche Fetten und pflanzliche Öle, UCO, Bioabfälle	9	✓	50%
FT Fischer-Tropsch inkl. Gasifikation Biomasse	Energiepflanzen, landwirtschaftl. Reststoffe, holzige Biomasse, Festabfall	9	✓	50%
CHJ Catalytic Hydrothermolys Jet Fuel	Abfall- und Energieöle, Bioabfälle (fettähnlicher Stoff)	6	✓	50%
SIP Synthesized Isoparaffins	Zuckerrohr, Zuckerrübe	5 - 8	✓	10%
AtJ Alcohol-to-Jet	Zuckerrohr, Zuckerrübe, Sägemehl, lignocellulose-haltige Abfälle	7 - 8	✓	50%

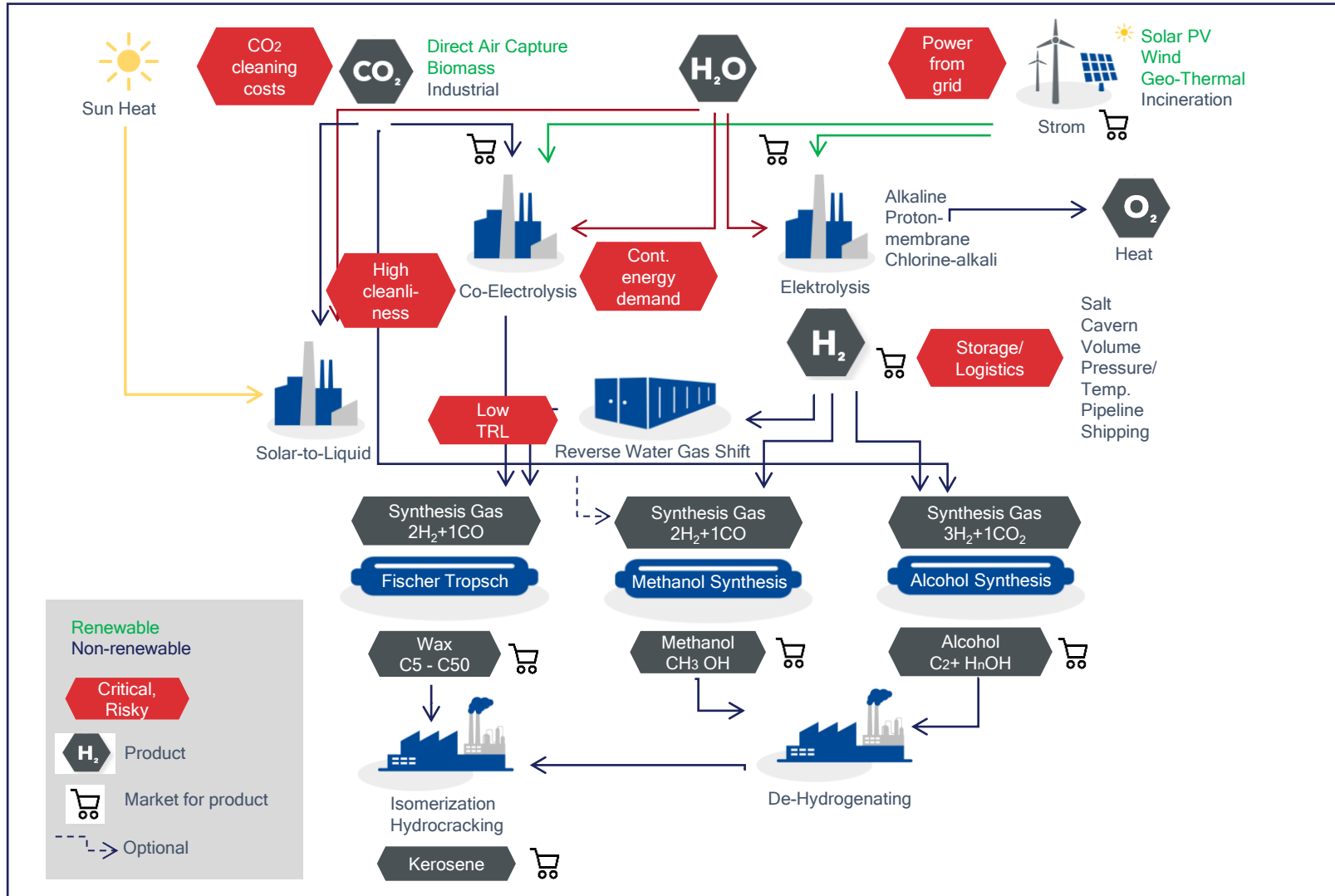
Quelle: Umweltbundesamt (2022): Power-to-Liquids: A scalable and sustainable fuel supply perspective for aviation

Was sind E-Fuels?

Prozess	Rohstoffe	Reifegrad Technologie	Zulassung	Beimischung
FT Fischer-Tropsch	Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid	6	✓	50%
MtJ Methanol-to-Jet	Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid	3		-
AtJ Alcohol-to-Jet	Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid	3	(✓)	-

Quelle: Umweltbundesamt (2022): Power-to-Liquids: A scalable and sustainable fuel supply perspective for aviation

Die Herstellung von E-SFuels ist komplex

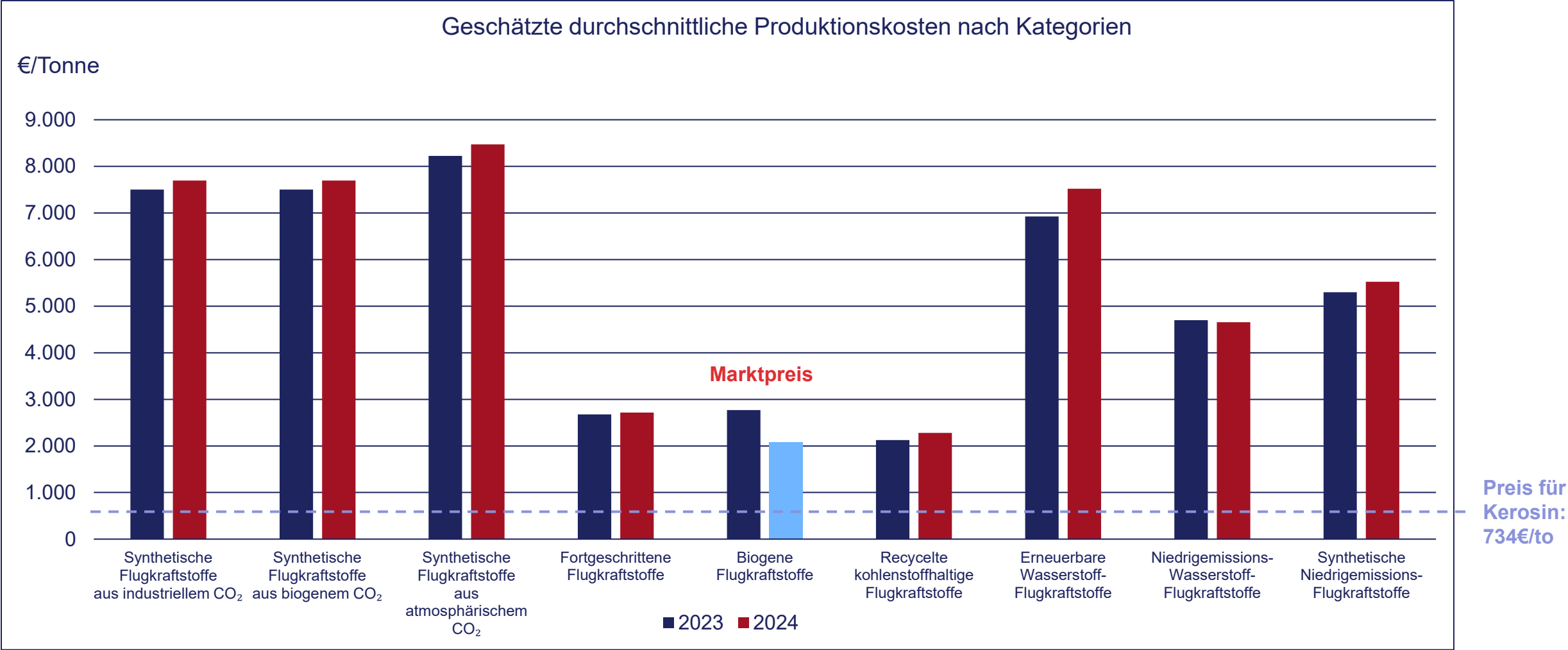


Kritische Punkte:

- Integration Gesamtsystem
- Reverse Water Gas Shift
- Reinheitsgrade und Katalysatoren
- Industrielle Produktions-Dimension
- Lebensdauer der Komponenten
- Supply Chain

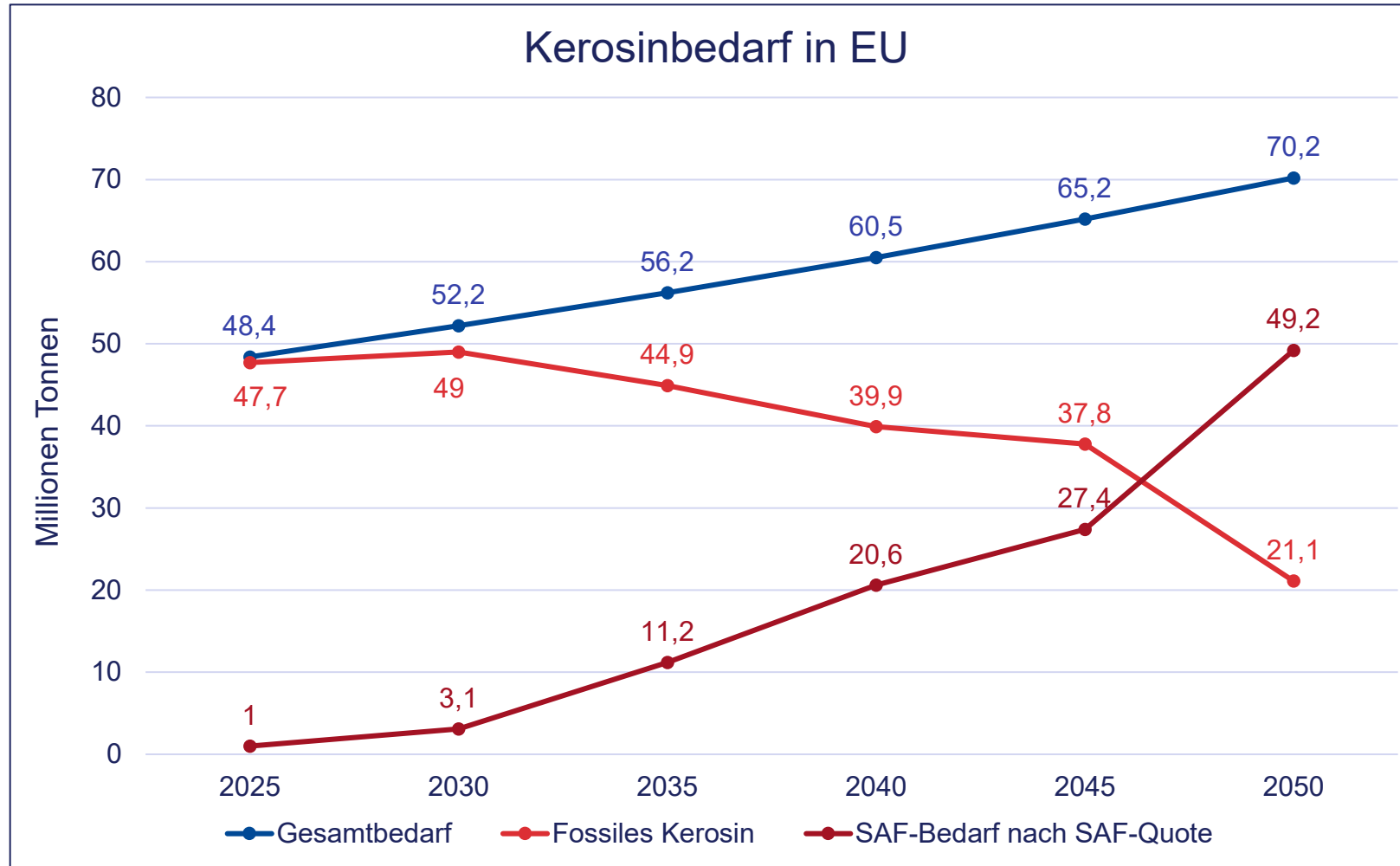
SAF ist nicht gleich SAF

SAF-Kosten und Preis unterschiedlicher Herstellwege 2023 und 2024



Quelle: EASA 2025 Briefing Note – 2024 Aviation Fuels Reference Prices for ReFuelEU Aviation

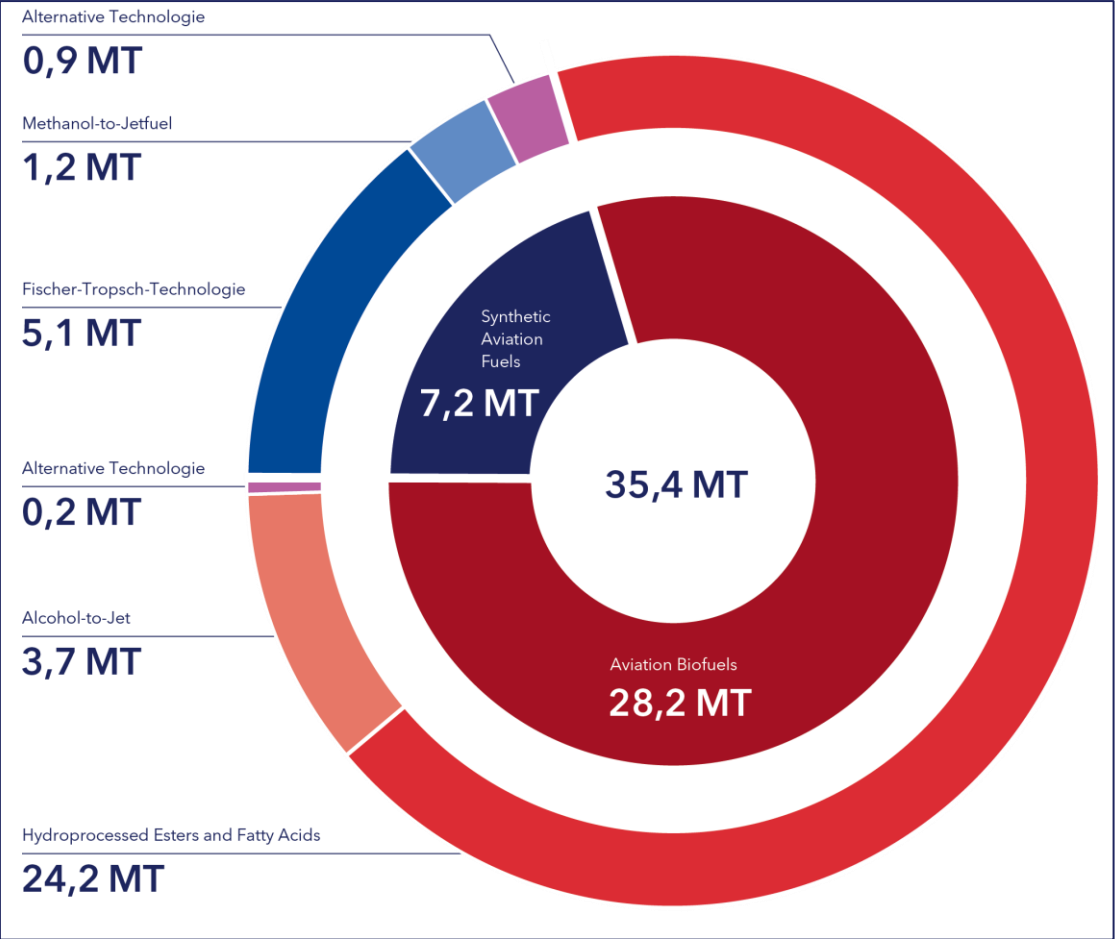
Stark steigender Bedarf an SAF bis 2050



Quelle: ESTAT; Complete energy balances; jährliche Wachstumsrate des Flugsektors wird mit 1,5 % angenommen entsprechend des mittleren Szenarios der Internationalen Zivilluftfahrtorganisation (International Civil Aviation Organization, ICAO)

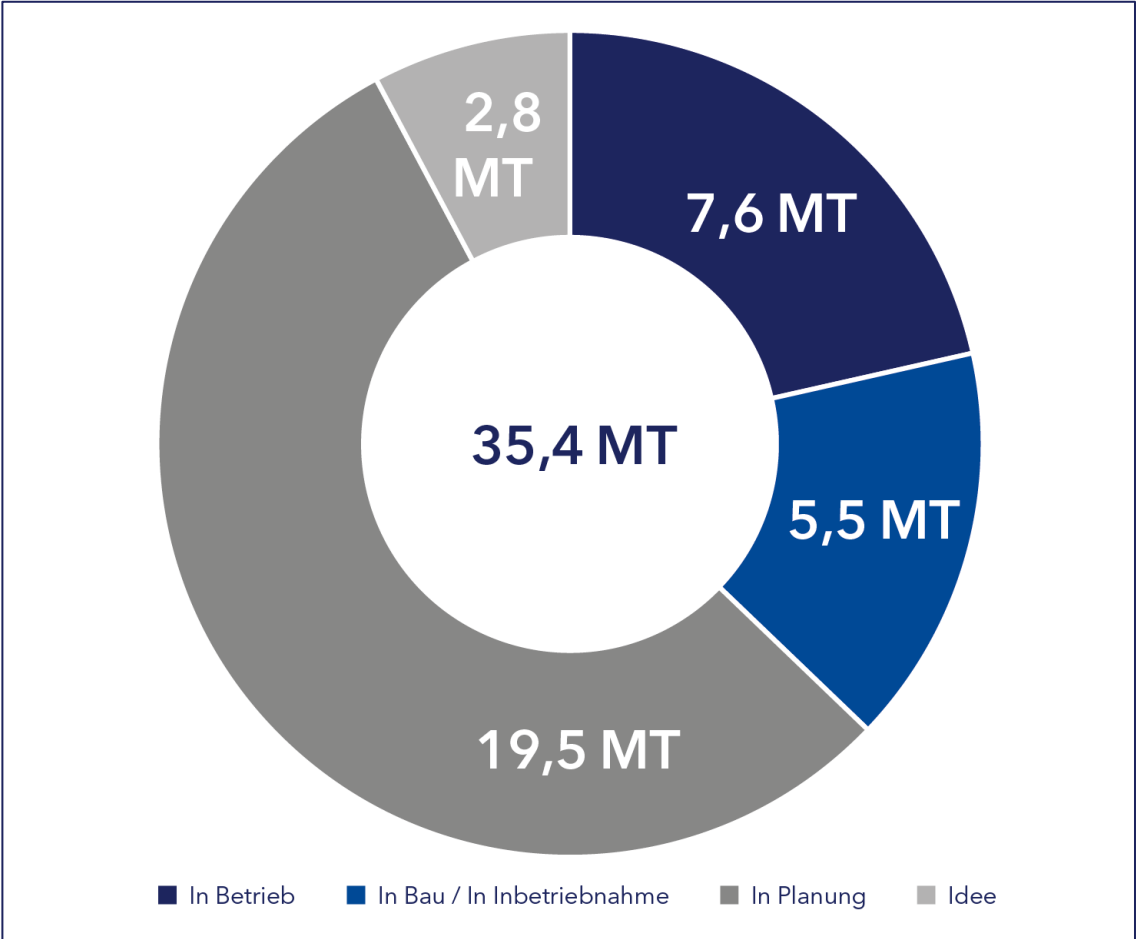
CENA SAF-Outlook 2025 zeigt 35 Mio. Tonnen in 2030

Angekündigte Produktionsmenge nach Technologie 2030



Quelle: CENA SAF-Outlook 2025

Angekündigte Produktionsmenge nach Projektstatus 2030

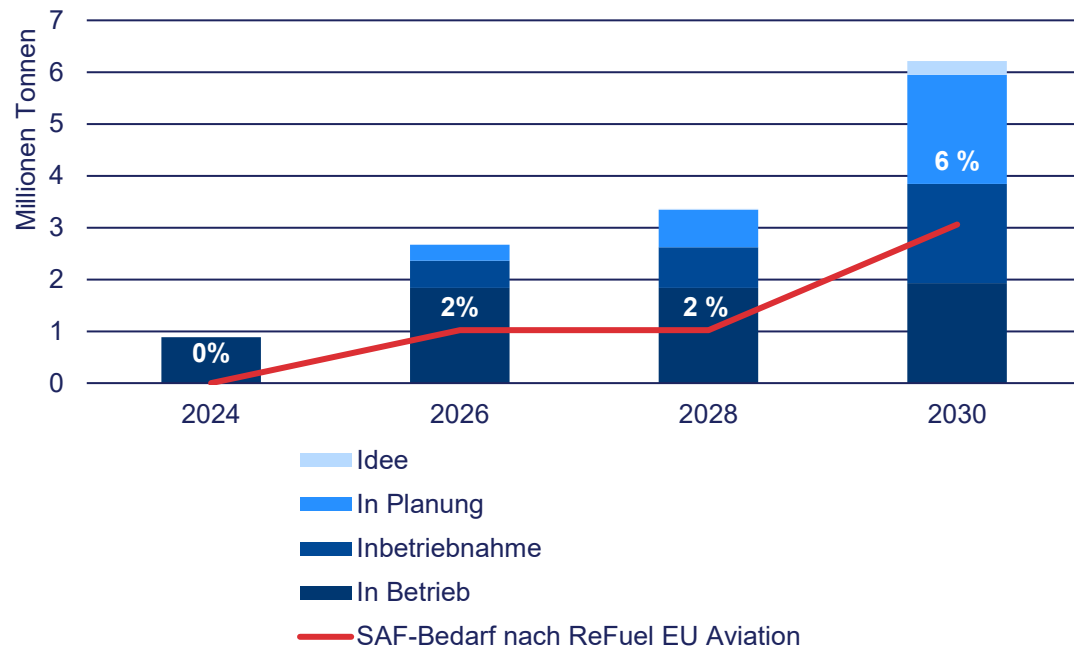


Quelle: CENA SAF-Outlook 2025

EU-Quote durch Biofuels erreichbar, E-SAF ist fraglich

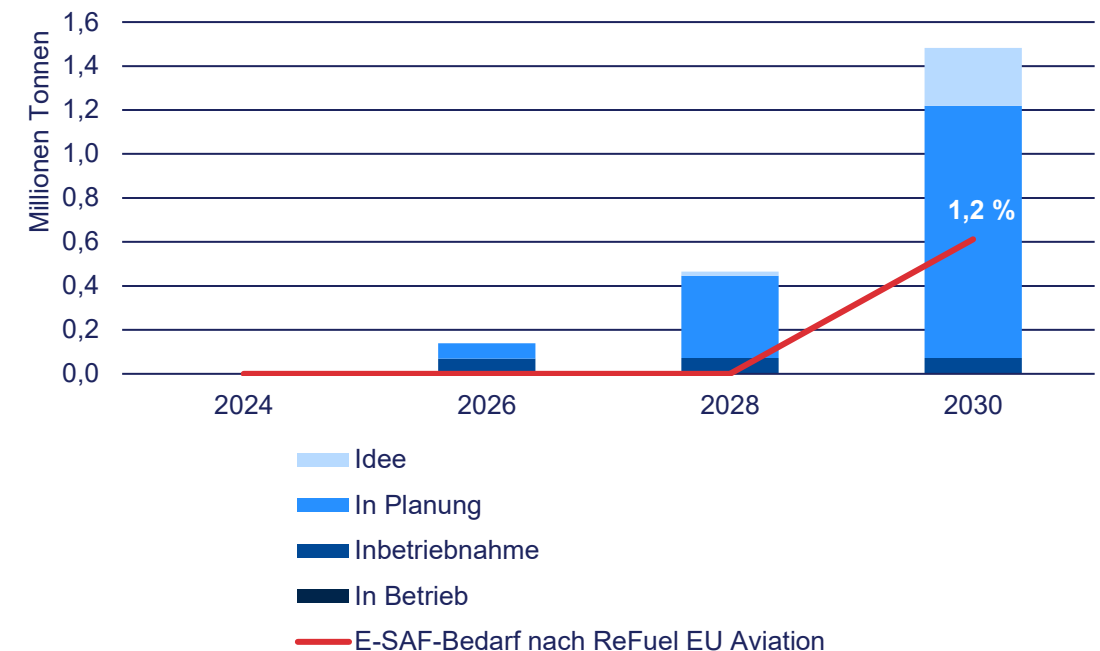
ReFuelEU Aviation SAF-Quoten im Kontext der Produktionskapazitäten innerhalb der EU

Prognostizierte Produktionskapazitäten
Bio-SAF



Quelle: CENA Hessen

Prognostizierte Produktionskapazitäten
E-SAF



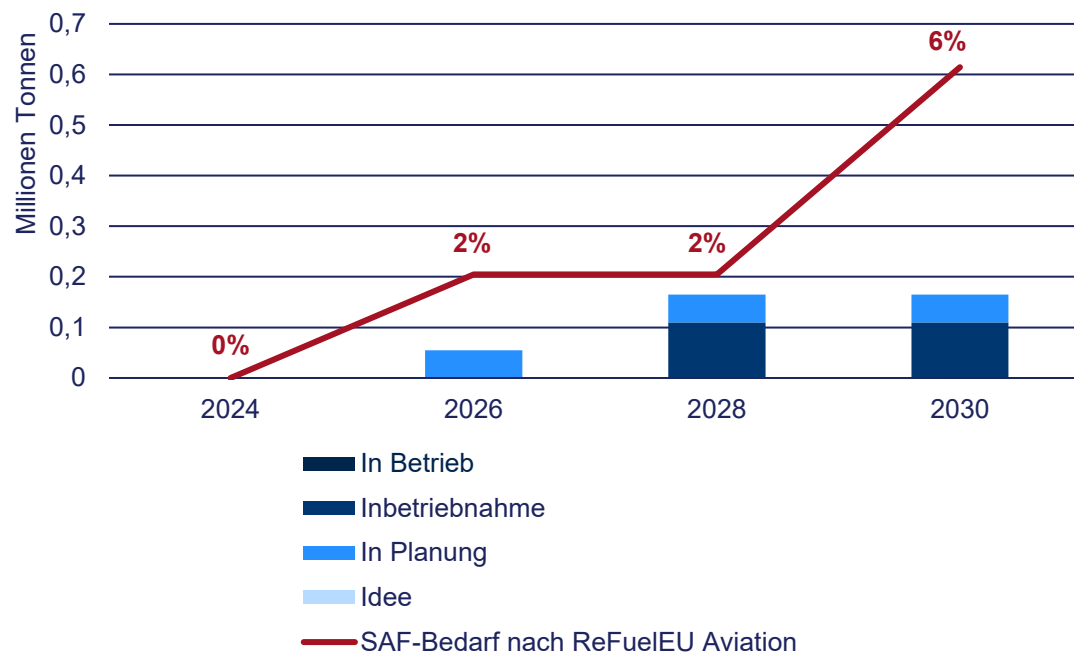
Quelle: CENA Hessen

* Bedarf aus europäischer SAF- und Subquote ausgehend von einem jährlichen Flugtreibstoffbedarf von 51 Mio. t

Eigenproduktion vs. Eigenbedarf in Deutschland

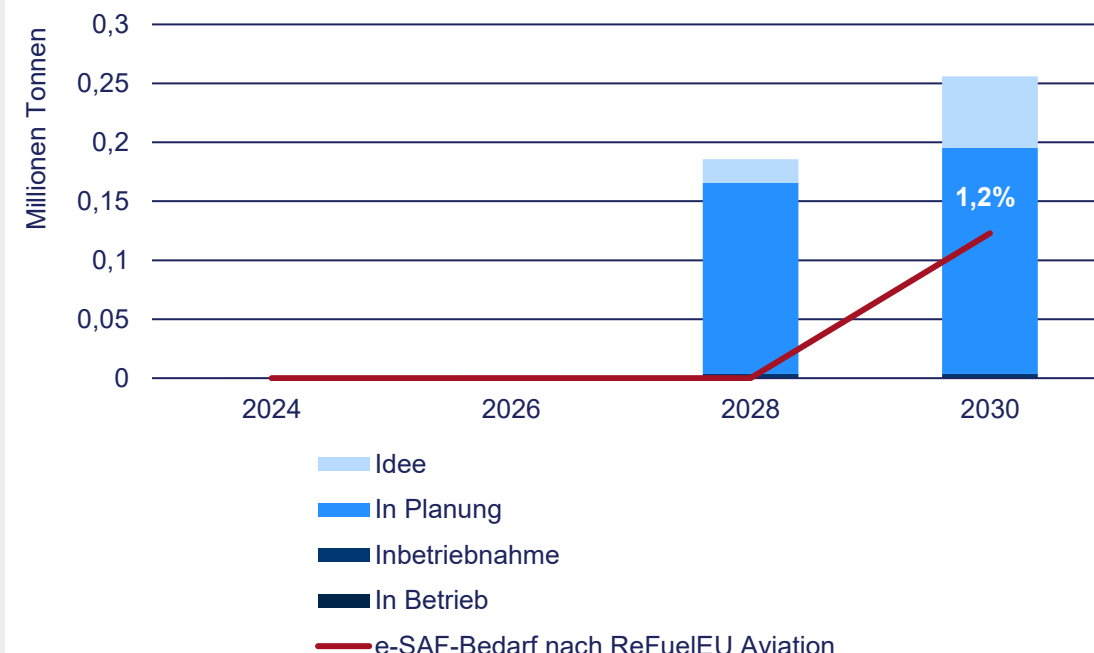
ReFuelEU Aviation SAF-Quote und E-SAF-Quote im Kontext der deutschen Produktionskapazitäten

Prognostizierte Produktionskapazitäten
Biofuels



Quelle: CENA Hessen

Prognostizierte Produktionskapazitäten
E-Fuels



Quelle: CENA Hessen

* Bedarf aus europäischer SAF- und Subquote ausgehend von einem jährlichen Flugtreibstoffbedarf von 10,2 Mio. t

Investition in SAF-Produktion ist ein riskantes Unterfangen

Risiken für Investoren



Integration einer komplexen Supply Chain
(EE-CO₂-Synthese-Raffinerie)



Fehlender Zugang zu Kapital
(Banken)



Heterogene, dynamische Regulatorik
(global, innereuropäisch, Revisionsklauseln)



Teilweise noch fehlende Reife für Industrie-Produktion für E-Fuels
(Piloten, Demoanlagen, Teilanlagen)



Unsicherer, langfristiger Umsatz
(freiwilliger Markt, kurze Vertragslaufzeiten)

Es gibt viele Anstrengungen, SAF zum Take-Off zu bringen

Eine Auswahl an Initiativen zur Einführung von SAF

- **Early Movers Coalition in EU** (Deutschland, Österreich, Frankreich, Finnland, Luxemburg, Niederlande, Spanien, Portugal)
- **Industriepolitische Aktivitäten in den USA und einzelnen Staaten** (IRA und Tax Credits, SAF Grand Challenge, Kalifornien, Oregon, ...)
- **SAF-Mandatierung und Revenue Assurance Mechanism in UK**
- **Zentrale staatliche Organisation in Singapur** zu Beschaffung und Inverkehrbringung von SAF



Quelle: AdobeStock

Vielen Dank.

CENA Hessen

Kompetenzzentrum für Klima- und Lärmschutz im Luftverkehr
der Hessen Trade & Invest GmbH

www.cena-hessen.de
info@cena-hessen.de

