Deutsches Biomasseforschungszentrum

Erneuerbare gasförmige Kraftstoffe für Klimaschutz im Verkehr

Franziska Müller-Langer, Jörg Schröder, Karin Naumann, Kathleen Meisel

Fachtagung Energie – Umwelt – Zukunft | 29.06.2023

Die Vorgaben

Rahmenpolitik beeinflusst Markt und Wettbewerb

	International	Europäische Union	Deutschland
Kraftstoffe	**United Nations Framework Convention on Climate Change** Pariser Klimaabkommen Environmental Protection CORSIA, Aeroplane CO_2 Emissions, IMO CO_2 targets, GHG Protocol	ReFuelEU Aviation EU-ESR Fuel EU Maritime ETD EU-ETS REACH FQD RED II **Europäisches Klimagesetz**	BEHG LuftVStG EnergieStG EnergieStV UERV TA Luft 10. BImSchV 36. bis 38. BImSchV *Nationale Wasserstoffstrategie* Biokraft-NachV BiomasseV BImSchG **KSG** Bundes-Klimaschutzgesetz
Fahrzeuge und Infrastruktur	MARPOL Annex VI SECA, EEDI Typzulassung ECE Regulation Beförderungsrichtlinien: ADR, ADN, RID, IMDG-Code, ICAO-TI, IATA DGR	AFID / AFIR CVD CO_2-Flottengrenzwerte für Pkw, leichte und schwere Nutzfahrzeuge Abgasstufen für Pkw, leichte und schwere Nutzfahrzeuge, Zugmaschinen	SaubFahrzeugBeschG EmoG AwSV *Nationale Wasserstoffstrategie*
Normung	ASTM-Standards ISO-Normen	CEN EN-Normen	DIN-Normen VDI-Richtlinien

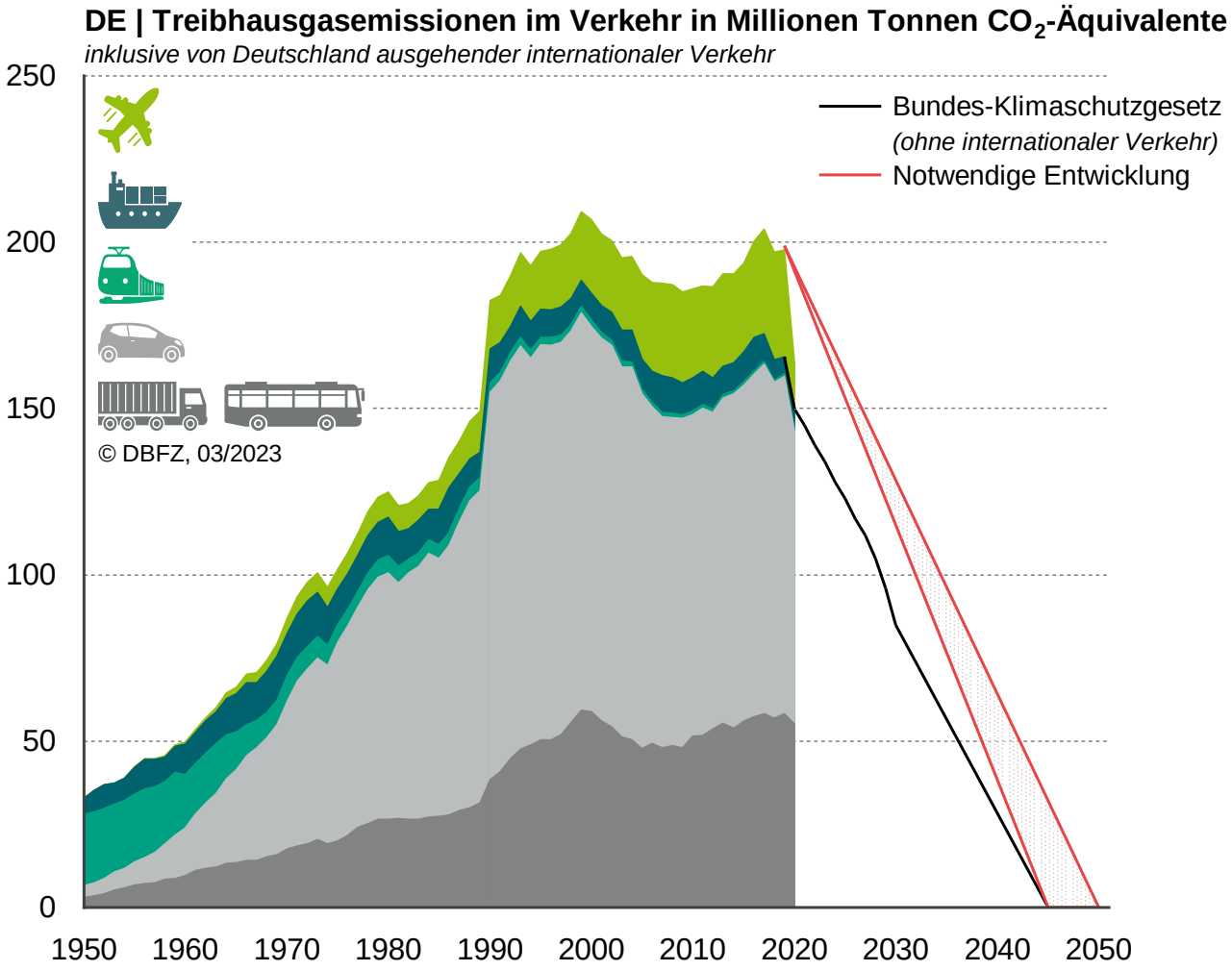
Weiterführende Informationen:

© DBFZ 03/2023

Referenz: DBFZ-Report 44 [Schröder u. Naumann 2022], adaptiert

Das Ziel

Klimaneutral bis 2045



Vermeiden – Verlagern – Verbessern

Stärkung der öffentlichen Verkehrsmittel und des Schienengüterverkehrs, Elektrifizierung der Antriebe, intelligente Verkehrsleitsysteme

Aktuell wichtigste Option:

Erneuerbare Energien im Verkehr

- Reduktion der Treibhausgasemissionen um ca. 11 Millionen Tonnen CO_2-Äquivalente
- Substitution von ca. 8% des Energieverbrauchs
  - 139 PJ Biokraftstoffe (hauptsächlich im Straßenverkehr)
  - 18 PJ erneuerbarer Strom (hauptsächlich im Schienenverkehr)

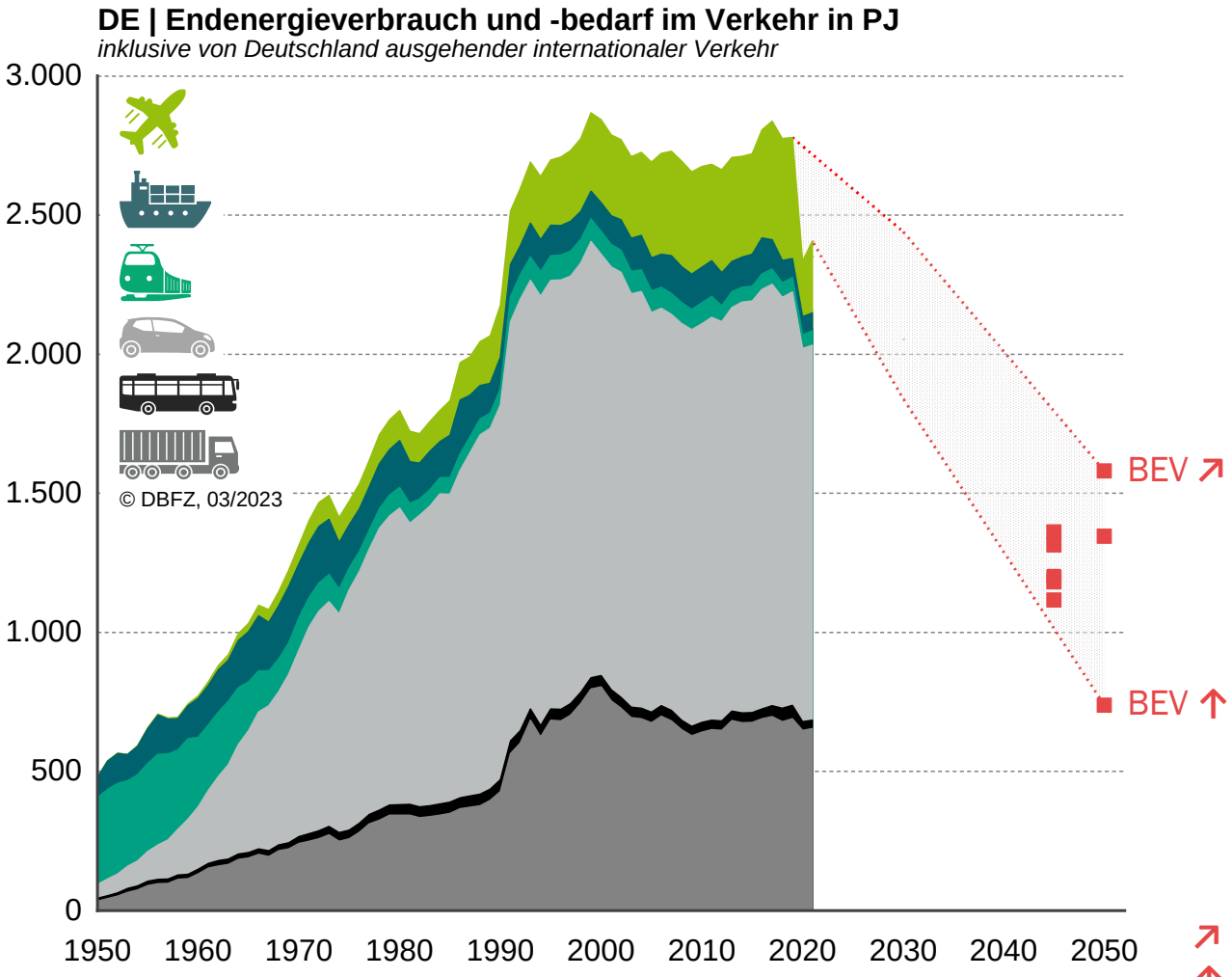
Internationale Verkehre

Aktuell nicht im Klimaschutzgesetz adressiert

Referenz: DBFZ-Report 44 [Schröder u. Naumann 2022], adaptiert

Die Prognose

Je mehr Verkehr, umso höher der Endenergieverbrauch



Leitstudien zu Klimazielen in Deutschland

Bedarf an Energieträgern in 2045/2050

	UBA	Agora	BDI
Strom	365 – 415 PJ	615 PJ	585 PJ
Wasserstoff		145 PJ	75 PJ
Kraftstoffe	370 – 1.135 PJ	390 PJ	702 PJ
Gesamt	735 – 1.550 PJ	1.150 PJ	1.362 PJ

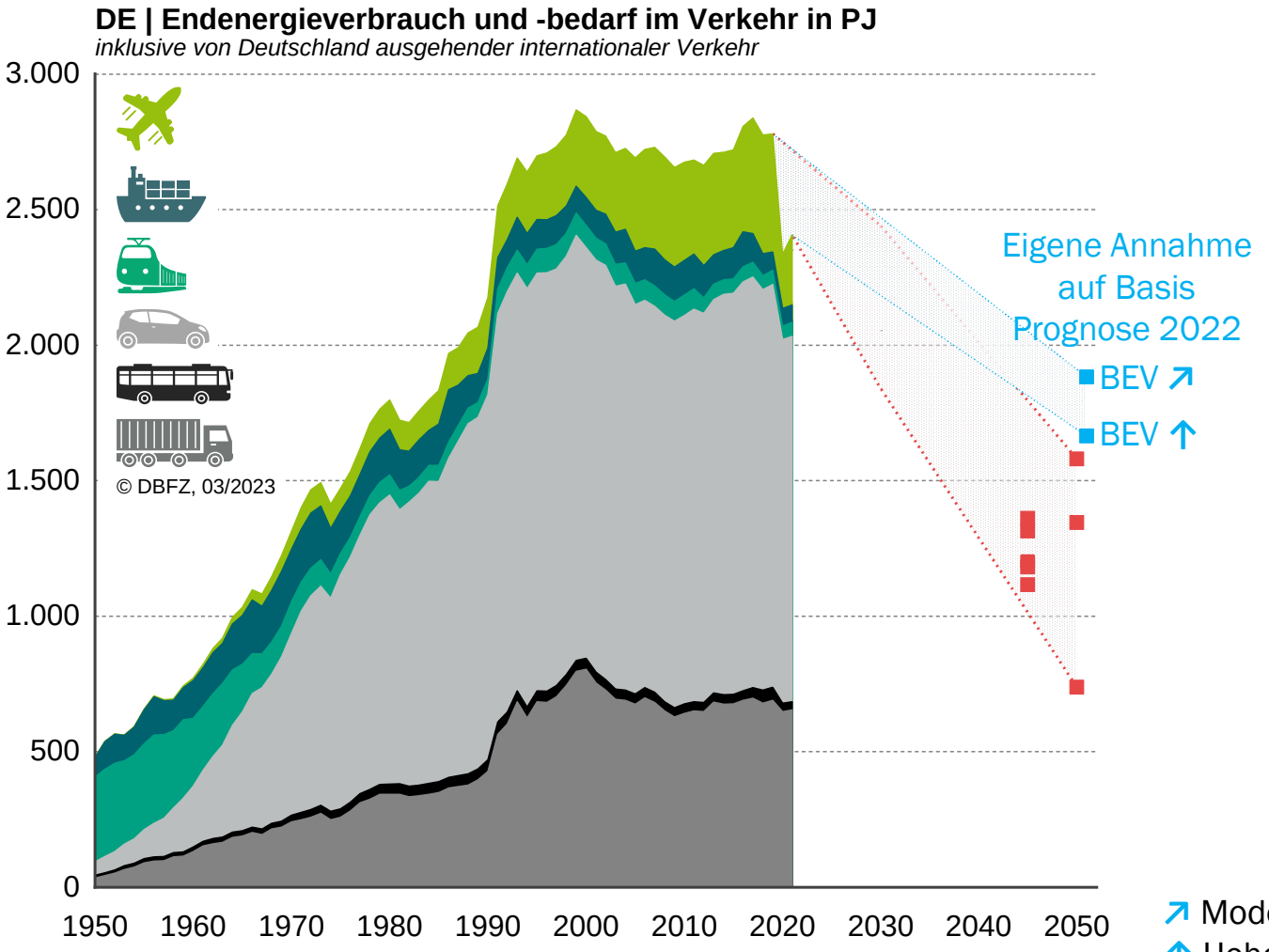
↗ Moderater Anteil Elektromobilität

↑ Hoher Anteil Elektromobilität und Verkehrsvermeidung

Umrechnung: 1 Petajoule [PJ] = 278 Gigawattstunde [GWh] = 24 Tausend Tonnen Öleinheit [ktoe]

Referenzen: DBFZ-Report 44 [Schröder u. Naumann 2023], [KBA 2023], [Verkehr in Zahlen 2022], [BMDV, Intraplan 2023], [a] [UBA 2019, Agora 2021, Ariadne 2021, BDI 2021, BMWK 2021, dena 2021]

Je mehr Verkehr, umso höher der Endenergieverbrauch



Gleitende Langfrist-Verkehrsprognose „Prognose 2022“

Veränderung Verkehrsleistung 2019 – 2051

Personenverkehr		Güterverkehr	
	+68 %		+?? %
	+25 %		+0 %
	+4 %		+54 %
	+52 %		+33 %
Σ inkl.	**+13 %**		**Σ +46 %**

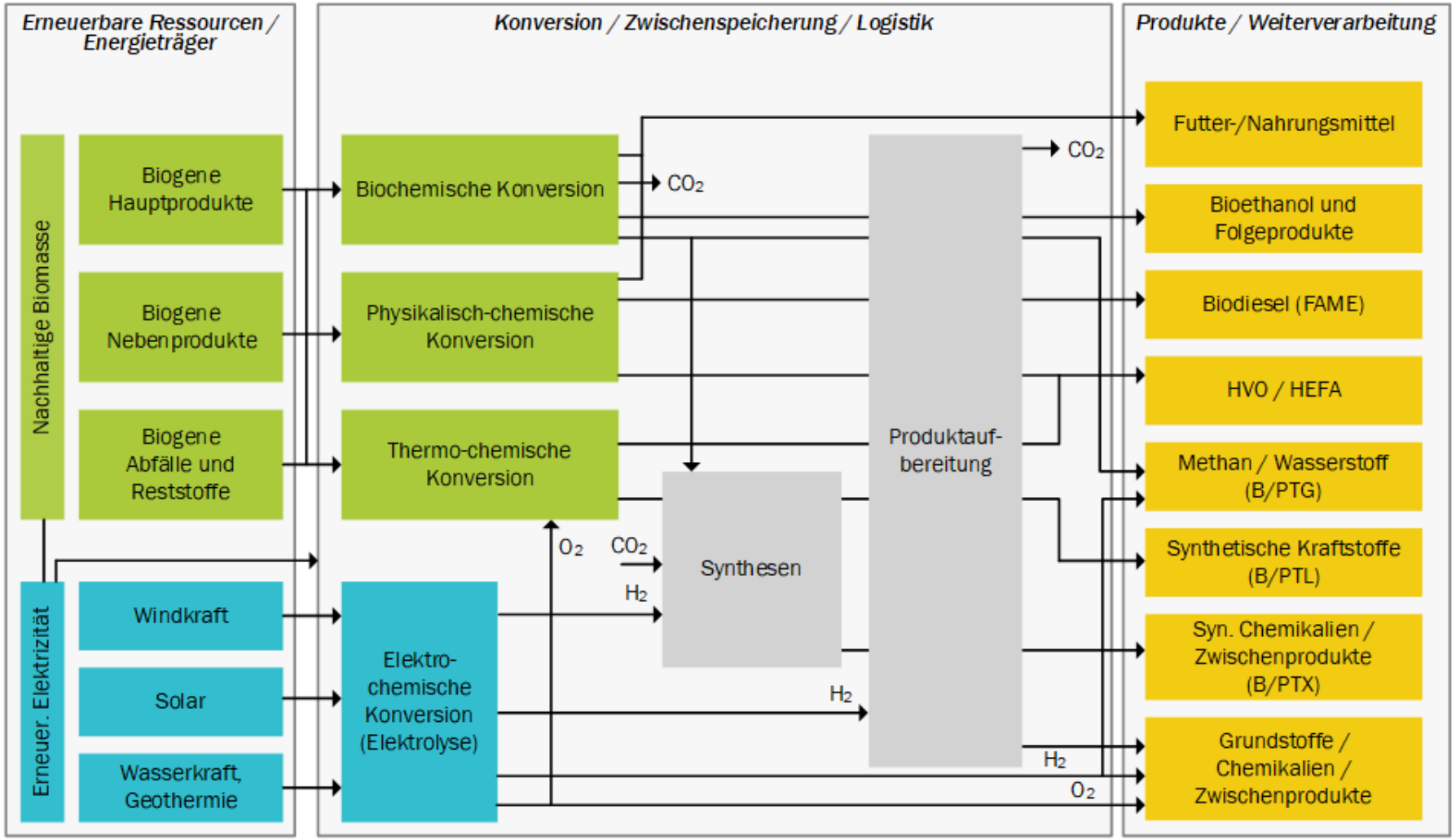
Bedarf an erneuerbaren Kraftstoffen wird stärker anwachsen als es die Leitstudien prognostizieren.

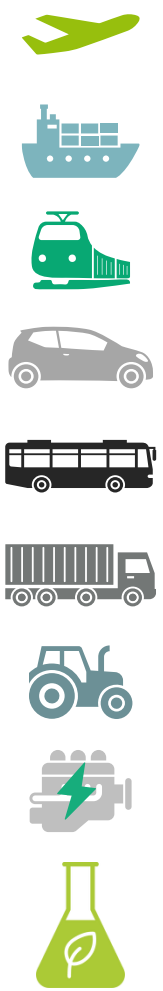
↗ Moderater Anteil Elektromobilität
↑ Hoher Anteil Elektromobilität und Verkehrsvermeidung

Umrechnung: 1 Petajoule [PJ] = 278 Gigawattstunde [GWh] = 24 Tausend Tonnen Öleinheit [ktoe]
Referenzen: DBFZ-Report 44 [Schröder u. Naumann 2023], [KBA 2023], [Verkehr in Zahlen 2022], [BMDV, Intraplan 2023], [a] [UBA 2019, Agora 2021, Ariadne 2021, BDI 2021, BMWK 2021, dena 2021]

Die Kraftstoffoptionen

Vielfältige Technologierouten, Synergien und Wertschöpfungen





Weiterführende Informationen:

SynBioPTx ©DBFZ 03/2023 (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) | B/PTG – Biomass-/Power-to-Gas, B/PTL – Biomass-/Power-to-Liquids
FAME – Fettsäuremethylester, HVO / HEFA – Hydroprozessiertes Pflanzenöl / Ester und Fettsäuren

Ausführliche Darstellung der Technologierouten unter https://www.dbfz.de/monitoring-ee-im-verkehr/technologien

Die Kraftstoffoptionen

Technischer Entwicklungsstand erneuerbarer Kraftstoffe

Fuel Readiness Level

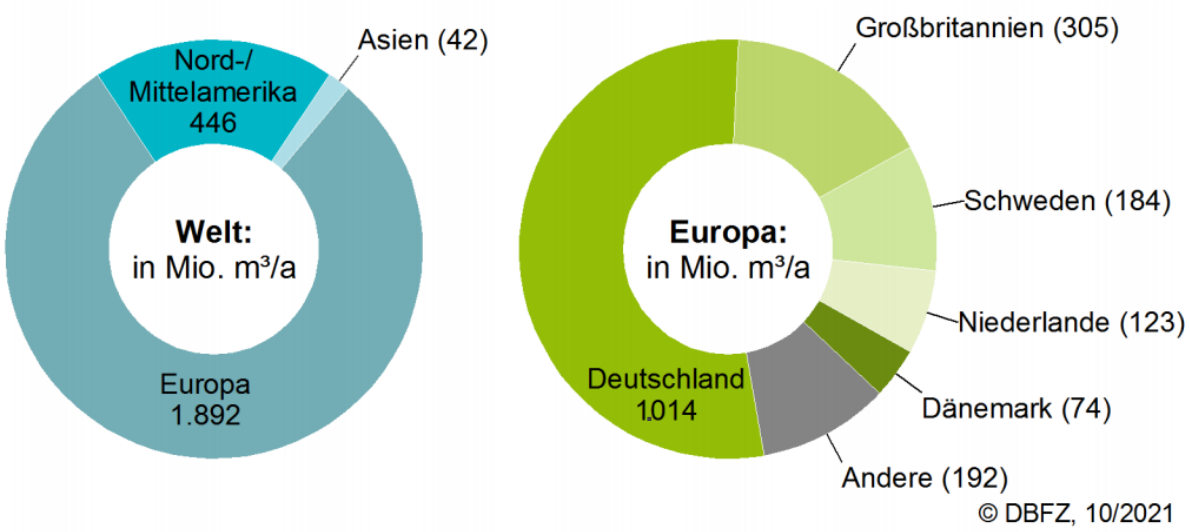
Kraftstoffoptionen	Technologischer Reifegrad TRL	Anwendungsbereiche in 2023
Strom	**11**	
Ethanol als E5 und E10	**Bio:** 8 – **11**	
Biodiesel (FAME) als B7	**Bio:** 4 – **11**	
Paraffinischer Diesel HVO als Beimischung	**Bio:** 3 – **11** PTX: 3 – 7	
Paraffinisches Kerosin HEFA als Beimischung	**Bio:** 3 – **10** PTX: 3 – 7	
Methan CNG und LNG	**Bio:** 6 – **11** PTX: 6	
Wasserstoff	Bio: 4 – 8 **PTX:** 6 – **11**	
Methanol	Bio: 3 – 8 PTX: 3 – 7	
Methanol-to-gasoline	Bio: 3 – 8 PTX: 4 – 5	
Alcohol-to-jet	Bio: 3 – 8 PTX: 4 – 5	

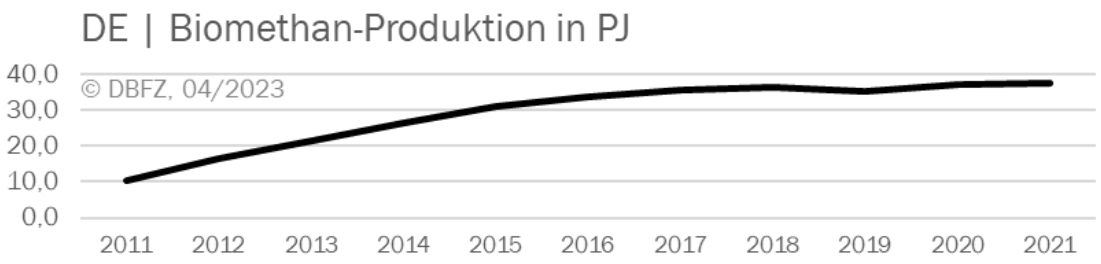
Hoher Energiebedarf für Fahrzeugsegment

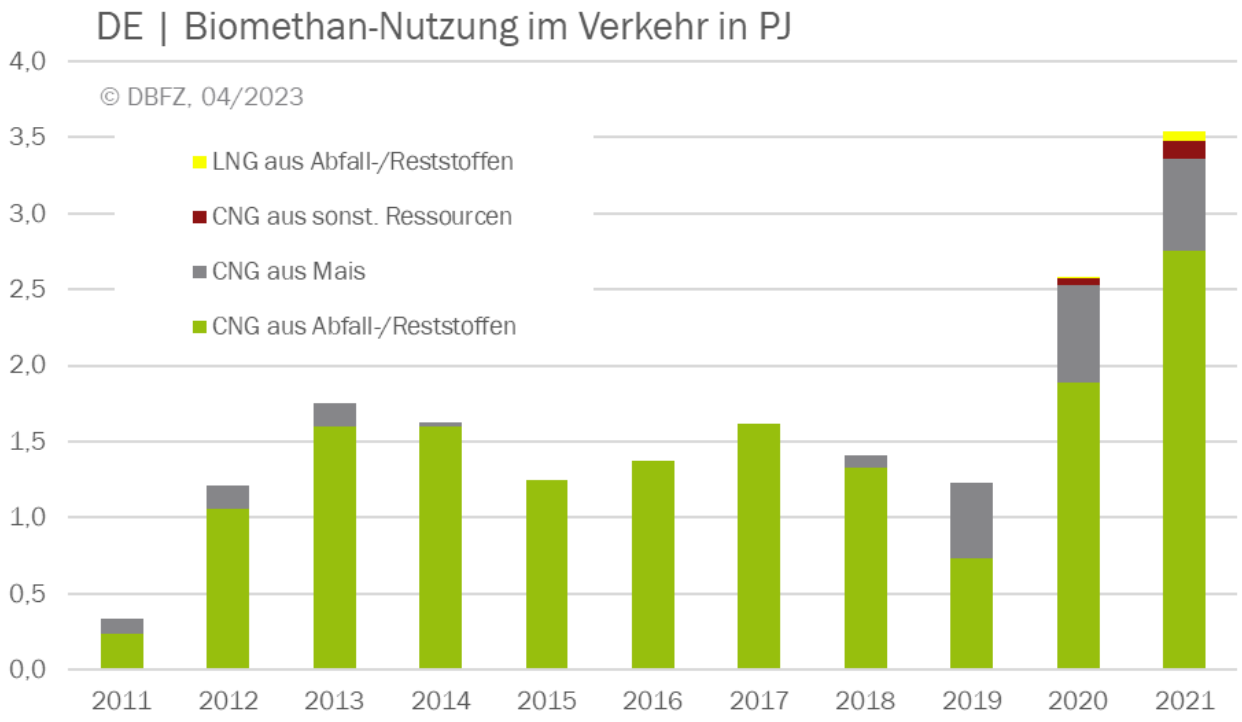
Geringer Energiebedarf für Fahrzeugsegment

Tabelle adaptiert nach [Hauschild et al. (2023): Produktionstechnologien zur Bereitstellung von erneuerbaren Kraftstoffen und Schröder et al. (2023): Technologiesteckbriefe und Übersicht. In: Schröder und Naumann (Hrsg.), 2023]

Exkurs Biomethan | Kapazität, Produktion und Nutzung



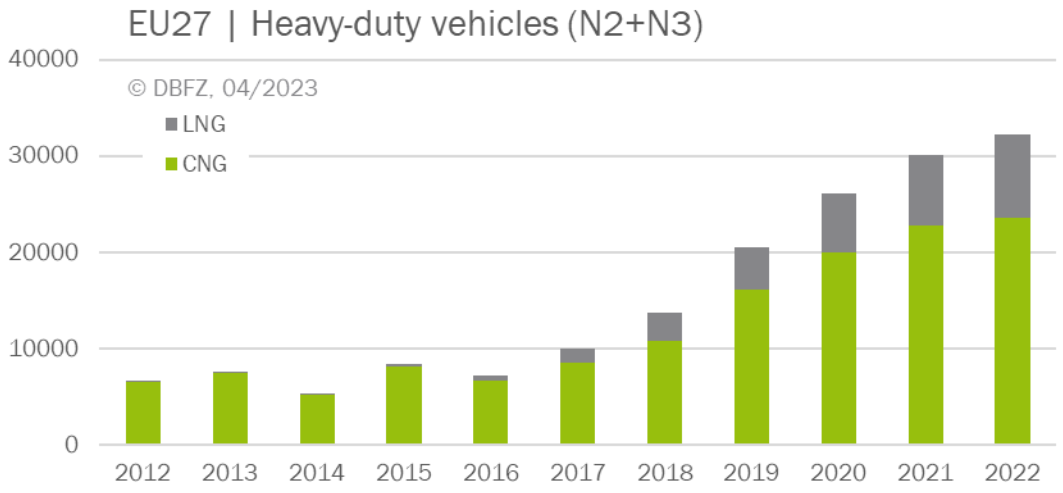


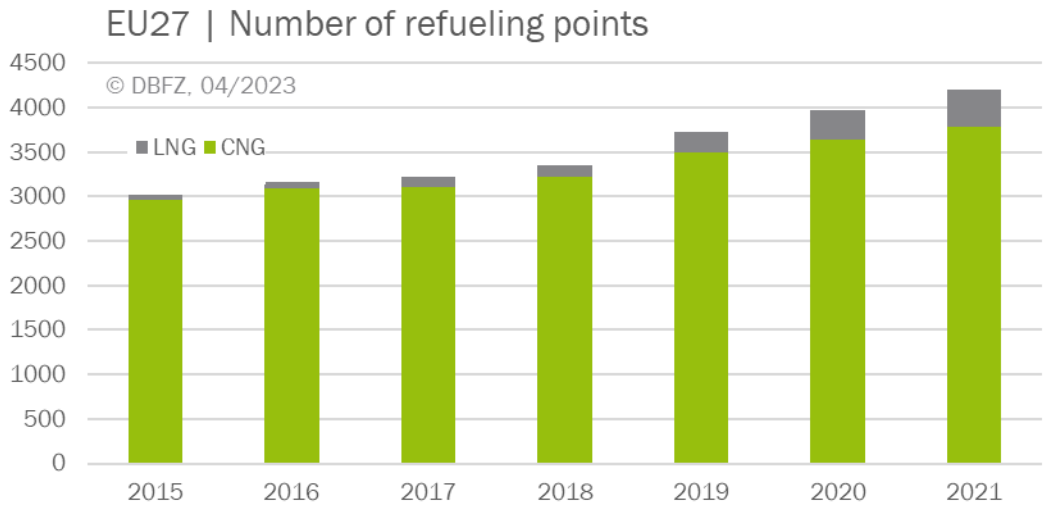


» Europa: 78 Verflüssigungsanlagen (in Betrieb, im Bau bzw. in Planung) mit 0,7 Mio. t/a Kapazität

© DBFZ 04/2023 auf Basis von https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2020/Brachenbarometer_Biomethan_2020.pdf und https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2022/ANALYSE_Marktmonitoring_Bioenergie_2022_Teil_2.pdf sowie jährliche BLE-Evaluations- und Erfahrungsberichte; Referenzen: European Biogas Association 2021; Grafiken: © DBFZ 04/2023 auf Basis von https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/transport-mode/road/european-union-eu27/ (abgerufen 21.04.2023)

Exkurs Biomethan | Fahrzeuge und Infrastruktur für CNG/LNG



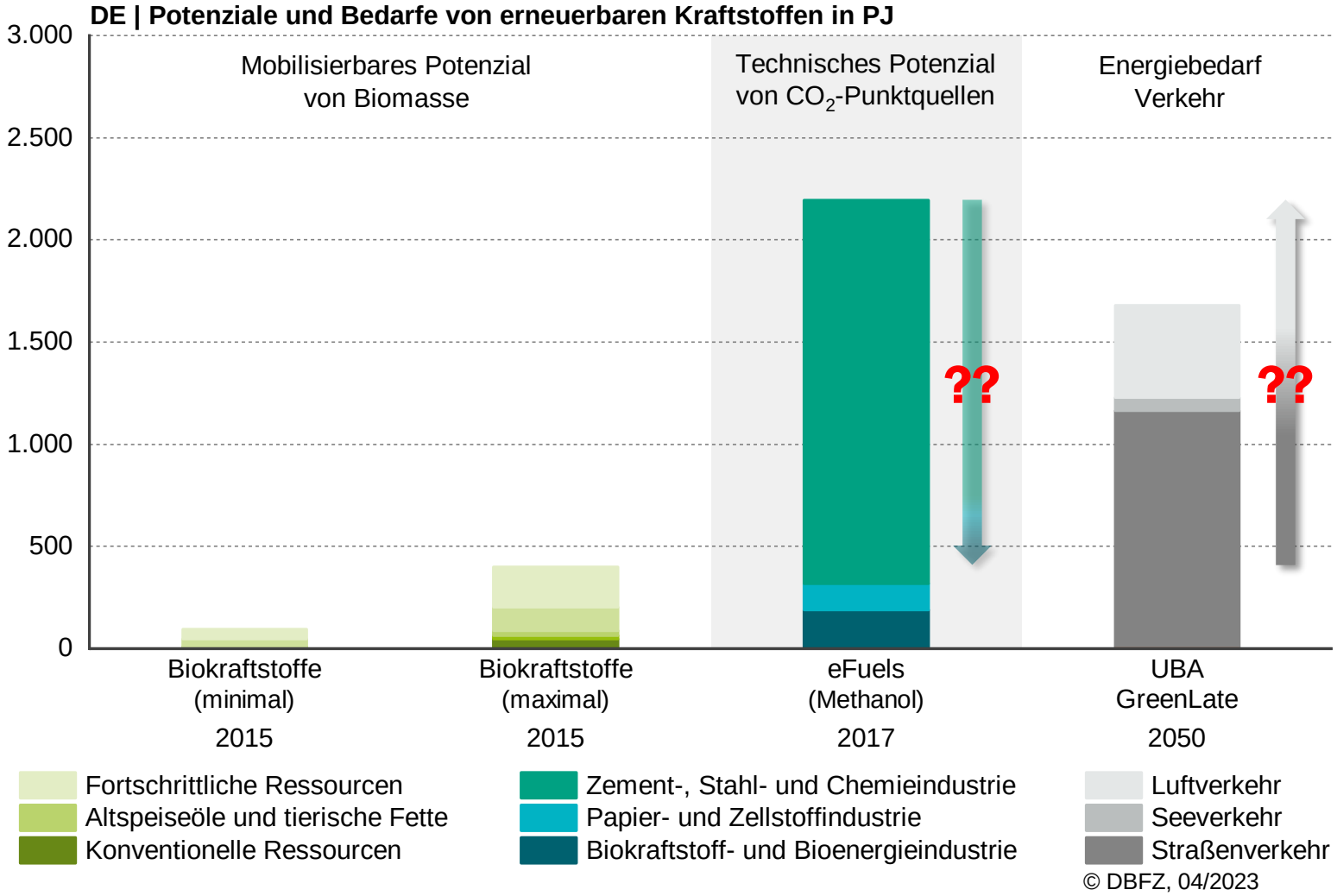


- Deutschland:
  - 763 CNG-Tankstellen[1]
  - 151 LNG-Tankstellen (in Betrieb)[2]
  - 49 LNG-Tankstellen (in Planung)[2]
- Europa:
  - 4.173 CNG-Tankstellen[1]
  - 664 LNG-Tankstellen[1]

Referenzen: (1) CNG-/LNG-Tankstellen: https://www.ngva.eu/stations-map/ (abgerufen 21.04.2023), (2) CNG-/LNG-Tankstellen: https://www.dena.de/themen-projekte/projekte/mobilitaet/lng-taskforce-und-initiative-erdgasmobilitaet?tx_rsmpilotprojects_map%5B%40widget_0%5D%5BcurrentPage%5D=3&type=90&cHash=3d222947038753693c1c01e496814e3a (abgerufen 21.04.2023)
Grafiken: © DBFZ 04/2023 auf Basis von https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/transport-mode/road/european-union-eu27/ (abgerufen 21.04.2023)

Die Abhängigkeiten

Erneuerbare Kraftstoffe „Made in Germany“



Kraftstoffe aus regionalen Ressourcen nicht ausreichend

Perspektivisch Wegfall derzeitiger CO_2-Quellen

Neue Verkehrsprognose erhöht den Bedarf an erneuerbaren Kraftstoffen massiv

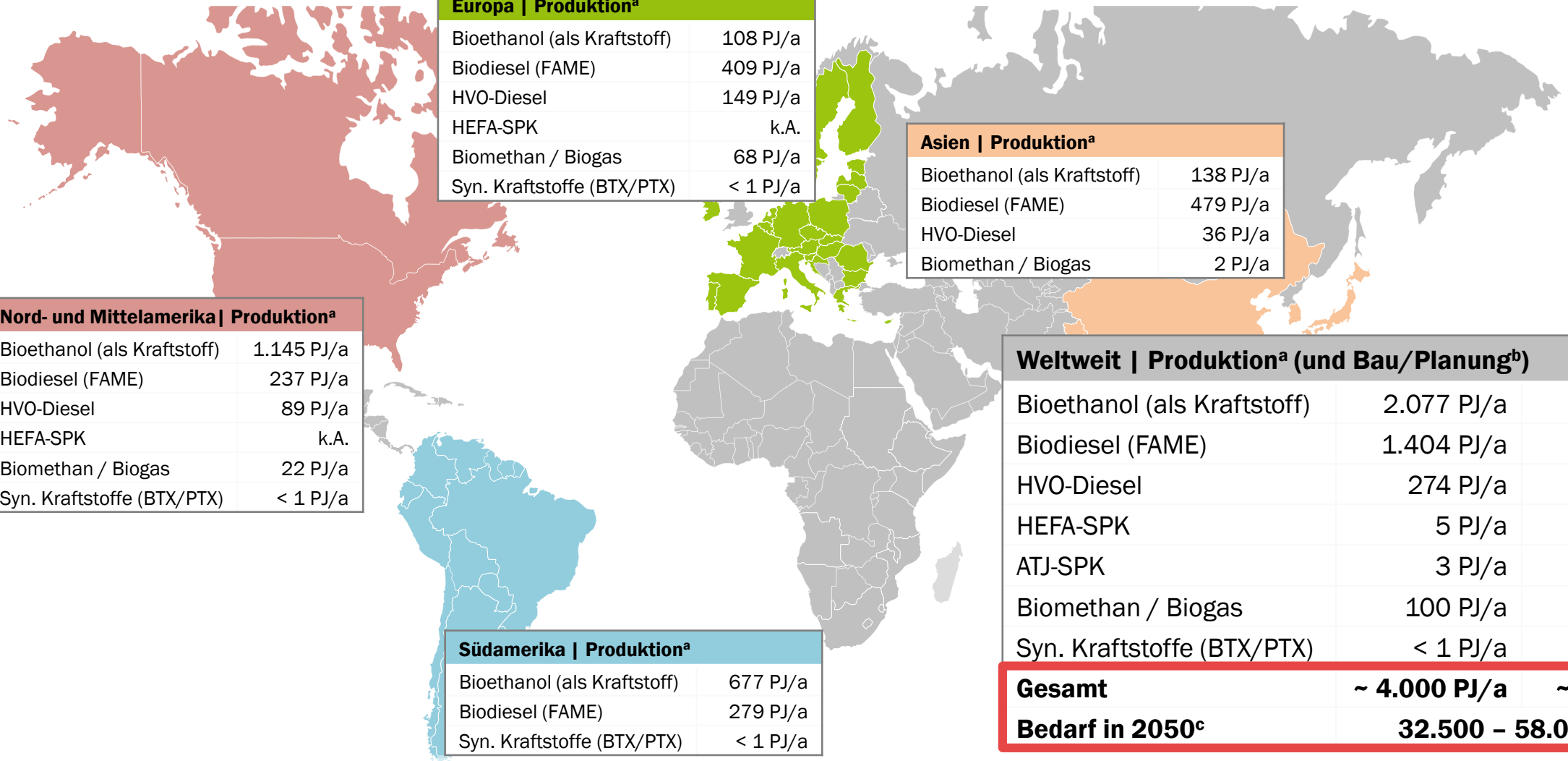
Import erneuerbarer Kraftstoffe unverzichtbar

Datenstand für weltweit verfügbare Ressourcen sehr unbeständig

Eigene Berechnung bzw. Darstellung auf Datenbasis: Bandbreiten für Biokraftstoffe gemäß mobilisierbarem Potenzial; eFuels-Potenzial gemäß CO_2-Punktquellen; Bedarfsszenarien beispielhaft gemäß [Purr (2019)] mit spätem Handeln; Referenz: [Schröder et al. 2022], adaptiert

Die Abhängigkeiten

Erneuerbare Kraftstoffe im internationalen Markt



Europa | Produktion[a]	
Bioethanol (als Kraftstoff)	108 PJ/a
Biodiesel (FAME)	409 PJ/a
HVO-Diesel	149 PJ/a
HEFA-SPK	k.A.
Biomethan / Biogas	68 PJ/a
Syn. Kraftstoffe (BTX/PTX)	< 1 PJ/a

Asien | Produktion[a]	
Bioethanol (als Kraftstoff)	138 PJ/a
Biodiesel (FAME)	479 PJ/a
HVO-Diesel	36 PJ/a
Biomethan / Biogas	2 PJ/a

Nord- und Mittelamerika | Produktion[a]	
Bioethanol (als Kraftstoff)	1.145 PJ/a
Biodiesel (FAME)	237 PJ/a
HVO-Diesel	89 PJ/a
HEFA-SPK	k.A.
Biomethan / Biogas	22 PJ/a
Syn. Kraftstoffe (BTX/PTX)	< 1 PJ/a

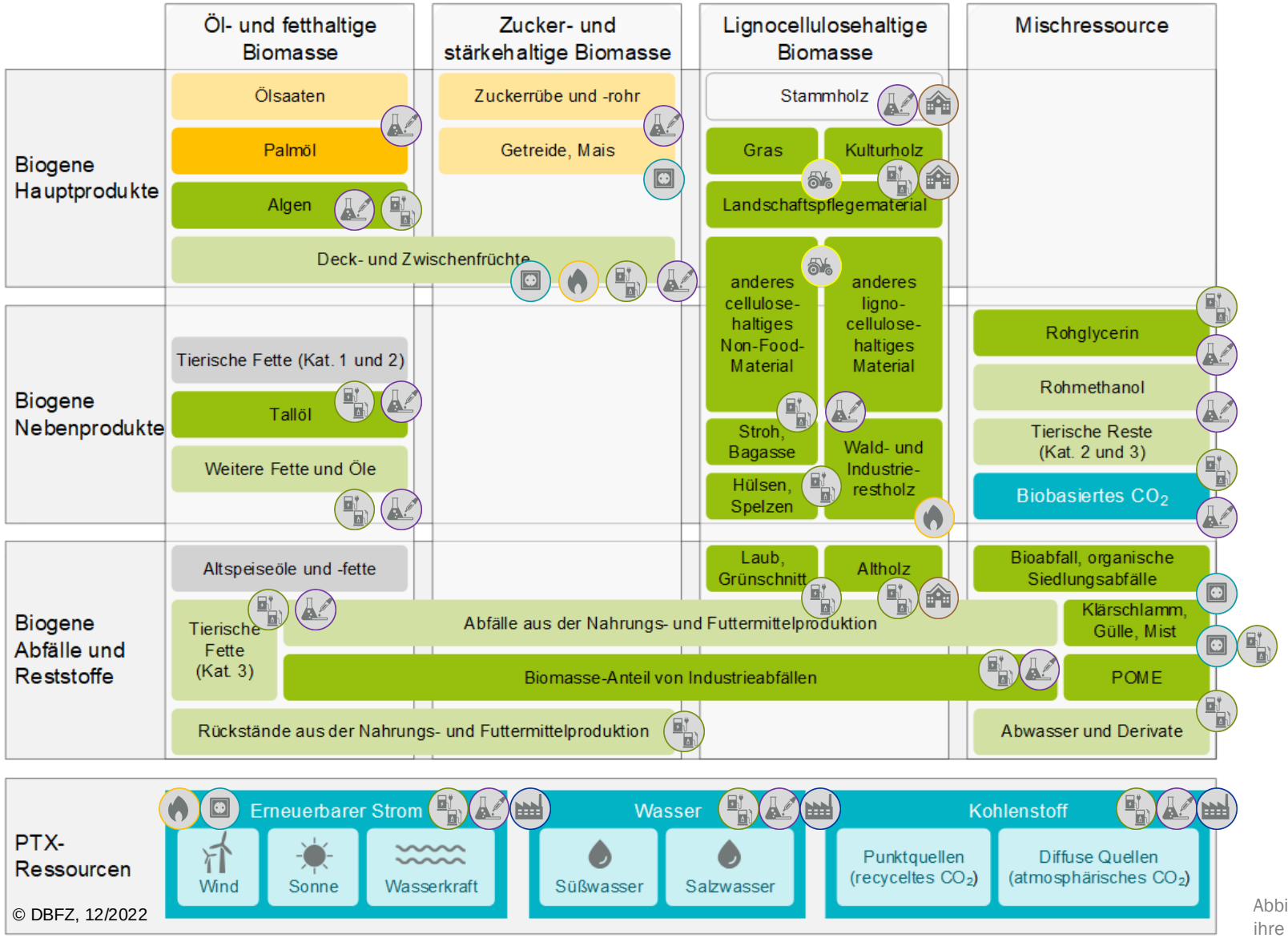
Südamerika | Produktion[a]	
Bioethanol (als Kraftstoff)	677 PJ/a
Biodiesel (FAME)	279 PJ/a
Syn. Kraftstoffe (BTX/PTX)	< 1 PJ/a

Weltweit | Produktion[a] (und Bau/Planung[b])		
Bioethanol (als Kraftstoff)	2.077 PJ/a	(792 PJ/a)
Biodiesel (FAME)	1.404 PJ/a	(485 PJ/a)
HVO-Diesel	274 PJ/a	(81 PJ/a)
HEFA-SPK	5 PJ/a	(33 PJ/a)
ATJ-SPK	3 PJ/a	(k.A.)
Biomethan / Biogas	100 PJ/a	(k.A.)
Syn. Kraftstoffe (BTX/PTX)	< 1 PJ/a	(469 PJ/a)
Gesamt	**~ 4.000 PJ/a**	**~ 2.000 PJ/a**
Bedarf in 2050[c]	**32.500 – 58.000 PJ/a**	

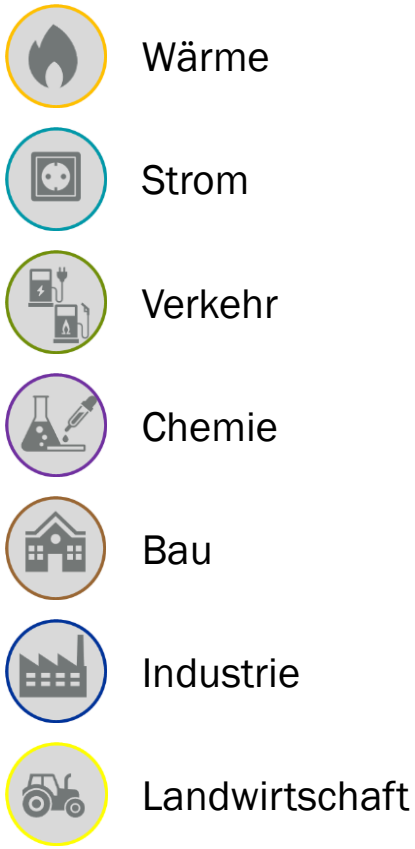
[a] für 2021; für Biomethan Kapazitäten 2019; [b] Kapazität, k.A. keine dezidierten Angaben; [c] Bedarf nach IEA World Energy Outlook 2022 und IRENA Global Energy Transformation 2018
Tabelle adaptiert nach [Naumann et al. (2023): Marktübersicht. In: Schröder und Naumann (Hrsg.), 2023]

Die Abhängigkeiten

Zunehmende Ressourcennachfrage mit Chancen und Risiken



© DBFZ, 12/2022

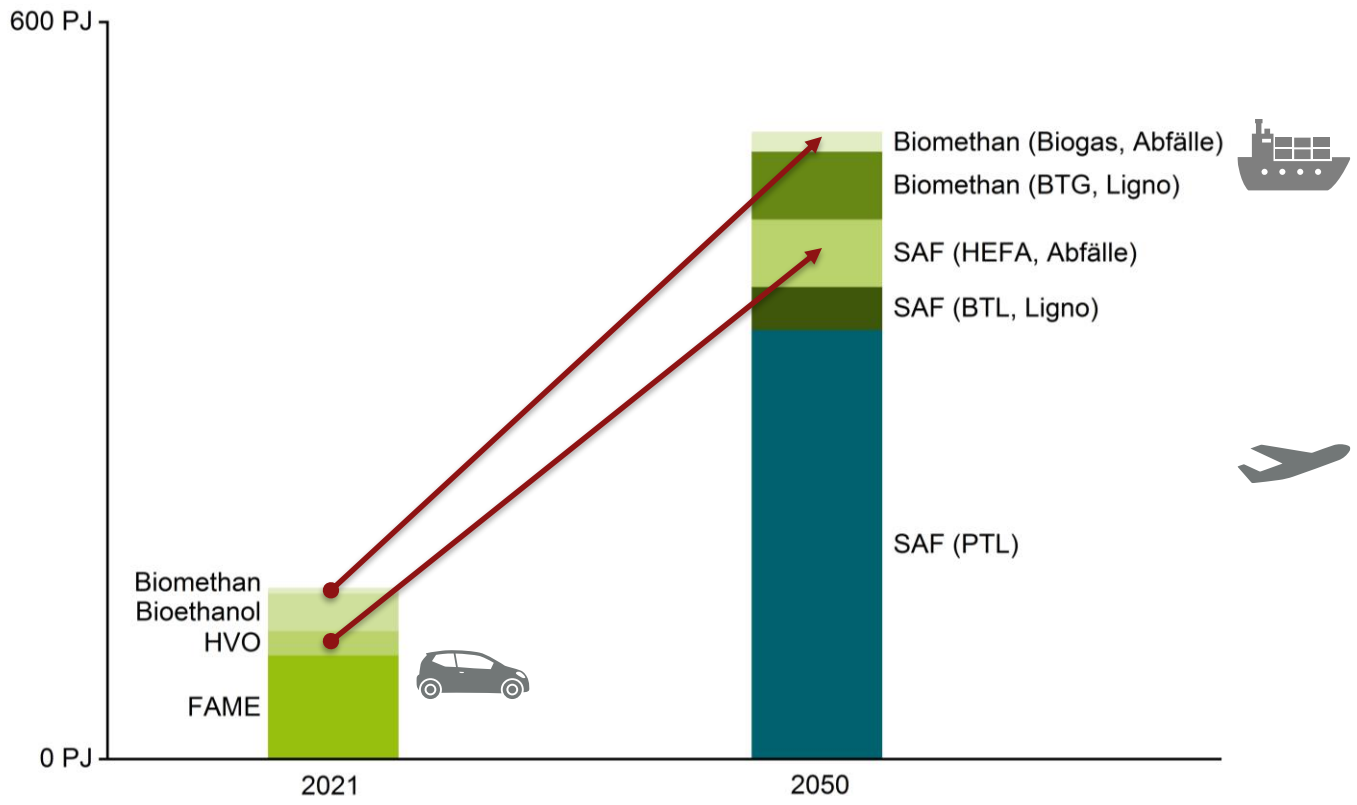


SoBio
Szenarien einer optimalen Biomassenutzung im Energiesystem
www.dbfz.de/sobio

Abbildung adaptiert nach [Naumann et al. (2023): Ressourcen und ihre Mobilisierung. In: Schröder und Naumann (Hrsg.), 2023]

Die Perspektive

Kraftstoffe im Wandel



Kraftstoffbedarf in 2045/2050

- Nahezu vollständige Elektrifizierung des landgebundenen Verkehrs notwendig
- Verflüssigtes Biomethan für die Hochseeschifffahrt
- HEFA-, PTL- und BTL-SAF für die Luftfahrt
- Breiteres Technologieportfolio notwendig

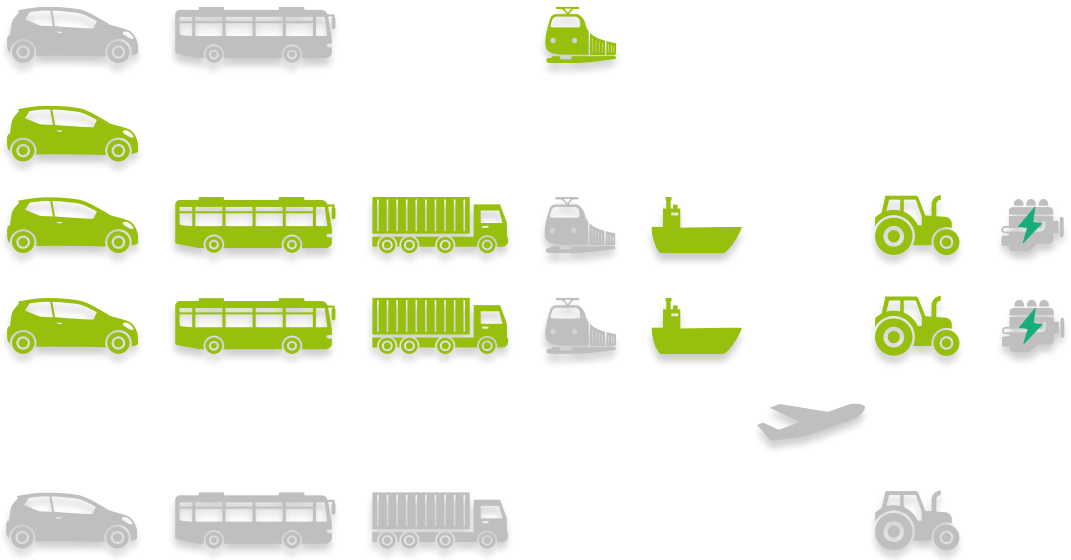
SoBio
Szenarien einer optimalen Biomassenutzung im Energiesystem
https://www.dbfz.de/sobio

Abbildung adaptiert nach [Meisel et al. (2023): Langfristszenarien | Perspektive bis 2050]

Technischer Entwicklungsstand erneuerbarer Kraftstoffe

Fuel Readiness Level

Kraftstoffoptionen	Technologischer Reifegrad TRL	Anwendungsbereiche in 2023
Strom	**11**	
Ethanol als E5 und E10	**Bio:** 8 – **11**	
Biodiesel (FAME) als B7	**Bio:** 4 – **11**	
Paraffinischer Diesel HVO als Beimischung	**Bio:** 3 – **11** PTX: 3 – 7	
Paraffinisches Kerosin HEFA als Beimischung	**Bio:** 3 – **10** PTX: 3 – 7	
Methan CNG und LNG	**Bio:** 6 – **11** PTX: 6	
Wasserstoff	Bio: 4 – 8 **PTX:** 6 – **11**	
Methanol	Bio: 3 – 8 PTX: 3 – 7	
Methanol-to-gasoline	Bio: 3 – 8 PTX: 4 – 5	
Alcohol-to-jet	Bio: 3 – 8 PTX: 4 – 5	



Hoher Energiebedarf für Fahrzeugsegment

Geringer Energiebedarf für Fahrzeugsegment

Tabelle adaptiert nach [Hauschild et al. (2023): Produktionstechnologien zur Bereitstellung von erneuerbaren Kraftstoffen und Schröder et al. (2023): Technologiesteckbriefe und Übersicht. In: Schröder und Naumann (Hrsg.), 2023]

Technischer Entwicklungsstand erneuerbarer Kraftstoffe

Fuel Readiness Level

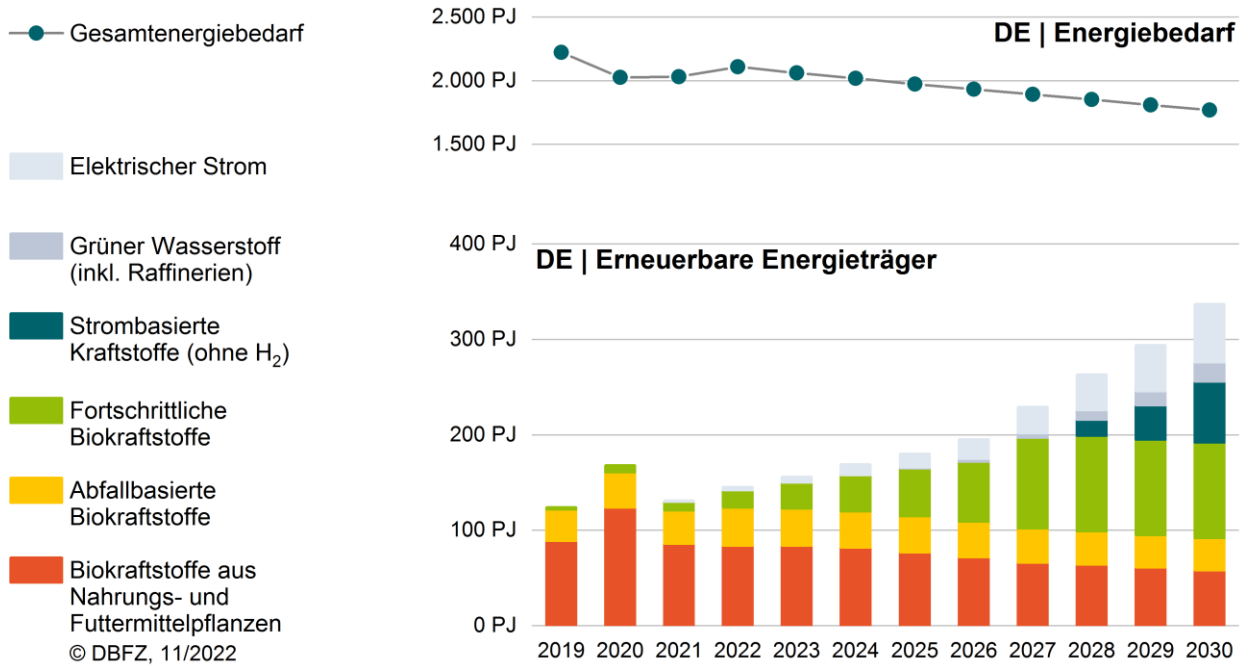
Kraftstoffoptionen	Technologischer Reifegrad TRL	Anwendungsbereiche in 2045/2050
Strom	11	
Ethanol als E5 und E10	Bio: 8 – 11	
Biodiesel (FAME) als B7 bis B100	Bio: 4 – 11	
Paraffinischer Diesel HVO und PTL	Bio: 3 – 11 **PTX: 3 – 7**	
Paraffinisches Kerosin HEFA und PTL	**Bio: 3 – 10** **PTX: 3 – 7**	
Methan CNG und LNG	Bio: 6 – 11 **PTX: 6**	
Wasserstoff	**Bio: 4 – 8** PTX: 6 – 11	
Methanol	**Bio: 3 – 8** **PTX: 3 – 7**	
Methanol-to-gasoline	Bio: 3 – 8 PTX: 4 – 5	
Alcohol-to-jet ATJ und MTJ	**Bio: 3 – 8** **PTX: 4 – 5**	

Hoher Energiebedarf für Fahrzeugsegment

Geringer Energiebedarf für Fahrzeugsegment

Tabelle adaptiert nach [Hauschild et al. (2023): Produktionstechnologien zur Bereitstellung von erneuerbaren Kraftstoffen und Schröder et al. (2023): Technologiesteckbriefe und Übersicht. In: Schröder und Naumann (Hrsg.), 2023]

Beispielszenario Erfüllung THG-Quote und Klimaschutzgesetz



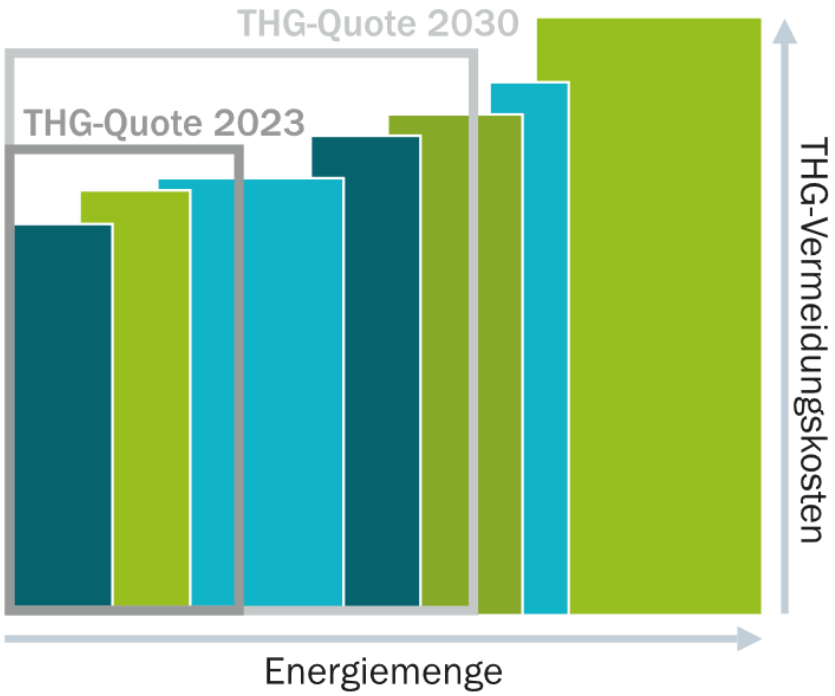
Straßenverkehr	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Erneuerbare Energien									
Anteil real	7%	7%	8%	9%	9%	11%	13%	15%	17%
Anteil gemäß RED II	10%	11%	13%	15%	17%	21%	25%	28%	33%
Emissionsbudget gemäß KSG in Mio. Tonnen CO_2-Äqu.									
Abgleich Zielpfad 2030	+12	+12	+14	+15	+17	+17	+19	+22	+28
Kumulierte Überschreitung Emissionsbudget	+12	+24	+38	+53	+70	+87	+105	+128	+155

- Basis: GreenLate-Szenario (UBA 2019)
- Annahmen:
  - geringe Elektrifizierung und verspätetes Handeln bei Innovationen und Umsetzung, v. a. hinsichtlich Energie- und Materialeffizienz sowie Reduktion des Endenergieverbrauchs
- Auswirkungen:
  - Realer Anteil erneuerbarer Energien deutlich geringer durch Mehrfach-anrechnung von bestimmten Optionen
  - Emissionsbudget wird jährlich überschritten (zulässige Emissionsmenge in 2030: 85 Mio. Tonnen CO_2-Äqu.)

Referenzen und weiterführende Informationen in [Naumann et al. 2022]

Die Perspektive

Treibhausgasvermeidungskosten entscheiden über Einsatz



Referenz: Dögnitz, N. et al. (2023): Marktanalyse für erneuerbares LNG im Verkehr – Treibhausgasquote, DBFZ, Fokusheft im Projekt Pilot-SBG (adaptiert)

Das Fazit

Klimaschutz nur mit integrierter Verkehrs- und Energiewende

- Verkehrssektor unter besonders hohem Handlungsdruck >> für Erreichen der Klimaziele entscheidend, dass:
  - der Endenergiebedarf im Straßenverkehr deutlich reduziert wird und
  - alle vorhandenen und naheliegenden Optionen zur Emissionsreduktion genutzt werden.
  - neben Neufahrzeugen v.a. die Möglichkeiten der THG-Emissionsreduzierung bei Bestandsfahrzeugen viel stärker adressieren
- Aktuelle Verkehrsprognose erhöht Bedarf an erneuerbaren Kraftstoffen und Handlungsdruck massiv
- Selbst ambitionierte Maßnahmen zur Reduktion des Gesamtenergiebedarfs im Straßenverkehr erfordern eine THG-Quote von > 25 % zur Erreichung des Klimaziels
- Für erneuerbare Kraftstoffe zunehmende Ressourcen- und Produktdiversifizierung und Notwendigkeit auch komplexere Technologieoptionen umzusetzen >> viele Einflussfaktoren für erfolgreiche Technologieentwicklung
  - Regulativer Rahmen >> faire Entwicklung für alle Optionen, z.B. verbindliche Treibhausgasquote bis 2045
  - Nachfragedruck auf Ressourcen >> erneuerbarer Kohlenstoff als Schlüssel für erneuerbare Kraftstoffe
  - Treibhausgasvermeidungskosten als Wettbewerbstreiber
- Erneuerbare Kraftstoffe aus internationalem Kontext unverzichtbar >> Chancen und Risiken für neue Wertschöpfungsketten sowie Wissens- und Technologietransfer

Deutsches Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH

DBFZ

Ansprechpartnerin

Dr.-Ing. Franziska Müller-Langer

Bereichsleiterin Bioraffinerien &
Forschungsschwerpunkt
Biobasierte Produkte und Kraftstoffe

+49 (0)341 2434423
franziska.mueller-langer@dbfz.de

DBFZ Report 44 online

www.dbfz.de/report-44

Aktualisiertes Hintergrund-papier THG-Quote online

https://www.dbfz.de/fileadmin//user_upload/Referenzen/Statements/Hintergrundpapier_THG-Quote_DE_Nov2022.pdf