

Beitrag alternativer Kraftstoffe zum Klimaschutz

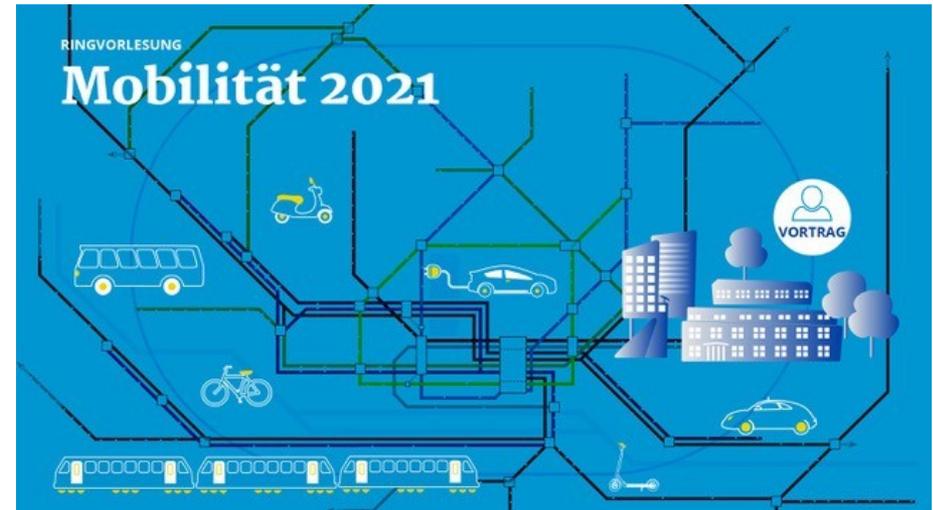
Prof. Dr.-Ing. Thomas Willner

Verfahrenstechnik / Chemical Engineering

HAW Hamburg

Mail: thomas.willner@haw-hamburg.de

Twitter: @thomas_willner



Ringvorlesung Mobilität 2021
Online-Konferenz 15.03.2021

KURZVORSTELLUNG DER FORSCHUNGSGRUPPE VERFAHRENSTECHNIK AN DER HAW HAMBURG

- **Leitung:** Prof. Dr. Anika Sievers, Prof. Dr.-Ing. Thomas Willner
- **Mitarbeitende: rund 10**
wissensch. Mitarb., Doktoranden, stud. Hilfskräfte, stud. Bachelorarb. und Masterarb., Techniker
- **Forschungsthemen:**
 - **Umwandlung von Abfallstoffen in alternative Kraftstoffe, Brennstoffe und Chemikalien**
 - **Aufbereitung von Bioölen und Schwerölen**
 - **Kraftstoffanalytik**

KURZVORSTELLUNG DER FORSCHUNGSGRUPPE VERFAHRENSTECHNIK AN DER HAW HAMBURG

■ Forschungsprojekt READi-PtL im HAW-Projekt X-Energy



READi™-PtL

Prof. Dr. Anika Sievers, Prof. Dr. Thomas Willner, Rune Bahlo, M.Eng.
Unternehmenspartner: Nexxoil



Aufbau und Betrieb einer 2-t/Woche-Pilotanlage im Technikum der HAW Hamburg

SPONSORED BY THE



Federal Ministry of Education and Research



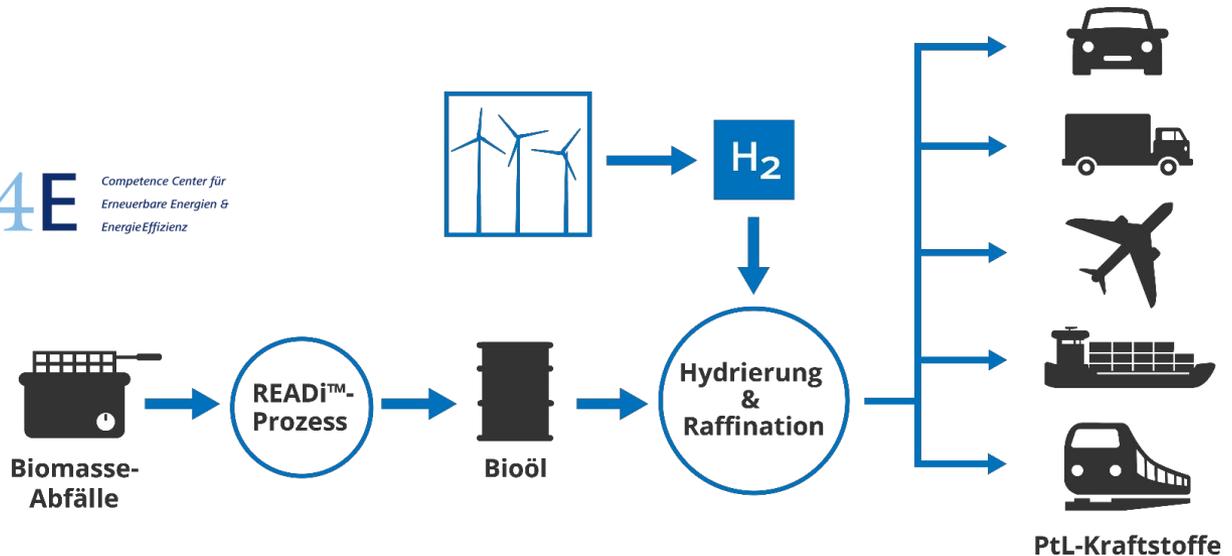
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

CC4E

Competence Center für Erneuerbare Energien & EnergieEffizienz

NEXXOIL

KBS
KREBS BRÜGGEN
SEKUNDÄRROHSTOFFE



Links:

<https://www.haw-hamburg.de/forschung/projekte-a-z/forschungsprojekte-detail/project/project/show/readi-ptl/>

<https://www.haw-hamburg.de/detail/news/news/show/vom-frittenfett-zur-power-forschungsprojekt-in-der-verfahrenstechnik-1/>

INHALT

- **Welche mathematischen Regeln sind beim Klimaschutz zu berücksichtigen?**
- **Ist das von Seiten der Politik seit rund 15 Jahren unverändert genannte Zieljahr 2050 für das Erreichen der Klimaneutralität noch aktuell?**
- **Welche Kriterien müssen Klimaschutzmaßnahmen auf Basis der Mathematik des Klimaschutzes erfüllen?**
 - **Ist die verbreitete Meinung, Elektromobilität gehöre zu den besten Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr, noch valide oder bereits überholt?**
 - **Welche Bedeutung haben alternative Kraftstoffe?**
 - **Wird die Energiewende Verbrennungsmotoren brauchen?**

▪ Mathematik des Klimaschutzes

Es geht um Klimaschutz, also um unsere Zukunft auf diesem Planeten

Klimawandel ist ein naturphysikalisches Phänomen.

Francis Bacon: “Wer die Natur beherrschen will, muss ihr gehorchen”

Wer den Klimawandel beherrschen will, muss **Naturgesetze** beachten.

Naturgesetze sind nicht politisch verhandelbar!

In den **Beratungsgremien der Bundesregierung** mangelt es an technischer
Umsetzungskompetenz. Es mangelt dort **an Ingenieurinnen und Ingenieuren, die dafür
ausgebildet sind, technische Lösungen auf Basis der Naturgesetze erfolgreich zu realisieren.**

▪ Mathematik des Klimaschutzes

Die **Physik des Klimaschutzes** beruht auf den Ursachen der Erderwärmung gegenüber der vorindustriellen Zeit.

Klimawissenschaftler sind sich weitgehend einig, dass die sogenannten **Treibhausgase** (**hauptsächlich CO₂** gefolgt von CH₄ und anderen) hauptverantwortlich dafür sind.

Die einschlägigen Literaturdaten werden laufend vom **IPCC** (Intergovernmental Panel on Climate Change) gesammelt und regelmäßig publiziert.

CO₂ = Kohlendioxid, CH₄ = Methan

5

▪ Mathematik des Klimaschutzes

Die aus der Physik des Klimaschutzes abgeleitete
Mathematik des Klimaschutzes
orientiert sich am Hauptverursacher CO₂
und beruht im Wesentlichen auf den folgenden zwei Zahlen:

1. **CO₂-Emissionsbudget** (oder auch Rest-Emissionsbudget genannt):

Das Budget gibt an, welche Menge CO₂ insgesamt noch in die Atmosphäre gegeben werden darf, um ein bestimmtes Erwärmungslimit (z. B. 1,5-Grad-Ziel) gegenüber der vorindustriellen Zeit nicht zu überschreiten.

2. **CO₂-Emissionsniveau**:

Das Emissionsniveau gibt an, wieviel CO₂ pro Jahr durch menschliche Aktivitäten in die Atmosphäre gegeben wird.

Anmerkung: **Für Methan kann man kein Budget definieren**, weil Methan im Gegensatz zu CO₂ thermodynamisch instabil ist und mit einer gewissen Halbwertszeit wieder abgebaut wird.

6

■ Mathematik des Klimaschutzes

In dem Sonderbericht des IPCC vom Okt. 2018 zum 1,5-Grad-Ziel wurde folgendes globales CO₂-Emissionsbudget ab Beginn 2018 für eine 66%ige Wahrscheinlichkeit, das 1,5-Grad-Ziel zu halten, angegeben:

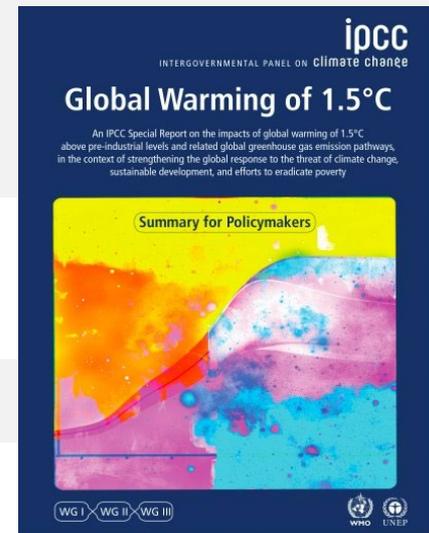
CO₂- Emissionsbudget (1,5-Grad-Ziel) ab Jan. 2018: 420 Gt CO₂

Das globale CO₂-Emissionsniveau wird seit der Zeit mit leicht steigender Tendenz (abgesehen vom Corona-Jahr 2020) wie folgt angegeben:

Niveau der jährlichen CO₂-Emissionen: 40 Gt/a CO₂

Damit erhält man folgendes Budget für Beginn 2021:

CO₂- Emissionsbudget (1,5-Grad-Ziel) ab Jan. 2021: 300 Gt CO₂

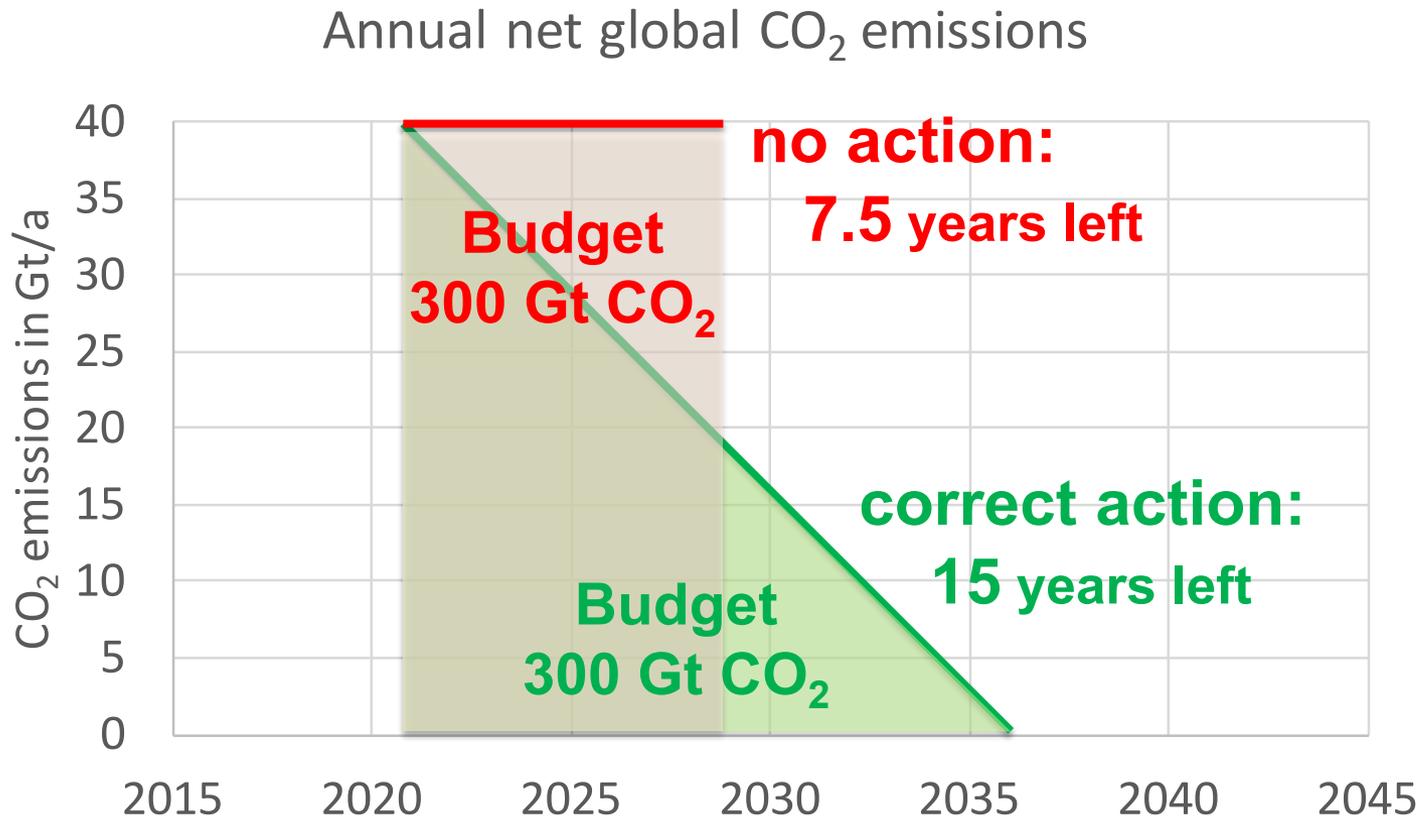


Quelle: IPCC (2018) Special Report on Global Warming of 1.5° C, October 2018

7

Mathematik des Klimaschutzes

Globales CO₂-Emissionsbudget (1,5-Grad-Ziel) ab Jan. 2021: **300 Gt CO₂**
Derzeitiges globales CO₂-Emissionsniveau: **40 Gt/a CO₂**



Quelle: IPCC (2018) Special Report on Global Warming of 1.5 C, October 2018

8

Interpretation der graphischen Darstellung auf der vorhergehenden Folie:

- Die Integrale unter den Emissionskurven (im Diagramm Geraden) sind das Budget.
- “No-action”-Szenario bedeutet, dass keine CO₂-Minderung erfolgt.
- “Correct-action”-Szenario stellt eine Roadmap für eine anzustrebende CO₂-Reduktion dar, die bei gleicher Zeitachse entsprechend auf alle Länder und alle Sektoren übertragen werden kann.
- Das globale CO₂-Emissionsbudget schrumpft jedes Jahr um 40 Gt.
- Mit jedem Jahr des Wartens (“no-action”-Szenario) kommt uns das Ziel Jahr im linearen “correct-action”-Szenario um jeweils ein Jahr entgegen (heute 2036, nächstes Jahr 2035 usw.).

■ Relevanz des offiziellen Zieljahres 2050

- **Das von der Politik immer noch angesetzte Zieljahr 2050 für Klimaneutralität ist schon lange irrelevant bzw. überholt.**
- **Das Zieljahr müsste jedes Jahr neu angepasst werden,** denn mit jedem Jahr des Wartens (“no-action”-Szenario) kommt uns das Ziel Jahr im linearen “correct-action”-Szenario um jeweils ein Jahr entgegen **(heute 2036, nächstes Jahr 2035 usw.).**

▪ Abgeleitete Kriterien für Klimaschutzmaßnahmen

3 Kriterien, die Klimaschutzmaßnahmen generell erfüllen müssen

KEINE VERZÖGERUNG DER THG-REDUKTION “No Delay”

- Klimaschutzmaßnahmen müssen bei Umsetzung unverzüglich zu wirksamer THG-Reduktion führen.
(siehe “Correct-action”-Szenario)

KEINE THG-VERLAGERUNG “No GHG Export”

- Klimaschutzmaßnahmen, die in einem Land oder Sektor THG-senkend angerechnet werden, dürfen nicht zu vor- oder nachgelagerten THG-Emissionen in anderen Ländern oder Sektoren führen.

SCHNELLE GLOBALE AUSBREITUNG ERFOLGREICHER TECHNOLOGIEN

“Fast Roll-Out”

- Klimaschutz ist eine globale Aufgabe (Deutschland steht nur für 2 % der globalen THG-Emissionen) und kann nur in der internationalen Zusammenarbeit gelingen.

Quelle: Willner 2020;

THG = Treihausgas

11

▪ Elektromobilität als Klimaschutzmaßnahme

KEINE VERZÖGERUNG DER THG-REDUKTION

- BEVs erhöhen bei Einführung die THG-Emissionen (Zusatzaufwand beim Batteriebau "Rucksack" und zusätzlicher Kohlestromverbrauch).
- BEVs leisten nichts in der großen bestehenden Fahrzeugflotte.
- Die Elektrifizierung des Verkehrs erfordert den Austausch der Flotte. Das dauert zu lange.

KEINE THG-VERLAGERUNG

- Die E-Mobilität ist ungeeignet, denn sie verlagert die THG-Emissionen in andere Länder und Sektoren, z. B. Industriesektor für Batteriebau und Infrastrukturaufbau sowie Energiesektor für Stromproduktion.

SCHNELLE GLOBALE AUSBREITUNG ERFOLGREICHER TECHNOLOGIEN

- Bei Nichterfüllung der vorgenannten Kriterien wäre die Ausbreitung sinnlos.
- Für große Flächenländer und arme Länder wäre die E-Mobilität ohnehin ungeeignet.
- Weltweites Hochfahren der E-Mobilität führte zu enormen Rohstoffproblemen und Umweltschäden.
- Eine totale Elektrifizierung führte global zum Hochfahren der Atom- und Kohleenergie.

THG = Treibhausgas; BEVs = Battery Electric Vehicles

12

■ Elektromobilität als Klimaschutzmaßnahme

Die wissenschaftliche Analyse (einschlägige Literatur siehe unten) zeigt eindeutig:

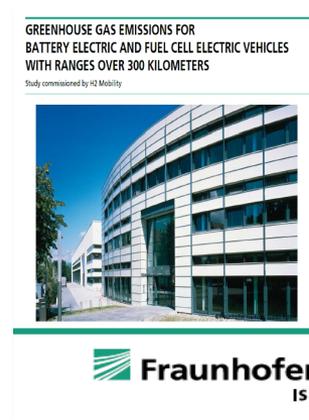
- Die Elektromobilität erfüllt kein einziges der drei Kriterien für effektiven Klimaschutz.
- Elektroautos werden in den für den Klimaschutz entscheidenden nächsten 10 Jahren in D - über die gesamte Wertschöpfungskette gerechnet - zu keiner nennenswerten THG-Reduktion führen.
- Gründe: "Batterierucksack" und Kohlestromanteil (Mix in D für 2021: 529,2 g CO₂eq/kWh¹)



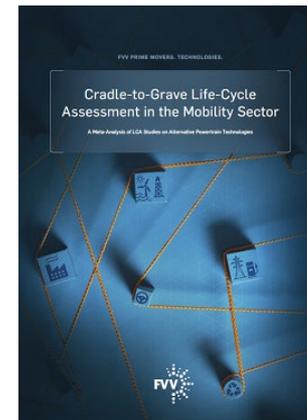
ProcessNet 2018



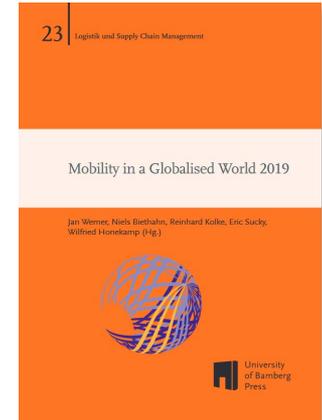
Joanneum Research 2019



Fraunhofer ISE 2019



Frontier Economics 2020



Willner 2019+2020

¹ BAnz 2020;

THG = Treibhausgas; D = Deutschland

■ Elektromobilität als Klimaschutzmaßnahme

Fazit:

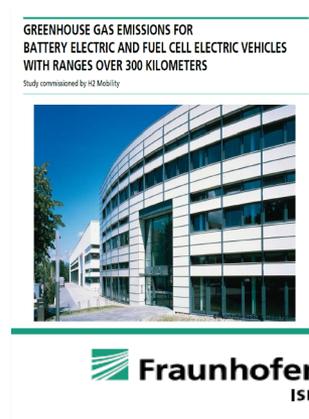
- Die Ansicht, Elektromobilität gehöre zu den besten Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr, ist überholt.
- Die Elektromobilität scheidet als Klimaschutzmaßnahme aus.
- Die übertriebene einseitige Förderung der Elektromobilität auf nationaler und europäischer Ebene muss umgehend korrigiert werden.



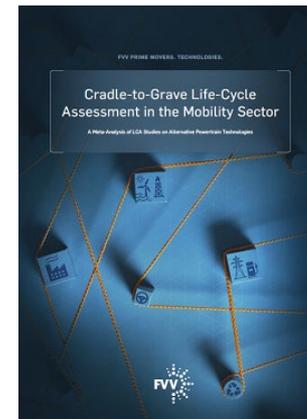
ProcessNet 2018



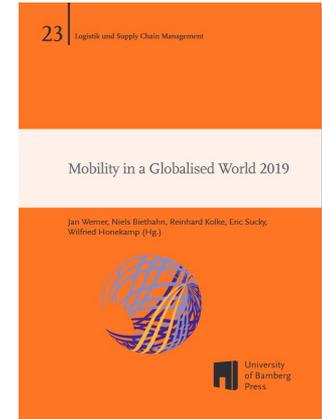
Joanneum
Research 2019



Fraunhofer ISE
2019



Frontier
Economics 2020



Willner
2019+2020

▪ Bedeutung alternativer Kraftstoffe

KEINE VERZÖGERUNG DER THG-REDUKTION

- Klimaneutrale Kraftstoffe haben bei Einführung einen sofortigen THG-senkenden Effekt in der großen bestehenden Fahrzeugflotte.

KEINE THG-VERLAGERUNG

- Schon heutige Biokraftstoffe im Markt haben eine große Leistungsfähigkeit (83 % THG-Einsparung¹)
 - Fortschrittliche alternative Kraftstoffe können das gleiche oder noch mehr leisten.

SCHNELLE GLOBALE AUSBREITUNG ERFOLGREICHER TECHNOLOGIEN

- Deutschland ist ein Energieimportland (70 % Energieimport²) und sollte EE importieren. Der Technologieexport für alternative Kraftstoffe (z. B. E-Fuels) in Länder mit einem Überschuss an EE würde dies ermöglichen.
- Auch andere Technologien z. B. für abfallbasierte Kraftstoffe ließen sich schnell ausbreiten. Man würde dadurch gleichzeitig Abfallprobleme beseitigen. Viele Länder „ersticken“ im Müll und Plastik schwimmt im Ozean.

¹ BLE 2020; ² BMWi 2020;

THG = Treibhausgas; EE = erneuerbare Energien

▪ Bedeutung alternativer Kraftstoffe

Ergebnis der wissenschaftlichen Analyse anhand der drei Kriterien für Klimaschutzmaßnahmen:

Nachhaltige alternative Kraftstoffe können alle drei Kriterien erfüllen.

Fazit:

Daher sollte die Förderung nachhaltiger alternativer Kraftstoffe auf nationaler und europäischer Ebene priorisiert werden. Hemmende gesetzliche und regulatorische Rahmenbedingungen sollten dringend korrigiert werden. Dazu gehören:

- Die EU Flottengrenzwertregelung, bei der die E-Mobilität mit Null-Emission angerechnet wird, alternative Kraftstoffe jedoch überhaupt nicht.
- Die deutsche BImSchV, in der die Norm DIN EN 15940 nicht zugelassen ist, wodurch paraffinische synthetische Kraftstoffe stark behindert werden.

▪ Bedeutung alternativer Kraftstoffe

Klimatechnisch zielführend wäre es, den Verbrennungsmotor und die gesamte vorhandene Infrastruktur beizubehalten und anstelle fossiler Kraftstoffe **klimaneutrale alternative Kraftstoffe** zu verwenden.^{1, 2, 3, 4}

- **Einsparung von Steuergeldern:** Derzeit hat die Bundesregierung bereits (hochgerechnet auf 10 Mio. E-Autos) **rund 160 Mrd. € (!) an Steuergeldern** für die Förderung der E-Mobilität reserviert (Kaufprämie + Steuervergünstigungen ohne Investitionshilfen für den Infrastrukturaufbau).^{1, 5, 6}
- **Erhaltung von vielen Arbeitsplätzen:** **Mehrere 100.000 Jobs** wären sonst im mittelständischen Zulieferungsbereich des Automobilssektors gefährdet.⁷
- **Vermeidung von Rohstoffengpässen und Umweltproblemen in den Rohstoffländern beim massiven Hochfahren der Elektromobilität.**

¹ Willner 2020; ² Joanneum Research 2019; ³ Fraunhofer ISE 2019; ⁴ Frontier Economics 2020;

⁵ MWV 2020; ⁶ eigene Berechnungen; ⁷ Handelsblatt 2020

▪ Bedeutung alternativer Kraftstoffe

Was sind alternative Kraftstoffe?

Mit alternativen Kraftstoffen ist die ganze Breite der klimaneutralen Varianten gemeint (flüssige und gasförmige wie Wasserstoff und Methan):

- 1) 1G-Biokraftstoffe als Nebenprodukt der Futtermittelproduktion
- 2) 2G-Biokraftstoffe aus biogenen Abfällen und Reststoffen
- 3) Kraftstoffe aus nicht biogenen Abfällen
- 4) Kraftstoffe aus $\text{CO}_2 + \text{H}_2$ auf EE-Strombasis (PtX-Kraftstoffe, E-Fuels)
- 5) Kombinationen (Hybrid-PtX-Kraftstoffe)

1G = 1. Generation; 2G = 2. Generation; EE = erneuerbare Energie; PtX = Power to X

18

▪ Bedeutung alternativer Kraftstoffe

Gruppe 1 der alternativen Kraftstoffe

- **1G-Biokraftstoffe als Nebenprodukt der Futtermittelproduktion (Biodiesel und Bioethanol).**
- THG-Einsparung¹: Biodiesel 64-75 %
Bioethanol 80-89 %
- Für diese Biokraftstoffe werden **keine extra Flächen** benötigt, da die Futtermittel ohnehin produziert werden.
- D hat eine **Biodiesel-Überproduktion** und exportiert den Überschuss.
- Es gibt auch **keine indirekte Landnutzungsänderung (ILUC) wegen der Überproduktion von landwirt. Nahrungsmitteln in D, EU und der Welt**^{2,3}.
- Eine **Abschaffung von 1G** und Ersatz durch 2G wäre sogar **klimaschädlich**⁴

¹ BLE 2020 für 2019 in D; ² BLE 2020-2; ³ FAO 2021; ⁴ Buchspies, Kaltschmitt 2018

1G = 1. Generation; 2G = 2. Generation; D = Deutschland

19

▪ Bedeutung alternativer Kraftstoffe

Gruppe 2 der alternativen Kraftstoffe

- **2G-Biokraftstoffe aus Abfällen und Reststoffen aus der Land- und Forstwirtschaft, Holzverarbeitung, Lebensmittelbranche usw.:**
- THG-Einsparung¹:
 - Biodiesel 92 %
 - Bioethanol 94 %
 - Biomethan 89 %
- Der Marktanteil von 2G Biokraftstoffen ist steigend. So werden bereits rund **40 % des Biodiesels in D aus Lebensmittelabfällen** (UCO) produziert.¹
- Die heutigen **Biokraftstoffe in D (1G + 2G)** erbringen durchschnittlich bereits eine **sehr hohe THG-Einsparung von rund 83 %**.¹

¹ BLE 2020 für 2019 in D

1G + 2G = 1. + 2. Generation; UCO = Used Cooking Oil; D = Deutschland; THG Treibhausgas

▪ Bedeutung alternativer Kraftstoffe

Gruppe 2 der alternativen Kraftstoffe

- **2G-Biokraftstoffe aus Abfällen und Reststoffen aus der Land- und Forstwirtschaft, Holzverarbeitung, Lebensmittelbranche usw.:**

Viele Reaktionspfade möglich wie z. B. über Pyrolyse und/oder Synthesegas.

Beispiel: BtL-Konzept über Vergasung der Biomasse zur Synthesegasproduktion + Fischer-Tropsch (FT)- oder Methanol-Synthese oder andere Synthesen:

Modellreaktionen am Beispiel der Partialoxidation zur Vergasung + FT:



2G = 2. Generation; BtL = Biomass to Liquid; KW = Kohlenwasserstoffe für Drop-In-Biokraftstoffe 21

▪ Bedeutung alternativer Kraftstoffe

Gruppe 2 der alternativen Kraftstoffe: Projektbeispiele

- **2G-Biokraftstoffe aus Abfällen und Reststoffen aus der Land- und Forstwirtschaft, Holzverarbeitung, Lebensmittelbranche usw.:**

Pyrolyse + Vergasung + Synthesen:



Bioliq^R-Pilotanlage am KIT in Karlsruhe: 0,5 t/h Stroh, 2 MW_{th}

Pyrolyse + Ölaufbereitung oder Co-Processing:



Empyro-BTG-Produktionsanlage in Hengelo/NL: 5 t/h Holz, 20 MW_{th} 22

▪ Bedeutung alternativer Kraftstoffe

Gruppe 3 der alternativen Kraftstoffe: Projektbeispiel

- **Kraftstoffe aus Hausmüll und Plastikabfällen:**
- $\eta_{\text{Plastik-Solvolyse}} > 80\%$ (HAW Hamburg) (η = Energieausbeute im Produkt bezogen auf den Rohstoff)

Pyrolyse + Co-Processing:



ReOil-Prozess der OMV:

OMV-Pilotanlage in Schwechat/AU:
0,1 t/h Plastikabfall

Geplante Erweiterungsschritte:

Demo: 20.000 t/a

Produktion: 200.000 t/a

▪ Bedeutung alternativer Kraftstoffe

Gruppe 4 der alternativen Kraftstoffe: Großprojekt-Beispiele

▪ Kraftstoffe aus $\text{CO}_2 + \text{H}_2$ auf EE-Strombasis (PtX-Kraftstoffe, E-Fuels):

- $\eta = \text{ca. } 40\%$ (Nieder-Temperatur-Elektrolyse + FT-Synthese; Rauch¹)

ca. 60 % (Hoch-Temperatur-Elektrolyse + FT-Synthese; Sunfire²)

$\eta = \text{Energieausbeute im Produkt bezogen auf den Rohstoff}$ ¹ Rauch 2021; ² Posdziech 2021



Noor-Solarprojekt in Marokko: 580 MW
weltgrößte Solaranlage; 4 weitere
Anlagen und PtL geplant



Neom-Solarprojekt in Saudi-Arabien:
weltgrößte H_2 -Anlage mit 4 GW erneuerbarem Strom + PtG (NH_3) geplant

24

▪ Bedeutung alternativer Kraftstoffe

Gruppe 5 der alternativen Kraftstoffe: Projektbeispiel

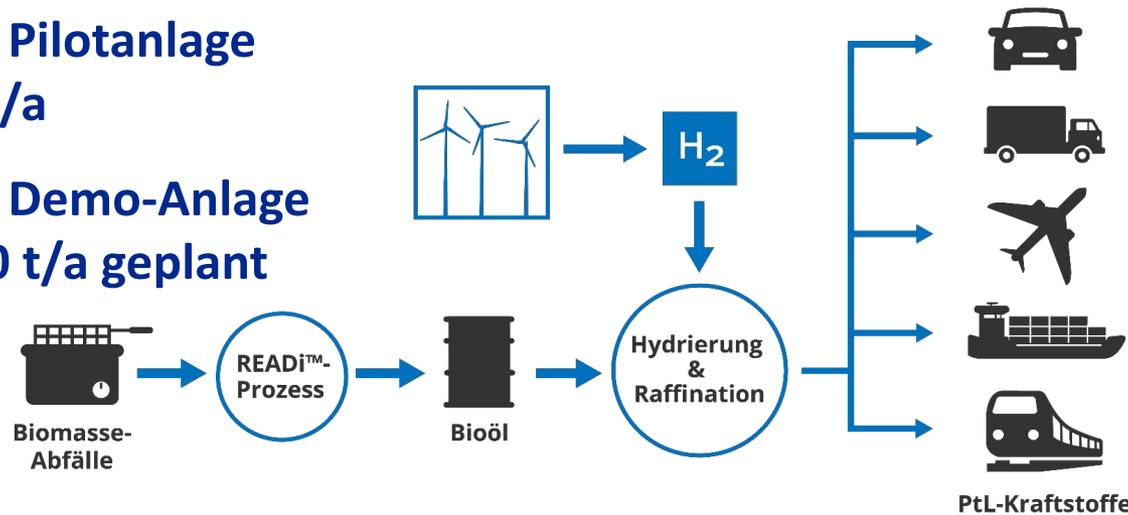
- **Kombinationen (Hybrid-PtX-Kraftst.) z. B. aus Biomasse oder Abfall:**
- $\eta_{\text{abfallbasiert}} > 80\%$ bei Plastik- und Fettabfall (HAW Hamburg)

2021 Pilotanlage

100 t/a

2023 Demo-Anlage

1.000 t/a geplant



READi-PtL-Projekt
im **X-Energy-Projekt**
des CC4E der
HAW Hamburg:

**Hybrides PtL-
Verfahren** der
HAW Hamburg mit
Firmenpartnern

Für die Produktion von erneuerbarem Diesel aus Altvetten liegt der Verbrauch an erneuerbarem Strom für den Gesamtprozess bei **nur 5 kWh pro 100 km**

Das ist Faktor 3 – 4 besser als bei Elektroautos

25

▪ Bedeutung alternativer Kraftstoffe

Ist das Potenzial für alternative Kraftstoffe groß genug?

Antwort: Ja. Das Potenzial für D **ohne E-Fuels** bis 2030 wird wie folgt eingeschätzt:

Rohstoffe/Kraftstoffe	Potenzial	Quellen
Biokraftstoff-Produktionskapazität in D (2017) (derzeit nur etwa 120 PJ in D genutzt (2018), Rest wird exportiert)	179 PJ	MWV, EBB
Zusätzl. 0,5 Mio. t/a altfett-basierte Biokraftstoffe (2030) (1,6 Mio. t/a 2030 gegen 1,1 Mio. t/a heute incl. Importpotenzial)	19 PJ	MVaK
Zusätzl. Biokraftstoffe aus festen Rest- und Abfallstoffen (2030) (ohne 13 Mio. t = 218 PJ für den Wärmemarkt, incl. EU-Importpot.)	404 - 733 PJ	SGAB, S2Biom
Zusätzl. alt. Kraftst. aus nicht-recyclebaren Plastikabfällen (2030) (3,2 Mio. t/a in D)	63 PJ	UBA, ITAD
Summe 2030 ohne E-Fuels = 24 bis 35 % des gesamten heutigen Kraftstoffbedarfs in D	665 - 994 PJ	

D = Deutschland

26

▪ Bedeutung alternativer Kraftstoffe

Fortsetzung: **Potenzial** für alternative Kraftstoffe

Zusätzlich können noch **E-Fuels** hochgefahren werden

▪ E-Fuels

aus grünem Wasserstoff + CO₂ aus Punktquellen oder aus der Luft:

- **Praktisch unbegrenztes C-Potential**
- **Produktion nicht in D mit knappen EE**
- **Produktion in Ländern mit einem Überangebot an EE**
(südl. Länder mit viel Wind und Sonne,
z. B. Patagonien ist der Windertrag 3 bis 4-mal so hoch wie in D^{1, 2})

¹ BMWi 2020-2: D 1.500 - 2.100 VLH; ² Fasihi, Breyer 2020: Patagonien 6.500 VLH

D = Deutschland; EE = erneuerbare Energien; C = Kohlenstoff; VLH = Volllaststunden

27

▪ Bedeutung alternativer Kraftstoffe

Fortsetzung: Potenzial für alternative Kraftstoffe

Zusätzlich können noch E-Fuels hochgefahren werden

- **E-Fuels-Import = Import grüner Moleküle (z. B. H₂, NH₃, Flüssig-Kraftstoffe)**
 - Bei Flüssig-Kraftstoffen hoher Energiedichte spielt die Transportentfernung praktisch keine Rolle mehr
- **Dieses Konzept ist eine perfekte Option für die dringend notwendige internationale Zusammenarbeit beim Klimaschutz:**
 - D reduziert Exportüberschüsse, die in der Welt kritisch gesehen werden.
 - D kann EE-Technologien in Länder mit EE-Überschuss exportieren.
 - Diese Länder können E-Fuels nach D liefern: Wohlstand für diese Länder.
 - D kann seinen riesigen Energieimportbedarf (derzeit 70 %) erneuerbar decken.
 - D kann die Importe über viele Länder verteilen und vermeidet Abhängigkeiten.

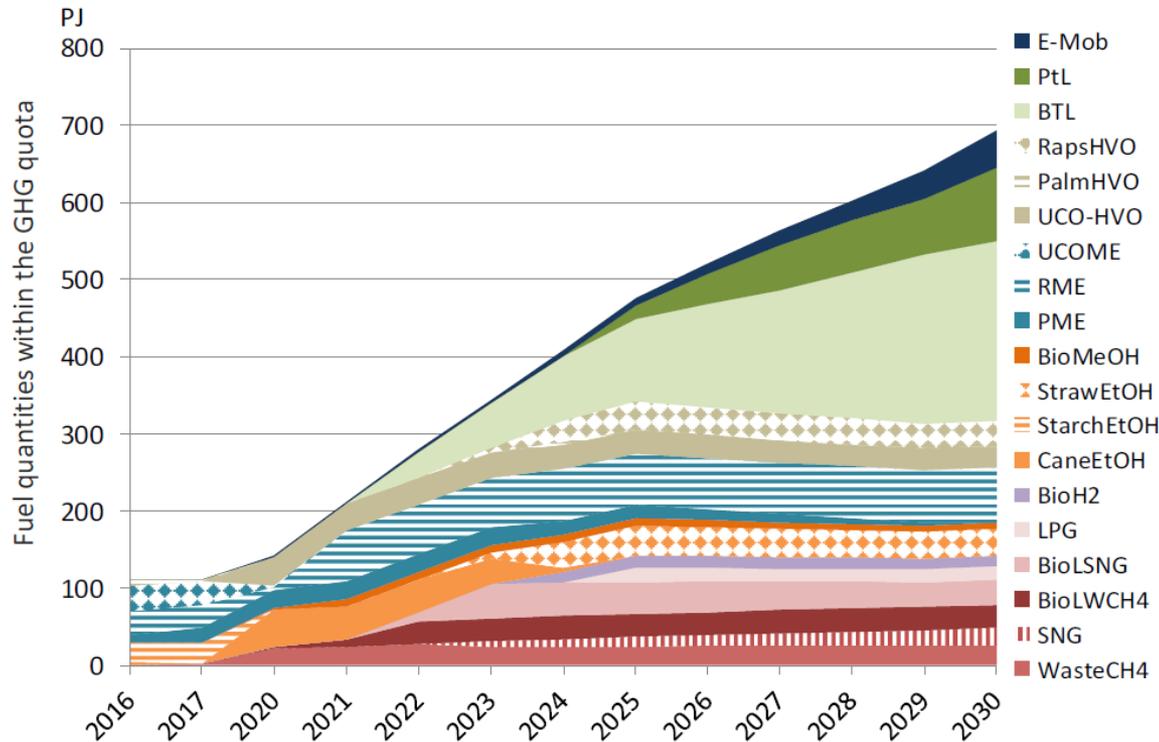
D = Deutschland

28

▪ Bedeutung alternativer Kraftstoffe

Kann der **Hochlauf** der Produktion an alternativen Kraftstoffen schnell genug sein?

Antwort: Ja. Siehe Diagramm unten aus einer Studie des DBFZ



Bei ausreichender Förderung könnten bis 2030 rund 650 PJ an alternativen Kraftstoffen unter Nutzung des Importpotenzials für Deutschland bereitgestellt werden.

Das wären 23 % des gesamten derzeitigen Kraftstoffbedarfs bzw. 27 % des Bedarfs im Straßenverkehr in D

Quellen: DBFZ (2019) und (2020)

29

▪ Bedeutung alternativer Kraftstoffe

Sind alternative Kraftstoffe sehr teuer?

Antwort: Nein. Beispiele:

▪ Abfallbasierte Kraftstoffe:

- z. B. Entwicklungen der Forschungsgruppe Verfahrenstechnik an der HAW Hamburg liegen **deutlich unter 1 €/Liter** (Kontakt s. Titelfolie)

▪ E-Fuels gelten als die teuerste Variante:

- Aber die Branche erwartet für südl. Länder mit günstigem EE-Strom schon **bis 2025 Herstellungskosten unter 2 €/Liter und bis 2030 etwa 1 €/Liter**. (z. B. C3-Mobility-Projekt: <http://www.c3-mobility.de/>)
- Aktuelle Ausschreibungen im August 2020 für Portugal und Dubai ergaben bereits EE-Strompreise (PV) von **nur 1,1 €-Cent/kWh**.
<https://www.pv-magazine.com/2020/08/24/portugals-second-pv-auction-draws-world-record-low-bid-of-0-0132-kwh/>

▪ Bedeutung alternativer Kraftstoffe

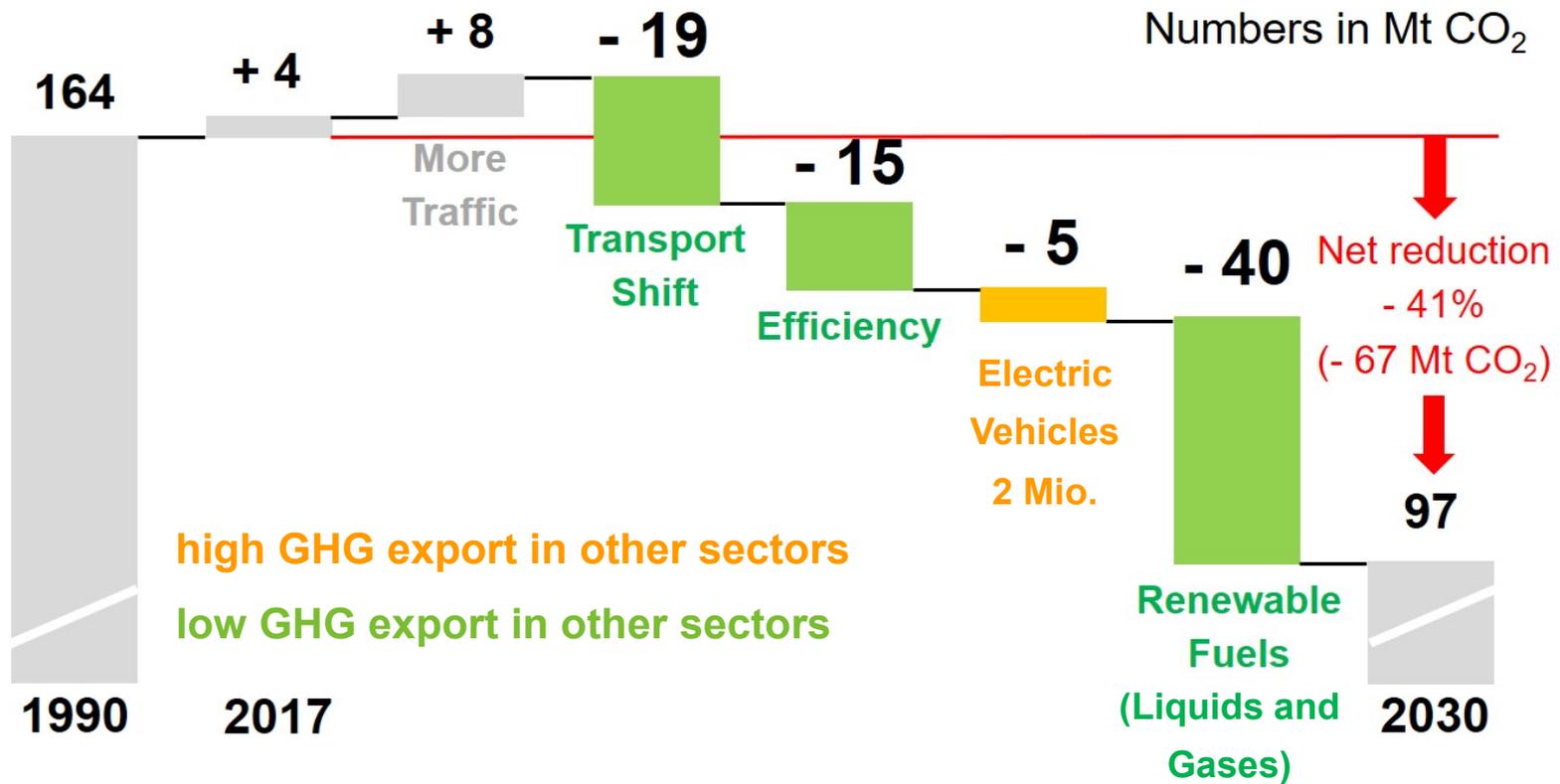
Fazit:

- Nachhaltige klimaneutrale **alternative Kraftstoffe** werden die **wichtigste Säule des Klimaschutzes im Verkehr** sein.
 - Sie werden die Hauptlast der THG-Reduktion tragen müssen.
 - Weitere Säulen werden sein
 - Transportverlagerung von Straße auf Schiene und Wasser, von Auto auf Fahrrad, von Individualverkehr auf ÖPNV usw.
 - Effizienzsteigerung bei den Antriebssystemen
- **Die Politik sollte daher alles tun, um den Hochlauf alternativer Kraftstoffe bestmöglich zu unterstützen, und die überzogene Förderung der Elektromobilität zurückfahren.**
- **Die nächste Folie zeigt ein anzustrebendes Zielszenario für 2030:**

▪ Fazit: Zielszenario

Zielszenario mit allen Maßnahmensäulen des Klimaschutzes im Straßenverkehr

Sektorale Betrachtung (E-Autos und Ren. Fuels mit Null-Emission gezählt)



Quellen: UBA 2019, BDI 2019, Willner 2020 und 2020-2

32

▪ Bedeutung des Verbrennungsmotors

Wird die Energiewende in D und anderen Ländern den Verbrennungsmotor brauchen?

Mythos 1: “BEVs seien viel effizienter als ICEs”

Realität: Stand heute in D: **WtW-Wirkungsgrade (Well-to-Wheel) sind gleich:**

BEV	ICE (Diesel)
Primärenergie zu Strom incl. EE ¹ : 47 %	Erdöl zu Kraftstoff an Zapfsäule ⁵ : 79 %
Stromtransport im Netz ¹ : 92 %	Antrieb im Durchschnittsbetrieb ² : ca. 30 %
Batterie laden und entladen ^{2, 3} : ca. 85 %	
Heizen (Winter), Kühlen (Sommer) ⁴ : ca. 80 %	
Antrieb im Durchschnittsbetrieb ² : ca. 85 %	
WtW-Wirkungsgrad ca. 25 %	WtW-Wirkungsgrad ca. 24 %

Anmerkung: Weitere BEV-Wirkungsgradverluste durch Super-Charger + Batteriebau + -recycling; das heißt, wirklich relevant wäre eine Cradle-to-Cradle- bzw. Cradle-to-Grave-Analyse

¹ BMWi 2020; ² Atzler et al. 2015; ³ADAC 2018; ⁴E-Golf: Erfahrungswerte 2020; ⁵Prussi et al. 2020;

D = Deutschl.; BEV = Battery Electric Vehicle; ICE = Internal Combustion Engine; EE = ern. Energie 33

■ Bedeutung des Verbrennungsmotors

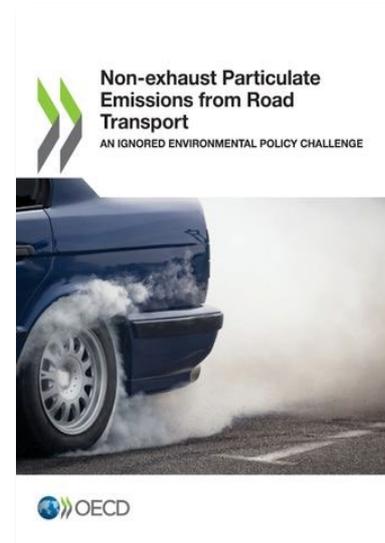
Wird die Energiewende in D und anderen Ländern den Verbrennungsmotor brauchen?

Mythos 2: “BEVs seien viel sauberer als ICEs”

Realität: Stand heute: **Es ist umgekehrt: ICEs können gerade bei dem als kritisch geltenden Feinstaub sauberer als BEVs sein:**



Feinstaub: Unabhängige Messungen bestätigen: Abgas im Realbetrieb oft sauberer als Ansaugluft.¹



OECD: Das Feinstaubproblem kommt heute nicht mehr vom Abgas, sondern zum großen Teil vom Abrieb von Straßen und Reifen. Hier sind BEVs wegen des höheren Gewichts schlechter als ICEs.²

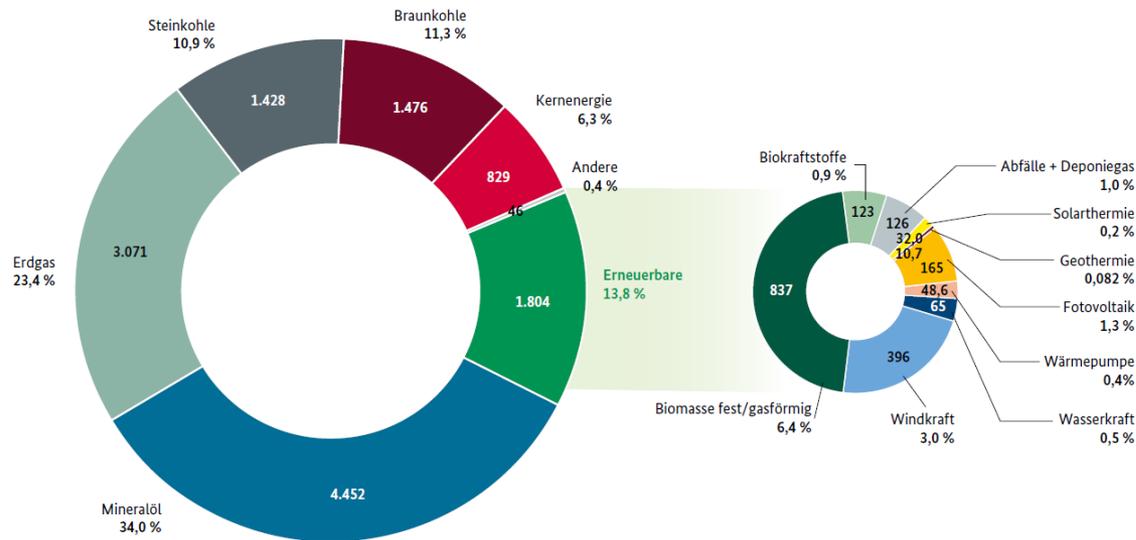
¹ Emissions Analytics 2019; ² OECD 2020

D = Deutschland; BEV = Battery Electric Vehicle; ICE = Internal Combustion Engine

■ Bedeutung des Verbrennungsmotors

Wird die Energiewende in D und anderen Ländern den Verbrennungsmotor brauchen?

3. Primärenergieverbrauch in Deutschland 2018 (13.106 PJ*)



* vorläufig

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB), Stand: August 2019, Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat)

- Stand 2020: Nur **16,8 %** des PEV sind erneuerbare Energien (EE).
- Stand 2020: Nur **5%** des PEV stammen von Wind- und Photovoltaikanlagen.
- Stand 2020: Rund **70 % (!)** des PEV sind **Energieimporte**. D wird also **Energieimportland bleiben**.
- Über weite Strecken lassen sich EE am besten in Form von **flüssigen grünen Molekülen** transportieren.

Quellen: BMWi 2019 + 2020 + 2020-2; AGEB 2020;

PEV = Primärenergieverbrauch

35

▪ Bedeutung des Verbrennungsmotors

Wird die Energiewende in D und anderen Ländern den **Verbrennungsmotor** brauchen?

Antwort: Ja, und auch andere Verbrennungssysteme wie z. B. **Ölheizungen**

Begründung:

- Der **erneuerbare Strom** wird in D der **Engpass der Energiewende** sein. Also muss man **in D Strom sparen**, nicht zusätzlichen Bedarf (E-Autos u. a.) schaffen.
- Außerdem hat D einen enormen **Energie-Importbedarf** (derzeit rund **70 % der Primärenergie**), der über den **Import grüner Moleküle** zu decken ist.
- Man muss also in D **möglichst viele Anwendungsoptionen** wie **Verbrennungsmotoren, Ölheizungen usw.** erhalten, die nicht auf deutschen Strom angewiesen sind und **grüne Moleküle benutzen** können.
- **Verbote solcher Systeme wären ein großer strategischer Fehler!**

D = Deutschland

36

▪ Fazit

- Das von der Politik gleichbleibend genannte **Zieljahr 2050** für Klimaneutralität ist schon lange **überholt**. Für das 1,5-Grad-Ziel liegt es heute bei **2036**, nächstes Jahr bei **2035** usw.
- **Alternative Kraftstoffe** werden die **wichtigste Säule des Klimaschutzes im Verkehr** sein. Weitere wirksame Maßnahmen sind **Transportverlagerung** und **Effizienzsteigerung**.
- Die **Elektromobilität** ist **als Klimaschutzmaßnahme nicht mehr geeignet**. Dafür ist es zu spät. Die nötigen Voraussetzungen wie z. B. ausreichend erneuerbarer Strom sind nicht erfüllt.
- Die **Elektromobilität schafft neue Probleme** (Erhöhung von CO₂-Emissionen beim Bau der E-Autos, Erhöhung des fossilen Stromanteils durch zusätzlichen Verbrauch, Ressourcenverknappung, Umwelt- und Gesundheitsschäden in Rohstoffländern, Arbeitsplatzverluste in D und erhöhte Ausgaben von Steuergeldern, fehlende Infrastruktur, Sicherheitsprobleme im Brandfall, Reichweiten, Ladezeiten, Stromleistung im Netz ...)
- **E-Autos sind nicht sauber**. Beim **Feinstaub** sind **moderne Dieselmotoren besser als E-Autos**.
- **Effizienz: In der WtW-Betrachtung** sind **moderne Dieselaautos genauso effizient wie E-Autos**.

▪ Handlungsempfehlungen an die Politik

- Die einseitige **Fokussierung** der Politik **auf Elektromobilität muss dringend korrigiert werden.**
Dazu müssen viele Gesetze und Regelungen auf deutscher und europäischer Ebene geändert werden wie z. B. **EU-Flottenregulierung, EU-Richtl. für erneuerb. Energien RED II, EU-Richtl. für saubere Straßenfahrzeuge CVD, Deutschland BImSchG/BImSchV ...**
- Für die **Energiewende** müssen wir im großen Maßstab **grüne Moleküle importieren**, über weite Strecken am besten in flüssiger Form. Für deren effizienten Einsatz benötigen wir dringend **stromunabhängige Systeme wie Verbrennungsmotoren, Ölheizungen u. a.**
- **Verbote solcher Systeme wären ein großer strategischer Fehler!**
Nach dem Vorbild der **Biodiversität** in Natur benötigen wir auch **Technik-Diversität** für flexible Optionen.
Ein All-Electric-Szenario wäre eine unflexible Monokultur.
- Die **Elektromobilität** sollte dringend die gleichen strengen **Nachhaltigkeitskriterien erfüllen**, die es für Biokraftstoffe schon lange gibt.

▪ Aufruf

Die verbleibende **Zeit für den Klimaschutz ist extrem kurz und schwindet weiter.**

Noch haben wir eine Chance, **aber wir dürfen uns keine Fehler mehr erlauben.**

Lasst uns endlich die richtigen Weichen stellen für einen
**technologieoffenen Wettbewerb der besten Maßnahmen
ohne willkürliche Festlegungen der Politik**

siehe **offener Brief** von mittlerweile über 70 Wissenschaftlerinnen und
Wissenschaftlern an die Bundesregierung vom 12.01.2021

[https://ksk2021.konferenz-
hub.de/sites/default/files/KSK2021/2021.01.12%20Offener%20Brief%20wg%20REDII-Umsetzung_final.pdf](https://ksk2021.konferenz-hub.de/sites/default/files/KSK2021/2021.01.12%20Offener%20Brief%20wg%20REDII-Umsetzung_final.pdf)

[https://ksk2021.konferenz-
hub.de/sites/default/files/KSK2021/2021.01.12%20Anschreiben%20Presse_Weiterentwicklung%20der%20T
reibhausgasreduzierungs'Cluote.pdf](https://ksk2021.konferenz-hub.de/sites/default/files/KSK2021/2021.01.12%20Anschreiben%20Presse_Weiterentwicklung%20der%20Treibhausgasreduzierungs%20Ma%C3%9Fnahmen%20an%20die%20Bundesregierung.pdf)

QUELLEN

- **ADAC** (2018): Renault Zoe im ADAC Dauertest. <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/marken-modelle/renault/renault-zoe-dauertest/>
- **AGEB** (2020): Primärenergieverbrauch in Deutschland 2019/2020
- **Atzler et al.** (2015): Fuel consumption and emissions effects in passenger car Diesel engines through the use of a belt starter generator. SAE Technical Paper 2015-01-1162
- **BAnz** (2020): Bundesanzeiger BAnz AT 19.10.2020 B7
- **BDI** (2019): „Analyse Klimapfade Verkehr 2030“. Study of BCG (Boston Consulting Group) and Prognos for the BDI (Bundesverband der Deutschen Industrie). Presented by BDI in Febr. 2019 in Berlin. Viewed on 03 Jan. 2020 from <https://bdi.eu/publikation/news/analyse-der-klimapfade-verkehr-2030/>

QUELLEN

- **BLE** (2020): Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: Evaluations- und Erfahrungsbericht für das Jahr 2019 (Federal Office for Agriculture and Food: „Evaluation and Progress Report 2019“). Bonn 2020.
- **BLE** (2020-2): Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: Bericht zur Markt- und Versorgungslage Getreide 2020 (Federal Office for Agriculture and Food). Bonn 2020
- **BMWi** (2019): Energiedaten: Gesamtausgabe. Stand Okt. 2019
- **BMWi** (2020): Zahlen und Fakten: Energiedaten
- **BMWi** (2020-2): Erneuerbare Energien in Zahlen
- **Buchspies, Kaltschmitt** (2018): „A consequential assessment of changes in greenhouse gas emissions due to the introduction of wheat straw ethanol in the context of European legislation“. In: Applied Energy 211, pp 368-381.

QUELLEN

- **DBFZ** (2019): „Untersuchungen zur Ausgestaltung der Biokraftstoffgesetzgebung“. Study of the DBFZ (Deutsches Biomasseforschungszentrum). Presented by F. Müller-Langer at the International Congress „Fuels of the Future“ on 21 Jan. 2019 in Berlin.
- **DBFZ** (2020): Meisel et al.: Future Renewable Fuel Mixes in Transport in Germany under REDII and Climate Protection Targets. *Energies* 2020, 13, 1712; doi:10.3390/en13071712
- **EBB** = European Biodiesel Board: Data for 2017 <http://www.ebb-eu.org/>
- **Emissions Analytics** (2019): <https://www.emissionsanalytics.com/>;
<https://www.auto-motor-und-sport.de/news/dieselabgase-partikelmessungen-im-realbetrieb/>
- **FAO** (2021): Crop Prospects and Food Situation. Quarterly Global Report, March 2021
- **Fasihi, Breyer** (2020): Baseload electricity and hydrogen supply based on hybrid PV-wind power plants. *Journal of Cleaner Production* 243 (2020) 118466
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118466>

QUELLEN

- **Fraunhofer-ISE** (2019): Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE: „Treibhausgas-Emissionen für Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeuge mit Reichweiten über 300 km“. Study on behalf of H2 Mobility. Viewed on 03 Jan. 2020 from https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/news/2019/ISE_Ergebnisse_Studie_Treibhausgasemissionen.pdf
- **Frontier-Economics** (2020): „Cradle-to-Grave Lebenszyklusanalyse im Mobilitätssektor. Metastudie zur CO2-Bilanz alternativer Fahrzeugantriebe.“ Studie im Auftrag von FVV. Abgerufen am 10.11.2020 von https://www.fvv-net.de/fileadmin/user_upload/medien/materialien/FVV_LCA_Lebenszyklusanalyse_Frontier_Economics_R595_final_2020-06_DE.pdf
- **Handelsblatt** (2020): “Autoindustrie Umstellung auf E-Mobilität gefährdet 410 000 Arbeitsplätze“. Handelsblatt 13.01.2020. Viewed on 25 Jan. 2020 from <https://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/autoindustrie-umstellung-auf-e-mobilitaet-gefaehrdet-410-000-arbeitsplaetze/25405230.html?ticket=ST-1893331-EF0dAeWIEbXbLnqMqeJj-ap6>

QUELLEN

- **IPCC** (2018): IPCC Special Report on Global Warming of 1.5 C. 8 Oct. 2018.
- **ITAD** (2015): Interessengemeinschaft Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland: Endbericht: Analyse/ Beschreibung der derzeitigen Situation der stofflichen und energetischen Verwertung von Kunststoffabfällen in Deutschland, April 2015
- **Joanneum Research** (2019): „Geschätzte Treibhausgasemissionen und Primärenergieverbrauch in der Lebenszyklusanalyse von Pkw-basierten Verkehrssystemen“. Study on behalf of the ÖAMTC (Österreichischer Automobil-, Motorrad- und Touring Club), FiA (Fédération Internationale de l'Automobile) and ADAC (Allgemeiner Deutscher Automobil-Club), Graz, Sept. 2019.
- **MWV** (2018) = Mineralölwirtschaftsverband: “Jahresbericht 2018”.
- **MWV** (2020) = Mineralölwirtschaftsverband: “Market Entry Conditions of PtX Fuels – Recent Developments”. Presented by C. Küchen at the International Congress „Fuels of the Future“ on 21 Jan. 2020 in Berlin.
- **MVaK** = Mittelstandsverband abfallbasierter Kraftstoffe: <https://www.mvak.eu/>
- **OECD** (2020): Non-exhaust Particulate Emissions from Road Transport – An Ignored Environmental Policy Challenge. <https://doi.org/10.1787/4a4dc6ca-en>

QUELLEN

- **Posdziech** (2021): Production of renewable hydrogen and syngas via high-temperature electrolysis. Presentation on the Heat-to-Fuel Workshop, Güssing (online) 8 March 2021
- **ProcessNet** (2018): “Advanced alternative liquid fuels: For climate protection in the global raw materials change”. Position paper of the working group “Alternative Liquid and Gaseous Fuels” of the ProcessNet, a joint initiative of DECHEMA and VDI-GVC. Viewed on 03 Jan. 2020 from https://dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapiere/2018_alternativeBrennstoffe_en-p-20005513.pdf
- **Prussi et al.** (2020): JEC Well-to-Tank report v5. EUR 30269 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-19926-7, doi:10.2760/959137, JRC119036.
- **Rauch** (2021): BtL and PtL, differences and similarities at technical level. Presentation on the Heat-to-Fuel Workshop, Güssing (online) 8 March 2021
- **S2Biom** (2016): “Vision for one billion dry tonnes lignocellulosic biomass as a contribution to biobased economy by 2030 in Europe”. Report D8.2, Nov. 2016.

QUELLEN

- **SGAB** (2017): EU Commission Sub Group on Advanced Biofuels (SGAB): “Final Report”. March 2017.
- **UBA** (2019): “National Trend Tables for the German Atmospheric Emission Reporting 1990 – 2017”. Final version of the Umweltbundesamt (UBA) for the reporting period 2019.
- **UBA** (2019-2): “Kunststoffabfälle” und “Verpackungen”, abgerufen Febr. 2019 von <https://www.umweltbundesamt.de>
- **Willner** (2019): „The Key Role of Liquid Alternative Fuels for Climate Protection: Time is Running Out”. In: Bioenergy No 7, 2019, pp 475–495.
- **Willner** (2020): Climate Protection in the Transport Sector – The Key Role of Alternative Fuels. In: J. Werner, N. Biethahn, R. Kolke, E. Sucky and W. Honekamp (Eds.): Mobility in a Globalised World 2019. University of Bamberg Press, ISBN 978-3-86309-731-8, Bamberg, May 2020, pp 261-289
https://fis.uni-bamberg.de/bitstream/uniba/47670/3/fisba47670_A3a.pdf
- **Willner** (2020-2): Die verblüffend einfache Mathematik des Klimaschutzes. Hydrogen Mission Webinar am 10. Juni 2020