

Abfallbasierte Kraftstoffe aus Altölen – Ein neues Verfahren aus Hamburg



Prof. Dr.-Ing. Thomas Willner, Prof. Dr. Anika Sievers

Leitung der Forschungsgruppe Verfahrenstechnik

HAW Hamburg / Hamburg University of Applied Sciences

Klimakongress am 21. September 2023



Der Weg vom Rohstoff zum Produkt

Die größten Produktionsanlagen der Welt sind verfahrenstechnische Anlagen (z. B. Raffinerien)



© Linde: Wasserstoff-Aufbereitungsanlage

**Neue Rohstoffe (keine fossilen),
aber die gleichen oder bessere Produkte**

**Ein bisschen was von
Hogwarts**



**Magie der
Stoffumwandlung**

© Europosters.de



Schlüsselrolle bei der Umsetzung globaler Megatrends:



Ohne Verfahrenstechnik:

Keine Werkstoffe (Zement, Stahl, Kupfer, Kunststoffe ...)

Kein Strom (Kraftwerke, Windkraft, Photovoltaik ...)

Keine Batterien für Elektromobilität usw.

Keine Wasserstofftechnologie

Keine Kraftstoffe

Kein Recycling, keine geschlossenen Stoffkreisläufe

Keine Kleidung

Keine Düngemittel

Keine Lebensmittel in Ballungsräumen

Keine modernen Medikamente, Impfstoffe ...

Keine Abluftreinigung

Keine Abwasserreinigung

USW.

Verfahrenstechnik = globaler Trendsetter:

Verfahrenstechnik bietet die großen zukunftsweisenden Lösungsansätze:

Beispiele:

- **Grüner, türkiser, blauer ... Wasserstoff = Verfahrenstechnik**

Grün: Elektrolyse von Wasser mit erneuerbarem Strom

Bio: Hocheffiziente Herstellung aus Biomasse

Türkis: Methanpyrolyse und Einlagerung des festen Kohlenstoffs

Blau: Methanreformierung mit Abscheidung und Einlagerung von CO₂

- **Bioökonomie = Verfahrenstechnik**

Umstellung der chem. Ind. u. a. auf nachw. Rohstoffe, Rest- und Abfallstoffe

- **Grüne Raffinerie = Verfahrenstechnik**

Umstellung von Erdölraffinerien auf nachw. Rohstoffe, Rest- und Abfallstoffe

Erfolgsstory: Versorgungssicherheit

Ballungsräume werden seit Jahrzehnten zuverlässig mit Produkten versorgt:
Beispiele: Lebensmittel, Kosmetika, Medikamente, Kraftstoffe, Brennstoffe ...



© Holborn Europa Raffinerie GmbH Hamburg: „Seit drei Jahrzehnten erfolgreich, sicher und zuverlässig“

Verfahrenstechnik: Welternährung

Erfolgsstory: Düngemittel aus Ammoniak (NH_3) Ammoniaksynthese nach dem Haber-Bosch-Verfahren

(Patent 1908, erste Produktion 1913 (BASF), heute >99% der NH_3 -Produktion)

Ohne Düngemittel der Verfahrenstechnik wäre die Menschheit nicht zu ernähren



© eckhardt.de

8

Verfahrenstechnik: Abluft- und Abwasserreinigung

Erfolgsstory:

Flächendeckende Abluft- und Abwasserreinigung seit den 1980er Jahren:

Innerhalb von nur 10 Jahren rüstete die Verfahrenstechnik Industrieunternehmen und Kommunen flächendeckend mit Abluft- und Abwasserreinigungsanlagen aus.

Richtige Strategie: Politik setzte die Rahmenbedingungen **technologieoffen!**



© Album Ruhrpott



© NFU Online

Verfahrenstechnik: Abgasreinigung bei Autos

Erfolgsstory: Abgasreinigung bei Autos

Verfahrenstechnik sorgt in modernen Motoren für hoch-effiziente Abgasreinigung:

- NO_x-Minimierung auf unbedenkliches Restniveau
- Feinstaub-Entfernung oft auf Werte unterhalb der Umgebungsluft = Luftreinigung



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

Erfolgsstory: Massive Effizienzsteigerung in den letzten 30 Jahren:

Weltgrößter Chemiekonzern **BASF** bis heute in Ludwigshafen!

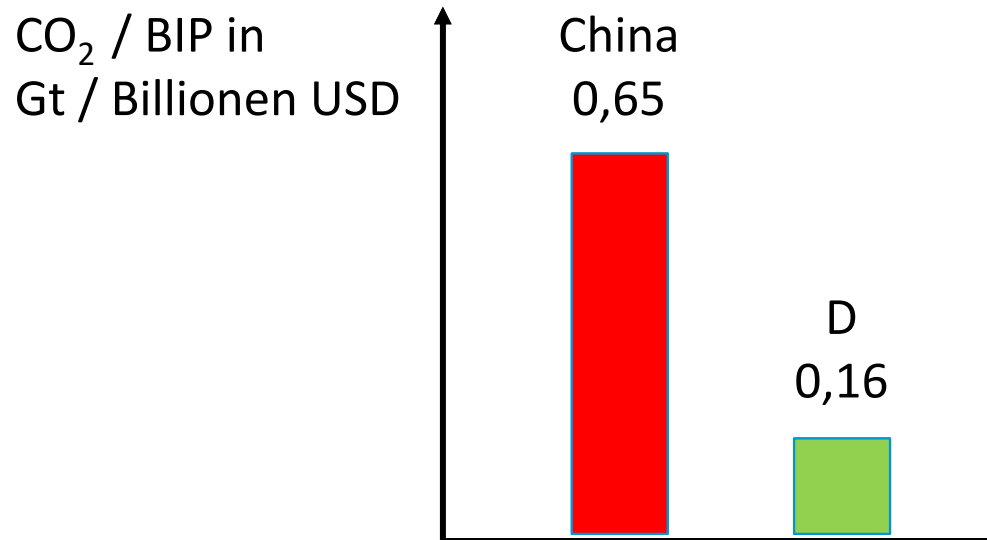
Jetzt droht die Abwanderung nach China wegen verfehlter Energiepolitik.



© NürnbergLuftbild

**Erfolgsstory: Massive Effizienzsteigerung in den letzten 30 Jahren
= Klimaschutz**

Hocheffiziente Produktion in Deutschland (D) = geringste CO₂-Emission



**Eine Deindustrialisierung von
Deutschland (D) wäre extrem
klimaschädlich!**

Beispiel: Jede **Produktionsverlagerung**
(derzeit Chemie, Stahl, Automobile u. a.)
von D nach China
erhöht die CO₂-Emissionen
um Faktor 4!

CO₂-Emission in Gt CO₂ / Bruttoinlandsprodukt (BIP) in Billionen USD:

2021: China: 11,5/17,7 = 0,65; Deutschland (D): 0,68/4,3 = 0,16

Quellen: The World Bank (2023) und Global Carbon Atlas (2023)

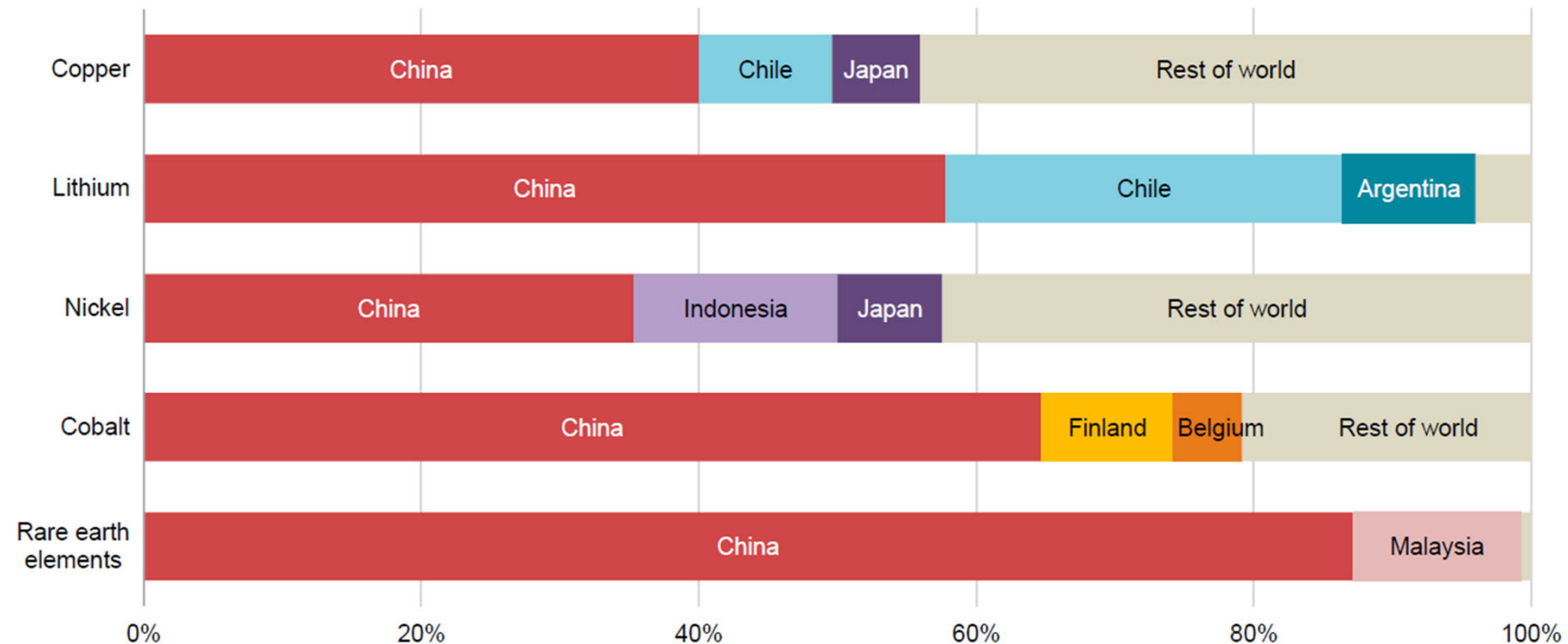
Verfahrenstechnik: Rohstoffunabhängigkeit durch grüne Moleküle

Energiewende braucht grüne Moleküle

Widerstandsfähigkeit gegen Krisen durch **Technikdiversität**

Alle Rohstoffe für Elektrifizierungsstrategien von China dominiert!

Elektrifizierung aller Bereiche: Gigantische und gefährliche Rohstoffabhängigkeit von China!



IEA. All rights reserved.

Processing of critical raw materials for all-electric scenarios, status 2019

Quelle: IEA (2021) 13

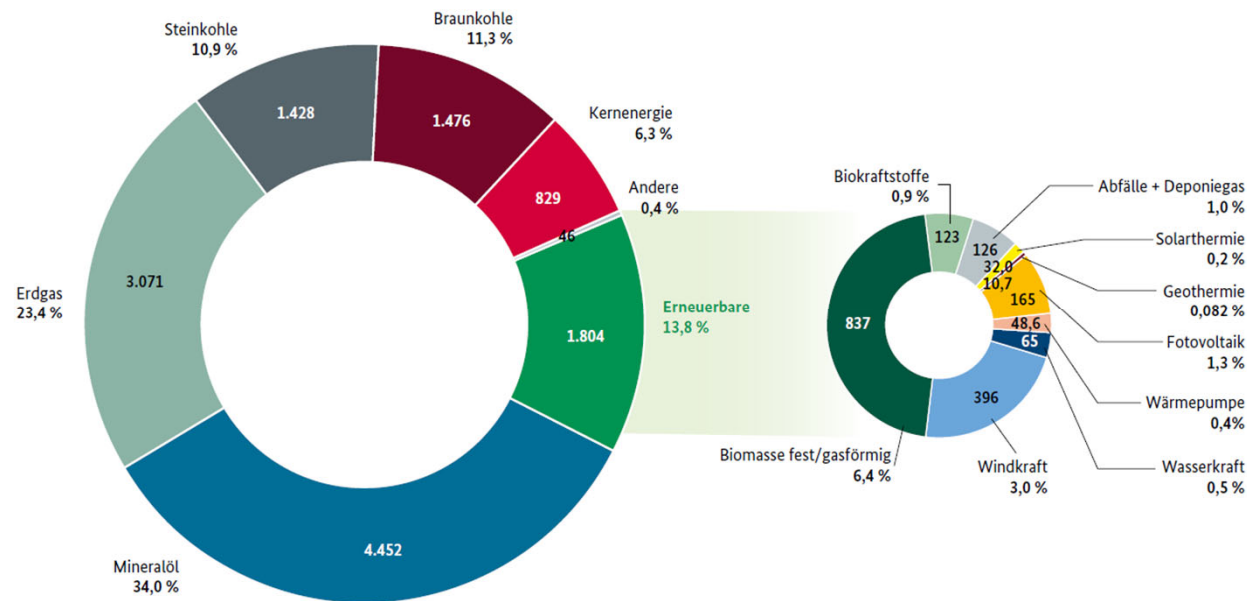
Verfahrenstechnik: Stromentlastung durch grüne Moleküle

Energiewende-Problem: Zunehmender Strommangel (**Grundlast-Strommangel**)

Erneuerbarer Strom = Engpass der Energiewende

Energiewende braucht grüne Moleküle + stromunabh. Verbrennersysteme (Wärme, Verkehr)

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 **5%** des PEV bzw. **7%** des EEV aus Wind und Sonne.

Rund **70 % (!)** des PEV = **Energieimporte.**

D = Energieimportland

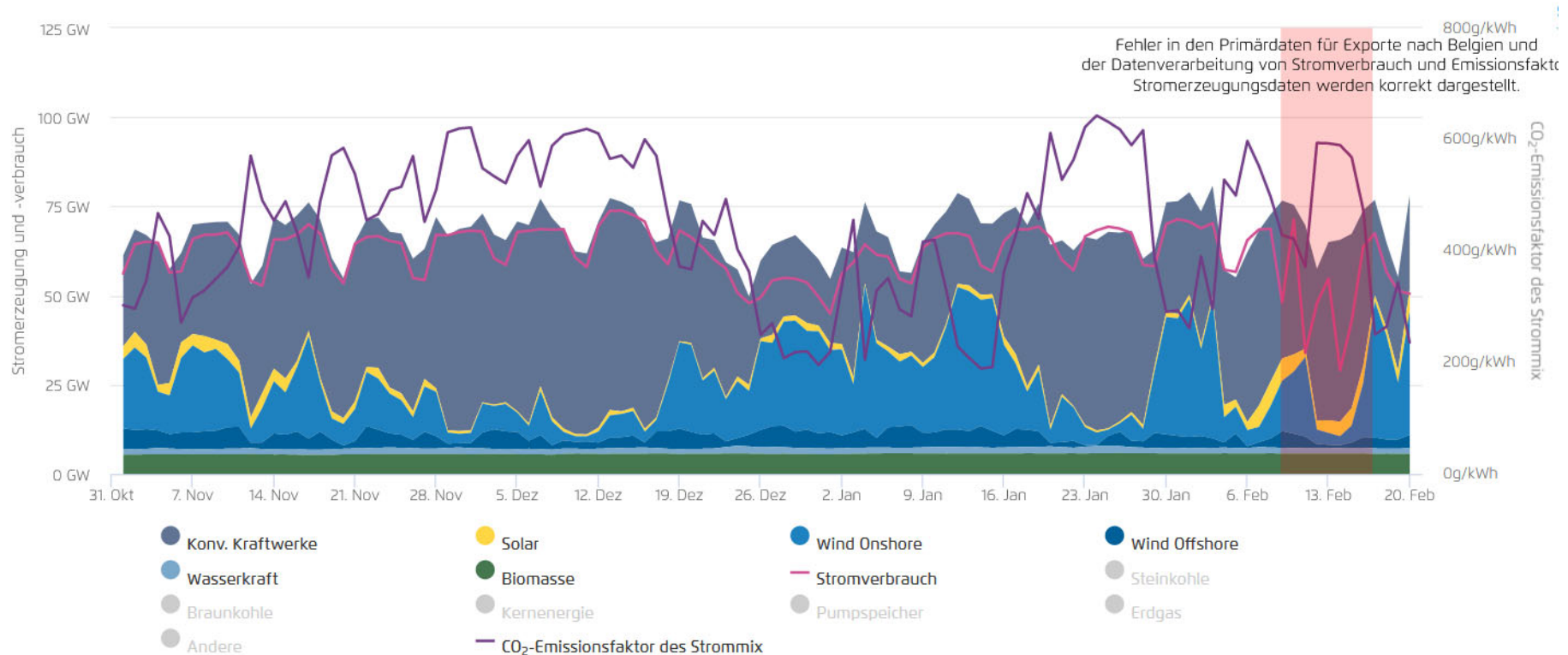
Quellen: BMWi 2019 + 2020 + 2020-2; AGEB 2020; PEV, EEV = Primär-, Endenergieverbrauch 14

Verfahrenstechnik: Stromspeicher durch grüne Moleküle

Energiewende-Problem: Erneuerb. Strom aus Wind und Sonne nicht grundlastfähig
Energiewende braucht Stromspeicher durch grüne Moleküle (z. B. H₂ zu CH₄ ins Gasnetz)

Dunkelflaute mit ca. 600 g CO₂-Emission pro kWh

z. B. 5 Wochen Dunkelflaute innerhalb der 16 Wochen vom 1.11.22-20.2.23



Anna Energiewende - Stand: 20.02.2023, 21

Quelle: Agorameter 20.02.2023, <https://www.agora-energiewende.de/service/agorameter/>

15

**Ingenieurwissenschaft
zuständig für die globale technische Realisierung von
Klimaschutz und Umweltschutz und ...**

Yes, we can!

**Magie der
Stoffumwandlung**

© BR-Klassik



- **Leitung: Prof. Dr. Anika Sievers, Prof. Dr.-Ing. Thomas Willner**



©Jan Barow



©Jonas Fischer

- **Leitung: Prof. Dr. Anika Sievers, Prof. Dr.-Ing. Thomas Willner**
- **Mitarbeitende: 10-15**
wissensch. Mitarb., Doktoranden, stud. Hilfskräfte, stud. Bachelorarb. und Masterarb., Techniker
- **7 abgeschlossene Dissertationen**
2 laufende Dissertationen
- **Forschungsthemen:**
 - **Umwandlung von Abfallstoffen in alternative Kraftstoffe, Brennstoffe und Chemikalien**
 - **Aufbereitung von Bioölen und Schwerölen**
 - **Kraftstoffanalytik**

Alternative Kraftstoffe (ReFuels, grüne Moleküle) sind vielfältig

Technik-Diversität genauso wichtig wie Biodiversität:

Systemstabilität, Versorgungssicherheit, Rohstoffunabhängigkeit, Handlungsoptionen, Widerstandsfähigkeit gegenüber Krisen.

- 1. 1G-Biokraftstoffe (Biodiesel and Bioethanol) = Nebenprodukt der Protein- und Futtermittelherstellung: Keine extra Agrarflächen nötig.¹⁾ Deutschland sollte Proteinprod. sogar erhöhen (Soja-Import ca. 4 Mio. t/a)**
- 2. 2G-Biokraftstoffe aus Abfällen und Reststoffen von Land- und Forstwirtschaft, Holz- und Nahrungsmittelindustrie**
- 3. Recycled carbon fuels (RCF) von nicht-biogenen Abfällen (z. B. Plastik)**
- 4. E-Fuels, PtX-Fuels (rein elektrobasierend) aus Ländern mit Überschuss an erneuerbarer Energie**
- 5. Hocheffiziente Kombinationen wie abfallbasierte E-Fuels (Beisp. HVO von Neste u.a., READi-Verfahren der HAW Hamburg/Nexxoil)**

¹⁾ Buchspies, Kaltschmitt (2018) Applied Energy 211, (2018) pp 368-381

1G = 1st generation, 2G = 2nd generation, RE = renewable energy, PtX = Power to X

Alternative Kraftstoffe (ReFuels, grüne Moleküle)

Gruppe 5: Hocheffiziente abfallbasierte E-Fuels wie HVO: Projektbeispiel HAW

Projekte:



READi-PtL Projekt: 2017 - 2022

KLIMAKRAFT Projekt: 2022 - 2025

SPONSORED BY THE

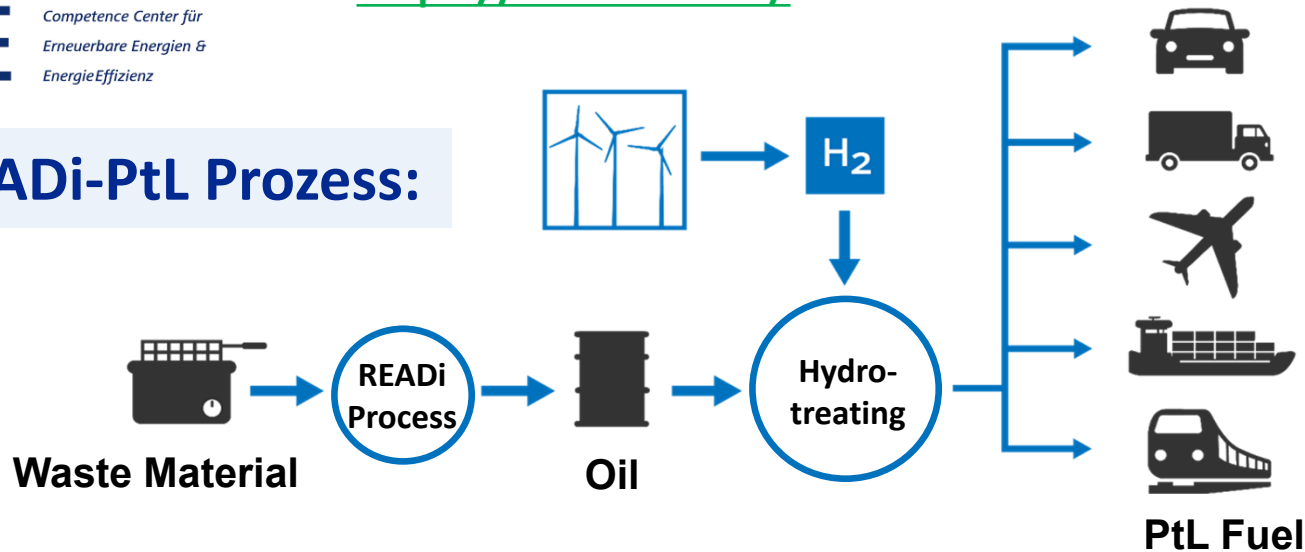


Federal Ministry of Education and Research

Partner:



Prozess: READi-PtL Prozess:



Synthetische Kraftstoffe aus Abfall und Wasserstoff: X-Energy-Projekt „READi-PtL“



SPONSORED BY THE



Organischer
Abfall

READi™
Prozess

Stufe 1

Bioöl

Wasserstoff-
Behandlung

Stufe 2

PtL-Kraftstoffe
(abfallbasierte E-Fuels)



READi = Reactive Distillation, PtL = Power to Liquid

21

Stufe 1: READi™-Prozess



SPONSORED BY THE



Organischer
Abfall

READi™
Prozess

Stufe 1

Bioöl

Wasserstoff-
Behandlung

Stufe 2

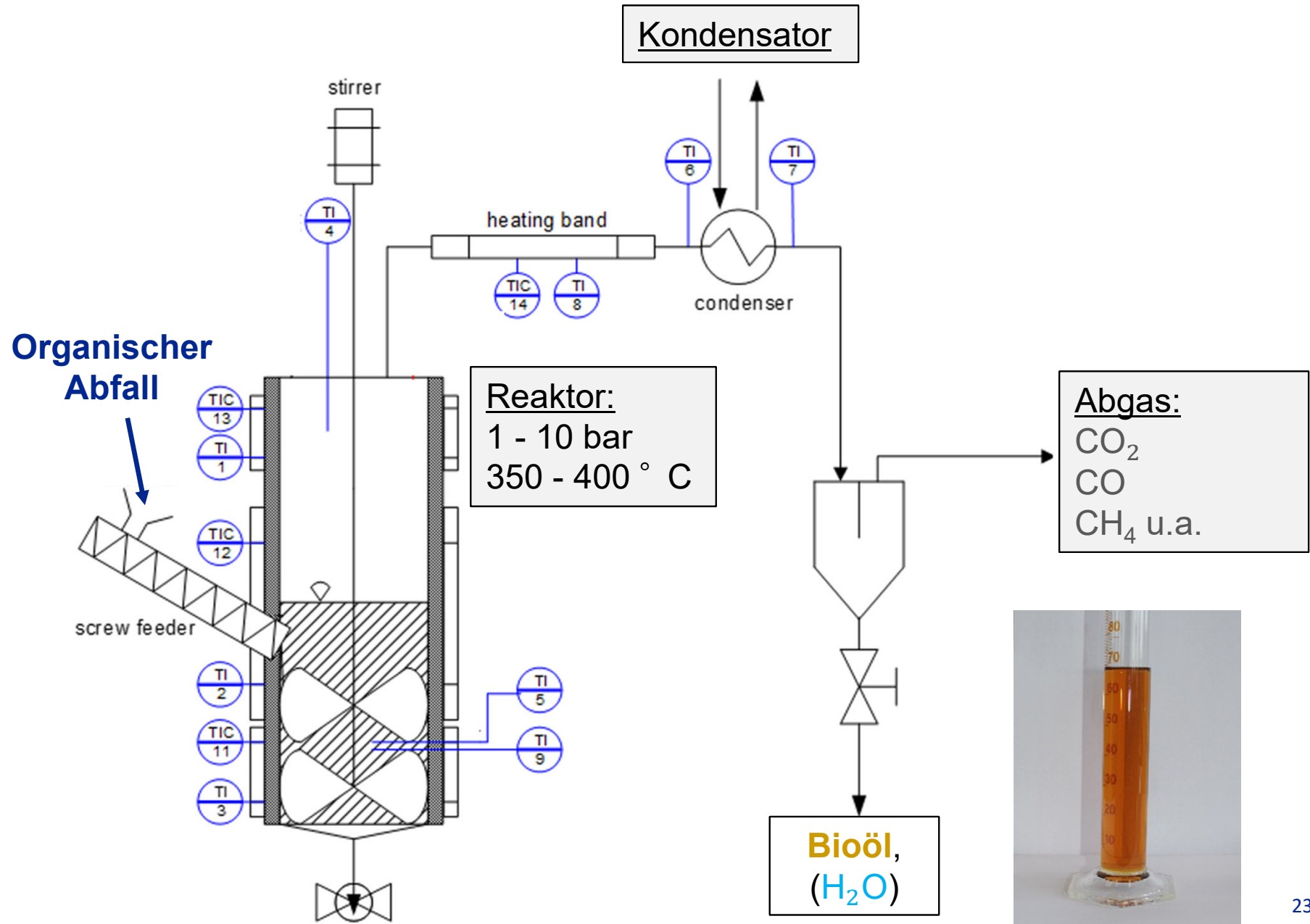
PtL-Kraftstoffe
(abfallbasierte E-Fuels)



READi = Reactive Distillation, PtL = Power to Liquid

22

Stufe 1: READi™-Prozess



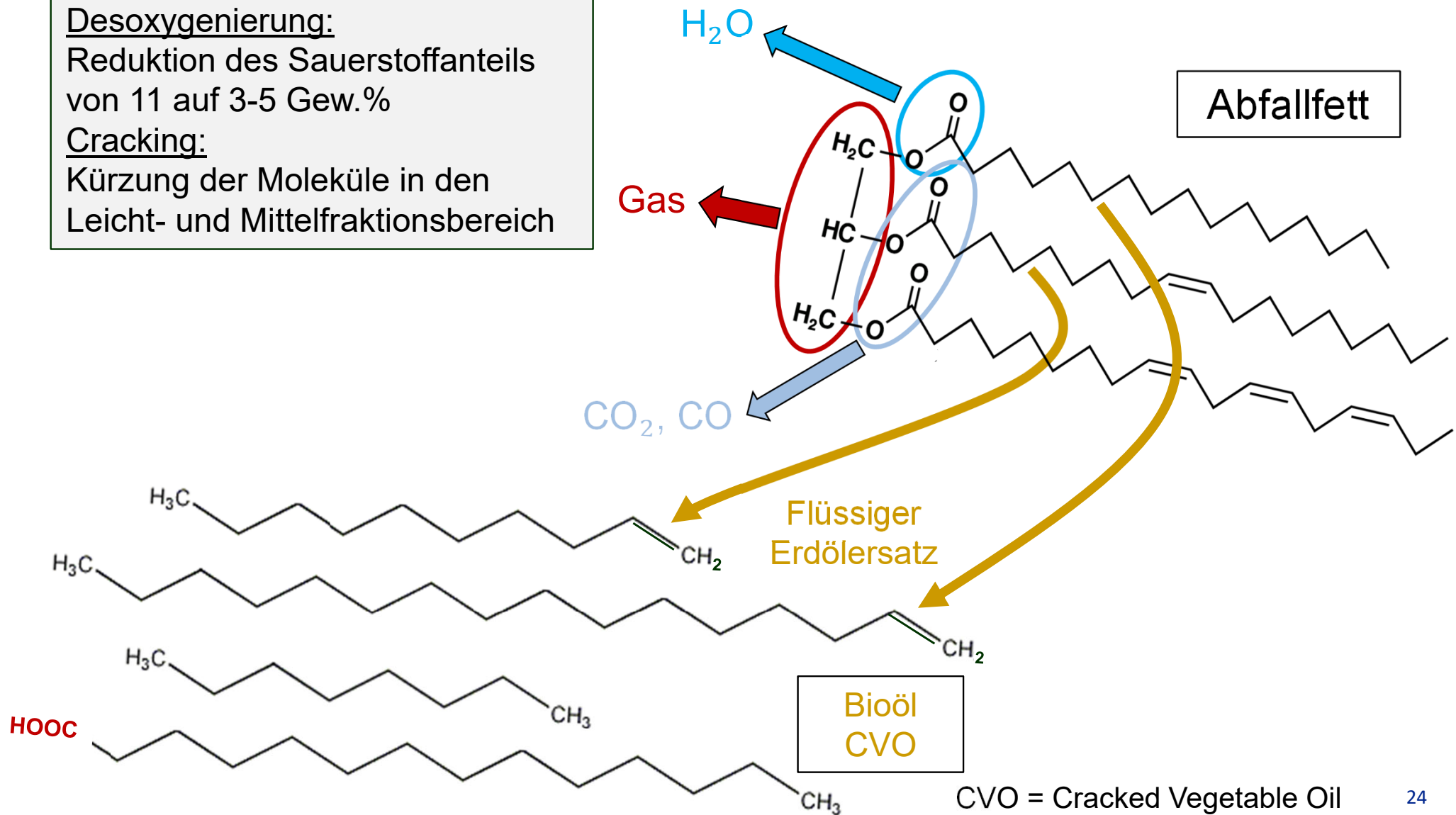
Stufe 1: READi™-Prozess

Desoxygenierung:

Reduktion des Sauerstoffanteils von 11 auf 3-5 Gew. %

Cracking:

Kürzung der Moleküle in den Leicht- und Mittelfraktionsbereich



Stufe 2: Wasserstoff-Behandlung (PtL-bzw. eFuel-Anteil)



SPONSORED BY THE



READi™
Prozess

Stufe 1



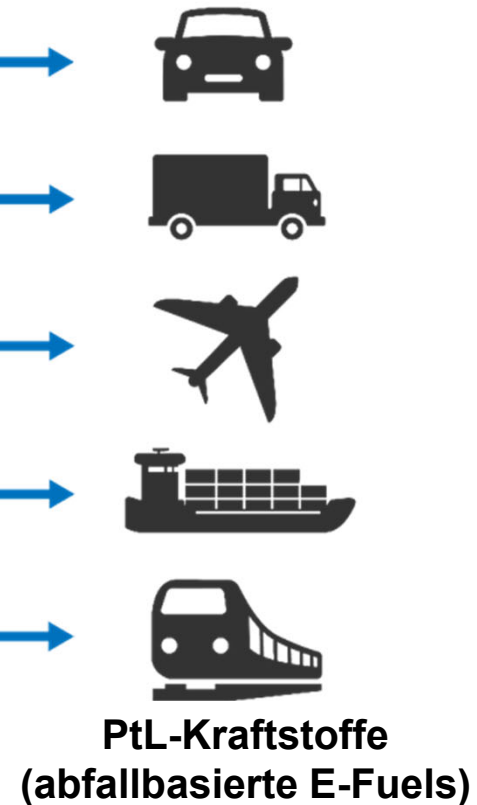
H₂



Bioöl

Wasserstoff-
Behandlung

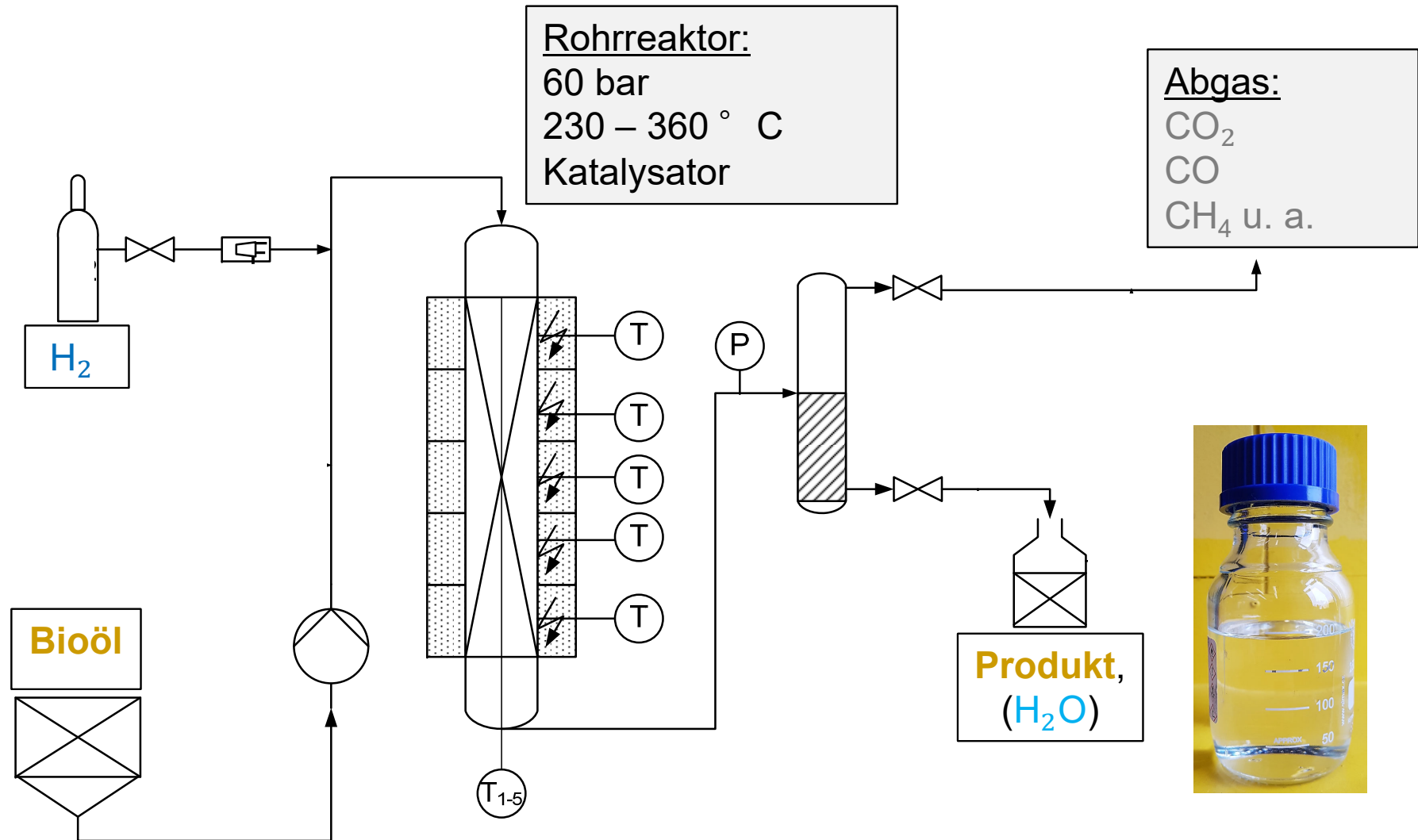
Stufe 2



READi = Reactive Distillation, PtL = Power to Liquid

25

Stufe 2: Wasserstoff-Behandlung (PtL-bzw. eFuel-Anteil)

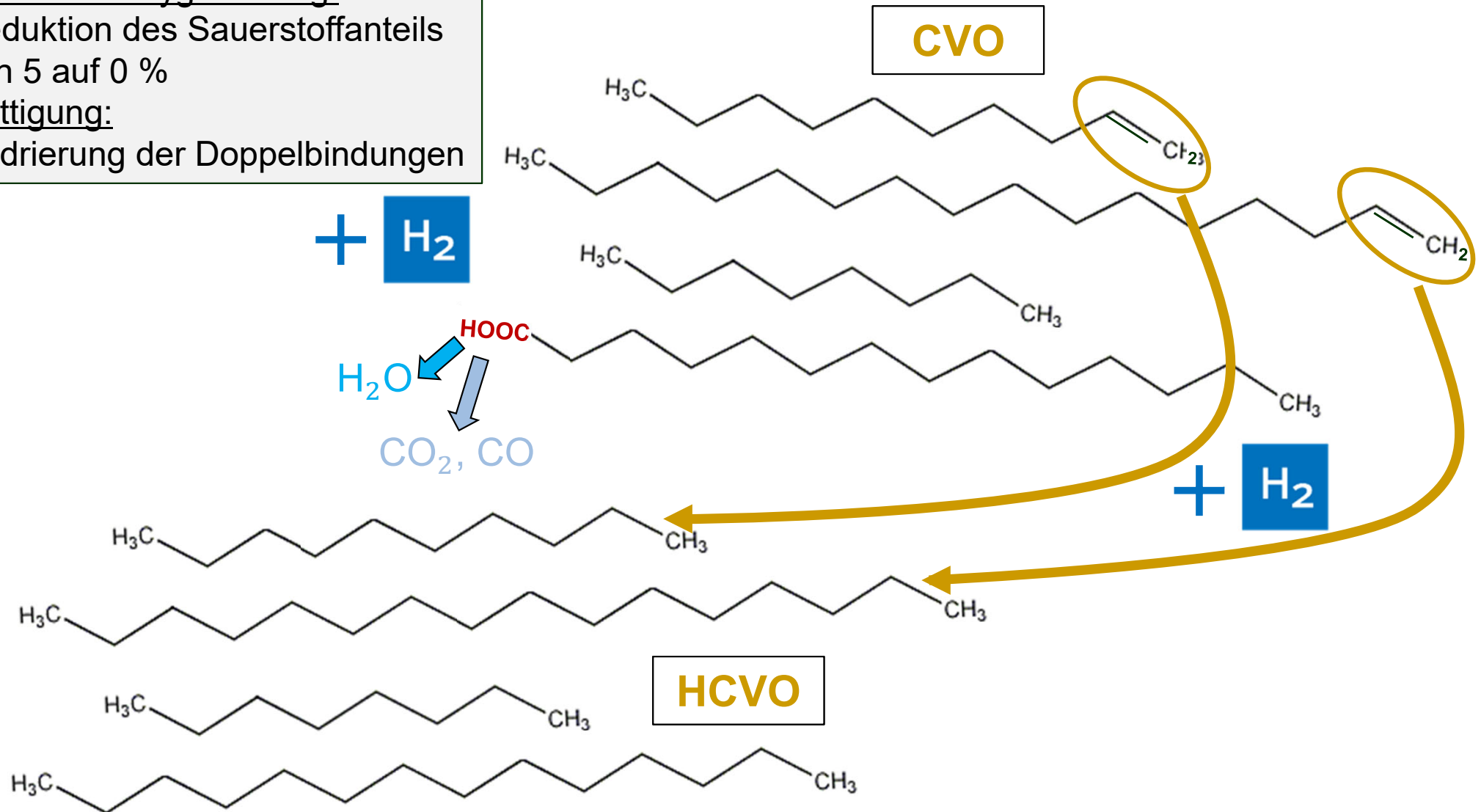


Source: Endisch & Kuchling 2013

26

Stufe 2: Wasserstoff-Behandlung (PtL-bzw. eFuel-Anteil)

Hydro-Desoxygenierung:
Reduktion des Sauerstoffanteils
von 5 auf 0 %
Sättigung:
Hydrierung der Doppelbindungen



CVO = Cracked Vegetable Oil; HCVO = Hydrotreated Cracked Vegetable Oil

27

READi-PtL-Prozess: Beispiel Fettabfall-Verarbeitung



Stufe 1
READi™
Prozess
→



Stufe 2
Wasserstoff-
Behandlung
→



Fettabfall

Energy	37 MJ/kg
Oxygen	11 wt. %
Viscosity (40 °C)	44 mm ² /s

Bioöl: CVO

Energy	42 MJ/kg
Oxygen	3-5 wt. %
Viscosity	3,8 mm ² /s

Produkt: HCVO

Energy	44 MJ/kg
Oxygen	0 wt. %
Viscosity	2,3 mm ² /s

CVO = Cracked Vegetable Oil, HCVO = Hydrotreated CVO

28

READi-PtL-Prozess: Beispiel Fettabfall-Verarbeitung

HCVO-Diesel: Saubere, rußarme Verbrennung



Diesel



HCVO-Diesel



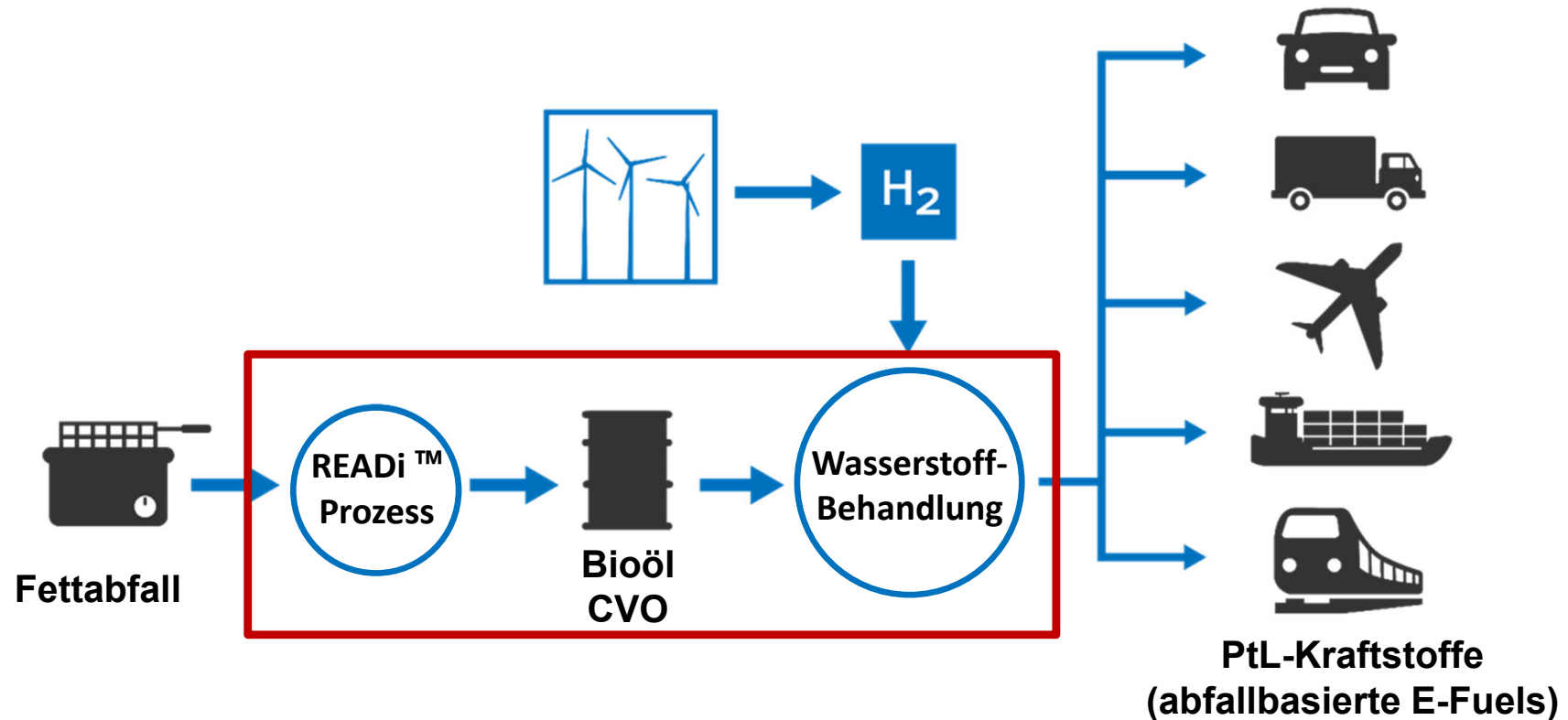
**Produkt:
HCVO-Diesel**

CVO = Cracked Vegetable Oil, HCVO = Hydrotreated CVO

29

READi-PtL-Prozess: Beispiel Fettabfall-Verarbeitung: Massenbilanz und Energieanteile

	Fettabfall	+	H ₂	→	HCVO	+	Kohle	+	Abgas	+	Wasser
Gew.%	100		1,3		75		4		13		9
Energie%	100		4		88		3		6		0



30

READi-PtL-Prozess: Beispiel Fettabfall-Verarbeitung:

Vorteile von HCVO (= HVO-READi-PtL) gegenüber konv. HVO am Markt:

- **Robustes Verfahren: Verunreinigte Rohstoffe**
- **H₂-Bedarf halbiert** (bezogen auf den Rohstoffeinsatz)¹
- **Nur 1 kWh Strombedarf pro Liter Kraftstoff** statt ca. 1,5 kWh/Liter¹
- **Blend-Anteile verdoppelt** innerhalb der Dieselnorm (DIN EN 590): R66 statt R33
- **Dezentral wirtschaftlich mit Herstellungskosten unter Tankstellenverkaufspreisen (Stand Febr. 2023)**

¹ Eigene Berechnungen auf Basis von Messungen der TU Freiberg und zu HVO-Daten aus Endisch et al. 2013

HVO = Hydrotreated Vegetable Oil, konv. HVO = 1-stufig katalytisches Verfahren am Markt

31

Strom-Effizienz abfallbasierter E-Fuels am Bsp. von HVO mit grünem Wasserstoff (H₂) (bis 100% CO₂-neutral): Ø Reichweite bei 10 kWh Strom-Einsatz (Kompaktklasse):

BEV:

ca. 15-20 kWh/100 km (Berechnungsbasis)
(bei hohen Geschwindigkeiten auch mehr)

HVO

Strombedarf zukünftiges Standardverfahren

ca. 1,5 kWh/Liter¹

bei ca. 4-6 Liter/100 km² => ca. 7,5 kWh/100km

Herstellung mit grünem H₂

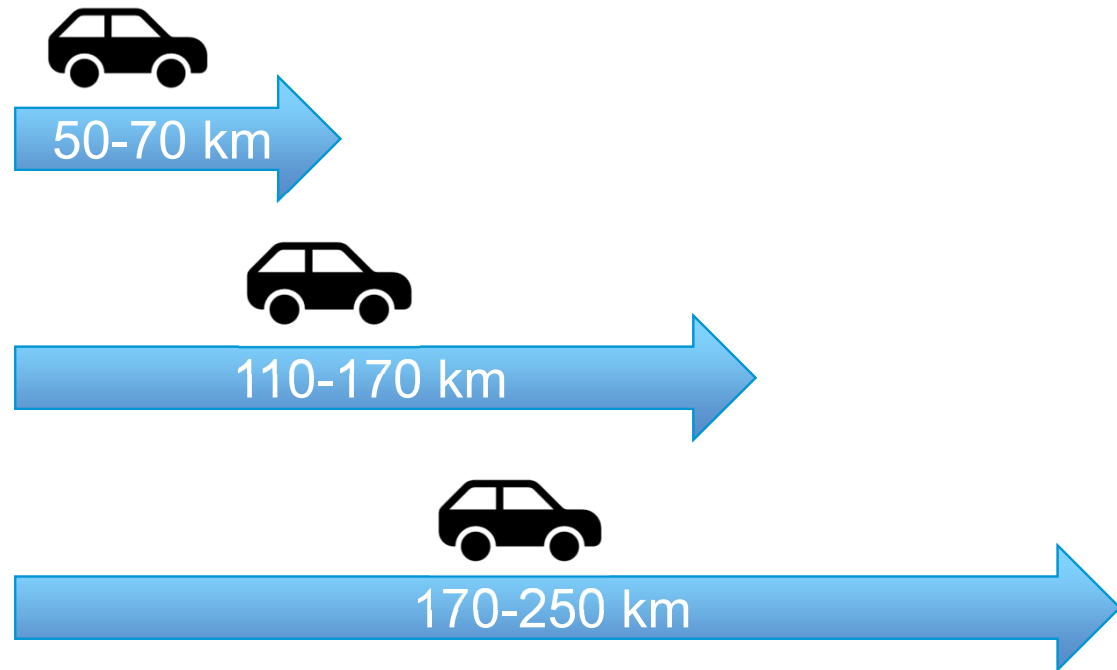
HVO

Strombedarf READi-PtL Verfahren

ca. 1 kWh/Liter¹

bei 4-6 Liter/100 km² => ca. 5 kWh/100km

Herstellung mit grünem H₂



¹ Eigene Berechnungen auf Basis von Messungen der TU Freiberg und von HVO-Daten aus Endisch et al. 2013

Angaben in kWh = Strombedarf für die Fahrt mit dem BEV und für die Produktion von HVO (waste-to-fuel). Aufgrund des bereits hohen Energiegehalts im Abfallstoff muss wenig zusätzlicher Strom für die Herstellung verwendet werden.

Hinweis zu heute marktüblichen synthetischen HVO-Kraftstoffen (Stand Juni 2023):

Diese sind bis zu 90% klimaneutral und werden noch mit geringfügigem Anteil fossilen Wasserstoffs hergestellt. Dieser wird nicht elektrisch, sondern thermisch hergestellt. Es sind daher noch keine E-Fuels. Ein so betanktes Fahrzeug fährt mit **unter 1 kWh/100km elektrischer Energie**. Alle HVO-Varianten entlasten den in Deutschland sehr begrenzten Grünstrom-Sektor.

Kraftstoff-Potenzial (Beispiele)

- **Fettabfall EU ca. 2 – 4 Mio. t/a**
- **Fettabfall Welt ca. 20 – 40 Mio. t/a**
- **Jatrophaöl (Wüstenränder) ca. 200 Mio. t/a**
- **Plastikabfall Welt ca. 200 Mio. t/a + 6 Mrd. t (Ozean, Deponien)**
- **Müll Welt ca. 800 Mio. t/a**
- **Feste Biomasseabfälle/-reststoffe EU ca. 60 Mio. t/a**
- **etc.**

Quellen:

- **MVaK Erhebung 2021, S2Biom Report 2016, SGAB (EC subgroup on advanced biofuels) 2017**
- **Jean-Louis Kindler: From Waste to Hydrogen – Biomass and Waste to Hydrogen. 2020**
- **G. Gruber, B. Dalheimer: The potential of jatropha for rural electrification in hot semi-arid areas. 26th European Biomass Conf., Copenhagen, 14-17 May 2018**

Nächste Schritte

- 2023: Betrieb der Pilotanlage (100 t/a) an der HAW mit **Fettabfall** (READi-PtL-Projekt)
- 2024: Optimierung Pilotanlage (KLIMAKRAFT-Projekt) + Inbetriebnahme von Demoanlagen (bis 5.000 t/a) bei Kunden
- 2025: Erweiterung Pilotanlage auf **Plastikabfall** (KLIMAKRAFT-Projekt) + Entwicklung 10.000 t/a
- 2026: Entwicklung 50.000 t/a
- 2030: insges. > 1 Mio. t/a

Die Firma Nexoil will vom nächsten Jahr an CO₂-freien Diesel aus Altfett produzieren – und später auch aus Plastikmüll

VOLKER MESTER

HAMBURG :: Ein Treibstoff, der nicht nur klimaneutral ist, sondern bei der Erzeugung sogar mehr CO₂ bindet, als er bei der Verbrennung freisetzt – das klingt geradezu märchenhaft. Doch das Hamburger Unternehmen Nexoil will genau diese Idee verwirklichen. Der Ausgangsstoff ist reichlich vorhanden und zudem erneuerbar: Müll. Schon im nächsten Jahr sollen die ersten zwei oder drei Anlagen bei Entsorgungsfirmen in Betrieb gehen und dort Abfälle in Diesel umwandeln. Entwickelt hat das Verfahren Thomas Willner, Professor für Verfahrenstechnik an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW). „Die Idee hat ihre Wurzeln in der Ölkrise der 1970er-Jahre“, sagt er. Willner beschäftigte sich im Rahmen seiner Promotion in den frühen 1990er-Jahren damit, bevor der damalige Ölpreverfall die entsprechenden Forschungsaktivitäten beendete.

Der Durchbruch ist uns 2019 gelungen, auch wenn uns die Fachwelt das erst nicht geglaubt hat.

Thomas Willner,
Professor an der HAW

„Wir haben aber schon damals über Klimawandel gesprochen und überlegt, wie man erneuerbare Energiequellen stärker nutzen kann“, sagt Willner. „Um das Jahr 2000 kam das Thema wieder hoch – diesmal angestoßen durch das Kreislaufwirtschaftsgesetz, das auch die Verwertung von Abfällen behandelt.“ Allerdings könne der größte Teil des Mülls nicht recycelt werden. Daher liege es nahe, ihn in einen Energieträger zu verwandeln.

Zwar versuchen international etliche Teams, ein Verfahren zu entwickeln, das aus den Abfallstoffen eine Art Bio-ethanol erzeugt. In der Regel müsste man aber feststellen, dass sich immer mehr Schlacke in der Anlage ansammelt und der Prozess dadurch zum Halten kommt. „Der Durchbruch ist uns 2019 gelungen, auch wenn uns die Fachwelt das zunächst nicht geglaubt hat“, so Willner. „Es kommt nicht mehr zu einer Verkokung des Reaktors, der Prozess läuft jetzt kontinuierlich ab.“

Man müsse wohl „ein Stück weit verrückt sein, gegen die Expertenmeinung immer weiterzumachen“, sagt der Wissenschaftler. „Aber wir sind auch unseren Investoren zu großen Dank verpflichtet, dass sie an den Erfolg geglaubt und uns vertraut haben.“ Bisher sind dies vier Privatpersonen, darunter der Nexoil-Mitgeschäftsführer Georg Schillingen. Derzeit sammeln das



Professor Thomas Willner (l.) und Nexoil-Chef Thorsten Dunker mit einem Reaktor, der aus Abfällen CO₂-frei hergestellt. Zunächst werden Altfette in Kraftstoff umgewandelt. FOTO: MICHAEL BAUME

Hamburger verwandeln Abfall in Treibstoff

Unternehmen aber über eine Crowdfunding-Runde sowie von sogenannten Business Angels weiteres Kapital ein. Gewissermaßen im Labormaßstab funktioniert die Methode am HAW ganz nach den Wünschen von Willner. „Die Pilotanlage verfügt sehr „schmutzigen“ Material“, sagt er. „Wir nutzen Meeresfett, was schon ziemlich ölig ist.“ Das von ihm entwickelte Verfahren entspreche „einem aufwendigen Vorreinigungs- und sei außerdem relativ energieeffizient.“

„Wir benötigen für das Endprodukt im Vergleich zu anderen Verfahren weniger als die Hälfte des grünen Wasserstoffs aus erneuerbaren Energien, der in Zukunft heiß begehrt sein wird.“ Zwar werden die ersten kommerziellen Anlagen noch Altfette nutzen, wie sie unter anderem in großen Schlachtereien anfallen. „In der nächsten Phase wollen wir aber auch mit Kunststoffabfällen arbeiten“, sagt Willner. „Sie belasten die Meere sehr stark, das muss unbedingt gestoppt werden.“ Der Plastikmüll müsste nicht einmal weit transportiert werden: „Unsere Anlagen wären klein genug, um sie auf Schiffen installieren zu können. Darüber denken wir tatsächlich nach.“

Eine Anlage, die pro Jahr 1000 Tonnen Müll verarbeitet und einen niedrigen einstelligen Millionenbetrag kostet, wird derzeit entwickelt. Sie soll in mehrere Standardcontainer eingebaut werden und damit transportabel



Auch Plastikmüll soll später zu Treibstoff werden. FOTO: STEFAN SAUER/DRP

sein. Man denkt aber auch schon an Kapazitäten von 10.000 Jahres-tonnen; eine solche Installation wäre dann jedoch ortsfest.

„Wir sprechen derzeit mit sehr vielen Entsorgungsfirmen“, sagt Nexoil-Geschäftsführer Thorsten Dunker. Die Fuhrblöcker Firma, gewissermaßen eine Ausgründung aus der HAW, wird die Vermarktung übernehmen und hält außerdem die Patente, von denen einige bereits erteilt worden sind. „Für die Fertigung der Anlagen verhandeln wir mit einem Unternehmen aus der Metropolregion“, so Dunker. Zwar kann man mit dem Verfahren im Prinzip alle möglichen Endlösungsstoffe produzieren. Nexoil hat sich nach den Worten des Geschäftsführers aber festgelegt: „In der ersten Phase wird Diesel erzeugt, denn der Bedarf dafür wird auch mittelfristig noch hoch bleiben.“ Später könnten Grundstoffe für die chemische Industrie hinzukommen.

Es entstehen nur kleine Mengen an Abwasser

Außer dem „Biosobol“, das dann zum gewaschenen Endprodukt weiterverarbeitet wird, entstehen nach Angaben von Willner bei dem Prozess nur kleine Mengen an Abwasser, das für eine Biogasanlage genutzt werden könnte, sowie ein Feststoffrest, der als Dünger vermarktet sei. „Der gewonnene Treibstoff hat 85 Prozent des Energiegehalts, den das Eingangsmaterial aufweist“, sagt Willner. Damit schlage man mit dem künstlichen Kraftstoff im Hinblick auf die Energieeffizienz locker den batterieelektrischen Antriebe „auf Basis eines Verbrauchs von fünf Liter Diesel auf 100 Kilometer kommen wir auf fünf Kilowattstunden für die 100 Kilometer Fahrtstrecke, ein Elektroauto benötigt drei bis fünfmal mehr Energie.“

Laut Nexoil liegen von interessierten Entsorgungsfirmen bisher Absichtserklärungen mit einem Umsatzpotenzial von 80 Millionen Euro vor, der europaweite Markt für Anlagen dieser Art werde aber auf ein Volumen von etwa 30 Milliarden Euro geschätzt.

Um diesen Markt bearbeiten zu können, wird die Firma deutlich wachsen müssen: Aktuell hat Nexoil erst fünf Beschäftigte, hinzu kommen noch bis zu 25 Personen aus Willners Forschungsgruppe. Dunker plant aber schon den Hochlauf: „Im Jahr 2025 sollen es 40 bis 50 Mitarbeiter sein.“

Feierliche Einweihung der READi-Pilotanlage (2 t/Woche = 100 t/Jahr) mit Politik und Presse am 02. Febr. 2023



©Katharina Jeorgakopulos: Ansprachen vor der READi-Pilotanlage im Technikum der HAW Hamburg

Feierliche Einweihung der READi-Pilotanlage (2 t/Woche = 100 t/Jahr) mit Politik und Presse am 02. Febr. 2023



©Katharina Jeorgakopulos: Links: Katharina Fegebank (Wissenschaftssenatorin und 2. Bürgermeisterin Hamburg),
Rechts: Oliver Grundmann (MdB und Mitglied im Umweltausschuss des Bundestages) 36

Feierliche Einweihung der READi-Pilotanlage (2 t/Woche = 100 t/Jahr) mit Politik und Presse am 02. Febr. 2023



©Louis Fraser: Von links nach rechts: Prof. Dr. Anika Sievers, Prof. Dr. Werner Beba, Katharina Fegebank, Oliver Grundmann, Prof. Dr.-Ing. Thomas Willner, Thorsten Dunker, Prof. Dr. Martin Holle

Verfahrenstechnik entwickelt und realisiert die Lösungen für Klimaschutz und Umweltschutz und ...

Machen Sie mit,
lernen Sie die
**Magie der
Stoffumwandlung**



© BR-Klassik

und starten Sie mit uns durch

anika.sievers@haw-hamburg.de
thomas.willner@haw-hamburg.de

[HAW Hamburg: Verfahrenstechnik](http://www.haw-hamburg.de)



38

SOURCES

- **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** (2023): Persönliche Mitteilung im Febr. 2023 über Messungen für UBA, siehe **UBA** (2022)
- **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/>

SOURCES

- **BLE** (2020): Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: Bericht zur Markt- und Versorgungslage Getreide 2020 (Federal Office for Agriculture and Food). Bonn 2020
- **BLE** (2021): Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: Evaluations- und Erfahrungsbericht für das Jahr 2020 (Federal Office for Agriculture and Food: „Evaluation and Progress Report 2020“). Bonn 2021.
- **BMWi** (2019): Energiedaten: Gesamtausgabe. Stand Okt. 2019
- **BMWi** (2020): Zahlen und Fakten: Energiedaten. Stand 31.03.2020
- **BMWi** (2020-2): Erneuerbare Energien in Zahlen
- **Böhmeke, Koch** (2021): „The remaining CO2-budget – a comparison of CO2 emissions of Diesel and BEV drivetrain technology.
<https://doi.org/10.1007/s41104-021-00081-6>

SOURCES

- **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“. Applied Energy 211, pp 368-381.
- **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/>
- **eFuel Alliance** (2022): <https://www.efuel-alliance.eu/de/efuels>
- **eFuels Now** (2022): <https://efuelsnow.de/>

SOURCES

- **Emissions Analytics** (2019): <https://www.emissionsanalytics.com/>;
<https://www.auto-motor-und-sport.de/news/dieselabgase-partikelmessungen-im-realbetrieb/>
- **Endisch et al.** (2013): Hydrierung von Ölen und Fetten. Präsentation auf den Leipziger Biokraftstoff-Fachgesprächen, 15. Mai 2013
- **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>
- **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

SOURCES

- **FVV Final Report** (2021): CO2-Neutral mobil mit grünem Strom? So reagiert der Stromsektor auf die alternativen Antriebslösungen. https://www.fvv-net.de/fileadmin/user_upload/FVV_1430_R598_CO2-neutral_mobil_mit_gr%C3%BCnem_Strom_Frontier_IfW_2021-04-15.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
- **Global Carbon Atlas** (2021): CO2 emission data for 2020; <http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>

SOURCES

- **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>
- **IEA** (2021): The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/24d5dfbb-a77a-4647-abcc-667867207f74/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf>
- **IPCC** (2018): IPCC Special Report on Global Warming of 1.5° C. 8 Oct. 2018.
- **ITAD** (2015): Interessengemeinschaft Thermischer Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland: Endbericht: Analyse/ Beschreibung der derzeitigen Situation der stofflichen und energetischen Verwertung von Kunststoffabfällen in Deutschland, April 2015

SOURCES

- **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.
- **Koch, Böhlke** (2021): The averaging bias - a standard miscalculation, which extensively underestimates real CO2 emissions. <http://www.iastec.org/publications>
- **Koch** (2022): Nachhaltige Mobilität der Zukunft: Key-Note-Präsentation auf dem 12. Int. AVL Emissions and Energy Forum, Ludwigsburg, Mai 2022
- **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>

SOURCES

- **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.

SOURCES

- **Schmidt** (2020): Elektromobilität und Klimaschutz: Die große Fehlkalkulation. https://www.ifw-kiel.de/fileadmin/Dateiverwaltung/IfW-Publications/-ifw/Kiel_Policy_Brief/2020/KPB_143.pdf
- **SGAB** (2017): EU Commission Sub Group on Advanced Biofuels (SGAB): “Final Report”. March 2017.
- **Stahl et al.** (2020): Der Weg hin zu einer CO2-armen Mobilität. https://www.sac-group.eu/wordpress/wp-content/uploads/2020/07/Stahl_Automotive_Consulting_Whitepaper.pdf
- **The World Bank** (2021): Data for gross domestic products for 2020
- **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>
- **UBA** (2022): Realemissionsmessungen an Kraftfahrzeugen. 12.10.2022: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsstandards/realemissionsmessungen-an-kraftfahrzeugen#welche-emissionen-werden-untersucht>

SOURCES

- **Ueckerdt et al.** (2021): Potential and risks of hydrogen-based e-fuels in climate change mitigation. Nature Climate Change. <https://dx.doi.org/10.1038/s41558-021-01032-7>
- **UNITI** (2021): „Die Reduktion der CO2-Emissionen im Straßenverkehr erfordert Lösungen, die überall auf der Welt funktionieren“. UNITI-Pressemitteilung, Berlin, 08. Juni 2021
- **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