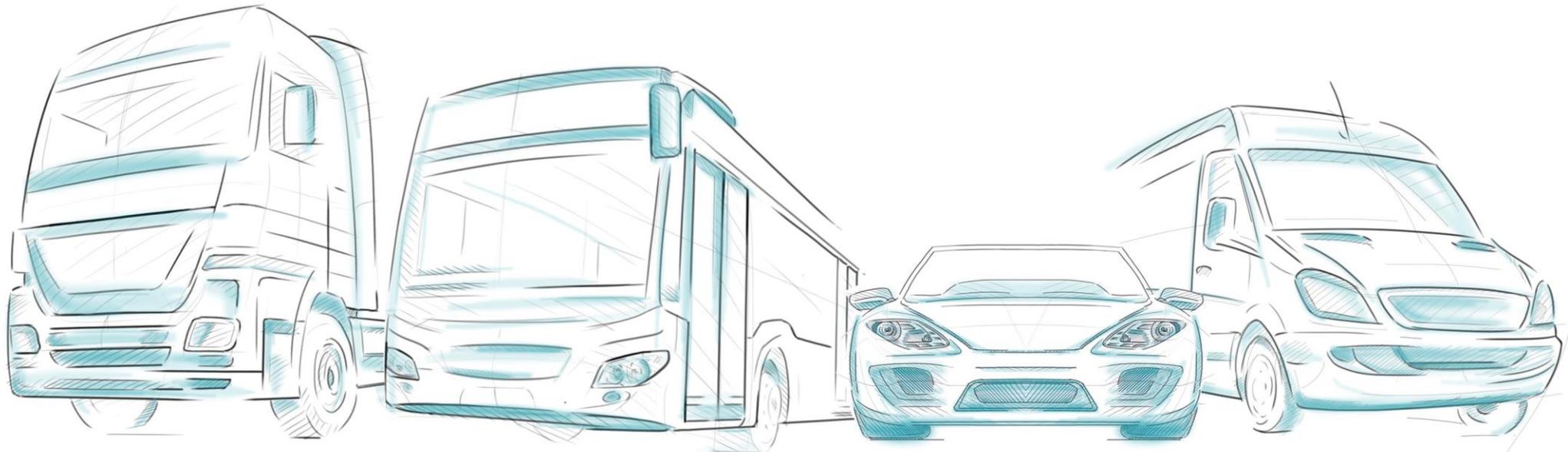


# Vergleich alternativer Antriebskonzepte für Busse des ÖPNV und den Schwerlastverkehr

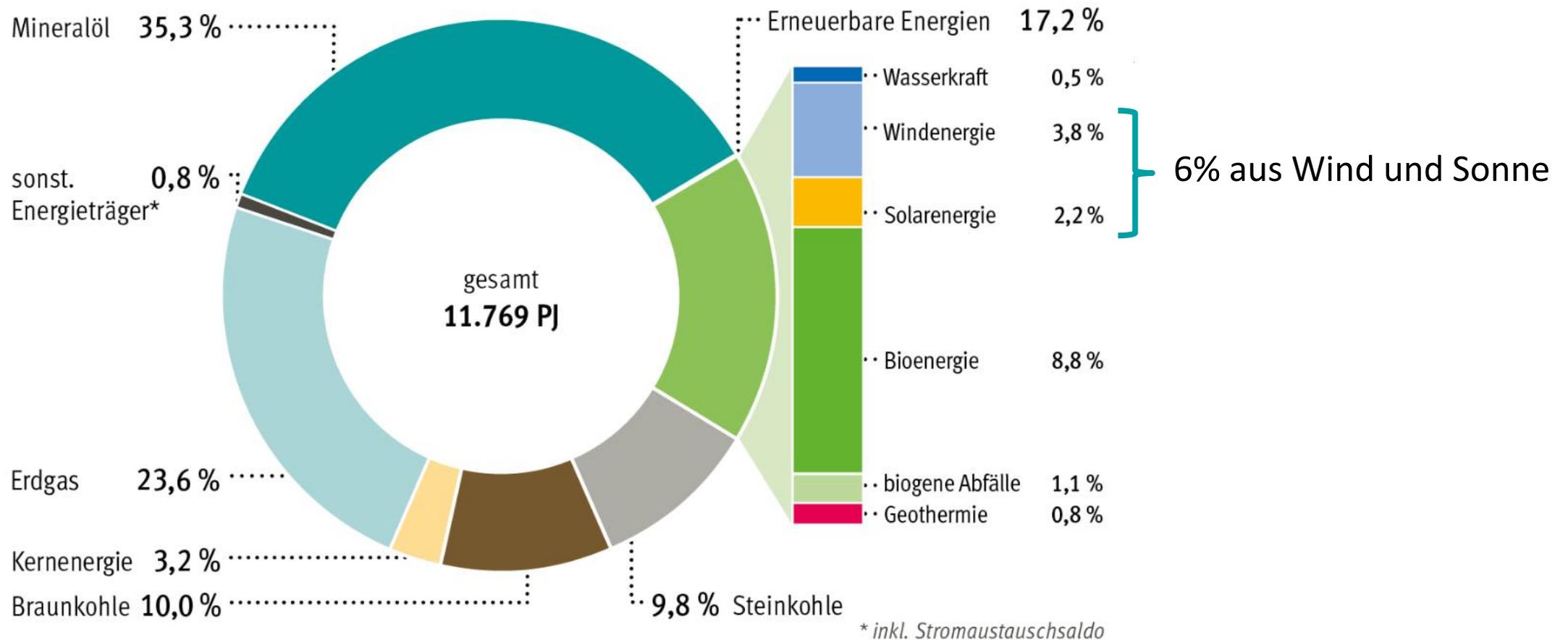
Dipl.-Ing. Jochen Lauer



- Energieträger und Verfügbarkeit
- Infrastruktur
- Alternative Kraftstoffe
- GEV-Antrieb mit Bio-LNG
- Kostenabschätzung
- Fazit

# Energieträger und Verfügbarkeit

Erneuerbarer Strom aus Wind und Sonne in Deutschland: volatil und geringer Beitrag

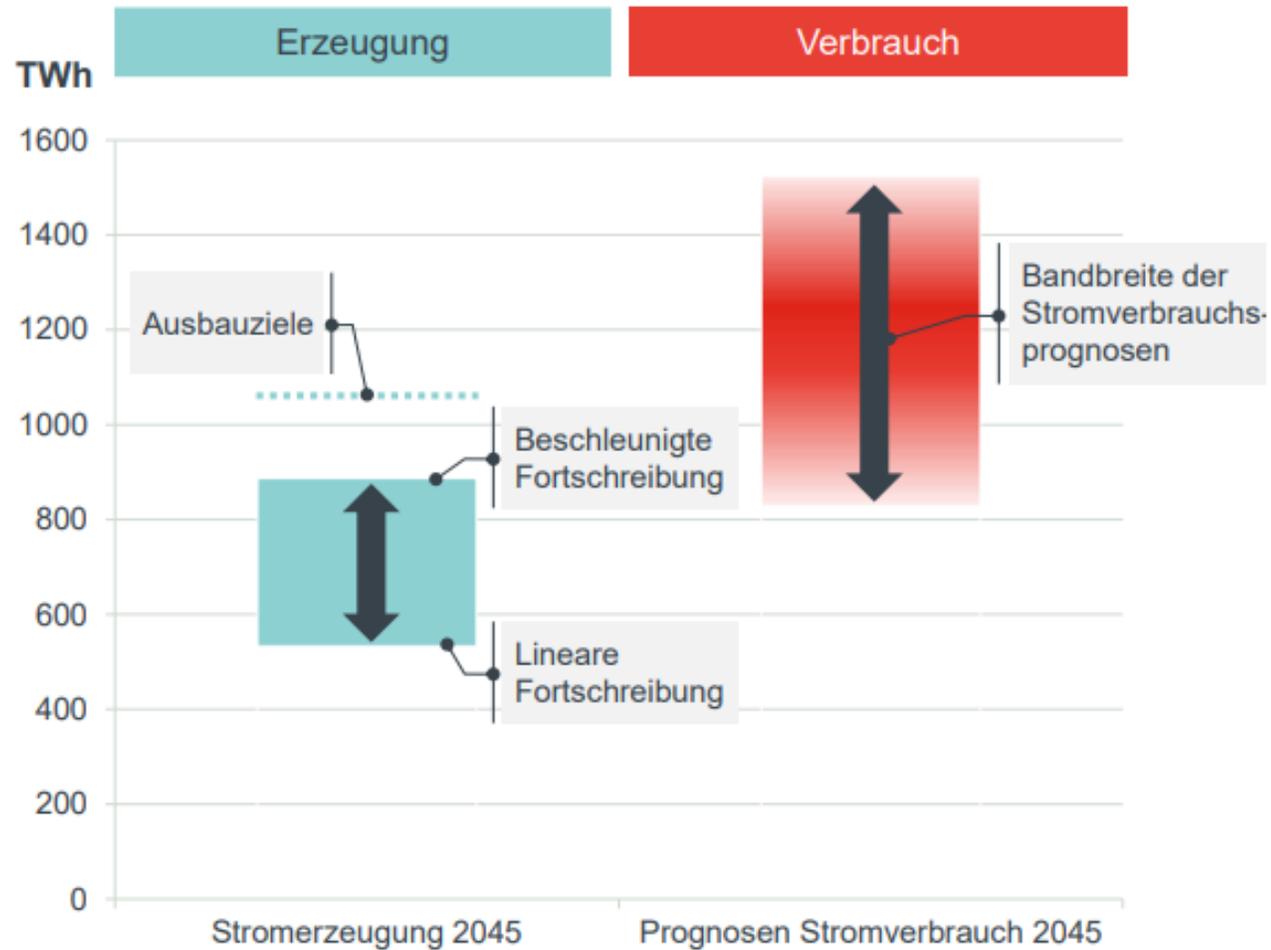


Quelle: FNR nach AGEB, AGEE-Stat (März 2023)  
© FNR 2023



**83 % fossil – 17 % regenerativ, davon nur 6 % ungesicherter Strom aus Wind und Sonne**

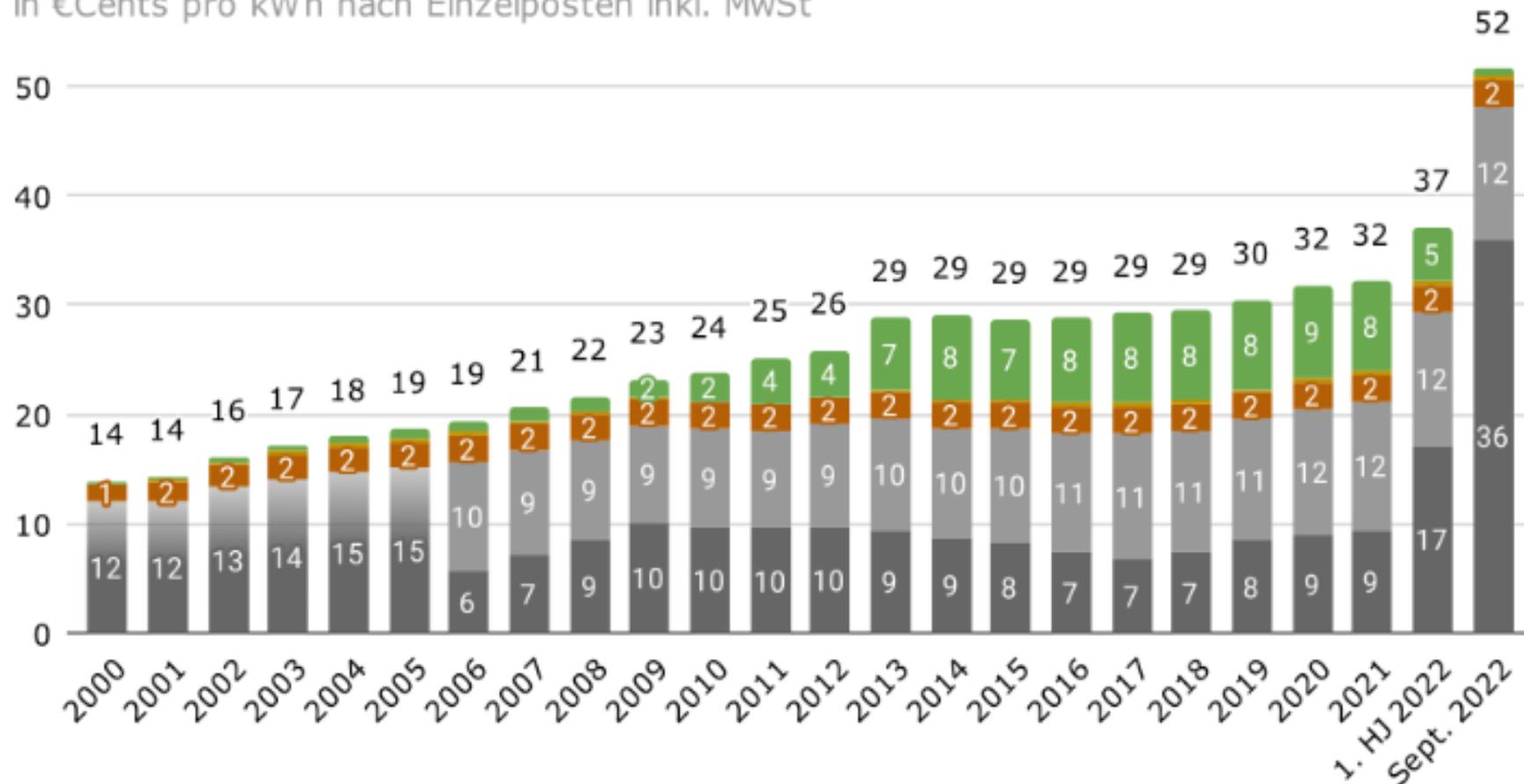
# DROHENDE STROMLÜCKE ZWISCHEN ERZEUGUNG UND VERBRAUCH – AUSBLICK BIS 2045



Quelle: *Frontier Economics basierend auf diversen Studien und Fortschreibungen, vgl. Abschnitt 3*

# STROMPREISENTWICKLUNG IN DEUTSCHLAND

in €Cents pro kWh nach Einzelposten inkl. MwSt



Ist ein Preis von rd. 40 ct./kWh zu halten? Netzentgelte werden steigen!

bis 2006 keine Trennung von Produktion und Netzentgelt

Quellen: bis 1. HJ 2022 - BDEW (2022), September 2022 - Verivox (2022)

-> Industrie wird von massiven Subventionen abhängig sein

# SUBVENTIONEN

Sind die Kosten für die Energie- und Mobilitätswende durch Subventionen vom Staat dauerhaft zu halten?

Aktuell belegt Deutschland laut ZEW Rang 18 von 21 Industriestaaten - Tendenz weiter fallend:

## Ausblick:

Steigende Staatsausgaben ↑↑↑

- Demoskopie -> Rentenausgaben
- Verteidigungsausgaben
- Marode Infrastruktur (Bahn, Straße, Digital)
- Soziale Mehrausgaben (Migration, Elterngeld, Wohnungen...)
- Klimaschutz: Heizungsgesetz, Ladesäulen,...



Sinkende Wirtschaftskraft ↓↓↓

- Energiepreise
- Import-Exportbilanz
- Rückgang der Investitionen
- Arbeits- und Fachkräftemangel
- Lohnkosten- und Abgaben, Steuerlast
- Regulatorik, Bürokratie

# Infrastruktur

## Stromnetze

- Kapazitätserhöhung von derzeit 500 TWh um Faktor 2-3
- 1 Million Ladesäulen; derzeit rd. 90.000

## Wasserstoff

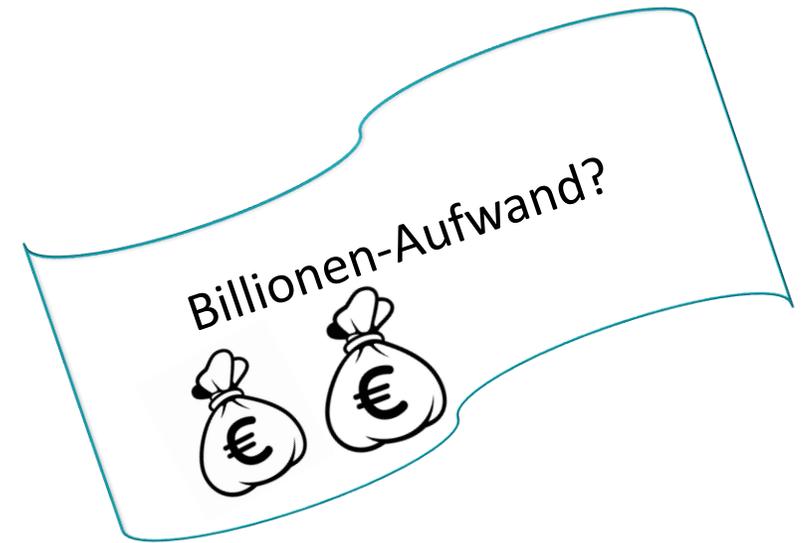
- Flüssig, 700 bar, 300 bar?
- Gasnetze und Speicher für H<sub>2</sub> geeignet?
- H<sub>2</sub>-Tankstellen?

## eFuels/HVO-Diesel/Ethanol

- vorhandene Infrastruktur kann weiter verwendet werden

## (Bio)Gas, eGas

- LNG-Tankstellen und Infrastruktur teils vorhanden



**Wichtig: Abstimmung der Systeme mit Nachbarländern**

## Bedarf BRD:

- Primärenergie 2.500 TWh
- Strom / Jahr 500 TWh (2045 rd. 1.500 TWh)
- Strom / Tag 1-2 TWh

## Aktuelle Speicher:

250 TWh	<b>Gasspeicher</b> (Erdgas)
250 TWh	<b>Flüssigkraftstoffe</b> (Strategische Ölreserve 25 Mio. t für 90 Tage)
150 TWh	<b>weitere Tanklager</b> (14.000 Tankstellen, 4,4 Mio. private Öltanks, Fahrzeugtanks, Mineralöllager (Hafen) etc. = 15 Mio. t)
0,4 TWh	<b>Pumpspeicherkraftwerke</b> (Stundenweise)

## Batteriespeicher zur Absicherung künftiger Stromversorgung?:

0,5 TWh	10 Mio. <b>Batterien</b> á 50 kWh - sofern mit dem Netz verbunden und Entnahme jur. erlaubt
0,12 TWh	<b>5 Mio. Batterien á 25 kWh</b> ; derzeit 1 Mio. Batterien – <b>reales Szenario</b>

**Flüssigkraftstoffe sind zur Absicherung unserer Stromerzeugung unerlässlich (tägl. und saisonale Redundanz).**

# Alternative Kraftstoffe

	Energiedichte/ Heizwert (kWh/kg)	Energiedichte/ Heizwert (kWh/Liter)	flüssig bei Temperatur
Methanol	6,5	5,1	Umgebungstemperatur
Ethanol	7,4	5,9	Umgebungstemperatur
eFuels	12	10	Umgebungstemperatur
Ammoniak	6,2	4,2	-33 Grad
LNG/Bio-LNG	13,7	6	-162 Grad
(Flüssig-)Wasserstoff	33	2,5	-253 Grad
Zum Vergleich:			
Benzin/Diesel	12	10	Umgebungstemperatur
Li-Ionen-Batterie	ca. 0,1-0,2		von mehreren Faktoren abhängig

**Die Bionik lehrt uns, dass flüssige Kraftstoffe die höchste Leistungsdichte haben. Für Transport, Speicherung und Mobilität ideal.**

Weltweiter Ölverbrauch: rd. 4,2 Mrd. Tonnen/Jahr

**BRD:** rd. 100 Mio. Tonnen; davon **Verkehr rd. 60 Mio. Tonnen**

## HVO Diesel (Hydrotreated Vegetable Oil)

Basis: Abfall- und Reststoffe künftig auch Algen; 90 % klimaneutral nach RED2 (10 % Transport, Beimischung 25-100 %)

Laut Neste beträgt die Produktionskapazität in 2025: rd. 30 Mio. Tonnen

Künftiges **HVO-Potenzial: Geschätzt rd. 1 Mrd. Tonnen in 2040**

## Ethanol

Weltweite Produktion derzeit rd. 100 Mio. Tonnen

Davon in Brasilien rd. 25 Mio. Tonnen auf 10 Mio. ha, also 5 % (von 220 Mio. ha) verfügbarer Landwirtschaftsfläche

Deutschland: rd. 1 Mio. Tonnen

## Wasserstoff – Methanol- Ammoniak - eFuels

Skalierung zahlreicher Pilotanlagen erfolgt durch Firmen (Neste, Shell, Aramco, Sunfire, VARO, OMV, u.v.m. (s. Fraunhofer-PtX-Atlas).

## Biogas

# ENERGIEIMPORTE

## EE-Strom aus EU-Partnerländern:

Wasserkraft aus Norwegen (Strom)  
Kernkraft aus Frankreich (Strom)



-> keine relevanten Mengen

## Alternative (Flüssig-)Kraftstoffe aus Übersee:

Ethanol / Biogas (Brasilien)



eFuels (Mena-Staaten, Afrika, Island)



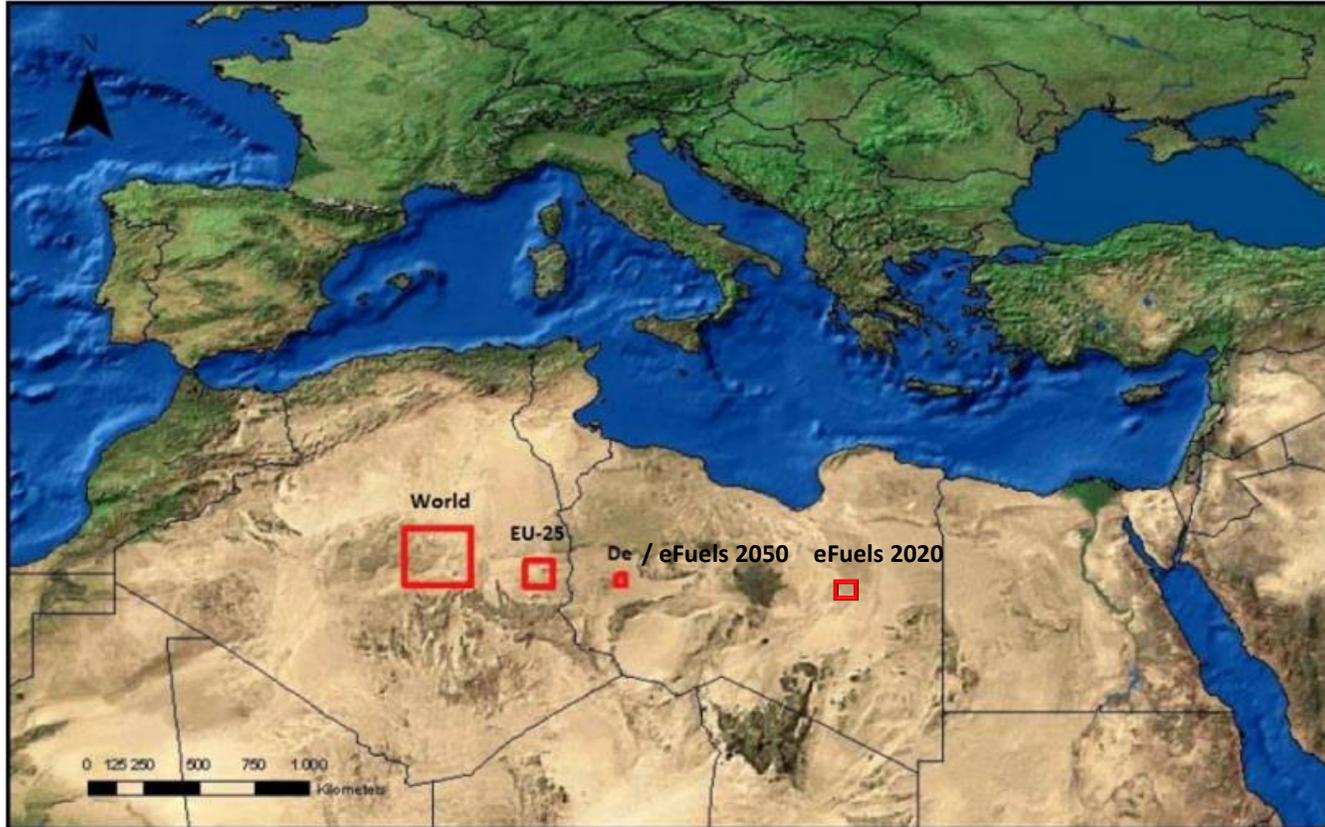
-> enormes Potenzial

Heliostatanlage, PV-Anlage, Windkraft, Geothermie-Dampfkraftwerk

**Die Erträge von Wind- und Sonnenenergie liegen in anderen Ländern um Faktor 3 höher als in unseren Breiten!**

# ENERGIEIMPORTE ZWINGEND ERFORDERLICH

Flächenbedarf für solarthermische Kraftwerke zur Deckung des Energiebedarfs (2020)



Land	Strom TWh	Fläche / km
Deutschland	515	75 x 75
eFuels 2020	1.400	115 x 115
eFuels 2050	550	76 x 76
EU	2.771	173 x 173
Welt*	25.000	500 x 500

\*Entspricht 1/10 der Fläche Algeriens

Projekt Desertec (2003 Club of Rome)

**Der Flächenbedarf muss auf viele Länder verteilt werden, um Abhängigkeiten jeder Art gering zu halten.**  
Import von EE-Strom und alternativen Kraftstoffen aus klimaneutralen Ländern mit Überschusspotenzial.

- Speisereste, Müll und Gülle werden zu Bio-Gas (2. Generation).
- 9.500 Biogas-Anlagen in Deutschland erzeugen gesicherten Strom und Wärme.
- Hinzu kommen noch 9.000 Kläranlagen mit den Erträgen von Faultürmen.
- Gleichzeitig kann von den Pflanzen aufgenommenes CO<sub>2</sub> separiert werden.



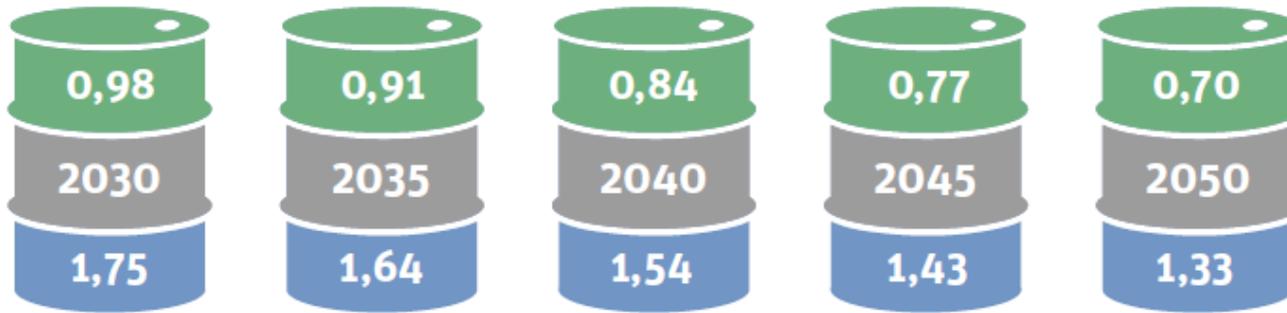
## Potenziale:

- BRD + 20-40 % (entspricht ca. 15 TWh)
- Europa 1.100 TWh
- Brasiliens konservative Schätzung 800 TWh (200 Mio. Rinder und Substrat der Produktion von 30 Mrd. Liter Ethanol aus Zuckerrohr pro Jahr)
- **-> Das Potenzial entspricht in Summe 50 % des derzeitigen EU-Erdgasverbrauchs!**

Quellen: AHK Analyse 2019 „Brasilien-Biogas und KWKK“; und AHK Analyse 2021 „Brasilien – Erzeugungstechnologien für energetische Verwertung durch Abfall und Rohstoffe“; Günther Brauner – Systemeffizienz bei regen. Stromerzeugung (Springer Verlag)

## 1 Herstellungskosten von E-Fuels (PtL – Syncrude als Erdölersatz) bei industrieller Großproduktion in wind- und sonnenreichen Regionen der Welt.

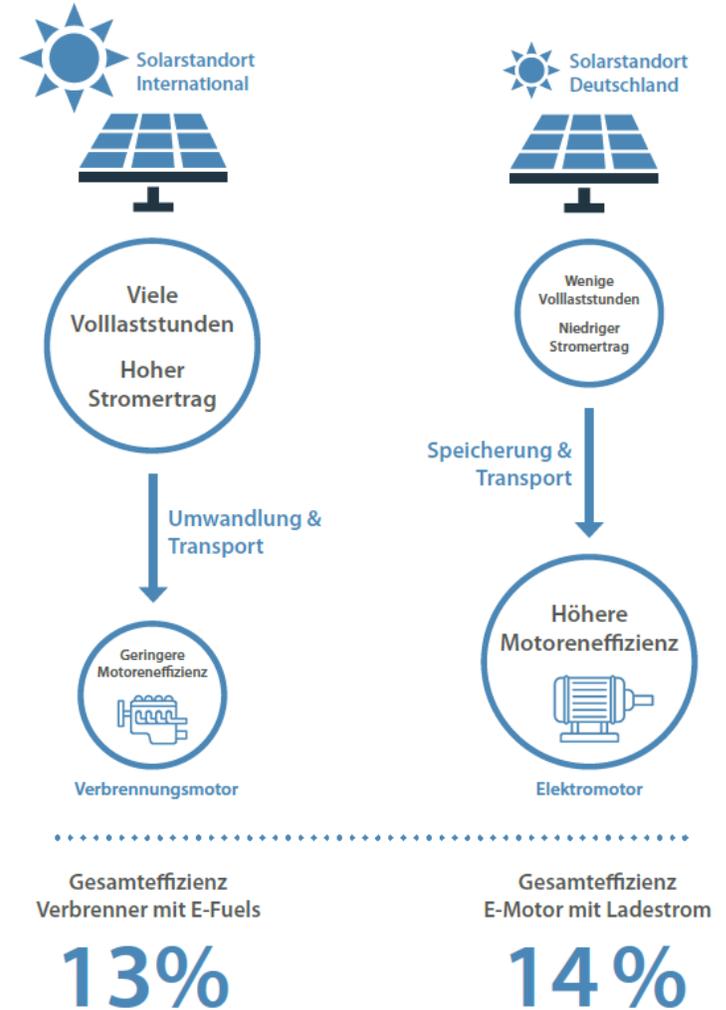
### 1 Niedrigeres Szenario (Kosten pro Liter in Euro)



### 2 Höheres Szenario (Kosten pro Liter in Euro)

- 1 niedrigerer Kostenpfad von E-Fuels: kostengünstige internationale Bereitstellung mit optimalen Standortbedingungen für die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien und besserem Elektrolysewirkungsgrad
- 2 höherer Kostenpfad von E-Fuels: Internationale Bereitstellung mit einer nicht immer optimalen Standortwahl der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien und langsamere Steigerung des Elektrolysewirkungsgrades

## Die Gesamteffizienz ist entscheidend



Quelle: UNITI informiert, Das werden CO2-neutrale Kraftstoffe zukünftig kosten

# NEOBUS – GEV-Antrieb mit Bio-LNG

# GEV-ANTRIEB MIT BIOGAS ALS KRAFTSTOFF

Die Idee: Nachhaltigkeit durch Umrüstung

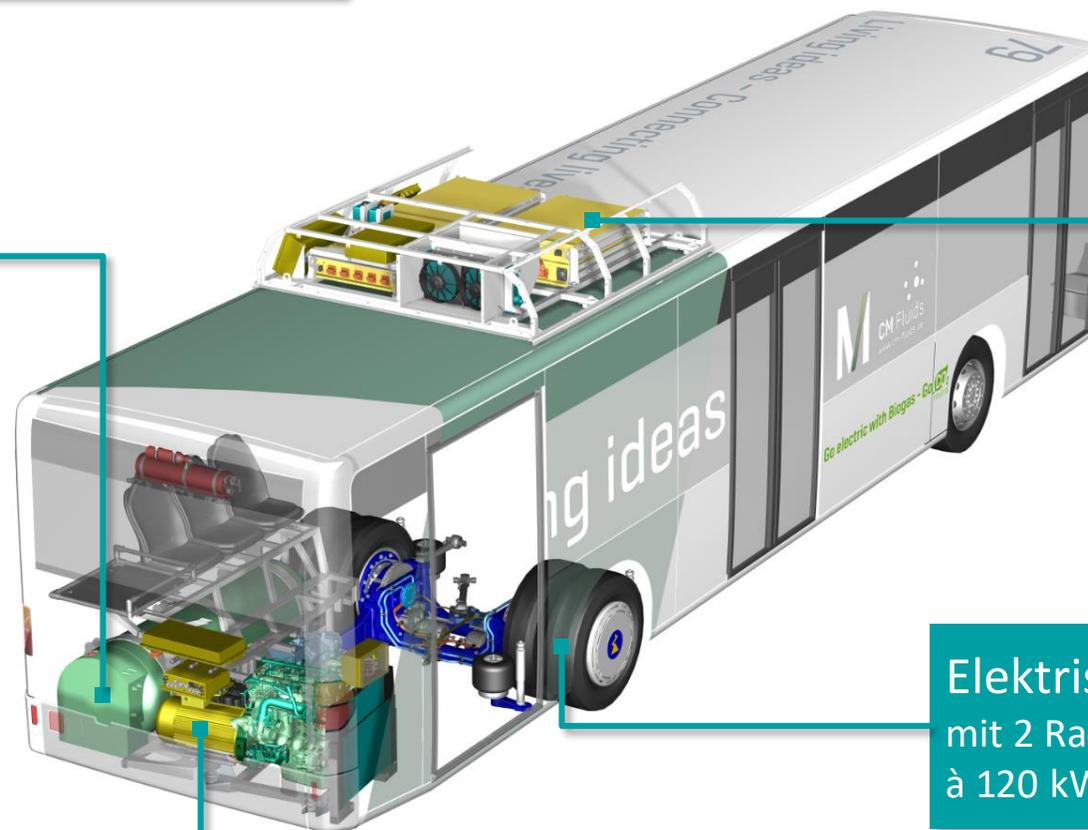
Ist es möglich einen **18 Tonnen** schweren **Stadtbus** mit einem **75 kW** **Verbrennungsmotor** agil zu bewegen?

Ja.  
Mit dem **CMF drive** von



Cryotank für Bio-LNG  
500 liter  
ca. 2900 kWh Heizwert

Motor-Generator Unit  
75 kW mechanische  
Leistung @ 2300 1/min

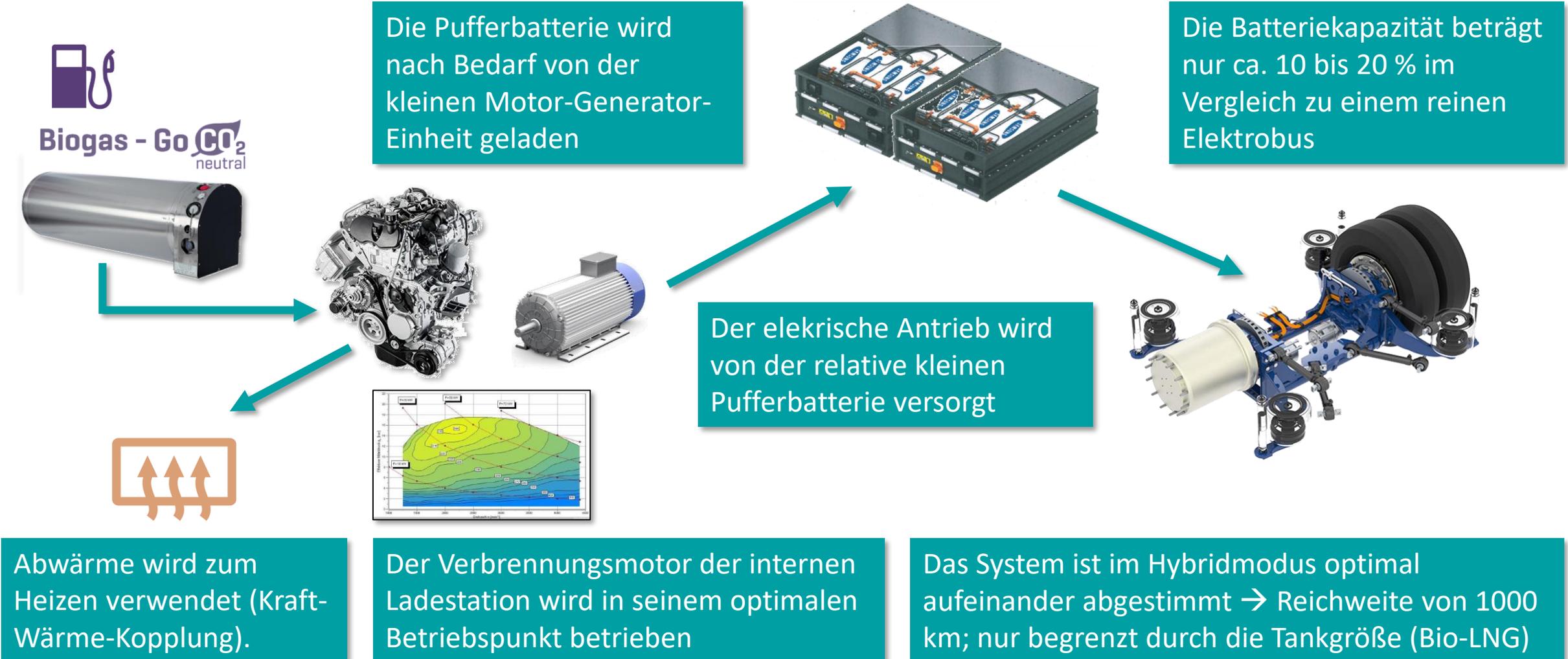


Pufferbatterie  
4 x 35 kWh / 800 V

Elektrische Hinterachse  
mit 2 Radnabenmotoren  
à 120 kW / 3700 Nm

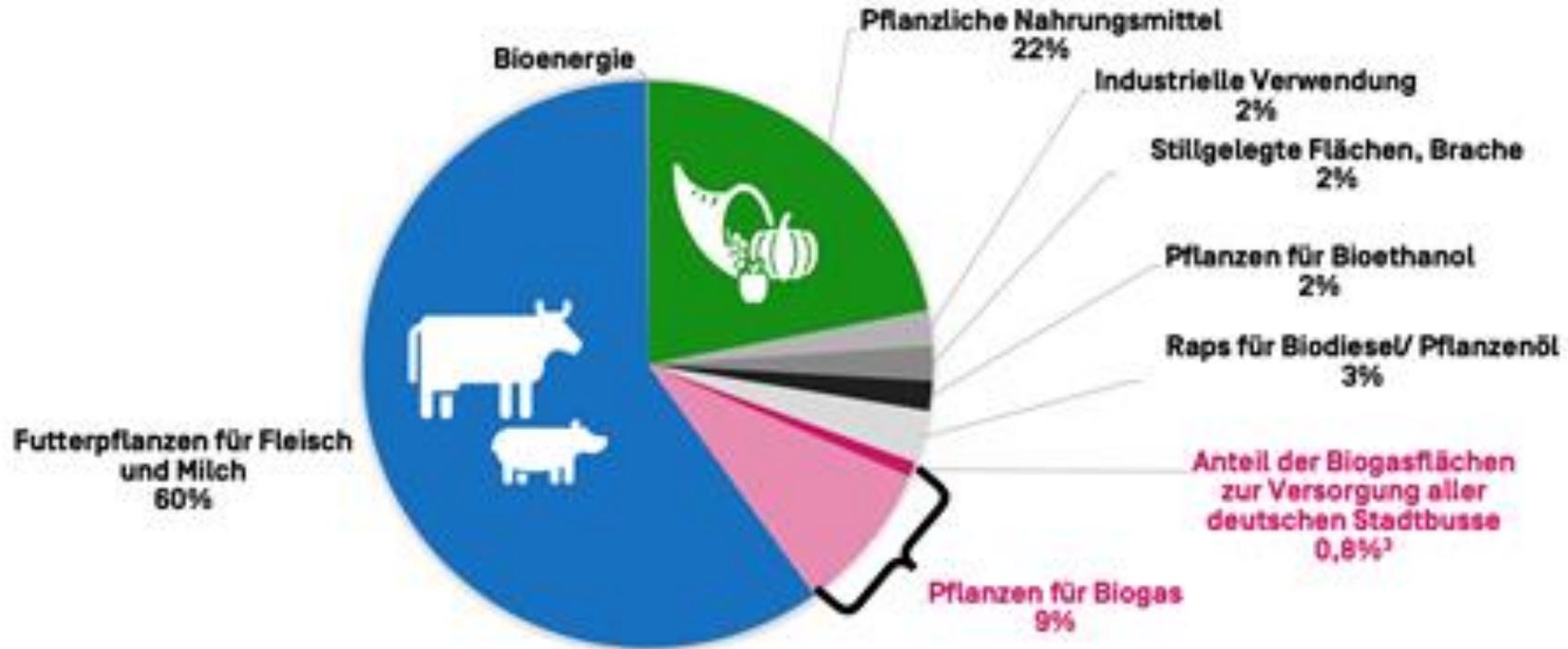
# GEV-ANTRIEB MIT BIOGAS ALS KRAFTSTOFF

## Vorteile des Konzepts



# DER TANK NIMMT NICHTS VOM TELLER

Durch die Umnutzung von Biogas von ca. 0,8 % der bestehenden Flächen in Deutschland könnten alle Stadtbusse CO<sub>2</sub> neutral fahren<sup>1</sup>.



<sup>1</sup> FNW 2020: Flächennutzung in Deutschland 2019, online verfügbar unter <https://mediathek.fnw.de/flaechennutzung-in-deutschland.html>, zuletzt geprüft am 18.10.2020

<sup>2</sup> FNW 2020: Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland, online verfügbar unter <https://mediathek.fnw.de/anbauflaeche-fur-nachwachsende-rohstoffe.html>, zuletzt geprüft am 18.10.2020

<sup>3</sup> Bei einem Verbrauch des CNG drive von 14 kg/100km, eine durchschnittlichen Laufleistung von 50.000 km/a bei 35.000 Stadtbusen und einer Gesamtmenge von 4,4 Mrd. Biomethanproduktion pro Jahr würden 0,16 % der Fläche benötigt werden (4% von 9 %). Bei einem durchschnittlichen Verbrauch von 20 kg wären es 0,47 % (0,3 % von 9%).

# BIO-LNG ALS DIESELERSATZ

Einsatzmöglichkeiten auf breiter Front

## Entsorgerfahrzeuge



## Stadtverteiler-Fahrzeuge



## Agrartechnik



## Mähdrescher



## Baumaschinen



## Mining



## Mobile Aggregate



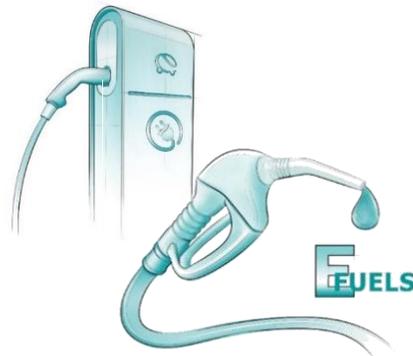
## Notstromaggregate



# Kostenabschätzung

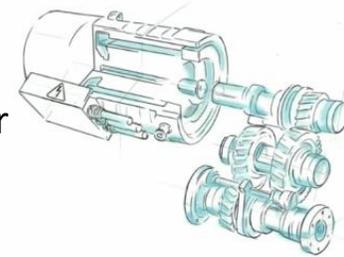
## Energieträger

- Strom/Batterie
- Biogene Kraftstoffe
  - Ethanol
  - Bio-CNG
  - Bio-LNG
  - HVO-Diesel
- Wasserstoff
- eFuels



## Antriebskonzept

- BEV
- Range Extender
- Hybrid
- Plug-In Hybrid



## Optimiertes Produkt

- Verbrauch
- Emissionen
- Reichweite
- **Kosten**



Individuelle Lösungen; Vielfalt

# ABSCHÄTZUNG DER BETRIEBSKOSTEN „TCO“

Vergleich über 10 Jahre - Basis 50.000 km Fahrleistung pro Jahr – Stadtbus (Stand 7/2023)

	Diesel (zum Vergleich)	CMF -Drive/LNG Elektro-Antrieb + Range-Extender	CNG Konv. Antrieb	Elektro*	Brennstoffzelle
Anschaffungs- bzw. Umrüstkosten	300.000 €	330.000 €	300.000 €	550.000 €	700.000 € (geschätzter Wert)
Förderung in BW**	-	??	bis 8.000 €	150.000 €	200.000 €
Kraftstoff- bzw. Energiekosten (über die Betriebszeit)	250.000 € Diesel 1,50 €/Liter	130.000 € (Bio-LNG rd. 1,3 €/kg)	180.000 € Bio-CNG 1,20 €/kg	180.000 €	480.000 €
Verbrauch/ Tankkosten	Bei 34 l je 100 km und 50.000 km → ca. 25.000 €/Jahr (ohne AdBlue)	20 kg LNG je 100 km Bei 50.000 km → 13.000 €/Jahr	30 kg Je 100 km Bei 50.000 km → ca. 18.000 €	Industrietarif ca. 19 ct**/kWh: 160 kWh á 19 ct → 30 € je 100 km Bei 50.000 km → 15.000 € (Zuzüglich ca. 20 %*** Wärmeverluste bei Schnelladen)	Wasserstoff 12 €/kg → 8 kg je 100 km  Reichweite 400 km 50.000 km → 48.000 €/Jahr
Wartungskosten	160.000 €	160.000 €	160.000 €	140.000 €	140.000 € (?)
<b>Gesamtkosten</b>	<b>710.000 €</b>	<b>620.000 €</b>	<b>640.000 €</b>	<b>720.000 €</b>	<b>1.120.000 €</b>

\* Für viele Linien mehr Fahrzeuge erforderlich

\*\* Abhängig von Subventionen

\*\*\* ADAC, Welt – Ladeverluste sind abhängig vom Ladezustand der Batterie, Ladekabel-Durchschnitt, Stromstärke, Ladezeit

# Fazit

- **Elektrifizierung** von Antriebssträngen erfolgt in vielen Segmenten
- **Anteil** der Elektrifizierung ist je nach Anwendung **unterschiedlich**
- Rein batterie-elektrische Lösungen sind nicht immer möglich, sinnvoll oder wirtschaftlich
- Spezifische Nischenlösungen in „Gesamtkonzept Mobilitätswende“ einbinden
- **Flüssige Kraftstoffe sind für Versorgungssicherheit, Maschinen und Mobilität unentbehrlich -damit auch der Verbrennungsmotor**
- Kreisläufe: Well-to-Wheel ausschlaggebend
- Sektorübergreifende Lösungen
- International abgestimmte Lösungen

- Fokus der Bundesregierung/EU: batterie-elektrische Antriebe
- Fossile Kraftstoffe müssen ersetzt werden
- Alternative Kraftstoffe sind aktuell noch nicht im Fokus („Verbrennungsmotor-Verbot“)

## Elektrisch teils machbar



Beispiel: Stadtbuss: kurze Strecken;  
Stop and Go; Infrastruktur vorhanden

## Flüssigkraftstoffe erforderlich



Reisebus/Andere:  
Dauerlast; keine Infrastruktur vorhanden



- **Ziel: Gewinnung der Ausschreibungen**
  - Erfüllung der Umweltauflagen, u.a. THG-Quote
  - ÖPNV: Evakuierungsauftrag
  - **Wirtschaftlichkeit**
  - Finanzierung
  - Fahrzeugkosten
  - Energiekosten
  - Wartungsaufwand (kurze Standzeiten)
  - Personalkosten
- **Infrastruktur**
- Versorgungssicherheit bzw. Verfügbarkeit
- **Alltagstauglichkeit:** Robuste, zuverlässige Technik
- Nachhaltigkeit: Restwert; tatsächlicher Umweltnutzen (Well-to-Wheel)
- Flexible Einsetzbarkeit der Fahrzeuge (int. abgestimmte Versorgungsmodelle bzw. Infrastruktur)

# Vorstellung Lauer & Weiss

# FIRMENGRUPPE LAUER & WEISS

Fahrzeugentwicklung und Konzepte mit 200 Mitarbeitern

Lauer & Weiss

Engineering & Digital Solutions

- Individuelle Lösungen auf der Basis von Fahrprofilen und Einsatzzwecken
- Entwicklung und Bau alternativer Antriebssysteme
- Aus- und Umrüstung neuer und gebrauchter Fahrzeuge



Schwaben

Engineering

Lauer & Weiss

Engineering & Digital Solutions

Lauer & Weiss

Green Power Systems

Lauer DIE WERKSTATT

Nutzfahrzeugservice



Elektrobus



Elektro-LKW



VS30 eSprinter



GEV-Bus (Generator-Electric-Vehicle)



GenH2 Truck



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



# Backup

# NEUE PERSPEKTIVEN DER VIELVERSPRECHENDEN ENERGIE- GEWINNUNG DANK BIOGAS

[Roadmap reFuels für Baden-Württemberg: Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg \(baden-wuerttemberg.de\)](https://www.baden-wuerttemberg.de)



Roadmap reFuels  
für Baden-Württemberg



# VERGLEICH DIESEL, ELEKTRO, CMF-DRIVE AM BEISPIEL EVOBUS

Daten	Dieselsbus Citaro 2 2 türig - 12 m lang	GEV-Bus Citaro 1 3 türig – 12 m lang	CNG	Elektrobus eCitaro 2 türig – 12 m lang
Leergewicht	11.400 kg	12.500 kg	11.700 kg	14.000 kg
Max. zulässiges Gesamtgewicht	19.000 kg	18.000 kg	18.000 kg	20.000 kg
Zuladung	7.600 kg	5.500 kg	3.900 kg	6.000 kg
Passagiere	86	74 *Einsatzbedingt (Airport)	64 Stehplätze	zwischen 70 - 85 *abhängig von Batteriekapazität
Reichweite	750 km	900 km	520 km	150 - 250 km (Winter-Sommer)
Verbrauch **je nach Kundenwunsch bzw. Einsatzprofil 6-12 Module je 25 kW	30-35l/100km Tankvolumen: 260l + 32l AdBlue	20 kg LNG/100 km Tankvolumen: 200 kg Nettobatteriekapazität ca. 56 kWh	30 kg / 100 km	ca. 160 kW/100 km **Batteriekapazität ca. 300-400 kW
<b>Preis</b>	<b>ab 310.000 €</b>	<b>250.000 - 350.000 € *</b>	<b>ab 310.000 €</b>	<b>ab ca. 570.000 €</b>

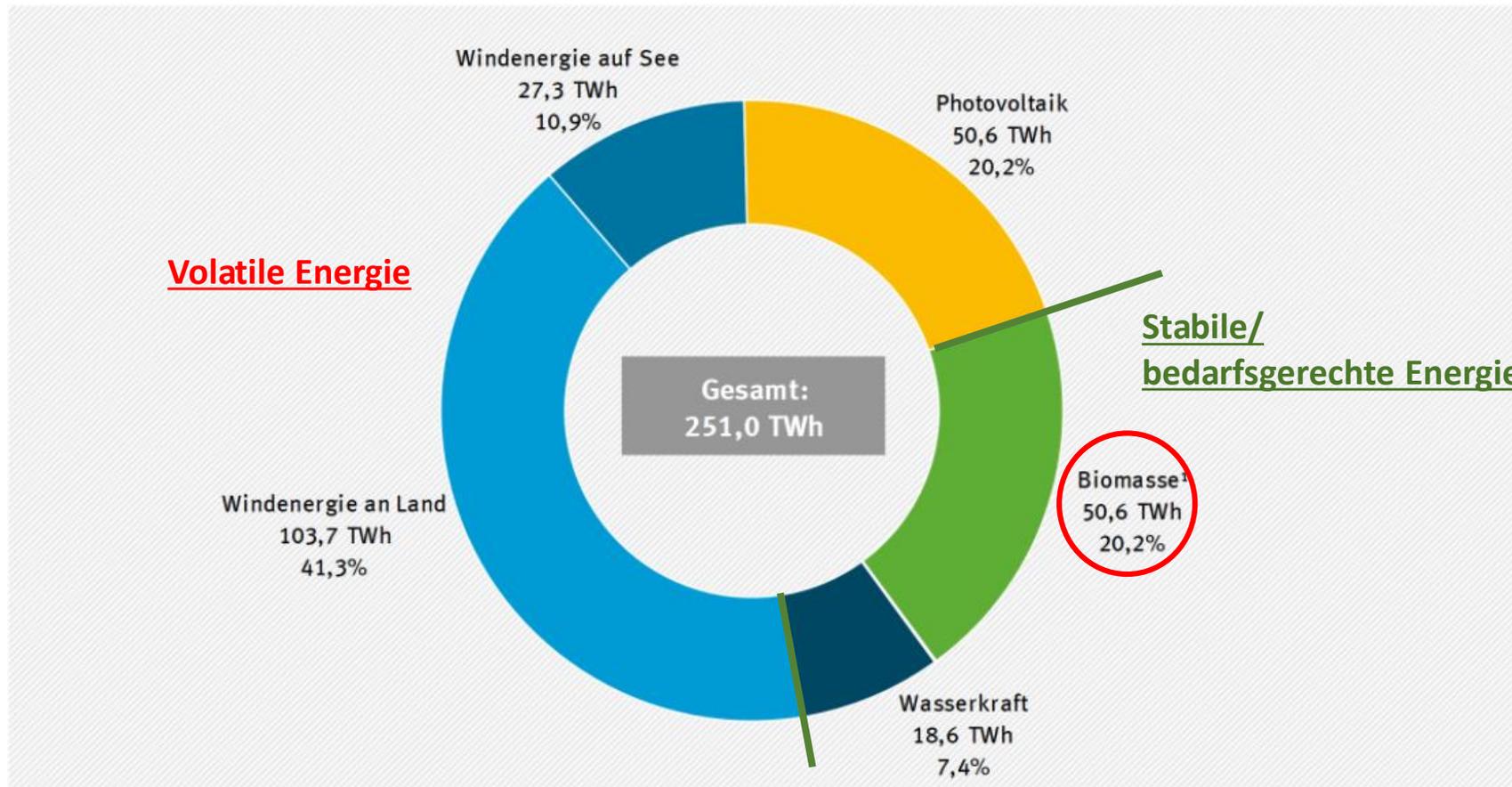
„Der eCitaro erfüllt 30 % der Einsatzanforderungen von Stadtbussen“

Seit 2020 werden Feststoffbatteriemodule je 33 kW angeboten. Diese haben jedoch nur 80 kW Ladeleistung. Das bedeutet rd. 5 h Ladezeit.

\*Umrüstung oder Neufahrzeug : Abhängig von Alter und Zustand des Basisfahrzeugs und gewünschten Umfang des Upcyclings

## Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2020\*

Bruttostromerzeugung [TWh] und Anteile in Prozent [%]



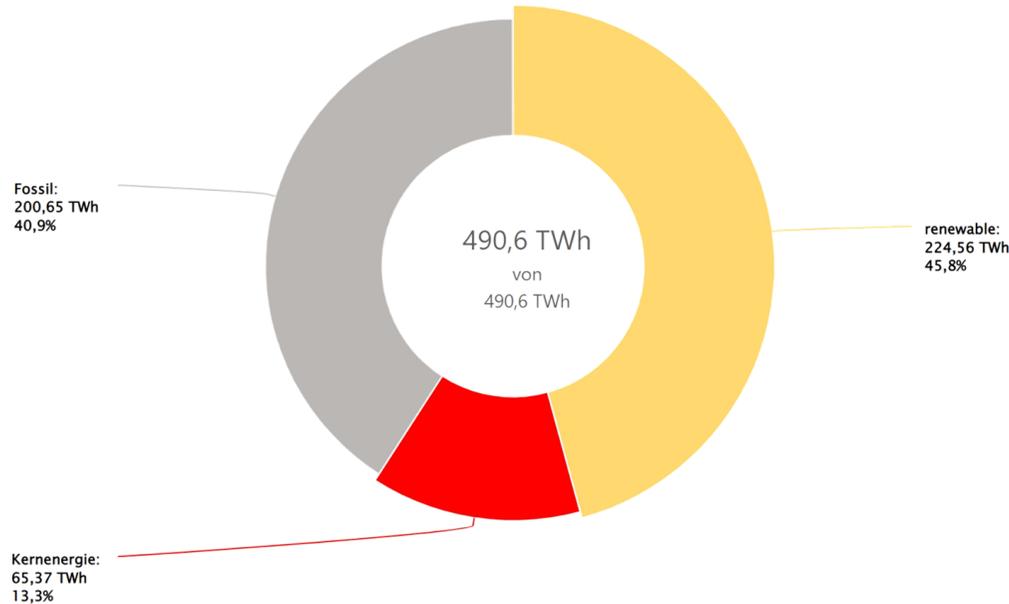
Stromerzeugung aus Geothermie aufgrund geringer Mengen nicht dargestellt (0,2 TWh)

<sup>1</sup> gasförmige, flüssige und feste Biomasse inkl. biogenem Abfall

\* vorläufige Werte

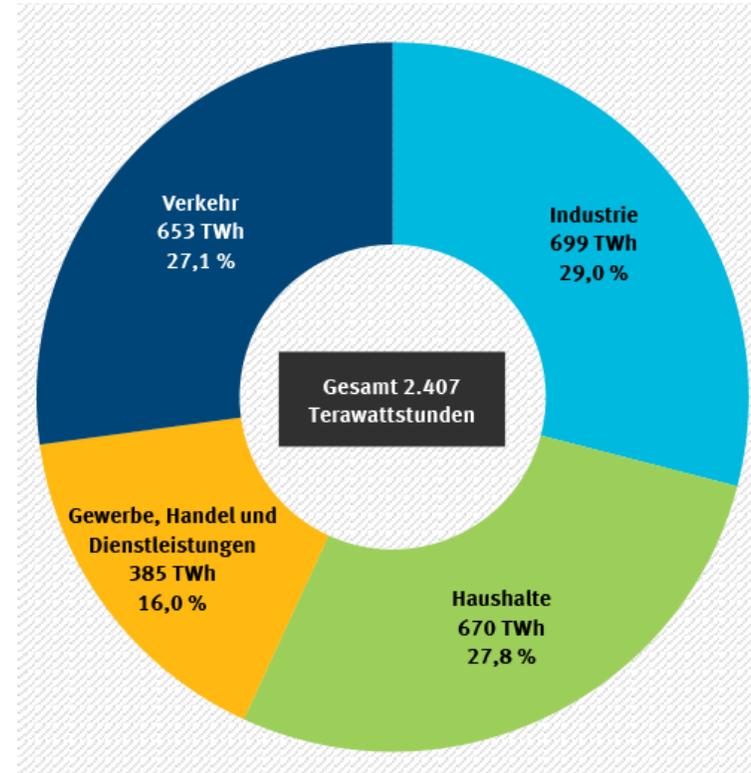
Quelle: Umweltbundesamt (UBA) auf Basis AGEE-Stat

Stand 02/2021



## Nettostromerzeugung rd. 500 TWh

Der **Strom**anteil entspricht etwa 1/5 unseres Energiebedarfs



## Primärenergie rd. 2.500 TWh (netto)

Der Hauptteil unserer Primärenergie wird für **Wärme** benötigt

Primärenergie für:

- Prozesswärme
- Wasserwärme
- Raumwärme
- Nicht energetischer Verbrauch (z.B. Chemieindustrie)
- Verkehr/mechanische Energie

# NUTZUNGSGRAD REGENERATIVER ENERGIE IN DEUTSCHLAND 2020

1 GW installierte Leistung\* x 365 Tage á 24h -> 8,760 TWh (rechnerisch maximaler Jahresertrag)

	GW*	Jahresertrag in TWh	Nutzungsgrad	Anzahl der Anlagen
Windpark	55	132	27 %	über 30.000
PV-Anlagen	53	50	10 %	über 2 Mio. (über 500 km <sup>2</sup> )

## Zum Vergleich:

Kernkraft	8,4	61	83 %	6
Kohlekraft	44	116	30 %	ca. 100 } Grundversorgung und Redundanz von EE
Gas	27	60	25 %	
Sonstige (Wasser, Öl)	17,5	22		

An geeigneteren Standorten, wie beispielsweise in den MENA-Staaten wäre für regenerative Energieerzeugung ein 2 bis 4-facher Ertrag bei gleichem Investitionsvolumen gegeben.

# HERSTELLUNG VON EFUELS (FISCHER-TROPSCH-VERFAHREN)

## Internationale Hotspots (Partnerländer)

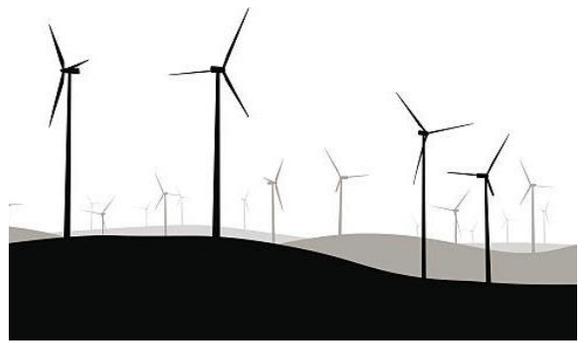
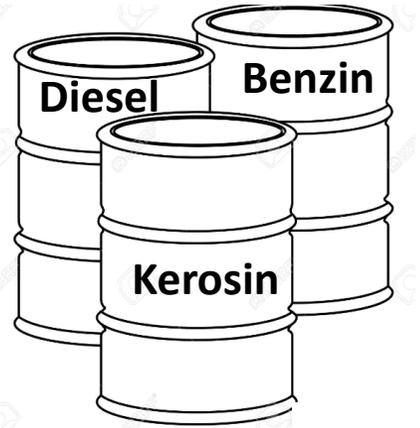
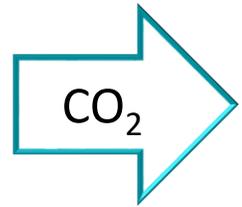
Regenerative Energie und Wasser



Elektrolyse



Kohle, Zement, Stahl



20-25\* kWh Strom

2 Liter Wasser

3 kg CO<sub>2</sub>

= 1 Liter eFuel

\*abhängig von der CO<sub>2</sub>-Konzentration

# FIRMA ORYX GTL-ANLAGE IN QATAR

Dimension einer Anlage zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe

5,5 Mio. Liter / Tag mit Fischer-Tropsch Verfahren (Gas to liquid), vermarktet als „V-Power“ (Shell)  
Entspricht 1,75 Mio. Tonnen / Jahr

