

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit verwenden dieser Text und das gesprochene Wort im Folgenden zumeist das generische Maskulinum, das Frauen, Männer und Diverse gleichermaßen einschließt.

Die Recherchen und Berechnungen sind mit großer Sorgfalt durchgeführt worden. Trotzdem können Fehler aufgetreten sein; es gibt keine Gewähr für die Richtigkeit. Daher haftet der Verfasser auch nicht für Maßnahmen und die Folgen von Maßnahmen, die aus den hier getroffenen Aussagen abgeleitet werden.

Es wird teilweise von Energieerzeugung und -generierung gesprochen, es handelt sich natürlich immer um Energieumwandlungen. Des Weiteren sind die Begriffe Strom und elektrische Energie aus Gründen der besseren Verständlichkeit – nicht ganz exakt – weitgehend synonym verwendet worden.

CO₂-neutral bzw. CO₂-frei bezieht sich in der Mehrzahl der Fälle auf Vorgänge und den Betrieb von Einrichtungen und Anlagen, eventuelle Emissionen bei deren Herstellung bzw. Verschrottung sind zumeist nicht berücksichtigt worden.



Energiekrise als Klimachance?

Prof. Dr.-Ing. Martin Freitag
Livestream 23.3.2023

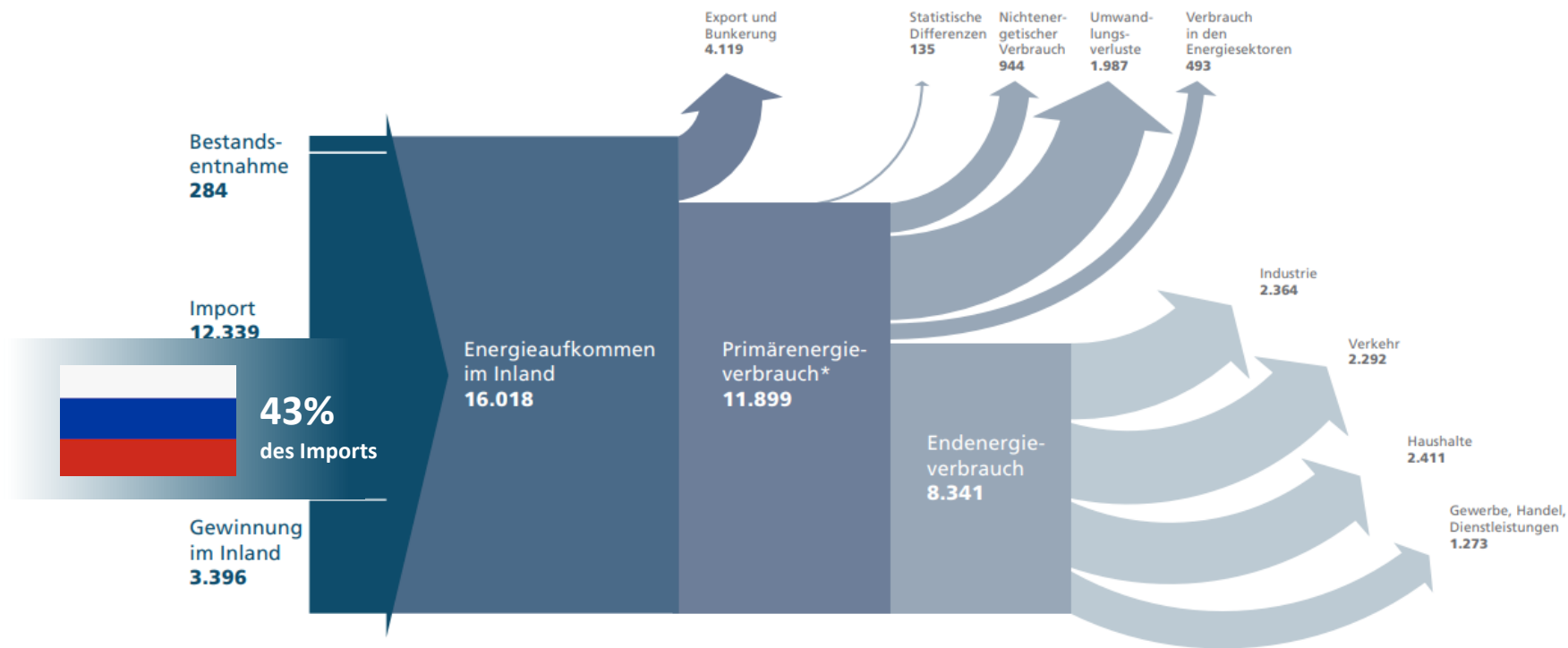
- 1 Analyse der Energiekrise - wieviel Energie kam aus Russland
- 2 Lösungsmöglichkeiten
- 2A Wasserstoff ist nicht die Lösung
- 3 Welche Aspekte sind wichtig?
- 4 Auf erneuerbare Energien setzen heißt Umdenken
- 5 Zusammenfassung

1 Analyse der Energiekrise - wieviel Energie kam aus Russland?



Energieflussbild Deutschland (2020)

Analyse der Krise



Der Anteil der erneuerbaren Energieträger am Primärenergieverbrauch liegt bei 16,5 %.
 Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
 * Alle Zahlen vorläufig/geschätzt.
 29,3 Petajoule (PJ) $\hat{=}$ 1 Mio. t SKE
 Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 09/2021

...und CO₂-neutral bis 2050

Importe ges.:

Jahr	2020
Erdöl	5.149 PJ
Erdgas	5.368 PJ
Kohle	1.096 PJ
gesamt	12.339 PJ

davon aus Russland:

Habeck 2022:	2020	
35% d. Erdöls	1.802 PJ	
55% d. Gases	2.952 PJ	83 Mrd Nm ³ /a
50% d. Kohle	548 PJ	
	5.302 PJ	43% der Importe

Ein Drittel des deutschen Energieaufkommens stammte 2020 aus russischen Primärenergieträgern

Regenerative Energieträger - Situation Anfang 2022

Zusammenfassung

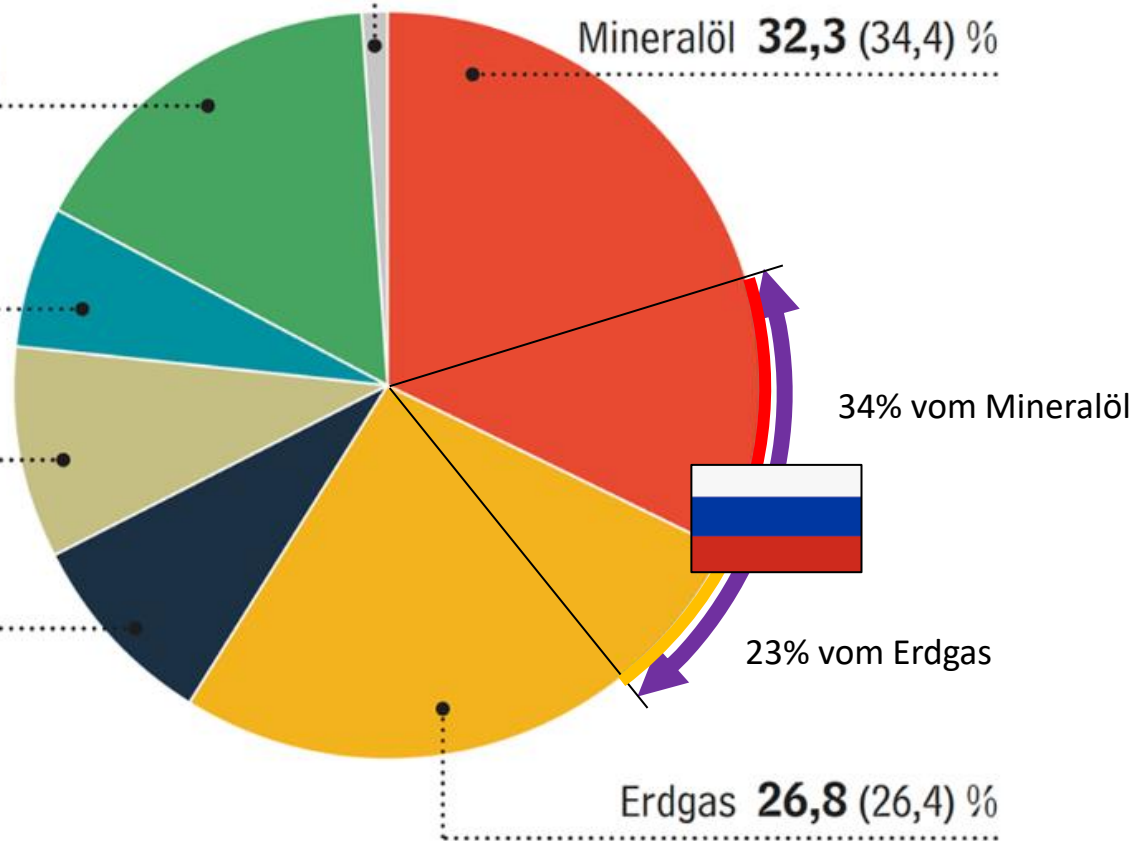
Sonstige einschließlich
Stromausgleichssaldo **1,1** (1,2) %

Erneuerbare **15,9** (16,5) %

Kernenergie **6,1** (5,9) %

Braunkohle **9,2** (8,1) %

Steinkohle **8,5** (7,5) %



2021; Angaben in PJ bzw. %

Quelle AG Energiebilanzen (AGEB), Stand: 2021

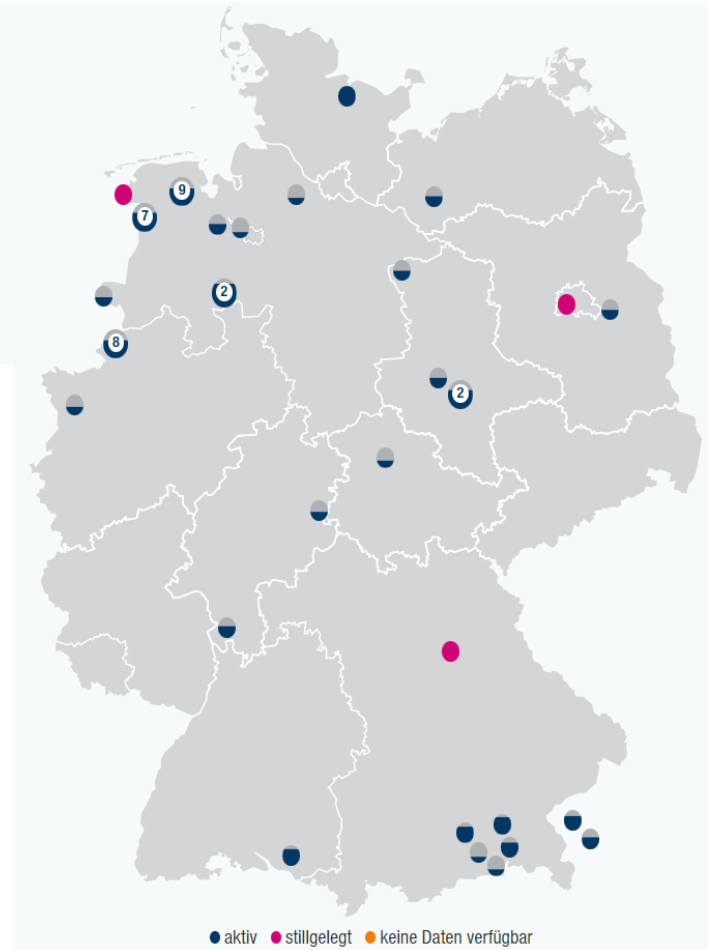
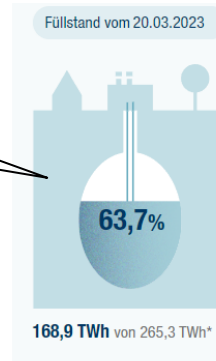
<https://ag-energiebilanzen.de/ag-energiebilanzen-legt-bericht-fuer-2021-vor/#:~:text=Berlin%20%E2%80%93%20Der%20Energieverbrauch%20in%20Deutschland,%C3%BCber%20dem%20Wert%20von%202020.>

Sparen

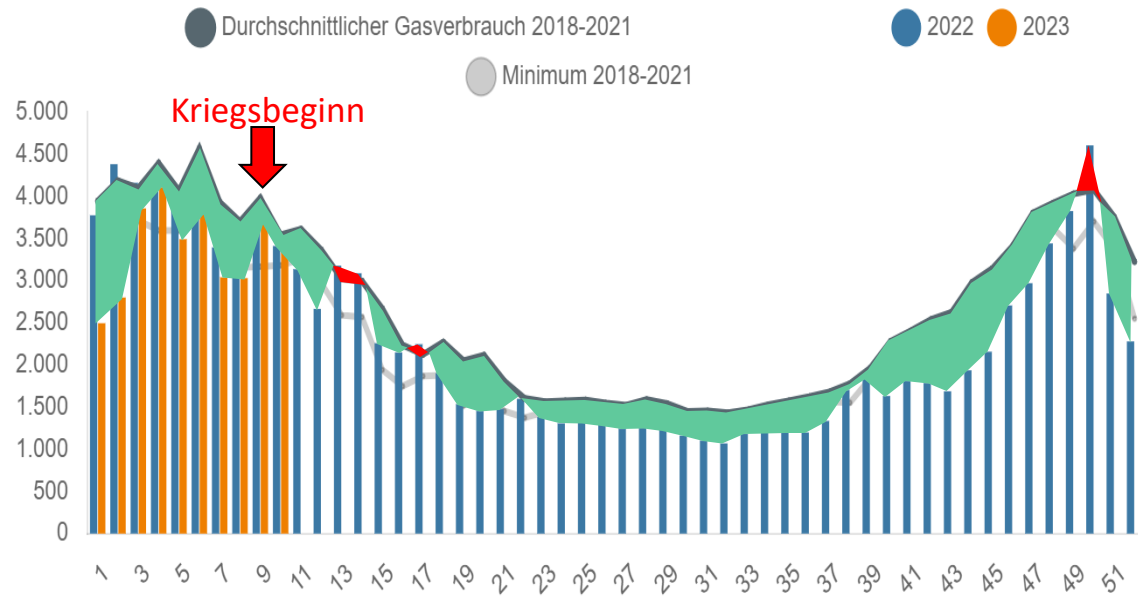
Analyse der Krise

Jeder versteht jetzt die notwendige saisonale Speicherung

Daten vom 20.3.23

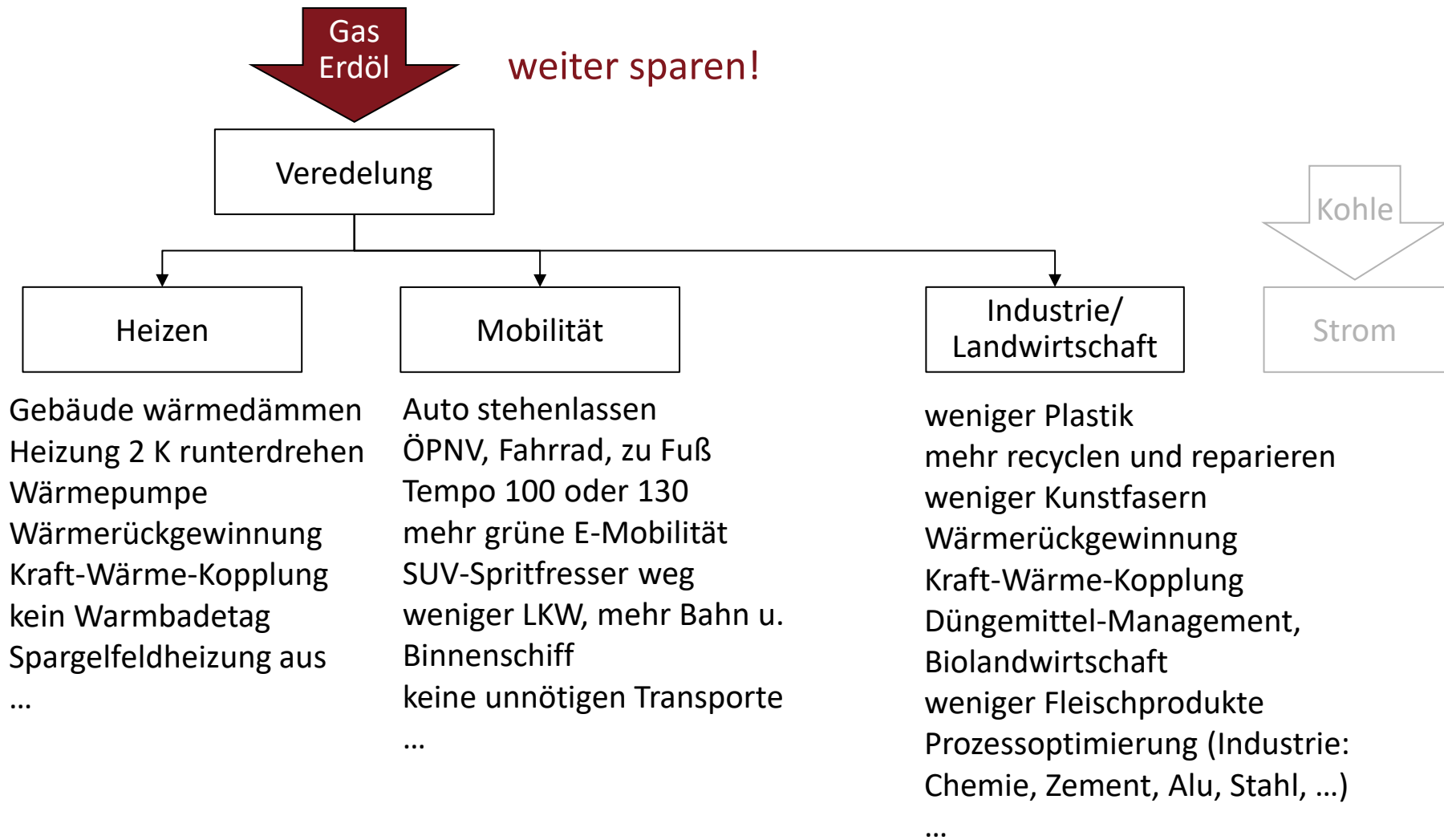


Gasverbrauch in Deutschland in GWh/Tag, wöchentlicher Mittelwert



Die Krise hat uns zum Sparen gezwungen. Das Umschwenken auf Alternativen wurde beschleunigt.

<https://www.dvgw.de/themen/sicherheit/versorgungssicherheit-gas/uellstaende-der-gasspeicher-fuer-deutschland-mit-reichweitenprognose/#/2023-03-20>
https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Gasversorgung/aktuelle_gasversorgung/_svg/Gasverbrauch_Gesamt_woechentlich/Gasverbrauch_Gesamt_W_2023.html?nn=1077982



Sparen hilft immer; verkleinert den Teil, der ersetzt werden muss

2 Lösungsmöglichkeiten (jenseits von russischem Erdgas)

Andere Lieferanten für fossile Energieträger

Lösungen

Öl

Herkunft, Transportwege und Infrastruktur

Alternativen: Saudi-Arabien, USA, ...

Transport mehr per Tanker (effizient), nicht Pipelines

Terminals in NL, Veredelung, dann Pipelines nach D

Eigenschaften und Besonderheiten

bei Normaldruck und Normaltemperatur flüssig
sehr einfach zu speichern (Öltanks)

keine nennenswerten Verluste bei Speicherung und
Transport

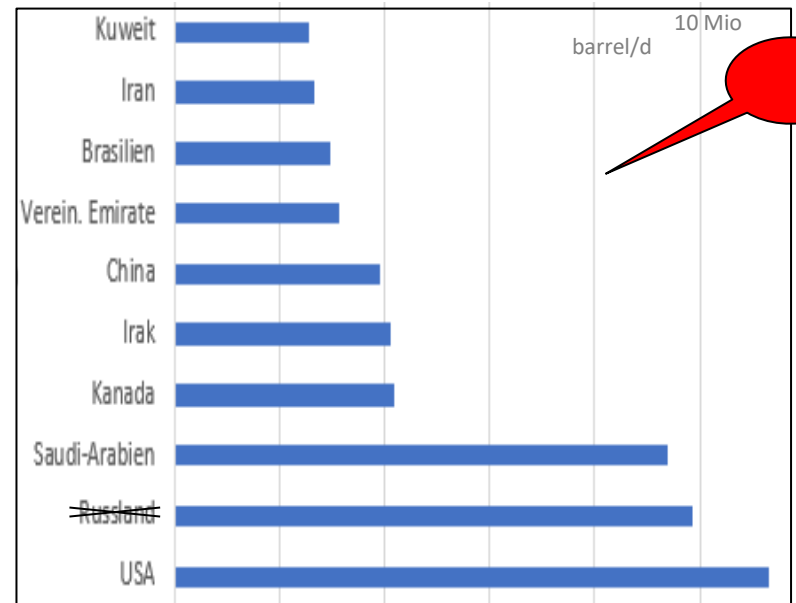
Bemerkungen

fossiler Energieträger, nicht CO₂-neutral

Transport und Verteilung nicht umweltneutral

Havarien und Ölpest möglich

Abhängigkeit bleibt erhalten



Andere Lieferanten für fossile Energieträger

Lösungen

Erdgas aus Deutschland (mit Fracking?)

Herkunft, Transportwege und Infrastruktur

vorhandene Lager in D,
Erdgasnetz und Speicher vorhanden,
neue Erdgasfelder erschließen: (im Koalitionsvertrag ausgeschlossen)

KLIMASCHÄDLICH

Eigenschaften und Besonderheiten

wie russisches Erdgas
Transport und Verteilung im Pipelinenetz in D

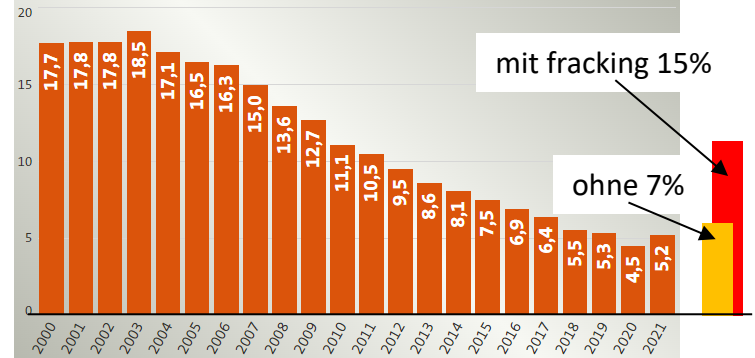
Bemerkungen

Gewinnung und Verteilung nicht umweltneutral
fossiler Energieträger, nicht CO₂-neutral, Treibhausgas,
Fracking als umweltschädlich extrem umstritten

Abhängigkeit bleibt erhalten, zu wenig! (7 bzw. 15%)



Erdgasförderung in Deutschland
In Milliarden Kubikmeter pro Jahr



Quelle: BP, BVEG

<https://www.tagesschau.de/wirtschaft/erdgasfoerderung-deutschland-101.html>

20.4.2022

Andere Lieferanten für fossile Energieträger

Lösungen

LNG - Liquefied Natural Gas (CH₄)

Herkunft, Transportwege und Infrastruktur

Alternativen: Katar, Norwegen, USA

Terminals in NL (F, I), Durchleiten nach D möglich

Terminals in D im Bau und in Planung

Eigenschaften und Besonderheiten

-162°C bei Normaldruck (1/600stel des Volumens)

Aufwand f. Verflüssigung 10...15% des Energiegehaltes

Boil-off (recyclen oder kühlen [Energieaufwand])

Boil-off-Rate (25°C): 0,03 Vol% pro Tag

Explosionsgefahr

austretendes Gas schwerer als Luft

Kälte: Materialversprödung, Verbrennungsgefahr

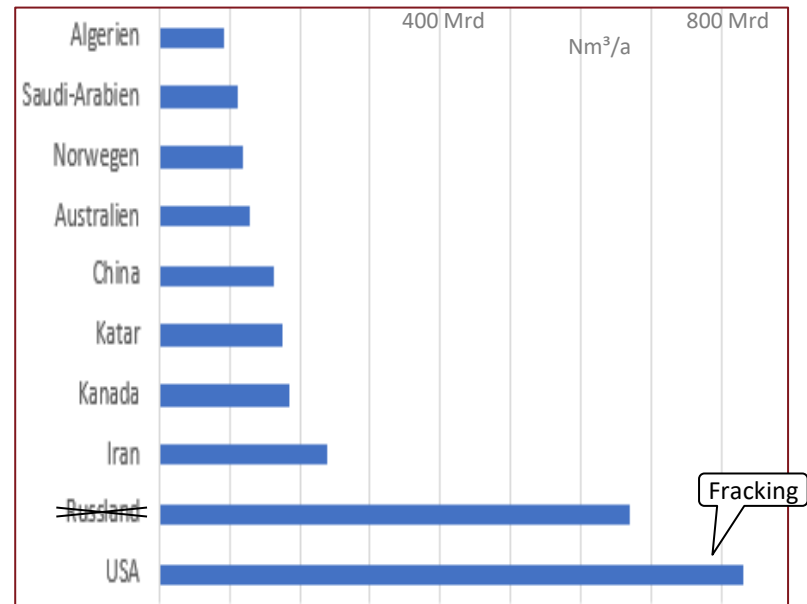
Bemerkungen

Produktionsüberschüsse seit 2015, teuer;

Transport und Verteilung nicht umweltneutral

fossiler Energieträger, nicht CO₂-neutral, Treibhausgas

Abhängigkeit bleibt erhalten



Liquefied Ammonia (NH₃)

Herkunft, Transportwege und Infrastruktur

Kanada(Vertrag), Norwegen

Veredelung aus grünem Strom vor Ort

Anlagen, Transport und Verteilungsstruktur nicht in nennenswertem Umfang verfügbar, in Planung

Eigenschaften und Besonderheiten

flüssig bei -33°C bei Normaldruck (bei 9 bar: 20°C)

Aufwand Verflüssigung 8...10 kWh/kg (E-Dichte NH₃: 5,2kWh/kg)

einfach zu lagern und zu transportieren

giftig

kein Treibhausgas; bei motor. Verbrennung Stickoxide

sehr gut wasserlöslich

Chemie: Ausgangsstoff z. B. für Düngemittel, DeNO_x

Kältemittel, Wasserstoffträger (17,8 Masse%)

Bemerkungen

weltweite Produktion 140 Mio t (2020)

Stickstoffkreislauf

nur CO₂-neutral, wenn aus grünem Strom

Abhängigkeit bleibt erhalten



<https://www.en-former.com/ist-ammoniak-die-zukunft-der-schifffahrt/>

z. B. aus Kanada, Katar



LH2 - Liquefied Hydrogen (H₂)

Herkunft, Transportwege und Infrastruktur

(Nord-)Afrika, Nahost

Veredelung aus grünem Strom vor Ort

Anlagen, Transport und Verteilungsstruktur nicht in nennenswertem Umfang verfügbar, in Planung

Eigenschaften und Besonderheiten

-253°C bei Normaldruck (1/800stel des Volumens)

Aufwand f. Verflüssigung 10..13 kWh/kg (E-Dichte H₂: 33kWh/kg)

Boil-off (recyclen oder kühlen [Energieaufwand])

Boil-off-Rate (25°C): 0,07 Vol% pro Tag *)

hohe Explosionsgefahr (weite Zündgrenzen)

Wasserstoffversprödung (Metalle)

Kälte: Materialversprödung, Verbrennungsgefahr

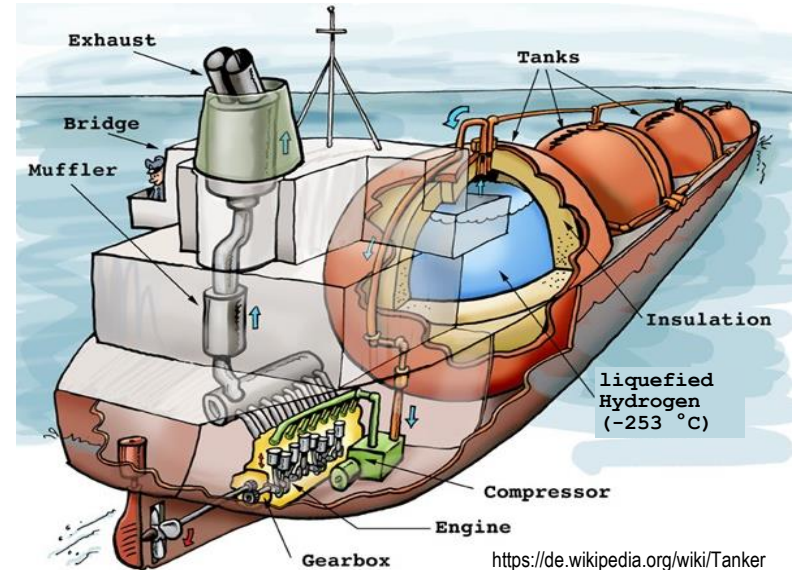
*) https://www.energy.gov/sites/default/files/2018/07/f53/fcto_webinarslides_boil_off_losses_062618.pdf

Bemerkungen

noch keine nennenswerte Produktion

nur CO₂-neutral, wenn aus grünem Strom

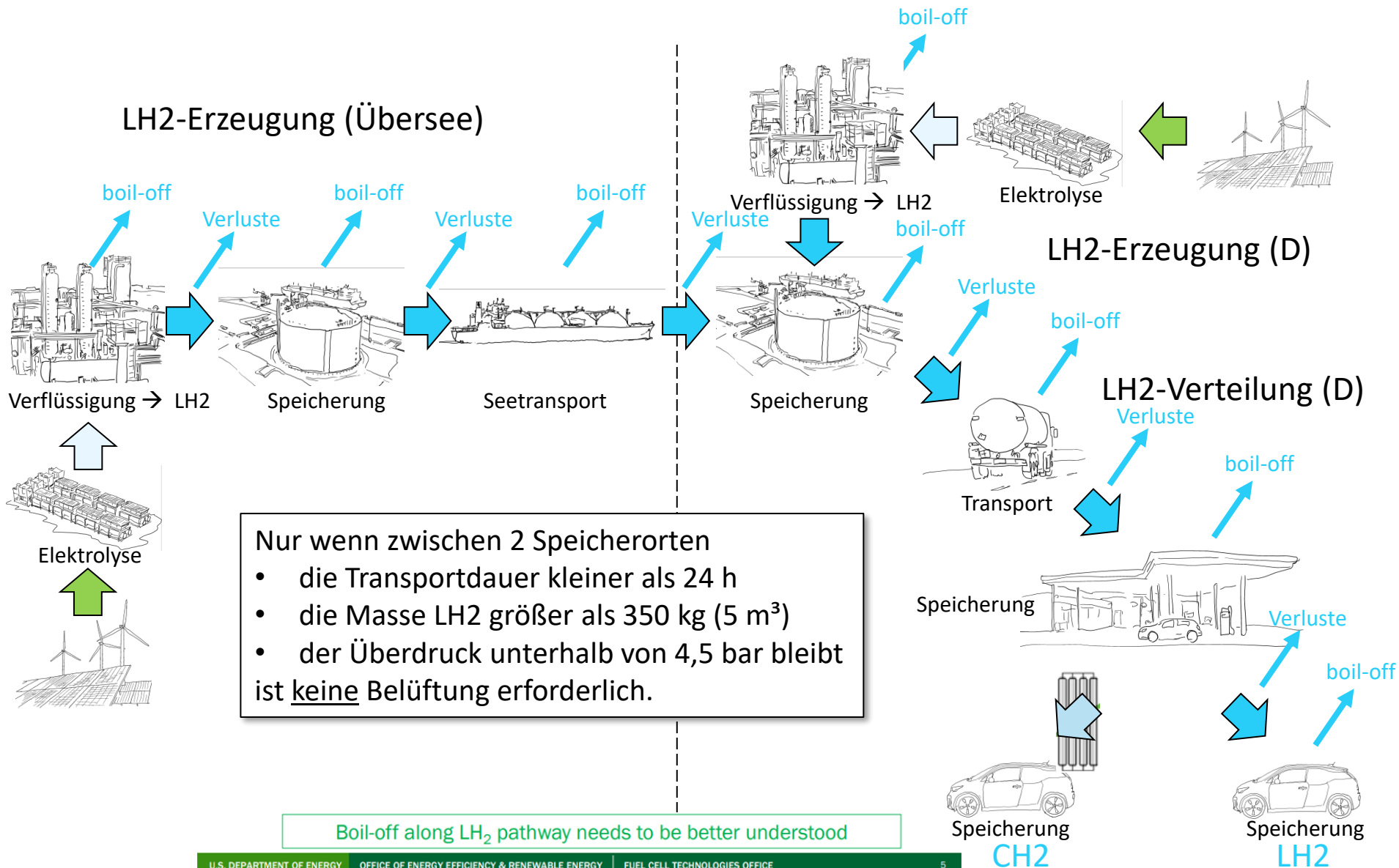
Abhängigkeit bleibt erhalten



2A Einschub: Wasserstoff ist nicht die Lösung

Boil-off-Verluste bei Speicherung und Transport von Flüssigwasserstoff (LH2)

Wasserstoff nicht



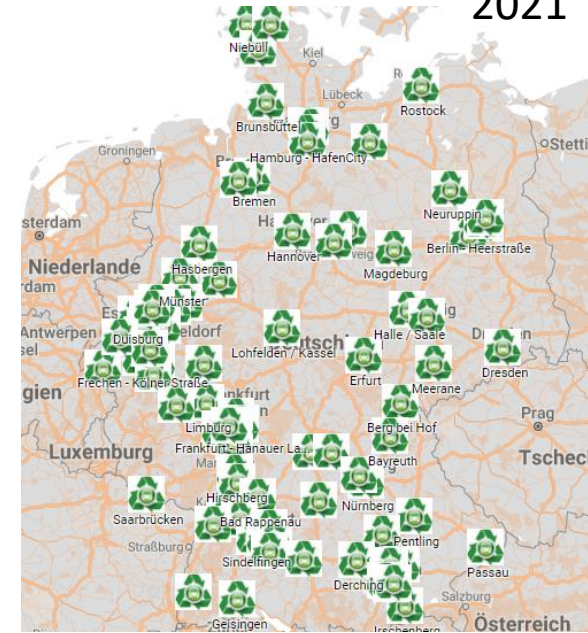
Randbedingungen und Eigenschaften von Wasserstoff

Wasserstoff nicht

- keine ausreichende Infrastruktur (kein Versorgungsnetz)
- Kosten und Genehmigungsverfahren bei Infrastrukturaufbau
- wenig Langzeit-Erfahrungen mit LH2 bzw. CH2 (1200 bar)
- Verluste 23..28% bei Kühlung auf -253°C (20K)
- boil-off (hoher Aufwand boil-off-Recycling bzw. Kühlung)
- Verluste 12...15% bei Kompression auf z.B. 1200 bar
- bekannte und ungeklärte Materialprobleme
- Sicherheitsaspekte

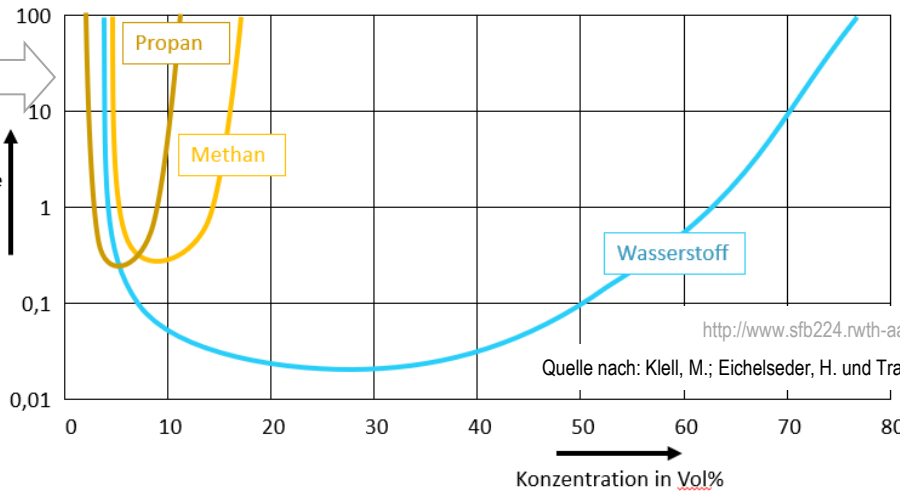
<https://www.glpautogas.info/data/hydrogen-stations-map-germany.html>

2021



Pkw-Zündkerze:
 $W_{\text{therm}} = 10..50 \text{ mJ}$

Zündenergie
in mJ



http://www.sfb224.rwth-aachen.de/Kapitel/pdf/kap3_2.pdf

Quelle nach: Klell, M.; Eichelseder, H. und Trattner, A: "Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik", Springer Vieweg 2018

H₂ und CH₄ in
der oberen
Atmosphäre...

<https://www.iwm.fraunhofer.de/de/warum-fraunhofer-iwm/loesungen-fuer-produktlebenszyklus/wasserstoff/faq.html> Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik, FAQ zu Wasserstoff

Welcher hochfeste Werkstoff ist für Wasserstoffanwendungen geeignet?

Generell können alle Stähle, unabhängig von ihrer Festigkeit, einer Schädigung in gasförmigem Wasserstoff unterliegen. Uns ist kein hochfester Werkstoff bekannt, der keine Schädigung durch gasförmigen Wasserstoff zeigt.

2 Lösungsmöglichkeiten (Fortsetzung) (jenseits von russischem Erdgas)

taz  **archiv**

5.4.2022

A Windrad a day keeps Putin away

„Eile geboten“: Klimaminister Habeck und Umweltministerin Lemke forcieren den Ausbau der Windkraftanlagen in Deutschland, um schneller unabhängig von russischer Energie zu werden – auch wenn Windräder im Wald neue Probleme schaffen

4–5, 8

<https://www.youtube.com/watch?v=g4WGrrAG5MM>

Veredelung von grünem Strom aus D

Herkunft, Transportwege und Infrastruktur

aus D durch Veredelung aus grünem Strom vor Ort
(Windpark bzw. Solarfeld)
Transport und Verteilung über vorhandene
Infrastruktur wie Öl- und Gaspipelines + Speicher

Eigenschaften und Besonderheiten

hohe Volatilität, täglich/stündlich sowie saisonal

Strom möglichst direkt verbrauchen (z.B. auch heizen)
überschüssigen grünen Strom veredeln:

Schritt 1: Elektrolyse → Wasserstoff

Schritt 2: Methanisierung → Methan (PtG)

Transport und Speicherung wie Erdgas heute

Schritt 2a: Methanolisierung → Methanol (PtL)

Transport und Speicherung wie flüssige Kraftstoffe heute

Bemerkungen

CO₂-neutral

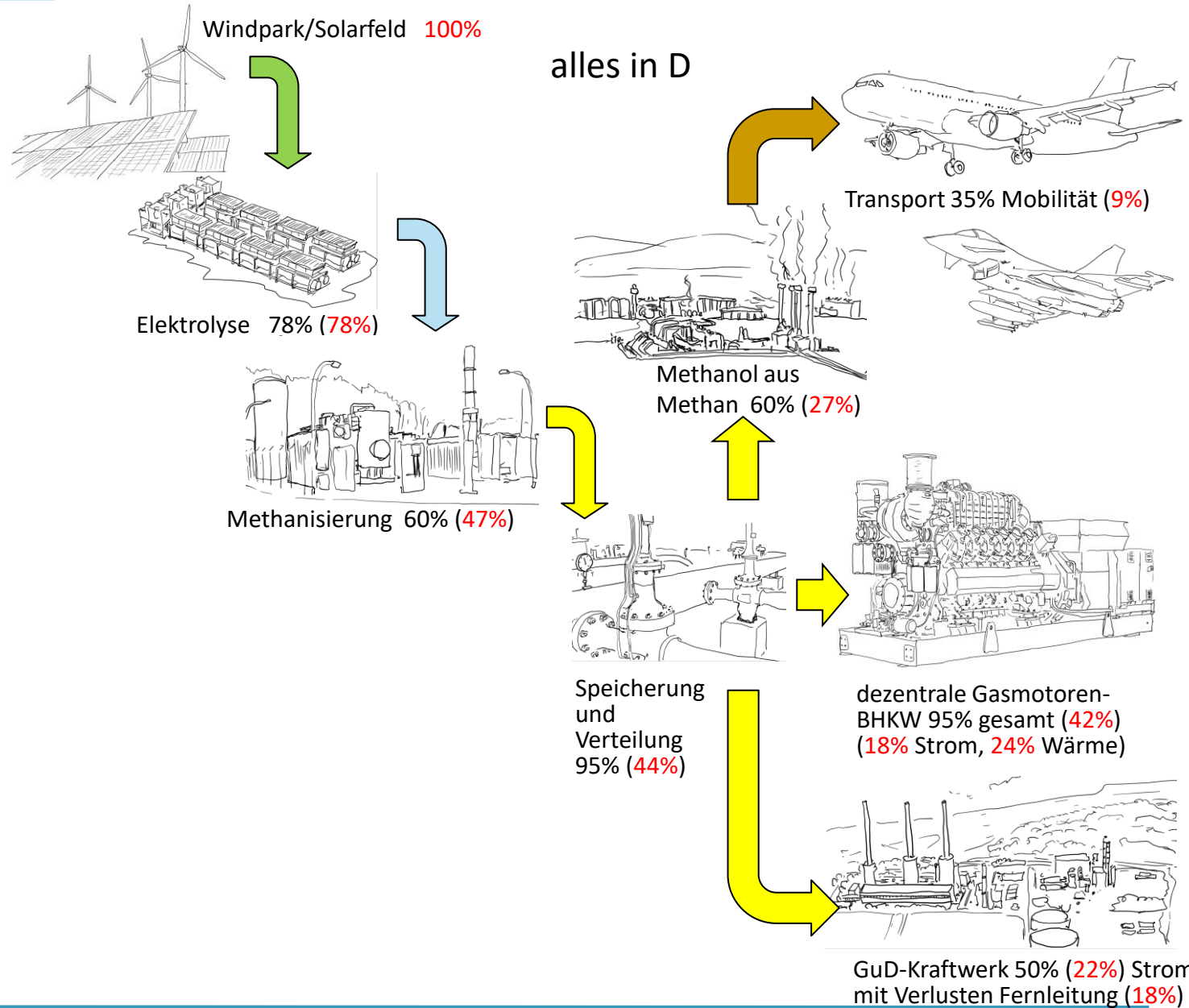
heute noch keine nennenswerte Produktion

keine Abhängigkeit offensichtlich wichtiger denn je!



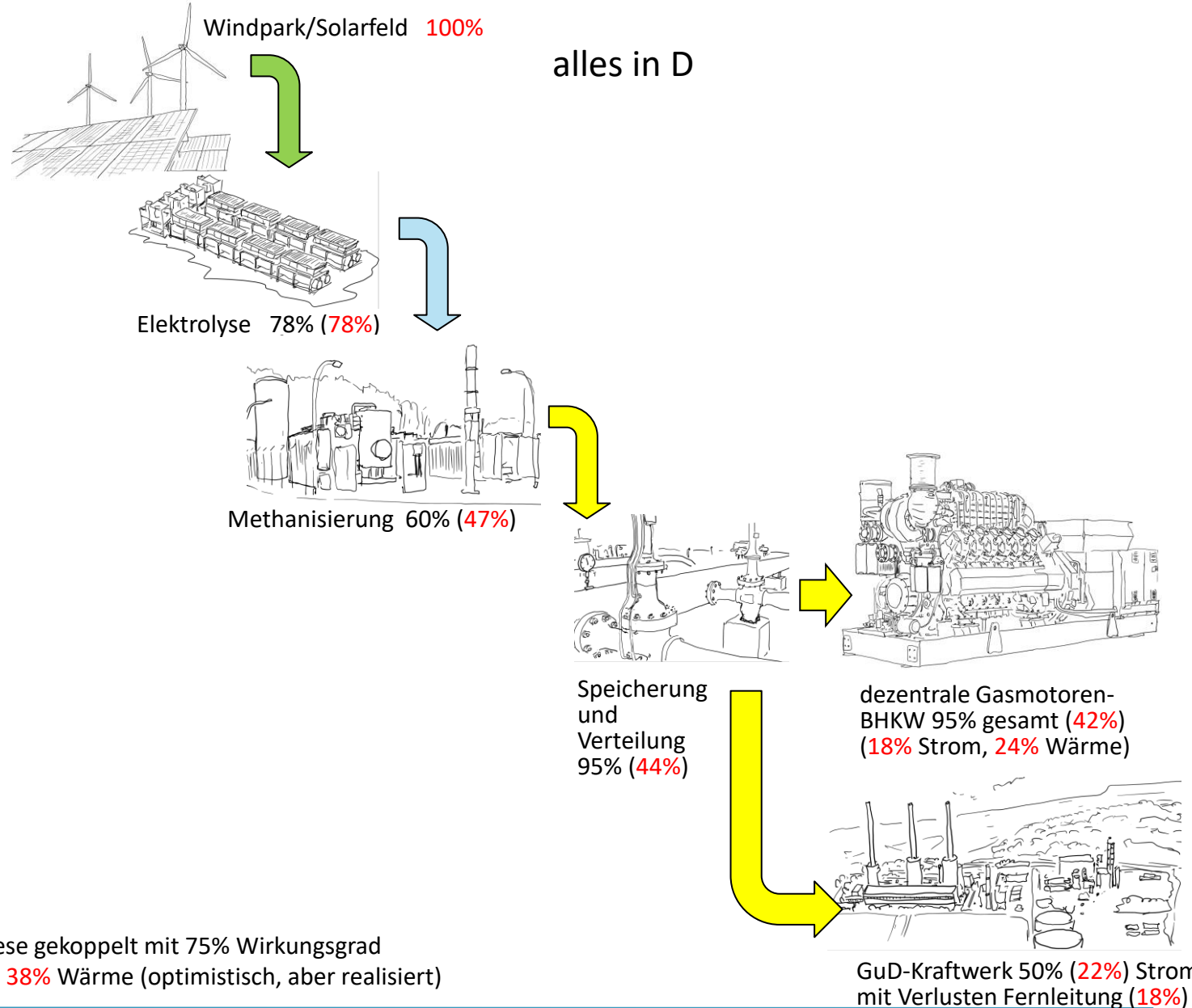
Alles aus D – autark → synthet. Methan im Erdgasversorgungsnetz

Lösungen



Alles aus D – autark → synthet. Methan im Erdgasversorgungsnetz

Lösungen

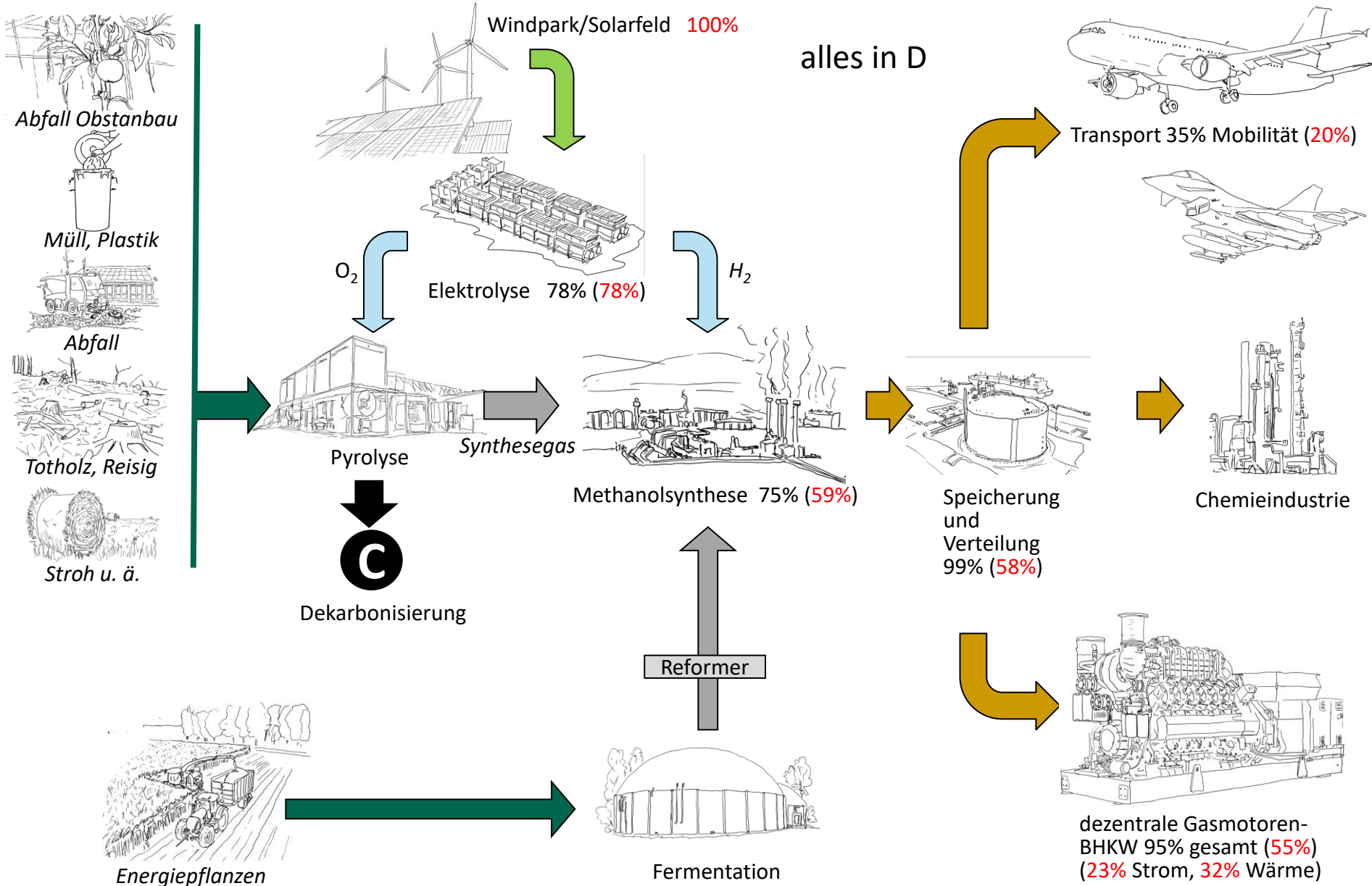


Literatur:

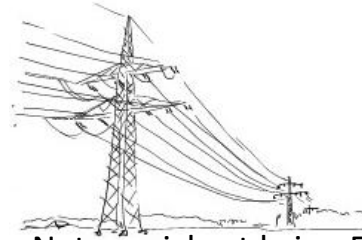
Elektrolyse und Methansynthese gekoppelt mit 75% Wirkungsgrad am BHKW 67% → 29% Strom, 38% Wärme (optimistisch, aber realisiert)

Alles aus D – autark → synthet. Methanol für Kraftstoffe und Chemieindustrie

Lösungen



3 Welche Aspekte sind wichtig?



Das elektrische Netz speichert keine Energie



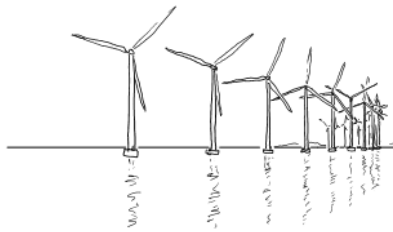
2...3 offshore Windparks

„Wenn 3 Windparks eingerichtet werden, muss
(falls Flaute ist)
ein Wärmekraftwerk vorgehalten werden“ → FALSCH!

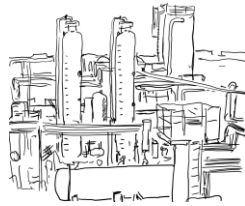


ein 1-GW-Wärmekraftwerk
zentral ohne KWK

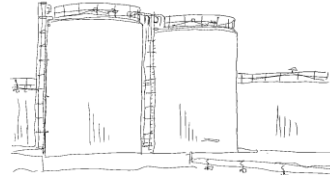
Uran? Kühlung? Vulnerabilität?



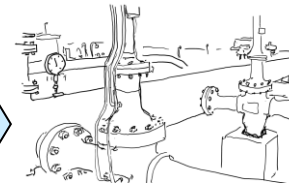
2...3 offshore Windparks



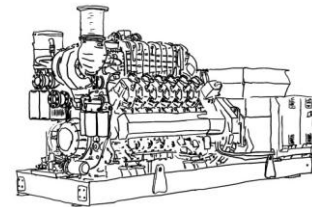
Veredelung (PtX)



Energie speichern
(kurzfristig u. saisonal)



Transport u. Verteilung



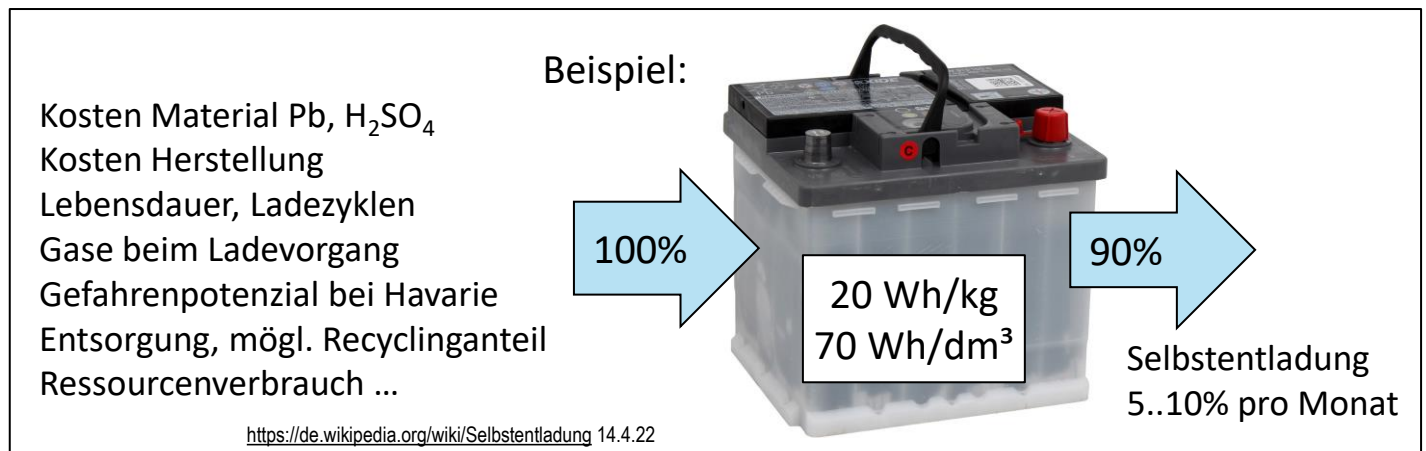
dezentrale BHKW
mit KWK

Verfahren zur Energiespeicherung und Dezentralität
sind die Schlüssel für die Energiewende

Wichtige Parameter für Energieversorgungs-Systeme

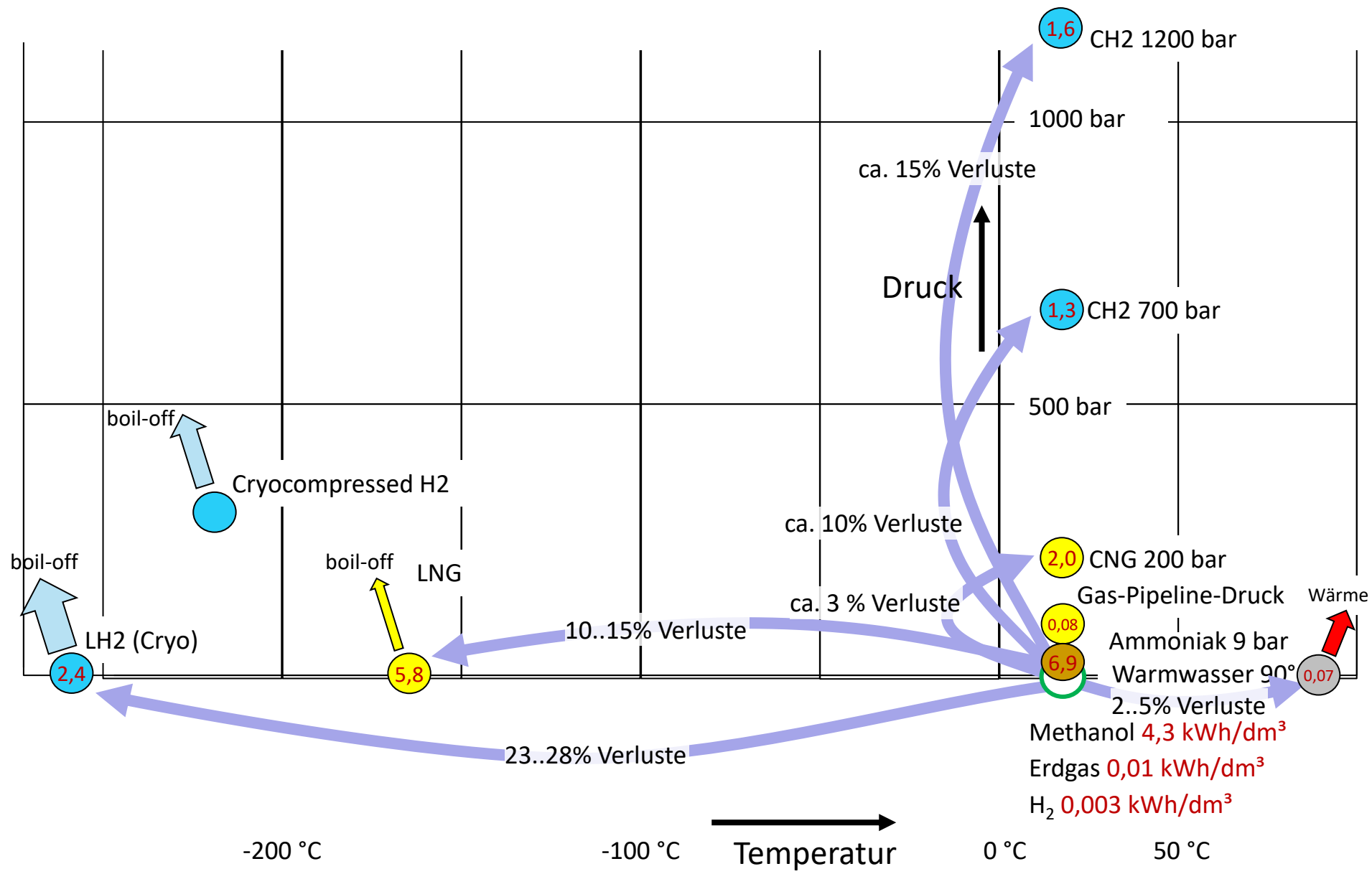
Was ist wichtig?

- Verfügbarkeit (Ukraine-Krieg; Unabhängigkeit)
- CO₂-Neutralität (keine fossilen Energieträger)
- Mengenstrom (Bedarfserfüllung, zeitliche Verteilung [über das Jahr])
- Energiedichte (volumetrisch/gravimetrisch)
- Wirkungsgrade der Energiewandlungsschritte
- Wirkungsgrad des Transports
- „Wirkungsgrad“ der Speicherung (Ausspeichern/Einspeichern) incl. Verteilung
- mögliche Dauer der Speicherung
- Geschwindigkeit der Energiespeicherung und -freisetzung (wichtig für Netzstabilität)
- Kosten (HK/Investitionen, Transport, Gebrauch, Recycling, Entsorgung)
- erforderliche Infrastruktur incl. Kosten für Einrichtung und Betrieb
- Folgen für Mensch und Umwelt



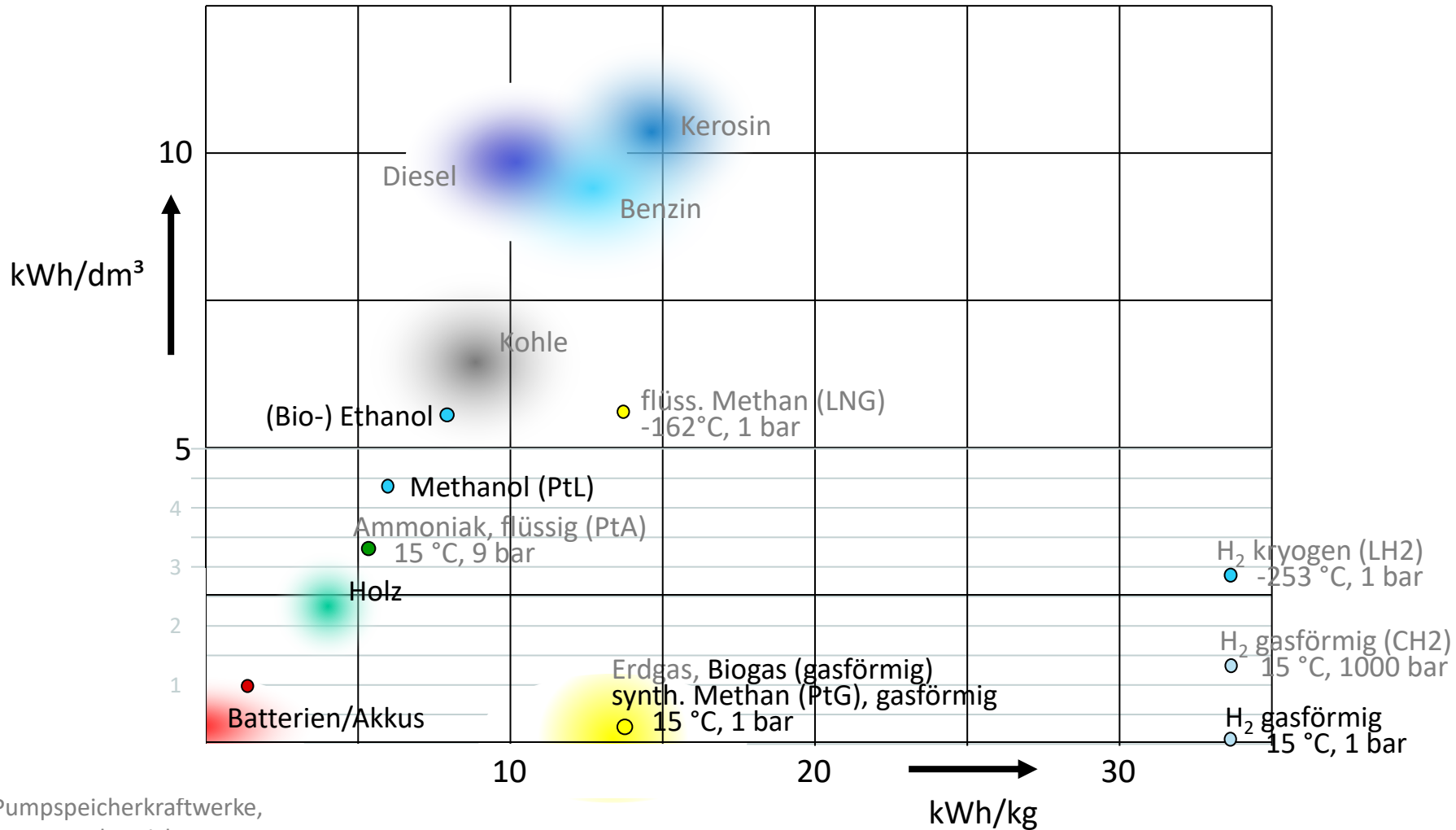
Parameter im Überblick – bei Umgebungstemperatur: Realgasfaktor

Was ist wichtig?



Energiedichte verschiedener Energieträger 1

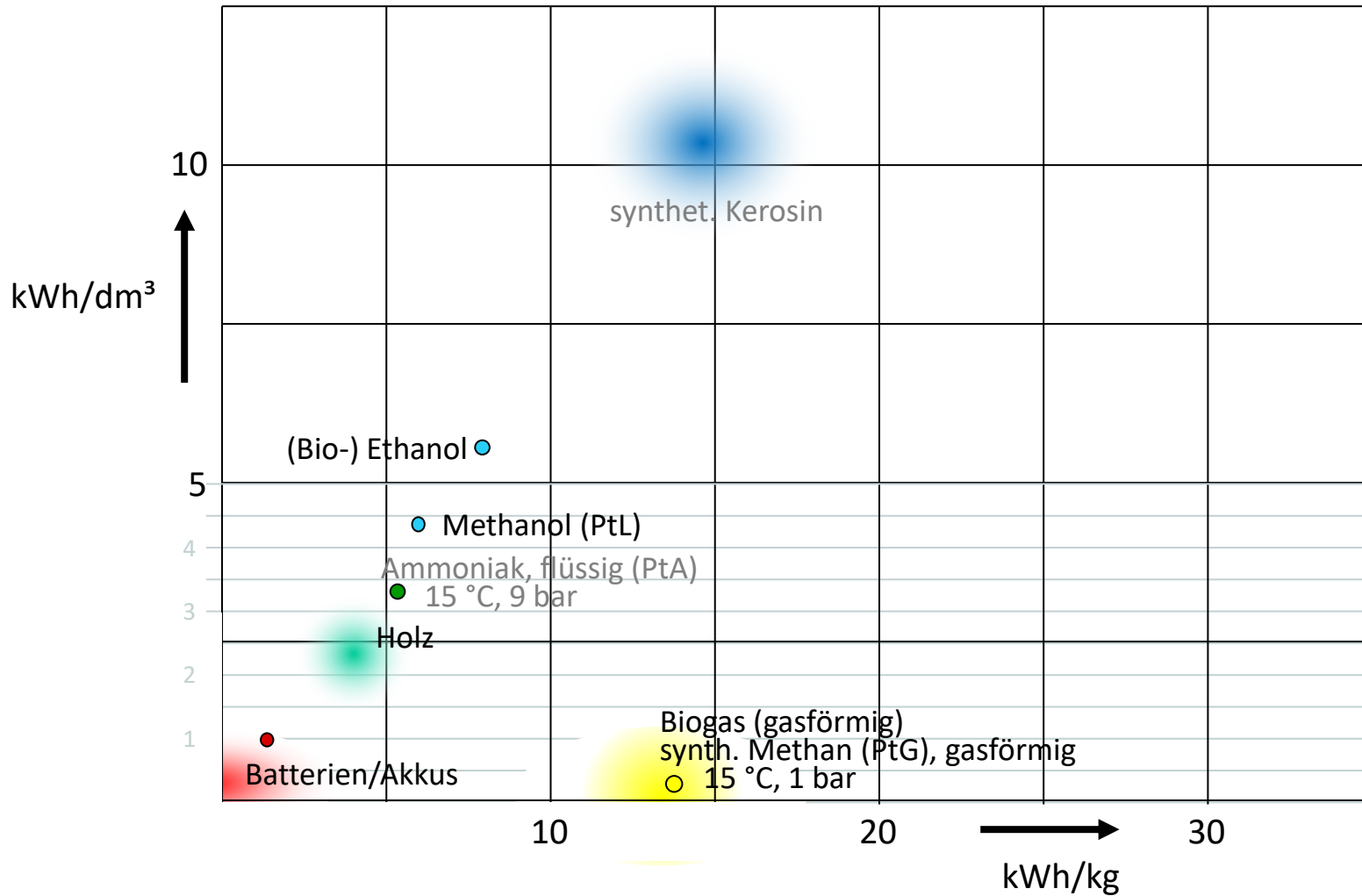
Was ist wichtig?



Pumpspeicherkraftwerke,
Druckspeicher,
Schwungradspeicher,
Superkondensatoren
hier nicht sinnvoll

Energiedichte verschiedener Energieträger 2

Was ist wichtig?

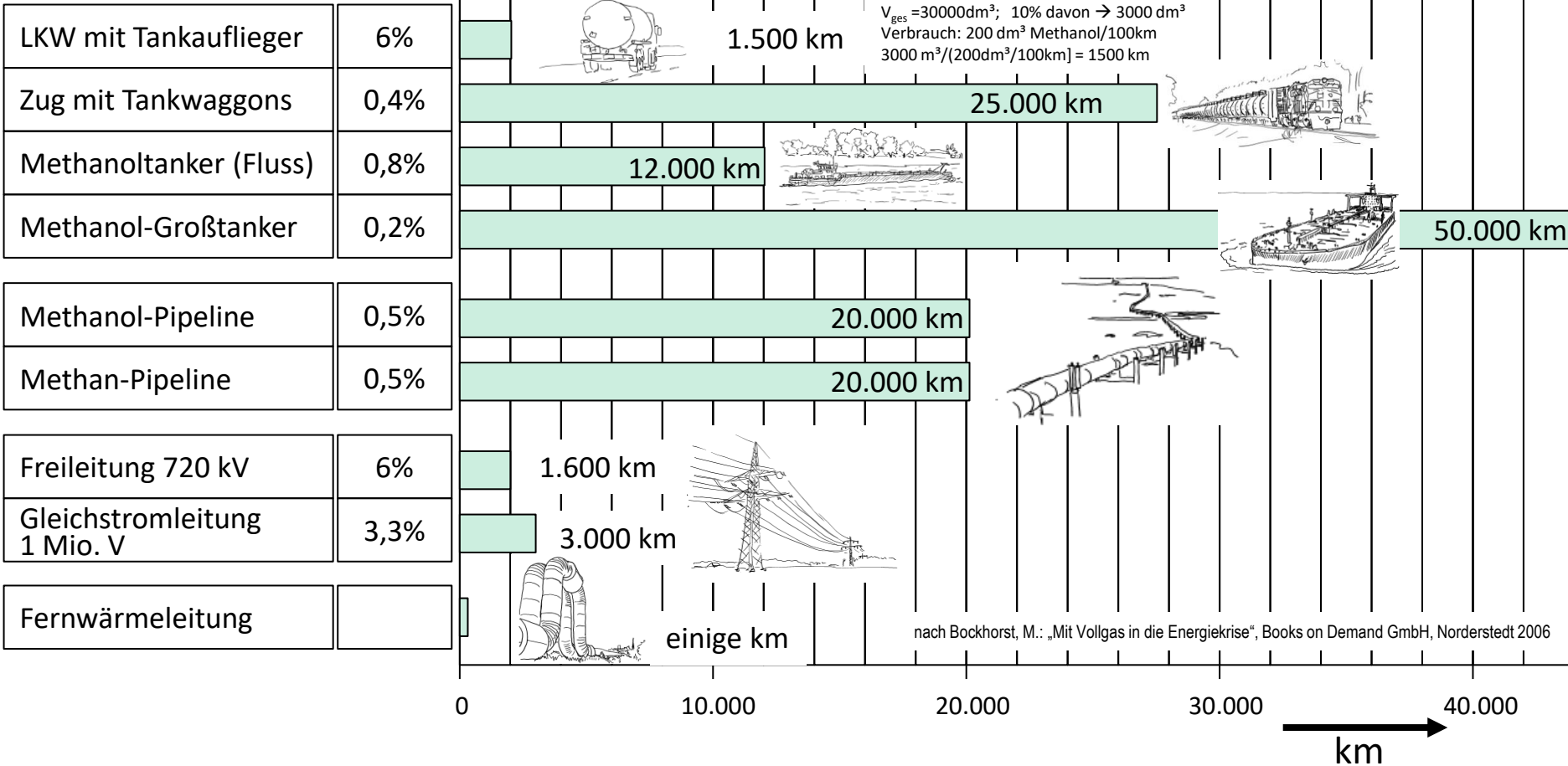


Verluste verschiedener Energietransport-Lösungen

Was ist wichtig?

Reichweite bei 10% Verlust der transportierten Energie

Verluste auf
1000 km

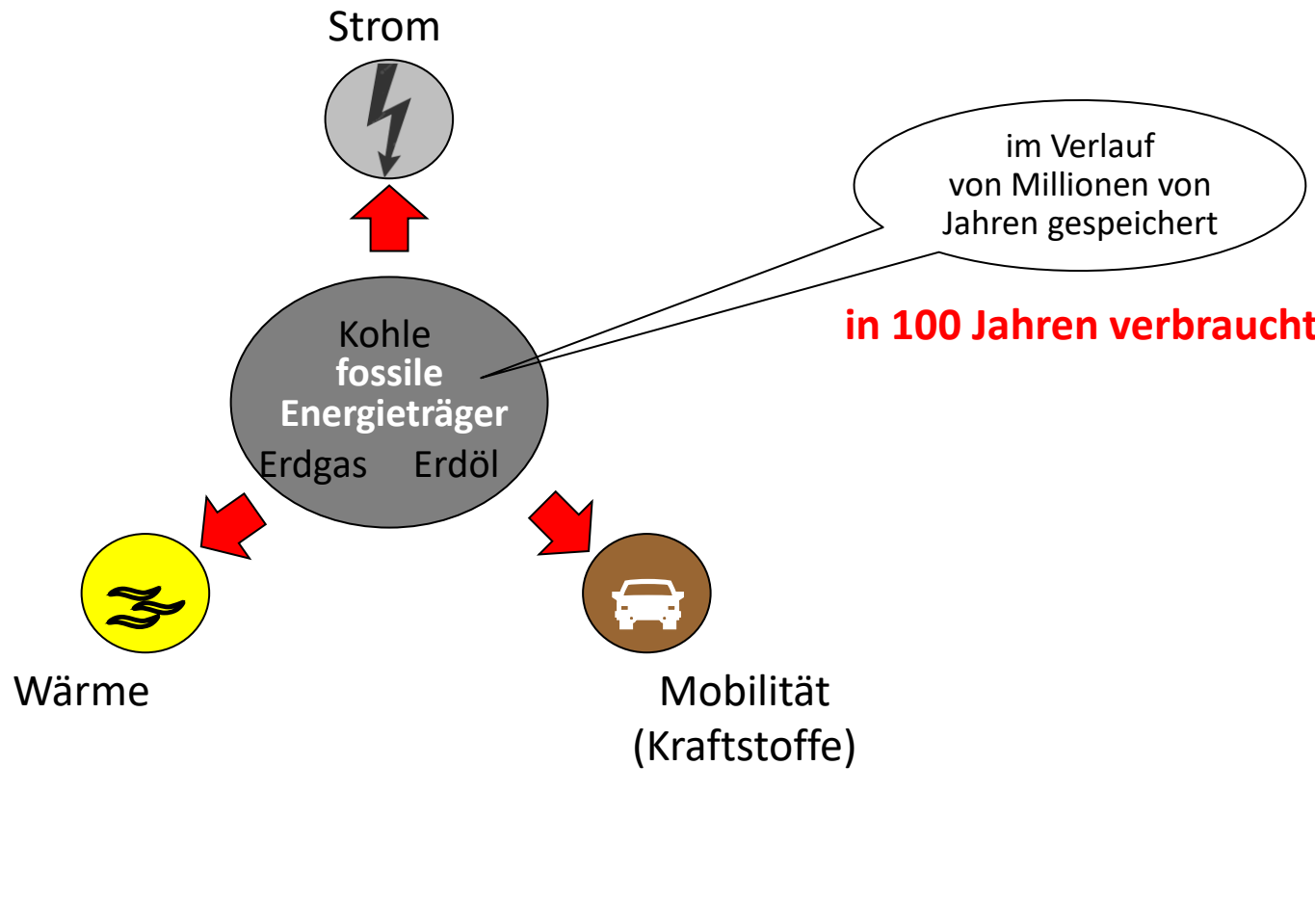


besser (synthet.) Methan oder Methanol über
das Pipelinenetz als Strom über „Stromautobahnen“

4 Auf erneuerbare Energien setzen heißt Umdenken

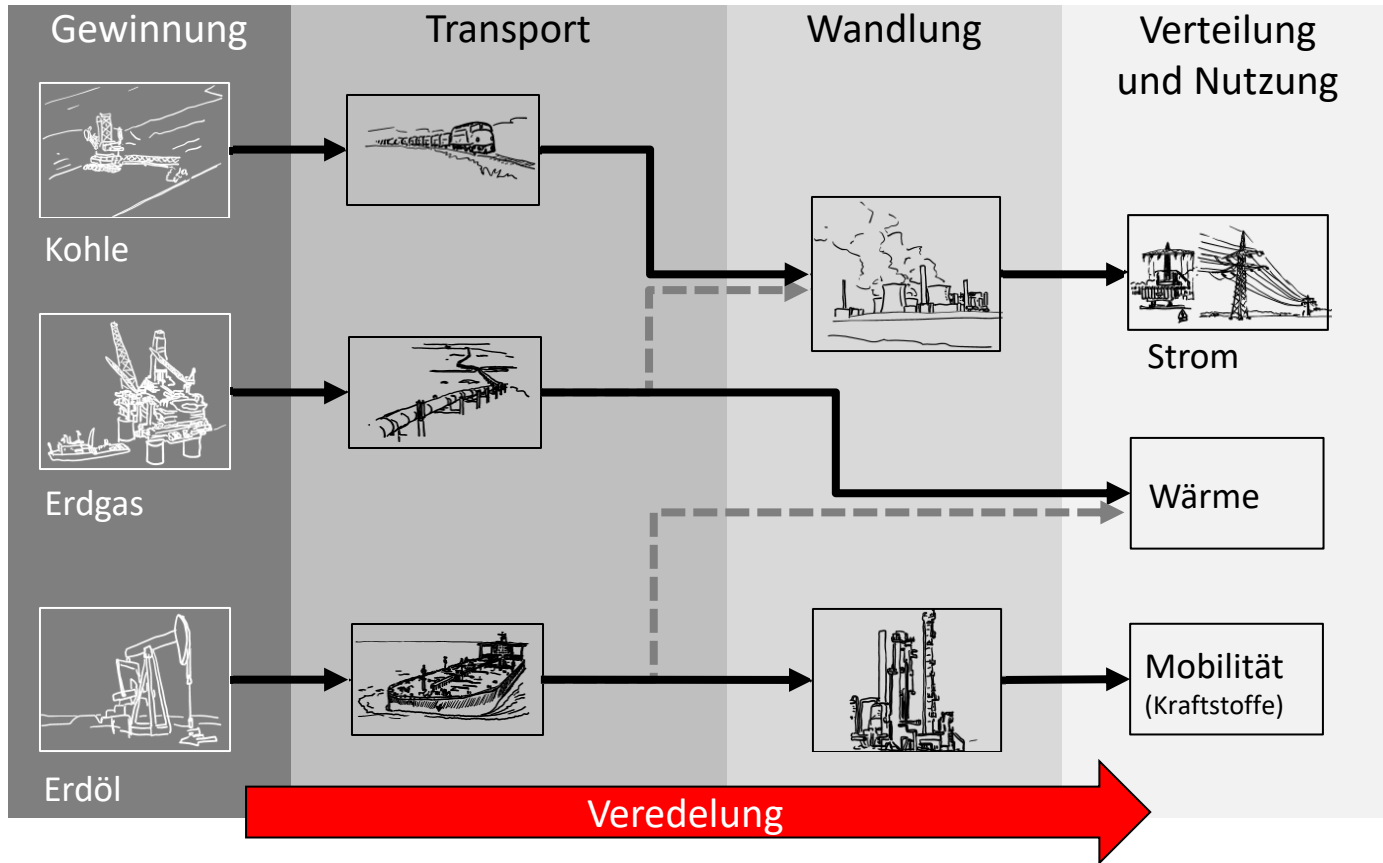
Fossile Energieträger als Basis der Energiewirtschaft

Umdenken!



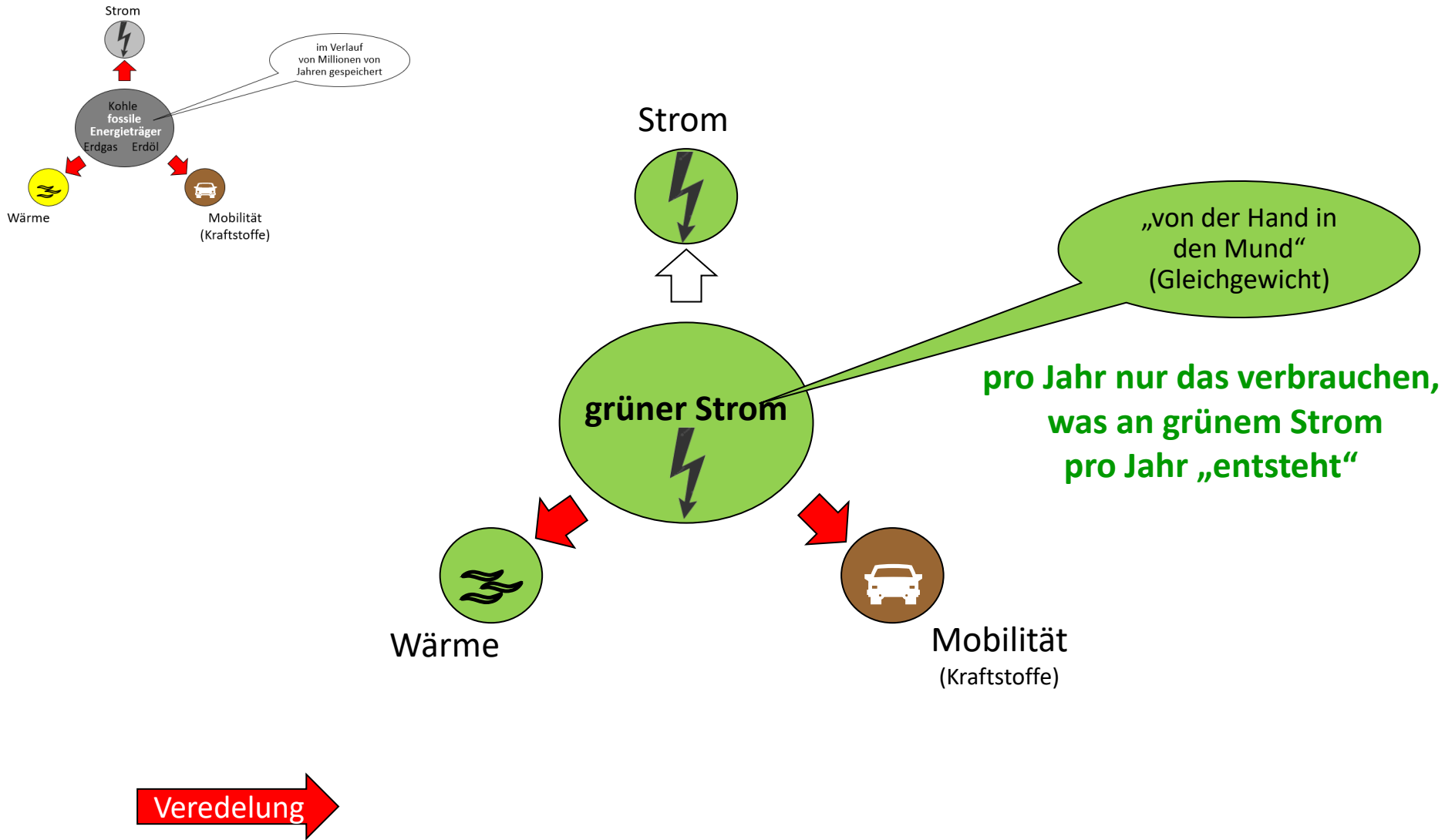
Fossile Energieträger: Energiewandlung und -veredelung

Umdenken!



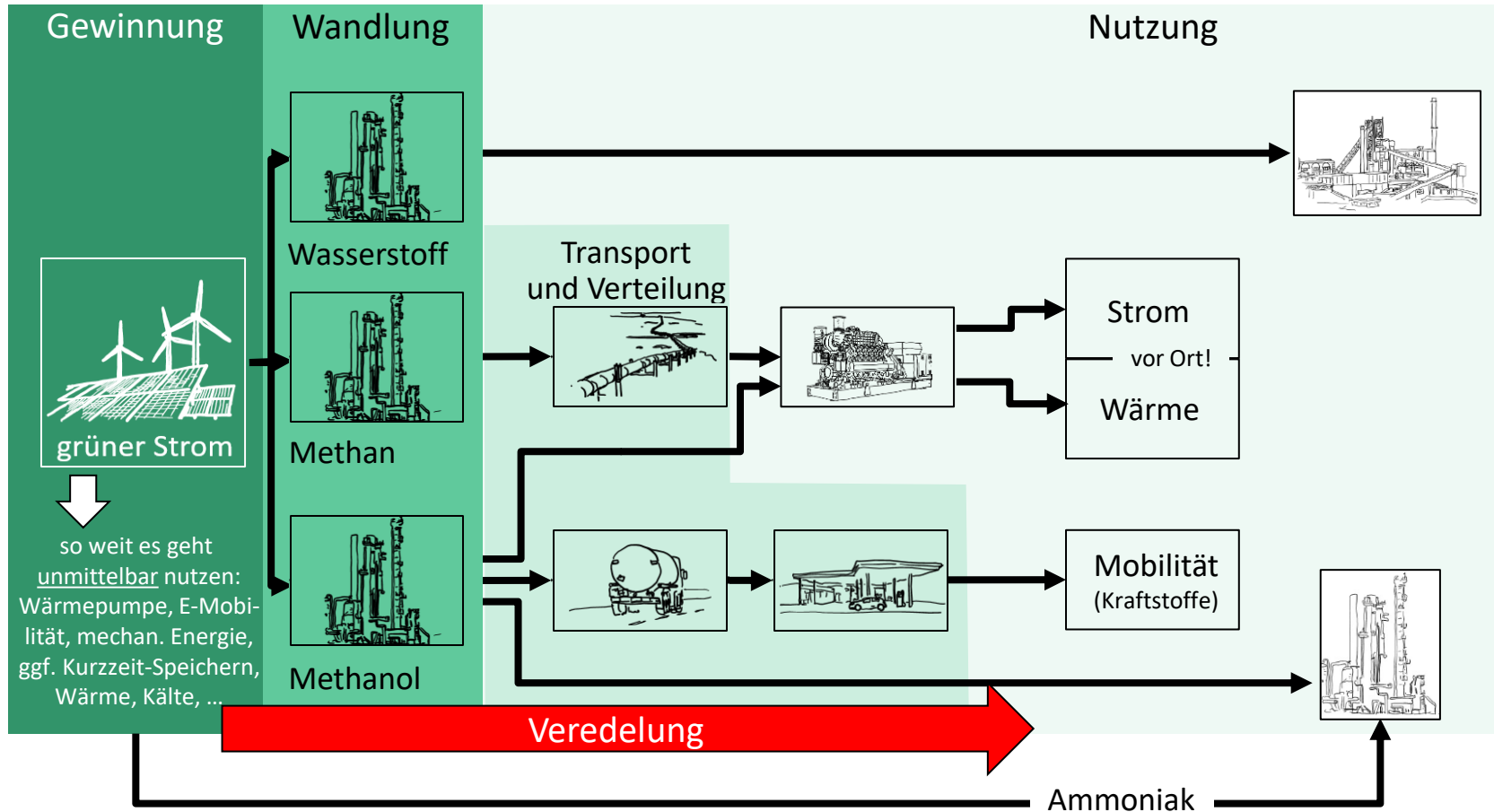
Regenerative Energieträger - Basis der CO₂-neutralen Energiewirtschaft

Umdenken!



Regenerative Energieträger: Energiewandlung und -veredelung

Umdenken!



5 Zusammenfassung

Regenerative Energieträger - Situation Anfang 2023

Zusammenfassung

Sonstige einschließlich
Stromausgleichsbeitrag **1,1** (1,2) %

Erneuerbare **15,9** (16,5) %

Kernenergie **6,1** (5,9) %

Braunkohle **9,2** (8,1) %

Steinkohle **8,5** (7,5) %

Mineralöl **32,3** (34,4) %

23% vom Erdgas

Erdgas **26,8** (26,4) %

2021; Angaben in PJ bzw. %

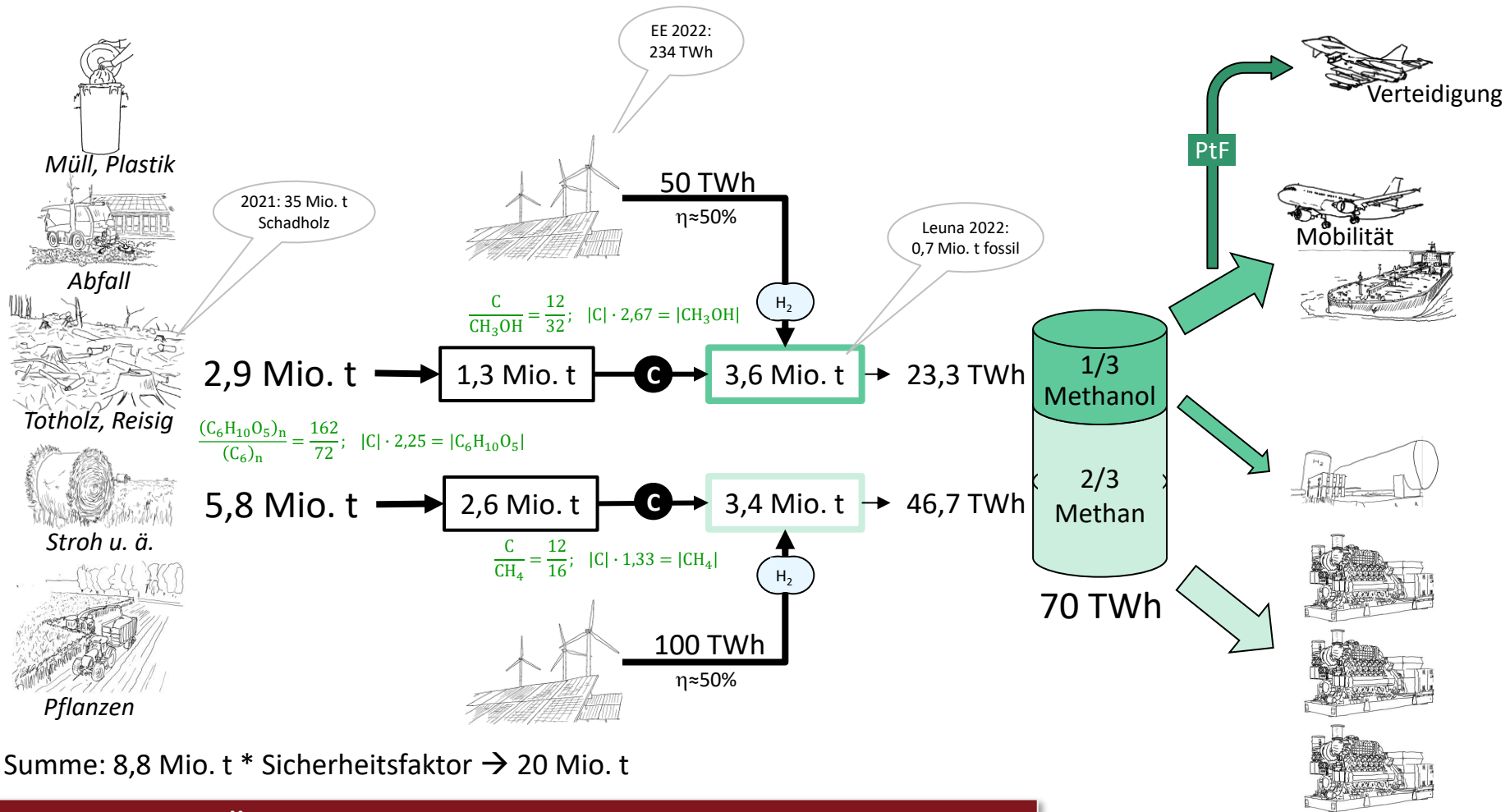
Bundesregierung:
Seit dem 1. Januar 2023 bezieht Deutschland keine Kohle,
kein Öl und kein Erdgas mehr aus Russland.

Quelle AG Energiebilanzen (AGEB), Stand: 2021

<https://ag-energiebilanzen.de/ag-energiebilanzen-legt-bericht-fuer-2021-vor/#:~:text=Berlin%20%E2%80%93%20Der%20Energieverbrauch%20in%20Deutschland,%C3%BCber%20dem%20Wert%20von%202020.>

Saisonale Speicherung von Wind- und Solarenergie (2050: 70 TWh)

Zusammenfassung



Summe: 8,8 Mio. t * Sicherheitsfaktor → 20 Mio. t

Mit 150 TWh Überschuss-Wind- und Sonnenenergie und 20 Mio. t Biomasse bzw. Abfall können die saisonalen Schwankungen der erneuerbaren Energien ausgeglichen werden.

Das gefährliche Dilemma – die Uhr tickt

Zusammenfassung

Fast täglich neue Ideen/Startups
(aber selten zu Ende gedacht)

es gibt scheinbar sehr viele Lösungen
zur Vermeidung der Klimakatastrophe

*) Schwurpler und Verschwörungsverbreiter
sind hier nicht berücksichtigt

https://youtu.be/lb4sxl_31rl

Wissenschaftsdoku „Superspeicher“, ARTE-Beitrag (53 min)

youtube in **11 Tage 310.000 Aufrufe**

Pumpspeicherkraftwerk	3,5 min
Li-Akkus	4,5 min
Wasserstoff-Heimanlage 300 bar	2,5 min
Schwungrad (Startup)	5,5 min
Kondensatoren (Graphen)	4 min
Turmkraftwerk flüssiges Salz	4,5 min
Osmosespeicher	2,5 min
FlowBatterie	2,5 min
Wasserstoff mit Problemhinweisen	4,5 min
Methansynthese (KIT)	4,5 min

hier läuft
etwas
falsch!*)

<https://youtu.be/ynCSVMWqrb8>

Vortrag „Power-to-X: Schlüsseltechnologie für
die Energiewende – NEULAND Innovationstag 2022“
youtube in **7 Monaten 105 Aufrufe**

alle wähnen sich in Sicherheit:
die Wissenschaft wird es schon richten

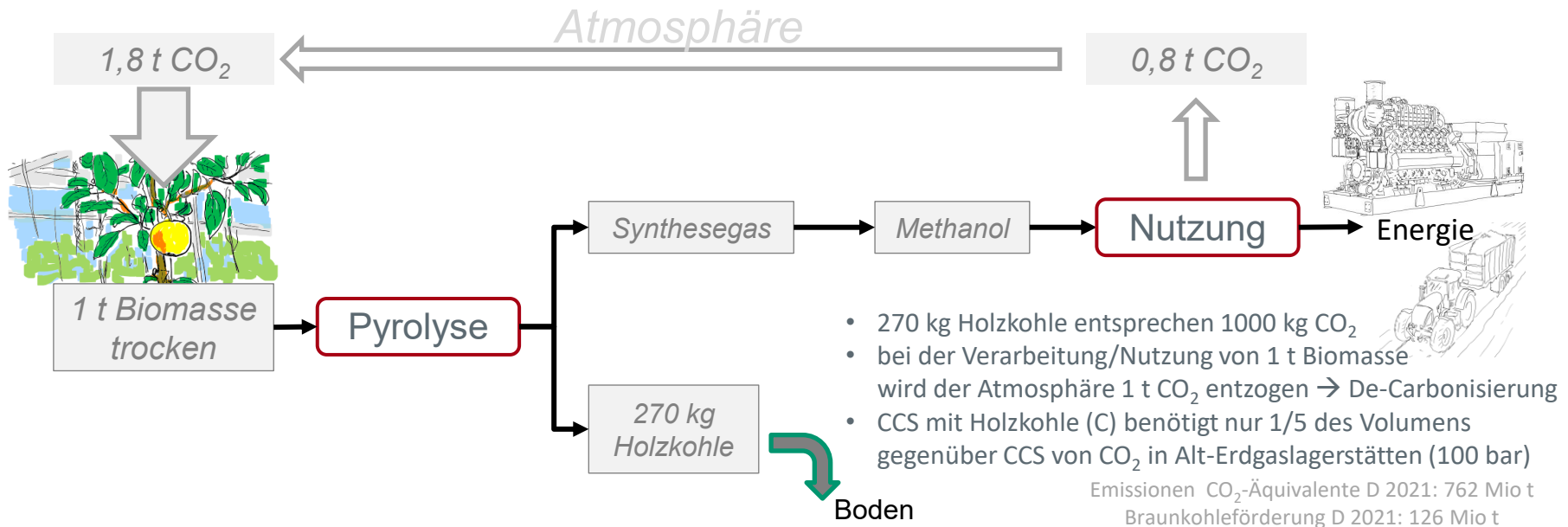
Staats- und Wirtschaftslenker
orientierungslos,
tun nichts, nur wenig
oder das Falsche
Strategie?

Sanfte Lösungen mit carbon capture and storage (CCS)

Zusammenfassung

auf vorhandene Strukturen zurückgreifen:
bekannte Verfahren, kein Zeitverlust, Kosten↓, Genehmigungen

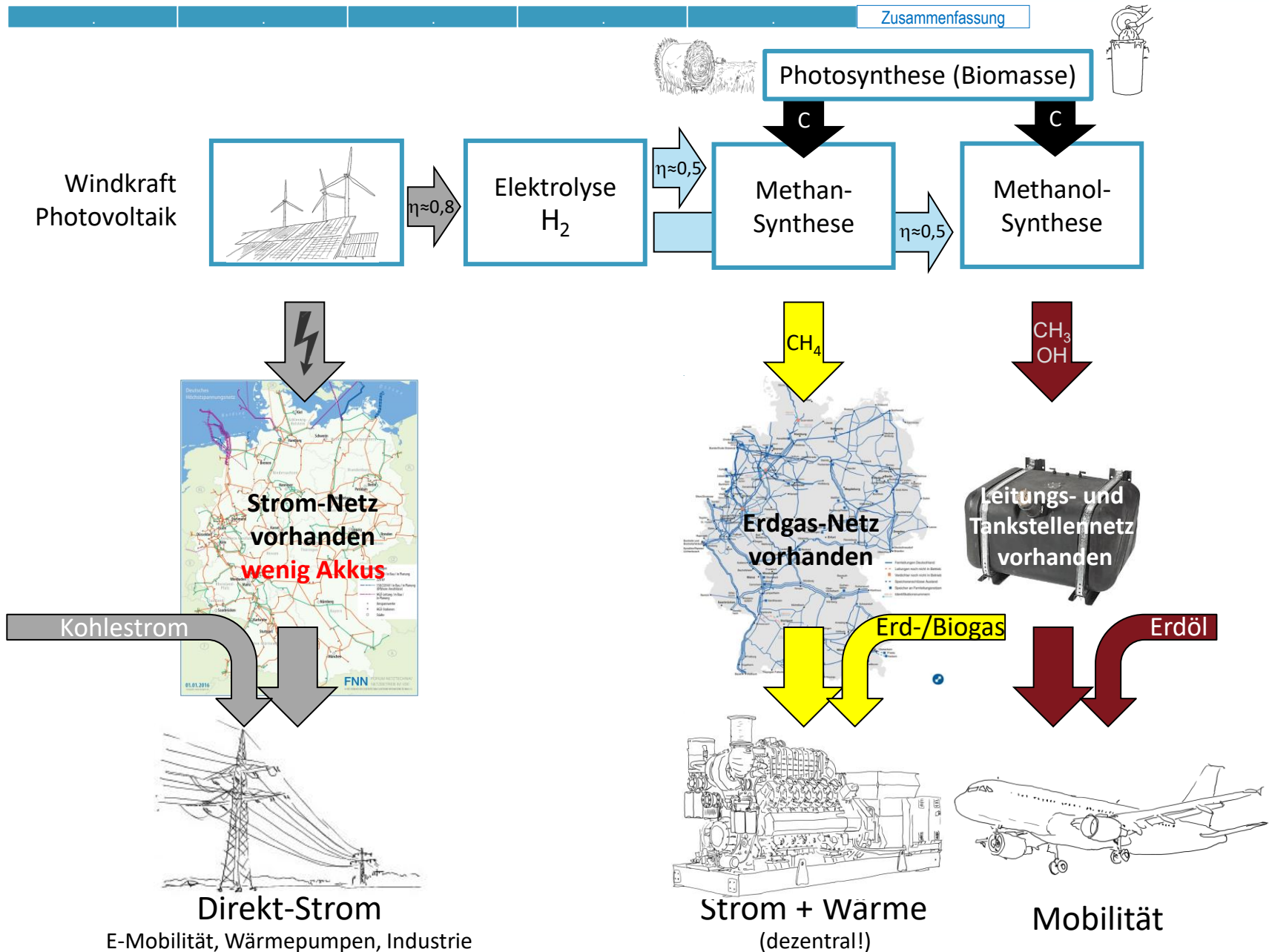
“minimalinvasive“ Eingriffe in vorhandene Strukturen und Prozesse:
bekannte Materialien und Stoffe, abschätzbare Auswirkungen



Pflanzen sind „Profis“, können CO₂ besser binden als technisch möglich [Natur pur]
Methanolwirtschaft mit CCS in Form von Holzkohle [kennen wir seit 200 Jahren]
diese (Holz-)Kohle wieder in die Tagebaue [da war sie vorher schon]

Sanfter Übergang zu einer CO₂-neutralen Energiewirtschaft

Zusammenfassung



- Energie (insbes. Gas und Erdöl) sparen hilft immer und überall
- Ausstieg aus russ. Energieversorgung ist erfolgt; offen, wie es weitergeht
- (neue) einseitige und zu starke Abhängigkeiten vermeiden
- Umbau auf regenerative Energiequellen in D massiv vorantreiben
- möglichst keine unerprobten, risikobehafteten „neuen“ Techniken anwenden^{*)}
- Speichern ist die Schlüsseltechnik, auch für den Transport wichtig
- Speichertechniken weit weg vom „Normalzustand“ (1bar, 15°C) sind wenig geeignet
- Wasserstoff erfüllt die Anforderungen nicht
- dezentrale Energieversorgung ist wichtig (Kraft-Wärme-Kopplung und Sicherheit)
- PtX-Techniken so schnell wie möglich weiterentwickeln und breit einsetzen

^{*)} die Zeit drängt!

**Danke für die Aufmerksamkeit,
dem CAS Dank für die Ausrichtung der
Veranstaltung
anschließend: Diskussion**

Hinweis

Zu diesem und angrenzenden Themen habe ich auf YouTube einige Videos erarbeitet und hochgeladen.

In einer Videoreihe geht es um das Thema „**CO2-neutrale Energiewirtschaft bis 2050 - ist das realistisch?**“

Sie können sich zunächst eine zusammenfassende Darstellung anschauen: <https://youtu.be/XdfkYpxGjjs>

Das ist der Mitschnitt eines Vortrages vom 10.11.21 im Rahmen einer online-Alumni-Veranstaltung des DHBW-CAS Heilbronn, also der Vorläufer zu diesem Video.

Die ausführlicheren Videos zu diesem Thema gibt es in YouTube-Playlist: https://www.youtube.com/playlist?list=PLu2_KhOxTuVqOXsP4AGxH8-04fHess55x

Hier die einzelnen Links und die Inhalte dieser 4 Videos:

Video 1 <https://youtu.be/Rvs4qkFuY7A> (35 min)

1 Treibhauseffekt

2 Analyse des Istzustandes

Video 2 <https://youtu.be/jaJLnykbwLk> (44 min)

3 CO2-Reduktionspotenziale

3.1 Rolle von Brennstoffen, Energie-Wandlungen und Transport

3.2 Wirkungsgrade der Energiewandlungen

Video 3 https://youtu.be/6u9yil_Cyfw (67 min)

4 Fokus: Regenerative Energieträger

4.1 Wind- und Solarenergie

4.2 Volatilität – Ausgleich durch Speicherung

Video 4 <https://youtu.be/ij2SXcLAWLc> (31min)

5 Rettet uns der technische Fortschritt?

6 Vorschlag: Sanfter Übergang zu weniger CO2-Emissionen

7 Zusammenfassung und Ausblick

Ich bin dabei, weitere YouTube-Videos zu erarbeiten, hier das erste aus diesem Jahr (2022):

„**CO2-neutrale Energiewirtschaft bedeutet radikal umdenken**“ <https://youtu.be/LD1kRizCGNO>

1 Umdenken mit der Energiewende

2 Eine kWh - wieviel ist das?

3 Wie kostbar ist 1 kWh in verschiedenen Formen?

4 Energie-"Veredelung" heute und morgen

5 Zusammenfassung

Quellen- und Literaturhinweise (zusätzlich zu den auf den Folien angegebenen)

Bockhorst, M.: „Mit Vollgas in die Energiekrise“, Books on Demand GmbH, Norderstedt 2006

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: „Energiedaten: Gesamtausgabe Stand Oktober 2019“
<http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html>

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: „Gesamtausgabe Energiedaten“, wird ständig aktualisiert

Forschungszentrum Jülich, diverse Autoren: „Methanol als Energieträger“, Jülich 2003, Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Energietechnik

Friedlingstein, P. et al.: „Global Carbon Budget 2020“; Earth System Science Data Vol. 12; S. 3269–3340, 2020; <https://doi.org/10.5194/essd-12-3269-2020>

INES, DVGW und BVEG: „Wasserstoff speichern – soviel ist sicher“ Berlin 2022, Pressemitteilung

Jordan, T.: „Skript zur Vorlesung Wasserstofftechnologie“; Institut für Kern- und Energietechnik Forschungszentrum Karlsruhe GmbH

Kobiela, G.; Samadi, S.; Kurwan, J.; Tönjes, A.; Fishedick, M.; Koska, T.; Lechtenböhrer, S.; März, S.; Schüwer, D.:
„CO₂-neutral bis 2035: Eckpunkte eines deutschen Beitrags zur Einhaltung der 1,5°-Grenze“

Quaschnig, V.: „Regenerative Energiesysteme: Technologie – Berechnung – Klimaschutz“; Carl Hanser Verlag München, 2019

Schmidt, T.: „Wasserstofftechnik – Grundlagen, Systeme, Anwendung, Wirtschaft“; Carl Hanser Verlag München, 2020

Schweikardt, S.; Didycz, M.; Engelsing, F.; Wacker, K.: „Bundeskartellamt: Sektoruntersuchung Fernwärme“: Abschlussbericht gemäß § 32 e GWB, Bonn, August 2012

Stähler, M.: „Methanol aus Biomasse - Die Natur zum Vorbild?“ Aachen 2005, Promotionsvortrag RWTH

Strasser, Ch.: „Machbarkeitsuntersuchung Methan aus Biomasse“, Wieselburg-Land, Austria, Präsentation 2022

Umweltbundesamt: „Carbon Capture and Utilization (CCU)“
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/carbon-capture-utilization-ccu#Klimaschutz>