

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit verwenden dieser Text und das gesprochene Wort im Folgenden 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.

Istzustand	Lösungen	Was ist wichtig?	Umdenken!	Vergleich	Zusammenfassung
------------	----------	------------------	-----------	-----------	-----------------

Maybach-Seminar

26. April 2022

dann

Gashahn zu - was ~~dann?~~

Die Herausforderungen jenseits von Politik und Wirtschaft

Referent: Prof. Dr.-Ing. Martin Freitag

- 0 Vorgehensweise bei dieser Betrachtung
- 1 Analyse des Istzustandes - wieviel Energie kommt aus Russland
- 2 Lösungsmöglichkeiten
- 3 Welche Aspekte sind wichtig?
- 4 Auf erneuerbare Energien setzen heißt Umdenken
- 5 Ein etwas anderer Vergleich fossile/regenerative Energieträger
- 6 Zusammenfassung

Journalisten (auch Wissenschaftsjournalisten) schreiben viel voneinander ab, ohne selbst zu recherchieren und gewissenhaft zu prüfen

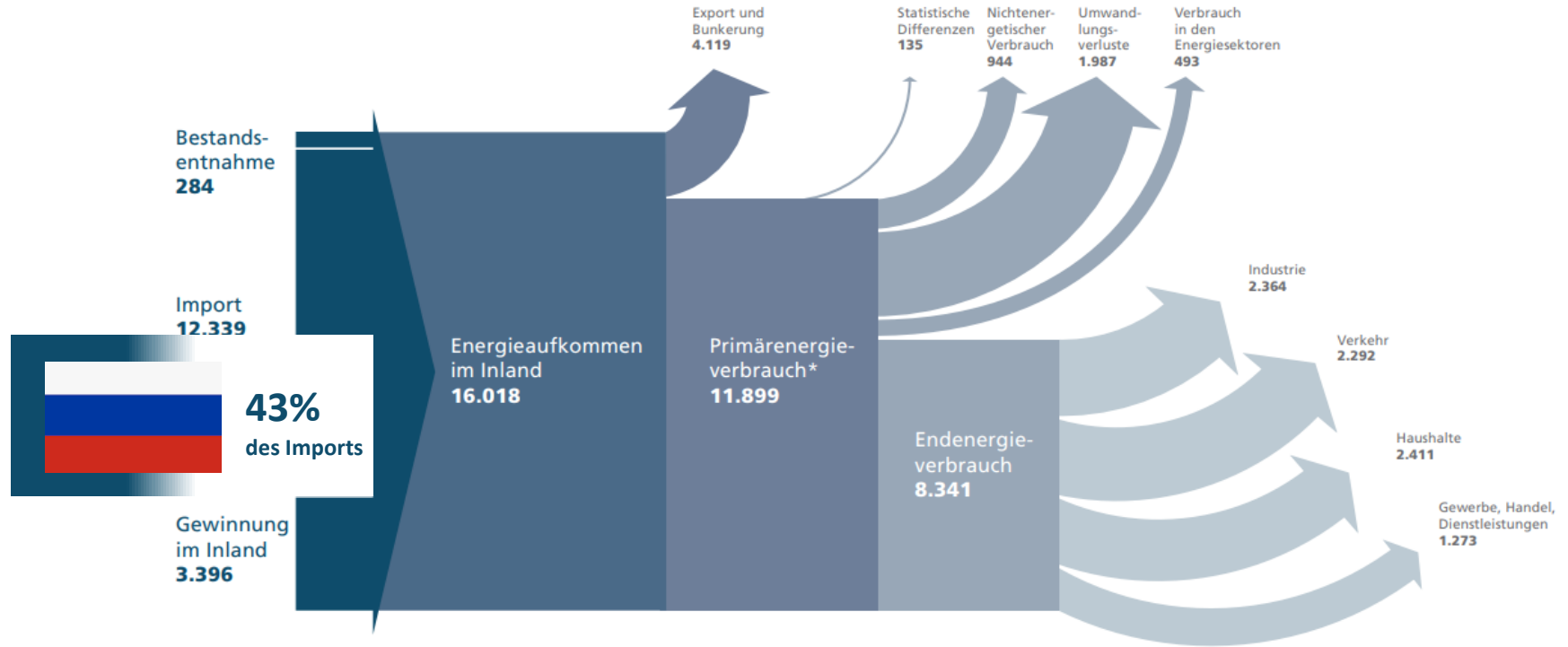
0 Vorgehensweise bei dieser Betrachtung

- Versuch eines ganzheitlichen Ansatzes (aber ohne Politik)
- keinem aktuellen „Hype“ hinterherlaufen (Gasturbine, E-Mobilität, Wasserstoff)
- sachliche, möglichst objektive ingenieurwissenschaftliche Bewertung
- keine „optimistischen“ Ansätze

1 Analyse des Istzustandes - wieviel Energie kommt aus Russland?



Energieflussbild Deutschland (2020)



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-frei 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:

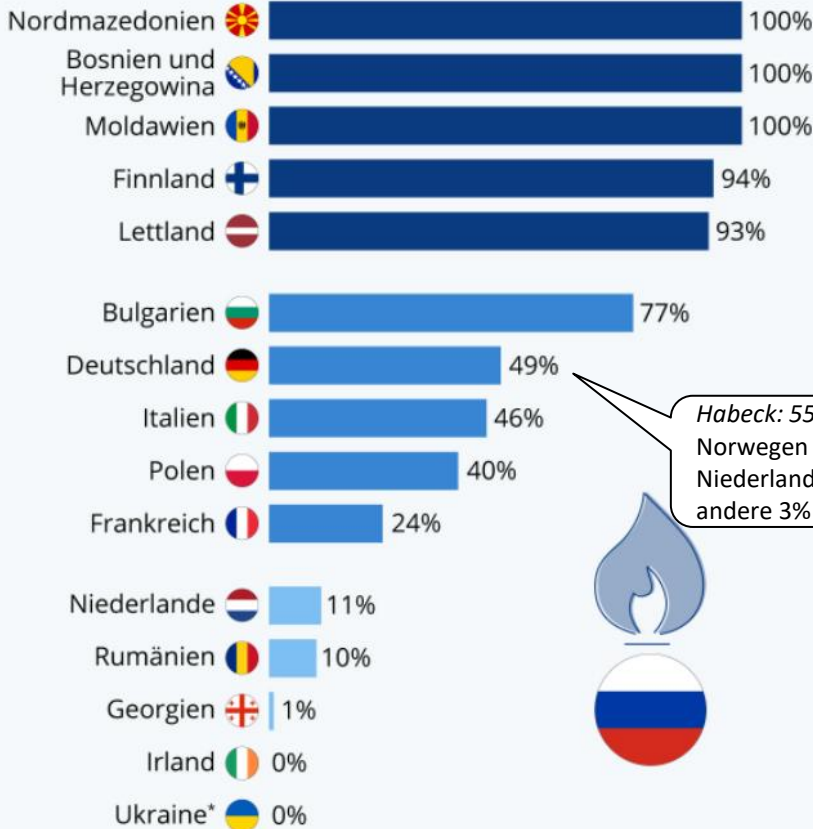
Habeck 2022:	2020
35% d. Erdöls	1.802 PJ
55% d. Gases	2.952 PJ
50% d. Kohle	548 PJ
	5.302 PJ

83 Mrd Nm³/a
43% der Importe

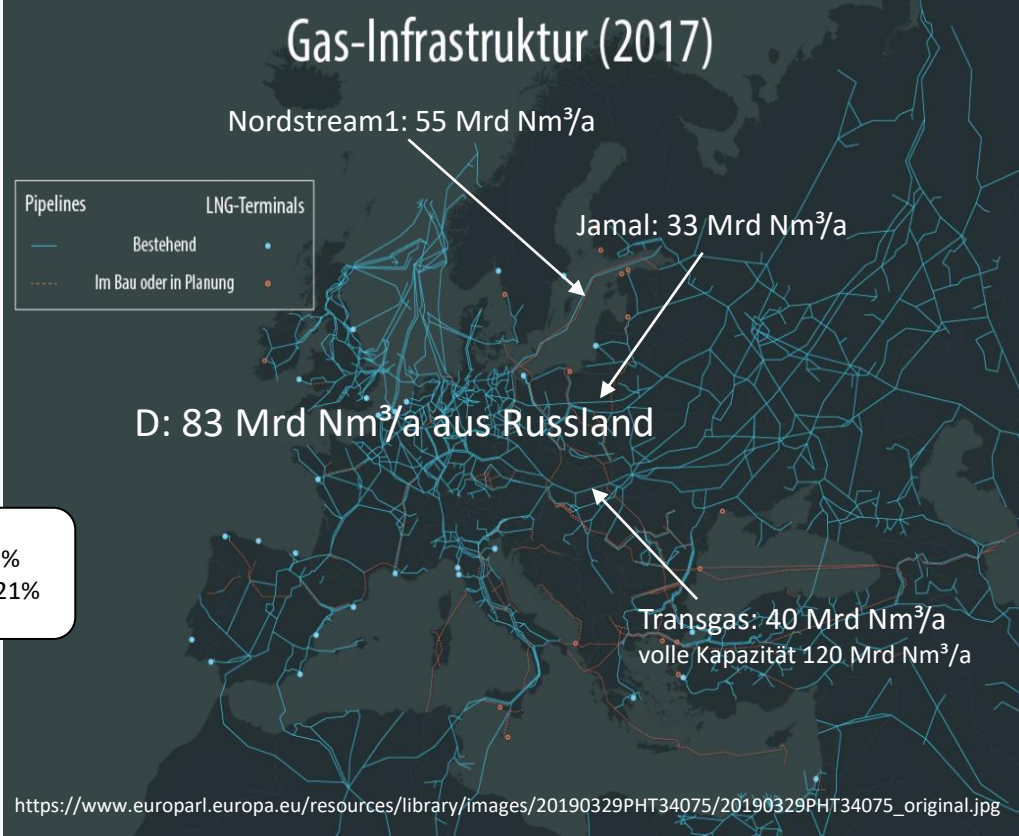
Ein Drittel des deutschen Energieaufkommens stammt aus russischen Primärenergieträgern

Abhängigkeiten in Europa, Beispiel Erdgas

Anteil der russischen Gasimporte am Gasverbrauch ausgew. Länder (2020 oder aktuellste verfügbare Daten)



Habeck: 55%
Norwegen 27%
Niederlande 21%
andere 3%



Mix aus allem EU-weit, EU weite Regelungen →
größeres System → mehr Austausch
Mehr Reserven? Aber auch störanfälliger?
ist hier & heute nicht Thema!

* die Ukraine bezieht ihr Gas seit 2015 von der EU
Quelle: European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators

Ersatz für russische Energie, kurzfristige Lösungen

Istzustand

Lösungen

Was ist wichtig?

Umdenken!

Vergleich

Zusammenfassung

Anteil am
ges. Energie-
aufkommen
in D (2020)

russische Kohle	4%	leicht ersetzbar, woanders einkaufen
russisches Erdöl	11%	nicht so leicht ersetzbar, auch woanders einkaufen über Tankterminals in NL, (F, I), Weiterleitung per Pipelines
russisches Erdgas	18%	schwer ersetzbar, schwierig woanders einzukaufen, Erdgas durch LNG und LPG ersetzen, aber D Terminals fehlen

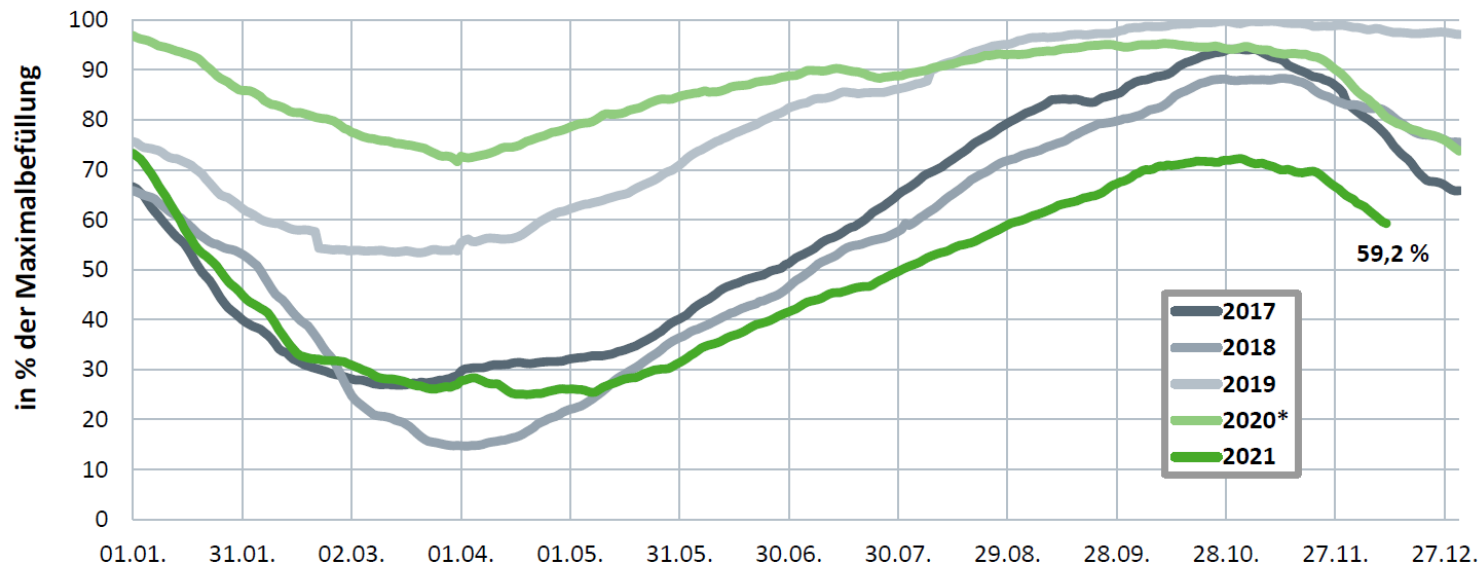
vielleicht am einfachsten zu sparen?

33% gut 20% sind kurzfristig nicht ersetzbar
20% einzusparen ist problematisch, Destabilisierung möglich

Knapp **37 Milliarden Euro** hat die EU seit Beginn des russischen Angriffskrieges nach Moskau für Energielieferungen überwiesen. Ausländische Devisen, die die russische Wirtschaft stabilisieren und damit auch die Kriegskasse füllen. Der Rubelkurs ist längst wieder auf Vorkriegsniveau.

<https://www.tagesschau.de/investigativ/monitor/gasembargo-russland-101.html>
abgerufen 21.4.2022 Monitor-Recherchen: „Panikmache, die nicht belegt werden kann“

Prozentuale Speicherfüllstände der deutschen Erdgasspeicher

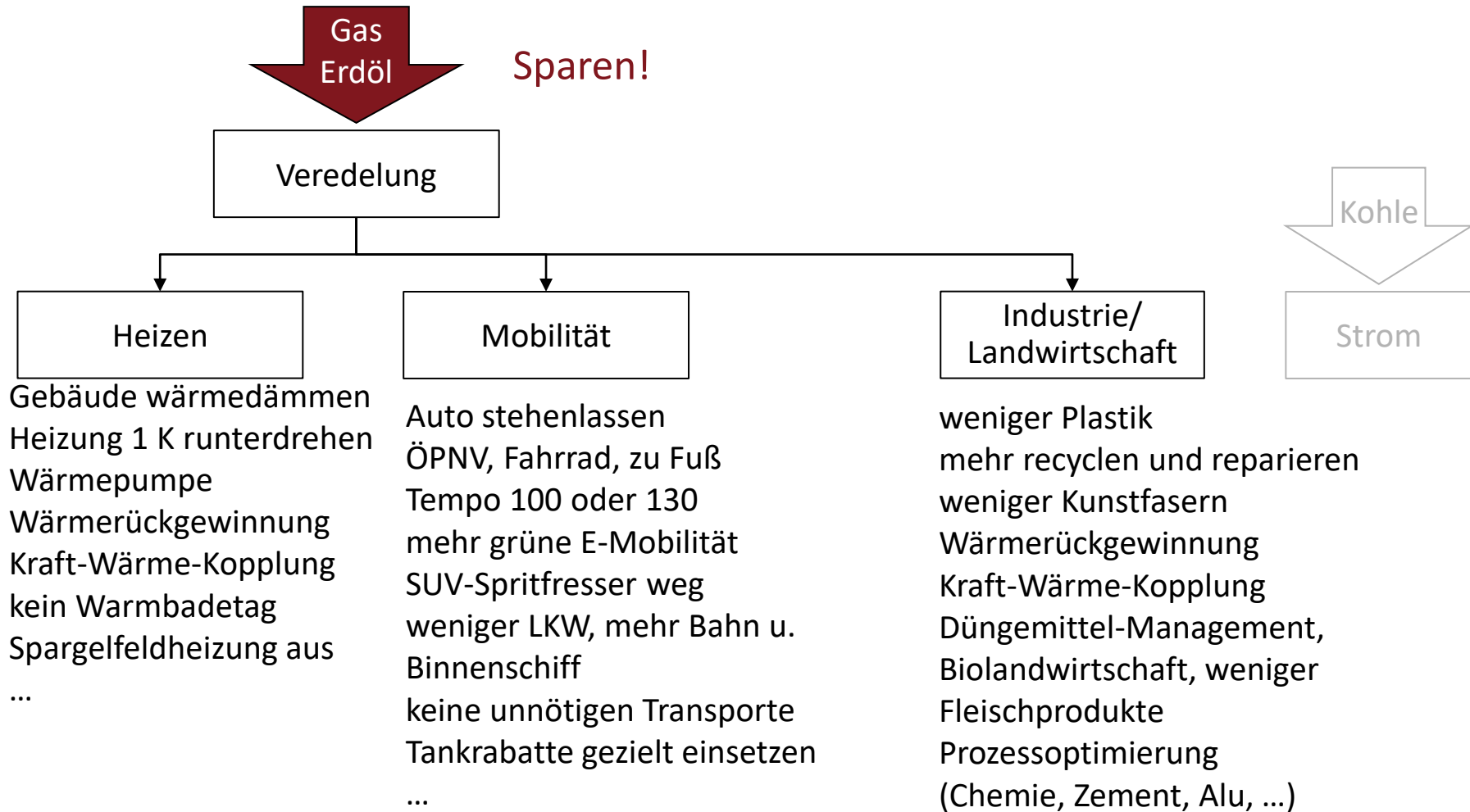


Quelle: Gas Infrastructure Europe;
Stand 13.12.2021

* aus Gründen der Vergleichbarkeit Wert des Schalttages 2020 ausgeblendet
Die Darstellung beinhaltet die Daten aller auf gie.eu zum angegebenen Datum erfassten Speicher.

**Erdgasspeicher an Gazprom zu verkaufen ist dumm.
Wer hat das zu verantworten? Kräfte des freien Marktes?**

2 Lösungsmöglichkeiten (jenseits von russischem Erdgas)



hilft, aber rettet uns nicht kurzfristig; verkleinert den Teil, der ersetzt werden muss

Andere Lieferanten für fossile Energieträger

Istzustand

Lösungen

Was ist wichtig?

Umdenken!

Vergleich

Zusammenfassung

Öl

Herkunft, Transportwege und Infrastruktur

Alternativen: Saudi-Arabien, USA, ...

Transport mehr per Tanker (effizient), nicht Pipelines

Terminals in NL, Veredelung, dann Pipelines nach D

Pipelines über Südroute nicht ausreichend (?)

Eigenschaften und Besonderheiten

bei Normaldruck und Normaltemperatur flüssig

sehr einfach zu speichern (Öltanks)

keine nennenswerten Verluste bei Speicherung und Transport

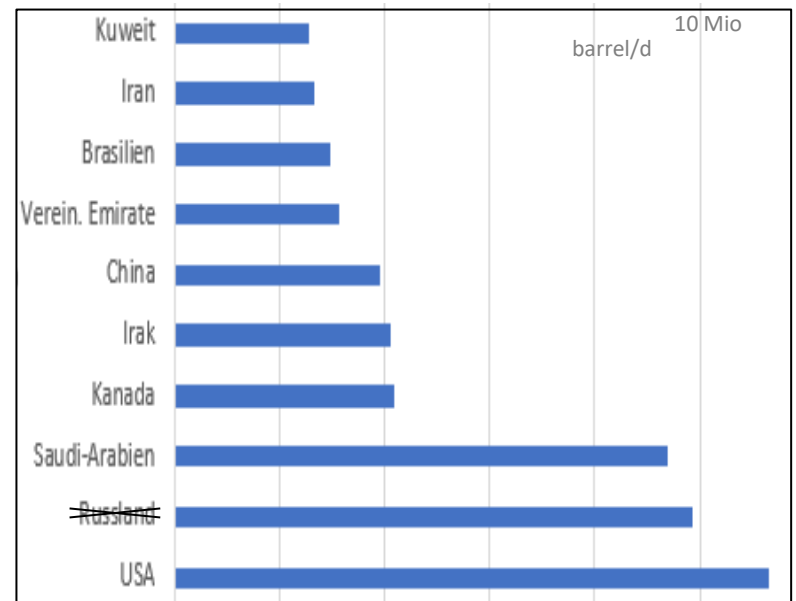
Bemerkungen

fossiler Energieträger, nicht CO₂-neutral

Transport und Verteilung nicht umweltneutral

Havarien und Ölpest möglich

Abhängigkeit bleibt erhalten



Andere Lieferanten für fossile Energieträger

Istzustand

Lösungen

Was ist wichtig?

Umdenken!

Vergleich

Zusammenfassung

Erdgas aus Deutschland (mit fracking?)

Herkunft, Transportwege und Infrastruktur

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

Eigenschaften und Besonderheiten

wie russisches Erdgas
Transport und Verteilung im Pipelinenetz in D

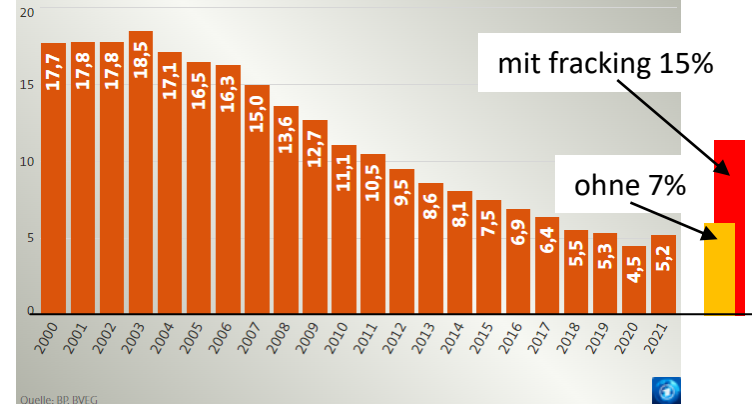
Bemerkungen

Gewinnung und Verteilung nicht umweltneutral
fossiler Energieträger, nicht CO₂-neutral, Treibhausgas
fracking 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

Istzustand

Lösungen

Was ist wichtig?

Umdenken!

Vergleich

Zusammenfassung

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 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,

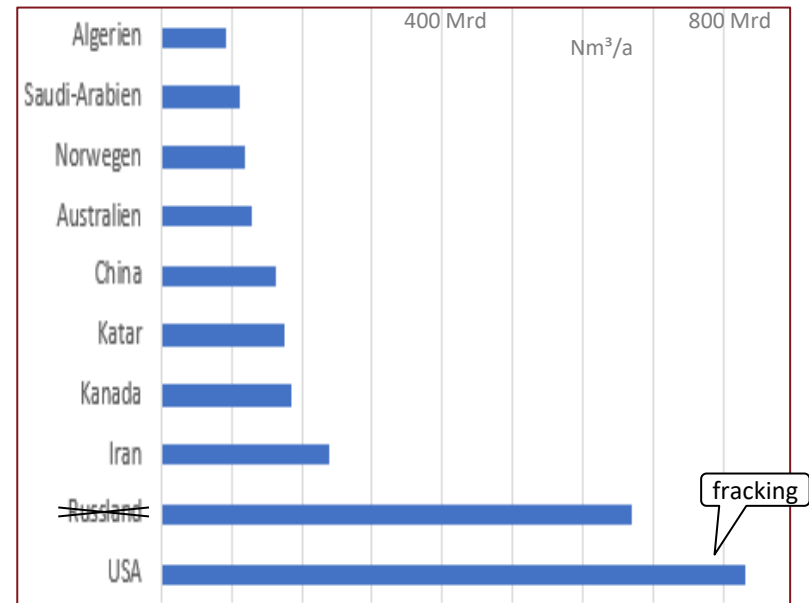
Bemerkungen Produktionsüberschüsse seit 2015, teuer

Transport und Verteilung nicht umweltneutral

fossiler Energieträger, nicht CO₂-neutral, Treibhausgas

Tanker lohnt erst ab 2.500 km, sonst CNG-Pipelines

Abhängigkeit bleibt erhalten



LNG z. B. aus Katar - Weg und Wirkungsgrade

Istzustand

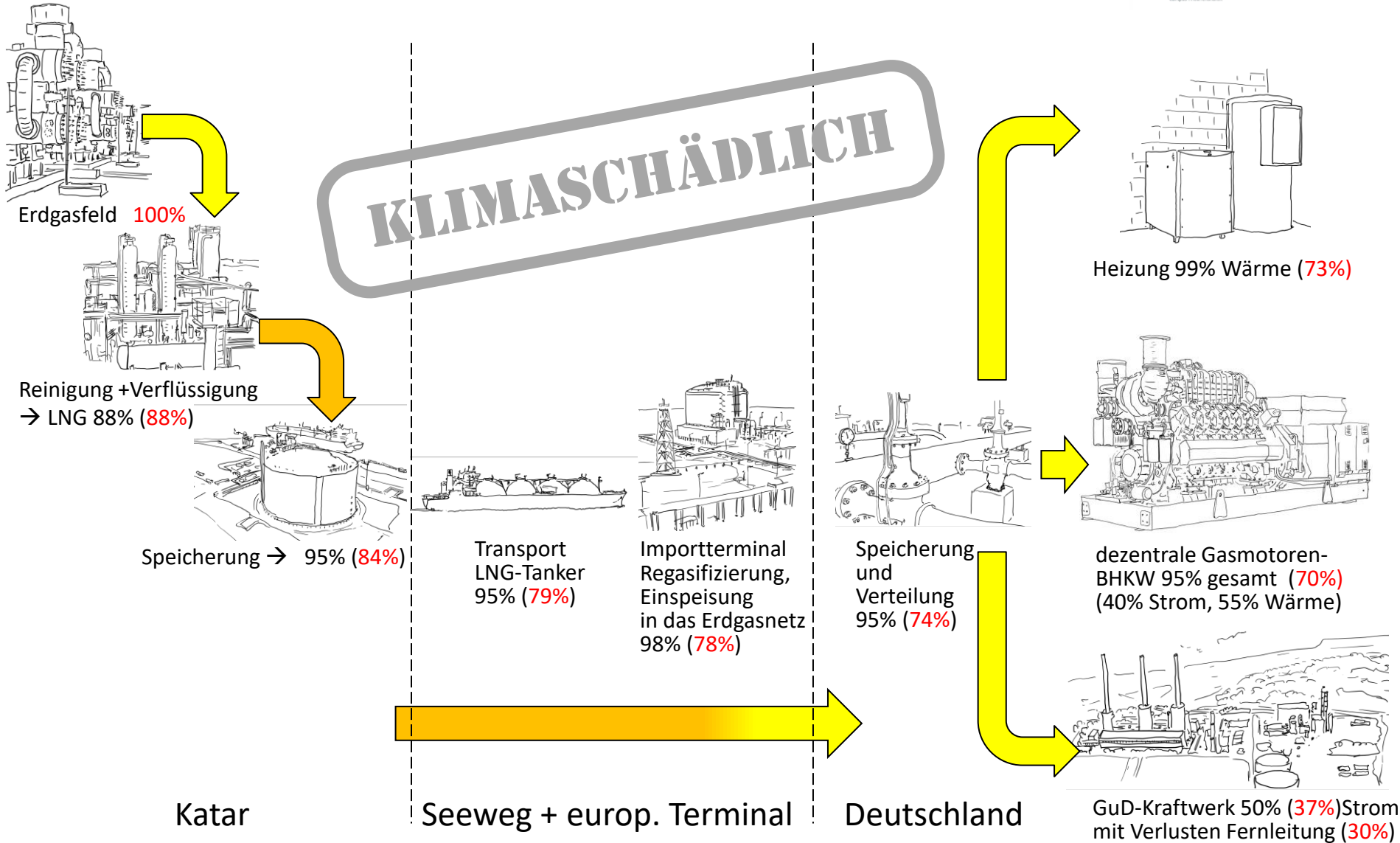
Lösungen

Was ist wichtig?

Umdenken!

Vergleich

Zusammenfassung



LNG: Verfügbare Kapazitäten, Faktor Zeit

Istzustand

Lösungen

Was ist wichtig?

Umdenken!

Vergleich

Zusammenfassung

von Folie 5: Erdgasenergie für D aus Russland 2020: **2.952 PJ**; aufgerundet 3000 PJ/a durch **Sparen** absenken auf 1500 PJ/a (scheint möglich, K. Andreae, Bundesverband d. Energie- u. Wasserversorgung SWR-Radiobeitrag vom 24.4.22)

3.000 PJ/a → 83 Mrd Nm³/a (allein für Ersatz Russlandgas für D)



Tanker (Mittelwerte)

200.000 m³ flüssiges LNG = 120 Mio Nm³

4,3 PJ (gerechnet mit 36 MJ/Nm³)

3.000 PJ pro Jahr/4,3 PJ pro Tanker = 700 Tankerlösungen pro Jahr (697) allein für Ersatz Russland-Gas für D

Löschung dauert 24...30 h; bei 700 Lösungen 700...875 d → 1,9...2,4 Lösungen pro Tag (allein für Ersatz Russlandgas für D)

geplante Terminals D:

Stade	12 Mrd Nm ³ /a	432 PJ/a
Wilhelmshafen	10 Mrd Nm ³ /a	360 PJ/a
Brunsbüttel	8 Mrd Nm³/a	288 PJ/a
Summe	30 Mrd Nm³/a	1080 PJ/a



<https://www.en-former.com/lng-terminal-deutschland/>

LNG: Verfügbare Kapazitäten, Faktor Zeit

Istzustand

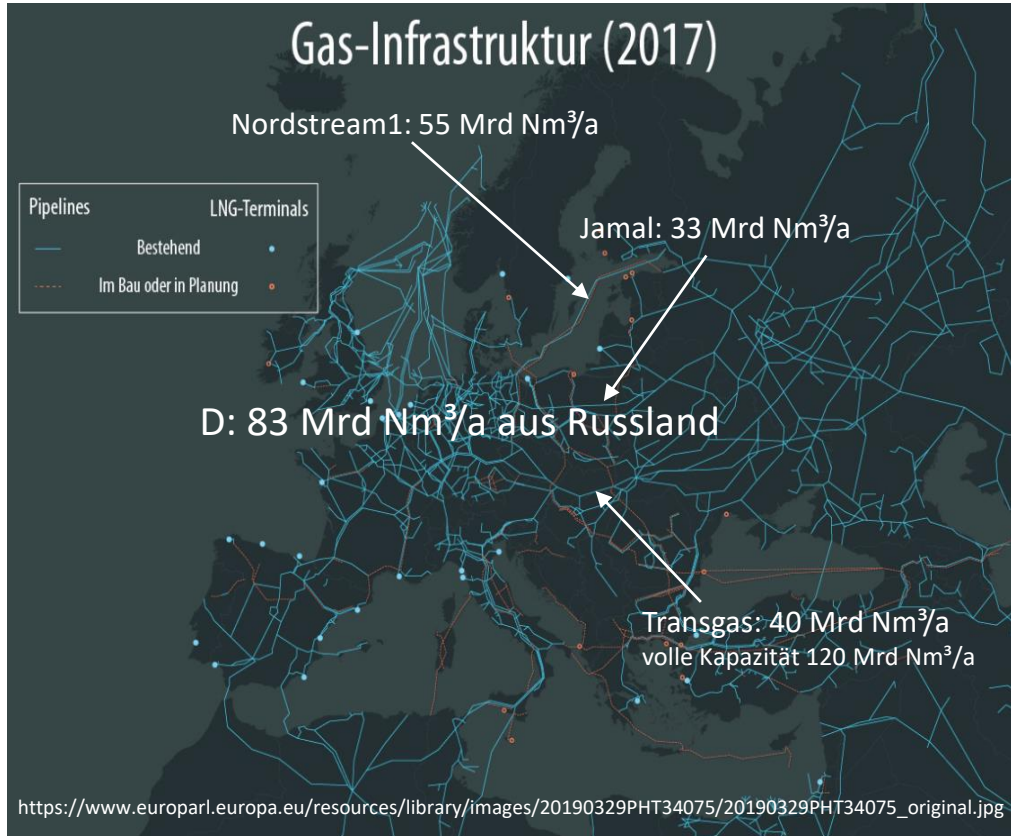
Lösungen

Was ist wichtig?

Umdenken!

Vergleich

Zusammenfassung



vorhanden EU:

29 Terminals → Summe 237 Nm³/a

zu ersetzen bei EU-Gasabschaltung:

Nordstream 1	55 Mrd Nm ³ /a
Jamal	33 Mrd Nm ³ /a
Transgas	40 Mrd Nm ³ /a
Summe	128 Mrd Nm³/a
davon D	83 Mrd Nm ³ /a

128 Mrd Nm³/a müssten

zusätzlich über diese

29 Terminals (+Brunsbüttel) laufen

das würde bedeuten:

Durchsatzsteigerung auf ca. 150%

2018: 470 Tanker weltweit (150.000...250.000 m³ LNG (flüssig))

Fahrzeiten Katar → EU bzw. Golf von Mexiko → EU ca. 20 Tage

8...10 Tankerfahrten pro Jahr möglich, bei 4,3 PJ/Tanker

Transportleistung ca. 20.000 PJ/a → 555 Mrd Nm³

davon würde EU 23% (D 15%) benötigen für Ersatz Russlandgas



Andere Lieferanten für fossile Energieträger

Istzustand

Lösungen

Was ist wichtig?

Umdenken!

Vergleich

Zusammenfassung

LPG - Liquefied Petroleum Gas (Propan/Butan-Gemisch)

Herkunft, Transportwege und Infrastruktur

Raffinerien in D und Europa

Terminals in NL, Transport nach D möglich

Eigenschaften und Besonderheiten

(C_2H_6 [Propan] und C_3H_8 [Butan]), auch Autogas

Verhältnis Propan/Butan von 95/5 bis 30/70%

Fällt am Bohrloch oder in der Raffinerie an wurde früher abgefackelt (da damals wertlos)

bei Drücken unter 10 bar flüssig

einfach zu speichern

kaum Verluste bei Speicherung und Transport

Boil-off (bei 25°C) vernachlässigbar

Siedepunkte (Normaldruck): Propan -42°C, Butan -0,5°C

austretendes Gas schwerer als Luft, gefährlich!

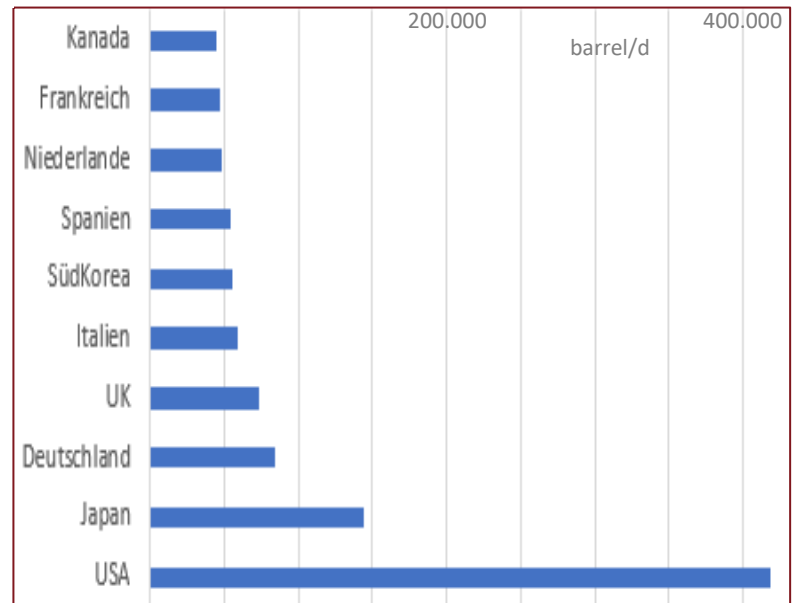
Bemerkungen

fossiler Energieträger, nicht CO₂-neutral

Transport und Verteilung nicht umweltneutral

Herstellmengen nicht bedarfsdeckend

Abhängigkeit bleibt erhalten



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

Wasserstoffversprödung (Metalle)

Kälte: Materialversprödung, Verbrennungsgefahr

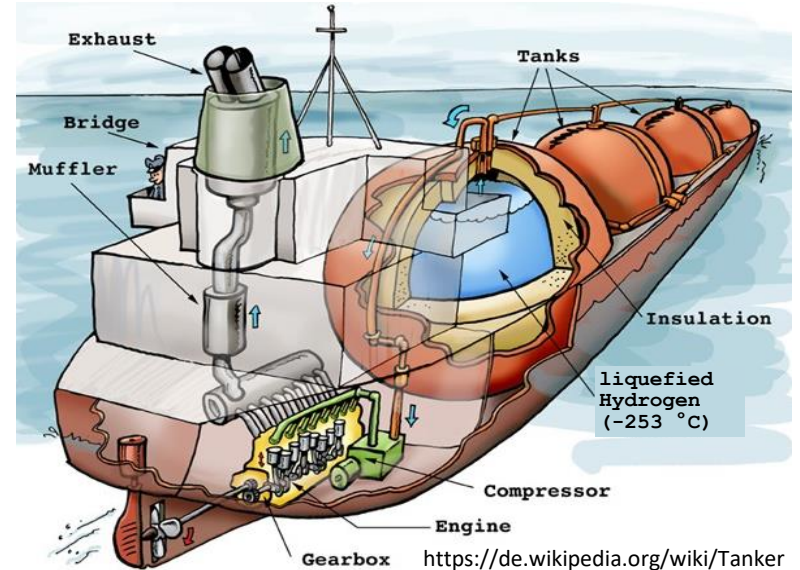
*) https://www.energy.gov/sites/default/files/2018/07/f53/fcto_webinarslides_boil_off_losses_062618.pdf

Bemerkungen

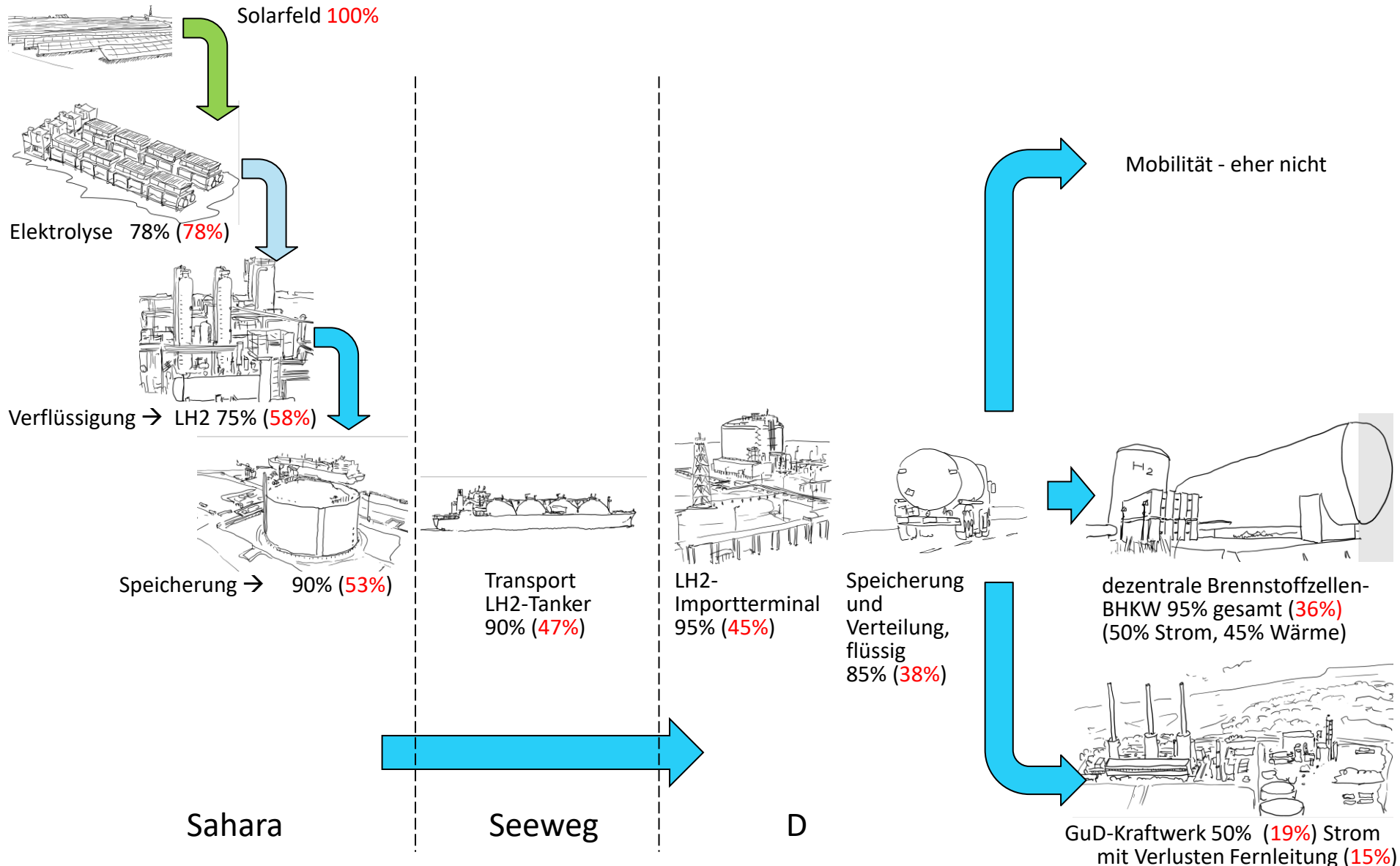
noch keine nennenswerte Produktion

nur CO₂-neutral, wenn aus grünem Strom

Abhängigkeit bleibt erhalten



LH2 aus der Sahara - Weg und Wirkungsgrade



Alles aus D - autark

Istzustand

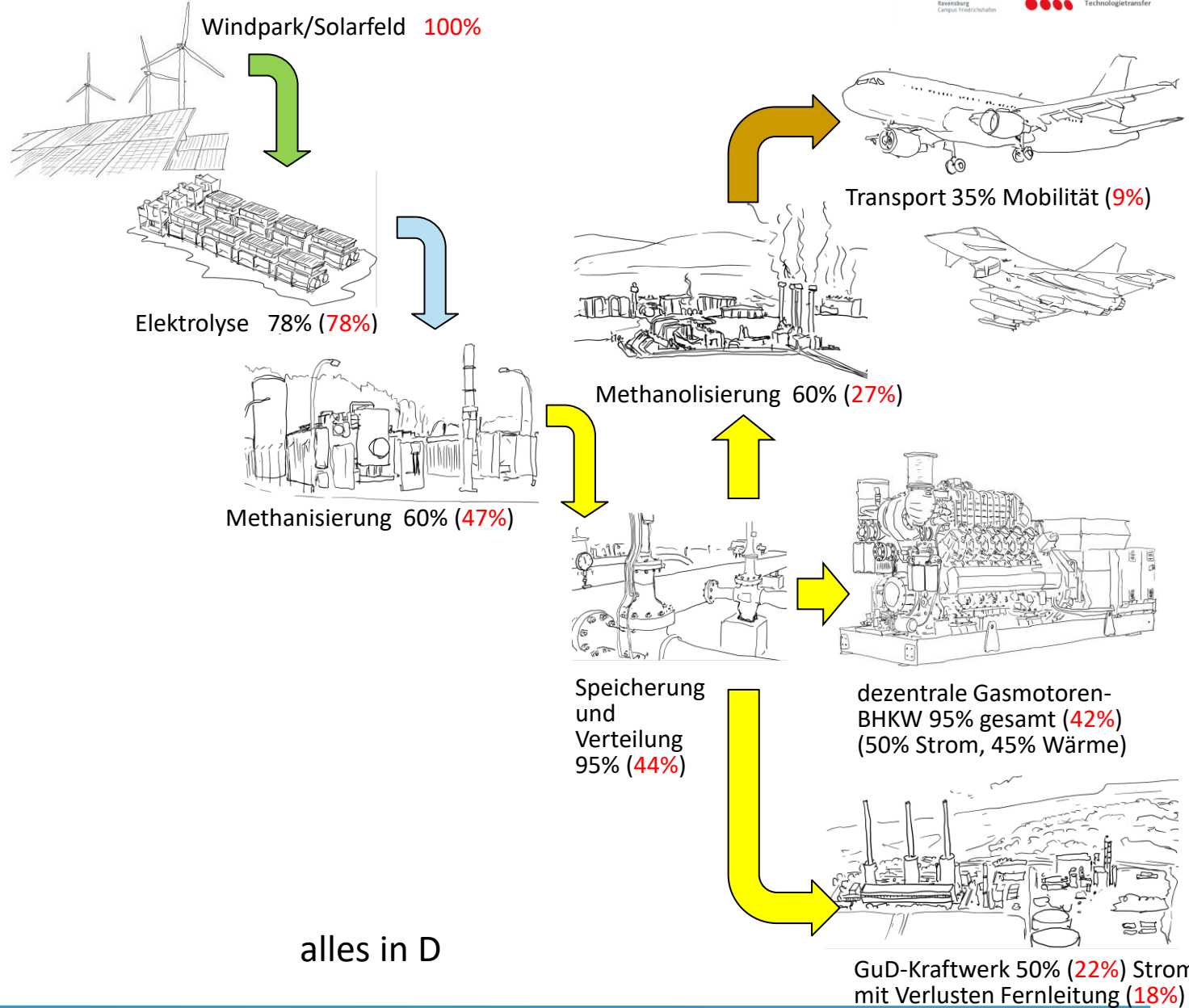
Lösungen

Was ist wichtig?

Umdenken!

Vergleich

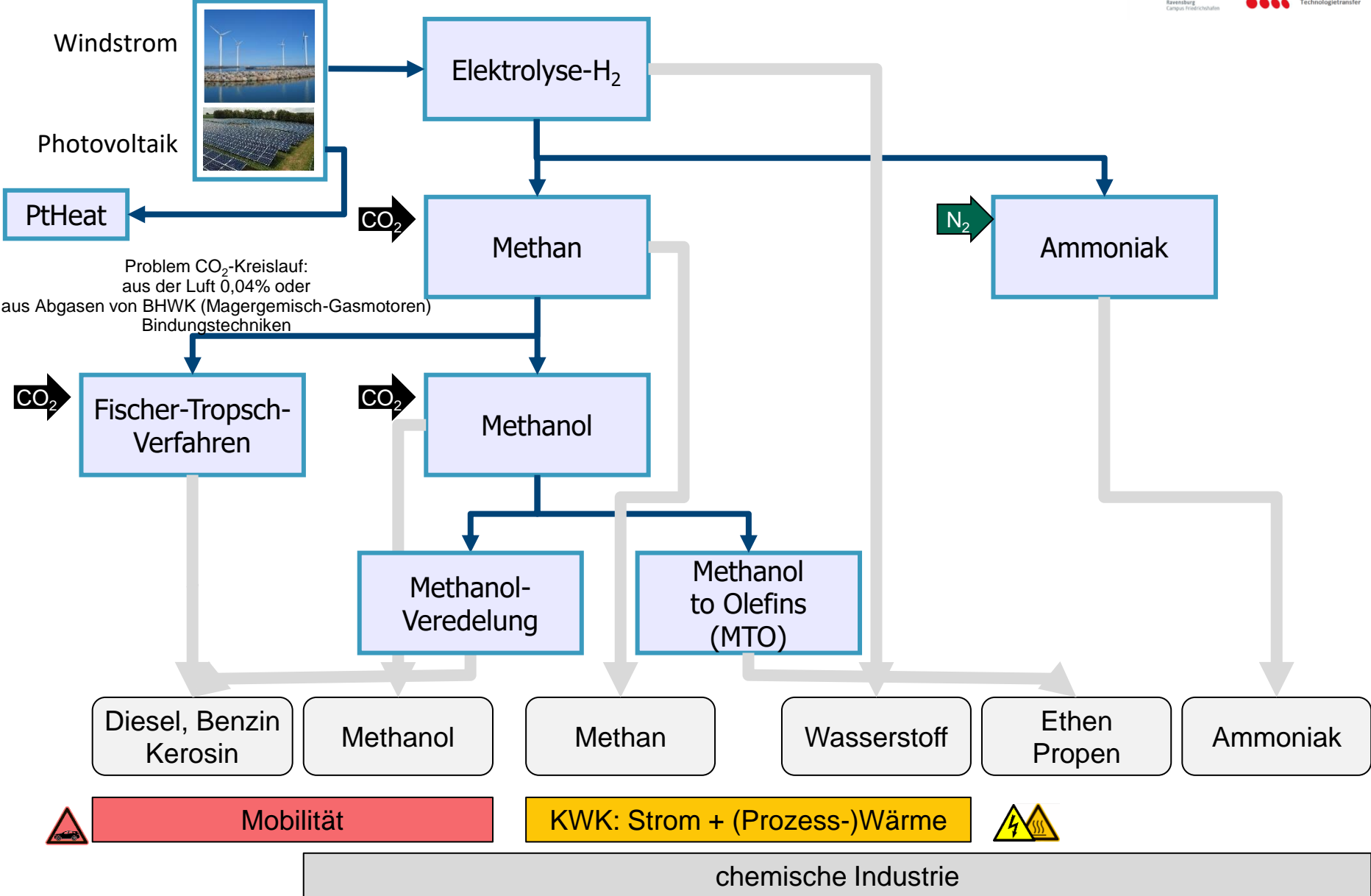
Zusammenfassung



alles in D

Mögliche PtX (Ökostrom zu Irgendwas) -Prozesse, nicht nur Energiewirtschaft

Istzustand **Lösungen** Was ist wichtig? Umdenken! Vergleich Zusammenfassung



Selbstversorgung über grüne Energieträger

Istzustand

Lösungen

Was ist wichtig?

Umdenken!

Vergleich

Zusammenfassung

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

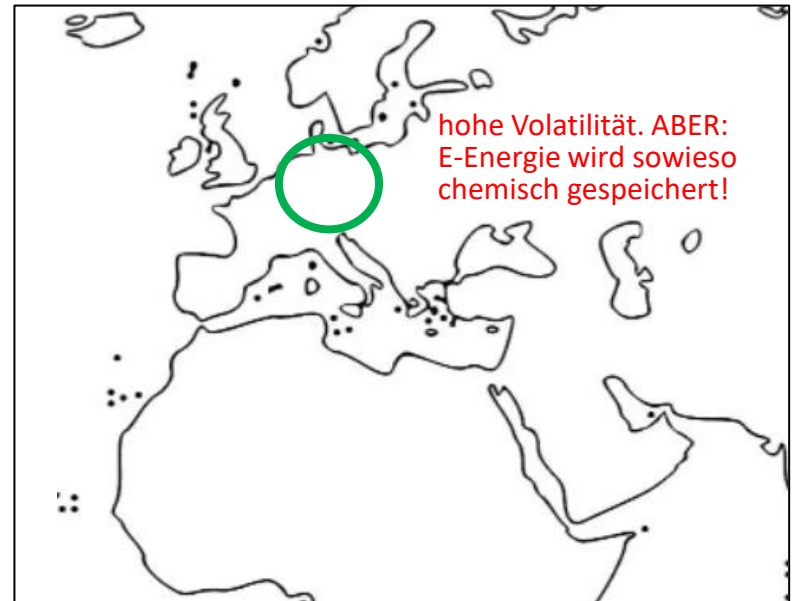
Eigenschaften und Besonderheiten

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 3: Methanolisierung → Methanol (PtL)
Transport und Speicherung wie flüssige Kraftstoffe heute

Bemerkungen

CO₂-neutral
Havarien möglich
heute noch keine nennenswerte Produktion

keine Abhängigkeit offensichtlich wichtiger denn je!



3 Welche Aspekte sind wichtig?

Wichtige Parameter für Energieversorgungs-Systeme

Istzustand

Lösungen

Was ist wichtig?

Umdenken!

Vergleich

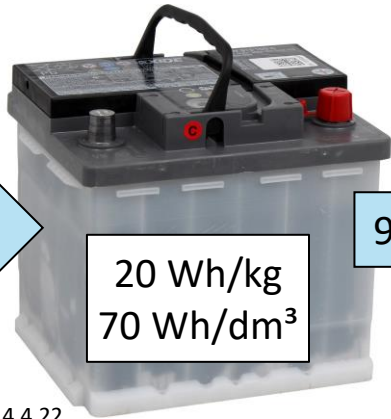
Zusammenfassung

- Verfügbarkeit (Ukraine-Krieg; CO₂-Neutralität [keine fossilen])
 - Mengenstrom
- beides kurz abgehandelt*
- Energiedichte (volumetrisch/gravimetrisch) (wichtig für Speicherung/Transport)
 - Wirkungsgrad des Transports
 - „Wirkungsgrad“ der Speicherung (Ausspeichern/Einspeichern) incl. Verteilung
 - mögliche Dauer der Speicherung
 - Geschwindigkeit der Energiefreisetzung (wichtig für Netzstabilität)
 - Kosten (HK/Investitionen, Transport, Gebrauch, Recycling, Entsorgung)
 - erforderliche Infrastruktur incl. Kosten für Einrichtung und Betrieb
 - Folgen für Mensch und Umwelt

Beispiel:

Kosten Material Pb, H₂SO₄
Kosten Herstellung
Lebensdauer, Ladezyklen
Gase beim Ladevorgang
Gefahrenpotenzial bei Havarie
Entsorgung, mögl. Recyclinganteil
Ressourcenverbrauch ...

100%



20 Wh/kg
70 Wh/dm³

90%

Selbstentladung
5..10% pro Monat

<https://de.wikipedia.org/wiki/Selbstentladung> 14.4.22

Parameter im Überblick

Istzustand

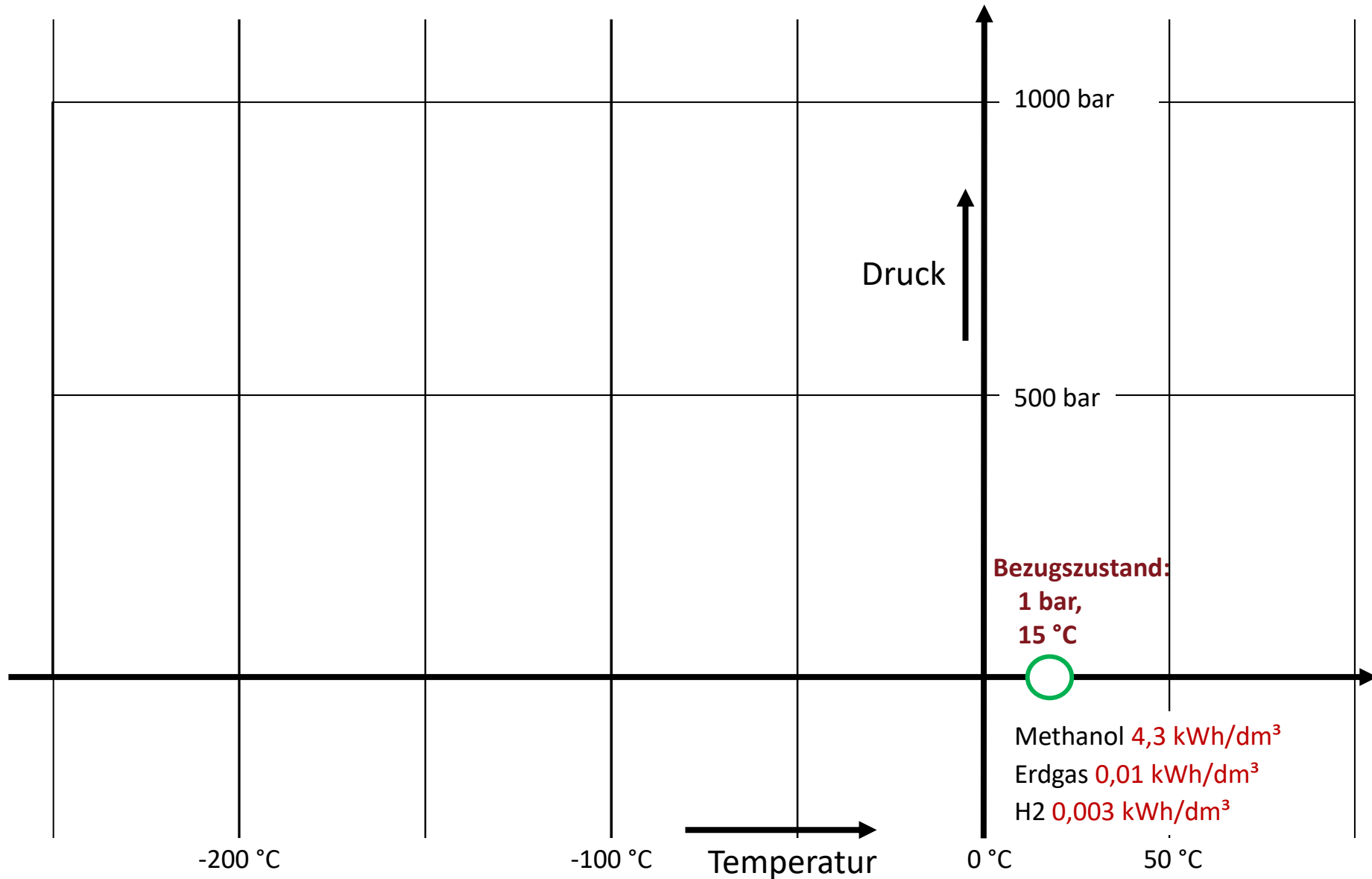
Lösungen

Was ist wichtig?

Umdenken!

Vergleich

Zusammenfassung



Parameter im Überblick

Istzustand

Lösungen

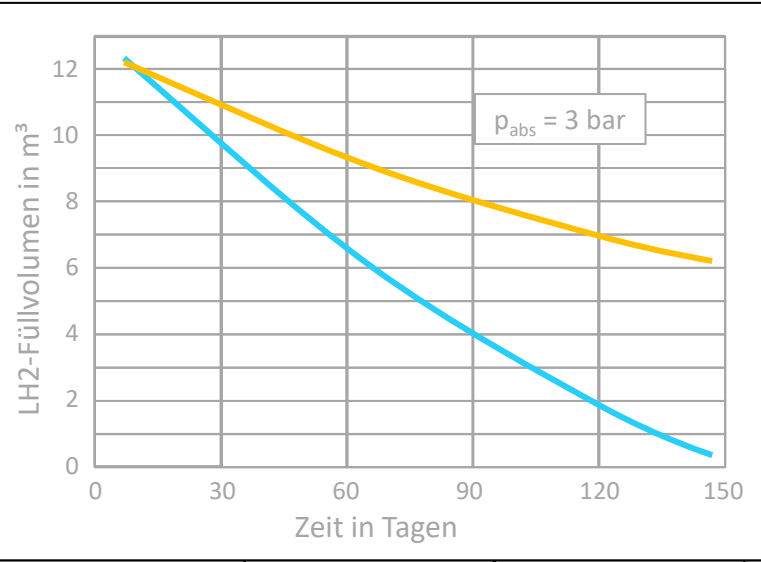
Was ist wichtig?

Umdenken!

Vergleich

Zusammenfassung

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



Druck

1000 bar

500 bar

Warmwasser 90° (0,07)

- 2..5% Verluste
- Methanol 4,3 kWh/dm³
- Erdgas 0,01 kWh/dm³
- H2 0,003 kWh/dm³

10..15% Verluste

23..28% Verluste

Cryocompressed H2 (Cch2)

LNG (5,8)

LH2 (Cryo) (2,4)

-200 °C

-100 °C

Temperatur

0 °C

50 °C

Wärme

Parameter im Überblick

Istzustand

Lösungen

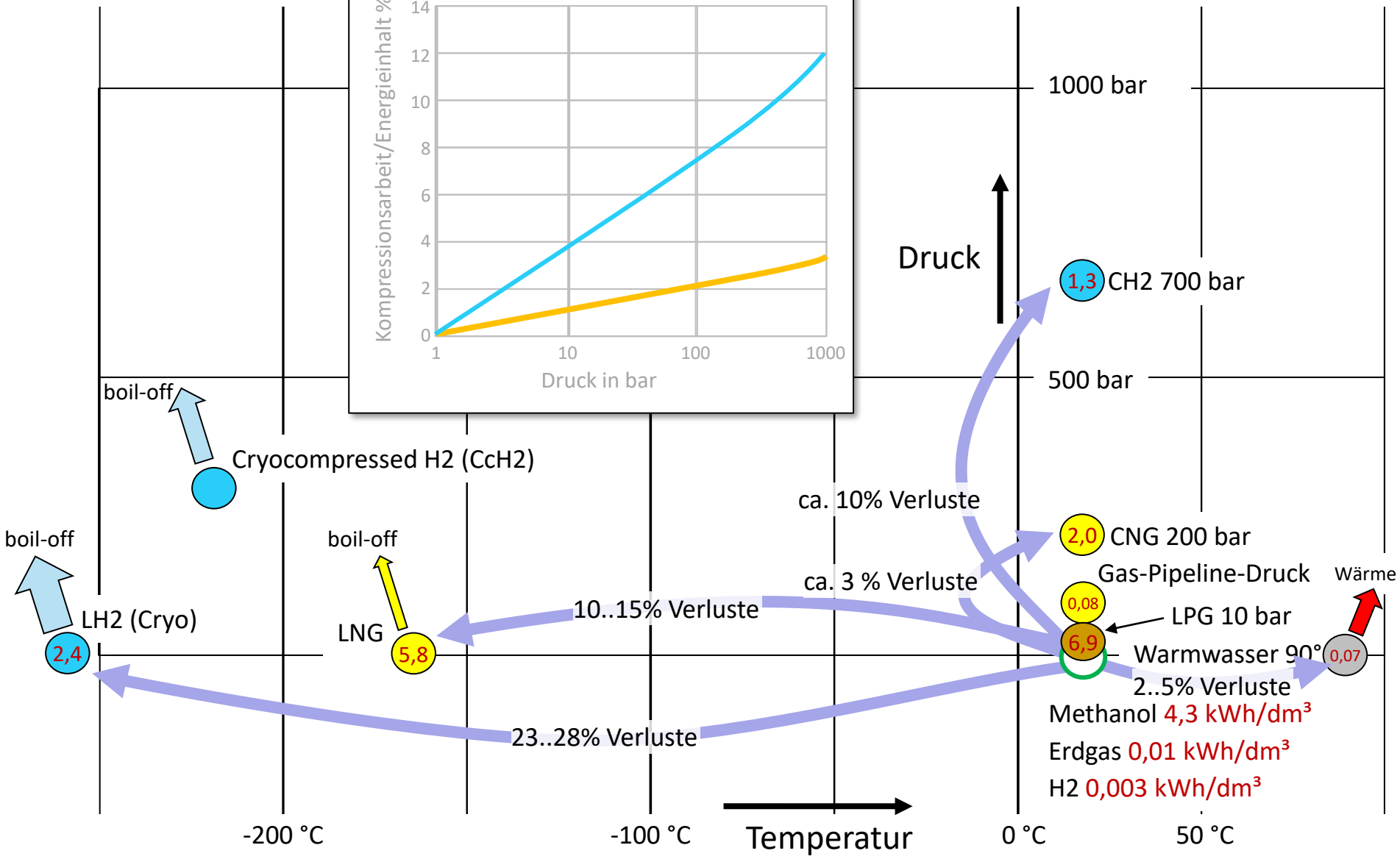
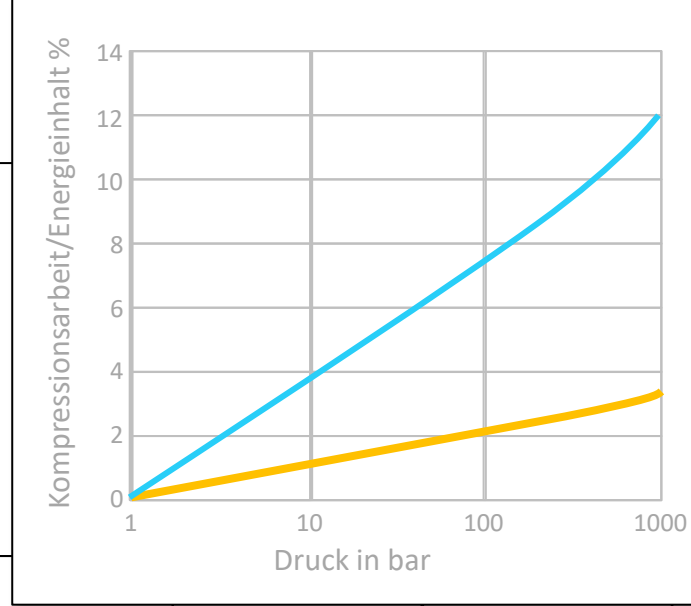
Was ist wichtig?

Umdenken!

Vergleich

Zusammenfassung

https://www.iet.hsr.ch/fileadmin/user_upload/iet.hsr.ch/Power-to-Gas/Kurzberichte/06_Energie_fuer_Gaskomprimierung.pdf



Parameter im Überblick

Istzustand

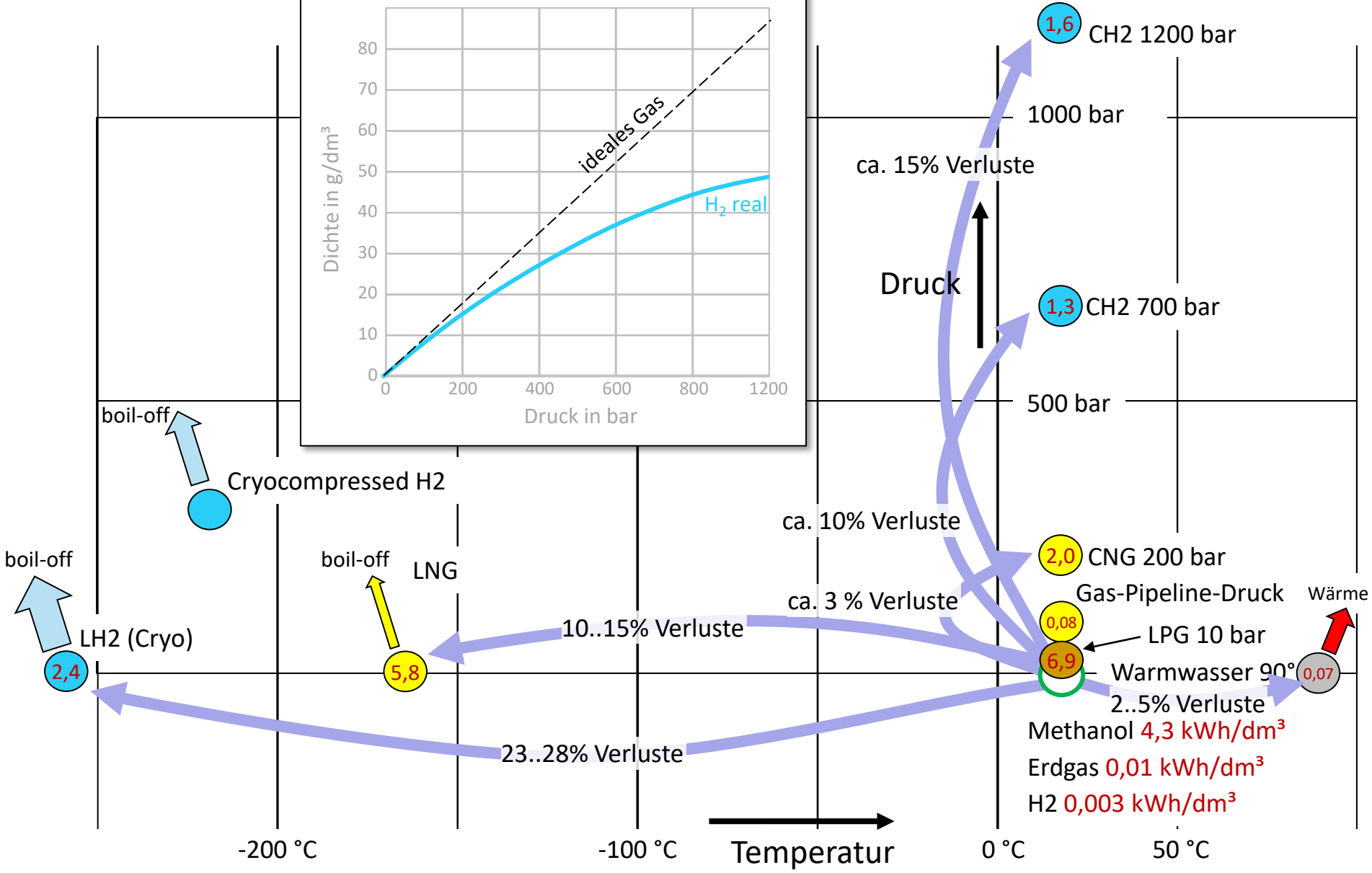
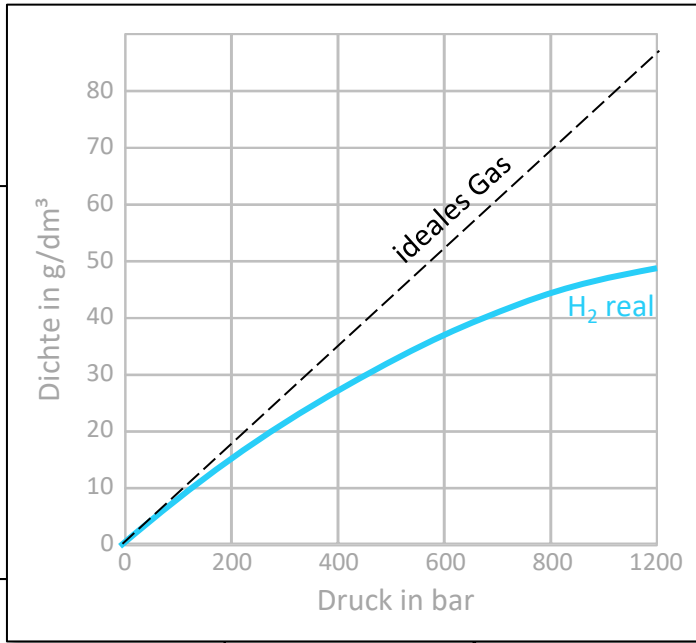
Lösungen

Was ist wichtig?

Umdenken!

Vergleich

Zusammenfassung



Energiedichte verschiedener Energieträger

Istzustand

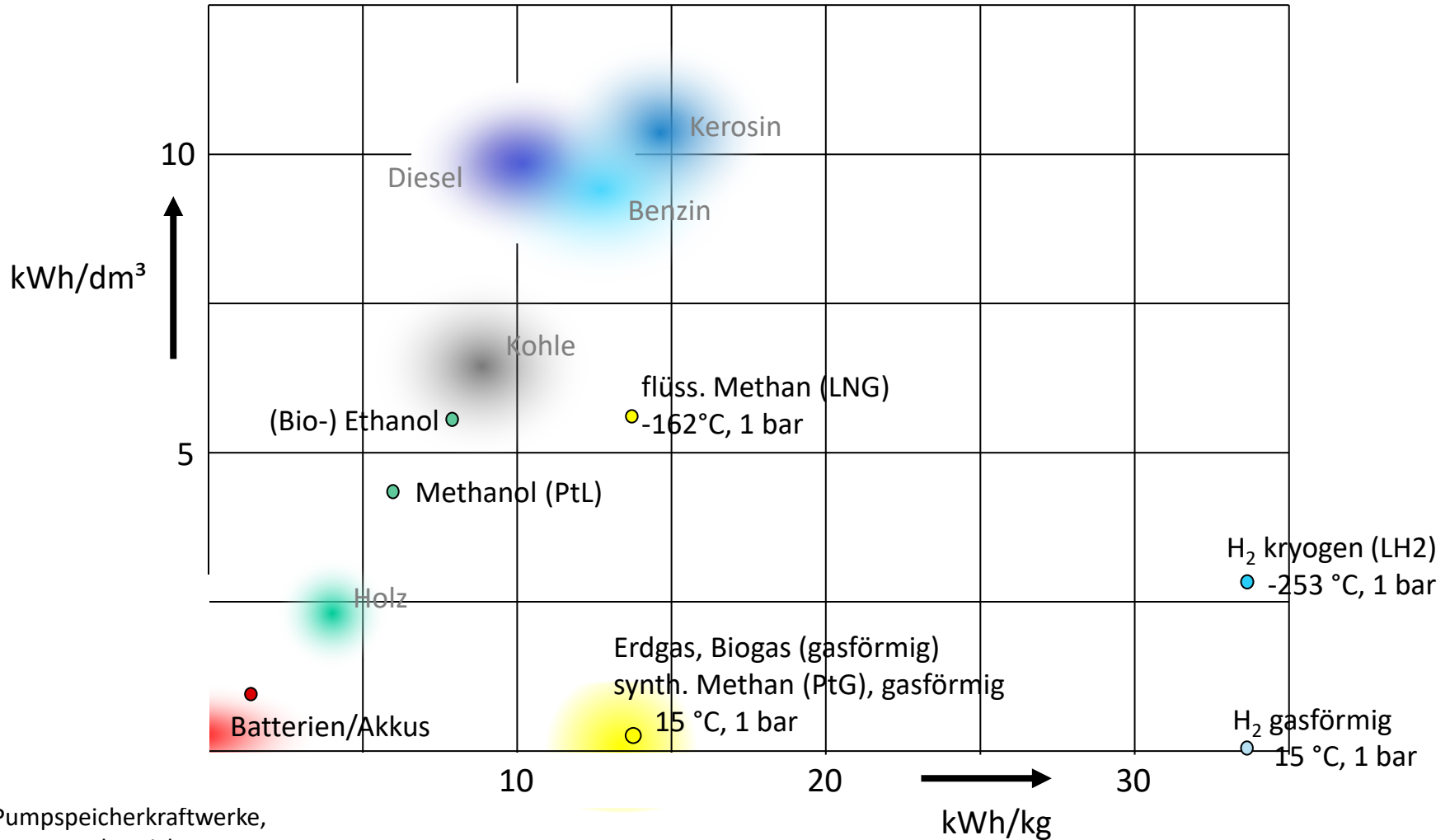
Lösungen

Was ist wichtig?

Umdenken!

Vergleich

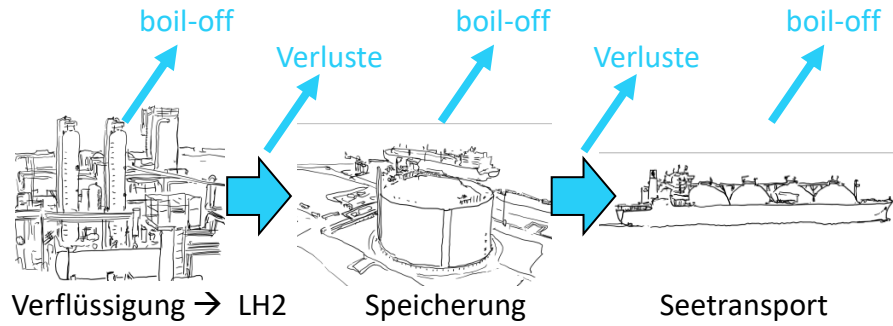
Zusammenfassung



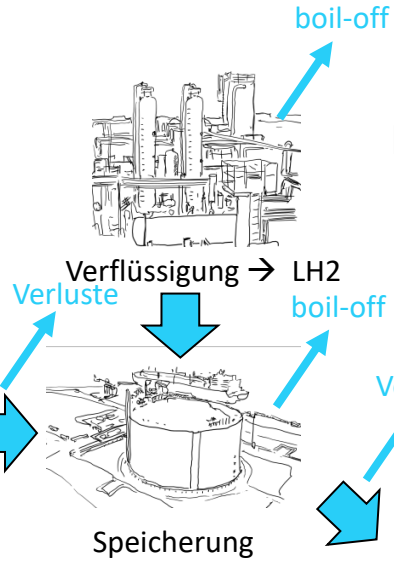
Pumpspeicherkraftwerke,
Druckspeicher,
Schwungradspeicher,
Superkondensatoren
hier nicht sinnvoll

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

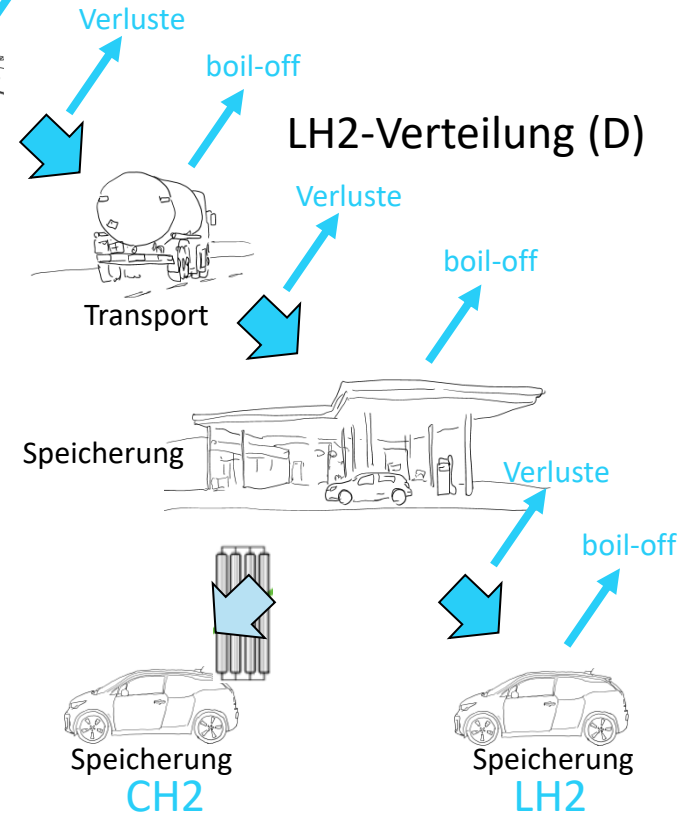
LH2-Erzeugung (Übersee)



LH2-Erzeugung (D)



LH2-Verteilung (D)



Nur wenn zwischen 2 Speicherorten

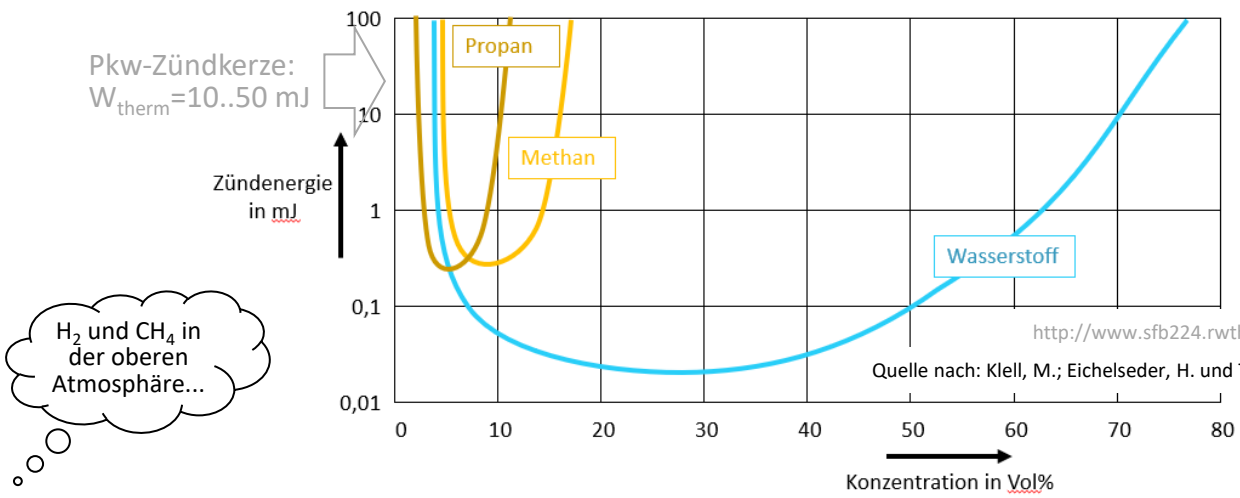
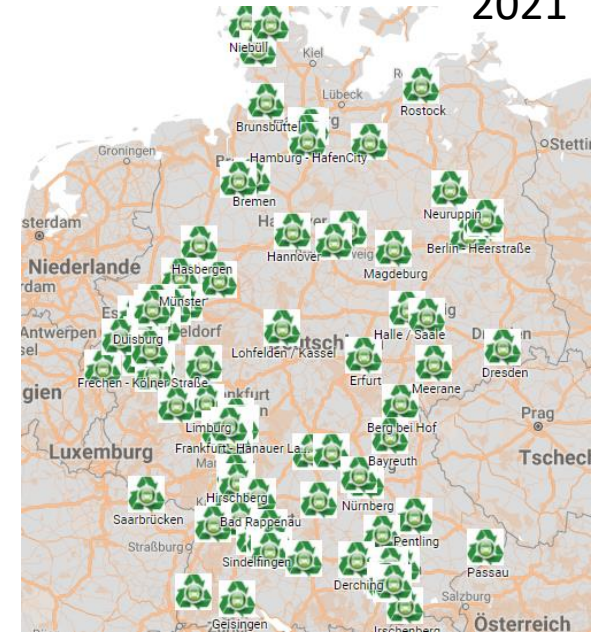
- die Transportdauer kleiner als 24 h
- die Masse LH2 größer als 350 kg
- der Überdruck unterhalb von 4,5 bar bleibt ist keine Belüftung erforderlich.

Boil-off along LH₂ pathway needs to be better understood

... und immer wieder Wasserstoff

- keine ausreichende Infrastruktur
- 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 15...15% bei Kompression auf z.B. 1200 bar
- ungeklärte Materialprobleme
- Sicherheitsaspekte

<https://www.glpautogas.info/data/hydrogen-stations-map-germany.html>
 2021



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.

Verluste verschiedener Transportlösungen

Istzustand

Lösungen

Was ist wichtig?

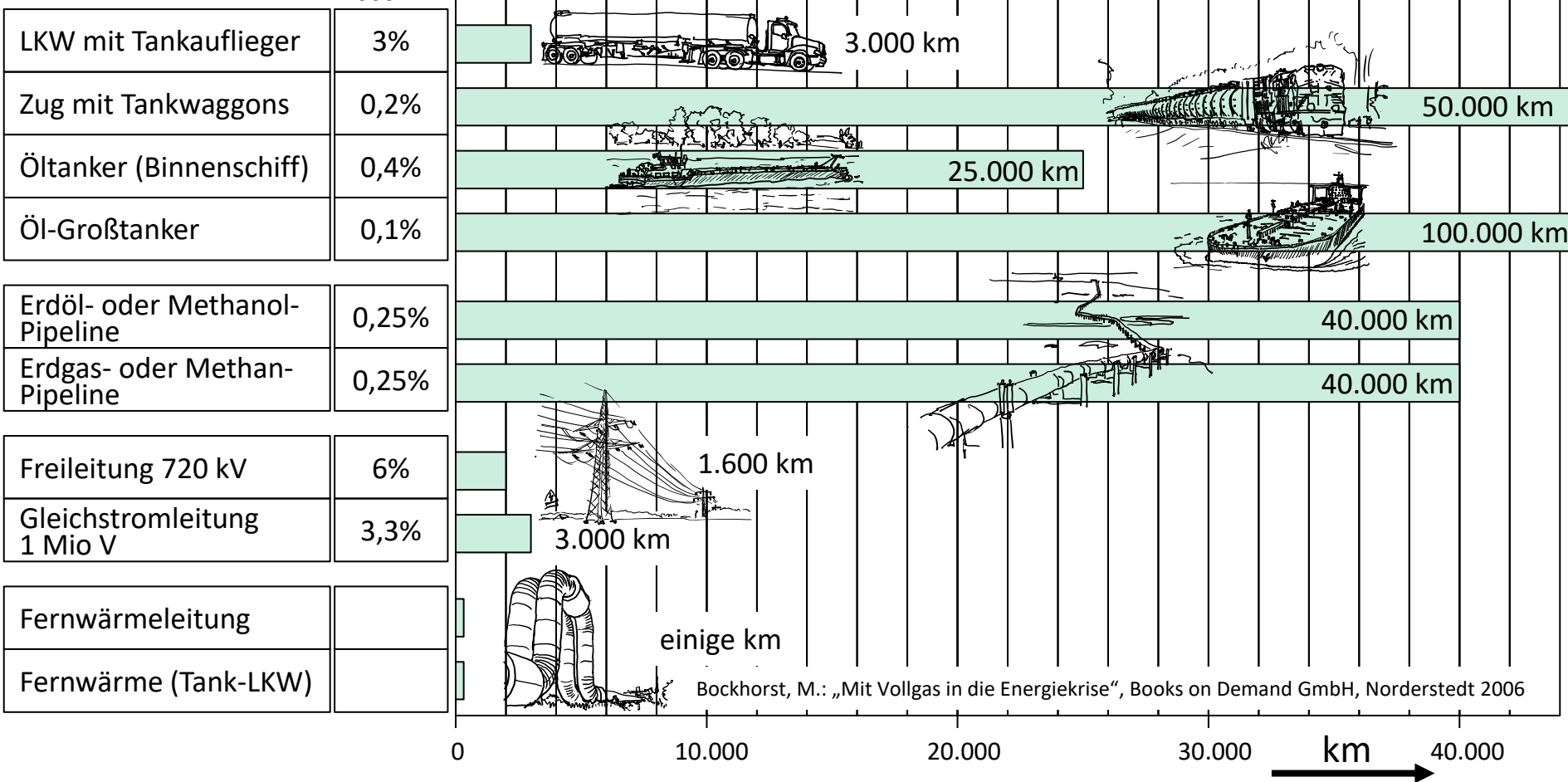
Umdenken!

Vergleich

Zusammenfassung

Reichweite bei 10% Verlust der transportierten Energie

Verluste auf
1000 km



besser (synthet.) Methan über das Erdgasnetz als Strom über „Stromautobahnen“

4 Auf erneuerbare Energien setzen heißt Umdenken

Fossile Energieträger als Basis der Energiewirtschaft

Istzustand

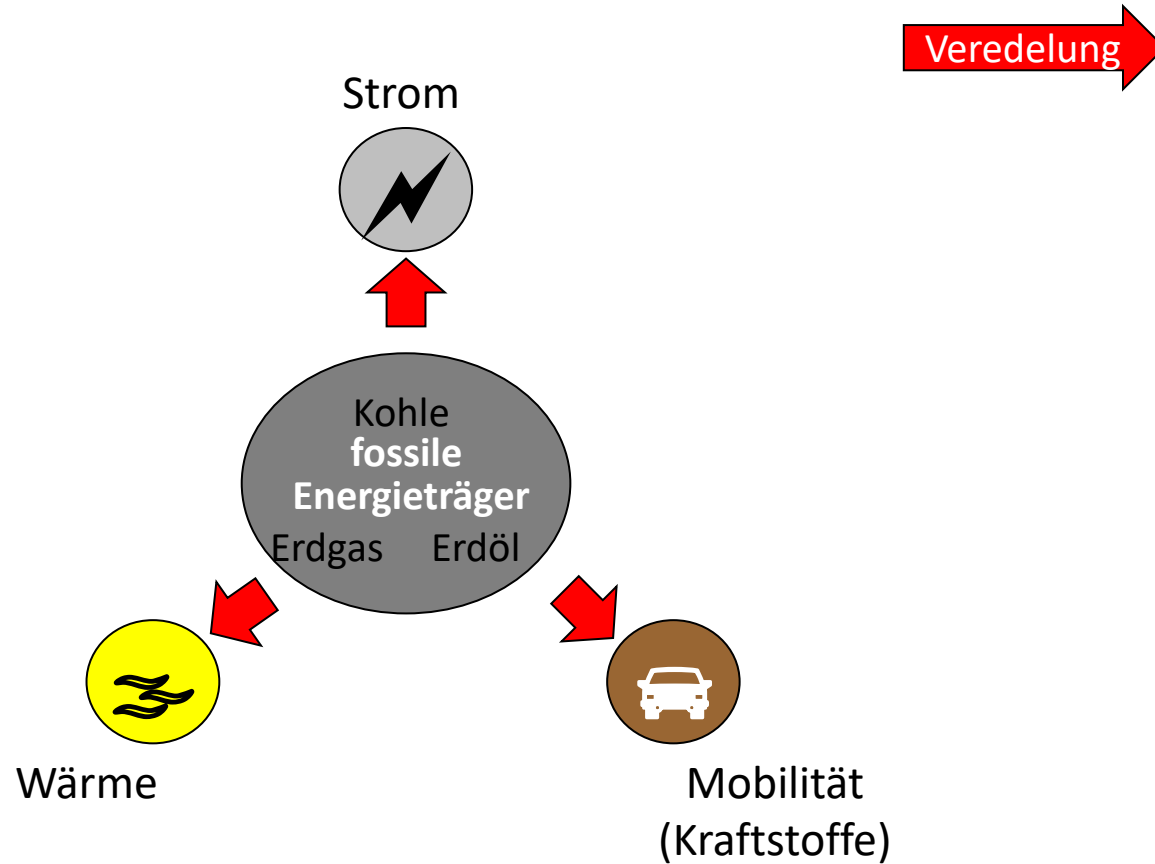
Lösungen

Was ist wichtig?

Umdenken!

Vergleich

Zusammenfassung



Fossile Energieträger: Energiewandlung und -veredelung

Istzustand

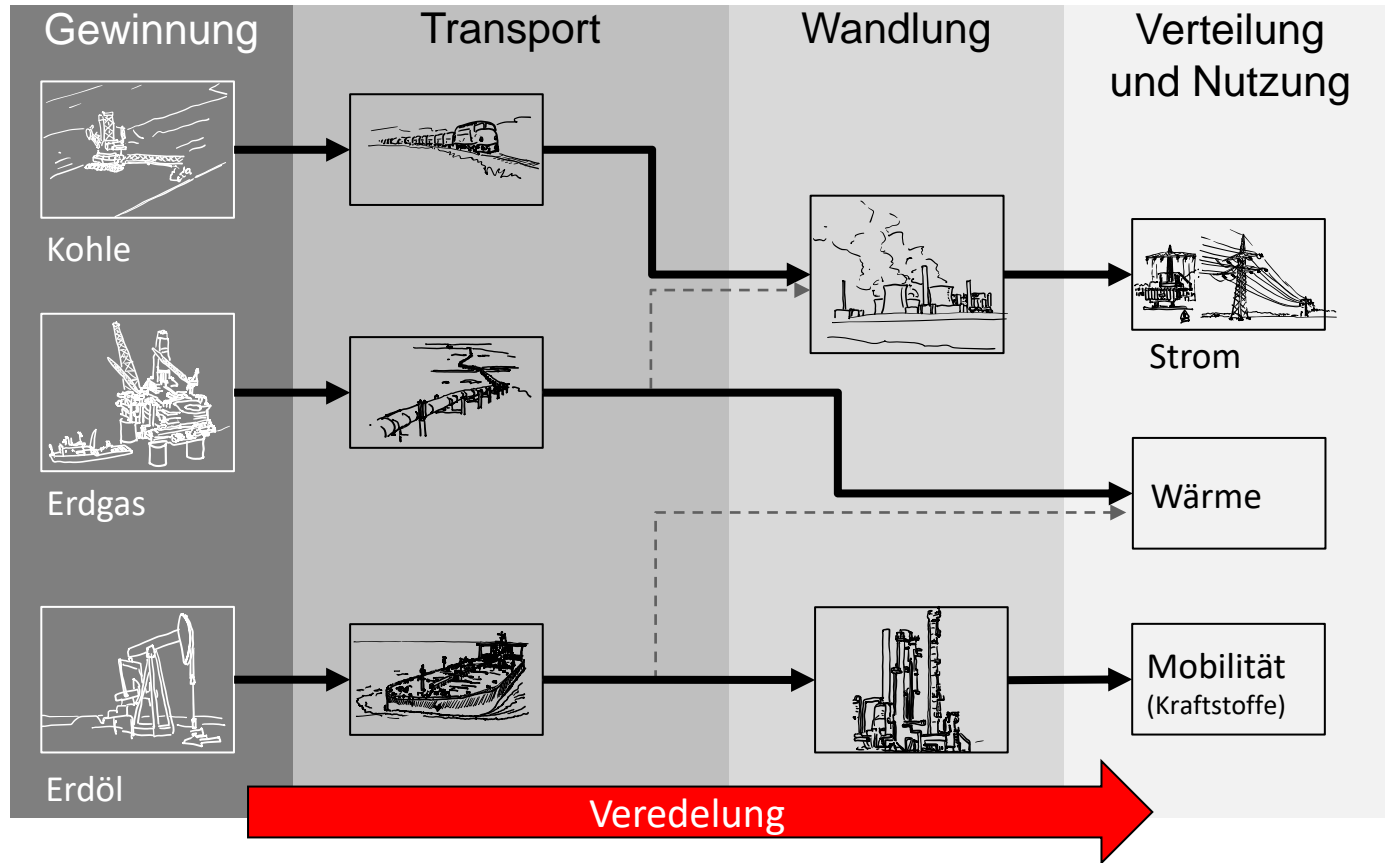
Lösungen

Was ist wichtig?

Umdenken!

Vergleich

Zusammenfassung



Regenerative Energieträger - Basis der CO₂-neutralen Energiewirtschaft

Istzustand

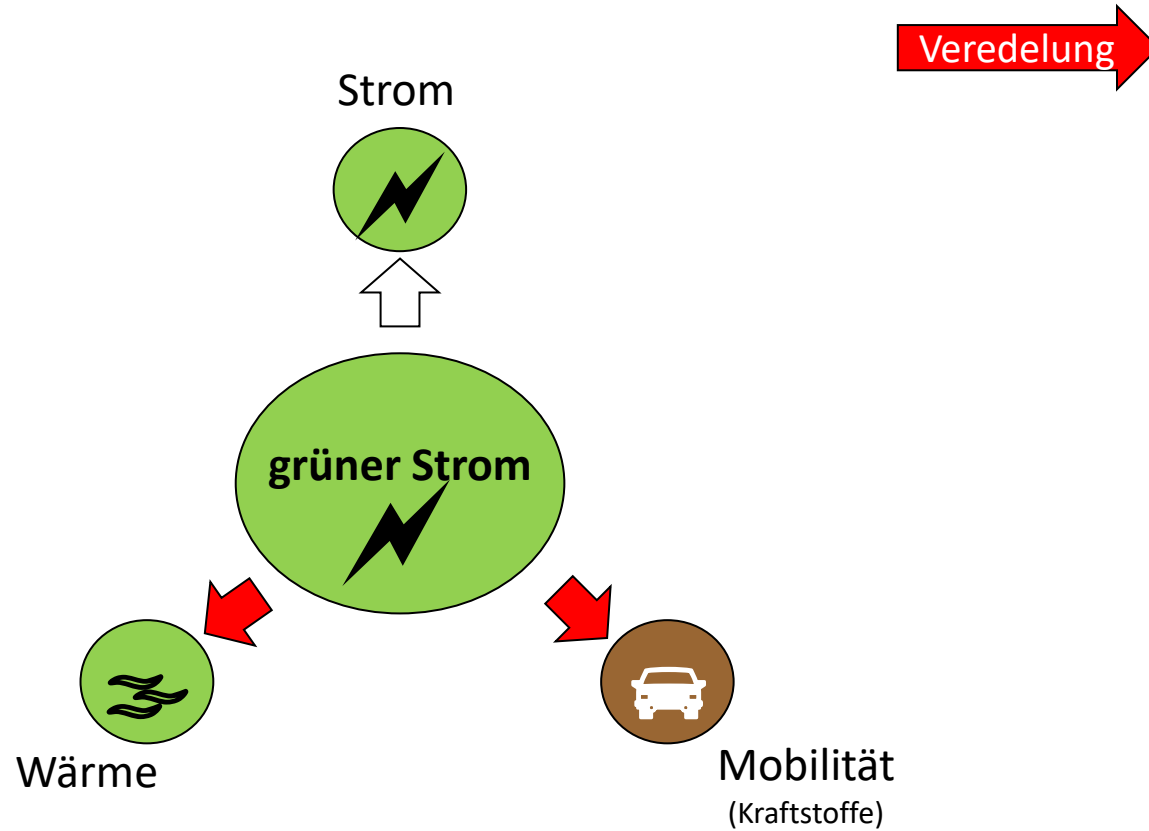
Lösungen

Was ist wichtig?

Umdenken!

Vergleich

Zusammenfassung



Regenerative Energieträger: Energiewandlung und -veredelung

Istzustand

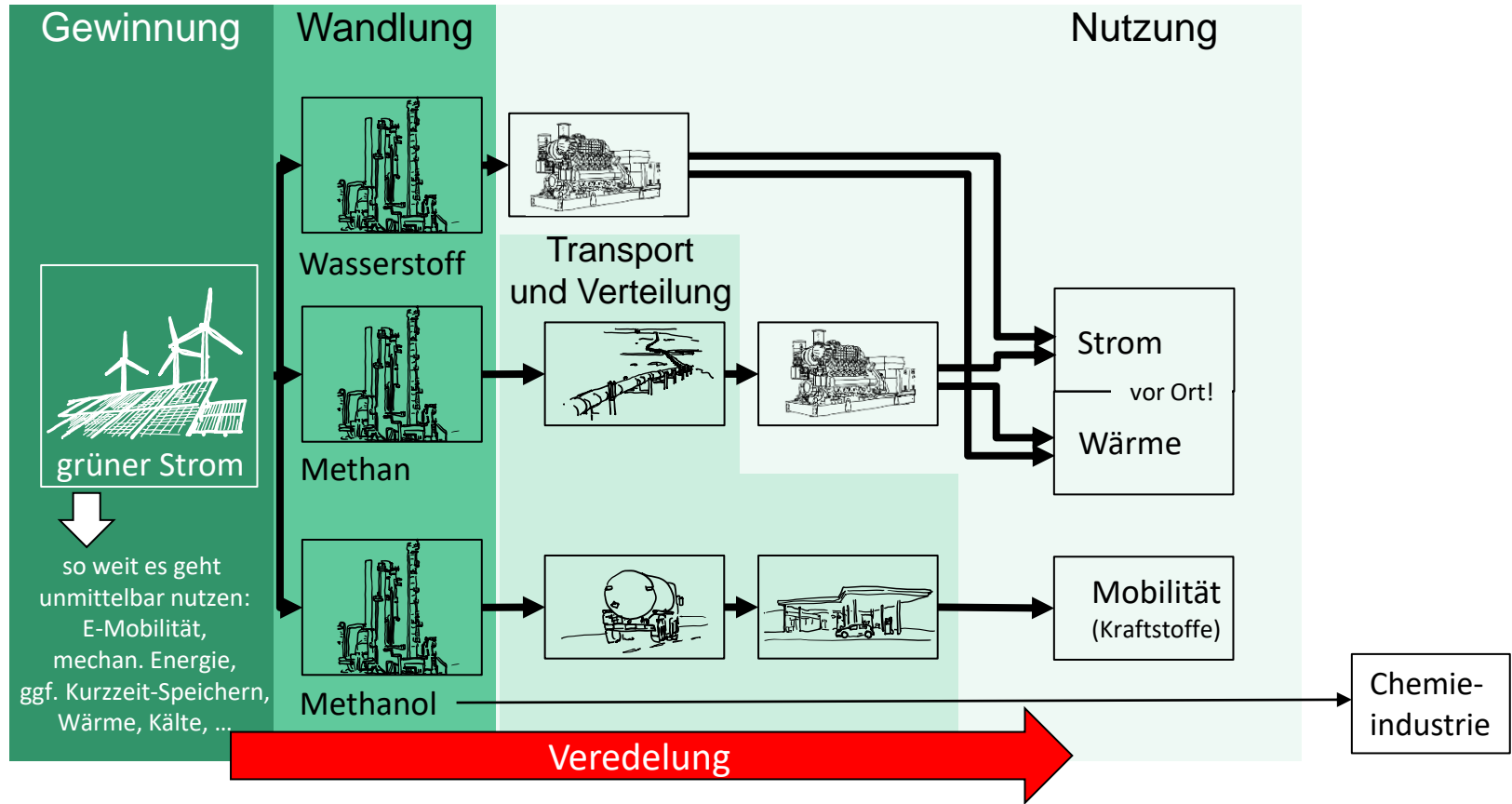
Lösungen

Was ist wichtig?

Umdenken!

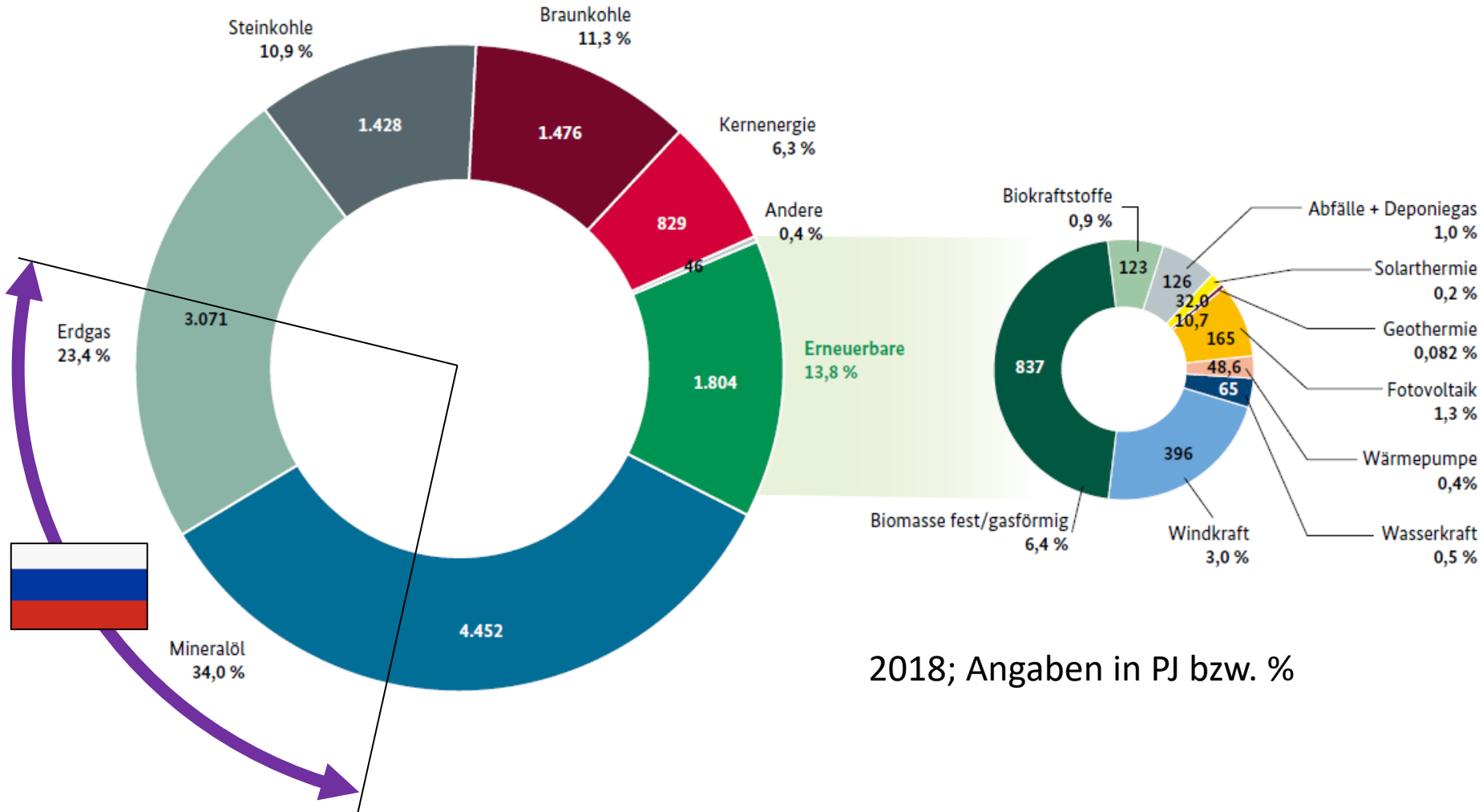
Vergleich

Zusammenfassung



Regenerative Energieträger - Situation heute

Quelle AG Energiebilanzen (AGEB), Stand: August 2019



2018; Angaben in PJ bzw. %

5 Ein etwas anderer Vergleich fossile/regenerierbare Energieträger

Veredelung der Energie im Vergleich (heute)

Istzustand

Lösungen

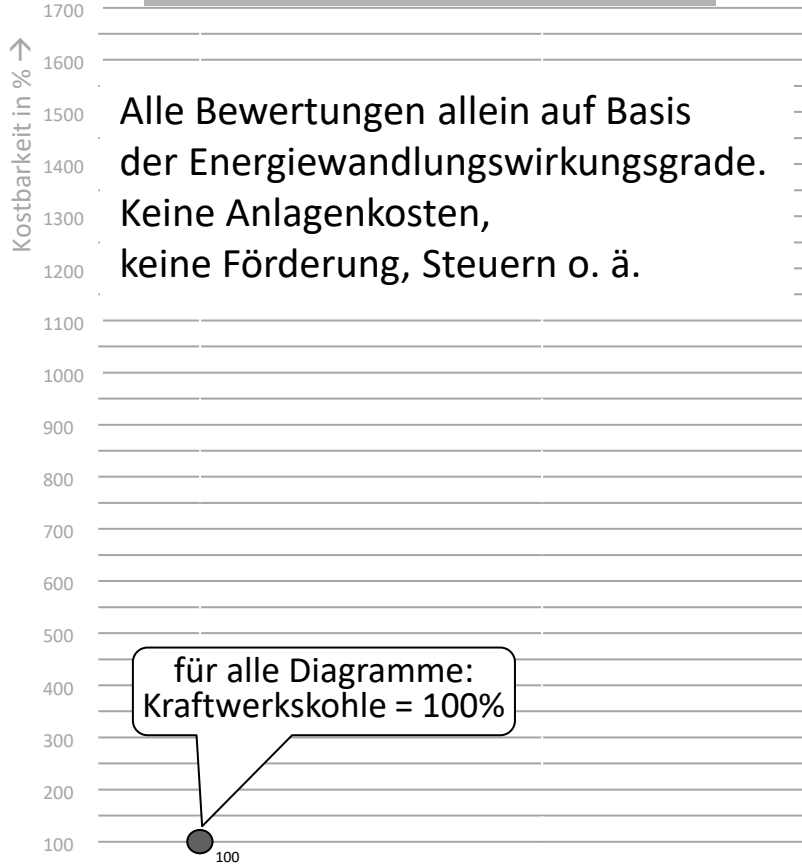
Was ist wichtig?

Umdenken!

Vergleich

Zusammenfassung

fossile Primärenergieträger



Veredelung der Energie im Vergleich (heute)

Istzustand

Lösungen

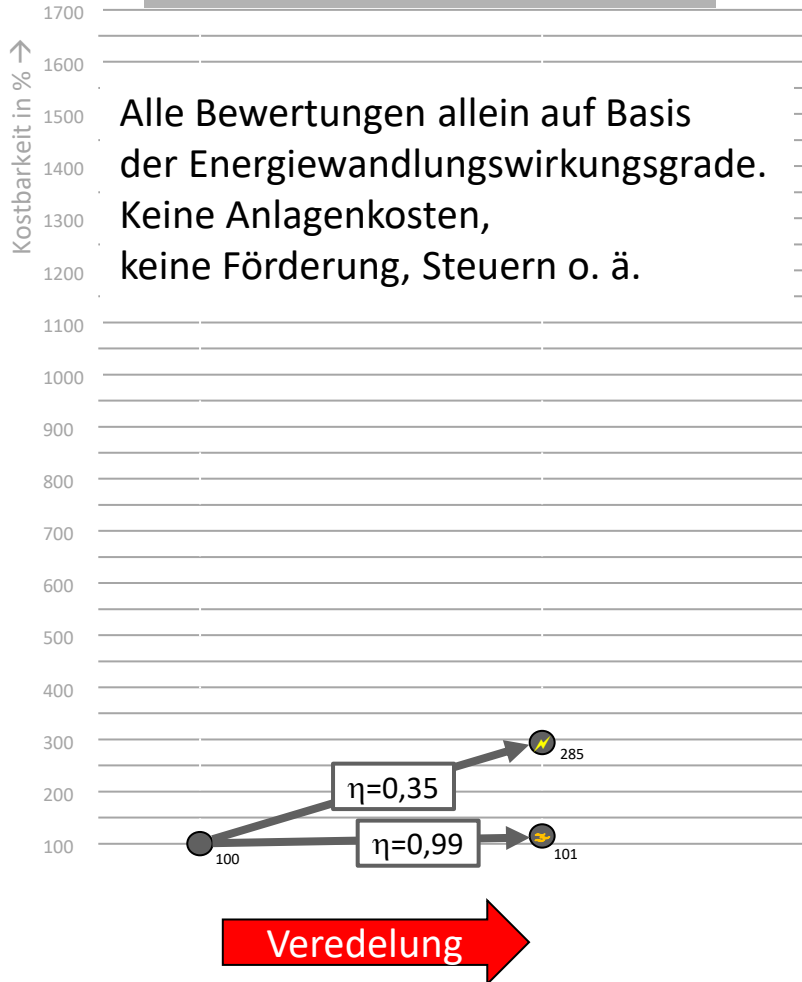
Was ist wichtig?

Umdenken!

Vergleich

Zusammenfassung

fossile Primärenergieträger



Veredelung der Energie im Vergleich (heute)

Istzustand

Lösungen

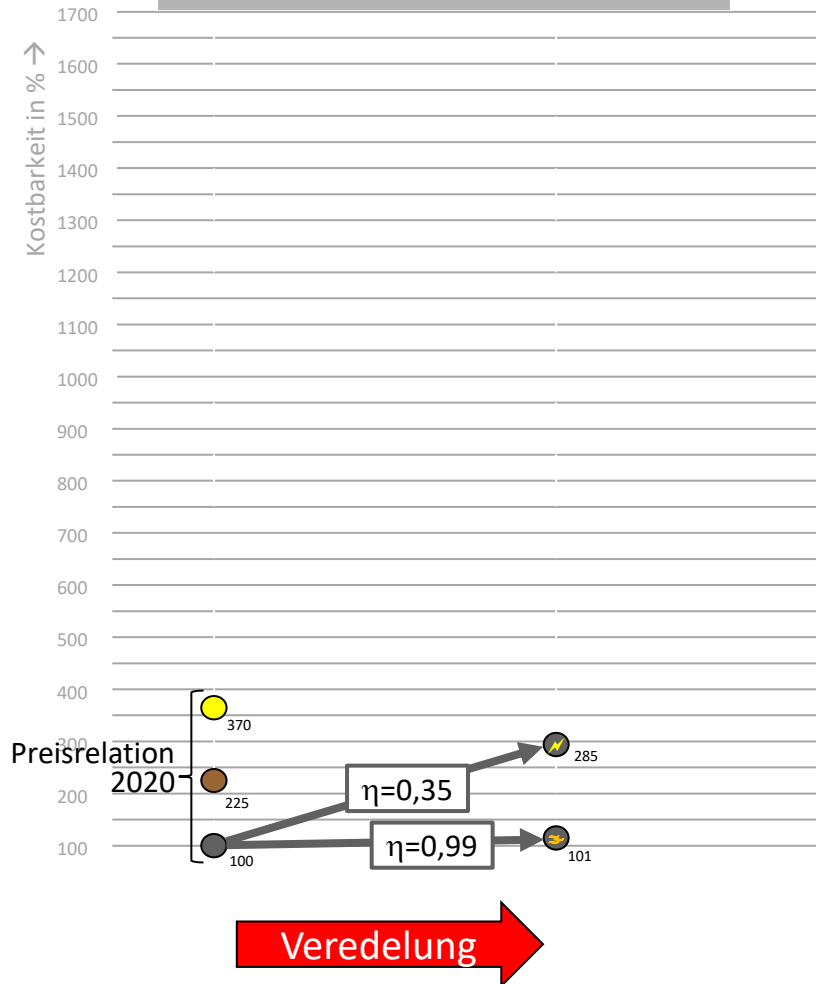
Was ist wichtig?

Umdenken!

Vergleich

Zusammenfassung

fossile Primärenergieträger



Veredelung der Energie im Vergleich (heute)

Istzustand

Lösungen

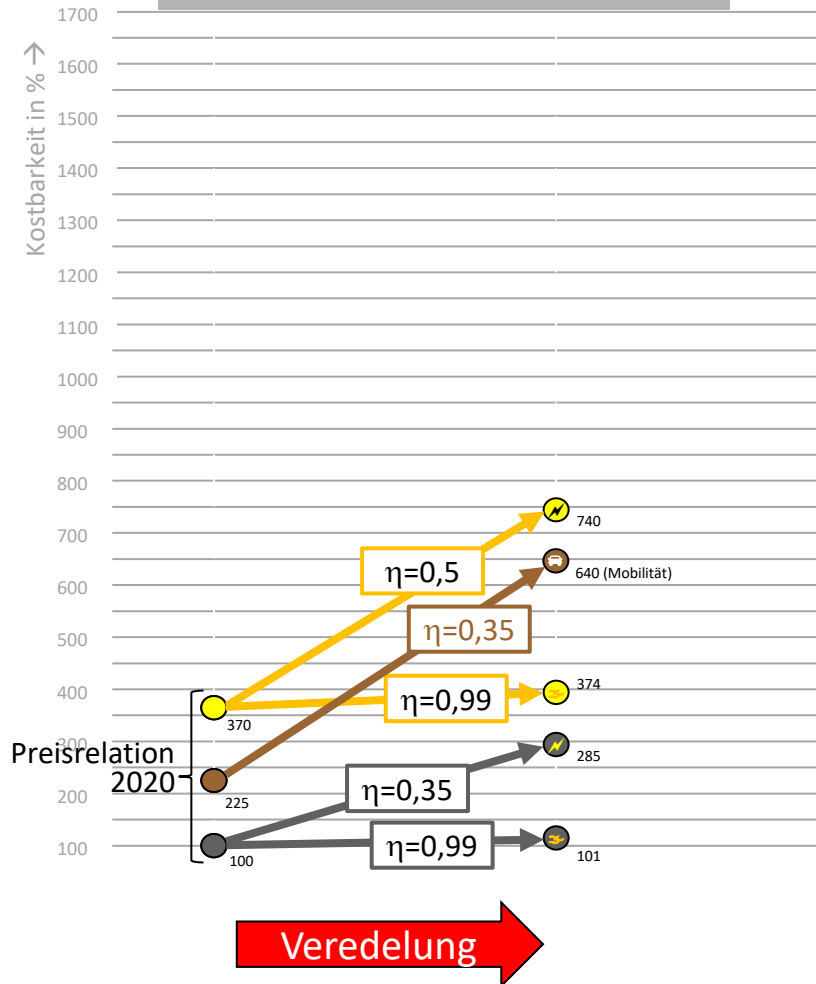
Was ist wichtig?

Umdenken!

Vergleich

Zusammenfassung

fossile Primärenergieträger



Veredelung der Energie im Vergleich (heute)

Istzustand

Lösungen

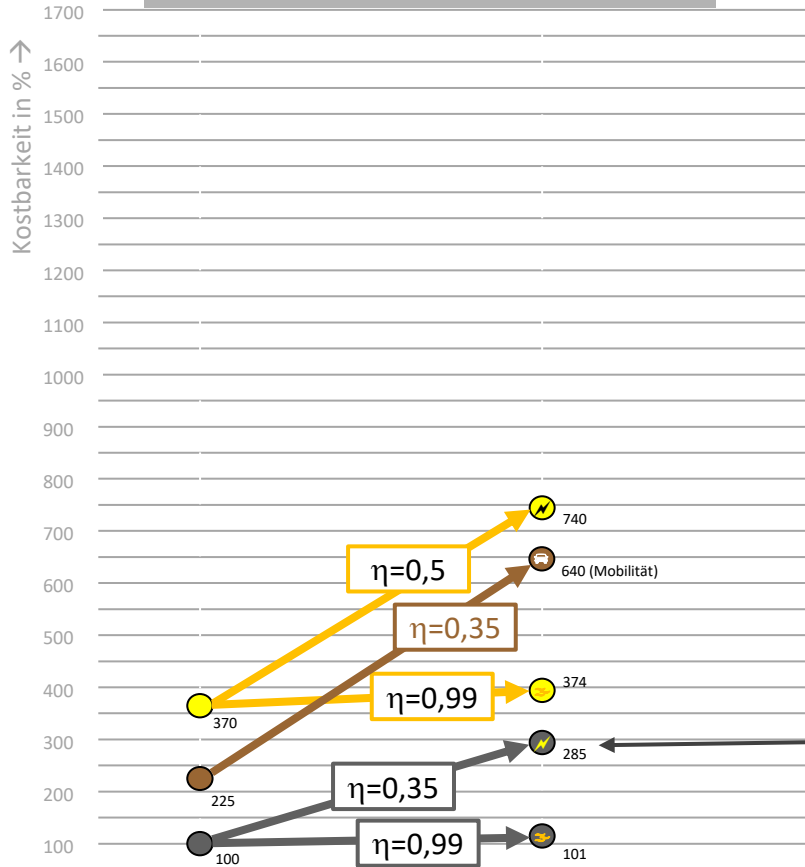
Was ist wichtig?

Umdenken!

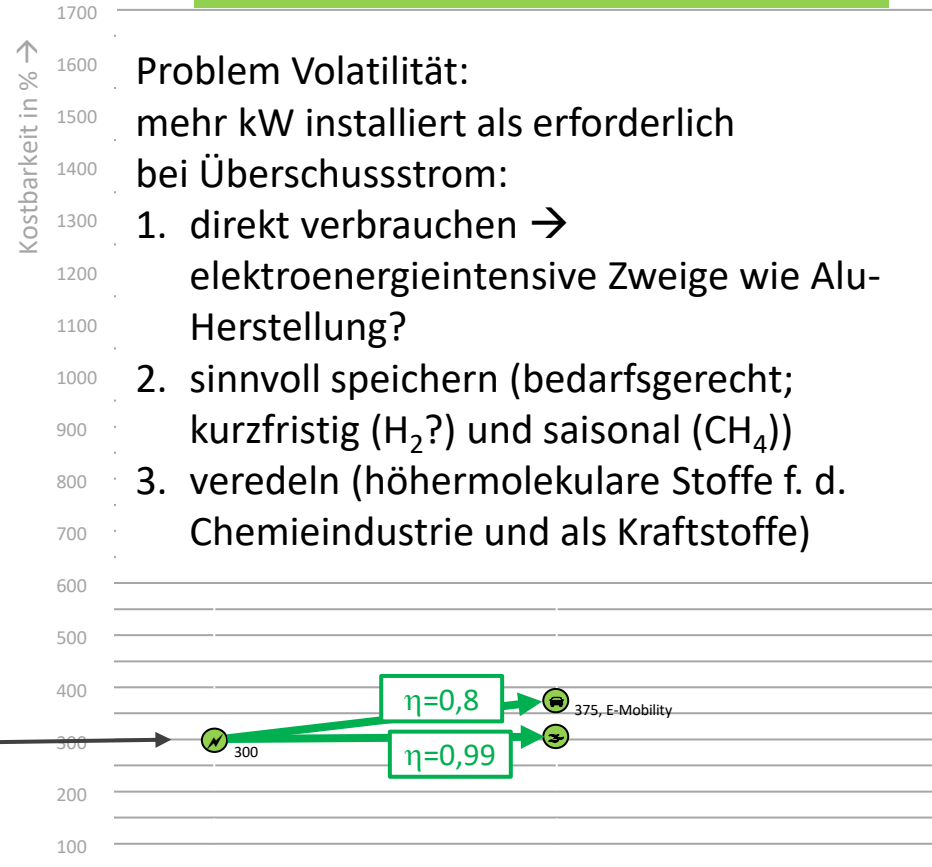
Vergleich

Zusammenfassung

fossile Primärenergieträger



erneuerbare Primärenergieträger



Problem Volatilität:

mehr kW installiert als erforderlich
bei Überschussstrom:

1. direkt verbrauchen →
elektroenergieintensive Zweige wie Alu-
Herstellung?
2. sinnvoll speichern (bedarfsgerecht;
kurzfristig (H_2 ?) und saisonal (CH_4))
3. veredeln (höhermolekulare Stoffe f. d.
Chemieindustrie und als Kraftstoffe)

Veredelung

Veredelung der regenerativen Energie im Vergleich (zukünftig)

Istzustand

Lösungen

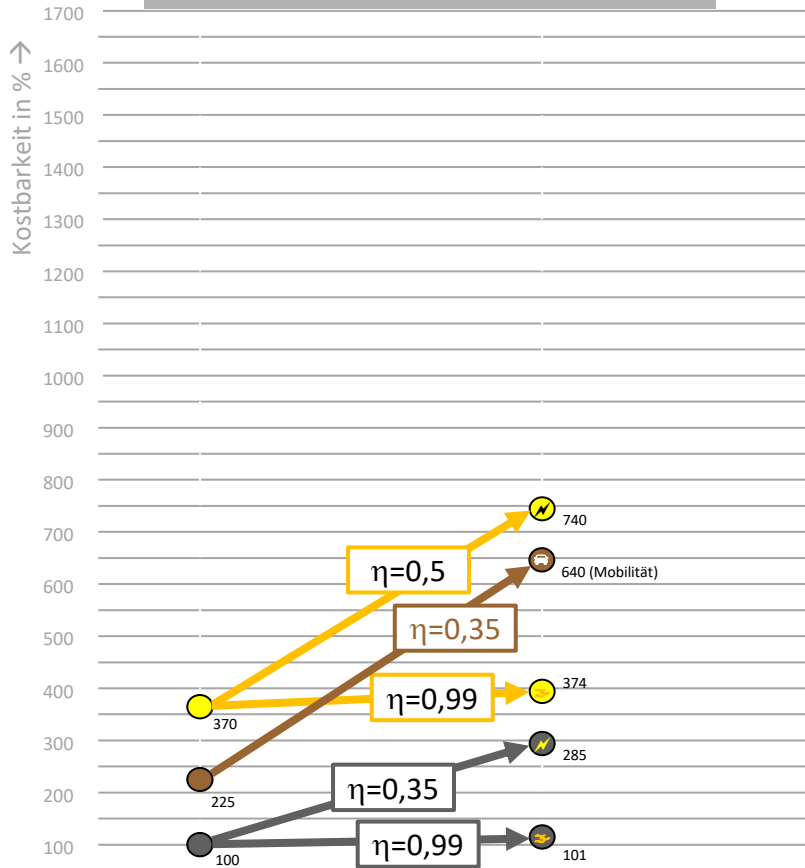
Was ist wichtig?

Umdenken!

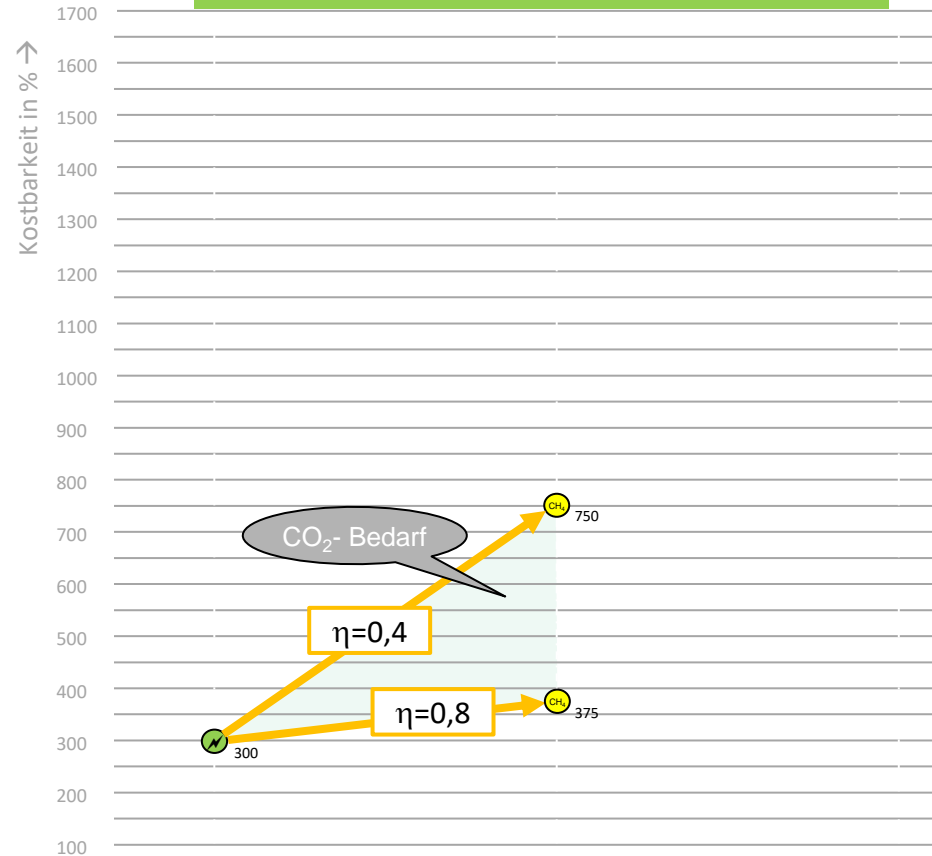
Vergleich

Zusammenfassung

fossile Primärenergieträger



erneuerbare Primärenergieträger



Veredelung

Veredelung der regenerativen Energie im Vergleich (zukünftig)

Istzustand

Lösungen

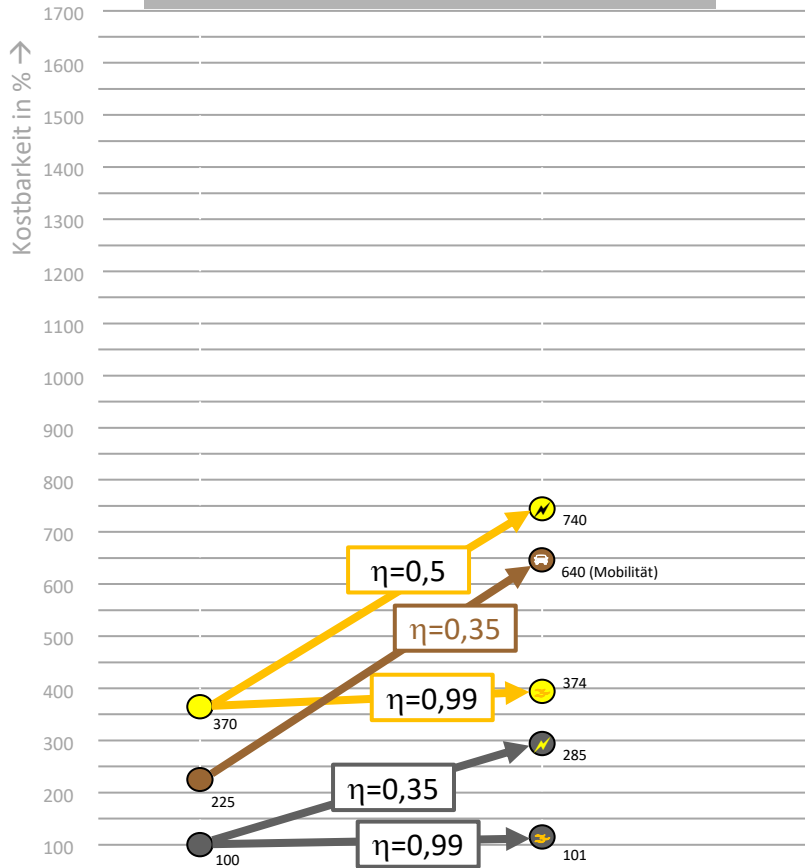
Was ist wichtig?

Umdenken!

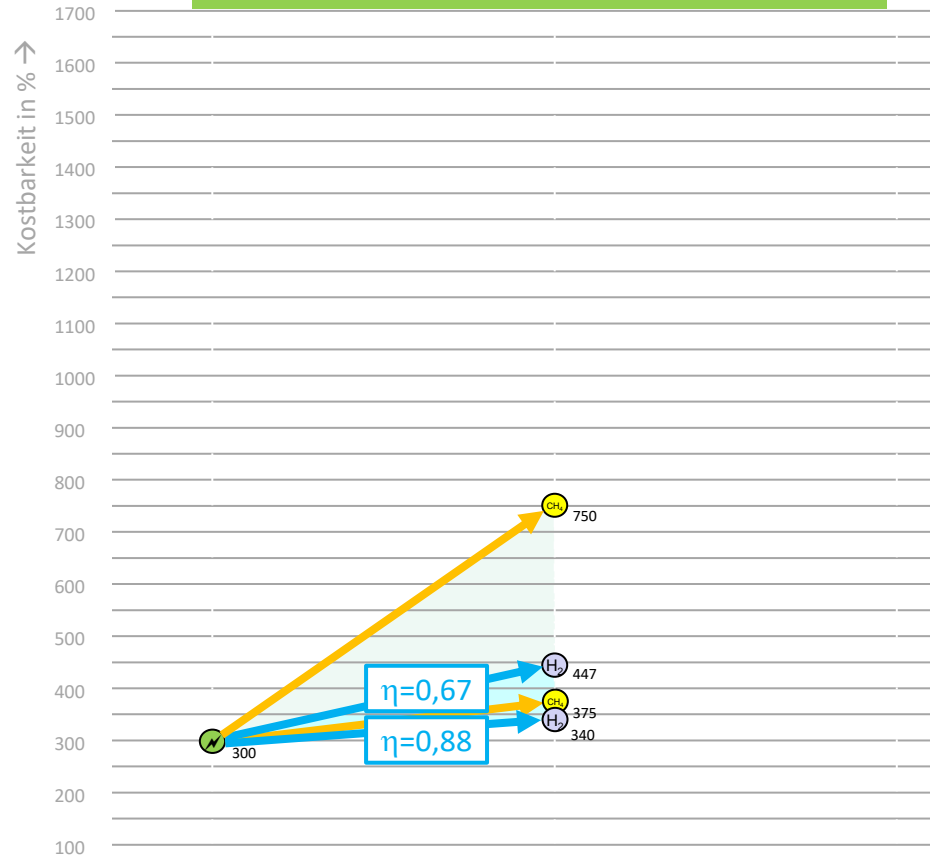
Vergleich

Zusammenfassung

fossile Primärenergieträger



erneuerbare Primärenergieträger



Veredelung

Veredelung der regenerativen Energie im Vergleich (zukünftig)

Istzustand

Lösungen

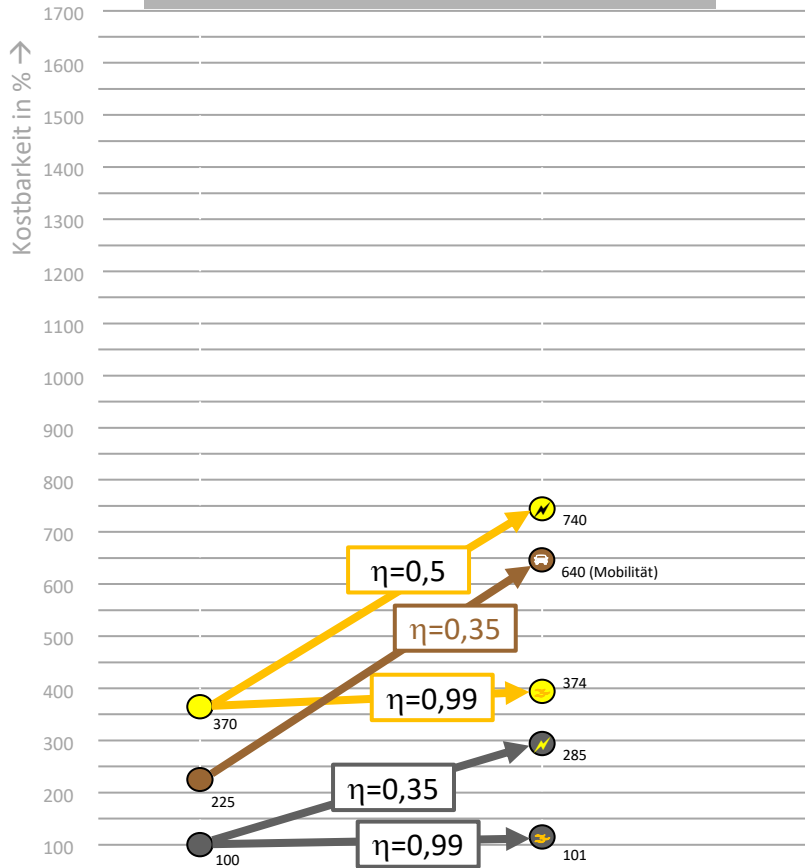
Was ist wichtig?

Umdenken!

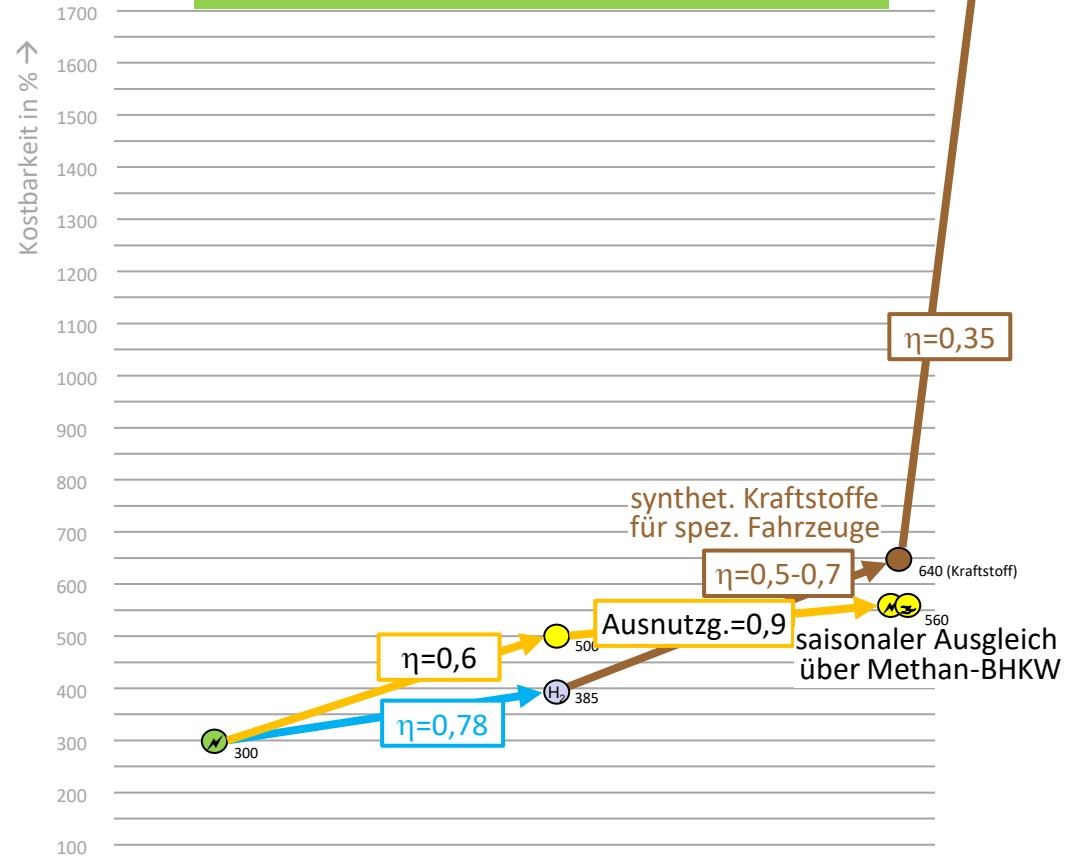
Vergleich

Zusammenfassung

fossile Primärenergieträger



erneuerbare Primärenergieträger



Veredelung

Szenarien - Gaspreis hoch / Ökostrompreis runter

Istzustand

Lösungen

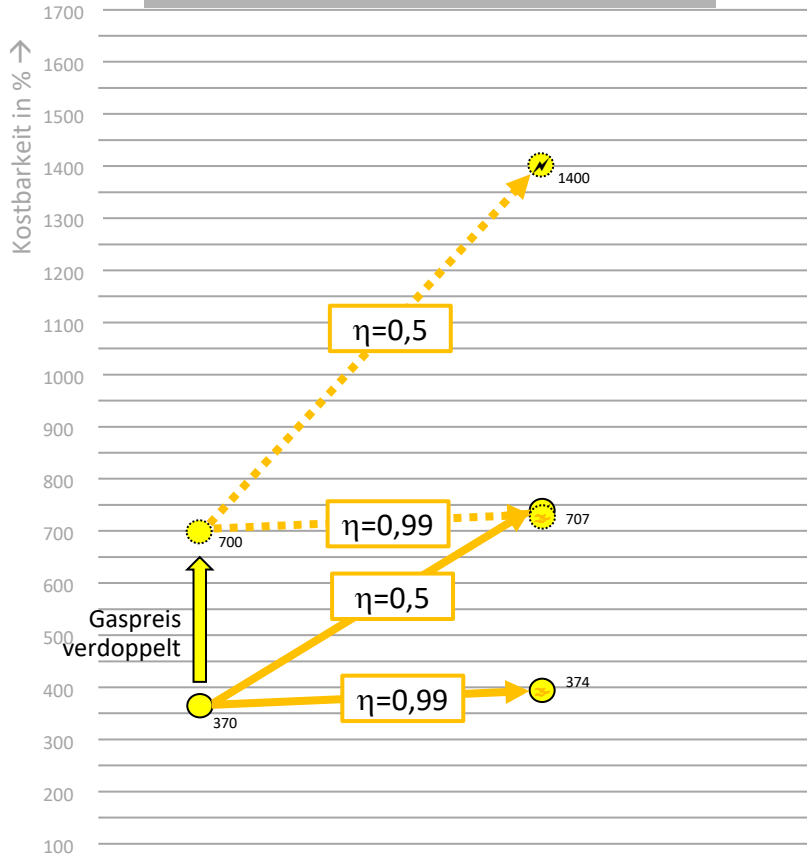
Was ist wichtig?

Umdenken!

Vergleich

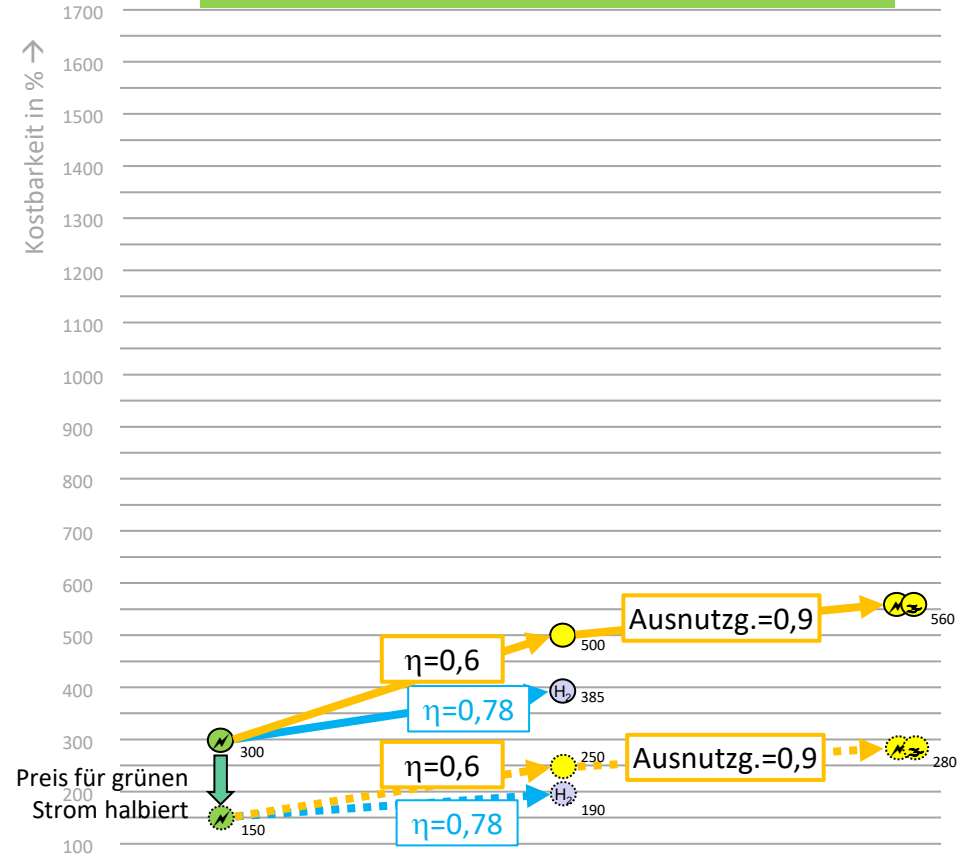
Zusammenfassung

fossile Primärenergieträger



Veredelung

erneuerbare Primärenergieträger



Veredelung

Veredelung

Szenarien - Ölpreis hoch / Ökostrompreis runter

Istzustand

Lösungen

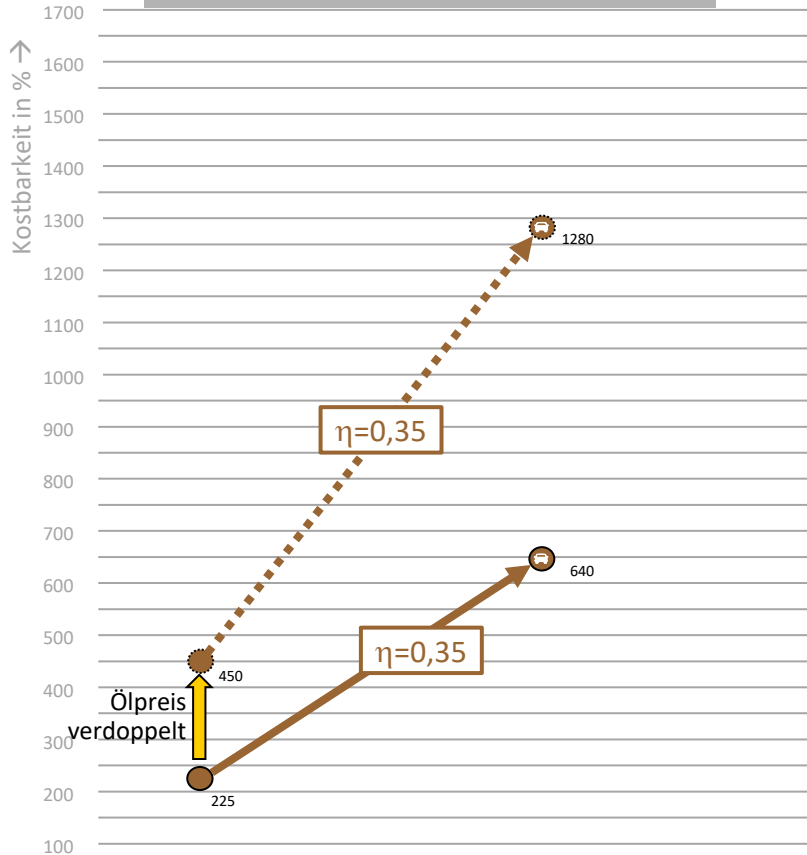
Was ist wichtig?

Umdenken!

Vergleich

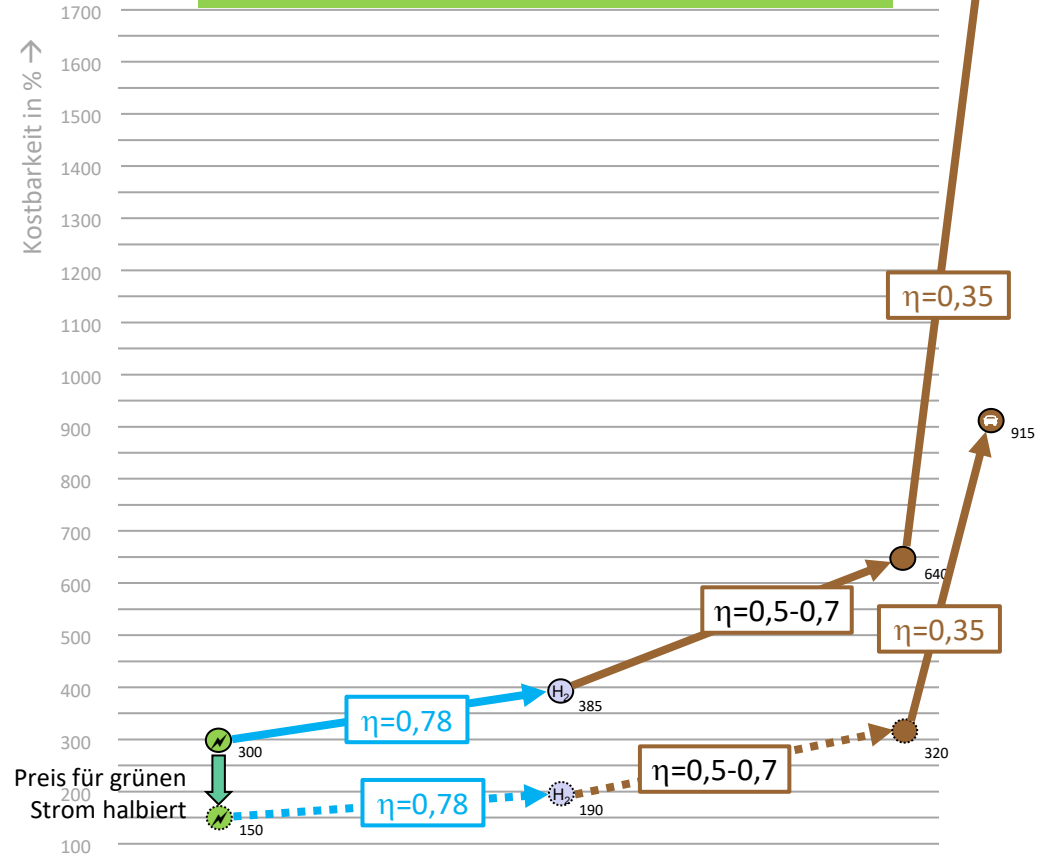
Zusammenfassung

fossile Primärenergieträger



Veredelung

erneuerbare Primärenergieträger



Veredelung

Veredelung

5 Zusammenfassung

- Energie (insbes. Gas und Erdöl) sparen hilft immer und überall
- Ausstieg aus russ. Energieversorgung ist möglich, zumindest zum Teil
- die eingesparten Milliarden für Autarkie-Anstrengungen (grüne Energie) verwenden
- (neue) Abhängigkeiten vermeiden
- Umbau auf regenerative Energiequellen in D massiv vorantreiben
- möglichst keine unerprobten, risikobehafteten „neuen“ Techniken anwenden*)
- grüne Energien sind sinnvoll und bezahlbar
- Energiewirtschaft just in time ist risikobehaftet
- Speichern ist die Schlüsseltechnik, auch für den Transport wichtig
- Speichertechniken weit weg vom „Normalzustand“ sind wenig geeignet
- Wasserstoff erfüllt die Anforderungen nicht
- PtX-Techniken so schnell wie möglich weiterentwickeln und breit einsetzen

*) die Zeit drängt!

**Danke für die Aufmerksamkeit,
dem IWT Dank für die Ausrichtung der
Veranstaltung**

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/XdfkYpxGij5>

Das ist der Mitschnitt eines Vortrages vom 10.11.21 im Rahmen einer online-Alumni-Veranstaltung des DHBW-CAS Heilbronn.

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>

1 Treibhauseffekt

2 Analyse des Istzustandes

Video 2 <https://youtu.be/jaJLnykbwLk>

3 CO₂-Reduktionspotenziale

3.1 Rolle von Brennstoffen, Energie-Wandlungen und Transport

3.2 Wirkungsgrade der Energiewandlungen

Video 3 https://youtu.be/6u9yil_Cyfw

4 Fokus: Regenerative Energieträger

4.1 Wind- und Solarenergie

4.2 Volatilität – Ausgleich durch Speicherung

Video 4 <https://youtu.be/ij2SXcLAWLc>

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

Backup-Folien

Energiespeicherung - technische Lösungsmöglichkeiten

Istzustand

Lösungen

Regenerative Energien

Umdenken!

Vergleich

Zusammenfassung



Speicherung von „grünem Strom“ 7 TWh → 7.000 GWh → 7.000.000 MWh:

Pumpspeicherkraftwerk	0,0014 kWh/kg _{H₂O}	durchschn. 1 GWh / Oberbecken (größtes in D mit 8,4 GWh)	7000 Kraftwerke	Strom→Oberbecken: 80..90% Oberbecken→Strom: 80..90%
E-Autos mit Li-Akkus	0,3 kWh/kg	150 kWh (500kg-Akku pro Auto)	46 Mio E-Autos	Strom→Akku: 95% (?) Akku→ Strom: 95% (?)
Zukunfts-Akku-Speicher	1 kWh/kg (very advanced)	Akkumulatoren in verschiedenen Größen (Haus, Großanlage)	ggf. 7 Mio t Lithium (9% d. Weltvork.)	Strom→Akku: 95% (?) Akku→ Strom: 95% (?)
Wasserstoffspeicher	3 kWh/m ³ 210 kWh/m ³ (70 bar)	Kein Netz vorhanden 10% H ₂ im Erdgasnetz möglich	1 Netz + Speicher	Strom→H ₂ : 60...80% H ₂ →Strom: 50..70% (PEM)
Erdgasnetz + Speicher	13,9 kWh/kg 700 kWh/m ³ (70 bar)	47 Speicher (250 bar), 230 TWh + Leitungen 130 TWh	1 Netz + Speicher	Power to Gas: 50..75% Gas→Strom: 40% mit Wärme 95% *)
Biogas-Speicher	13,9 kWh/kg 9,97 kWh/m ³ (30 mbar)	5 MWh pro Tank mit 500 m ³	1,4 Mio Speicher	Power to Gas: 50..75% Gas→Strom: 40% mit Wärme 95% *)
Methanol-Tanks	5,6 kWh/kg (12 MJ/kg)	13,3 GWh pro Tank mit 3000 m ³	526 Tanks	Power to Fuel: 40..60% (?) Fuel to Mobility: 25..35%

*) Die Angaben von „nur 20...30% Wirkungsgrad“ beziehen sich hier allein auf die „Rückgewinnung“ von E-Energie, die KWK wird meist vergessen

„Stromautobahnen“

Solarfelder in der Sahara

Strom aus dem Weltraum

Batteriespeicher für Schwankungen

Batteriespeicher in Elektroautos

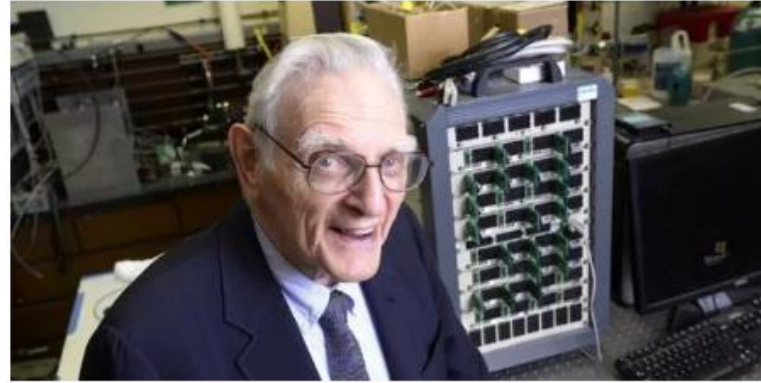
Pumpspeicherkraftwerke

Wasserstoffspeicherung

Smart Grid

Power to Gas

Power to Fuel



John Goodenough, einer der Miterfinder des Lithium-Ionen-Akkus, hat jetzt eine neue Batterietechnik vorgestellt, die mit Glaselektrolyt arbeitet. Sie soll dreimal so leistungsstark sein wie ein herkömmlicher Lithium-Ionen-Akku.

Foto: Universität Texas

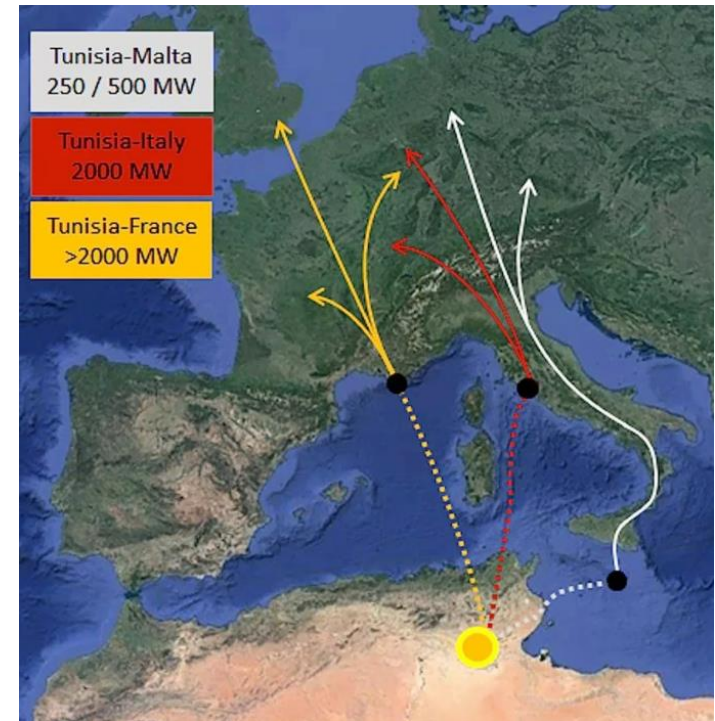
MEHR ALS 1.000 TWh werden jährlich im Gasnetz transportiert, etwa 600 TWh im Stromnetz.

Power-to-Gas mit hohem Wirkungsgrad

Das EU-Projekt HELMETH konnte den Wirkungsgrad der Methangasproduktion aus regenerativem Strom dank thermischer Verkettung chemischer Prozesse auf über 75 Prozent steigern



Die Demonstratoranlage des Projekts HELMETH verbindet Methanisierung (links) und Elektrolyse (rechts) mit einem Wirkungsgrad von 76 Prozent. (Bild: sunfire GmbH)



Versorgungsnetz LPG (Liquefied Petroleum Gas, Autogas)

Istzustand

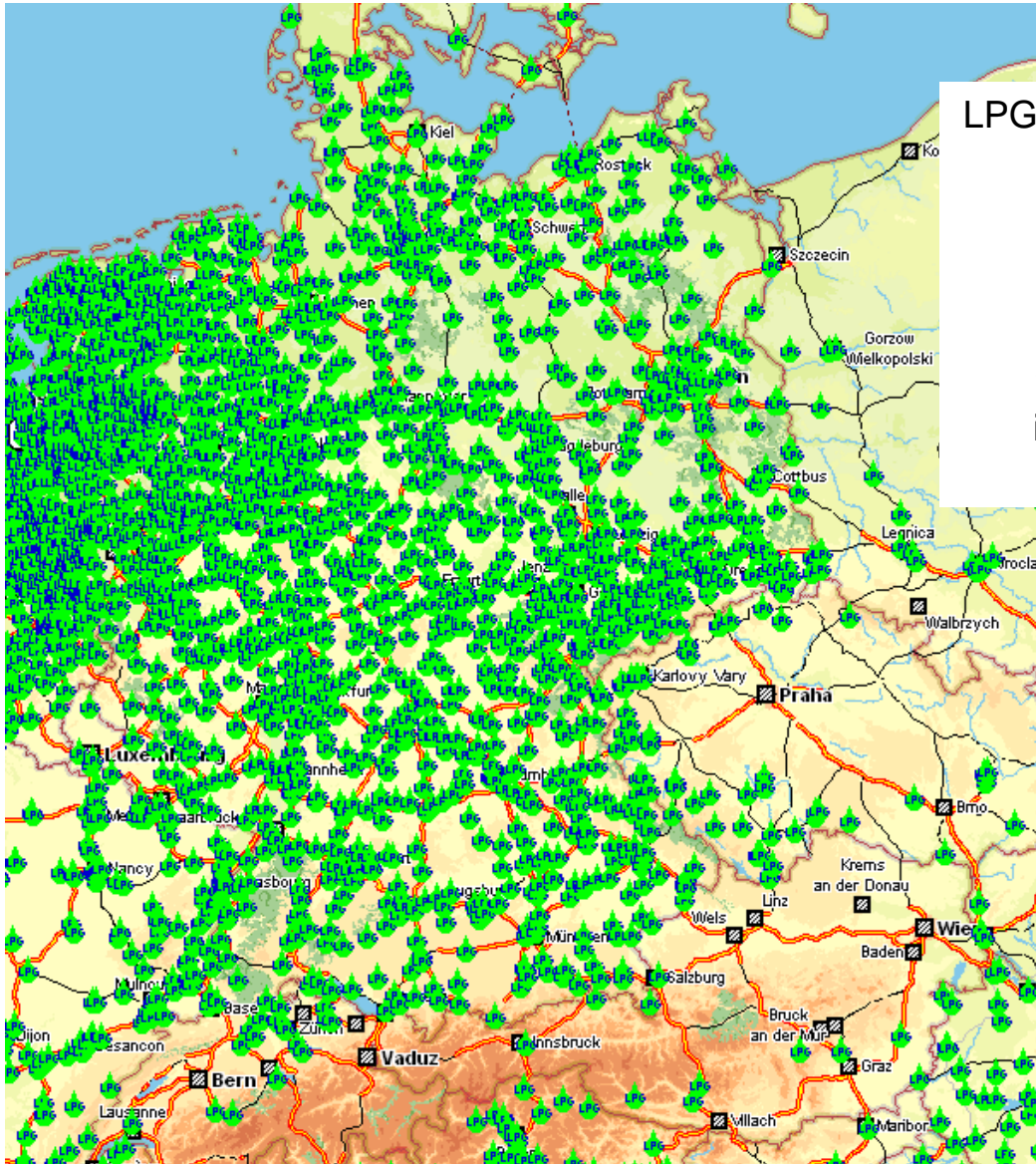
Lösungen

Was ist wichtig?

Umdenken!

Vergleich

Zusammenfassung



LPG ist hauptsächlich ein Propan-Butan-Gemisch, schon unter 10 bar flüssig

Oktanzahl liegt, je nach Butananteil, zwischen 105 und 115,

von 103 bis 111 Oktan ROZ bei Mischgas im Verhältnis Propan zu Butan 60:40 bzw. von 104 bis 107 Oktan ROZ bei 40:60

LPG-Tankstellen:
Überschaubare Investitionen
in kurzer Zeit

- LPG fällt in Raffinerien günstig an
 - leicht aufzubereiten
 - mit vertretbarem Aufwand zu transportieren (Raffinerie → Tankstelle)
- kann in herkömmlichen Ottomotoren genutzt werden