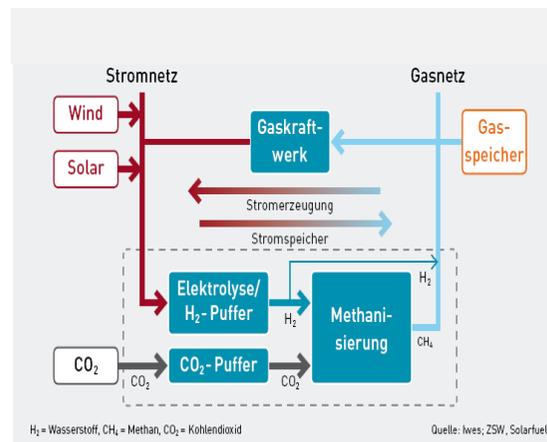


allocate

International GmbH

Chancen und Grenzen von „Kohlenwasserstoffen 4.0“ im Kontext einer gesamtheitlichen Kosten-Nutzen-Betrachtung für die Transformation des Energiesektors



Dr. Jörg Fabri
ÖGEW/ DGMK-Herbsttagung
Wien, 22. November 2019

allocate

Synthetische Kohlenwasserstoffe gibt seit langem – diese werden mit unterschiedlichen Motiven produziert – heute dominieren Umweltthemen

Status bei synthetischen KW

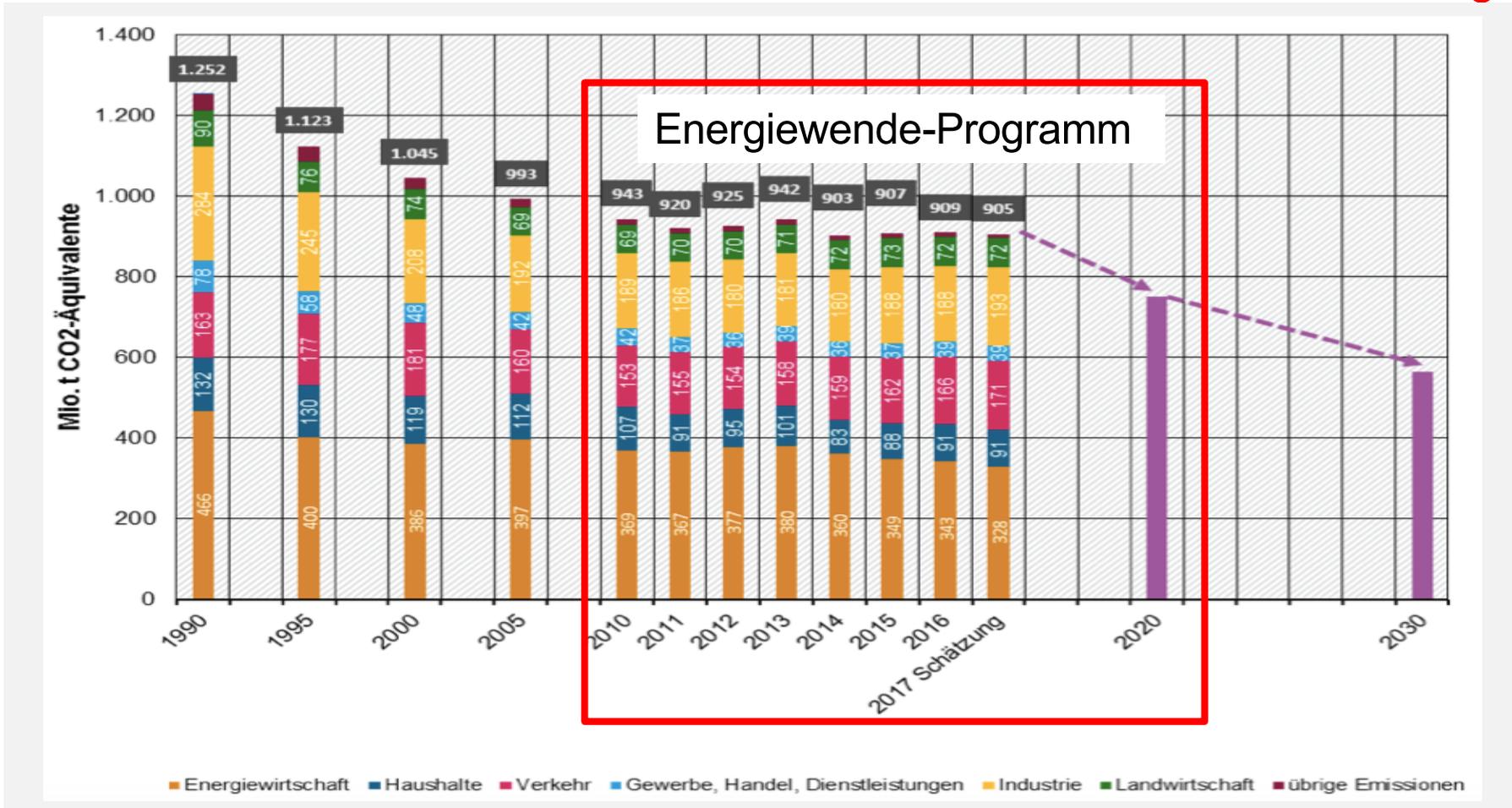
Synth. Kohlenwasserstoff	Rohstoffbasis	Motivation/ ök. Rationale
Paraffine und Aromaten aus Hochdruckhydrierung von Kohle	Kohle	<ul style="list-style-type: none"> • Autarkiebedarf / Boykott-situationen • Rohstoffveredelung/ Wertschöpfungstiefe (SASOL)
Synthesegas-/ Fischer-Tropsch-basierte Paraffine oder Methanol	<ul style="list-style-type: none"> • Kohle • Schweröl • Erdgas 	<ul style="list-style-type: none"> • Autarkie/ Boykott • Veredelung / Marktkonform. • Bessere Transportierbarkeit (z.B. SMDS)
Synthetische Schmierstoffe (z.B. PAO)	Erdöl/ Naphtha	Bessere Produktqualität
Paraffine, Olefine	Methanol (aus Erdgas oder Kohle)	<ul style="list-style-type: none"> • Öl-Alternative (wg. Autarkie, Wertschöpfungstiefe) • MTG, MTO (China, Iran,...)

Synthetische Kohlenwasserstoffe werden schon lange produziert – jetzt ändert sich die Rohstoffbasis und die Zielrichtung – aber viel Basis Know How kann auch in der Zukunft genutzt werden



Bisheriger Fokus der CO₂-Reduktion war Stromerzeugung – nun rücken die Bereiche Verkehr, Wärme und Industrie stärker in den Mittelpunkt

Bilanz Klimagasemissionen in Deutschland



Bislang nur begrenzte Erfolge bei der Reduktion der CO₂-Emissionen in den Bereichen Verkehr, Wärme und Industrie – neue Ansätze rücken in den Fokus - dabei auch „Kohlenwasserstoffe 4.0“

Quelle: Deutsches Bundesministerium für Umwelt



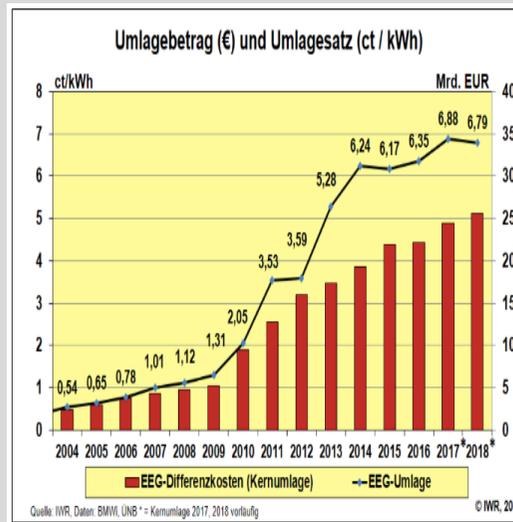
Strom aus Regenerativen Quellen wurde bisher mit hohen Subventionierungen und Strompreisen „erkauft“ – aber hat CO₂ zu wenig gemindert.....

Entwicklung Erneuerbare Energien, Subventionen, Strompreise und CO₂-Emissionen in D

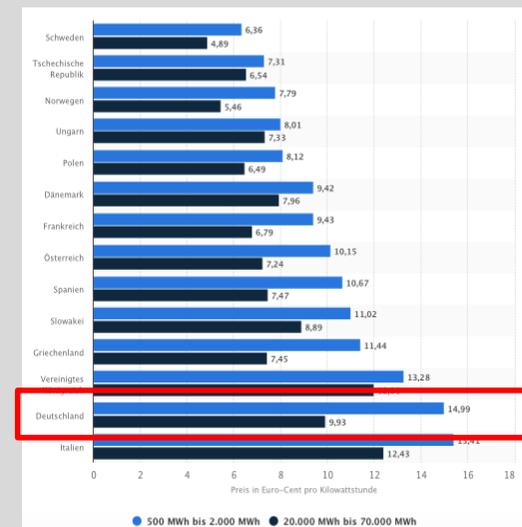
Anteil Erneuerbarer Energien im Strommix in D (in%)



Entwicklung EEG Umlage (in ct/kWh und Mrd €/a)



Strompreise im EU Vergleich



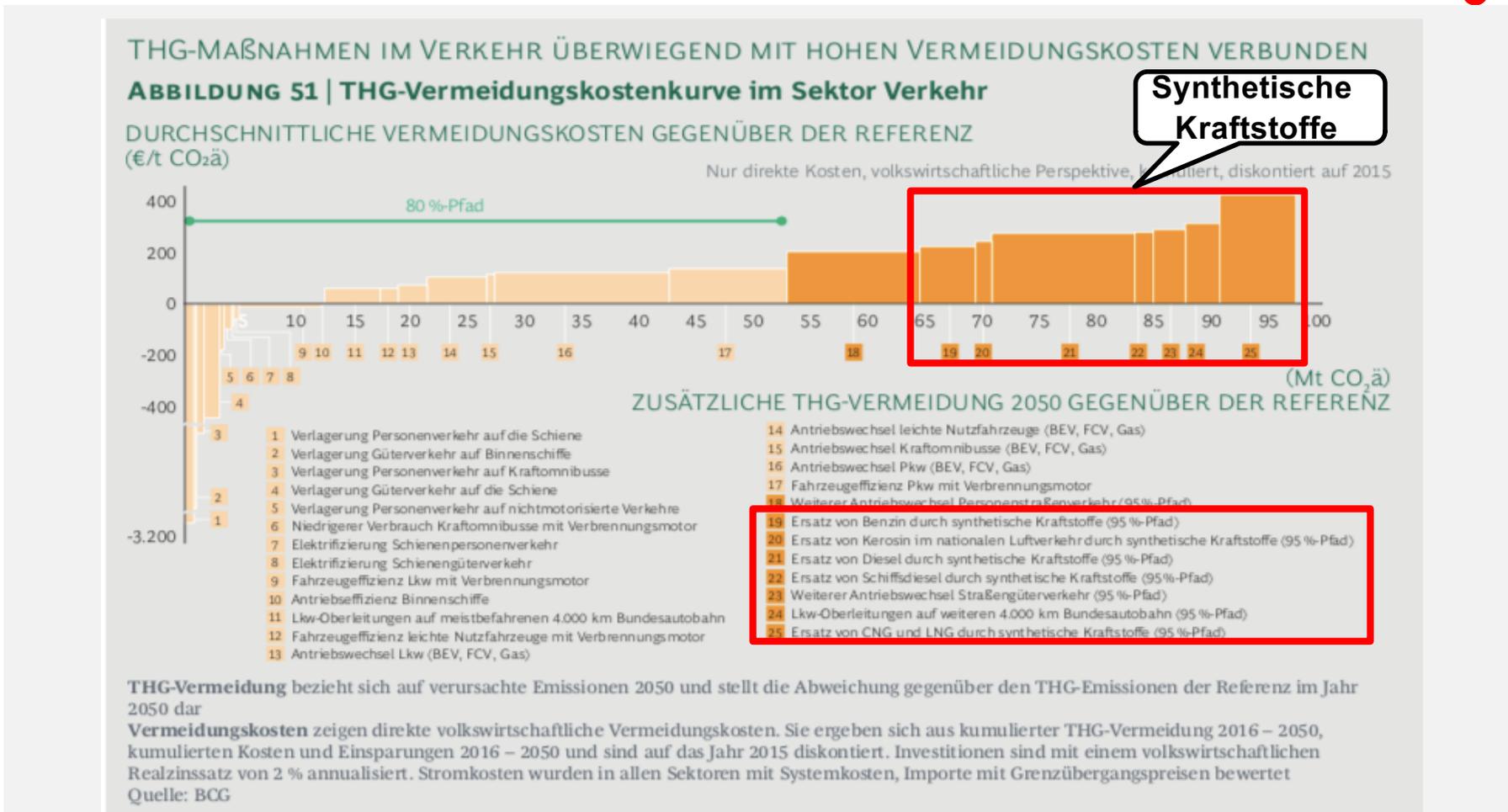
Der weitere Ausbau der Erneuerbaren Energien sollte mit einem optimalen Kosten-Nutzen-Verhältnis bei den Anwendungen verknüpft werden um die Wettbewerbsfähigkeit des Standorts zu erhalten

Quelle: UBA, BMWi,



Kostenkurve für CO₂-Vermeidungsmaßnahmen im Verkehr: Verlagerungen sehr kosteneffizient - synthetische Kraftstoffe stehen bislang am Ende

Kostenkurve CO₂ Minderungsmaßnahmen



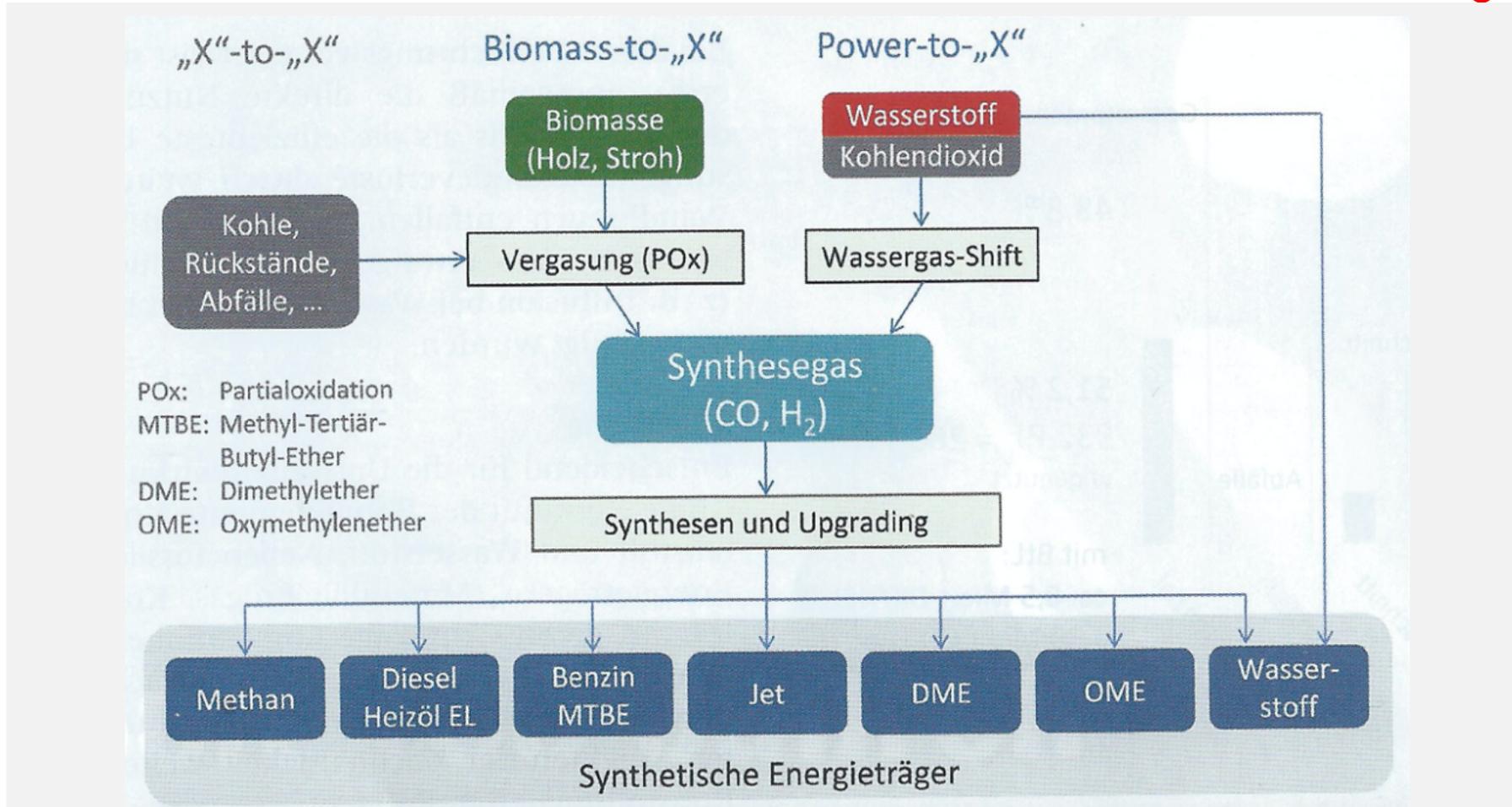
Inzwischen wurden viele wirtschaftliche Maßnahmen weit ausgeschöpft – es geht nun zunehmend mehr darum auch fundamentale Veränderungen so kosteneffizient wie möglich zu realisieren

Quelle: BCG, Prognos, im Auftrag des BDI, 2018



Im DGMK-Projekt „Treibhausgasreduzierte Kohlenwasserstoffe“ wurden jüngst verschiedene Herstellungspfade analysiert

Prinzipielle Pfade zur Herstellung treibhausgasreduzierte Kohlenwasserstoffe



Prinzipiell eröffnet das Schlüsselement Synthesegaschemie sehr vielfältige Rohstoff und Produktionsoptionen – aber mit stark unterschiedlichen Auswirkungen.....

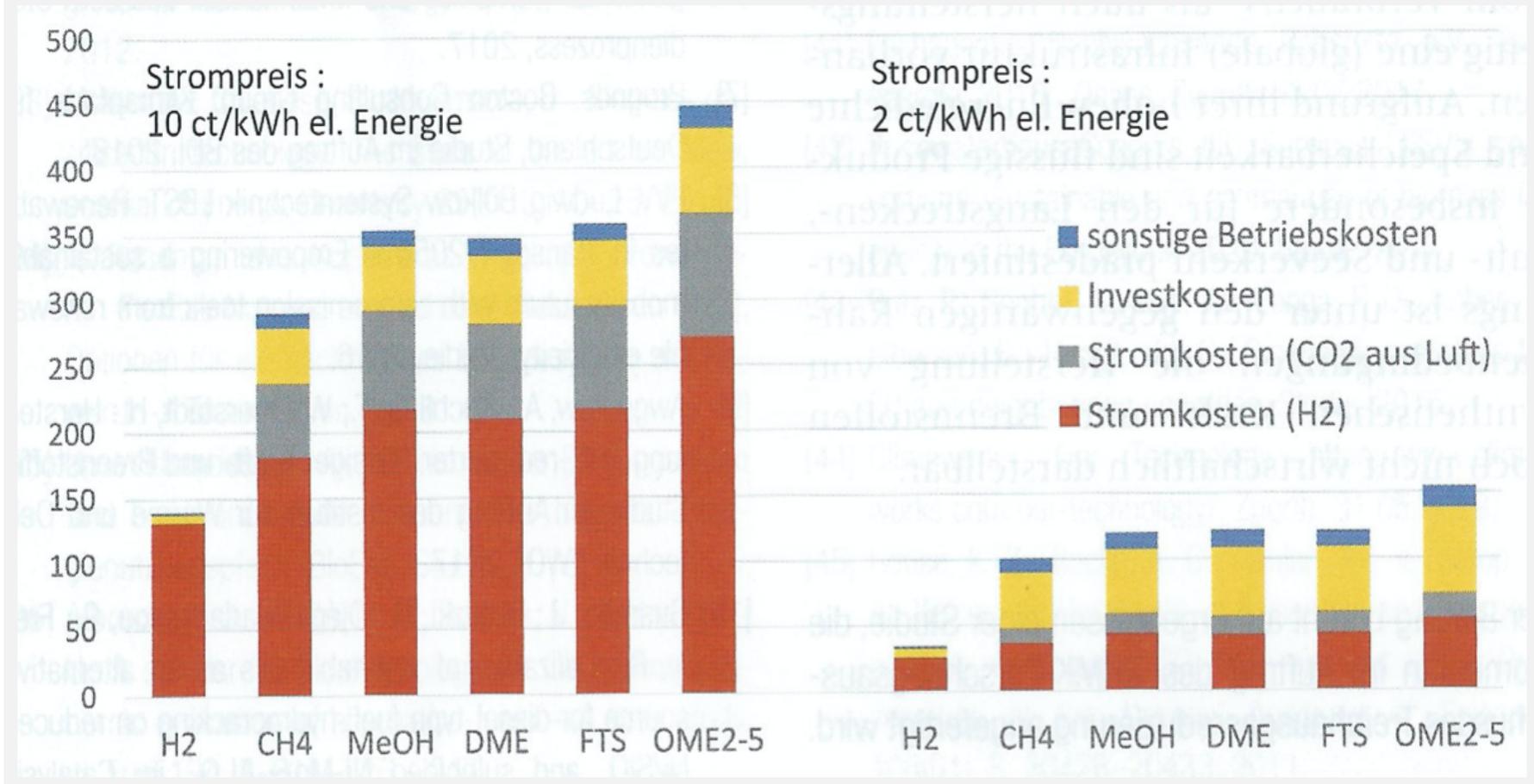
Quelle: Kuchling, Awgustow, Kureti, EEK 07/08 2019,



Die Herstellkosten für synth. Kohlenwasserstoffe unterscheiden sich erheblich – aber auch der Strompreis spielt dabei eine zentrale Rolle...

Herstellkosten für treibhausgasreduzierte Kohlenwasserstoffe

Herstellkosten in ct/l Kraftstoffäquivalent (Schätzung für 2030)



Stromkosten – speziell für regenerativ erzeugten Strom – sind der Dreh- und Angelpunkt für die Kosten von synthetischen Kohlenwasserstoffen

Quelle: Kuchling, Awgustow, Kureti, EEK 07/08 2019,



Aber nur begrenzte Ausbaupotentiale z.B. bei Windenergie in D: drastischer Einbruch beim Ausbau – i.w. wegen Standortproblemen.....

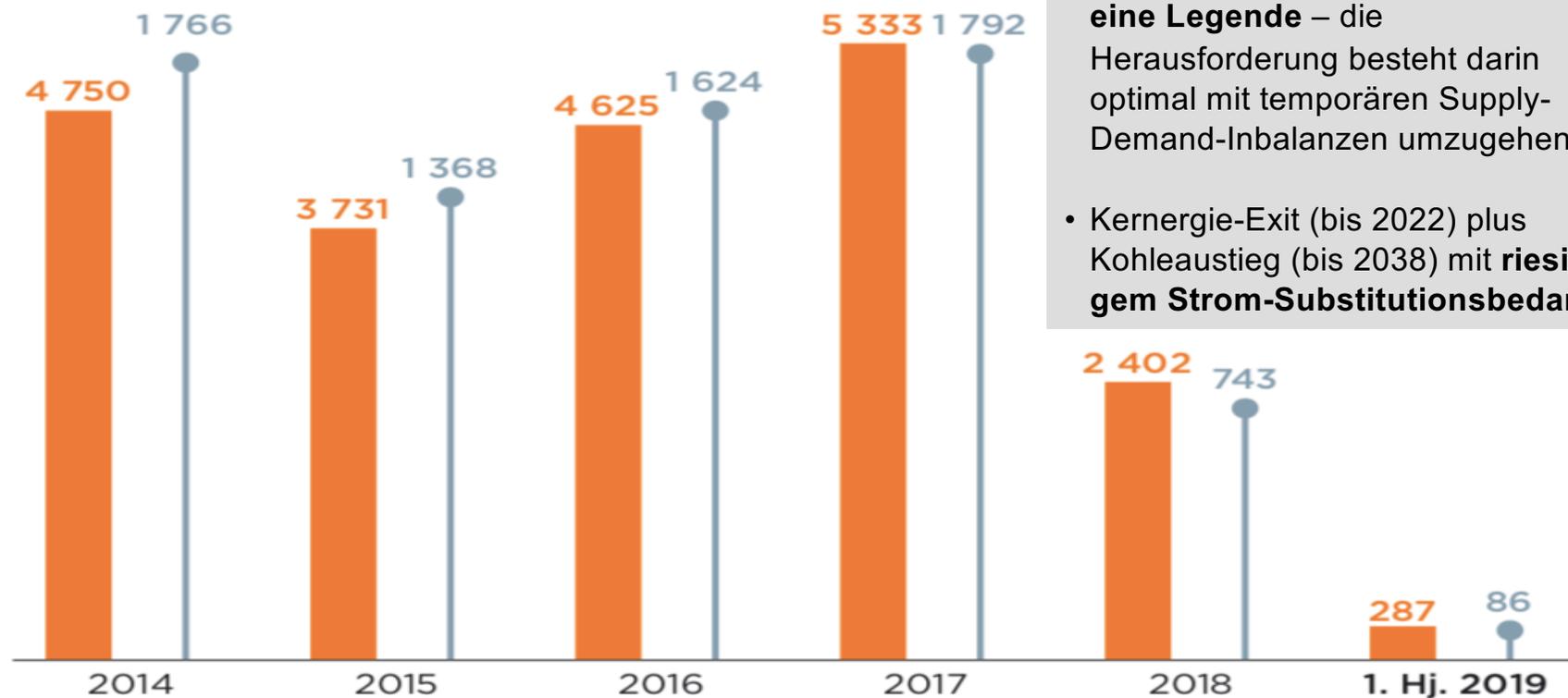
Stillstand beim Ausbau Windenergie in Deutschland

Stillstand beim Windausbau in Deutschland

Onshore-Windenergie

■ Leistungszubau in Megawatt

■ Ausbauzahl



- „Überschüssiger Strom“ ist eine Legende – die Herausforderung besteht darin optimal mit temporären Supply-Demand-Inbalanzen umzugehen
- Kernergie-Exit (bis 2022) plus Kohleausstieg (bis 2038) mit riesigem Strom-Substitutionsbedarf

Der weitere Ausbau Erneuerbarer Energien an Standorte Deutschland ist sehr herausfordernd - dies erhöht die Notwendigkeit maximaler Effizienz und Vermeidung von Umwandlungsverlusten

Quelle: VDMA, BWE, Fraunhofer ISE, Handelsblatt 26.07.2019



Da grüne Energie z.B. in Deutschland sehr knapp ist - hilft dann die „Flucht“ in die Sahara wirklich grundlegend?

Vom Regen in die Traufe?

Prinzipielles „magisches“ Dreieck für Energie:

- Versorgungssicherheit
- Wettbewerbsfähige Kosten
- Ökologisch vertretbar/ vorteilhaft

Heute z.T. noch ungelöste Probleme:

- Hohe Abhängigkeit von Krisenregionen
- Begrenzter Einfluss auf Preise und Kosten
- Ökologisch problematisch (z.B. CO₂)

WASSERSTOFF AUS DER WÜSTE

Desertec: Der Traum von der globalen Energiewende lebt weiter

Die Vision vom grünen Strom aus der Sahara für ganz Europa faszinierte viele. Zehn Jahre später lebt Desertec noch immer – wenn auch anders als gedacht.

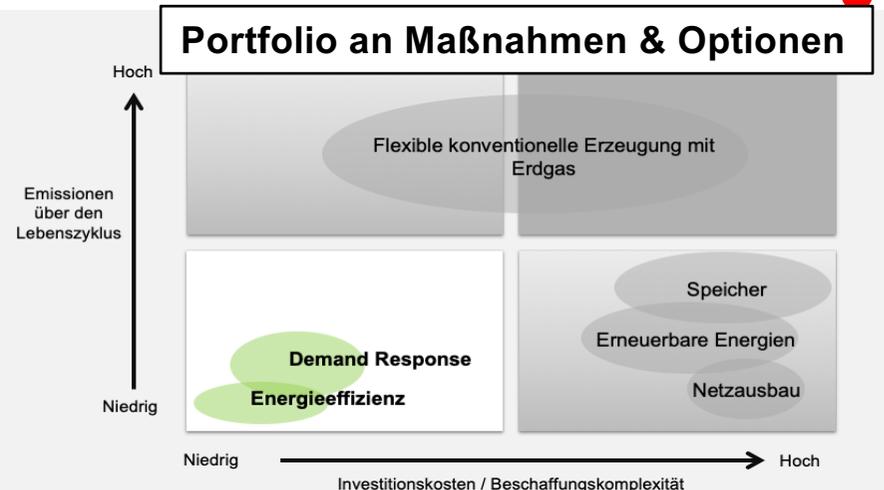
- Gefahr **neuer Abhängigkeiten** von instabilen Regionen (Sahara) – **Notwendigkeit zur Umwandlung** (H₂, MeOH)
- Risiko dass **energieintensive Industrien** sich direkt **an die Quelle** günstiger grüner Energie **verlagern**
- **Grüne Stromerzeugung in der EU** (Skandinavien, Südeuropa) lässt sich leicht **direkt als Strom exportieren** (keine Umwandlungsnotwendigkeit)

Wenn Konzepte für Erneuerbare Energien durch ineffiziente Nutzung erneut zu Abhängigkeiten von Krisenregionen führen werden höhere Autarkie und Wertschöpfungstiefe vor Ort nicht erreicht!

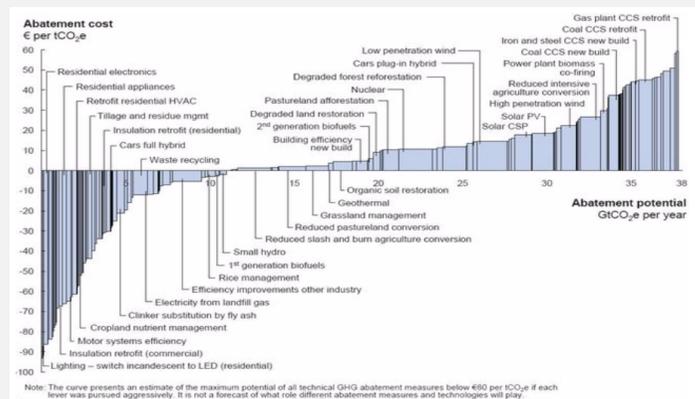
Handlungsoptionen müssen hinsichtlich ihrer Wirkungseffizienz, Kosten und Verfügbarkeiten unbedingt optimal zu Anwendungen allokiert werden

Ansatz zur Kosten-Nutzen-Optimierung bei der Energietransformation

- **Kernherausforderung:** Sicherung **Netzstabilität** und **Ausgleich von Angebot & Nachfrage** mit **niedrigsten Emissionen** bei gleichzeitig **bester Wirtschaftlichkeit**
- Wesentlicher **Ansatz:** zielgerichteter **Einsatz des Maßnahmen Portfolios** entsprechend einer „Dispatch-Curve“ für **Energiequellen, Speicher und Maßnahmen**
- Marktgetriebene Systemsteuerung: **günstige Optionen zunächst voll ausnutzen** – teure nur wenn **unausweichlich**
- Erfordert eine **intelligente übergeordnete Steuerung/ IT Tools** und ermöglicht die Schaffung **virtueller Kraftwerke und Speicher**
- Stets **alternative Allokation** von verfügbarer Energieträgern im Hinblick auf **beste Kosten-Nutzen-Effekt prüfen** – erst dann klar zuordnen
- ...



CO₂ Vermeidungskosten & Potentiale



Nicht unbedingt alles machen und fördern was theoretisch geht und nett klingt – zur Sicherstellung von nachhaltiger Wettbewerbsfähigkeit streng effizienzgetrieben vorgehen!



„Goldene Regeln“ zur Realisierung bestmöglicher Kosten-Nutzen- und somit Ökologie-Ökonomie-Verhältnisse bei der Energietransformation

Kernregeln für effizienzgetriebenes Energiemanagement

- Bei **Anwendungen die gesamte Energie-Wertschöpfungskette berücksichtigen** – wie viel wird tatsächlich „auf die Straße gebracht“ und zu **welchen Kosten?** Ist ein Ausbau Regenerativer Energien zur **Deckung spezifischer Bedarfe** überhaupt möglich bzw. **realistisch?**
- Energieeffizienz ist essentiell – **Umwandlungsverluste „grüner Energie“** wann immer möglich **vermeiden** - intelligente **direkte Nutzung hat „Vorfahrt“**
- **Priorität auf Anwendung-Maßnahmen Pakete** mit dem **höchsten, schnellsten und wirtschaftlichsten Effekt** - **Subventionierungsbedarfe auf allen Stufen minimieren**
- Sicherstellung **bestmöglicher Allokation von wertvollem „grünem Strom“** zu spezifischen Anwendungsfällen (mit ganz **besonderer Relevanz bei Überführung in grünen Wasserstoff** wegen der Umwandlungsverluste)
- **Maximale Ausnutzung von Sektorkopplung/ Konvergenz**, dezentraler Erzeugung und weiter entwickelten, vernetzten „**Pro-Sumer**“ **Strukturen**
- Berücksichtigung von **assoziierten Infrastrukturkosten (wo erforderlich und wo nicht?)** – Netzausbau vs. Speicher, „Laden zu Hause“ vs Tankstellen,....

Die zweite Stufe der Energiewende muss effizienzraubende und kostentreibende Maßnahmen ohne wirklichen Zusatznutzen unbedingt vermeiden



Wesentliche Kriterien zur Beurteilung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses von „Kohlenwasserstoffen 4.0“ – an Stelle von „Glaubenskrieg“

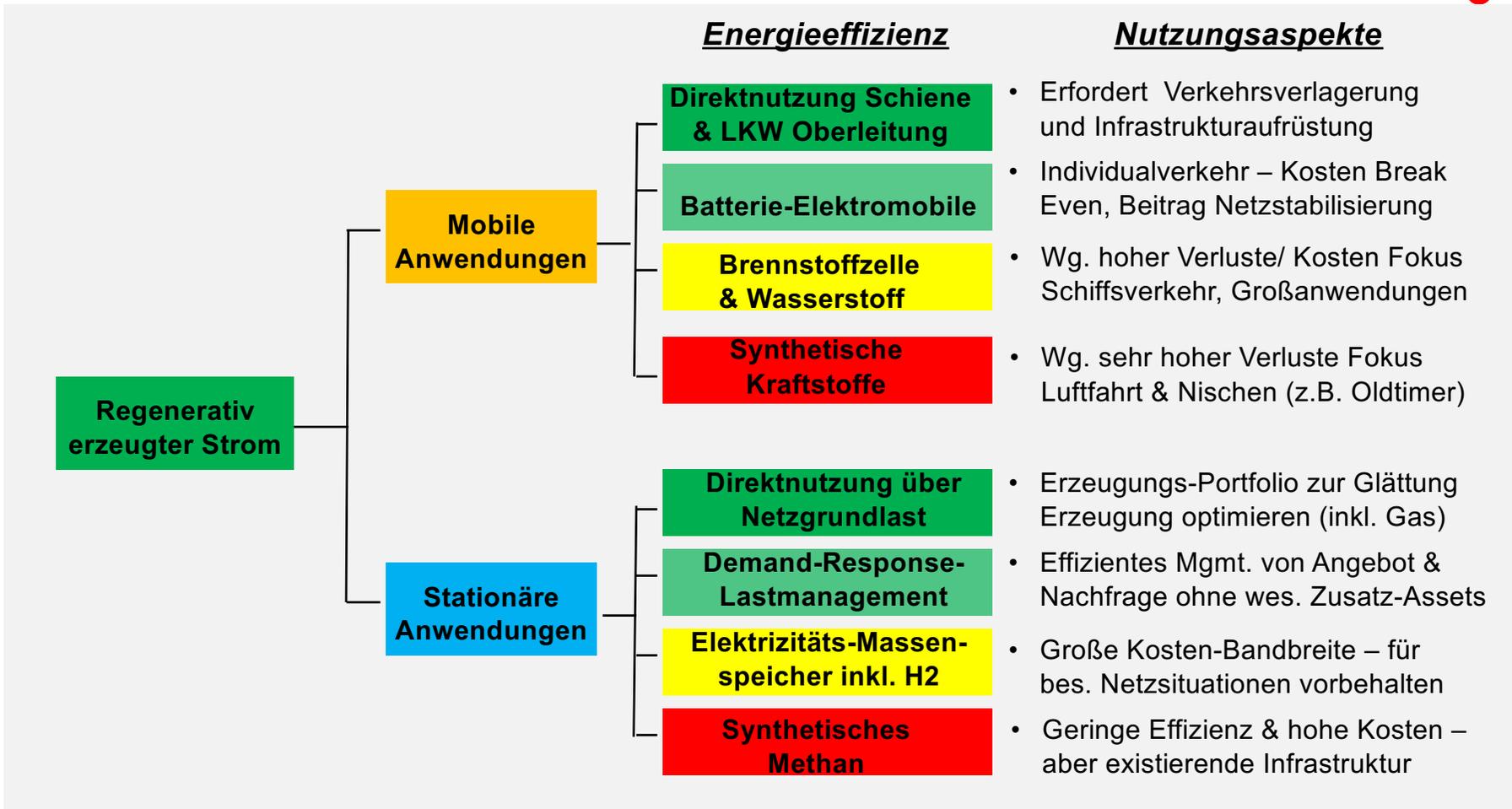
Kriterien Kosten-Nutzen-Verhältnis

- **Energetischer Gesamtwirkungsgrad** bezogen auf die zu Grunde liegende **Erneuerbare Energie** (z.B. Windstrom)
- **Kosteneffekt der Substitution** fossiler Energien **durch Erneuerbare Komponenten** (Auswirkungen auf regionales Energiepreisniveau)
- **Kosten pro Tonne vermiedene CO₂-Emission**
- **Technisches und wirtschaftliches Gesamtpotential** für einen Technologiepfad
- **Wettbewerbsfähigkeit** gegenüber potentiellen **alternativen Lösungswegen** unter Berücksichtigung von gesamten Wertschöpfungsketten
-

Das Potential von „Kohlenwasserstoffen 4.0“ kann nur im energetischen Gesamtkontext und unter expliziter Berücksichtigung von regenerativ erzeugtem Strom und Wasserstoff beurteilt werden

Dreh- und Angelpunkt für eine CO₂-freie Energieerzeugung ist grüner Strom* - die vielen Verwendungsoptionen optimal und fokussiert nutzen!

Bewertung von Nutzungsoptionen



„Kostbaren“ und raren grünen Strom nicht durch Fehlallokationen und Umwandlungsverluste ohne echten Zusatznutzen verschwenden!

* (und Kernenergie – für die aktuell in D kein politischer Rückhalt existiert – sowie Biomasse in begrenztem Umfang)



Wegen begrenzter Verfügbarkeit von grünem Strom/ H₂ müssen „Kohlenwasserstoffe 4.0“ im Quervergleich mit Alternativen „bestehen“ (1/3)

Nutzungsoptionen im Quervergleich

Nr.	Nutzungsoption für regenerativen Strom	Techn. - wirtschaftliches Potential	Wirkungseffizienz vs. pot. Alternativen
1	Substitution von "grauem" Wasserstoff durch "grünen" Wasserstoff in der Chemie und Mineralölraffination	Hoch - aktuell werden ca. 19 Mrd Nm ³ /a grauer Wasserstoff in D erzeugt (ca. 1,5% des deutschen Energieverbrauchs)	Hoch - praktisch keine Alternativen für aktuelle Einsatzfelder von Wasserstoff
2	Stahlproduktion mit "grünem" Wasserstoff versus Koks	Hoch - ca. 30% der industriellen CO ₂ -Emissionen stammen aus Stahlproduktion - wichtiger "Building Block" für and. Industrien	Hoch - praktisch keine Alternativen für CO ₂ freie Stahlproduktion
3	GuD- Kraftwerksbetrieb mit "grünem" Wasserstoff versus Erdgas	Hoch - aktuell erfolgen > 40% der Stromerzeugung in D auf fossilen Quellen	Mittel - Demand-Response-Mgt., Verzicht auf therm. Großkraftwerke – wichtig für Lastmgt. bei Ausbau volatiler Erneuerbare Energien

Ganzheitliche energiewirtschaftliche Betrachtung unter Berücksichtigung von Alternativoptionen zeigt den Weg für den sinnvollen Einsatz von grünem Strom/ H₂ – und „Kohlenwasserstoffen 4.0“

Wegen begrenzter Verfügbarkeit von grünem Strom/ H₂ müssen „Kohlenwasserstoffe 4.0“ im Quervergleich mit Alternativen „bestehen“ (2/3)

Nutzungsoptionen im Quervergleich

Nr.	Nutzungsoption für regenerativen Strom	Techn. - wirtschaftliches Potential	Wirkungseffizienz vs. pot. Alternativen
4	Unterfeuerung/ Industriewärme mit "grünem" Wasserstoff (anstelle Schweröl und Erdgas)	Hoch - aktuell stammen in D ca. 21% der CO ₂ -Emissionen aus Industrie, parallel auch Reduktion NOx und Feinstaub	Hoch – kaum technische Alternativen für CO ₂ -freie Deckung des industriellen Wärmebedarfs
5	Vollhydrierung von Aromaten in Mitteldestillaten (Diesel, HEL)	Hoch - bei ca. 20-30% Aromaten könnte Vollhydrierung ca. 500.000 t/a grünen H ₂ in D aufnehmen – plus Produkteigenschaften	Hoch – läuft aber gegen schnelles Ausphasen von Mineralöl: problematisch wegen Bestand und LKW Sektor
6	Erzeugung von synthetischen Rohöl durch Hydrierung von Kunststoffabfällen mit "grünem" Wasserstoff	Hoch - ca. 6,2 Mio t/a Kunststoffabfälle in D, davon werden ca. 50% thermisch verwertet (CO ₂ -Vermeid.), 1 Mio t/a Export	Hoch – läuft gegen Konsumreduktion bei Kunststoffen - aber selbst für reduzierte Mengen erscheint stoffliche Verwertung plausibel

Ganzheitliche energiewirtschaftliche Betrachtung unter Berücksichtigung von Alternativoptionen zeigt den Weg für den sinnvollen Einsatz von grünem Strom/ H₂ – und „Kohlenwasserstoffen 4.0“

Wegen begrenzter Verfügbarkeit von grünem Strom/ H₂ müssen „Kohlenwasserstoffe 4.0“ im Quervergleich mit Alternativen „bestehen“ (3/3)

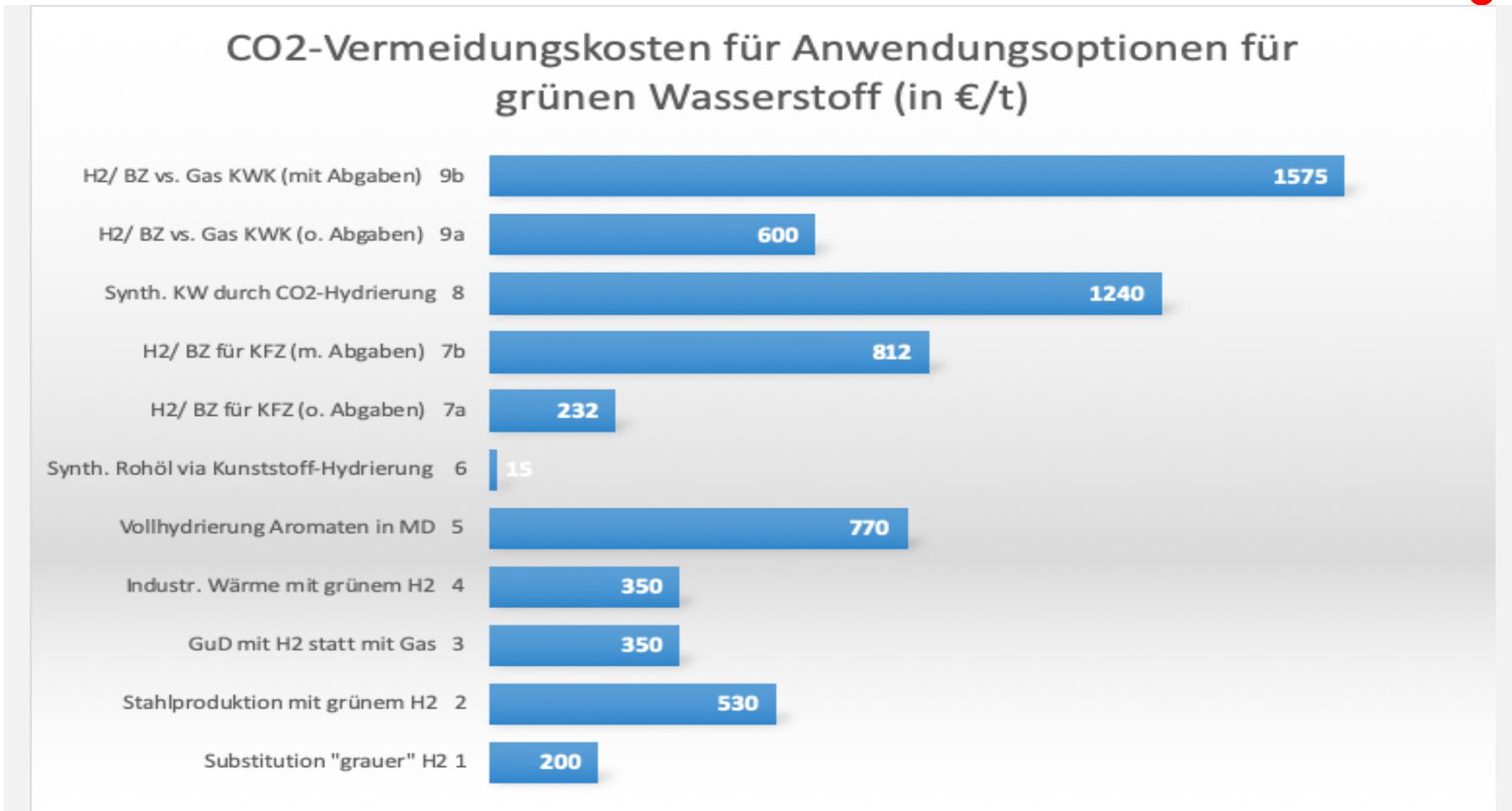
Nutzungsoptionen im Quervergleich

Nr.	Nutzungsoption für regenerativen Strom	Techn. - wirtschaftliches Potential	Wirkungseffizienz vs. pot. Alternativen
7	Wasserstoff als Kraftstoff für Brennstoffzellen in mobilen Anwendungen	Hoch - angesichts des Kraftstoffverbrauchs in D (ca. 29 Mio t/a Diesel und 16 Mio t/a Benzin)	Niedrig - Batterie E-Mobilität - doppelt so hoher Wirkungsgrad/ niedrigere CO ₂ -Vermeidungskosten – Fokus auf Nischen ohne Alternativen
8	Herstellung & Einsatz synthetischer flüssiger Kohlenwasserstoffe durch Hydrierung von CO ₂ mit "grünem" Wasserstoff	Hoch – vom Marktpotential - begrenzt - angesichts der sehr hohen Kosten und Umwandlungsverluste	Niedrig – sehr geringe Energieeffizienz und viele günstige Alternativen, aber: Hoch Fokus auf Nischen wo Substitution anders kaum möglich & Langfristreserve
9	Stationäre Brennstoffzellen-Stromerzeugung mit "grünem" Wasserstoff als Ersatz für Erdgas KWK-Anlagen	Begrenzt - angesichts der sehr hohen Kosten und Umwandlungsverluste	Niedrig – wg. geringer Energieeffizienz und günstigerer Substitutionsalternativen (z.B. PV Batterie) sollte der Fokus auf Nischen liegen

Ganzheitliche energiewirtschaftliche Betrachtung unter Berücksichtigung von Alternativoptionen zeigt den Weg für den sinnvollen Einsatz von grünem Strom/ H₂ – und „Kohlenwasserstoffen 4.0“

Die Verwendung von grünem Wasserstoff führt in verschiedenen Bereichen zu stark unterschiedlichen CO₂-Vermeidungskosten

CO₂-Vermeidungskosten bei Einsatz von grünem Wasserstoff



Fokussierung auf wirtschaftlich „Low Hanging Fruits“ und „alternativlose“ Einsatzfelder sollte im Vordergrund stehen

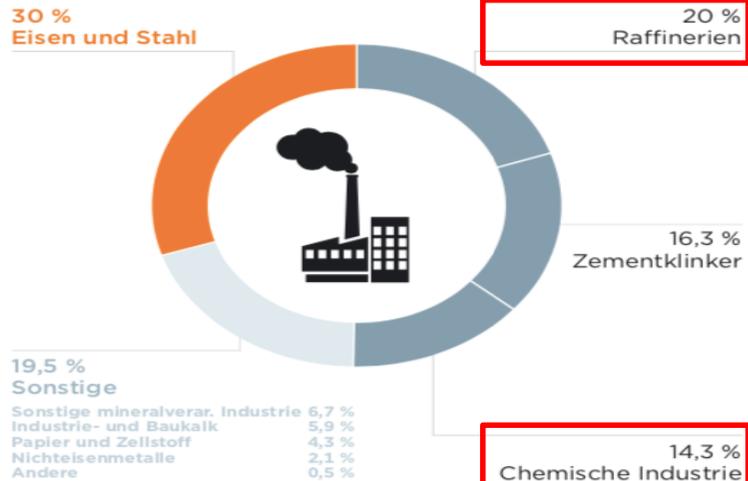


Grünen Wasserstoff richtig einsetzen: prioritär fossile Produkte in der Industrie effizient substituieren und massive CO₂ Reduktion erreichen

Optimale Allokation von Energielösungen sicher stellen

CO₂-Schleuder Stahlindustrie

Anteil der einzelnen Branchen an den Emissionen des Industriesektors im Jahr 2017



HANDELSBLATT Quellen: Bundesumweltamt, Deutsche Emissionshandelsstelle

- Erfolgversprechende Pilotversuche in der Stahlindustrie zur Substitution von Koks durch H₂ bereits „auf der Schiene“
- Raffinerien benötigen durchschnittlich ca. 10% des Öls als Eigenverbrauch – häufig verbunden mit hohen NO_x- und Feinstaub-/ Metall-Emissionen – ein Ersatz durch grünes H₂ könnte zu massiven Verbesserungen und verlängertem Lebenszyklus führen
- Bestimmte Mineralölprodukte (Diesel und leichtes Heizöl) enthalten heute hohe Anteile an Aromaten (ca. 20-30 Gew.%) – durch eine Hydrierung mit grünem H₂ könnten in D ca. 500.000 t/a H₂ zur effizienten Verbesserung der Klimabilanz des Straßenverkehrs (auch im Bestand) in den Markt gebracht werden (mit Qualitäts- und Umweltvorteilen)
- Sehr hohes Potential für grünes H₂ in Raffinerien auch beim Recycling von Kunststoffabfällen zu synthetischem Rohöl
- Hohes Potential auch in der häufig mit Raffinerien integrierten (Petro-) Chemie (CO₂ freie Deckung Energiebedarf), neue Einsatzstoffe und Synthesen

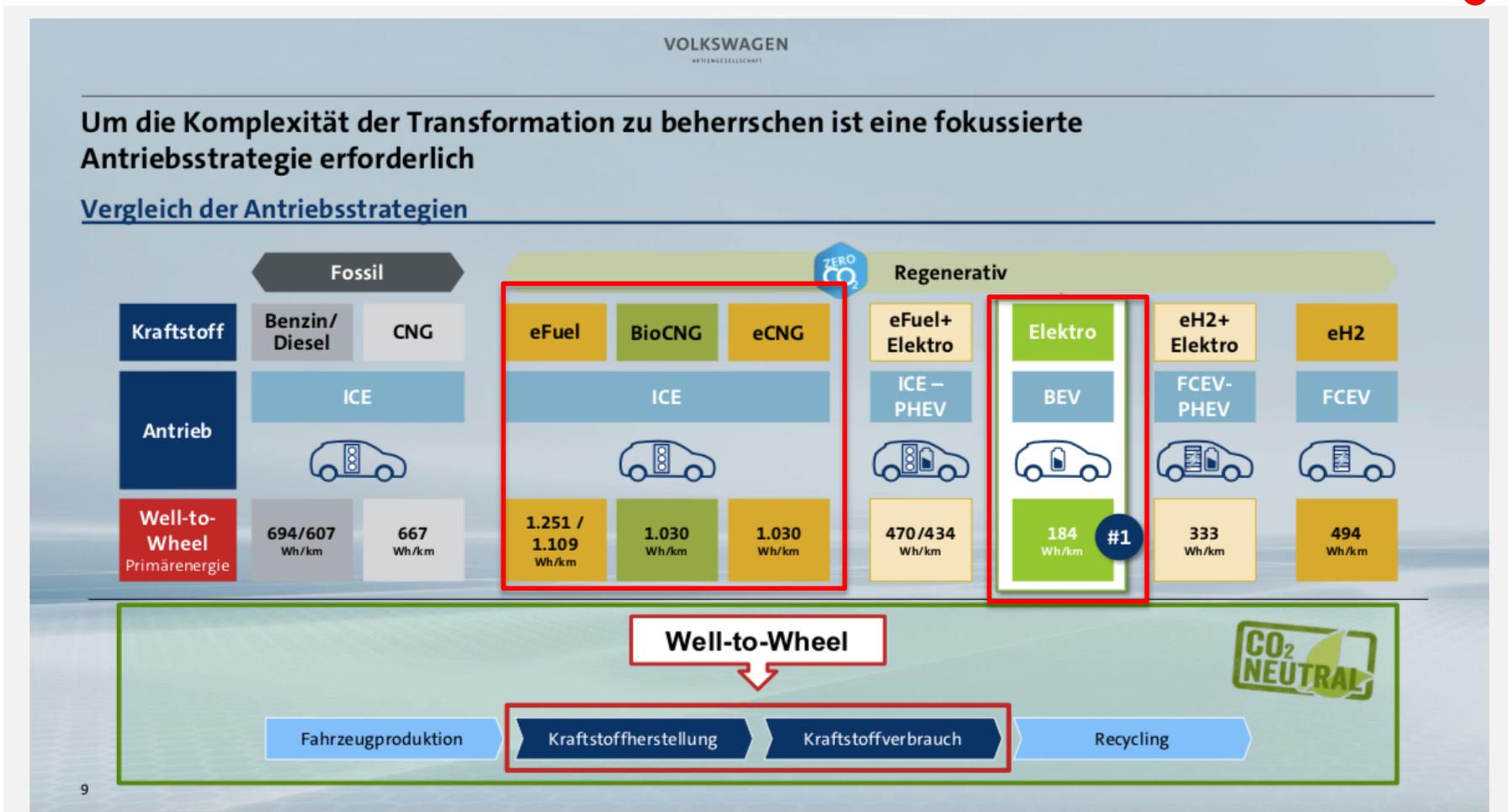
Sehr hoher Wirkungsgrad von grünem Wasserstoff zur Reduktion industrieller CO₂-Emissionen – mit relativ schneller Wirkung und damit wichtiger Beitrag zur Erhaltung von industriellen Strukturen

Quelle: Handelsblatt, allocate



Auf Grund der besten Energiebilanz über die gesamte Wertschöpfungskette setzt z.B. VW mit aller Konsequenz auf batterieelektrische Antriebe

Energieeffizienz und Emissionen von Fahrzeugkonzepten



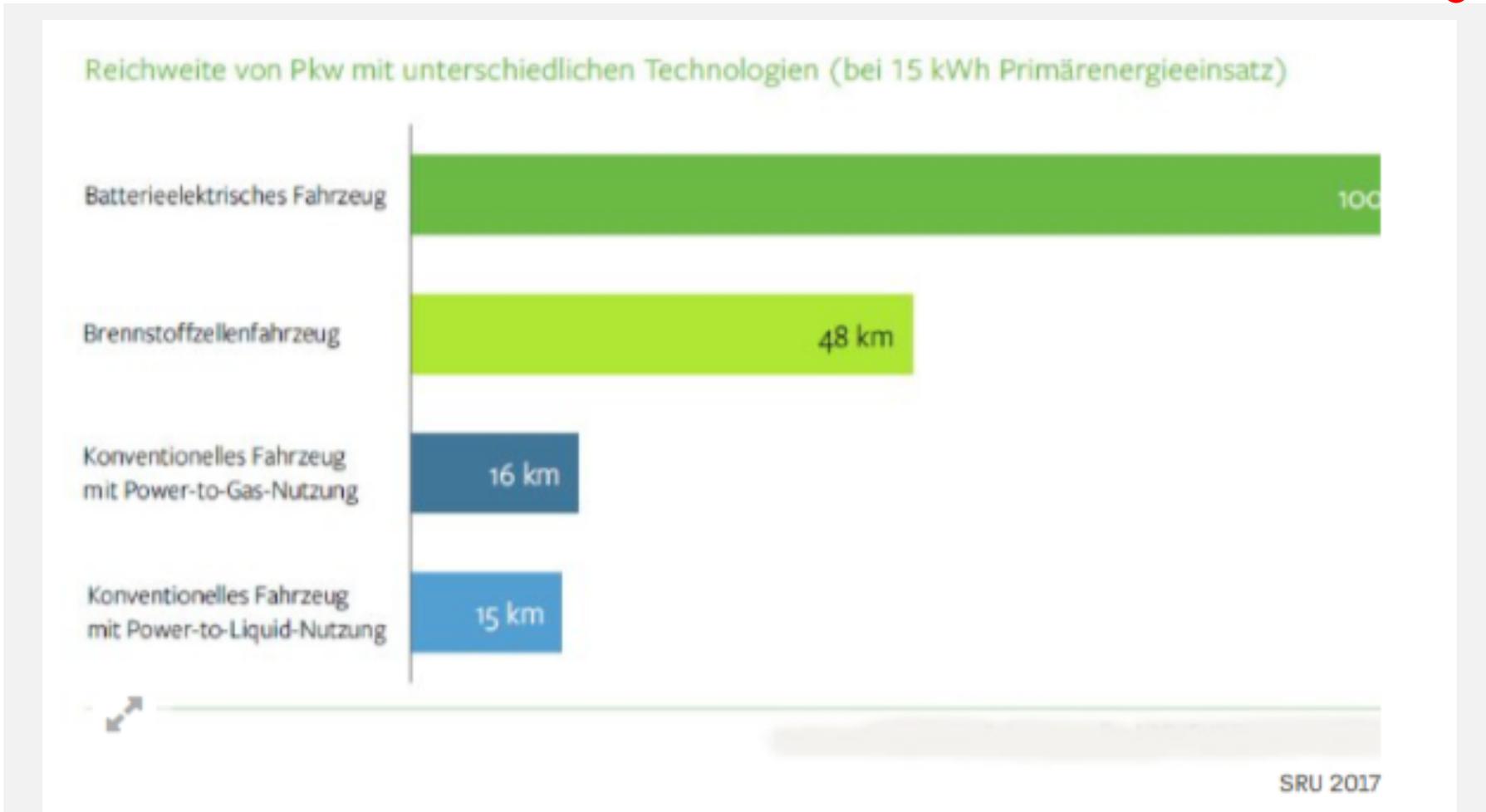
Batterieelektrische Antriebe bieten die beste Kombination von ökologischen und ökonomischen Aspekten

Quelle: VW AG



Bezüglich Energieeffizienz bei der Nutzung Regenerativer Energien haben Batterieelektrische Fahrzeuge einen riesigen Vorteil...

Energieeffizienz verschiedener Antriebskonzepte



Es kann wohl kaum das Ziel sein, mit € 30 Mrd. p.a. subventionierte Regenerative Energien so einzusetzen, dass ad hoc 50-85% Wirkungsgradverlust eintreten.....





allocate International GmbH

Dr. Jörg Fabri

Martin-Kremmer-Straße 12

D-45327 Essen

- Zollverein UNESCO World Heritage -

Tel.: + 49 201 4364 8651

Fax,; + 49 201 4364 8652

Mobil:+ 49 177 340 50 95

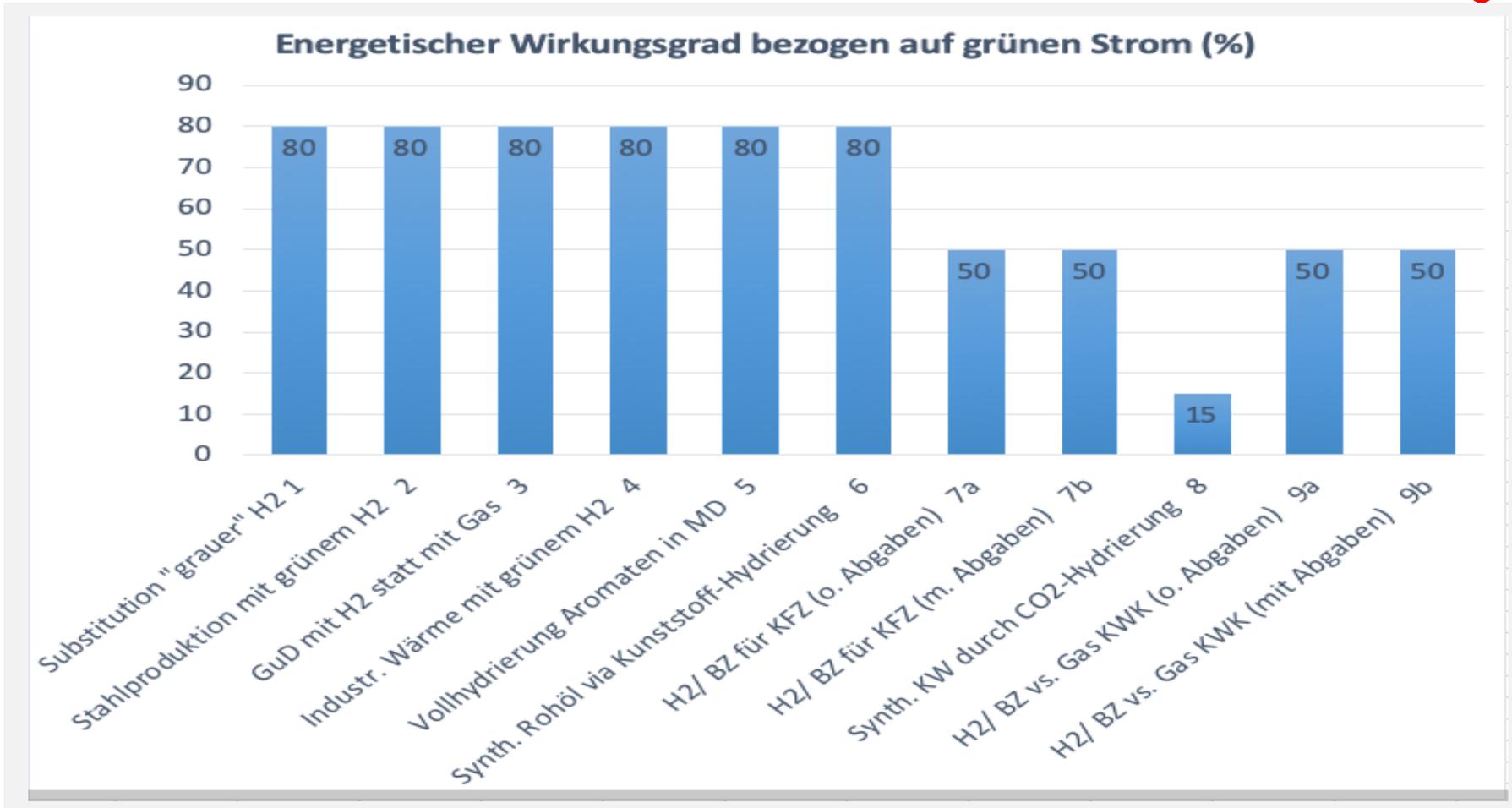
E-Mail: info@allocate.de

www.allocate.de



Hohe Unterschiede hinsichtlich des energetischen Wirkungsgrades von grünem Strom bei verschiedenen Verwendungspfaden

Energieeffizienz

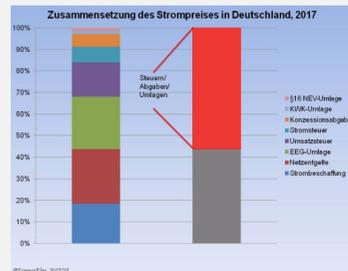


So lange grüne Energie nicht wirklich im Überfluss und sehr kostengünstig verfügbar ist müssen Wirkungsgrade bei der Anwendung eine zentrale Rolle spielen

„Grüne“ Energieoptionen fair auf gleicher Grundlage (z.B. gleiche Abgabenlast) bewerten – was kostet es und was bringt es effektiv?

Gleiche Rahmenbedingungen sicherstellen

Kosten für Betrieb eines batteriebetriebenen Elektromobils



- **Strom** für Haushalte in D beinhaltet ca. **55% Steuern, Abgaben und Umlagen**
- Haushaltsstrompreis in D („Laden zu Hause“) durchschnittl. **30 ct/kWh** (EU: 21,1 ct/kWh)
- Abgabepreise Ladesäulen mit Betreiber marge ca. **29-89 ct/kWh** (z.T. abhängig von Ladespannung), typischer **CO₂-Footprint** mit akt. **Strommix** ca. **50-120 g/km**
- **Wirkungsgrad** Ladevorgang und EV ca. **90%**

Fahrtkosten pro 100 km € 4-10 (inkl. Umlagen)

Kosten für Betrieb eines Brennstoffzellenfahrzeugs mit Wasserstoff

- Aktuell werden ca. **4% des Wasserstoffs in D durch Wasserelektrolyse** hergestellt
- **H₂ Herstellkosten aus Erdgas** betragen ca. **1,8 ct/kWh** (CO₂-Footprint 9-12 kg CO₂ pro kg H₂)
- Die **Herstellkosten von H₂ durch Elektrolyse** mit **aktuellem Strommix** ab **Erzeugung** betragen ca. **7,0 ct/kWh** (CO₂-Footprint ca. 600 g pro kWh H₂), bei **dezentraler Elektrolyse** steigen die **H₂-Kosten** auf ca. **38 ct/kWh**
- **Aktueller Abgabepreis H₂ an Tankstellen:** € 9,50 pro kg (= ca. 32 ct/kWh inkl. Steuern) mit einem **CO₂-Footprint** von **90-120 g/km**, mit **Elektrolyse-H₂ auf Basis akt. Strommix** ist der **CO₂ Footprint** ca. **200 g/km**
- **Wirkungsgrad** Elektrolyse-Brennstoffzelle **60%**

Fahrtkosten mit „grauem“ H₂ pro 100 km heute ca. € 10, mit elektrolytisch erzeugtem H₂ z.T. weit mehr

Politische „Vorlieben“ und Lobbyismus dürfen nicht zu verfälschten Rahmenbedingungen führen – deshalb stets die gleiche Berechnungsbasis für das zentrale Ausgangsprodukt Strom anwenden!