

Alternative Kraftstoffe

Dr. Josef Lichtscheidl



Zukunft nur Elektro?

Wenn dies ein Baum ist, kann es kein Strauch sein.
(Satz vom Widerspruch, grundlegendes logisches Gesetz)

Jeder Widerspruch ist ein Fehler.

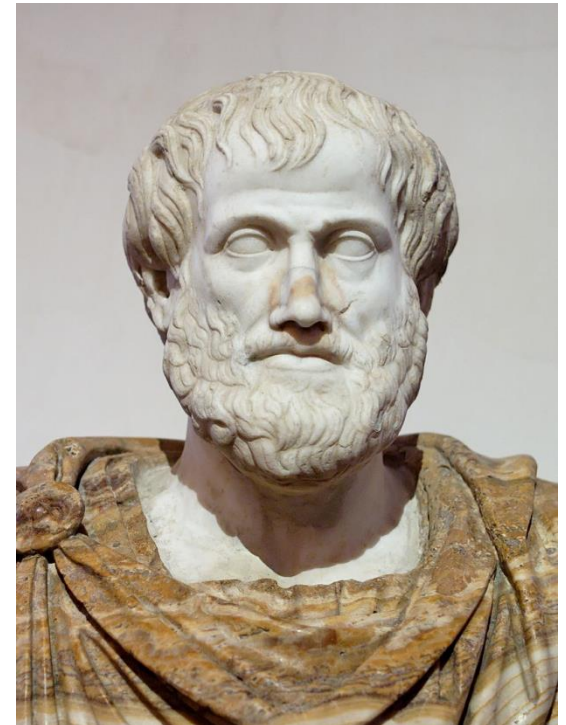
Eine Seite muss Recht haben, es gibt keine dritte Lösung.

Daher:

Wenn Elektro die Zukunft ist, muss Schluss mit Benzin und Diesel sein.

Dritte Lösung:

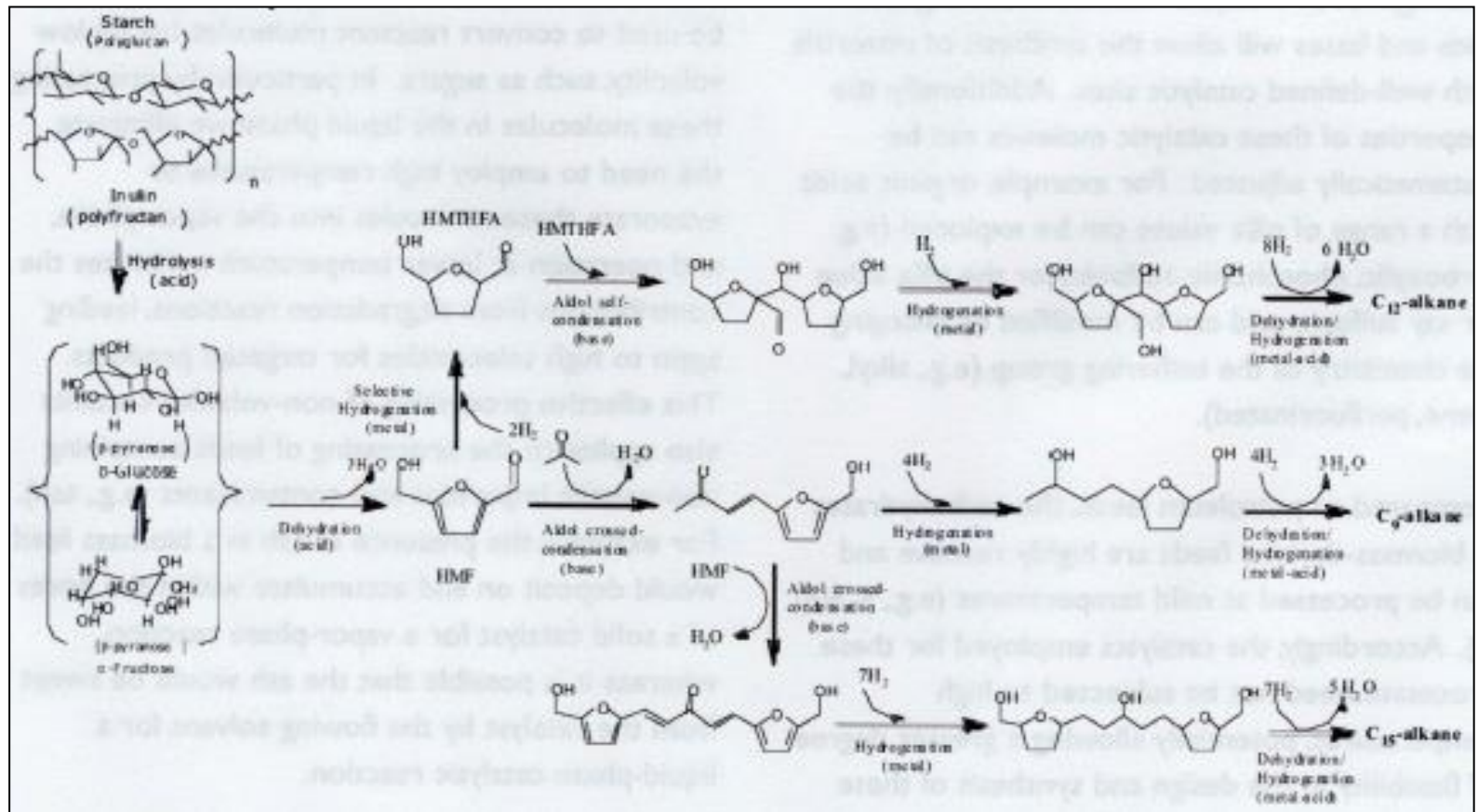
Kraftstoffe mit geschlossenem CO₂-Kreislauf erzeugen (Technologie-neutral)



Aristoteles (364-322 v. Chr.)
(Bild aus wikipedia)

Einem Chemiker ist (fast) alles möglich

Univ. Prof. Dumesic et al. (2009)
(University Wisconsin)



Conditiones sine qua non

- *Wir müssen **jetzt** etwas tun! Technologien müssen einsetzbar sein.*
- *Ohne Energieeinsparung werden Ziele nicht erreicht werden > Augenmerk auf **Effizienz und Wirkungsgrad***
- *Alternative Kraftstoffe müssen **CO2 neutral** sein (Kreislauf geschlossen)*
- ***Keine Konkurrenz zu Nahrungsmitteln** (1. Generation), gilt auch für Landnutzung*

Viel probiert, leider

- **Cellulose-Alkohol** (dzt. < 1% der Bio-Kraftstoffe), spätere Umrüstung der Anlagen auf Bio-Butanol (erforscht 1919 von Chaim Weizmann)
- Greg Venter & Exxon (2009 300 Mio USD für **Algenprojekt**, 2017 Zusammenarbeit erneuert)
- Konversion von **Biomasse zu sun fuel** / drop-in fuel (Choren-Anlage)
- **BioLiq – Strohpolyse** + Vergasung + Konversion von SynGas (KIT Karlsruhe)
- Algen, **Jatropha** statt Palmöl
- **Direktpolyse** & Hydrierung in Raffinerie-Anlage (OMV)

Strom wird zentrale Rolle spielen

- Wasser, Wind, Photovoltaik liefern Strom
- Jede Konversion vernichtet Energie >
- **Strom möglichst direkt nutzen**

- Aber:
 - Langzeitspeicherung ist schwierig (Sommer – Winter)
 - Strombedarf wird bis 2050 um ca. 50% zunehmen
 - Schon jetzt zahlreiche Widerstände gegen neue Wasser- / Windkraftwerke



Wirkungsgrade

Personenverkehr *)

PKW (OK)	28,7%
PKW (DK)	30,5%
PKW (elektr.)	80%
Bus (DK)	42%

Anmerkung:

*Bei einem 2.000 kg Auto und
1 Person (80 kg) ist der eff.
Wirkungsgrad (= Beförderung)
nur rd. 4%!*

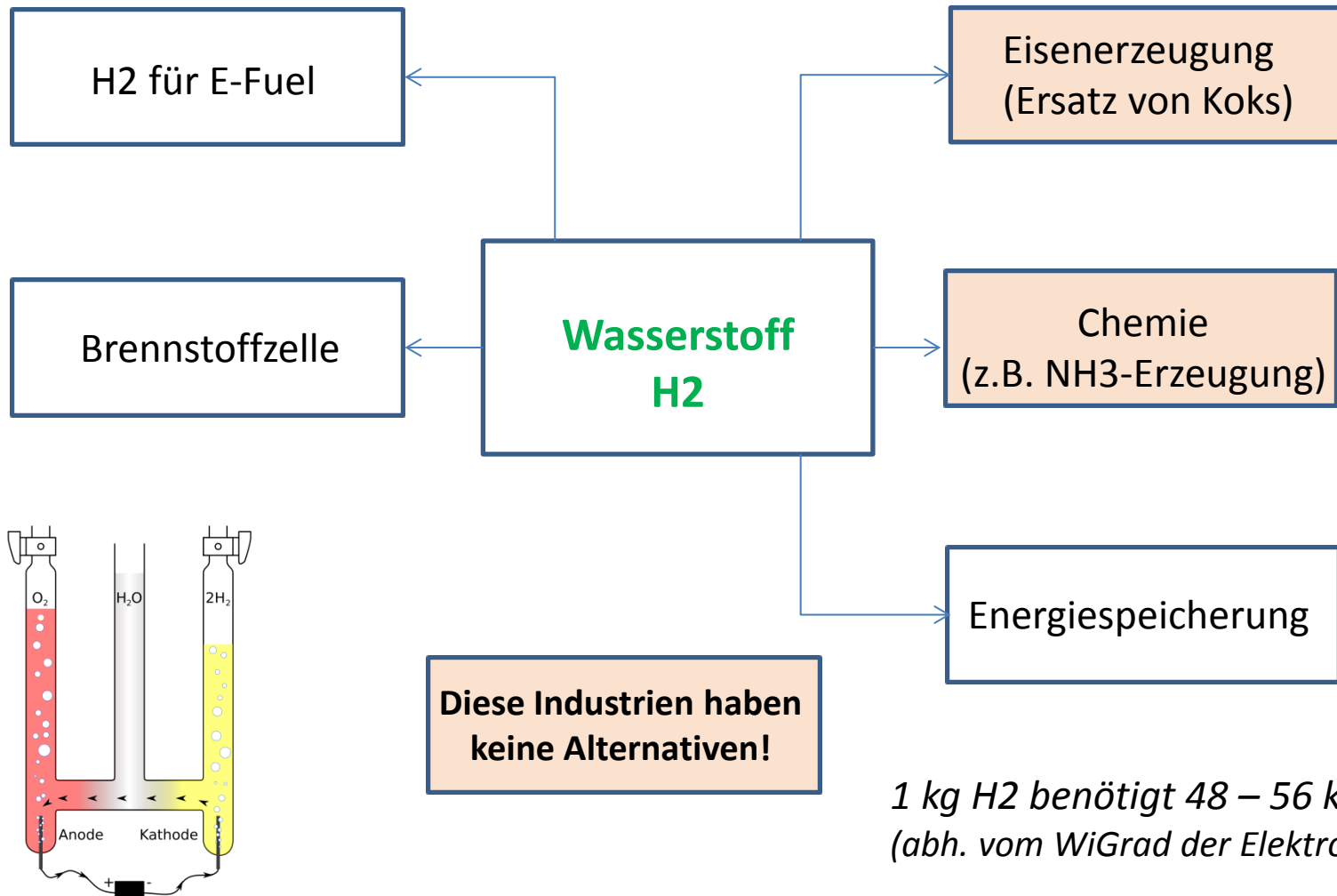
Güterverkehr *)

LKW (DK)	42%
Schiene (DK)	42%
Schiene (elektr.)	85%
Schiffsdiesel	50%
Elektrolyse	70%
Brennstoffzelle	55%

*) Quelle:

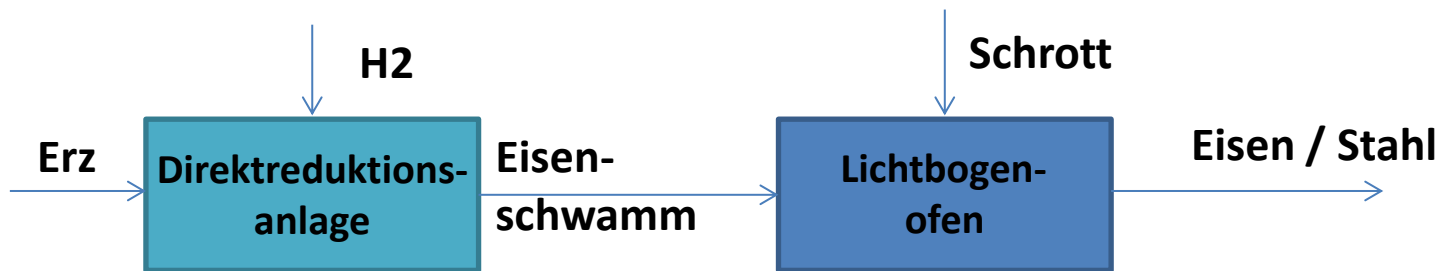
Kuchling et al., EEK Jän. 2020

Schlüsselkomponente Grüner-H2



H2 Bedarf der VOEST

- VOEST erzeugt ca. 6,65 Mio t Eisen (2019) / a und emittiert ca. 11,2 Mio t CO₂ (ca. 14 % von Ö)
- H₂ statt C als Reduktionsmittel (Pilotprojekt H2FUTURE)
$$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{H}_2 > 2 \text{Fe} + 3 \text{H}_2\text{O}$$

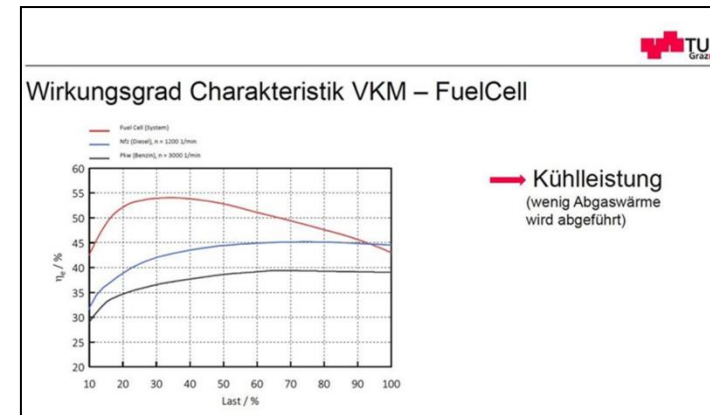


- Fe fällt als fester Eisenschwamm an (ca. 950°C), muss in 2. Schritt in einem Lichtbogenofen aufgeschmolzen werden. *)
- H₂-Bedarf ca. 973 t H₂/Tag
- Dazu nötig:
 - Für Erzeugung von H₂ 16,9 TWh
 - Für Lichtbogenofen 5,1 TWh
 - **Summe ca. 22 TWh (ca. 30 % vom Strombedarf Österreichs)**

*) Masterarbeit Leoben 2015

Brennstoffzelle & PKW

- „Tolle Weltraum-Technologie“
- Wirkungsgrade: *)
 - Elektrolyse 70 %
 - H₂: Kompression, Transport 90%
 - Brennstoffzelle 55% **)
 - Batterie, E- Motor 90%
 - **Summe: ca. 31 %**
- ***Zahlt sich das aus?***
- ***Nischenanwendungen natürlich möglich und sinnvoll!***



*) Wikipedia, gerundet

**) nur bei Teillast erreichbar

Erneuerbare Kraftstoffe

Eigenschaften div. Kraftstoffe				
	Siedepunkt	Heizwert	Oktanzahl	Cetanzahl
	°C	MJ/kg		
<i>Benzin</i>	30-200	41	> 95	
<i>Diesel</i>	170-400	43		> 51 (>60)
hydr. Bioöle *)	wie Diesel	wie Diesel		> 65
BTL / PTX / FT-Fuel	wie Diesel	wie Diesel		> 65
Methan	-162	50	130	
Methanol	65	19,9	106	
Ethanol	78	26,8	104	
n-Butanol	118	33,1	96	
i-Butanol	99	33	113	
Di-Methyl-Ether (DME)	-25	28,4		55-60

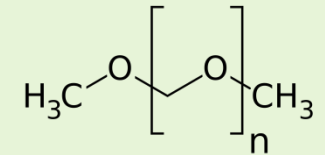
Diese C1-Kraftstoffe emittieren keinen Ruß (Feinstaub)!

***) Hydrierte Bioöle: Als drop-in fuel für Oldies? Oder zu Kerosin umgewandelt > Jet-Ersatz?**

in Entwicklung

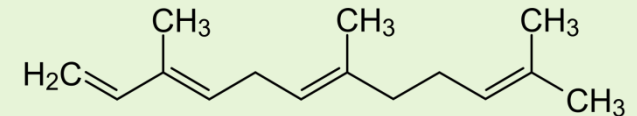
- Oligomerisierung von Methanol
- Aceton-Butanol-Gärung gefolgt von Kondensation
- Fermentation mit spezieller Hefe
- Hydrothermale Verflüssigung von Biomasse (u.a. mit superkritischem Wasser)
- Thermisch-katalytisches Reformieren von Biomasse gefolgt von Hydrierung (z.B. iH2 Prozess von Shell/Criterion)

- Polyoxymethyldimethylether



- Iso-Alkane

- Farnesene

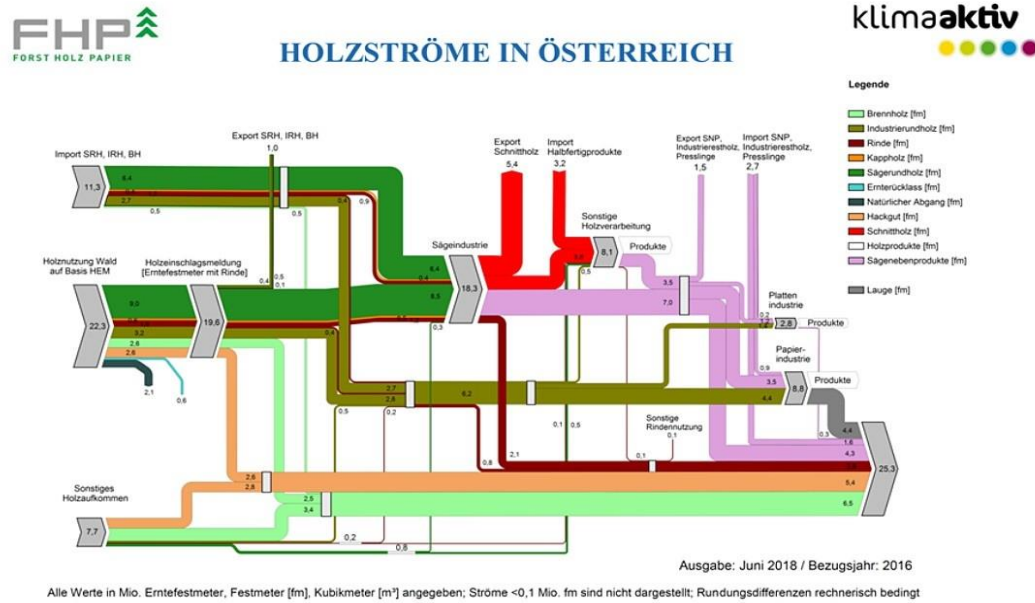


- Synthetisches Bio- Öl > OK/DK

- Synthetisches Bio-Öl > OK/DK

Kraftstoffe aus Biomasse

- Biomasse, im speziellen Holz ist ein knappes Gut
- Ö importiert rd. 1/3 des Holzbedarfs bereits jetzt
- >> Biomasse gezielt nutzen



Das Diagramm wurde auf Basis des aktuellsten Informations- und Erkenntnisstandes sorgfältig erstellt. Die Autoren übernehmen keine Haftung und behalten sich vor, neue Erkenntnisse einzuarbeiten. Entschl. von DI Lorenz Strimitzer, DI Martin Höher, MSc., Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency, DI Kasimir Nemestibny, LKO Copyright: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus

Biomasse: 2 (Haupt-) Verfahren

Fischer-Tropsch-Synthese

- Vergasung
- Reinigung ($S < 1$ ppb!)
- Polymerisation
- Recycle nicht reagierter Anteile
- Hydrocracken der Wachse
- Trennen der Produkte
- Einstellen der Kraftstoffeigenschaften

Bergius- Pier Hochdruckhydrierung

- Konversion zu Bio-Kohle
- Mit 3-5% m H₂ bei $\gg 200$ bar Hydrierung zu synth. Rohöl
- Destillative Trennung
- Hydrocracken der schweren Anteile
- Einstellen der Kraftstoffeigenschaften

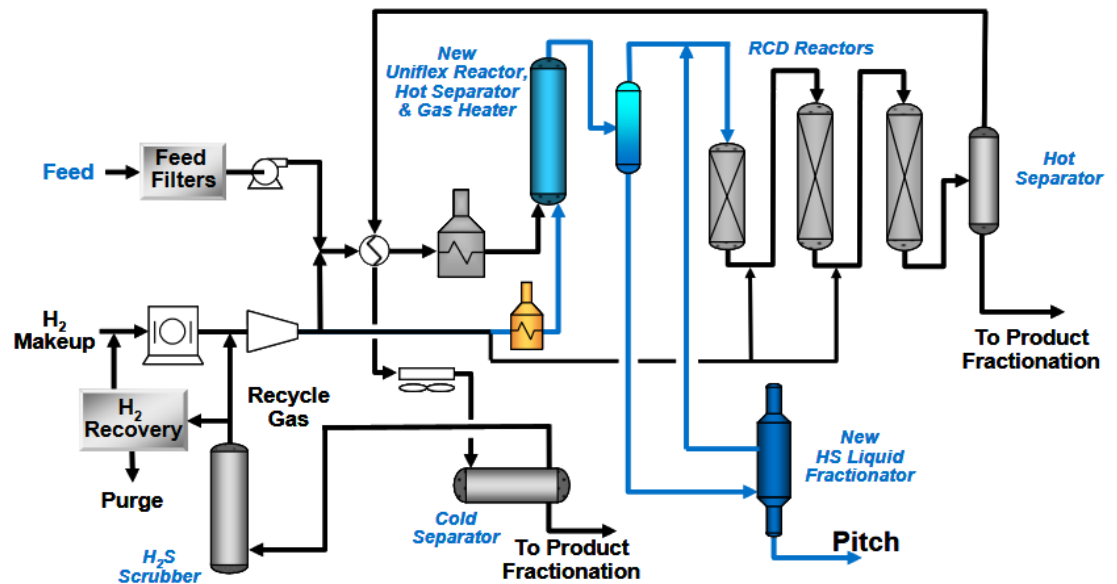
Fischer-Tropsch: Choren / Freiberg

- Kooperation mit Shell
- Eröffnung 2008 durch Kanzlerin Merkel
- 75.000 t Biomasse konvertieren zu 18.000 m³ FT-Kraftstoffe
- 5 t Holz ergeben 1 t Kraftstoff
- Insolvenz 2012



Bergius-Pier Verfahren

- Entwickelt vor rd. 100 Jahren für (Braun-)Kohle
- Nobelpreis für Bergius 1931
- Adaptiert von VEBA & CANMET für Rohöl-Rückstände und Kunststoffe
- Heute „neu“ entdeckt von Fa. UOP, Anlagen in China
- Holz wird in 1. Schritt zu Bio-Kohle verwandelt („Zauberkohle aus dem Dampfkochtopf“ des MPI 2006, Antonietti)

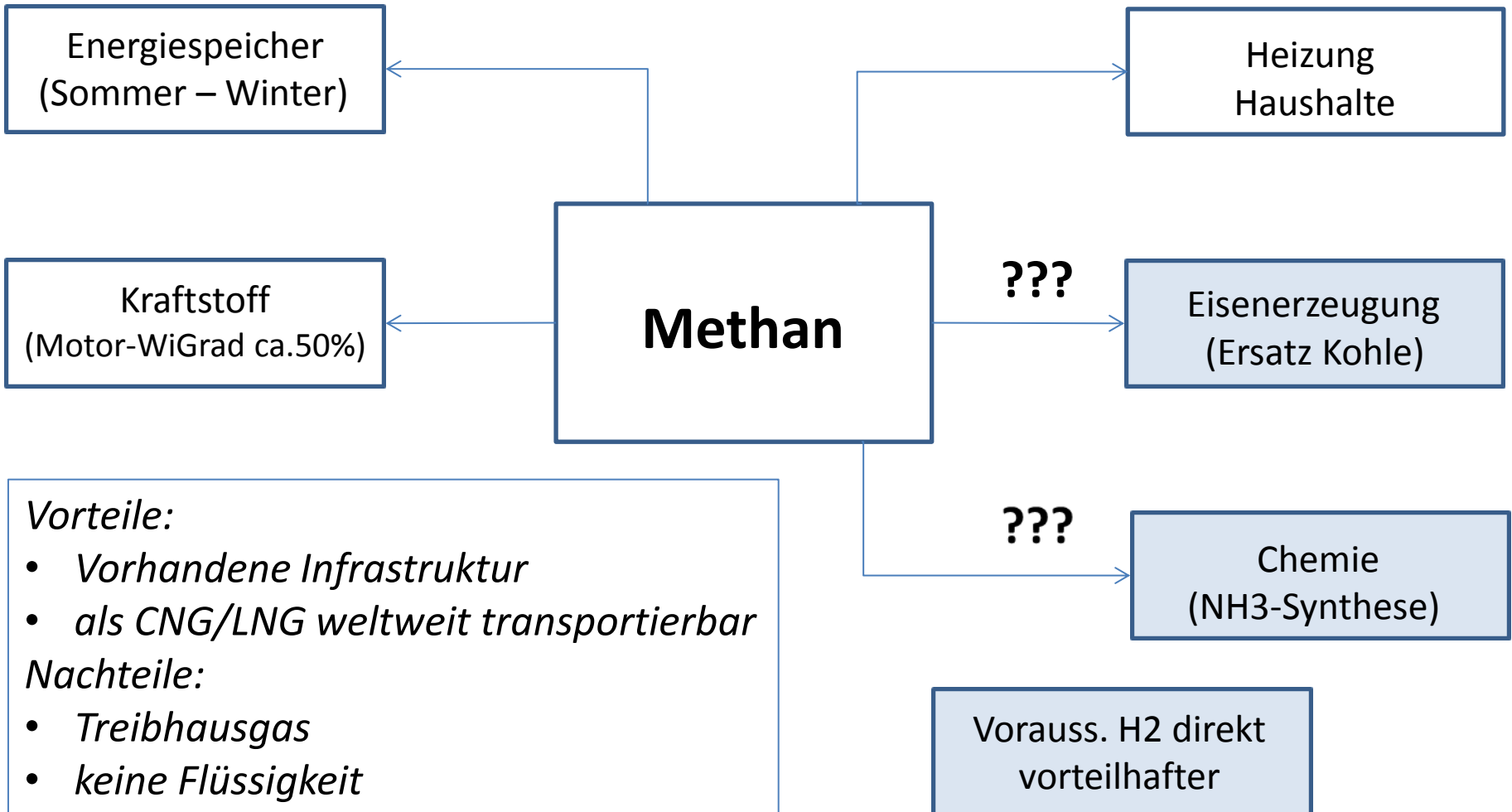


Honeywell UOP Uniflex™ Technology

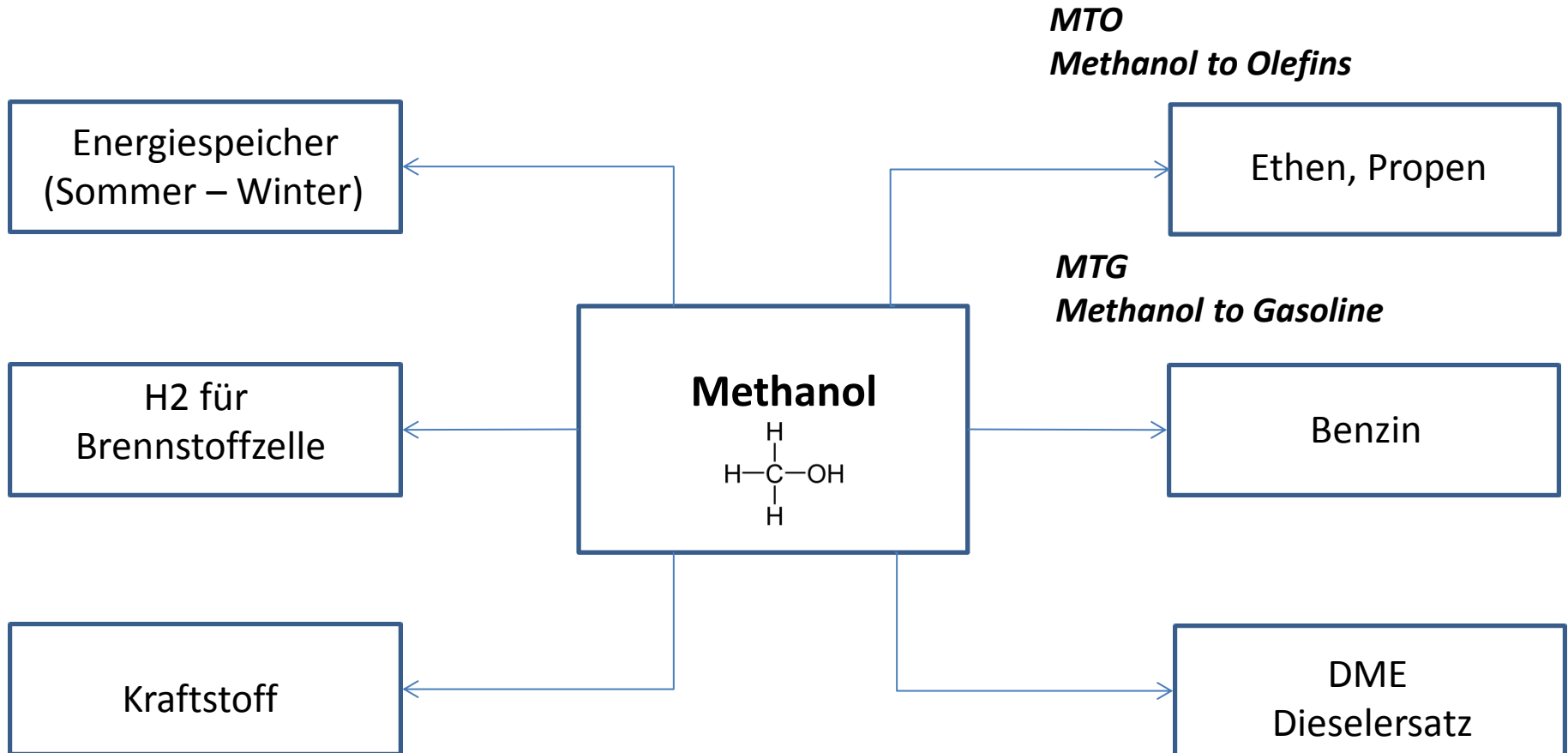
Erkenntnis

- Beide Verfahren geben sehr gute Kraftstoffe, insbes. Diesel (hohe Cetanzahl)
- Aufwändig, viele Schritte nötig
- hohe Investitionskosten & hohe Betriebskosten, damit bisher wirtschaftlich nicht begründbar
- einfachere Prozesse nötig mit möglichst wenigen Schritten:
 - **Methanisierung**
 - **Methanol (> DME)**
- Auch wichtig: Projekt-Zusatzkosten minimieren, vorhandene Infrastruktur nutzen

Schlüsselkomponente Methan



Schlüsselkomponente Methanol



Vorteile:

- eingeführte Chemikalie (>100 Mio t/a)
- wird weltweit gehandelt

Nachteile:

- Giftig, mit Wasser mischbar
- als neuer Kraftstoff genehmigbar?

Rechenbeispiel: Wieviel Methan*) für PKWs benötigen wir in Ö?

- Annahmen:
 - 5 Mio PKW in Ö, km-Leistung wie jetzt (13.900 km/a; Kurzstrecke täglich meist < 40 km)
 - Norm-Auto = „mein idealer PKW“: leichtes plug-in Hybrid mit range extender, Treibstoff Methan
 - Fahrzyklus
 - ca. 80% elektrisch – Kurzstrecken, in die Arbeit, Einkaufen, etc.
 - ca. 20% Methan – Urlaub, Wochenende



*) Methan steht stellvertretend für Methanol, DME

Mein idealer PKW

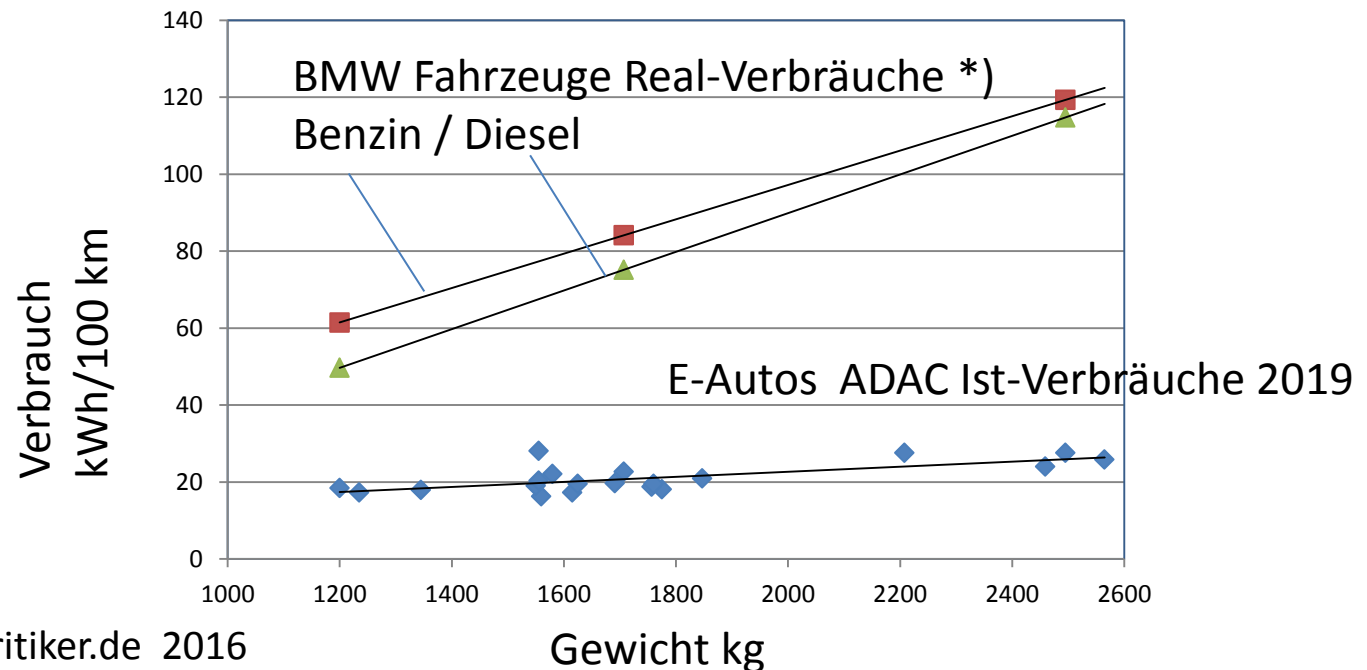
- Moderne Baustoffe, Gewicht < 1000 kg,
- Batterie ca. 10 kWh, damit nicht 600 kg sondern „nur“ 100 kg, ladbar an jeder normalen Steckdose (bei Schnellladung sinkt Effizienz)
- Batterie-Herstellung ist dzt. wenig Umwelt freundlich (Li-Gewinnung in Atacama-Wüste, Kobalt aus Kongo, Manganknollen in Tiefsee)
- Reichweite bei Verbrauch von 13 kWh/100 km: ca. 80 km (13 kWh = Normverbrauch des e-Golf)
- Range Extender Motor mit Methan: WiGrad 50% (immer optimaler Betriebspunkt!)
- dank Batterie funktioniert Rekuperation auch bei Ladung
- Gewicht des range extenders vergleichbar mit 10 kWh Batterie
- Beispiele:
 - Hypercar von A. Lovins 1992
 - CULT von Magna 2012 mit range extender von AVL List

CULT von MAGNA



Geringes Gewicht

- Bei E-Autos spielt Gewicht weniger Rolle als bei konventionellen Autos dank Rekuperation
- Je 100 kg weniger Gewicht 4 % weniger Leistung nötig
- Weitere Vorteile: geringerer CO2 footprint, geringerer Reifenabrieb > weniger Feinstaub, weniger Hilfssysteme nötig



*) <https://der-autokritiker.de> 2016

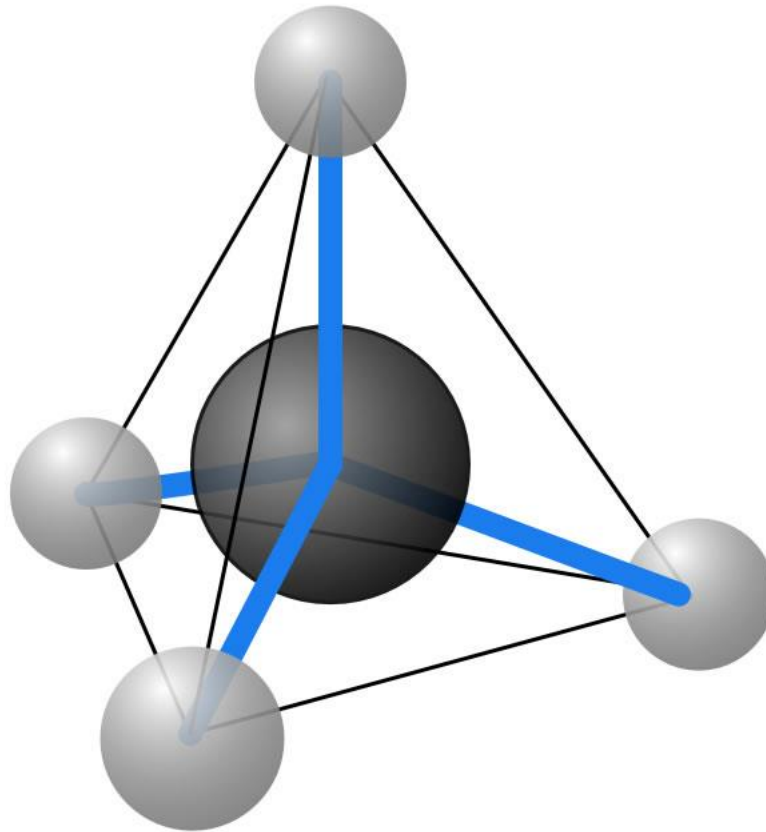
Rechenergebnis

- Für die Annahmen
 - 5 Mio PKW, plug-in Hybrid,
 - 13.900 km/a, 13 kWh/100 km,
 - Fahrzyklus 80% elektrisch, 20% range extender
- errechnen sich:
 - Strombedarf: 9.040 GWh/a
 - **Erdgasmenge: 290.000 t/a**



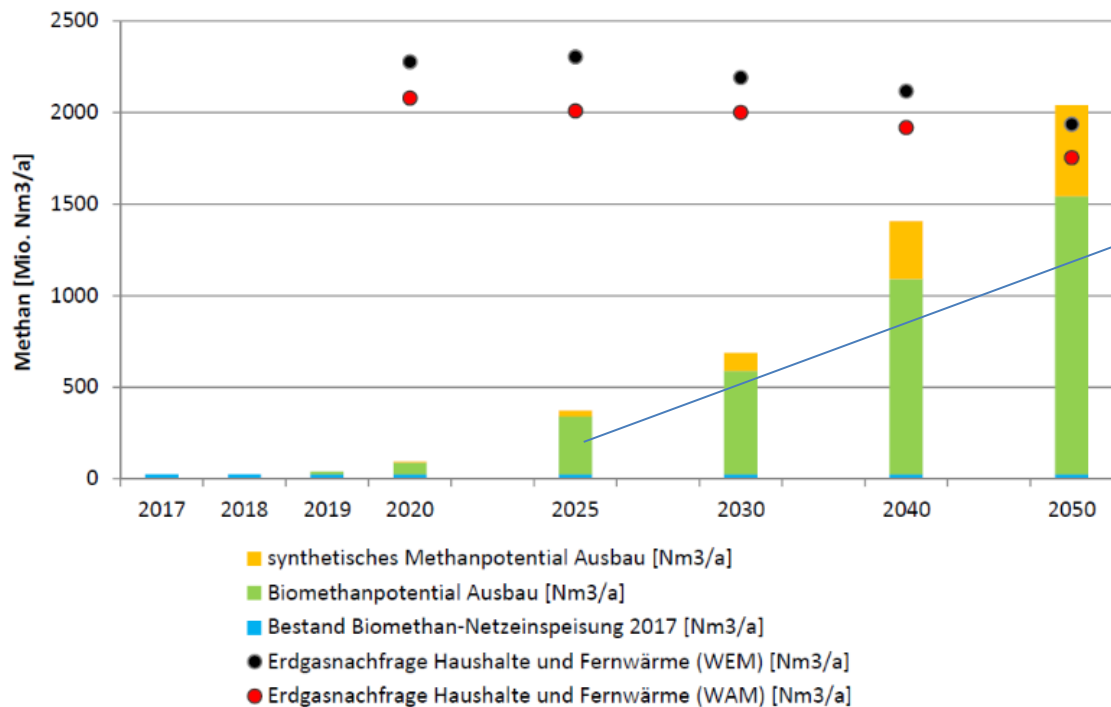
- ***Eine Bitte: Rechnung nur als das nehmen, was sie sein soll:
Zeigen, dass relativ wenig erneuerbarer Kraftstoff nötig ist.***

Wie Methan erneuerbar erzeugen?



Option 1: Ausbau der Biogas-Anlagen

Potential in Österreich: Studie von e-Control 2019 *)



ca. 400 Mio Nm³
sind 290.000 t



Quelle: Energieinstitut an der JKU Linz

*) https://www.e-control.at/documents/1785851/1811582/LFP19_Bericht_A2_xxxBGG_inkl-Anhang.cleaned.pdf/dd1c0f44-05d4-0cc6-b951-9460e5bfaa8b?t=1574159767808

Option 2: aus Biomasse

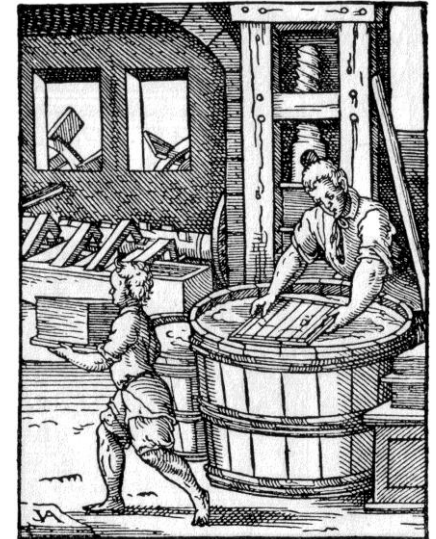
- Ausgangsstoffe:
 - Holz (oder andere Biomasse)
 - ohne / mit zusätzlichem H₂ aus Elektrolyse
- Verfahrensschritte
 - Vergasung (z.B. Güssinger-Vergaser)
 - Gasreinigung, Kompression
 - Katalytische Umsetzung zu Methan - Sabatier-Reaktion (bzw. Methanol)
 - Ausbeute erhöhen durch Einspeisung von grünem H₂
- Methan: auch biochemisch möglich!
(Methanbildner - Bakterien)



Option 3: Papierindustrie Ö, PTX

Daten

- Einsatz 2019
 - Holz 8,9 Millionen Festmeter, das sind ca. 8 Mio t
 - Altpapier 2,4 Mio t
- Produkte (Zellstoff, Papier): 5 Mio t
- Genutzt zur Energiegewinnung (Lignin in Ablauge): 5,4 Mio t
- C-Anteil im Holz ca. 50 %
- C Recovery aus Rauchgas (80%): 2,2 Mio t
- H₂ aus Elektrolyse (70% WiGrad)
- O₂ aus Elektrolyse reicht aus für Oxy-Fuel, O₂ statt Luft, Rauchgas enthält daher nur CO₂+H₂O



Methan möglich (Konversion 80%)

2,3 Mio t

Methanol möglich

4,6 Mio t

Konversion ist kein Perpetuum mobile

Vergleich der Varianten:

		Holzbedarf kt/a	H2 kt/a	Fahrstrom GWh	Strom für H2 GWh/a	Strom tot GW/h
ohne range ext				11.300		11.300
mit range ext.	nur Holz	1.037		9.040	0	9.040
(290 kt C1/a)	Holz + H2	545	69	9.040	3.784	12.824
	CO2+H2	0	145	9.040	7.875	17.015

- Wirkungsgrad Synthese bis inkl. PKW: ca. 25 % (vergleichbar mit 31% der Brennstoffzelle)
- Einsatz-Kosten für Methan
 - Holz 70 €/t, Strom 4 Cents/kWh
 - Keine sonstigen Kosten (Investition, so. Energiebedarf, Personal, so. Betriebskosten!)
 - Holz+H2: ca. 650 € / t Methan
 - Aus Rauchgas: ca. 1100 € / t

Mengen Jetzt - Zukunft

- **IST nur für PKW *)**

– Ottokraftstoff	1,47	Mio t/a
– Dieselkraftstoff	1,65	Mio t/a
– CO2 Emissionen	9,87	Mio t/a

- Rechenbeispiel

– Methan	0,29	Mio t/a
– CO2 Emissionen	0,8	Mio t/a (wenn fossiles Methan)

- **Reduktion CO2 auf 8 %**
(da Kreislauf real auf 0%)

*) errechnet aus Daten Statistik Austria
(Anzahl PKW, avg km und avg Verbrauch)

Option 4: Import

- Es gibt Länder, die für die Nutzung der Sonnenenergie Vorteile haben, z.B.:
 - Wind: höhere Geschwindigkeit und > 5000 h Vollast statt 2200 h in Ö
 - Mehr Sonnenstunden (z.B. Marokko)
 - Genügend Platz, keine Konkurrenz zu Landschaftsschutz
 - Ungenutzte Wasserreserven (Kongo)
- Erneuerbarer Strom ist dort wesentlich billiger (1-2 Cents/kWh) erzeugbar (z.B. Al Dhafra Solar Project in Abu Dhabi, 2 GW Energie, Strom für umgerechnet 1,3 Euro-Cent / kWh)
- ***Warum daher nicht dort erneuerbare Kraftstoffe erzeugen?***

Prognose 1972

The Stone Age didn't end for lack of stone,
and the oil age will end long before
the world runs out of oil.



- Sheik Ahmed Zaki Yamani

Zusammenfassung

- **Methan und Methanol** haben meiner Meinung nach das Potential zu erneuerbaren Kraftstoffen
- Immer sinnvoll und notwendig: Bewertung der ganzen Kette – life cycle Analyse
- Zögernde Einführung von Elektroautos wegen hohem Preis und „Reichweitenangst“
- Hybridautos dzt. aber wegen politisch gestellter Weichen (in Europa) nahezu „out“
- Voraussetzung wäre: Technologie-Neutralität, Ziel primär Klimaschutz
- *Ist es dazu schon zu spät?*

Danke für Ihre Geduld!

Fragen?

Auch gerne direkt an mich:
josef.lichtscheidl@unvie.ac.at

