

Wasserstoff für die Energiewende: Chancen einer Wasserstoffwirtschaft für Berggebiete

Prof. Dr. Peter Tromm

21. Januar 2021, Disentis, AlpEnForCe

FH
GR Fachhochschule Graubünden
University of Applied Sciences

swissuniversities

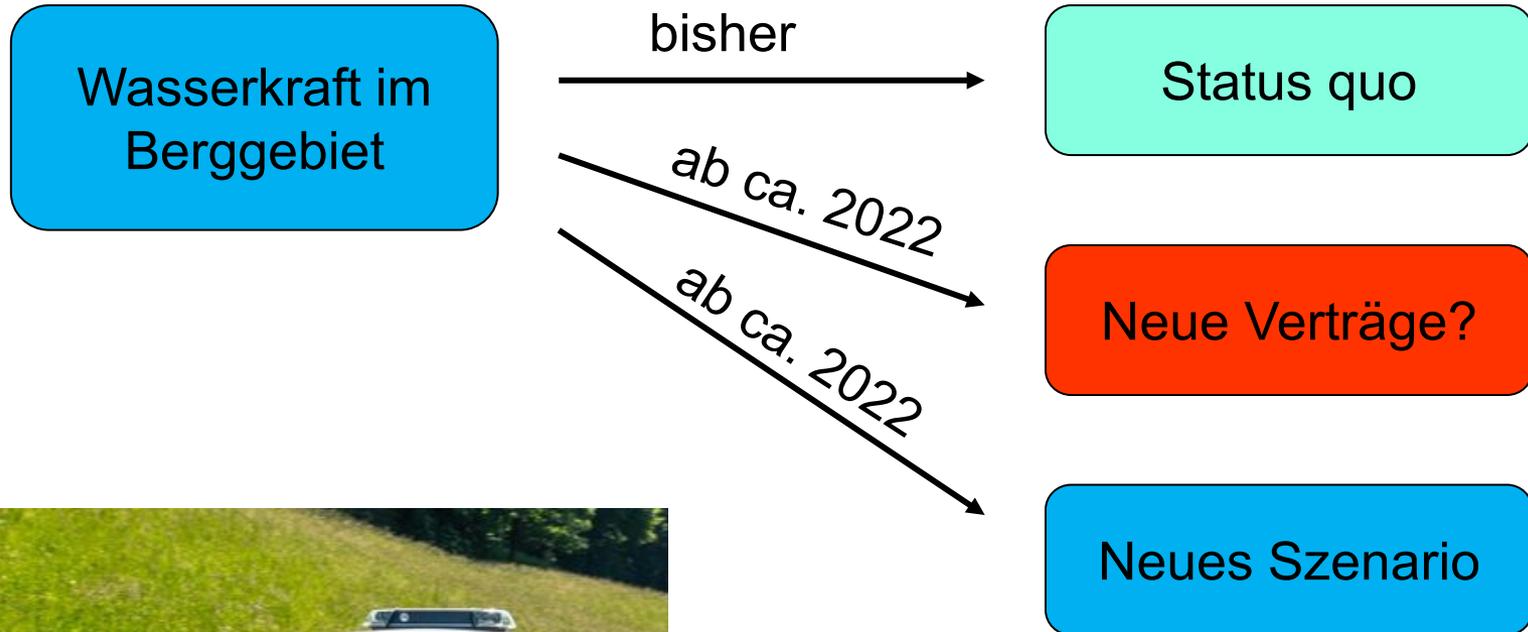


Amt für Energie und Verkehr Graubünden
Uffizi d'energia e da traffic dal Grischun
Ufficio dell'energia e dei trasporti dei Grigioni

graubünden Bildung und Forschung

#gkb2020  Graubündner
Kantonalbank

Ausgangslage des Projektes



Neues Wasserstoff-Fahrzeug der Polizei ZH

[20min.ch, 26. Mai 2020]

Geplante Verbote von Verbrennungsmotoren

GB	Ab 2040 Verbot von Neu-Fahrzeugen
Frankreich	Verbot ab 2040, Förderung von Wasserstoff- u. Elektro-Fz.
Norwegen	Ab 2025 nur noch Verkauf von Fahrzeugen mit 0 Emissionen
China	Ab 2030 Verbot von Neu-Fahrzeugen
Indien	Ab 2030 geplantes Verbot von Neu-Fahrzeugen
Schweiz	Ab 2050 keine fossilen Brennstoffe mehr importieren
USA	California ab 2040, 7 weitere US-Staaten ab 2050 (z.B. NY)
DE	Ab 2050 Verbot
NL	Ab 2030 Verbot
Weitere:	Kanada (Quebec), Irland, Israel, Island, Taiwan

Wasserstoffwirtschaft

Definition:

Wasserstoffwirtschaft = Konzept einer Energiewirtschaft, die hauptsächlich oder ausschliesslich **H₂ als Energieträger** verwendet.

Themen:

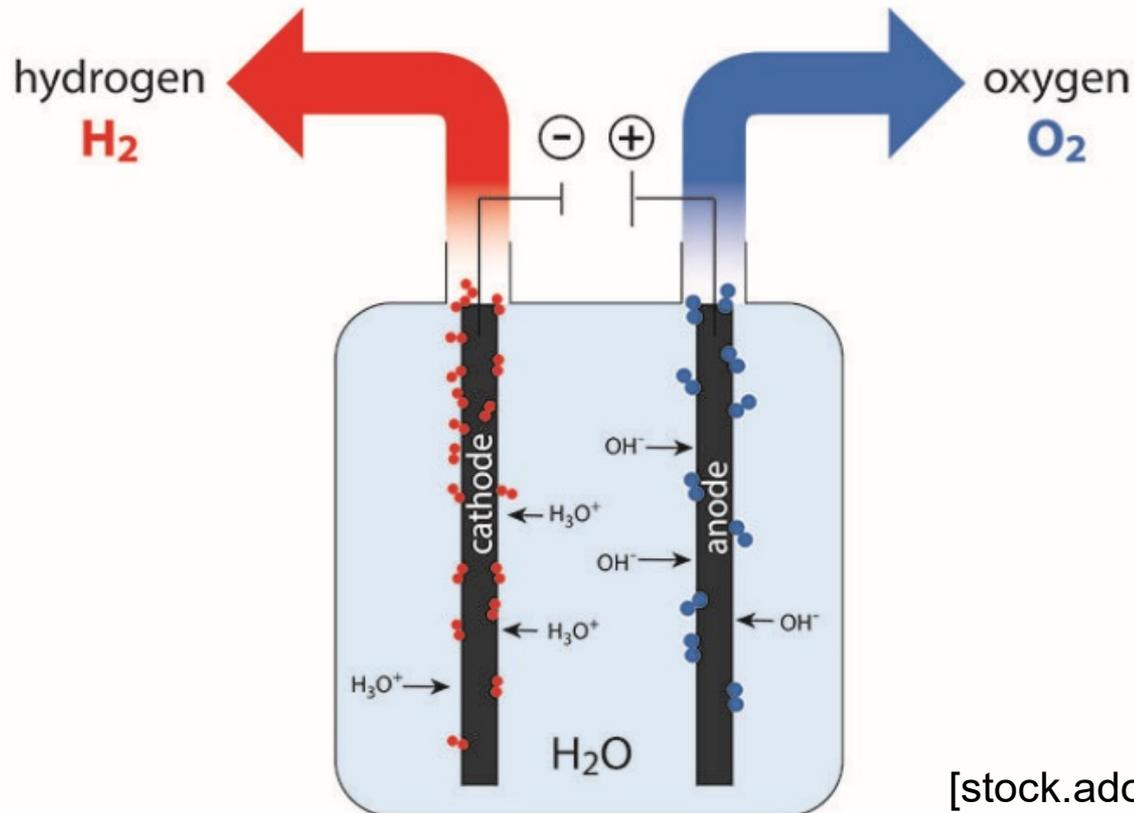
- Herstellung von Wasserstoff
- Speicherung
- Transport
- Brennstoffzelle
- Wirkungsgrade
- Ökonomische Parameter



[Daimler Benz AG]

Herstellung von Wasserstoff

- Spaltung von Wasser durch Elektrolyse



[stock.adobe.com]

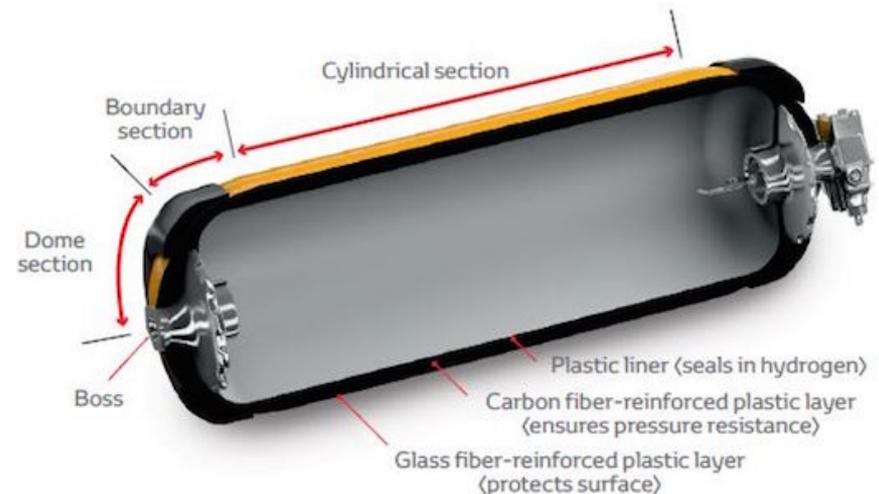
Speicherung von Wasserstoff

Vorrangig Verwendung finden:

- **Druckwasserstoff-Speicherung bei 20 – 700 bar, je nach Anwendung**
- Flüssigwasserstoffspeicherung
- Metallhydridspeicher
- Chemisch gebundener Wasserstoff (z.B. als Methanol)



www.nproxx.com



[z.B. Linde]

[NPROXX.com,
Dt. Firma für
Druckbehälter, Jülich]

Transport und Nutzung von Wasserstoff

- Vergleich Reichweite Auto: 1 kg H₂ ≈ 6.5 l Benzin
- Verbrauch Auto: 1 kg H₂ ≈ 100 km
- Preis an Tankstelle: 1 kg H₂ ≈ 11 CHF ≈ 10 €

33
1203
Benzin

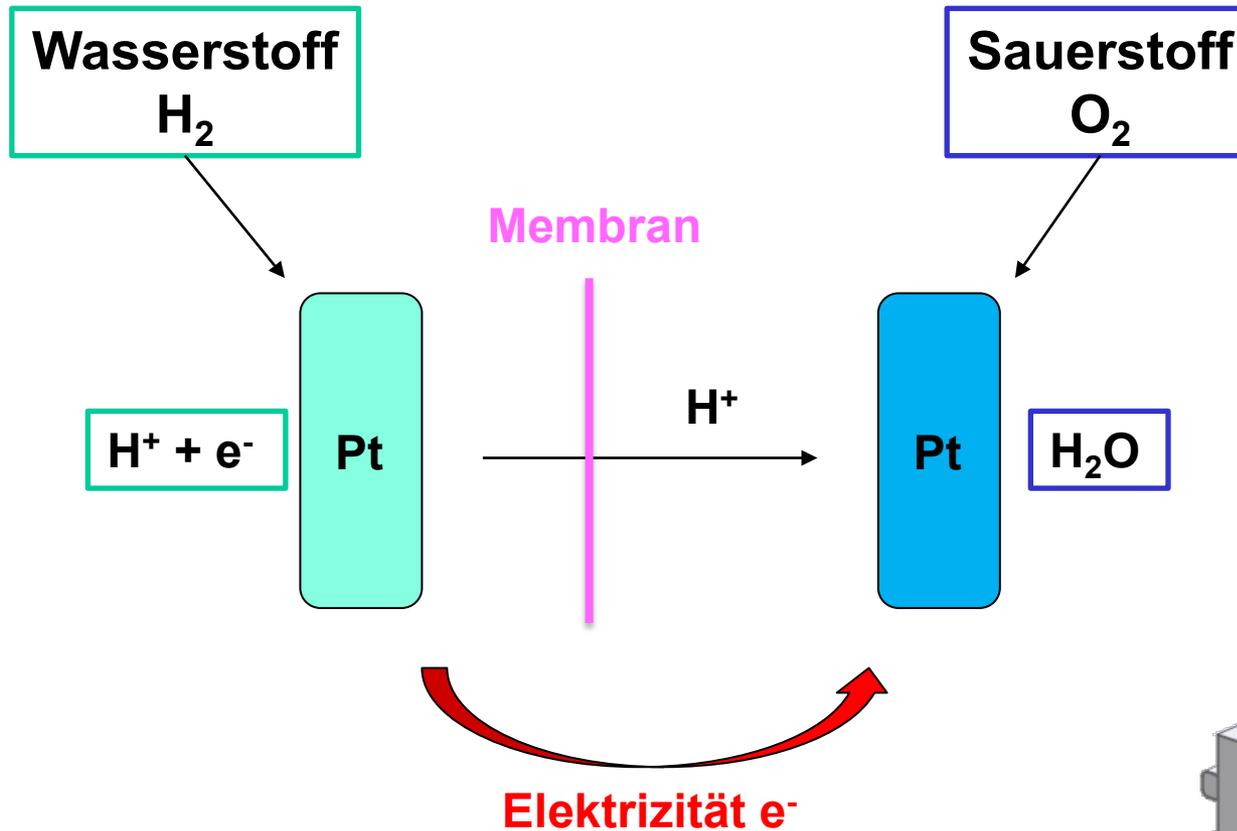
23
1049

Transport:
Wasserstoff,
verdichtet,
UN 1049 =
Stoffnummer,
Gefahrr. 23,
2 = Gas,
3 = entzündbar



[Linde]

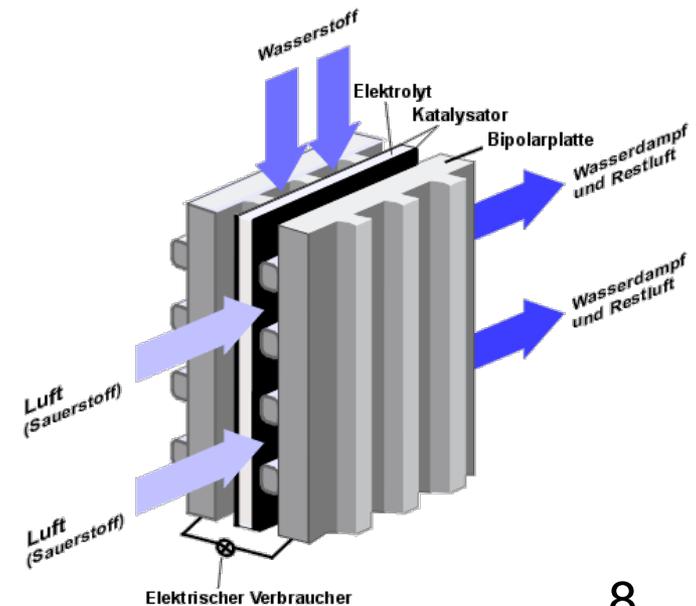
Verbrennung: Prinzip einer Brennstoffzelle



Pt: Platin

H^+ : Wasserstoff-Kation

H_2O : Wasser

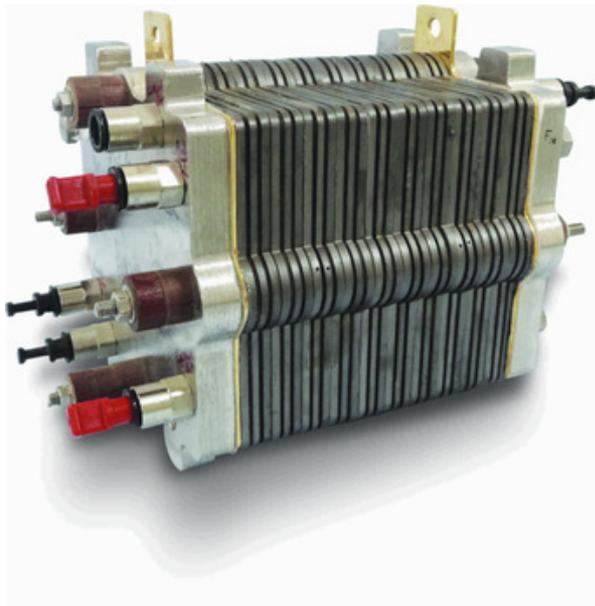


Brennstoffzelle PEM-FC

PEM-FC: Proton Exchange Membrane Fuel Cell

= Protonenaustausch-Membran Brennstoffzelle

- 70 – 80 °C Arbeitstemperatur
- Wirkungsgrad etwa 60% (PEM), andere Typen 35-90%



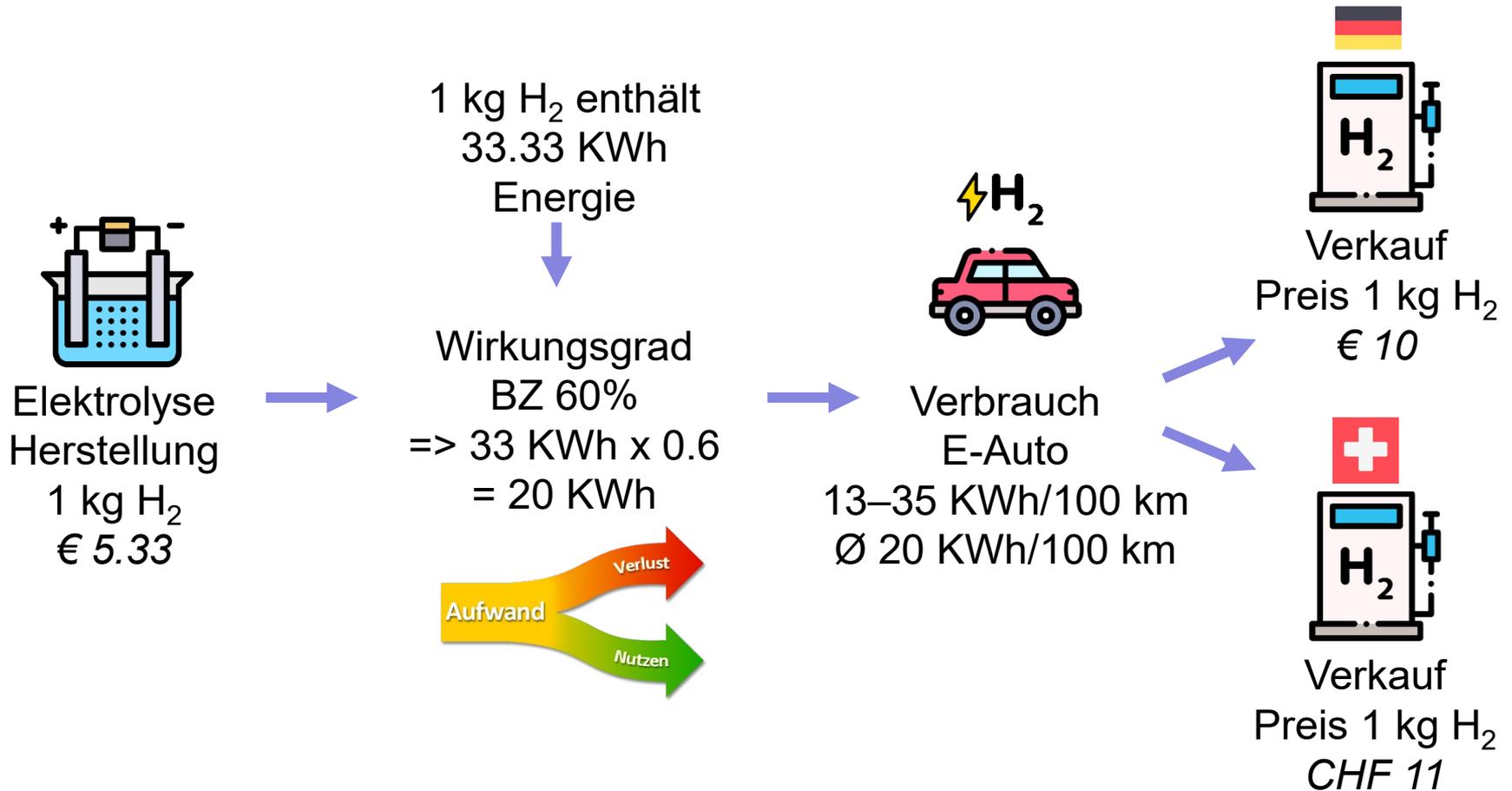
[Bosch]

Vergleich Gesamt-Wirkungsgrade PKW



Technik	Gesamt-Wirkungsgrad
0.8 0.88 0.6 0.95 Strom → H ₂ → Druck → BZ → E-Motor	40%
0.9 0.95 Fz mit Akku: PV → Akku → E-Motor	85%
0.85 0.24 Benzin-Fz: Raff+Transport → Benzin → Motor	20%
Synth. Treibstoffe: Herstellung bis Strasse (Power-to-Gas)	13%

Preise bzw. Kosten

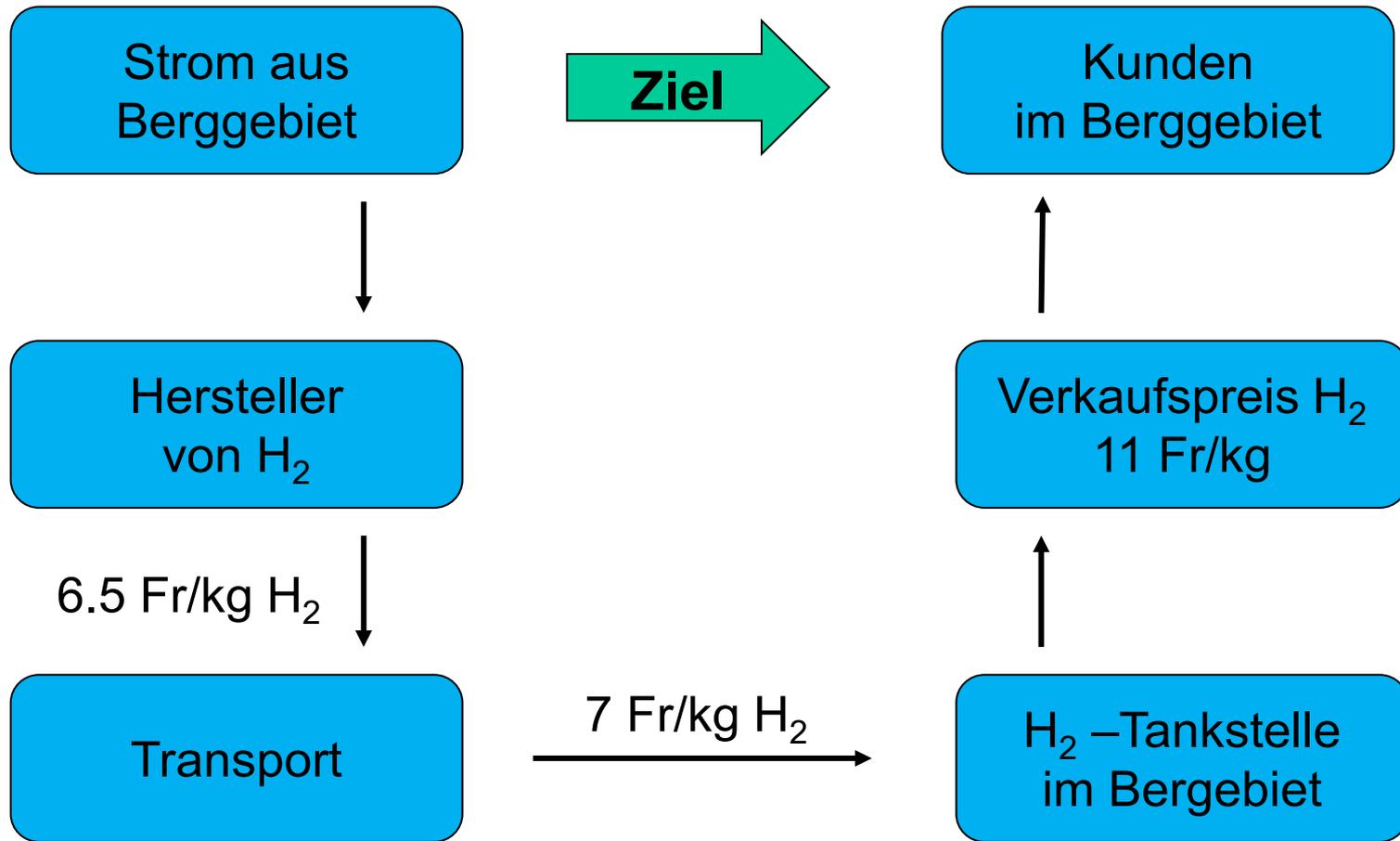


[Quellen: Stephen Franz, Büro F, www.burof.de
Freepik, FlatIcon.com]

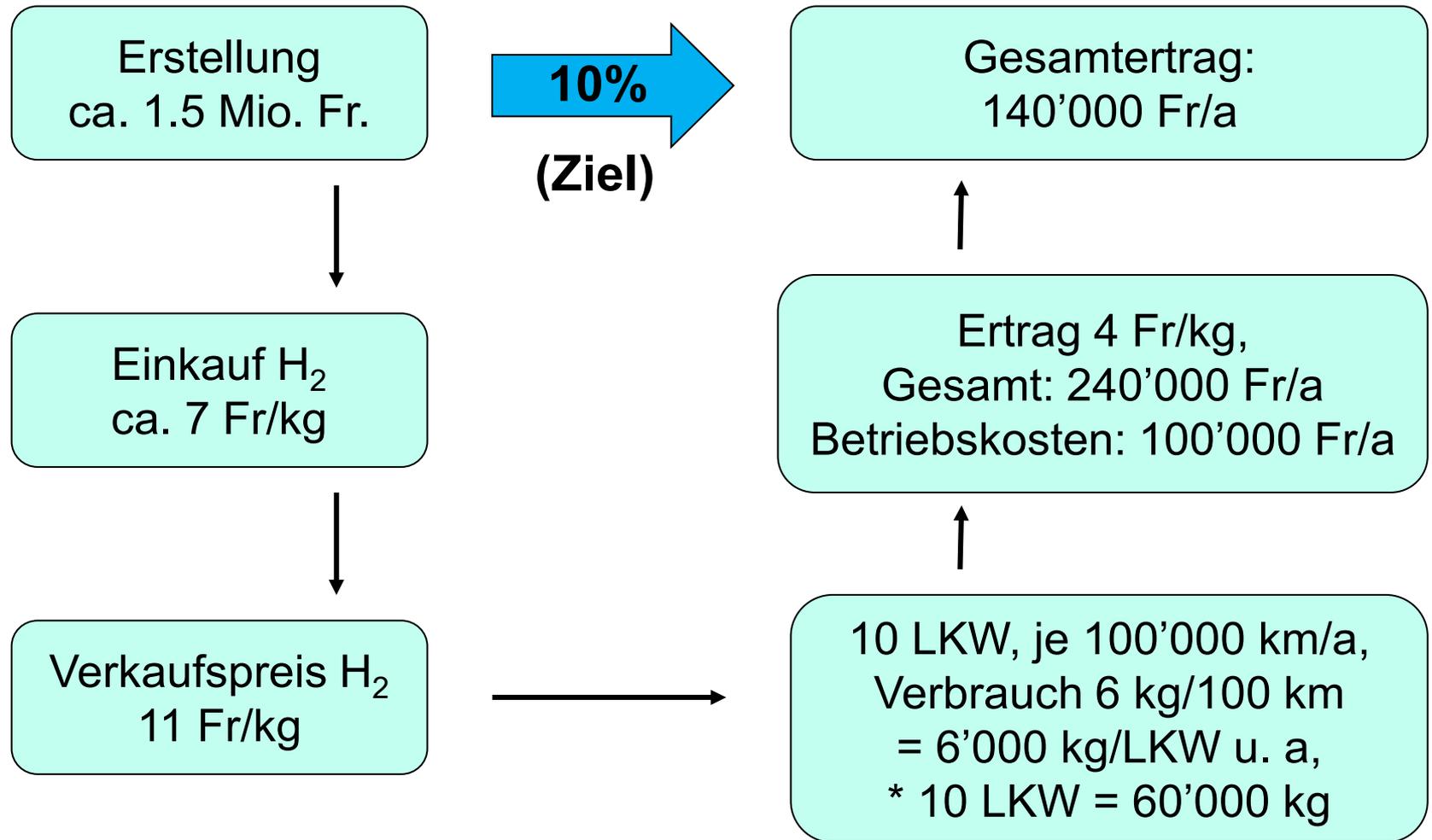
Preise bzw. Kosten

Wasserelektrolyse: Herstellung von 1 Kg H ₂	5.33 €/Kg
1 Kg H ₂ enthält 33.33 KWh Energie	
Wirkungsgrad BZ 60%, also 33 KWh x 0.6 =	20 KWh
1 KWh H ₂ kostet (5.33 € : 33.33 KWh =)	0.16 €/KWh
H ₂ aus NEE für Transportsektor, 700 bar	0.20 €/KWh
Verbrauch E-Auto: 13–35 KWh/100Km, Φ 20 KWh/100Km, H ₂ -Kosten: 20 KWh/100 Km x 0.20 €/KWh =	4 €/100Km
Preis pro 1 Kg H ₂ an Tankstelle in DE ca.	10 €/Kg
Preis pro 1 Kg H ₂ an Tankstelle in CH ca.	11 CHF/Kg

Produktions- und Lieferkette im Berggebiet



Rentabilitätsrechnung einer H₂-Tankstelle



Chancen einer Wasserstoffwirtschaft für Berggebiete

1. Neuer regionaler Wirtschaftszweig mit Herstellung, Transport, Speicherung & Verkauf (Arbeitsplätze)
2. Wirtschaftlichkeit gegeben incl. Reserve für eventuelle Steuern
3. Einnahmen für Wasserkraftwerke gesichert
4. Berggebiete werden energie-autark & nachhaltig
5. Vorteile gegenüber «E-Wirtschaft» (Grid für Elektromobilität)
6. Vorteile für Tourismus

Disentis
[disentis-sedrun.graubünden.ch]



Vorteile einer Wasserstoffwirtschaft

- ✓ Unabhängigkeit, eigener Treibstoff, Selbstversorgung
- ✓ Kurze Transportwege (und damit auch weniger Umwelt-Risiko)
- ✓ Einsetzbar für Verkehr, Transport, Landwirtschaft, Heizungen, Pistenpräparierung, Nachtstrom, Gemeindefahrzeuge etc.
- ✓ Lärmreduktion (da elektrisch)
- ✓ Klimaziele



Wasserstoff-Pistenfahrzeug
[©event-fotograf.at]

Gründe für Wasserstoff als zukünftigen Energieträger

- ✓ Produktion des Wasserstoffs durch NEE (Elektrolyse)
- ✓ Wasserkreislauf
- ✓ Sauerstoff wird vor Verbrennung produziert
- ✓ Jede Nation kann Treibstoff herstellen
- ✓ Keine Umweltprobleme durch Abgase, Öle etc.
- ✓ Niedrige Grid-Fees (lt. PWC 50% zu E-Mob.)
- ✓ Verkehr: Rekuperation über E-Motor, kaum Bremsstaub
- ✓ Umrüstung von Verbrennungsmotoren (Firmen Deutz, Keyou)



Radnabenmotor

Ausblick & Empfehlungen

- Strategie entwerfen, auf Kantons- und Gemeinde-Ebenen:
Elektrolyse-Anlagen, Tankstellen, Speichermöglichkeiten
- Rechtliche Rahmenbedingungen (siehe Vortrag Markus Schreiber)
- Bauvorgaben
- Richtiger Zeitpunkt jetzt



Disentis
[alpenforce.com]

Anwendungen von Wasserstoff-Technik



Hyundai LKW



Hyundai Nexo



Airbus, geplant bis 2035



Buderus Heizung

Anwendungen von Wasserstoff-Technik



Alstom-Zug



Firma Wrightbus, London TfL



Ausflugsboot, Amsterdam



U-Boot DE/IT/N, seit 2004

Fragen?

**Herzlichen Dank
für
Ihre Aufmerksamkeit**



Sicherheit von Wasserstoff-Tanks

- ✓ Sicherheitsventile: für langsames Ausströmen bei hohem Druck
- ✓ Feuerversuche: bei 70 Minuten und 900 °C keine Explosion, sondern langsames Entweichen durch Ventile
- ✓ Stossversuche: mit mechanischer Verformung ohne Explosion
- ✓ Weltweite sichere Handhabung:
Jahresverbrauch über 500 Milliarden Kubikmeter H₂
- ✓ Beschuss-Tests in Japan: ohne Explosion oder Zerstörung

[hydrogeit.de/speicherung]

Beispiele Einzel-Wirkungsgrade

Technik	Wirkungsgrad
Glühlampe	5%
LED-Lampe	30%
Dieselmotor	bis max. 45%
Benzinmotor	10% - 37%
Elektromotor	> 90% - 95%
Brennstoffzelle PEM	60%
Solarzellen	25%