

Antriebstechnologie von Pistenfahrzeugen – Stand, Entwicklungstrends und Herausforderungen



Energieproduktion Bergbahnen

Solar



Wasser



Wind



Energieverbrauch Bergbahnen

Transport



Beschneung



Gebäude



Fahrzeuge



Pistenfahrzeuge

- Fehlender Wettbewerb und Innovationsdruck
- Nischenmarkt
- Zukauf der Motoren
- Öffentliche Wahrnehmung und Image der Bergbahnen bzw. des Schneesports
- Logistik



Pistenfahrzeuge



- Entwicklungen: Synthetische Treibstoffe, Wasserstoff, Elektrisch
- Dieserverbrauch in GR ca. 6.3 Mio. Liter pro Winter
- Mineralölsteuerbefreiung auf demjenigen Teil, der die Strasseninfrastruktur finanziert.



Motivation CO₂ Nutzung

GEVAG SMARTE ENERGIE. AUS ABFALL.

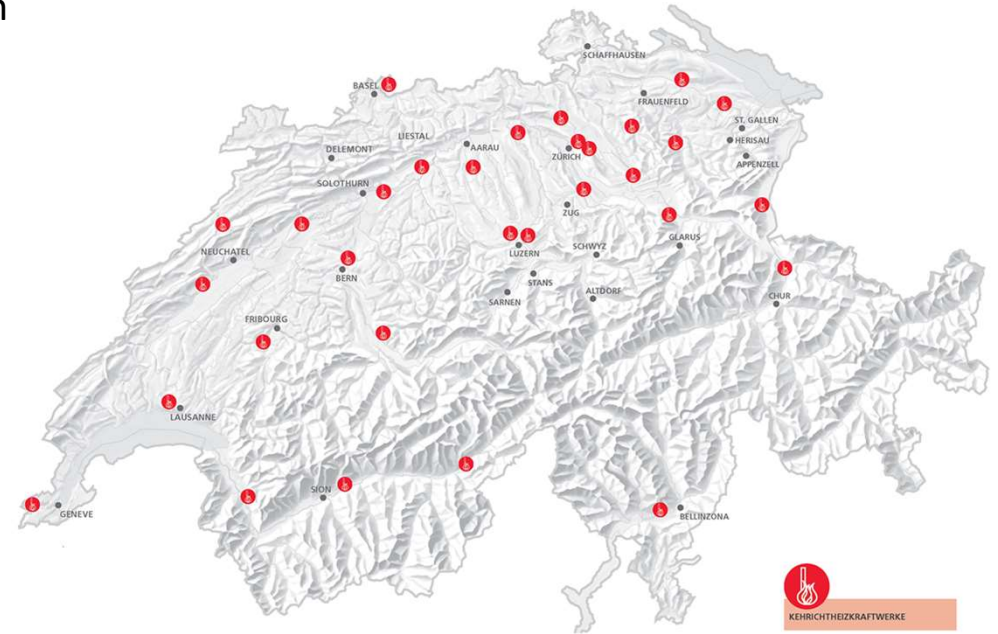
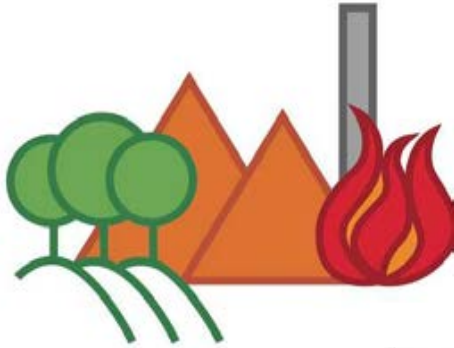


KVA Branche



Verband der Betreiber Schweizerischer Abfallverwertungsanlagen

VBSA
ASED
ASIR



In der Schweiz gibt es 29 KVAs

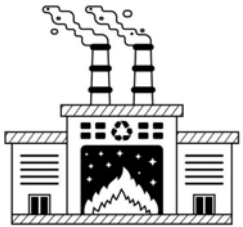
GEVAG SMARTE ENERGIE. AUS ABFALL.

KVA Branche

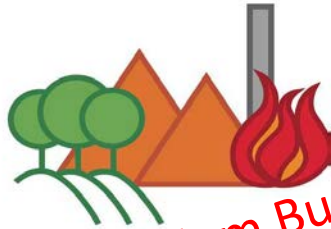


- Diese verwerten 4 Millionen Tonnen Abfall jährlich
- 1 Tonne Abfall = 1.1 -1.25 Tonnen CO₂ → 50% biogen / 50% fossil
- CO₂ Aufkommen 4.4 – 5 Millionen Tonnen jährlich

KVA Branche



VBSA
ASED
ASIR



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Branchenvereinbarung mit dem Bund
• Bis 2030 100'000 Tonnen CO₂ Abscheidung

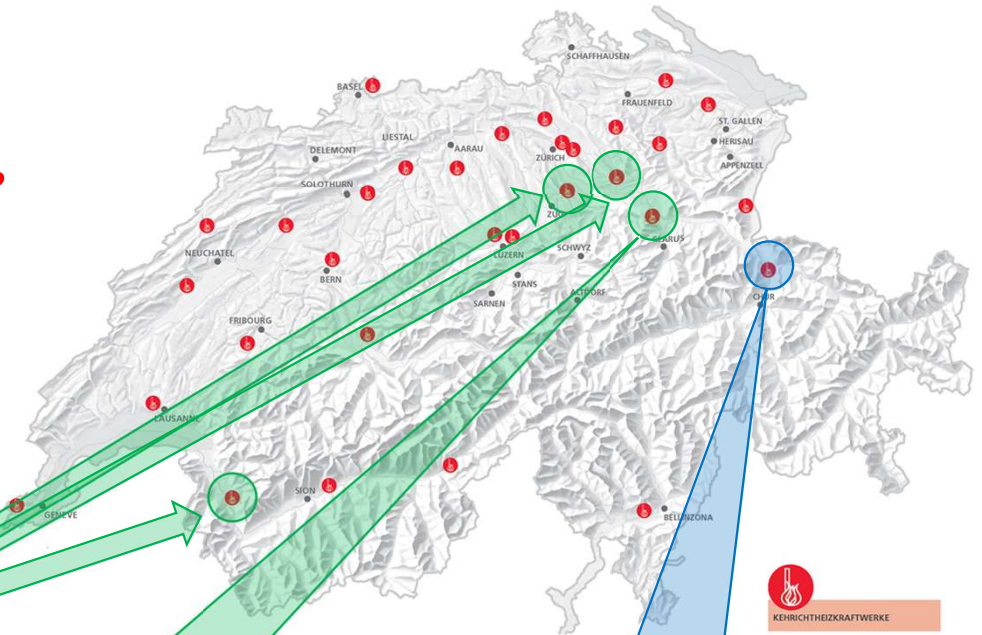
Pilotanlagen:

- KVA Hinwil 1'000 Tonnen
- KVA Horgen 30'000 Tonnen
- KVA Monthey 4'000 Tonnen

KVA Linth in Niederurnen

- CO₂ Kompetenzzentrum
- 100'000 Tonnen

KVA Trimmis GEVAG
Fokus: Nutzung von CO₂



Interessengemeinschaft



Umsetzung
Branchenvereinbarung



Amt für Natur und Umwelt
Uffizi per la natira e l'ambient
Ufficio per la natura e l'ambiente

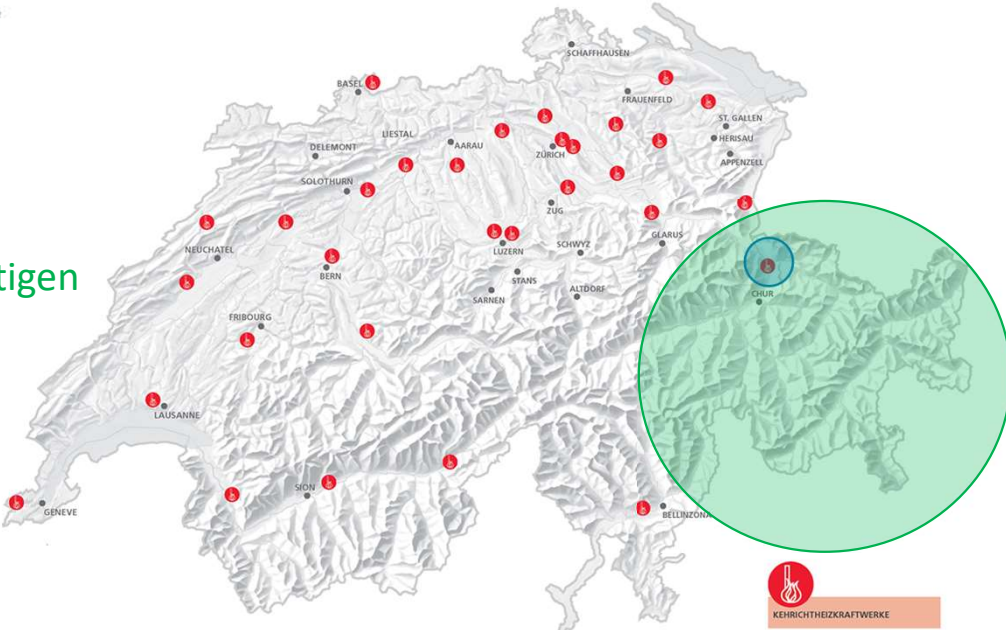
Umsetzung kantonale
Klimaziele



Bedarf an nachhaltigen
Treibstoffen



Quelle CO₂ und Strom



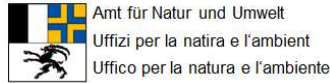
IBC

Bedarf an nachhaltigen
Brenngasen für
industrielle
Hochtemperaturprozesse

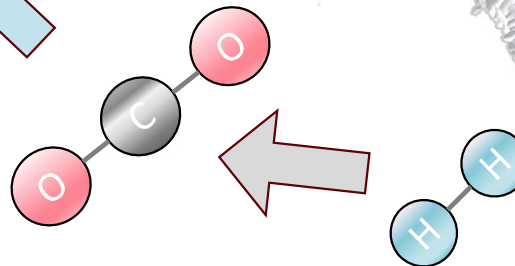
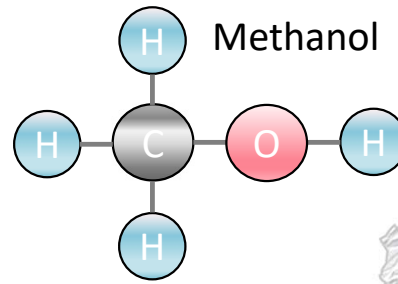
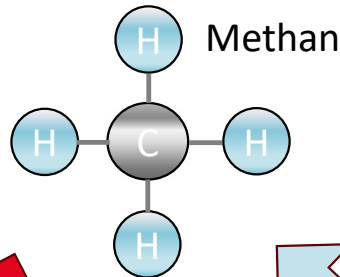


GEVAG SMARTE ENERGIE. AUS ABFALL.

Interessengemeinschaft



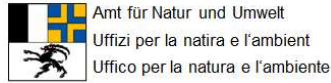
Studie



tbf partner

GEVAG SMARTE ENERGIE. AUS ABFALL.

Interessengemeinschaft



tbfpartner



Thomas Gäumann

Thomas Stegmann



Studie Power to X GV Bergbahnen Graubünden

29. November 2024, Th. Gäumann

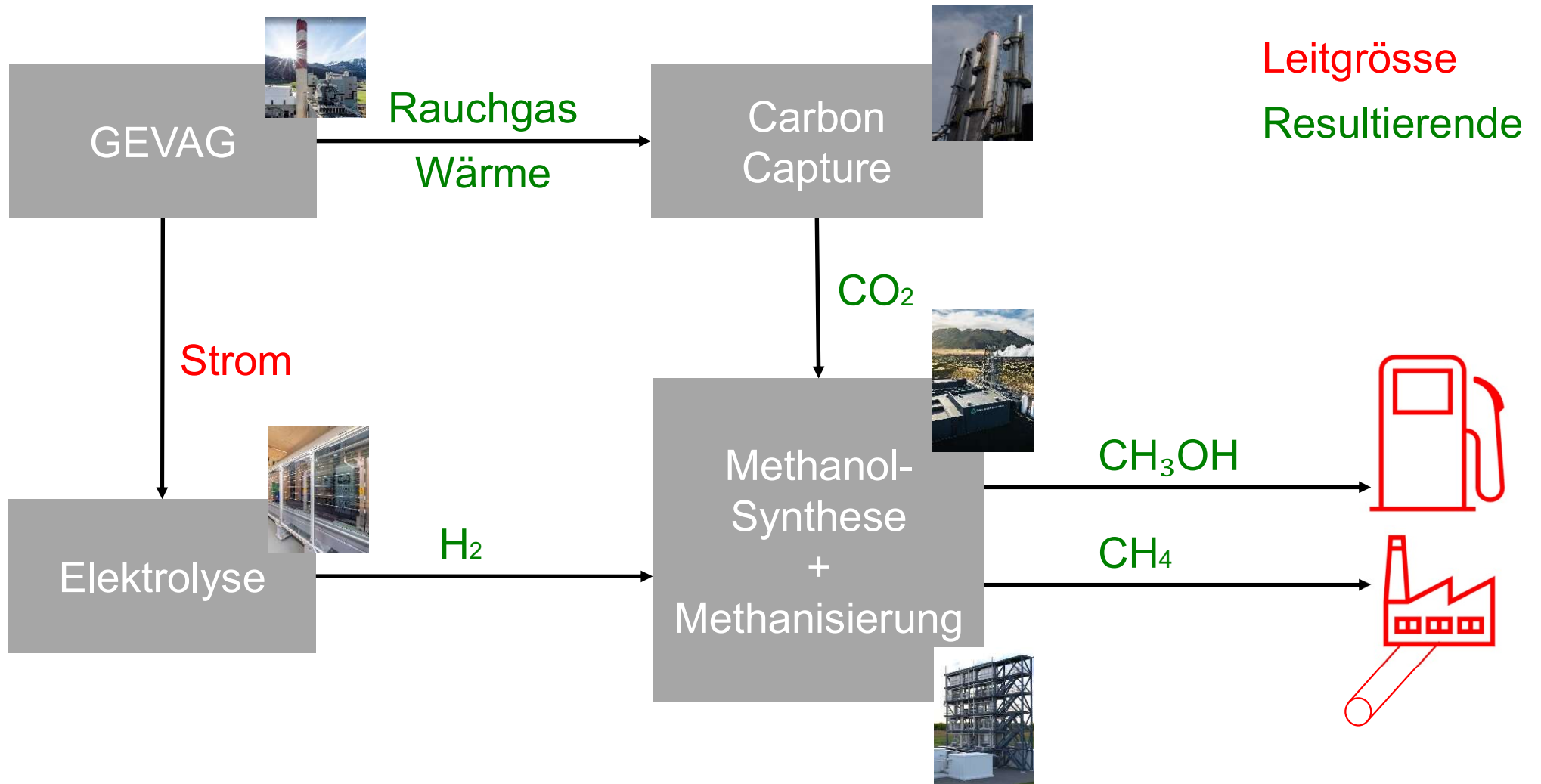
Inhalt

1. Studieninhalt
2. Betrachtete Szenarien
(Variation von Menge und Produktionszeitraum)
3. Produktion von Methanol - Eckdaten
4. Anlagengrößen und Investitionskosten
5. Kosten und Gestehungspreis von Methanol
6. Methanol als Treibstoff
7. Fazit

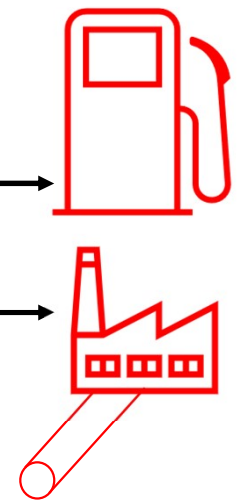


Kässbohrer Pistenbully 600 (Quelle:www.pistenbully.com)

Studieninhalt und Verfahrensbeschreibung



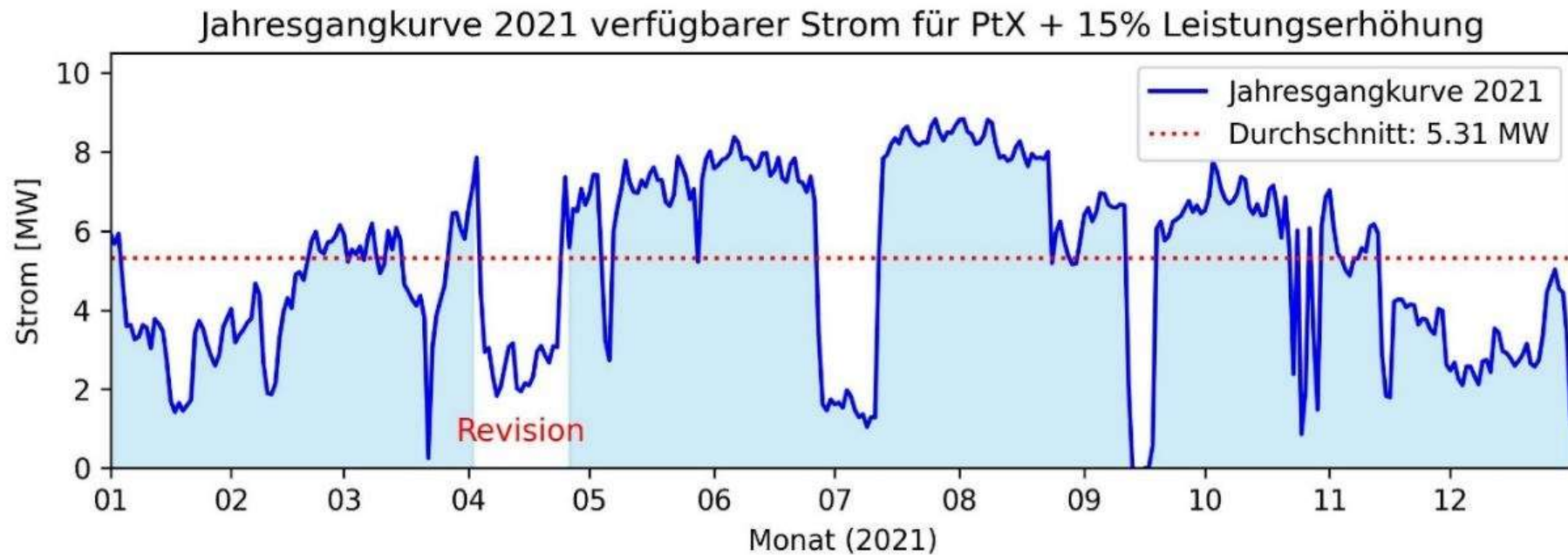
Leitgrösse
Resultierende



Produktions-Szenarien

Szenario	Beschreibung
1.1 Methanol Ganzjährig «GEVAG»	Produktion mit Eigenstrom GEVAG ohne Zukauf von Strom zum Erreichen der Anlagen-Minimallast
1.2 Methanol Ganzjährig «Bedarf»	Kontinuierlicher Betrieb zur Produktion von 14 Mio. Liter Methanol (Zukauf von Strom notwendig)
1.3 Methanol «Sommer»	Produktion der Zielmenge von 14 Mio. Liter Methanol nur im Sommer (Zukauf von Strom notwendig)
2.1 Methan Ganzjährig «GEVAG»	Produktion mit Eigenstrom GEVAG ohne Zukauf von Strom zum Erreichen der Anlagen-Minimallast
2.2 Methan Ganzjährig «Bedarf»	Kontinuierlicher Betrieb zur Produktion von 565 Nm³/h Methan (Zukauf von Strom notwendig)
3.1 Kombination Ganzjährig «Bedarf»	Kontinuierliche Produktion von Methanol und Methan zum Erreichen der Produktionsziele (Zukauf von Strom notwendig)

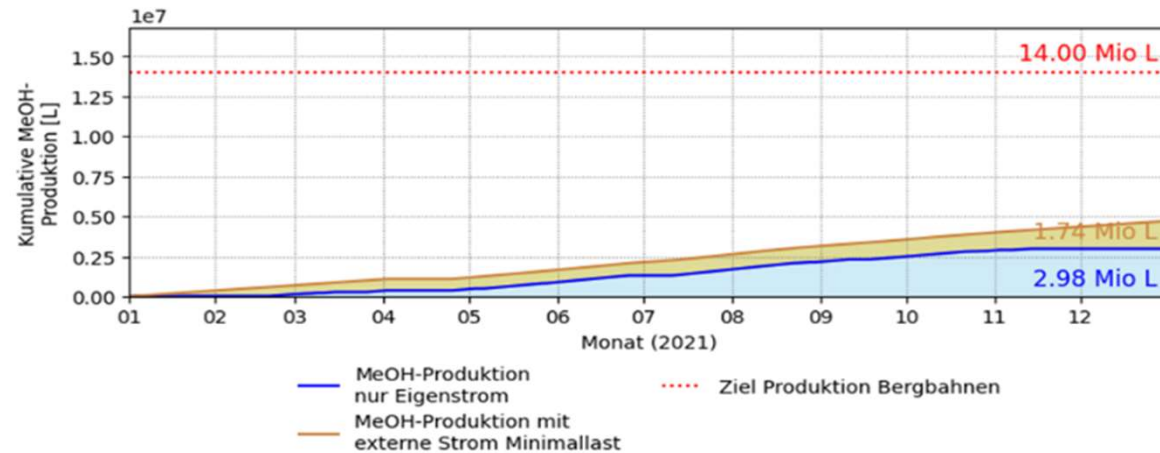
Jahresgang Stromproduktion GEVAG



ca. 45 GWh pro Jahr

Produktionsmengen Szenarien 1.1 & 1.2

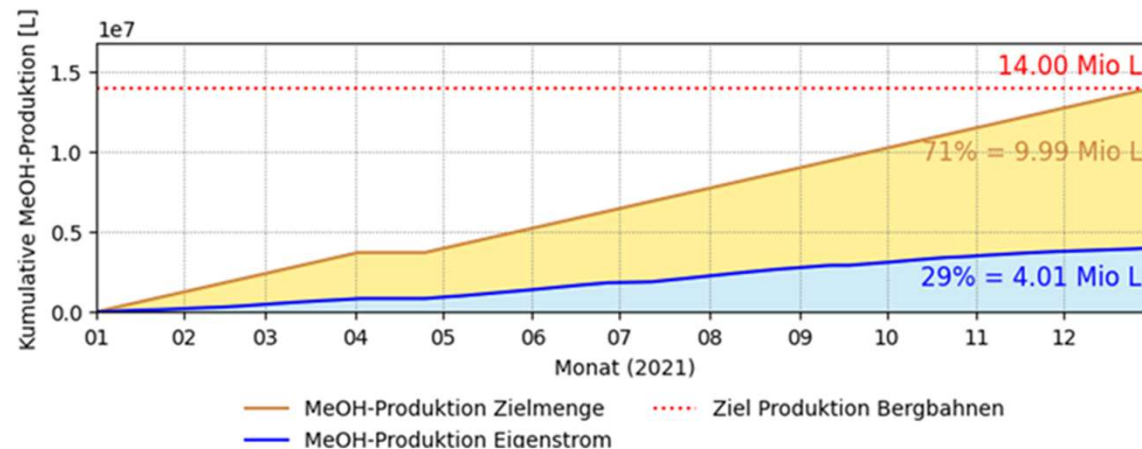
1.1



Eckdaten S-1.1:

Elektrolyse: 8.8 MW
 Min. Teillast: 5.3 MW
 Dampfbedarf: 1.5 t/h
 CO₂-Bedarf: 930 kg/h
 Produktion: 3.0 Mio Liter
 Aus Eigenstrom: 21 %

1.2



Eckdaten S-1.2:

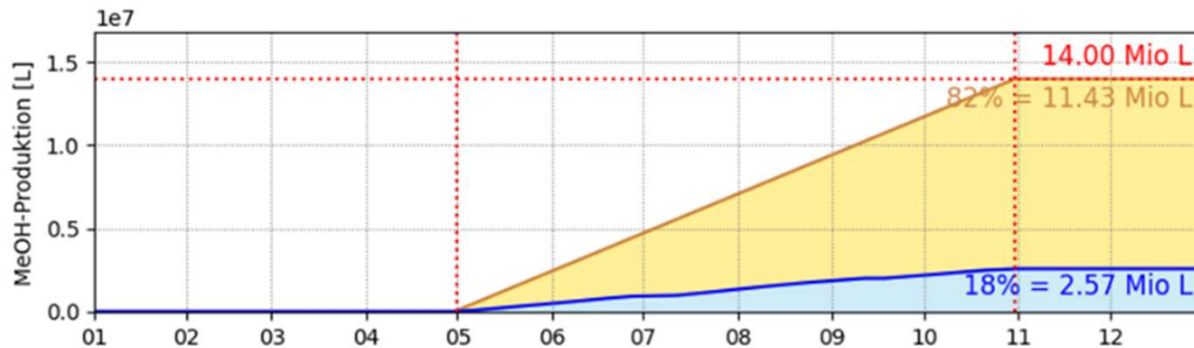
Elektrolyse: 18.5 MW
 Min. Teillast: 11.1 MW
 Dampfbedarf: 3.3 t/h
 CO₂-Bedarf: 2.0 t/h
 Produktion: 14.0 Mio Liter
 Aus Eigenstrom: 29 %

Produktionsmenge Szenario 1.3 «Sommer»



— Verfügbarer Strom
- - - Leistung Zielproduktion
- - - - Untere Grenze Betriebsbereich
 Eigenstrom: 28 GWh = 18%
 Externe Strom: 126 GWh = 82%

1.3



— MeOH-Produktion Zielmenge
— MeOH-Produktion Eigenstrom
- - - - Ziel Produktion Bergbahnen

Eckdaten S-1.3:

Elektrolyse: 34.7 MW

Min. Teillast: 20.8 MW

Dampfbedarf: 6.2 t/h

CO₂-Bedarf: 3.7 t/h

Produktion: 14.0 Mio Liter

Eigenstrom: 18 %

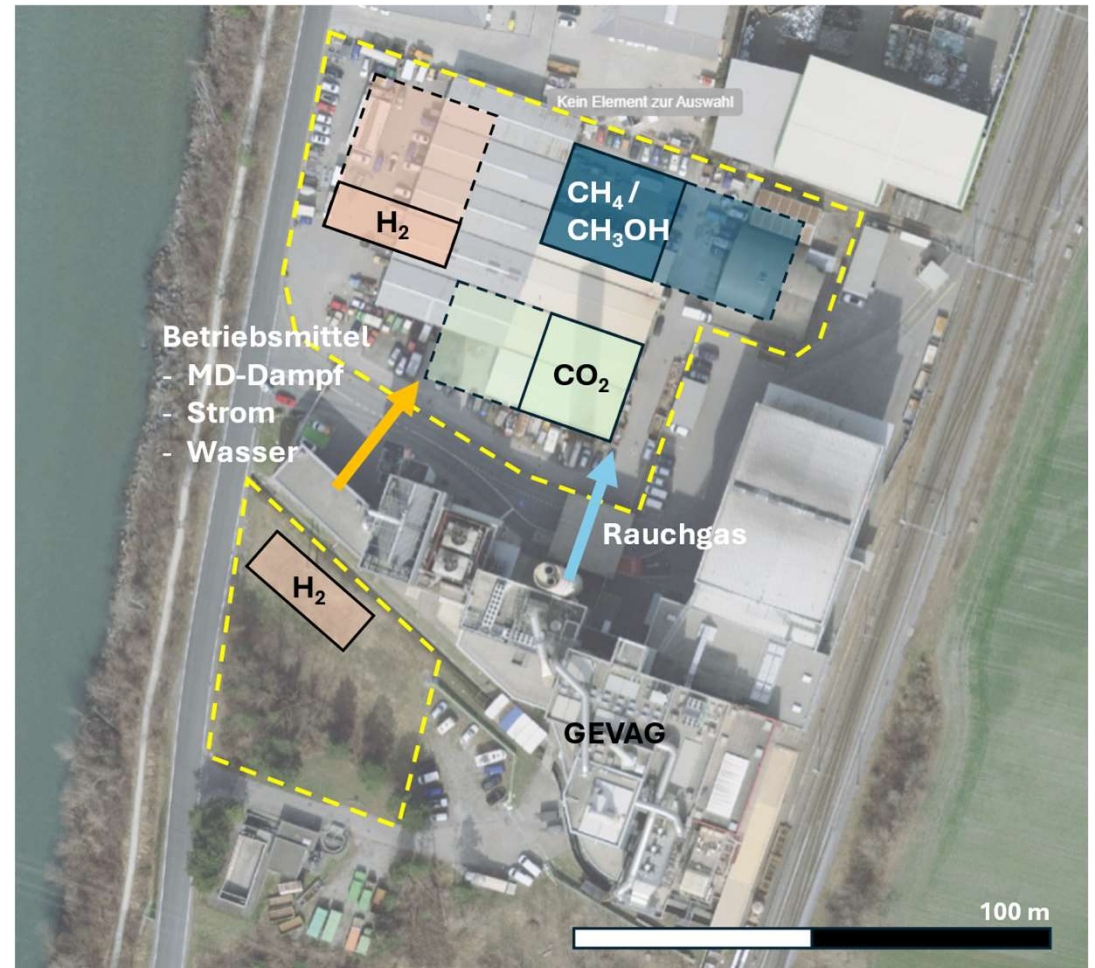
Anlagengrösse und Investitionskosten

Investitionskosten:

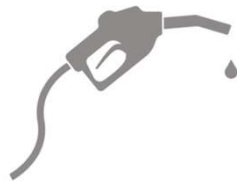
S-1.1 (9 MW): CHF 45.2 Mio

S-1.2 (18.5 MW): CHF 93.9 Mio

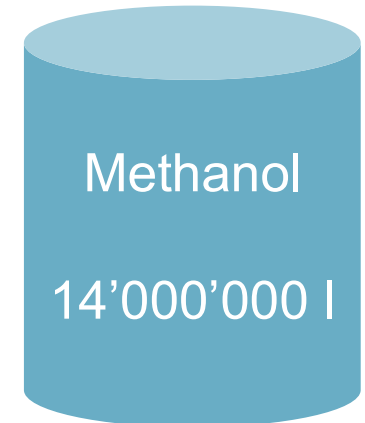
S-1.3 (34.7 MW): CHF 205.4 Mio



Ausgangslage

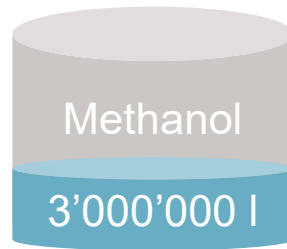


Prinoth Leitwolf
(www.prinoth-snowgroomers.com)



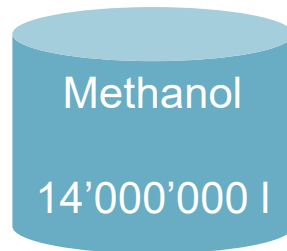
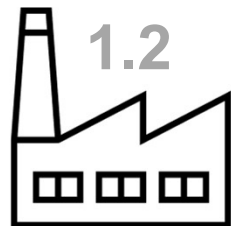
Referenzpreis:
CHF 1.25 pro Liter
(Rückerstattungssatz abgezogen)

Gestehungspreis je Szenario (Diesel-Äquivalent)



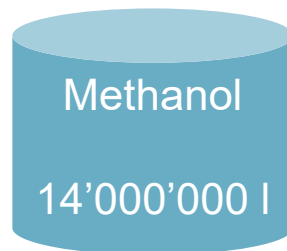
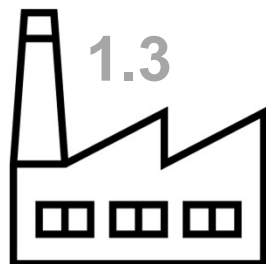
Diesel-äquivalenter
Preis:

~4.45 CHF/l



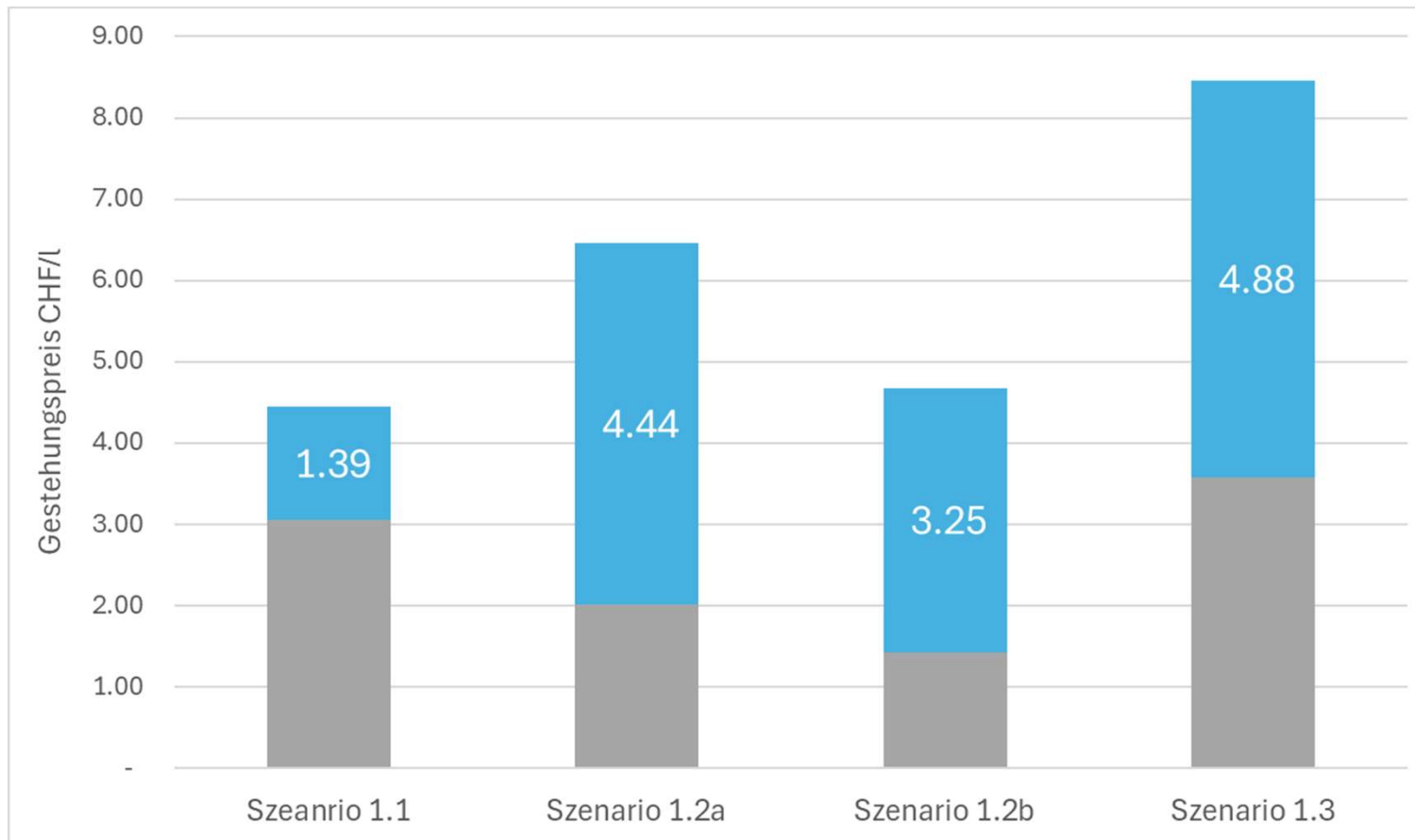
a) ~6.46 CHF/l

b) ~4.68 CHF/l



~8.46 CHF/l

Kostenverteilung je Szenario (Diesel-Äquivalent)



Zusammensetzung:

Blau: Stromkosten

Grau: übrige Kosten

- Investition
- Betrieb
- Wartung
- Finanzierung
- Ersatz

Methanol für Pistenmaschinen

- Pistenmaschinen können Methanol nicht verarbeiten
- «Umrüstung» würde erhebliche Anpassungen erfordern
- Normen für Kraftstoffe und Abgas decken Methanol derzeit nicht ab
- Nutzfahrzeugmotorenbauer sind noch nicht in diese Entwicklung eingestiegen
- Lagerung in Mengen >2000 kg mit Sonderbewilligung
- Alternativen befinden sich im Entwicklungsstadium



Kässbohrer PistonBully 100 (Quelle: www.pistenbully.com)

- **Eigenstromproduktion ergibt 20 bis 30 % der zu ersetzenden Dieselmenge**
- **Technische Rahmenbedingungen (noch) nicht gegeben**
 - Anlagenkonfiguration wäre eine Pilotanlage
 - Anlagenkapazität im Vergleich zu konventionellen Anlagen sehr klein
 - Verwendungszweck von Methanol als Ersatz für Diesel aktuell **nicht** gegeben
- **Wirtschaftliche Rahmenbedingungen (noch) nicht gegeben**
 - Zu substituierende Energieträger im Vergleich zur Synthese sehr günstig
 - Stromkosten haben den grössten Anteil an den OPEX
 - Netzbezug ist selbst bei «Gratis-Strom» teurer als Eigenstrom

Motorentechnologien & Herausforderungen

Mario Illien
Ingenieur und Motorenentwickler



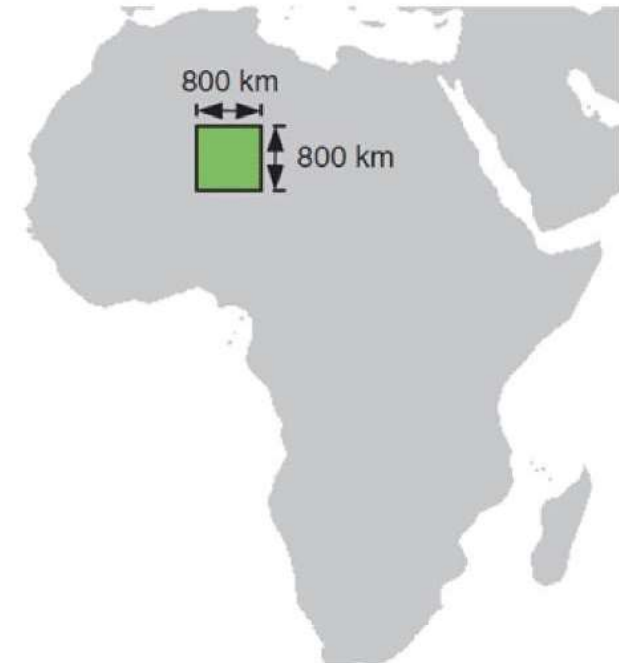
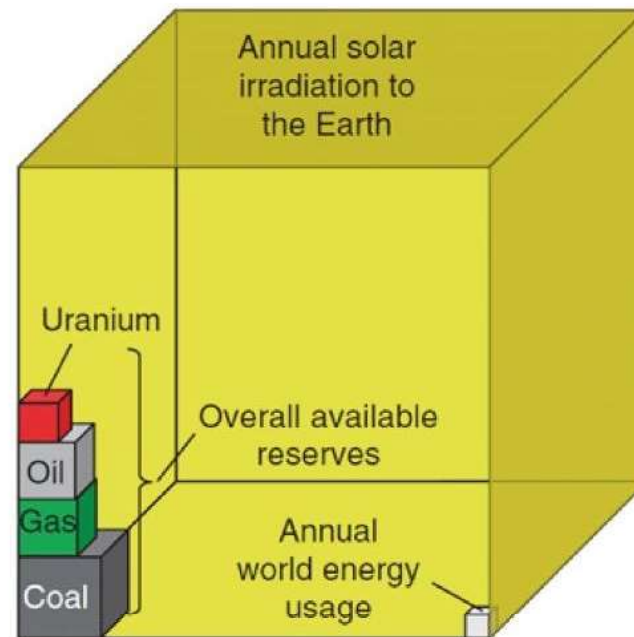
Synthetische Kraftstoffe

- - Methanol, Methan
- - HVO, Diesel, Kerosin
- - Benzin

- Wichtig ist, diese synthetischen Energieträger in bestehenden, als auch zukünftigen Fahrzeugflotten mit gegenwärtiger Infrastruktur zu nutzen, um eine massive CO₂ Einsparung zu erzielen.

Woher kommt die erneuerbare Energie

Die Welt hat kein Energieproblem (sondern ein CO₂-Problem)

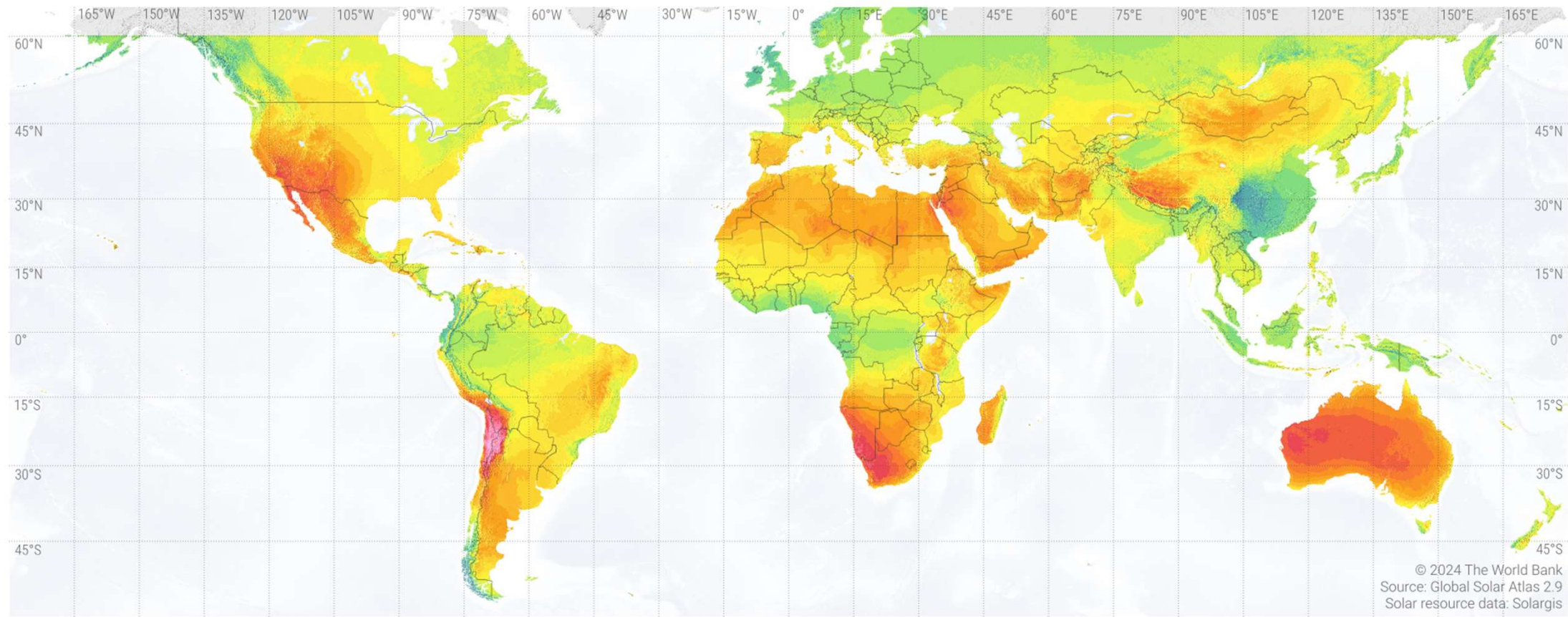


Die Sonne «schickt» pro Jahr sehr viel mehr (Sonnen-)Energie auf die Erde, als die Welt je brauchen wird.

Quelle: Burlafinger Klaus; Development of a High Irradiance Setup for Precisely Controlled Accelerated Photo-Degradation of Organic Solar Cells; Doktorarbeit Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

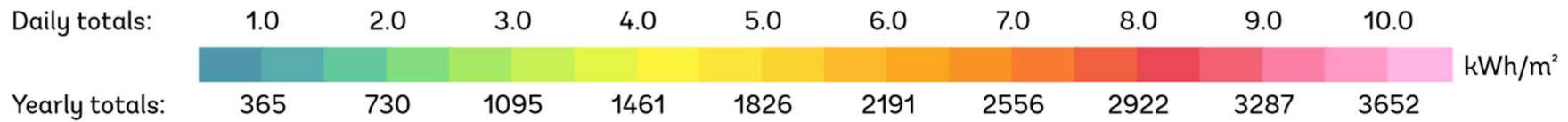
SOLAR RESOURCE MAP

DIRECT NORMAL IRRADIATION

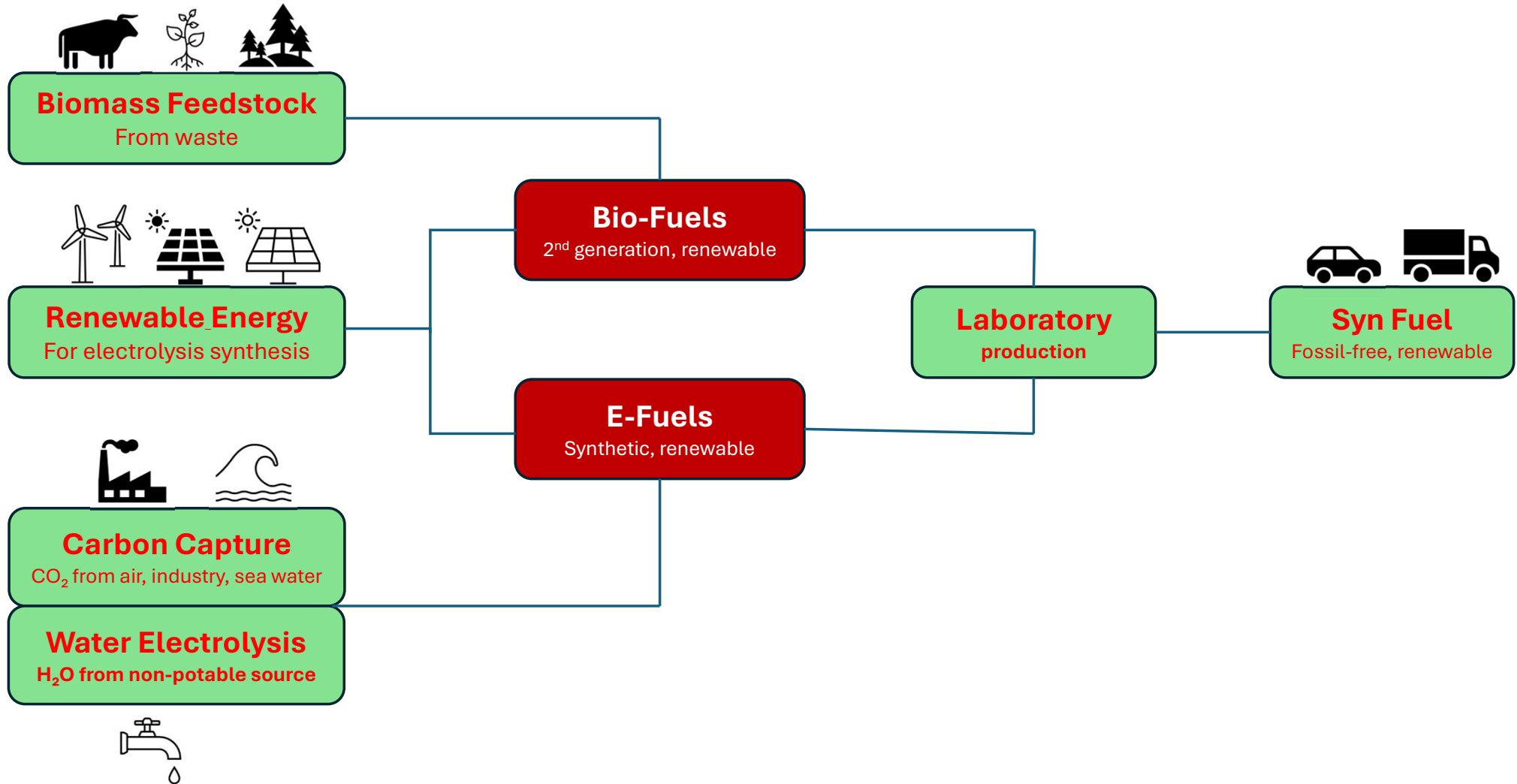


© 2024 The World Bank
Source: Global Solar Atlas 2.9
Solar resource data: Solargis

Long-term average of direct normal irradiation (DNI)



Herstellungsmethoden



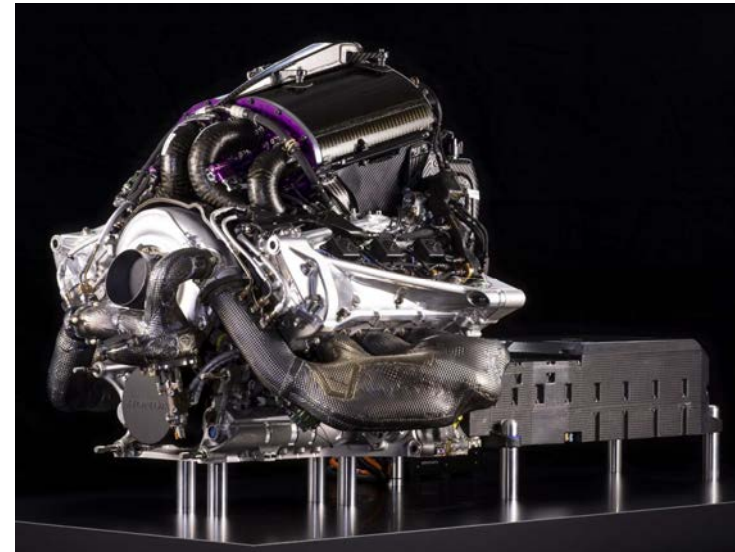
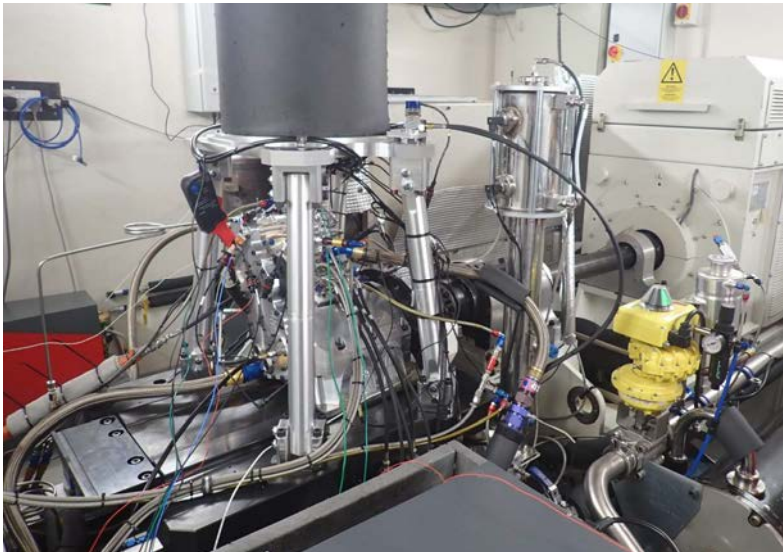
IndyCar

- - 2.2 l V6, twin Turbo, 551 kW / 750 PS
- - E85, 85% Ethanol und 15% synthetisches Benzin seit 2023



F1 Engine

- - Wirkungsgrad: 50.8 %
- - Lamda: 1.5, Speziefischer Verbrauch 158 g/kW*h
- - Leistung: Verbrenner 585 kW, Turbogenerator 70 kW
- - KERS: 160 kW
- - Syn Fuel ab 2026



HVO

Vorteile

- - 90 % CO₂ neutral (sofern alle Rohstoffe aus nicht fossilen Quellen stammen)
- - Brennt sauber (geringe Feinstaub und Feststoffe. Kein Schwefel, Aromaten, Schwermetalle)
- - Geringerer NOX, HC und CO Ausstoss
- - Gute Lagerfähigkeit
- - Gute Wintertauglichkeit bis -25 °C
- - Weltproduktion ca. 30'000 Mio t
- - CO₂ Einsparung 14'968 t
- - Schonend für die Abasanlage

Nachteile

- - Höhere Kosten
- - Verfügbarkeit



Rolls Royce

Pistenbully 600 E+

**SIEGER IN ALLEN
DISZIPLINEN**

-20%
LEISER

-20%
CO₂-REDUKTION

-20%
KRAFTSTOFF-
ERSPARNIS

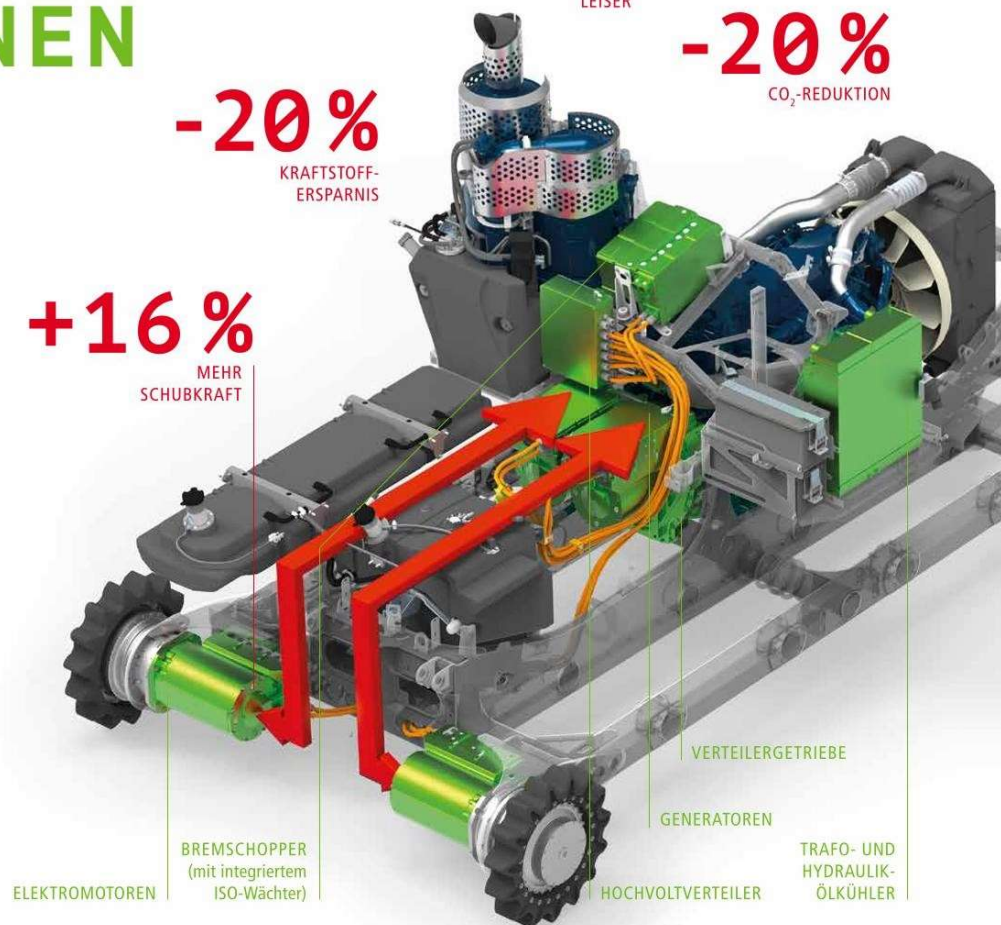
+16%
MEHR
SCHUBKRAFT

MOTOR	600 E+
TYP	Cummins X 12
ZYLINDERZAHL	6
HUBRAUM	11,80l / 11.800 ccm
LEISTUNG NACH ECE	382 kW / 520 PS
ABGASNORM	EU Stufe V und EPA Tier 4F (USA)
MAX. DREHMOMENT	2.375 Nm / 1.200 U/min
TANKINHALT	300l
TANKINHALT DEF (ADBLUE®)	38l
KRAFTSTOFFVERBRAUCH	ab 17 l/h
GENERATOREN	140 kW / 650V
FAHRMOTOREN	140 kW / 650V
FRÄSANTRIEB	105 ccm

04



DER ERNEUERBARE KRAFTSTOFF HVO ERZIELT BIS ZU 90% CO₂-EINSPARUNG UND IST OHNE MOTOR-MODIFIKATIONEN EINSETZBAR.



ELEKTROMOTOREN

BREMSCHOPPER
(mit integriertem
ISO-Wächter)

HOCHVOLTVERTEILER

GENERATOREN

VERTEILERGETRIEBE

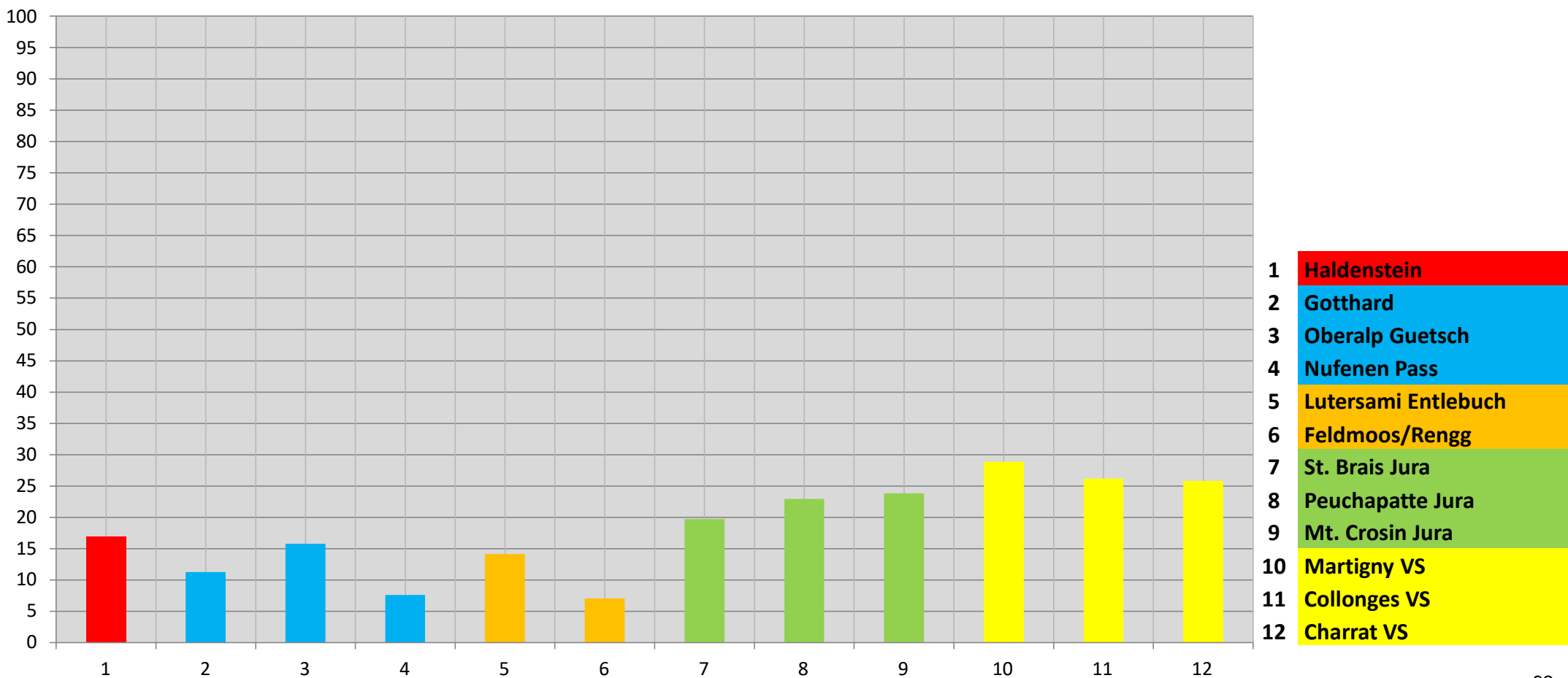
TRAFO- UND
HYDRAULIK-
ÖLKÜHLER

Windkraftanlagen Schweiz

	Ort	Anz	Inst. Leistung kW	Inst. Kapazität kWh	Ertrag min. kWh	%	Ertrag max. kWh	%	Durchschnitt	%	Zeit
1	Haldenstein	1	3000	26,280,000	4,137,628	15.74	4,920,000	18.72	4,452,403	16.94	9 Jahre
2	Gotthard	5	11750	102,930,000	10,758,675	10.45	12,400,848	12.05	11,579,762	11.25	2 Jahre
3	Oberalp Guetsch	4	3300	28,908,000	4,241,431	14.67	6,132,085	21.21	4,555,585	15.76	10 Jahre
4	Nufenen Pass	4	9360	81,993,600	5,266,116	6.42	7,792,916	9.50	6,231,820	7.60	6 Jahre
5	Lutersami Entlebuch	1	2300	20,148,000	2,397,000	11.90	3,376,744	16.76	2,849,253	14.14	9 Jahre
6	Feldmoos/Rengg	2	1850	16,206,000	884,000	5.45	1,439,000	8.88	1,140,240	7.04	11 Jahre
7	St. Brais Jura	2	4000	35,040,000	5,857,928	16.72	8,393,372	23.95	6,917,133	19.74	13 Jahre
8	Peuchapatte Jura	3	6900	60,444,000	11,600,000	19.19	15,537,763	25.71	13,852,793	22.92	12 Jahre
9	Mt. Crosin Jura	16	37200	325,872,000	66,966,872	20.55	84,737,283	26.00	77,657,190	23.83	6 Jahre
10	Martigny VS	1	2000	17,520,000	4,596,768	26.24	5,435,800	31.03	5,059,711	28.88	14 Jahre
11	Collonges VS	1	2000	17,520,000	4,177,465	23.84	5,016,480	28.63	4,589,366	26.20	17 Jahre
12	Charrat VS	1	3000	26,280,000	6,586,736	25.06	7,052,745	26.84	6,785,895	25.82	10 Jahre

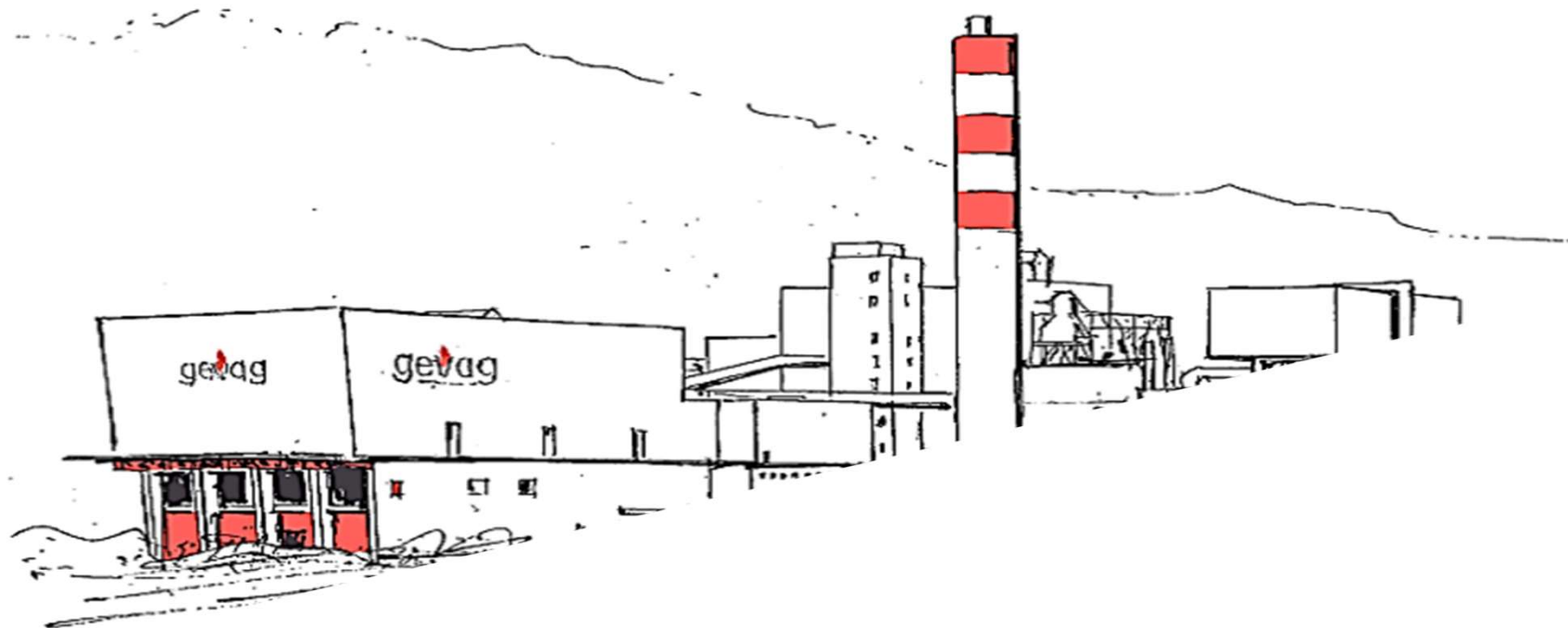
Windkraftanlagen Schweiz

Durchschnittlicher Ertrag pro Jahr in %



Zukunfts Mobilität

- Kleinere leichte Fahrzeuge max 1'600 kg
- Serielle Hybrid
- Antrieb elektrisch
- Stromproduktion an Bord mit kleinen Verbrennern 50-60 kW
- Synthetische Kraftstoffe: Diesel, Benzin, Methanol
- Kleine Speicher: Batterie, Super Caps ~ 3 - 4 kWh
- Motor läuft im Bereich vom optimalen Wirkungsgrad



Power-to-X

Methanolstudie aus GEVAG-Sicht
Jürg Kappeler, VRP

29. NOVEMBER 2023

GEVAG SMARTE ENERGIE. AUS ABFALL.



Kosten Methanolproduktion für BBGR

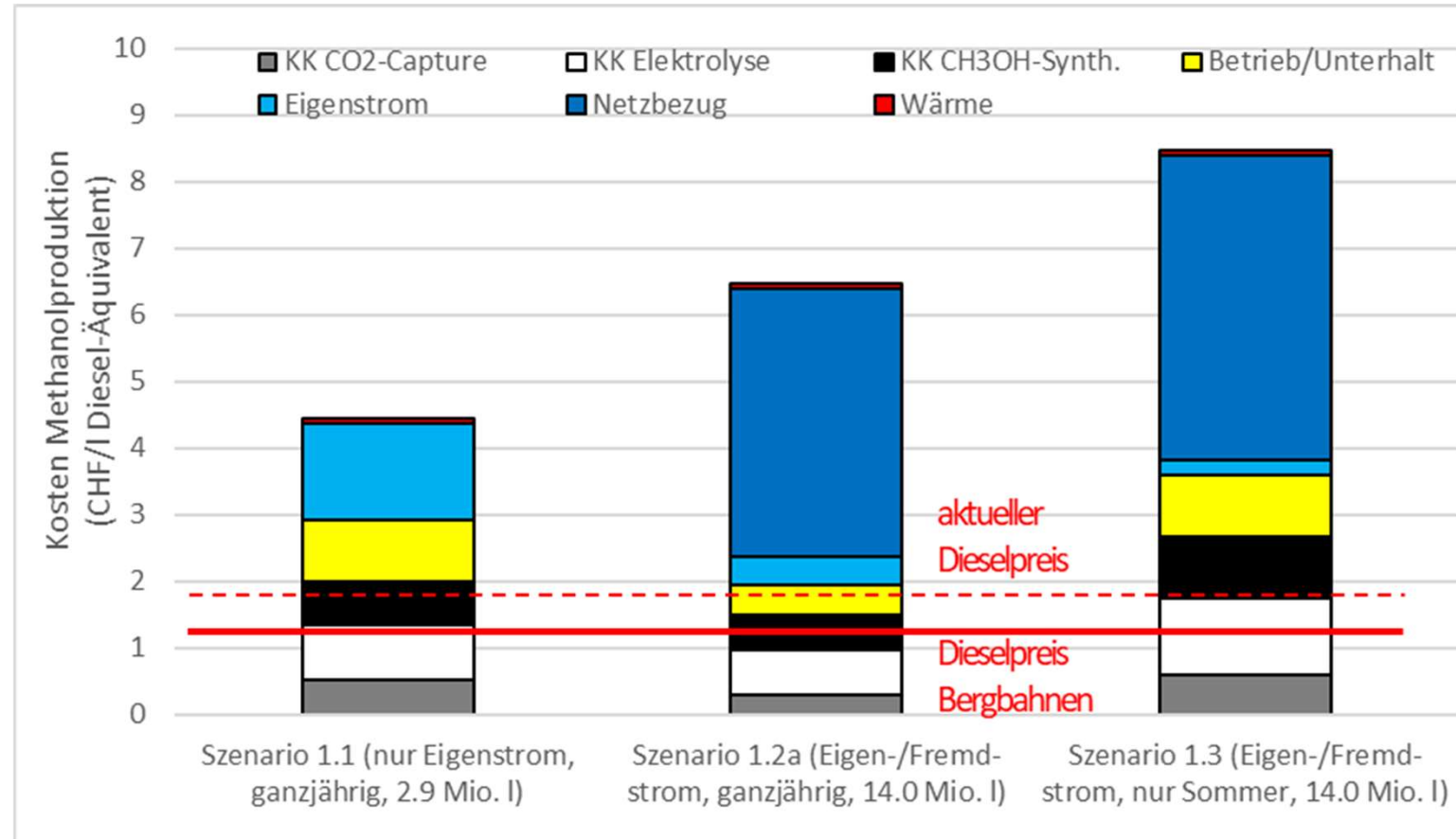


3 Prozesse

- CO2-Capture
- Elektrolyse (H2)
- Methanolsynthese (CH3OH)

3 Szenarien

- Nur mit GEVAG-Eigenstrom, ganzjährig, nur 2.9 Mio. l/a
- Eigen-/Fremdstrom, ganzjährig, 14.0 Mio. l/a
- Eigen-/Fremdstrom, nur Sommer, 14.0 Mio. l/a



Kosten Methanolproduktion für BBGR

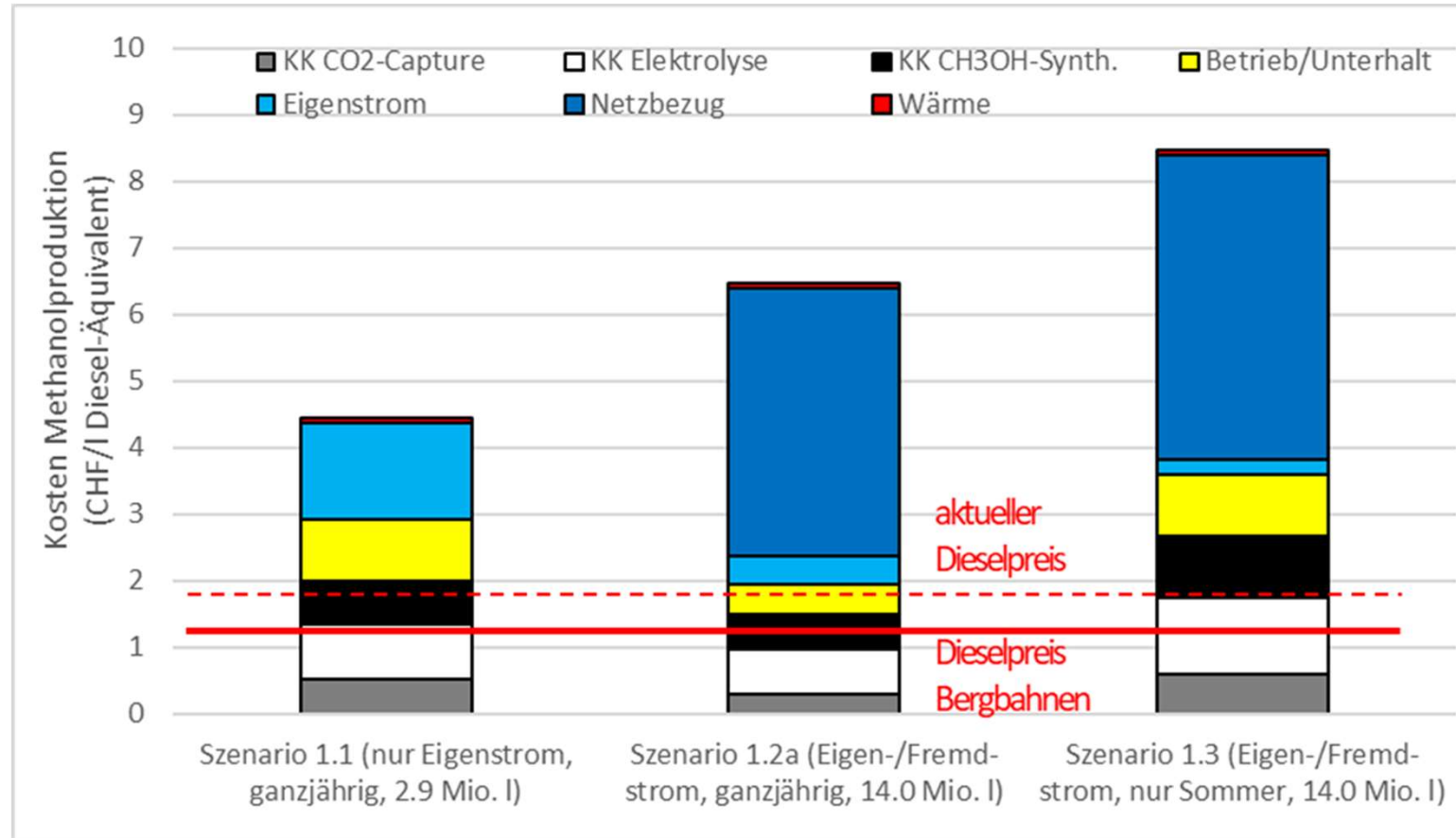


Kostenstellen, -arten

- Elektrolyse dominant (v.a. Stromkosten): je nach Szenario 55% - 80%
- Andere Prozesse untergeordnet
- Stromkosten dominant (Annahmen: Eigenstrom Sommer 6 Rp./kWh, Winter 9.5 Rp./kWh; Fremdbezug 27.7 Rp./kWh (davon 12.8 Rp. Netznutzung))

Wirtschaftlichkeit

- Mit Annahmen und ohne Beiträge deutlich teurer als aktuell Diesel



Kosten Methanolproduktion für BBGR

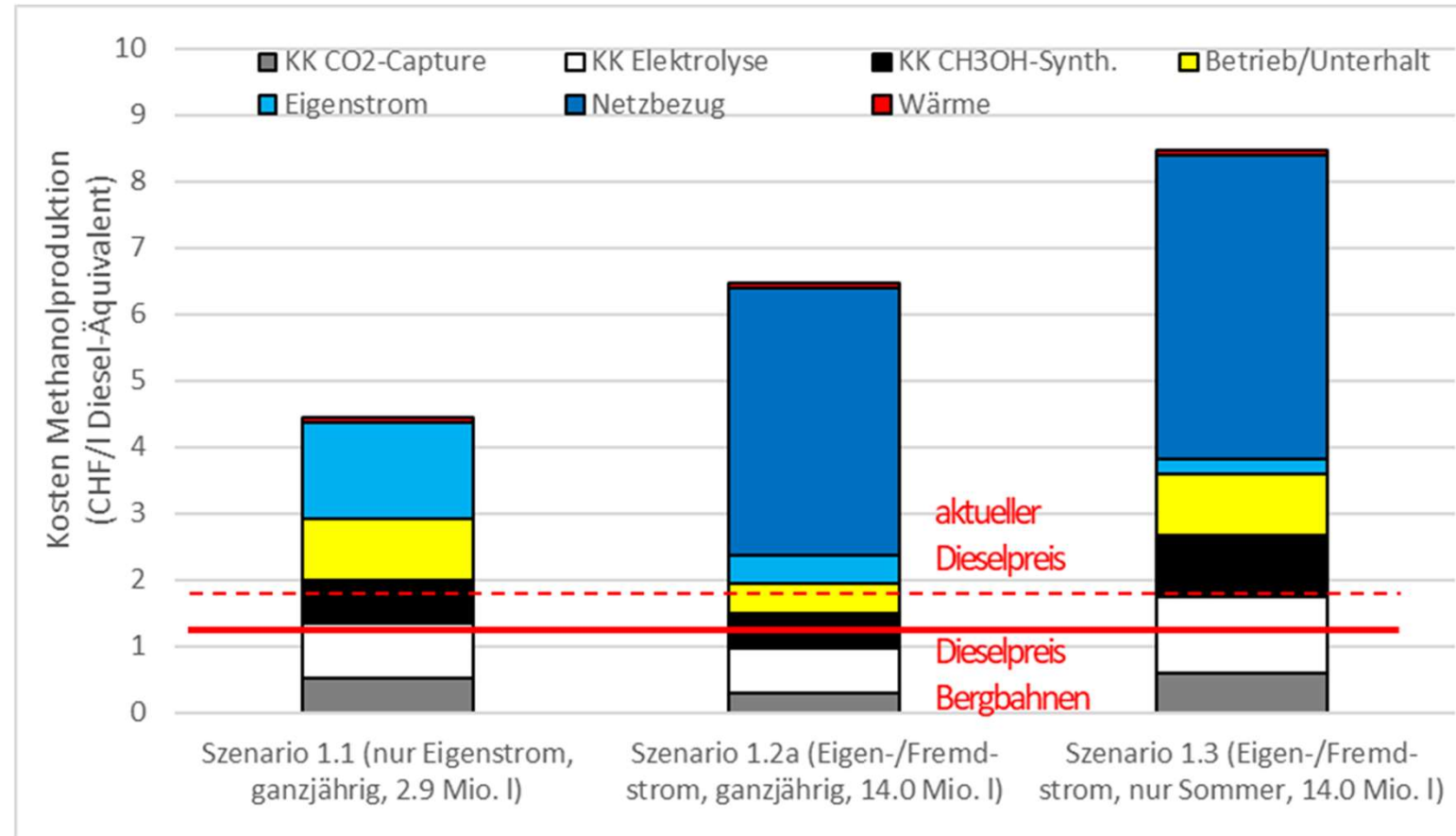


Einflussfaktoren

- Kapitalkosten: Anlagengrösse, Beiträge (z.B. aus AGD), Produktions-Jahresganglinie infolge Winterstrom (nicht optimale Ausnutzung der Infrastruktur)
- Stromkosten: Netznutzung, Jahresganglinie, Verfahrenstechnik Prozess Elektrolyse

Prognose der Zukunft

- Kapitalkosten: mit Investitionsentscheid fixiert
- Stromkosten: unsicher



Kosten Methanolproduktion für BBGR

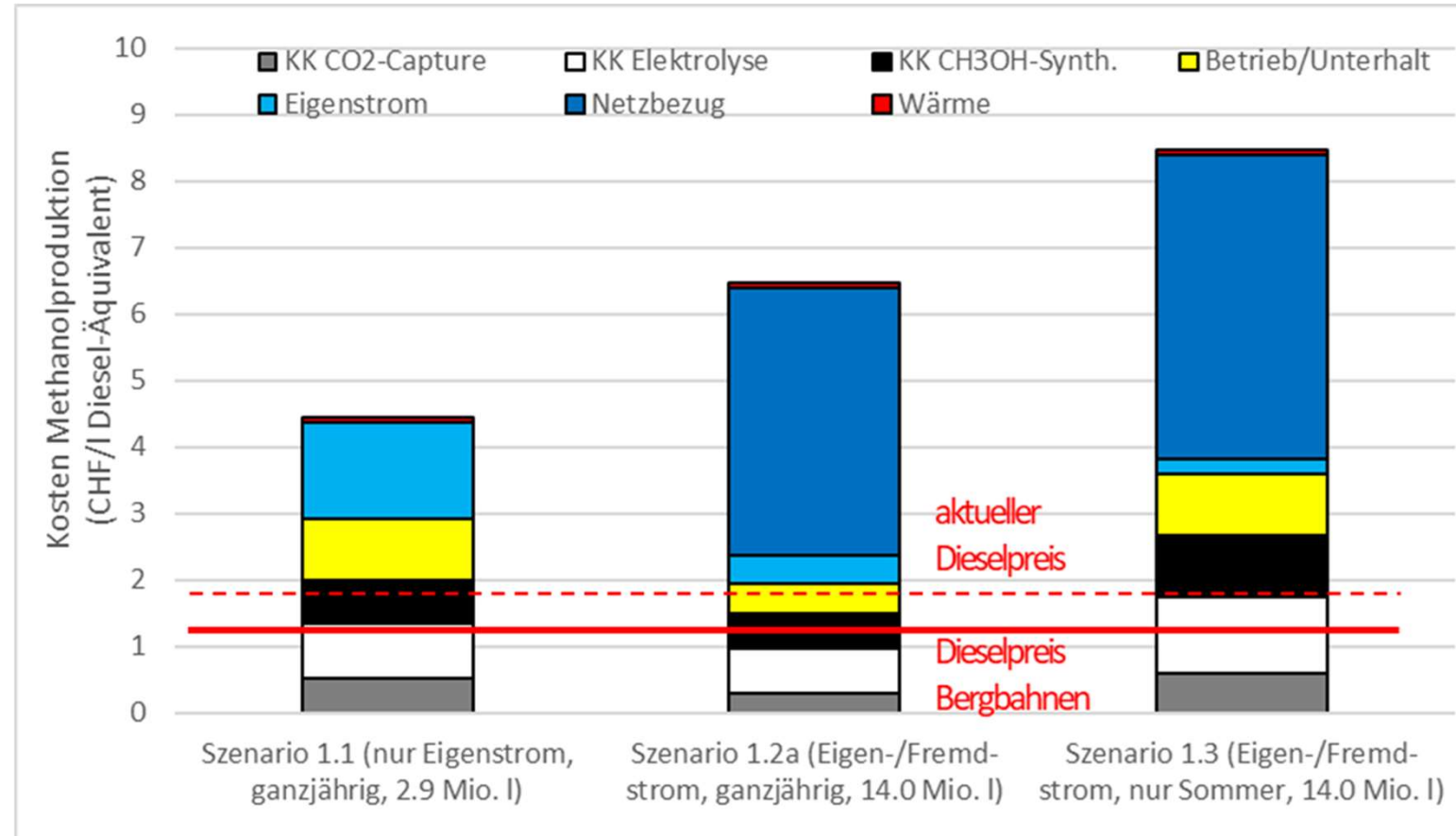


Motivation

- KVA müssen Beitrag zu Netto-Null 2050 leisten (auch Erkenntnis aus Energiesystem Bündner Rheintal)
- Verpflichtung CCS und evtl. CCU wird kommen

Chancen

- Finanzierung durch AGD
- Entwicklung neuer Technologien (CO₂ -> CH₃OH)
- Realisierung Kraftwerk Chlus bei KVA Trimmis (Entfall Netzentgelt, grössere Umsatzmengen)

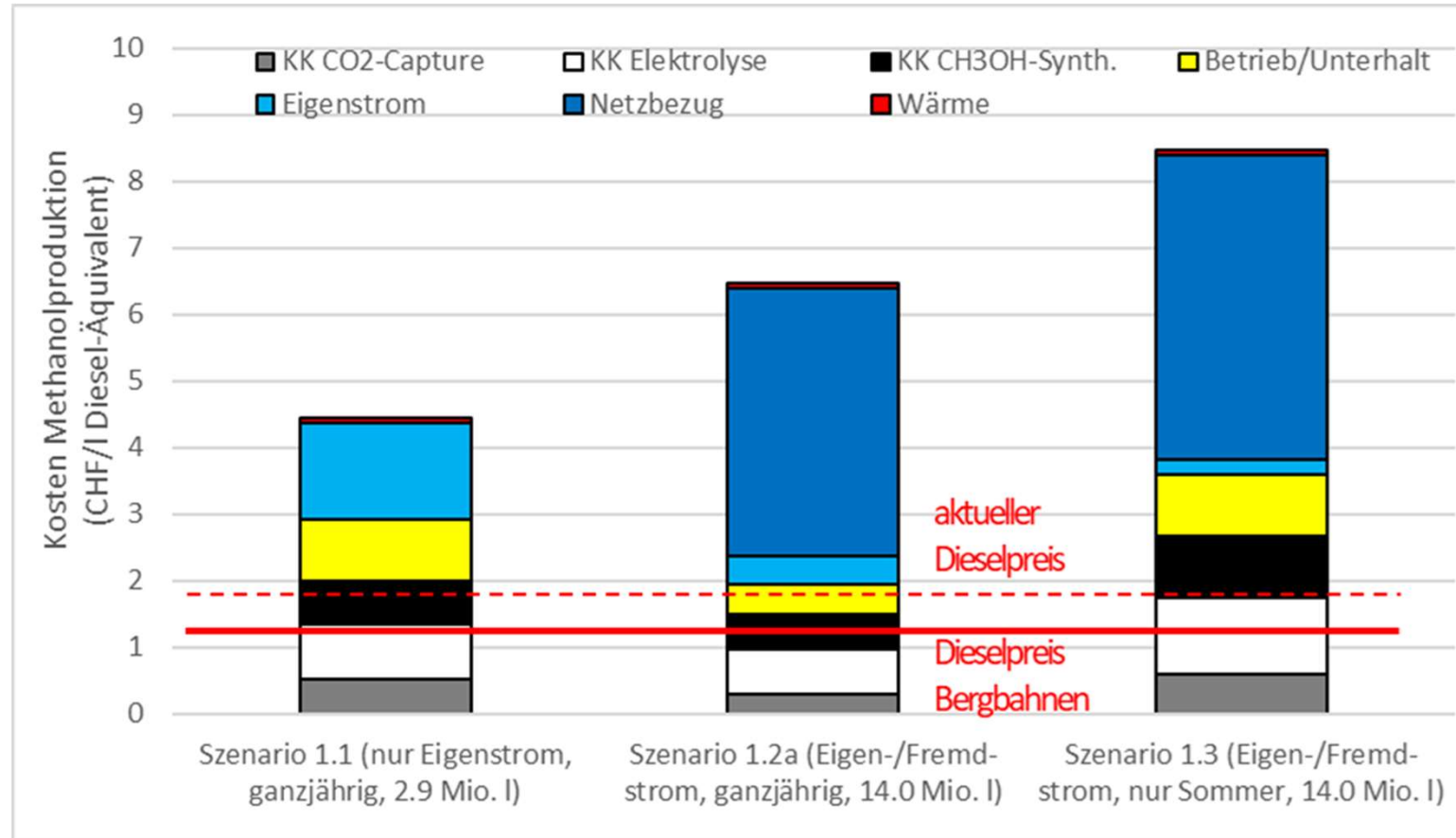


Kosten Methanolproduktion für BBGR



Skaleneffekt (Studie Ramboll mit REPOWER)

- CH₃OH-Produktion 23'000 l/a
CHF 4.10/l (Bruttokosten)
- CH₃OH-Produktion 115'000 l/a
CHF 3.50/l (Bruttokosten)



Kosten Methanolproduktion für BBGR



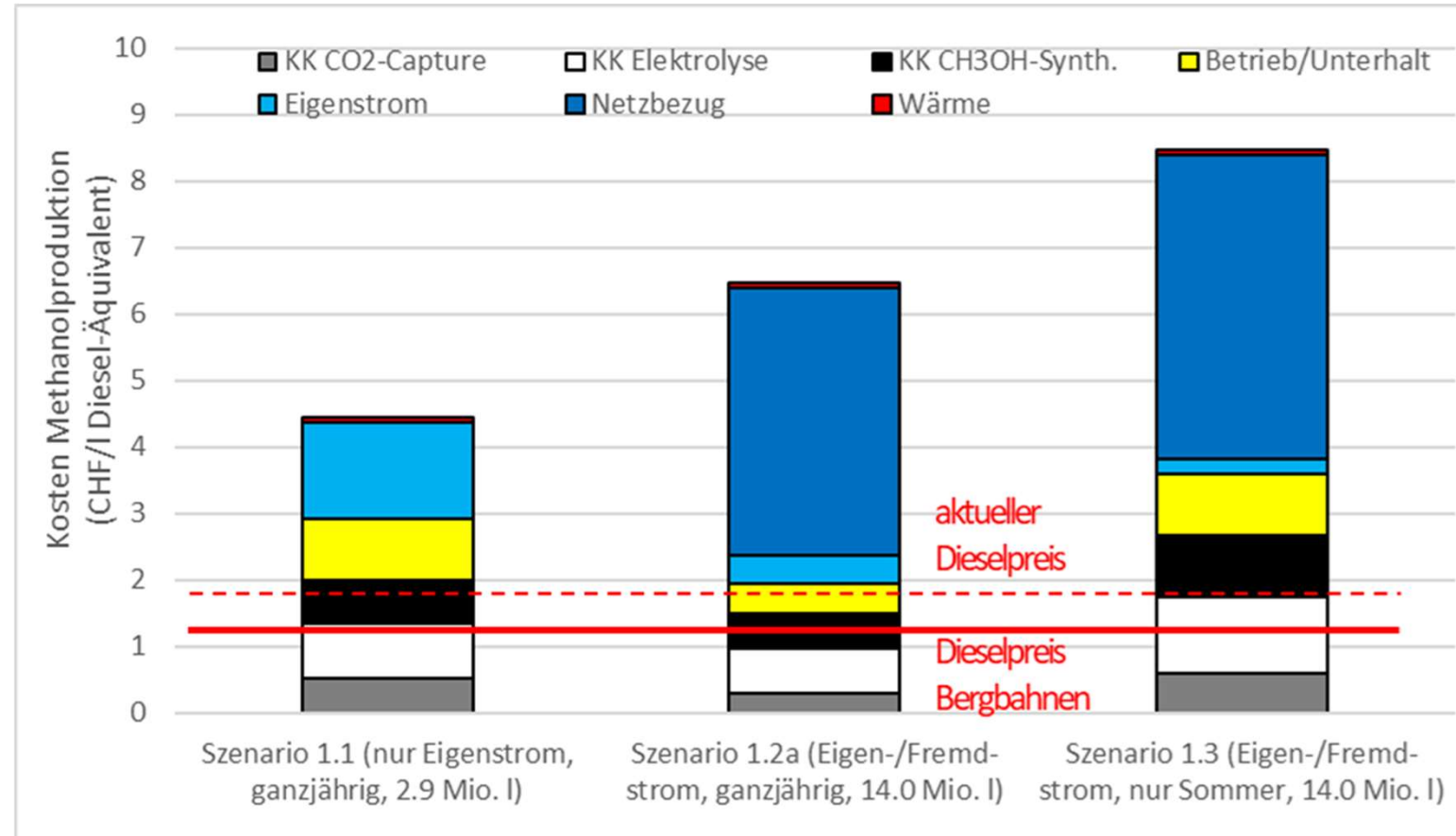
Vision

- Investitionsbeiträge 50% (AGD, VBSA, ...)
- Kraftwerk Chlus (keine Netzentgelte, Preis z.B. 6 Rp./kWh)
- Nettokosten CHF 2.60/l Diesel-Äquivalent

Weiteres Vorgehen

- Viele Ideen und Stossrichtungen denkbar
- Workshop 13.01.25 mit BBGR, IBC, Repower, ANU, AEV, VBSA, beteiligte Planer, etc. zwecks Definition möglicher nächster Schritte

GEVAG SMARTER ENERGIE. AUS ABFALL.



Erkenntnisse aus Sicht der Bergbahnbranche

Enrico Feurer, energieingenieur.ch

