

Kraftwerk Schweiz: So gelingt die Energiewende

Fachhochschule Rapperswil, 16. September 2020

Prof. Dr. Anton Gunzinger

Unternehmer

Supercomputing Systems AG

Technoparkstrasse 1

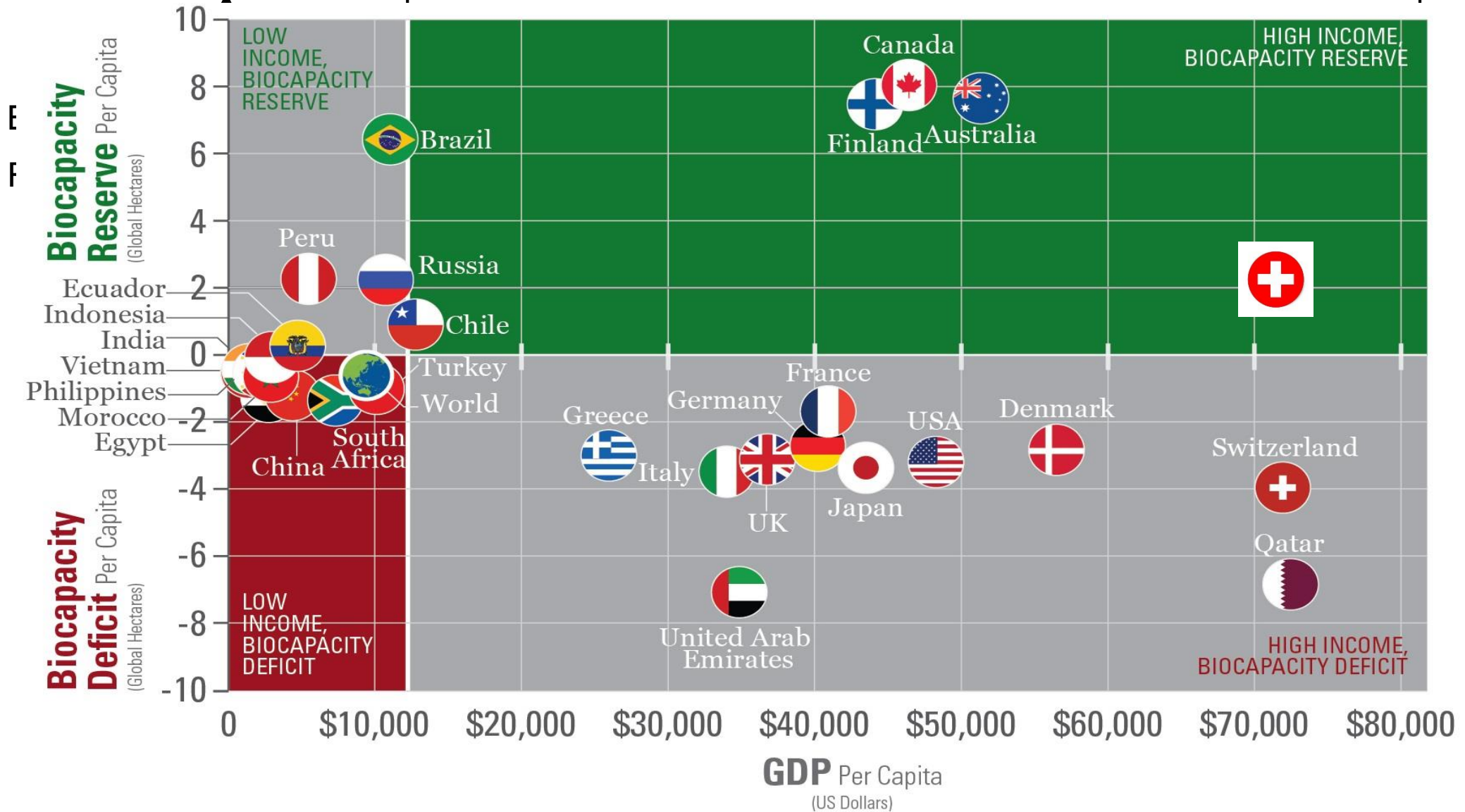
8005 Zürich

043 – 456 16 00

gunzinger@scs.ch

Um was geht es?

Fussabdruck & wirtschaftliche Kraft



Quelle: Global Footprint Network

Design Grundsätze

- Zeithorizont: > 1 Generation (> 25 Jahre)



- Technisch machbar
- Vergleichbarer Wohlstand
- Geringe volkswirtschaftliche Kosten
- ~~• Politisch machbar~~
- ~~• Geringe betriebswirtschaftliche Kosten~~

Kraftwerk Schweiz: So gelingt die Energiewende

- 1. Wie heizen wir in Zukunft?**
- 2. Wie bewegen wir uns in Zukunft?**
- 3. Wie viel Strom werden wir benötigen?**
- 4. Wie wird der Strom produziert?**
- 5. Was kostet das Ganze?**
- 6. Wie sieht die Energiezukunft der Welt aus?**

Kraftwerk Schweiz: So gelingt die Energiewende

1. **Wie heizen wir in Zukunft?**
2. Wie bewegen wir uns in Zukunft?
3. Wie viel Strom werden wir benötigen?
4. Wie wird der Strom produziert?
5. Was kostet das Ganze?
6. Wie sieht die Energiezukunft der Welt aus?

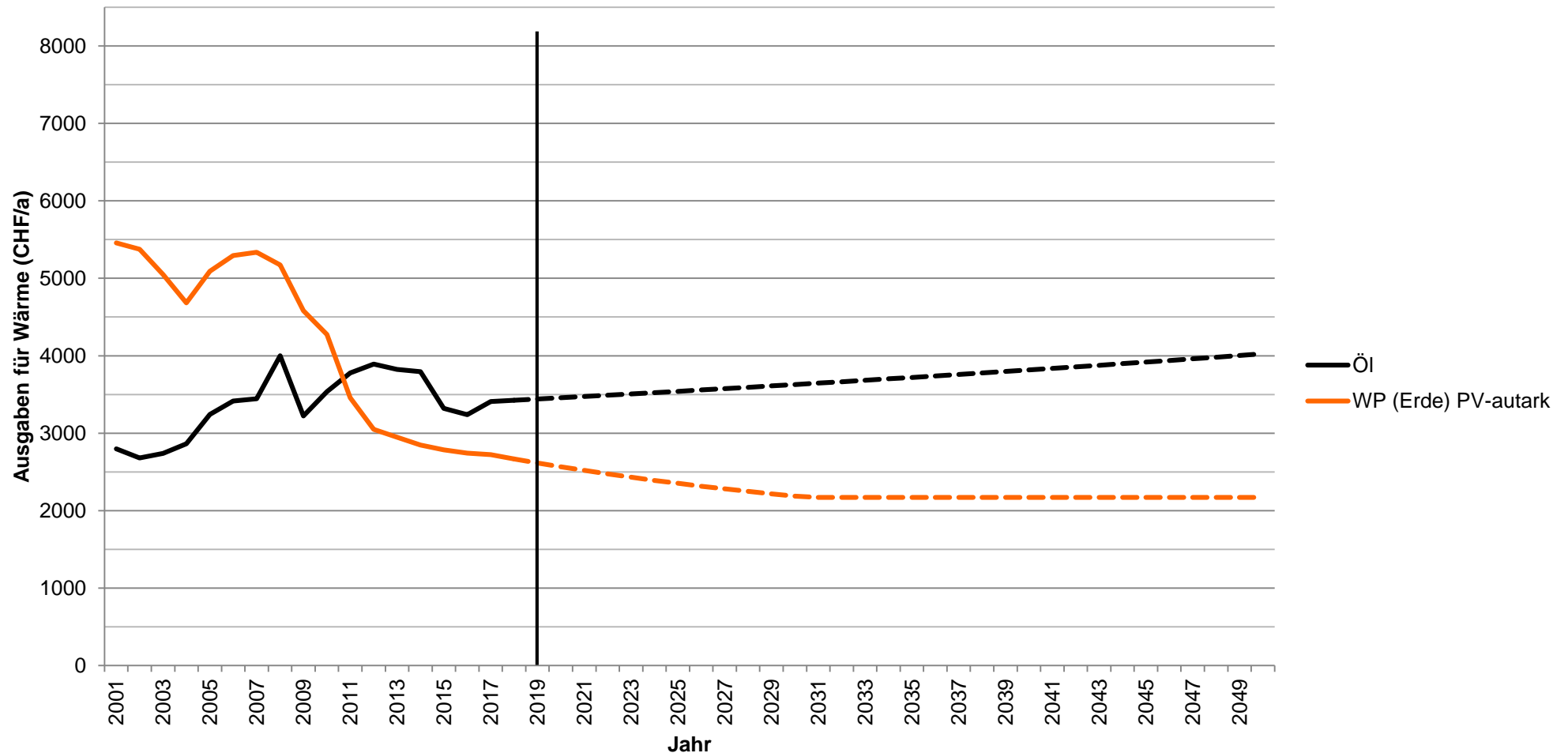
Wärme

- Verbesserung der Wärmedämmung von 22 l (1970) auf 3.6 l Öl pro m² & Jahr (2010) (Faktor 6)
- Reduktion Energiebedarf dank Wärmepumpe um Faktor 3 – 6
- **Schweiz macht gute Arbeit**

- Verbleibende renovationsbedürftige Häuser: 75%
 - Renovationsrate heute: 1.1%/a → 70 Jahre
 - Renovationsrate Bund: 2%/a → 33 Jahre
 - Renovationsrate Gunzinger: 4%/a → 19 Jahre

Heizkosten (Vollkosten) für ein typisches Schweizer Einfamilienhaus

Kostenvergleich Heizsysteme - Renovation



Wärme: Was kann ich tun?

- **Neubau**
 - Minenergie P
 - Bodenheizung
 - Wärmepumpe für Heizung und Warmwasser
 - Dach mit PV
- **Altbau**
 - Heizungsanlage überprüfen und einstellen
 - Gut isolieren
 - Heizungsersatz: Wärmepumpe für Heizung und Warmwasser
 - (Sanierung:) Dach mit PV
- **Eigennutzung**
 - Investition lohnt sich
- **Vermietung**
 - Von Nettomiete zu Bruttomiete

Kraftwerk Schweiz: So gelingt die Energiewende

1. Wie heizen wir in Zukunft?
- 2. Wie bewegen wir uns in Zukunft?**
3. Wie viel Strom werden wir benötigen?
4. Wie wird der Strom produziert?
5. Was kostet das Ganze?
6. Wie sieht die Energiezukunft der Welt aus?

Faire Vollkostenrechnung

- **Stromnetz:**
Neuwert: ~ 60 Mia CHF
Jährliche Kosten: ~ 4.5 Mia CHF
- **Strassennetz: (> 80'000 km, dichtestes Strassennetz weltweit)**
Neuwert: ~ 600 Mia CHF
Jährliche Kosten: ~ 45 Mia CHF
- **Offizielle Strassenrechnung: 8.7 Mia CHF pro Jahr**
- **Faire Kosten: Automobilität müsste 4 – 5 mal teurer sein**
- **Lieber hohe Steuern als fairer Benzinpreis.**
- **Flächenverbrauch aller Häuser: 400 km²**
- **Flächenverbrauch Auto: 900 km² Strasse nur zu 2.9% genutzt**

Mobilität: Verhaltensänderung in der Vergangenheit



- 1960:
700 kg
2.4 Personen

**Heute bewegen wir
4 mal mehr Masse →
~ 4 mal höherer Energieverbrauch**



- 2015:
1.4 t
1.3 Personen

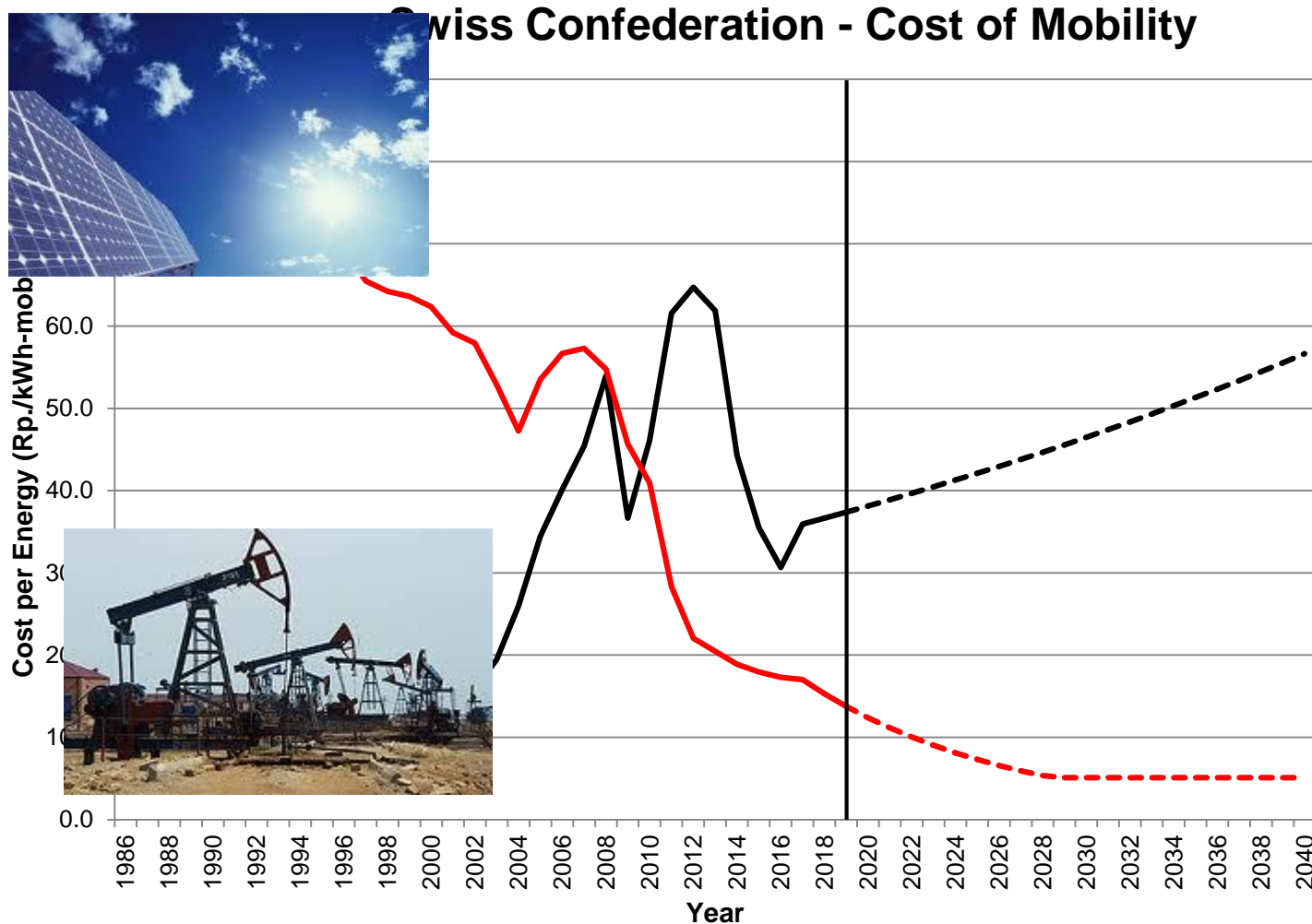
Mobilität: Verhaltensänderung Suffizienz

- Strecken < 1 km: zu Fuss
(~ 50% aller Fahrten, 10% Strecke)
- Strecken < 5 km: (E-) Bike
(~ 85% aller Fahrten, 46.3% Strecke)
- Rest: Mehrere Menschen im
(leichten) Elektrofahrzeug



Totale Einsparung Energie Faktor 2

Energie Kosten: Öl versus Elektrisch/Solar



CO₂ Emissionen [g/km]

Broschüre: 148

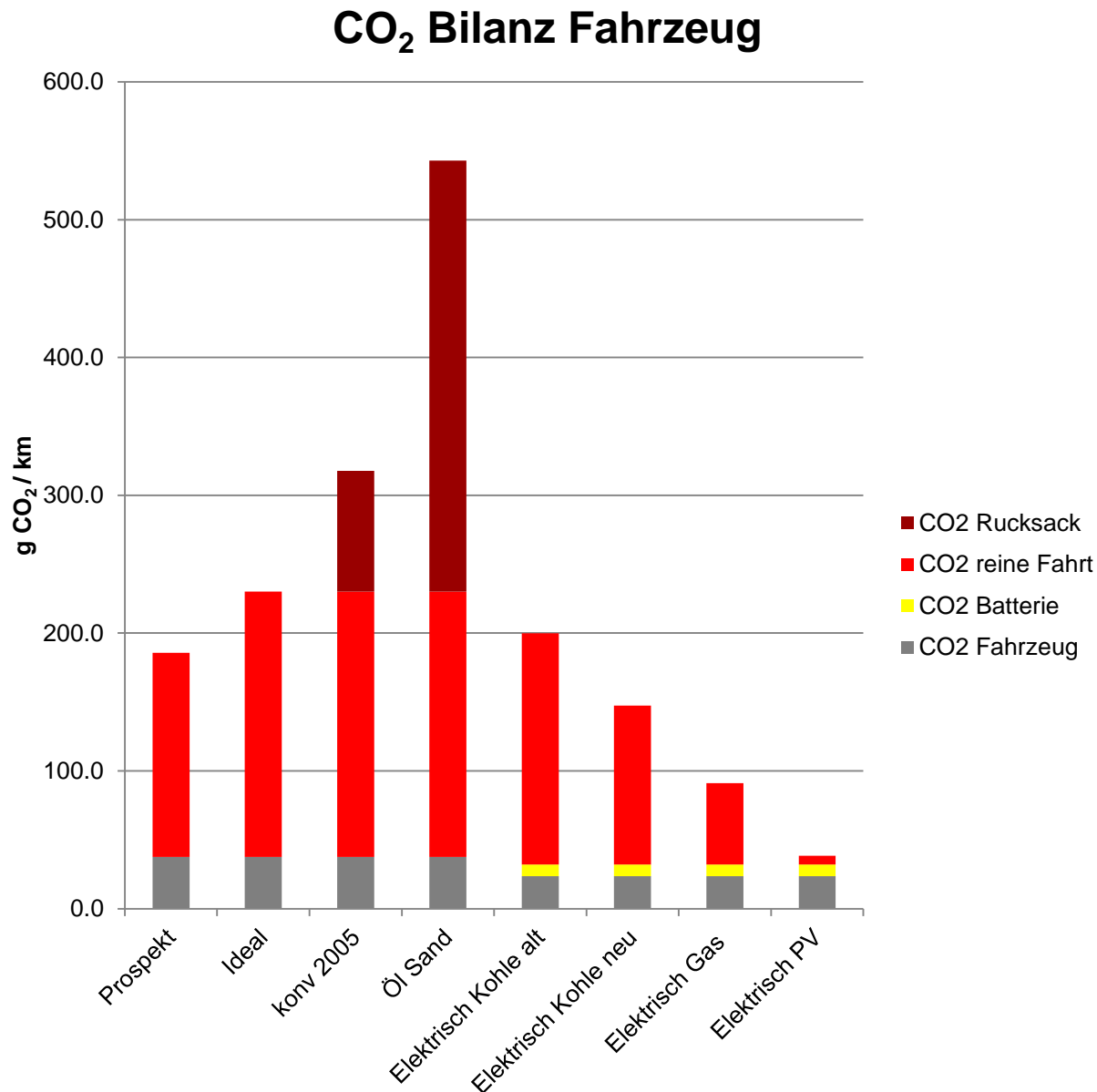
Realität: 280

Fracking: 309

CO₂ Emissionen [g/km]

Realität: 6

CO₂ Emissionen eines Durchschnittsautos (1400 kg)



**Elektrisch fahren
produziert 8 Mal weniger
CO₂.**

Fahren mit Strom ist hocheffizient



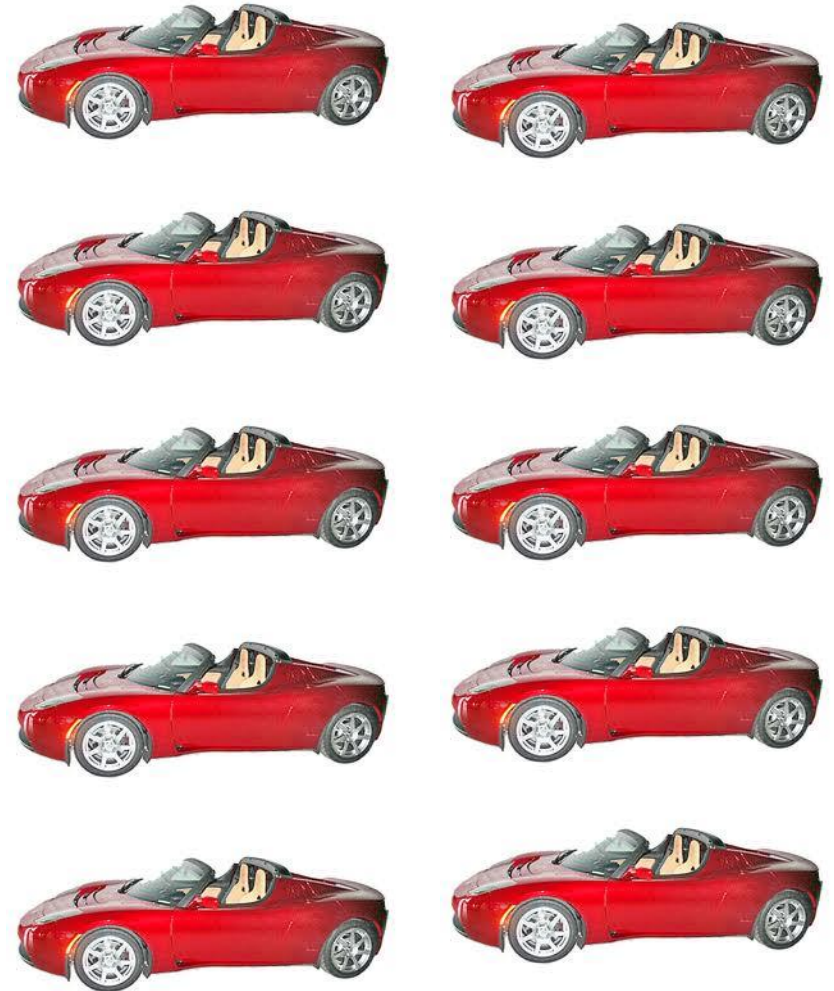
		Tesla	Porsche
Typ		Roadster Sport	911 Carrera S
Leistung	[PS]	300	350
	[kW]	225	260
0 auf 100 km/h	[s]	3.7	4.8
Verbrauch	[kWh/100 km]	14	110
	[l/100km]	1.6	12

**Elektrisch Fahren benötigt
6 – 8 mal weniger Energie.**

Wo kommt der Strom für die Elektromobilität her?



- 133 m², 21 kWp
- 1100 h Sonne/Jahr
- 23'100 kWh/a
- **Wie viele Elektromobile können damit versorgt werden?**



Die Batterie, die grosse Herausforderung

- **2012: TESLA Roadster** **1000 CHF/kWh**
- **2014: TESLA Modell S** **500 CHF/kWh**
- **2017: Renault Zoe** **200 CHF/kWh**
- **2019:** **100 CHF/kWh**

- **2022: Gunzinger** **300 CHF/kWh**

Mobilität: Was kann ich tun?

- **Neuwagen**
 - Elektroauto
- **Bewegung**
 - < 500m: zu Fuss
 - < 5km: (E-) Bike
- **Politik**
 - Ausbau Velowegnetz
- **Haus**
 - PV

Kraftwerk Schweiz: So gelingt die Energiewende

1. Wie heizen wir in Zukunft?
2. Wie bewegen wir uns in Zukunft?
- 3. Wie viel Strom werden wir benötigen?**
4. Wie wird der Strom produziert?
5. Was kostet das Ganze?
6. Wie sieht die Energiezukunft der Welt aus?

Stromverbrauch 2035

	Verbrauch [TWh/a]
Verbrauch heute	60
Einsparpotential (25%)	-15
Wärme Mehrverbrauch	+6
Mobilität Mehrverbrauch	+4
TOTAL	55
Bevölkerungswachstum Heute: 8.5 Mio Einwohner; Morgen: 10.0 Mio Einwohner	65

- **Verbrauch: Fast konstant über die letzten 10 Jahre**
- **Produktion heute: ~ 40% AKW (~ 24 TWh/a) (2018: 68% erneuerbar)**
- **Produktion morgen?**

Kraftwerk Schweiz: So gelingt die Energiewende

1. Wie heizen wir in Zukunft?
2. Wie bewegen wir uns in Zukunft?
3. Wie viel Strom werden wir benötigen?
- 4. Wie wird der Strom produziert?**
5. Was kostet das Ganze?
6. Wie sieht die Energiezukunft der Welt aus?

Energiepreise



Vor 15 Jahren:
60 ct/kWh



«Das schaffen wir...»

Heute:
6 ct/kWh



Vor 15 Jahren:
6 ct/kWh

Heute:
7.5 ct/kWh

Achtung: Elektrische Energie ist 4 – 8 wertvoller als fossile Energie

PV (50 kWp (Süd & Nord); Ertrag: 65'000 kWh/a)



Erneuerbare Energiequellen

Solar:

- Früher: 60 ct./kWh
- Heute: 6 ct./kWh
- **Grenzkosten: 1 ct./kWh**
- Produktion fluktuierend
- Potential CH: ~ 30 TWh/a

Wind:

- **Kosten: etwa Hälfte Solarenergie**
- Heute 2 – 4 MW/ Windturbine
- Produktion fluktuierend
- Potential CH: ~ 10 TWh/a

Biomasse

- Holz, Klärschlamm, Bioabfälle
- Potential CH: 6 - 10 TWh/a



Ist Kernenergie eine Alternative?

- Olkiluoto III (Finnland), 1600 MW, Europäischer Druckwasserreaktor (EPR), Bau durch Konsortium Areva (F) und Siemens (D)
- 2005: Kosten 3.0 Mia €, geplante Betriebsaufnahme 2011
- 2008: Kosten 4.5 Mia €, geplante Betriebsaufnahme 2012
- 2009: Kosten 5.5 Mia €, geplante Betriebsaufnahme 2013
- 2011: Kosten 6.6 Mia €, geplante Betriebsaufnahme 2014
- 2012: Kosten 8.5 Mia €, geplante Betriebsaufnahme 2015
- 2015: Kosten 9.0 Mia €, geplante Betriebsaufnahme 2018
- 2017: Kosten ??? Mia €, geplante Betriebsaufnahme Ende 2019
- 2018: Kosten ??? Mia €, geplante Betriebsaufnahme 2020
- 2020: Kosten ??? Mia €, geplante Betriebsaufnahme 2021

- Aktie von Areva: 90% an Wert verloren

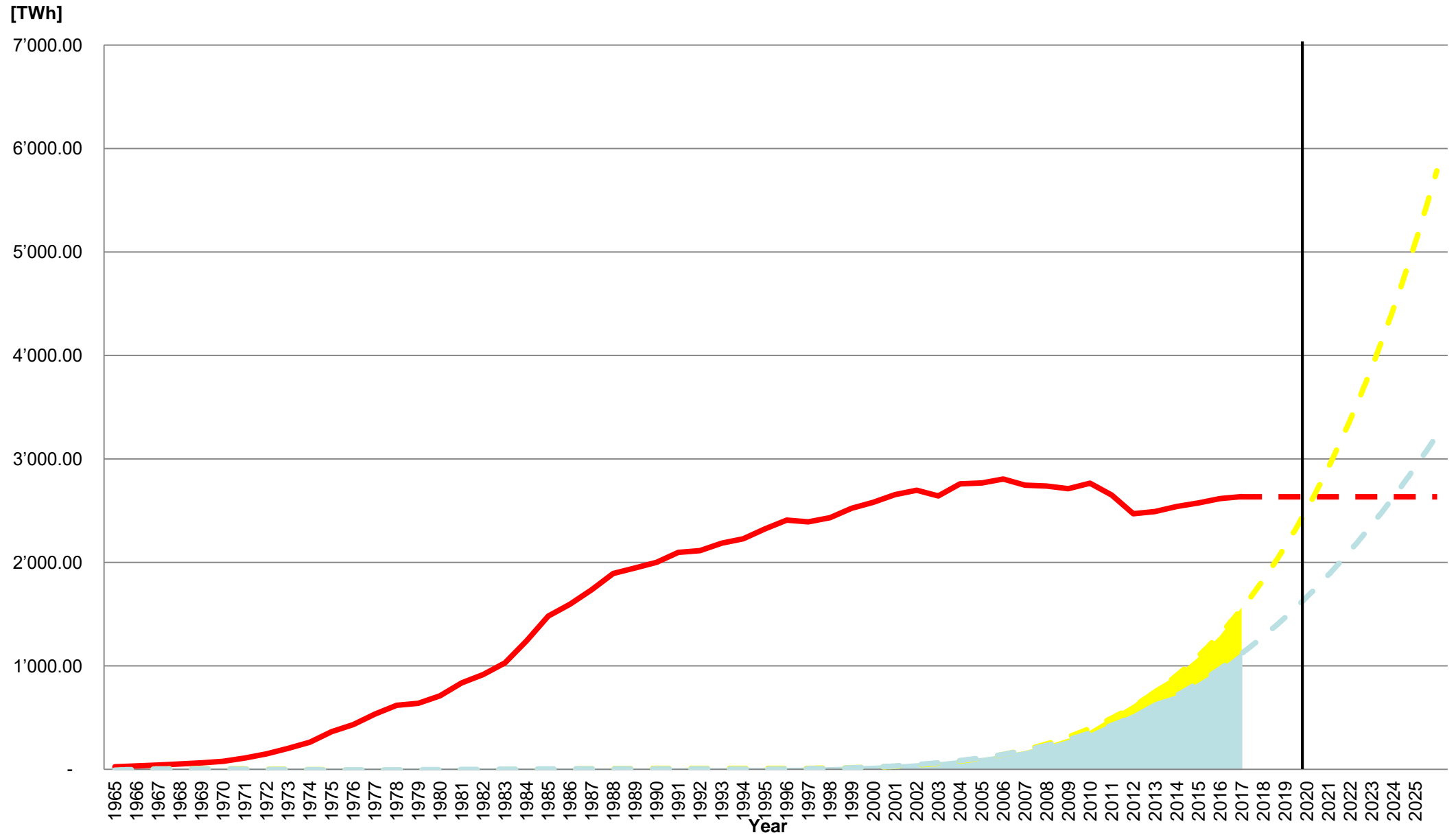
- **Kosten Kernenergie: Früher 2 ct/kWh; heute 15 ct/kWh**

Was macht die Welt?

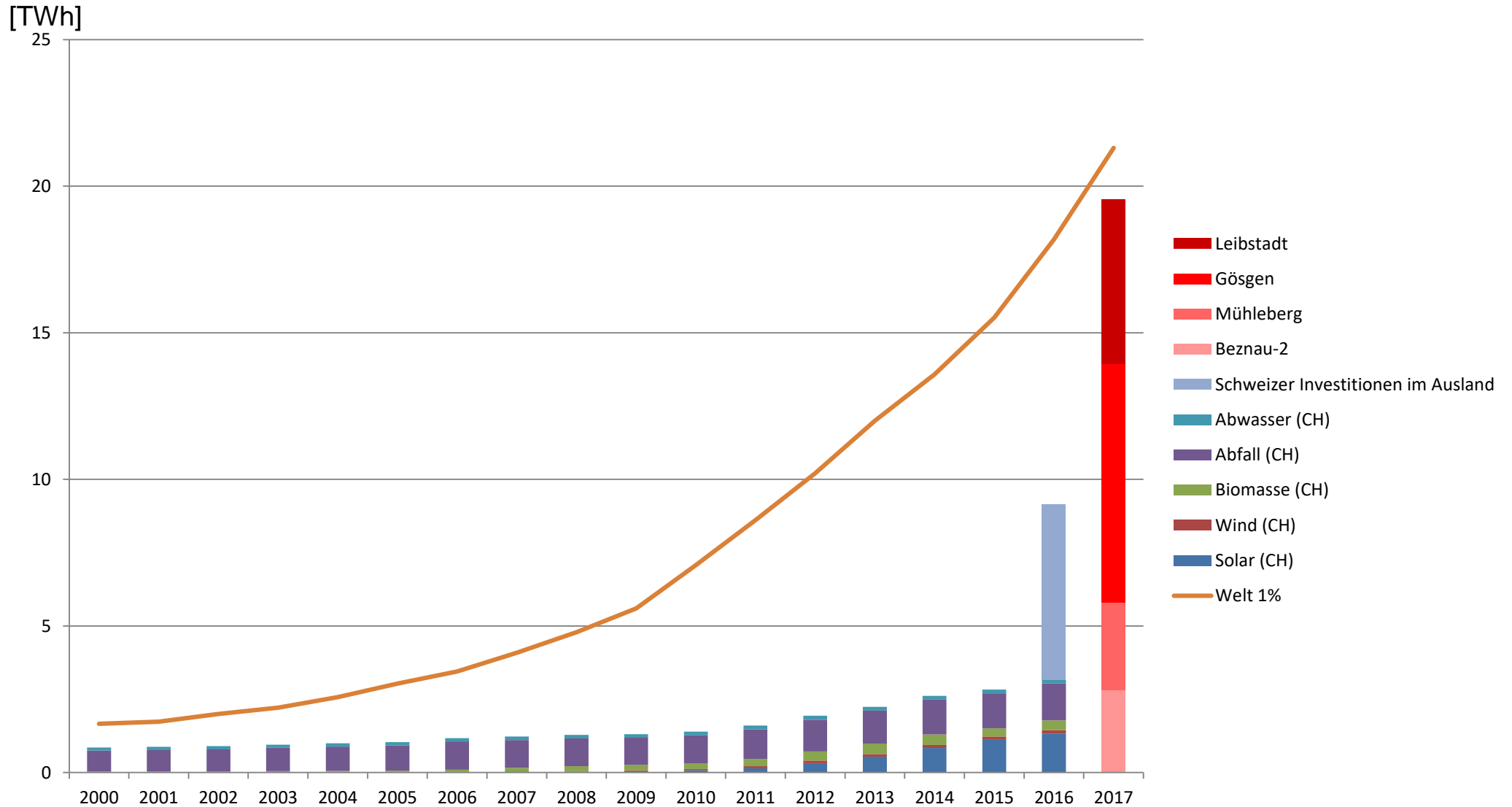
- **Zubau neue erneuerbare Energie weltweit 2017
(Grundlage BP Energy Outlook):**
- **Zubau 2017: ~ 300 TWh (35 grosse AKWs) oder alle 10 Tagen geht ein erneuerbares «Gösgen» ans Netz**
- **Wachstum 17 %/a**

BP Nuclear, Wind and Solar Energy Comparison

■ Solar + Wind Energy ■ Wind Energy — Nuclear Energy



Was macht die CH bezüglich neue erneuerbare Energien: Produktion & Investments (CH): 1% der Weltproduktion



Ist es möglich Kernenergie durch PV, Wind und Biomasse zu ersetzen?

«Es ist nicht möglich, dass Photovoltaik und Wind die Kernenergie ersetzen können. Wir verkünden und begründen das immer wieder. Beide erzeugen unzuverlässigen Flatterstrom, der vor allem dann verfügbar ist, wenn man ihn nicht braucht.»

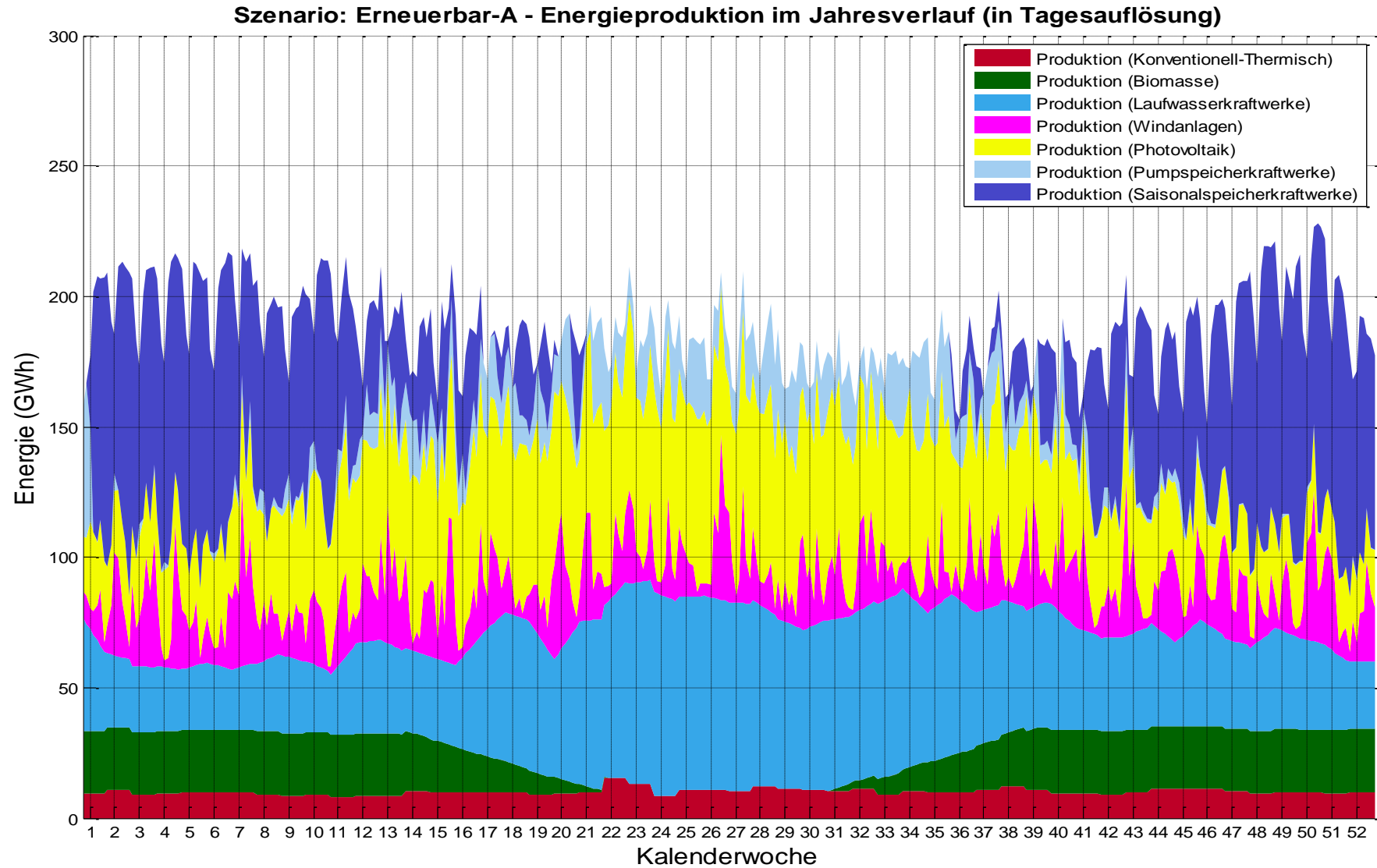
Quelle: <http://kaltduschenmitdoris.ch/>

Dr. Irene Aegerter; erm. Prof. Dr. Silvio Borner, Volkswirtschaftslehre UNI Basel; erm. Prof. Franz-Karl Reinhart, EPFL; erm. Prof. Dr. Bernd Schips, KOF ETHZ

Wir haben ausgerechnet, dass bei richtiger Dimensionierung eine Versorgung der Schweiz mit 100% erneuerbarer Energie kostengünstig möglich ist.

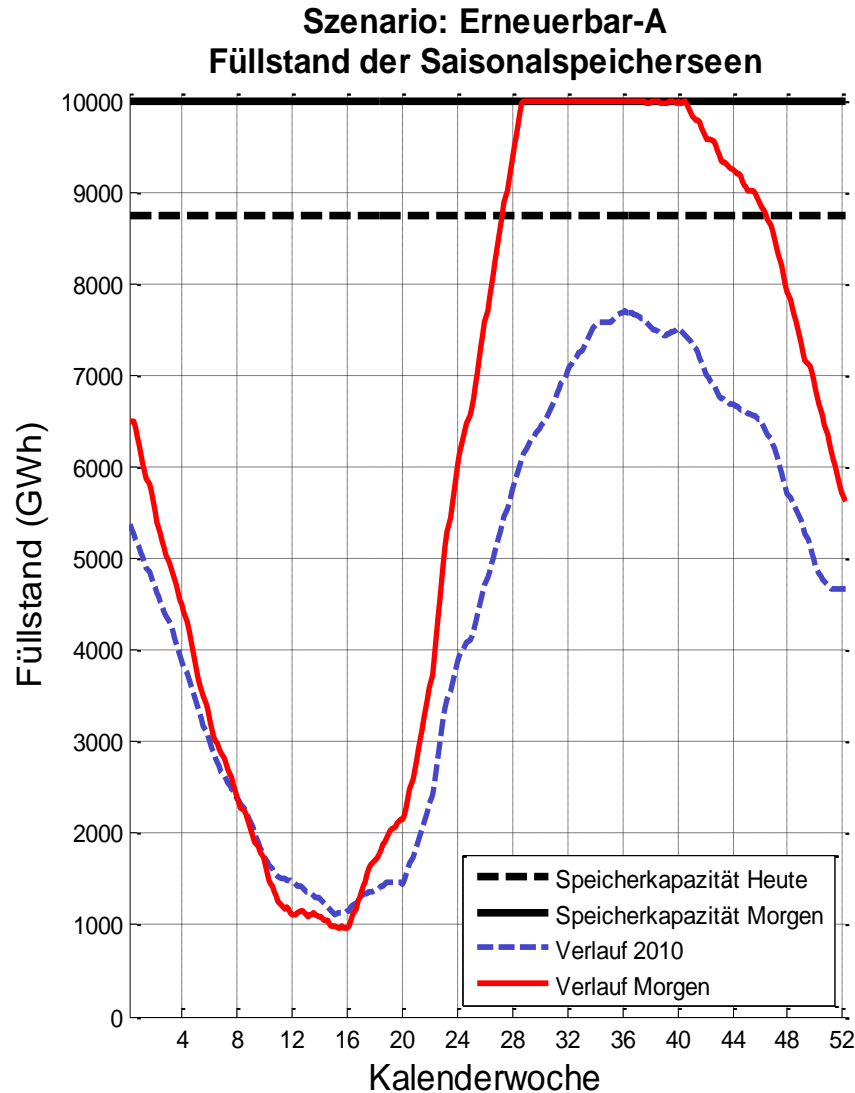
Quelle: **«Kraftwerk Schweiz – Plädoyer für eine Energiewende mit Zukunft»**

Solar, Wind und Biomasse: Jahresverlauf der Energie



git: heads/master-0-gc8e6897 date 2013-05-03 13:35

Die Speicherfrage: Füllstand der Speicherseen (Solar, Wind und Biomasse)



KVA:	3.7 TWh
Laufwasser:	16.6 TWh
Speicherseen:	19.8 TWh
AKW's:	0.0 TWh
PV:	16.4 TWh
Wind:	7.0 TWh
Biomasse:	5.9 TWh

Total:	69.4 TWh
Nutzenergie:	60.0 TWh
Defizit:	0.3 TWh

Kosten **16.8 Rp. / kWh**
(billiger als neue AKW)

git: heads/master-0-gc8e6897 date 2013-05-03 13:35

Bemerkungen zu Vorschlag Gunzinger

- **Vorschlag Gunzinger Wind: 7 TWh/a**
- **Windräder sind wichtig (Wind bläst auch in der Nacht und bläst vor allem in Winter)**
- **Installation real CH: 75 MW → 0.2 TWh**
- **Installation Österreich: 3000 MW → 7.5 TWh**
- **Weshalb ist Österreich bezüglich Wind so viel besser als die Schweiz?**

- **Weg der Schweiz:**
 - PV**
 - **Power to Gas (im Sommer)**
 - **Gas to Power (im Winter)**

Kraftwerk Schweiz: So gelingt die Energiewende

1. Wie heizen wir in Zukunft?
2. Wie bewegen wir uns in Zukunft?
3. Wie viel Strom werden wir benötigen?
4. Wie wird der Strom produziert?
- 5. Was kostet das Ganze?**
6. Wie sieht die Energiezukunft der Welt aus?

Energiekosten Schweiz von 2016 bis 2050 (ohne Steuern und Abgaben)

	WWB
Kosten Inland [Mia CHF]	490
Kosten Ausland [Mia CHF]	1610
Kosten Total [Mia CHF]	2100

Energiekosten Schweiz von 2016 bis 2050 (ohne Steuern und Abgaben)

	WWB	ES2050	Gunzinger
Kosten Inland [Mia CHF]	490	590	690
Kosten Ausland [Mia CHF]	1610	1350	420
Kosten Total [Mia CHF]	2100	1940	1110
Anzahl Beschäftigte [Tausend]	140	169	196
CO ₂ -Ausstoss (2035) [t]	5.2	5.1	0.9

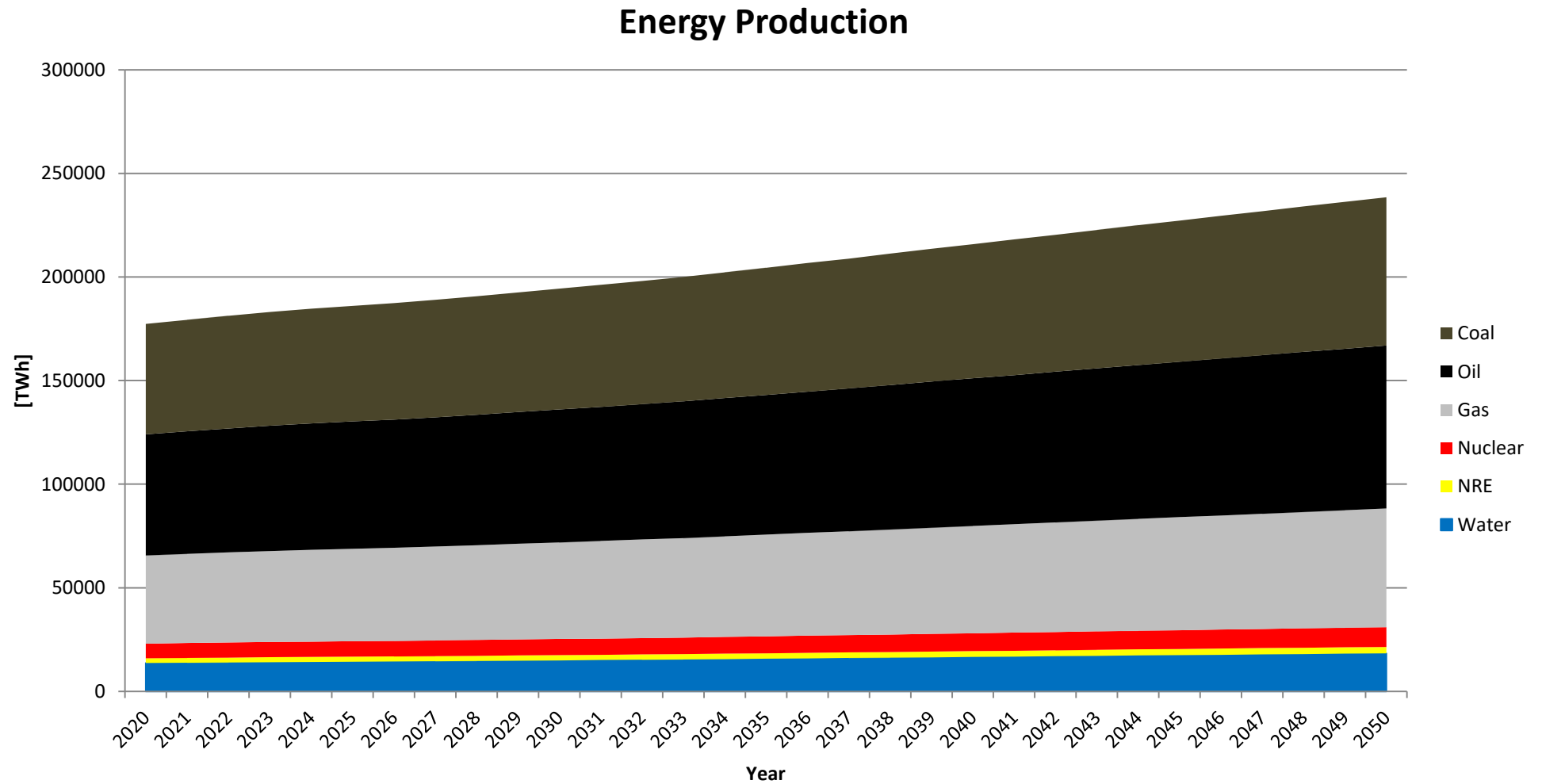
Kraftwerk Schweiz: So gelingt die Energiewende

1. Wie heizen wir in Zukunft?
2. Wie bewegen wir uns in Zukunft?
3. Wie viel Strom werden wir benötigen?
4. Wie wird der Strom produziert?
5. Was kostet das Ganze?
6. **Wie sieht die Energiezukunft der Welt aus?**

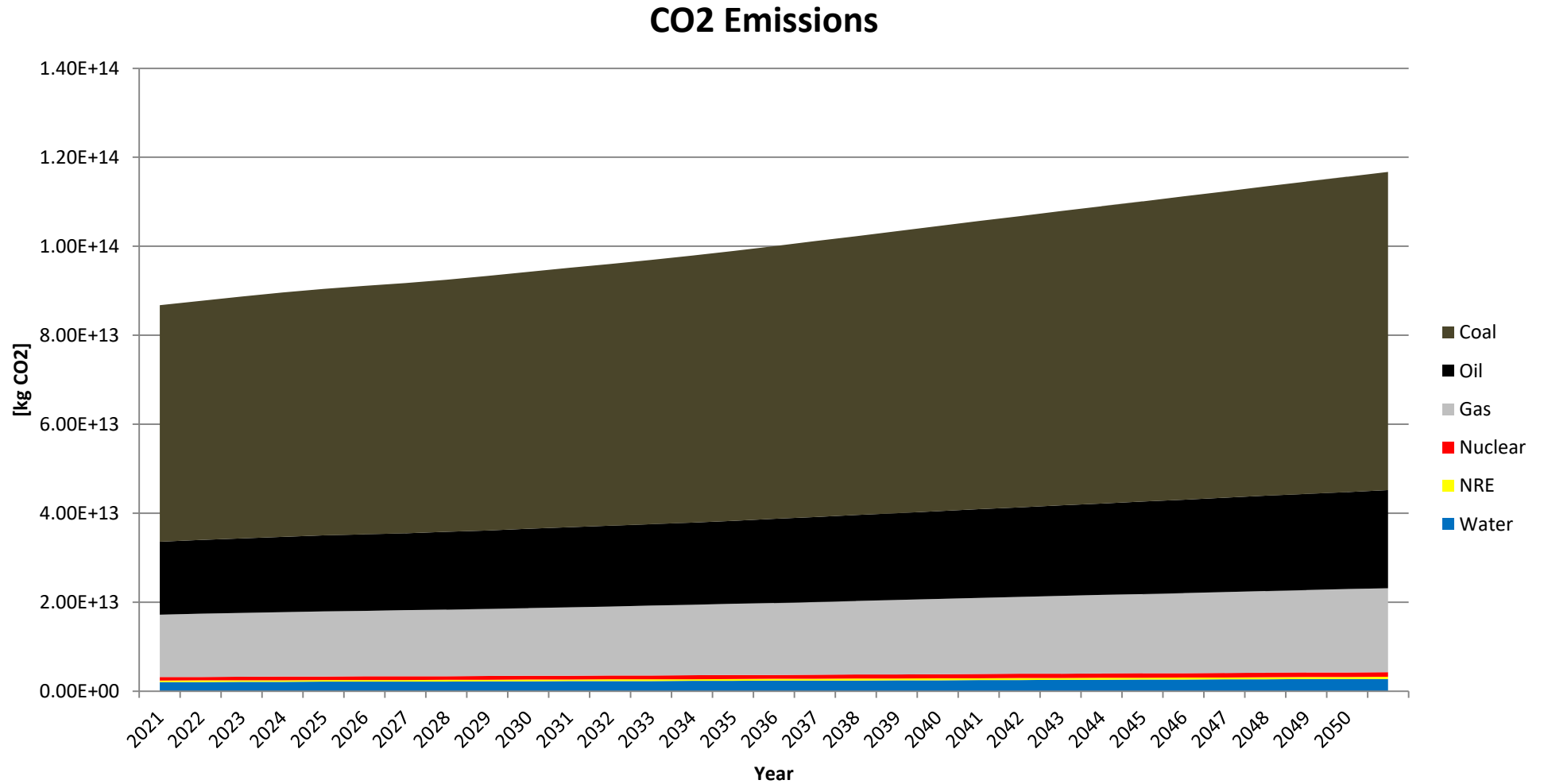
Was ist weltweit möglich?

- **Grundlage Energiebedarf Welt: Amerikanische Energiebehörde**
- **Ziel: Temperatur Anstieg maximal 2°C**
 - **Maximaler Ausstoss CO₂ auf 900 Gt bis 2050 beschränkt (Reto Knuti, ETHZ)**
- **Szenario A:**
 - Weiter wie bisher
- **Szenario B:**
 - Zunahme Zubau NEE (neue Erneuerbare Energien) wie heute (17% pro Jahr)
 - Kernenergie, Kohle, Öl und Gas werden durch NEE ersetzt
 - Effizienz Steigerung durch Strom: Faktor 4
 - Je 5% Restmenge bei Öl und Gas
 - Preise NEE wie heute.
- **Was geschieht?**
- **CO₂ Entwicklung?**
- **Kostenentwicklung?**

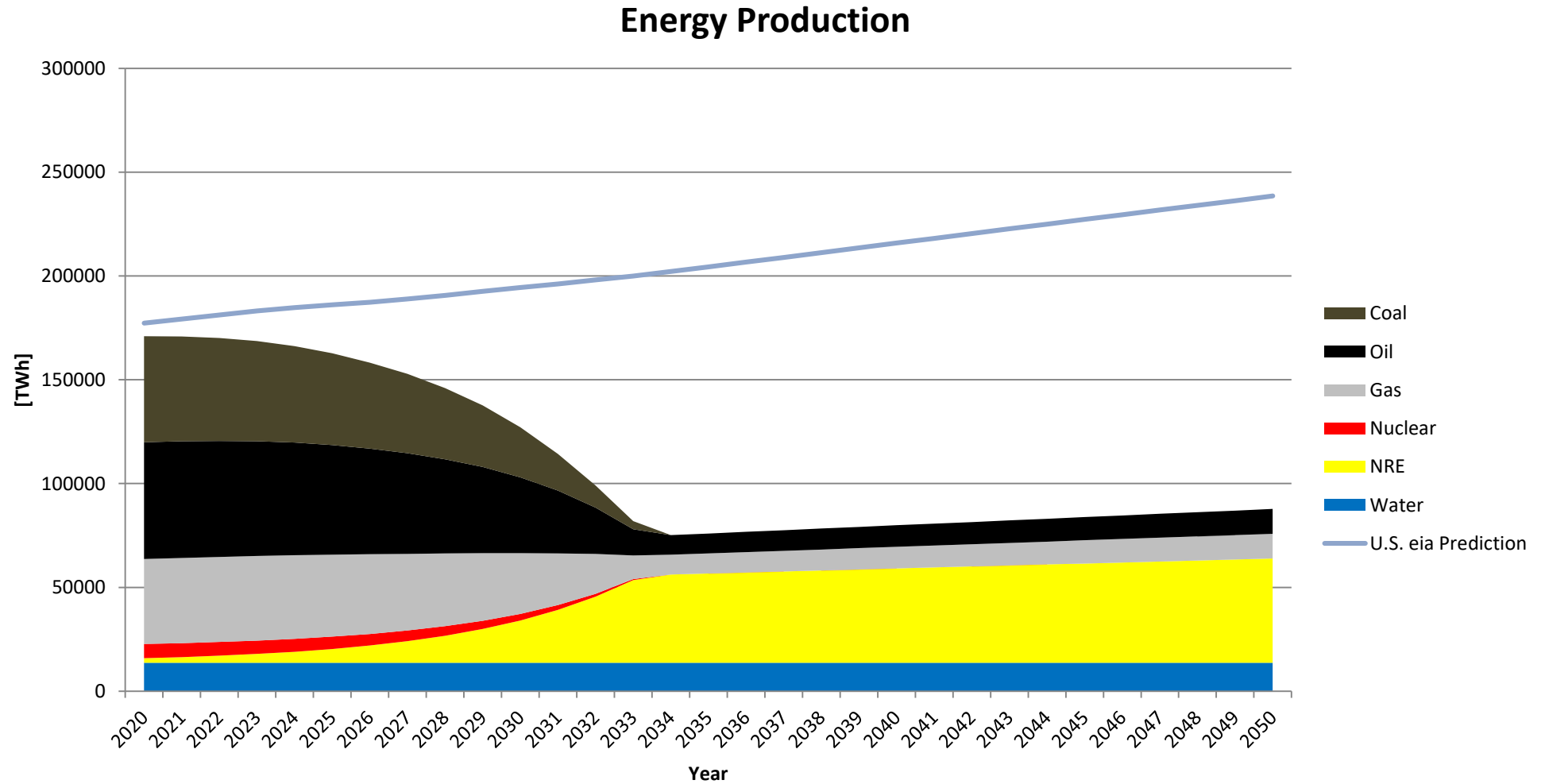
Reference Scenario A: Energy Production



Reference Scenario A: CO₂ Emissions

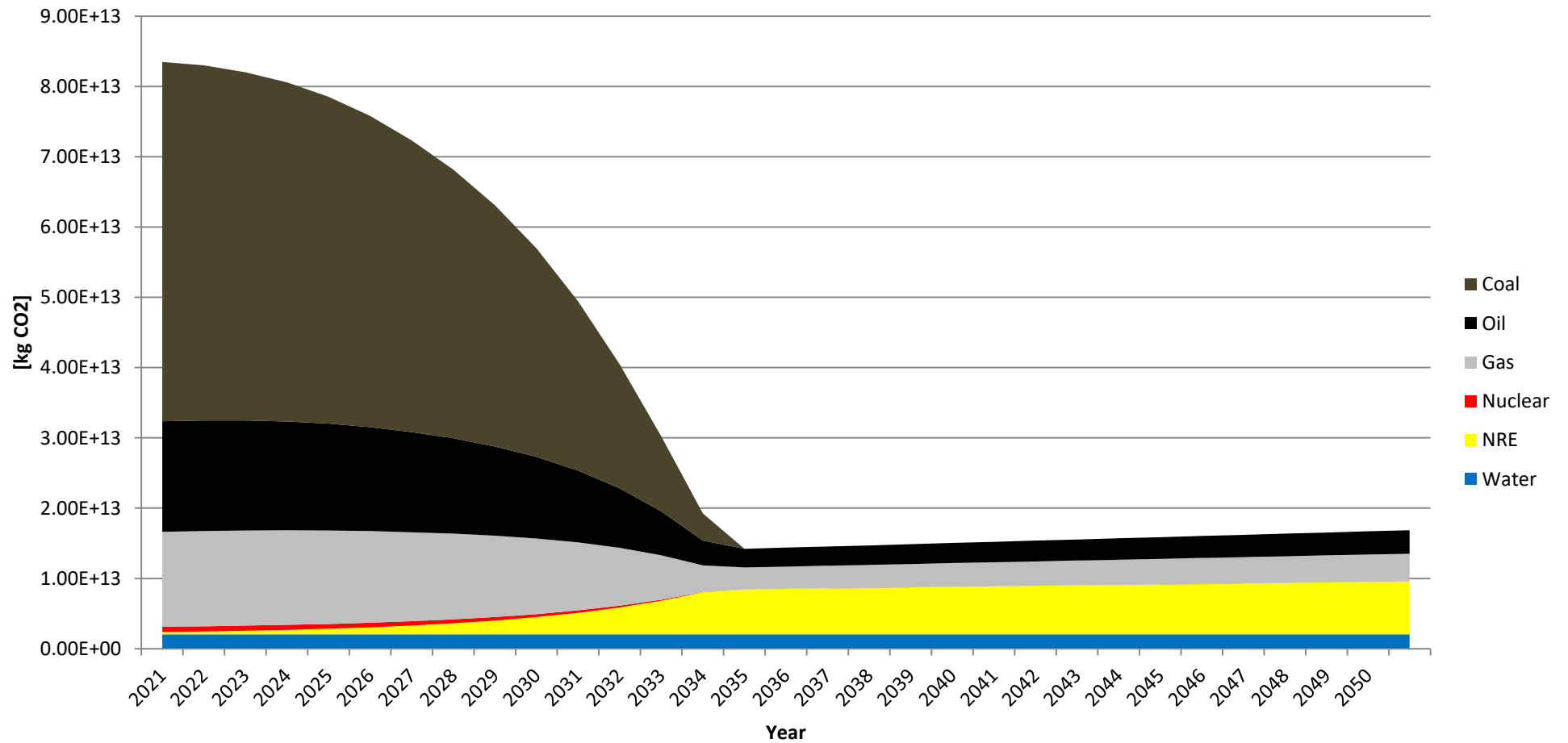


Scenario B: NRE – Energy Production

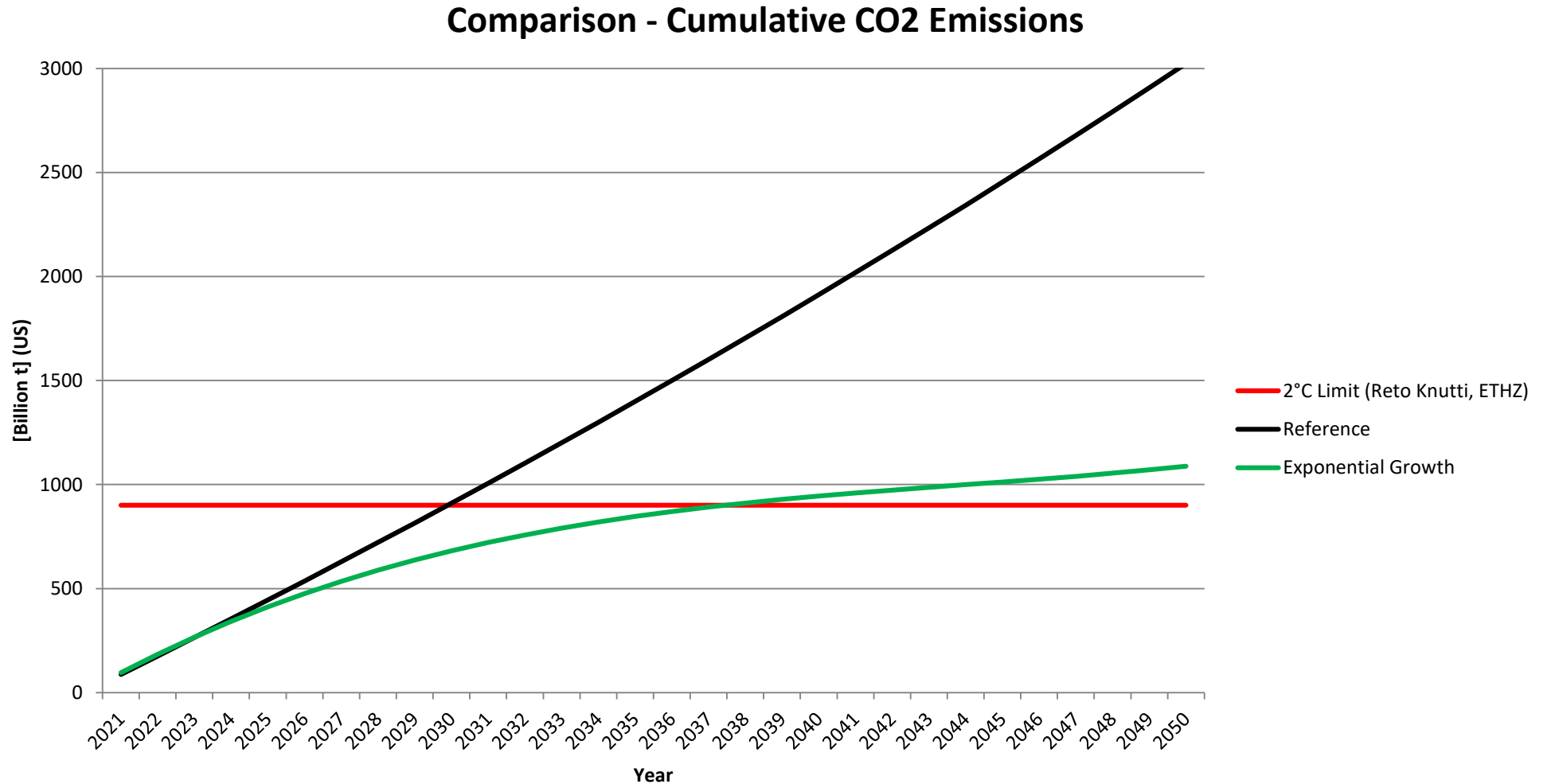


Scenario B: NRE – CO₂ Emissions

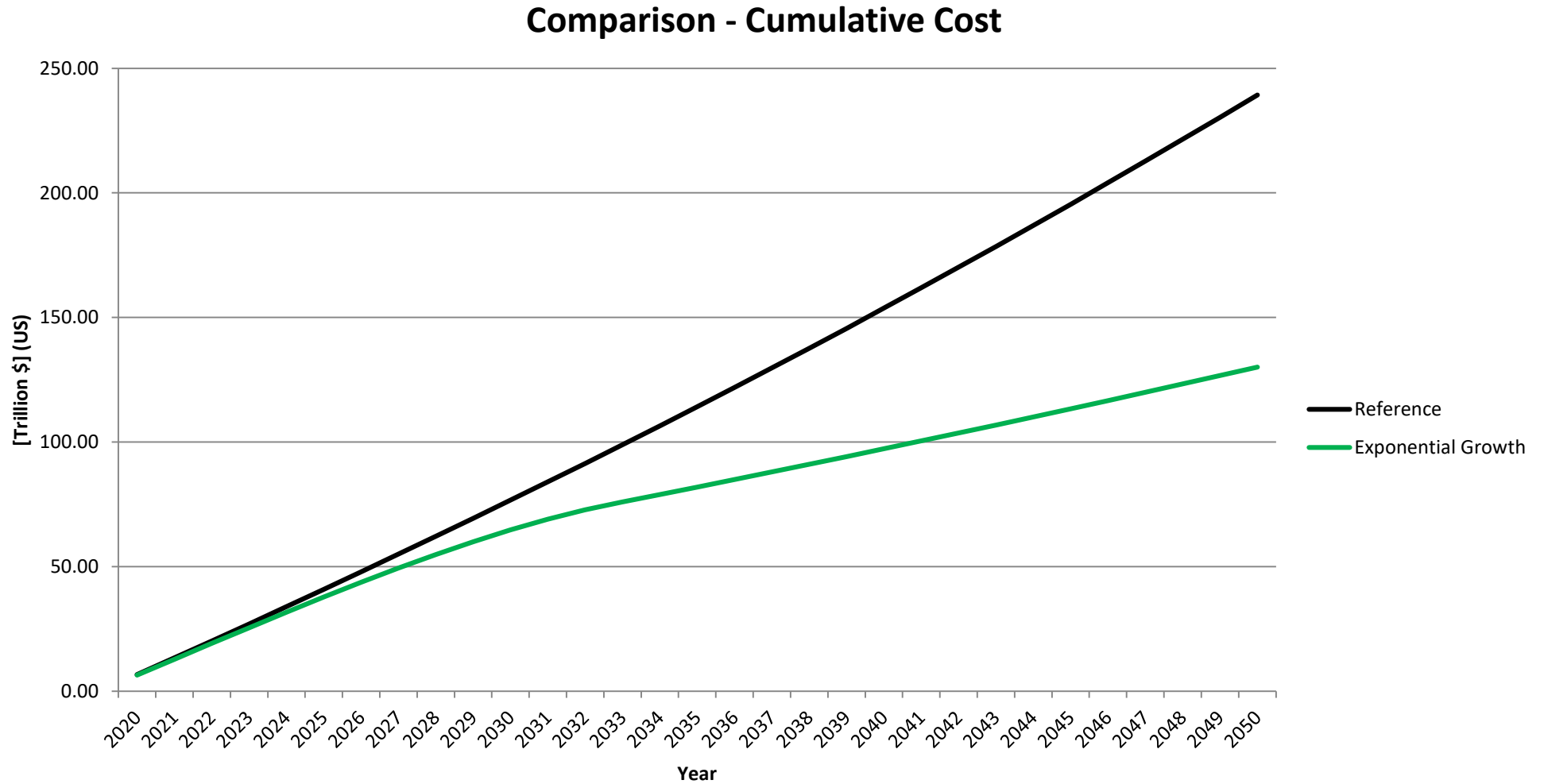
CO₂ Emissions



Comparison – Cumulative CO₂ Emissions



Comparison – Cumulative Cost



Welche Veränderungen kommen auf uns zu?

- Mit den neuen Erneuerbaren ist das 2°C Szenario möglich
- Mit den neuen Erneuerbaren reduzieren sich die Kosten für Energie global bis 2050 um etwa 100'000 Mia\$ oder 3'000 Mia\$/Jahr oder ~5% des Welt BIP
- Die Investitionen in fossile Energien (6000 Mia\$/a) werden wertlos
- Es finden keine Ressourcen-Kriege mehr statt
- Mit dieser Strategie werden global etwa 100 Mio Menschen arbeitslos, aber es gibt mehr Arbeit in den Industrienationen
- Wir werden nur noch elektrisch Auto fahren: Unterhaltskosten halbieren sich, Europäische und Amerikanische Autoindustrie sind schlecht vorbereitet.
- Es findet ein kompletter Machtumbau statt, lokal & global

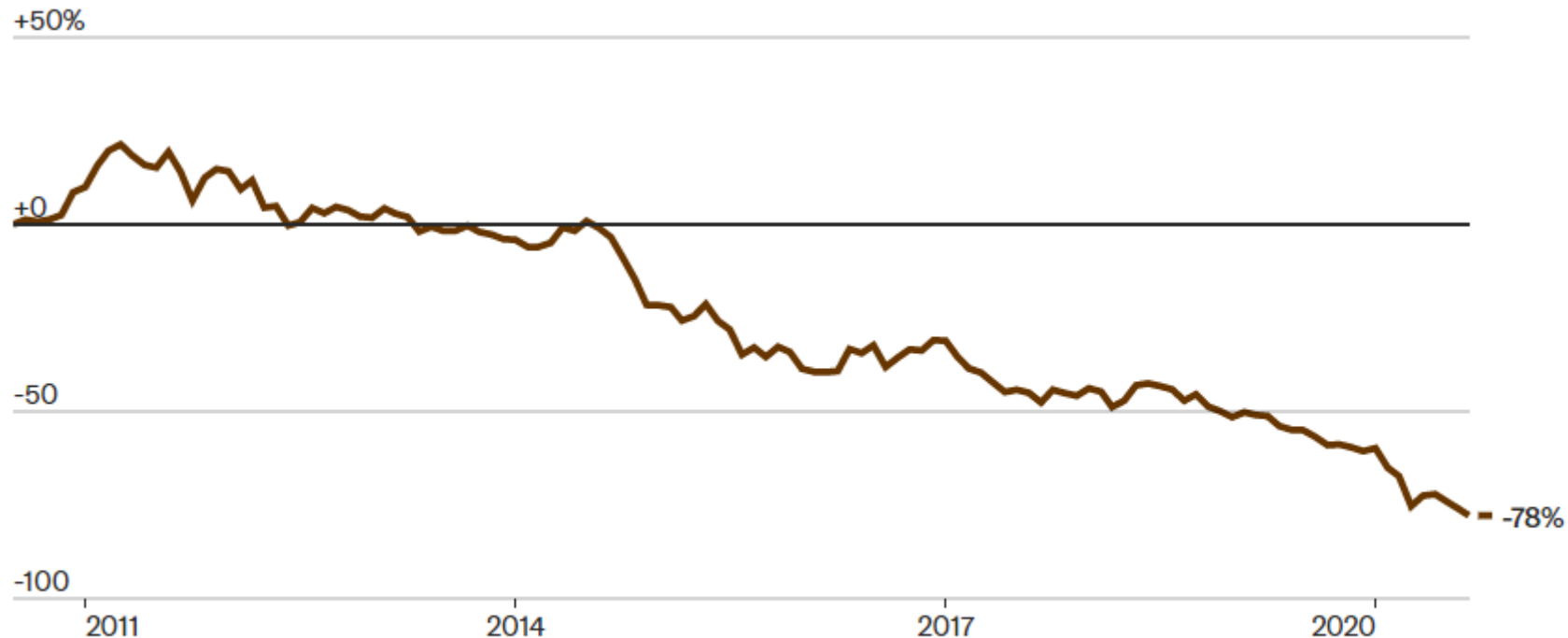
Was passiert wirklich?

Subventionen NEE in der Schweiz

- Subvention 1.2 Mia CHF/a
- → Investition von 3.6 Mia CHF/a
- → bei 2 kCHF/ kWp → 1.8 TWh/a Zubau
- → 20 TWh in 2030

Was passiert wirklich?

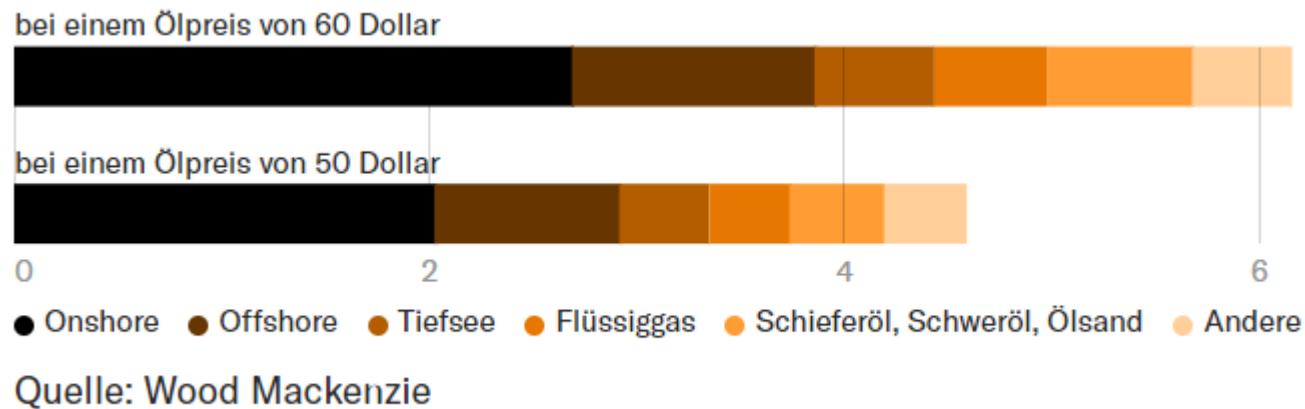
US Energieaktien im Vergleich zum Gesamtmarkt



Net Return in US-Dollar. Underperformance seit dem 30. Juli 2010. Quelle: S&P

Source: Republik vom 28.8.2020: Plopp! [Öl-, Kohle- und Erdgasfirmen in der Krise – platzt mit der Kohlenstoffblase die grösste Illusion der Finanzgeschichte?](#)

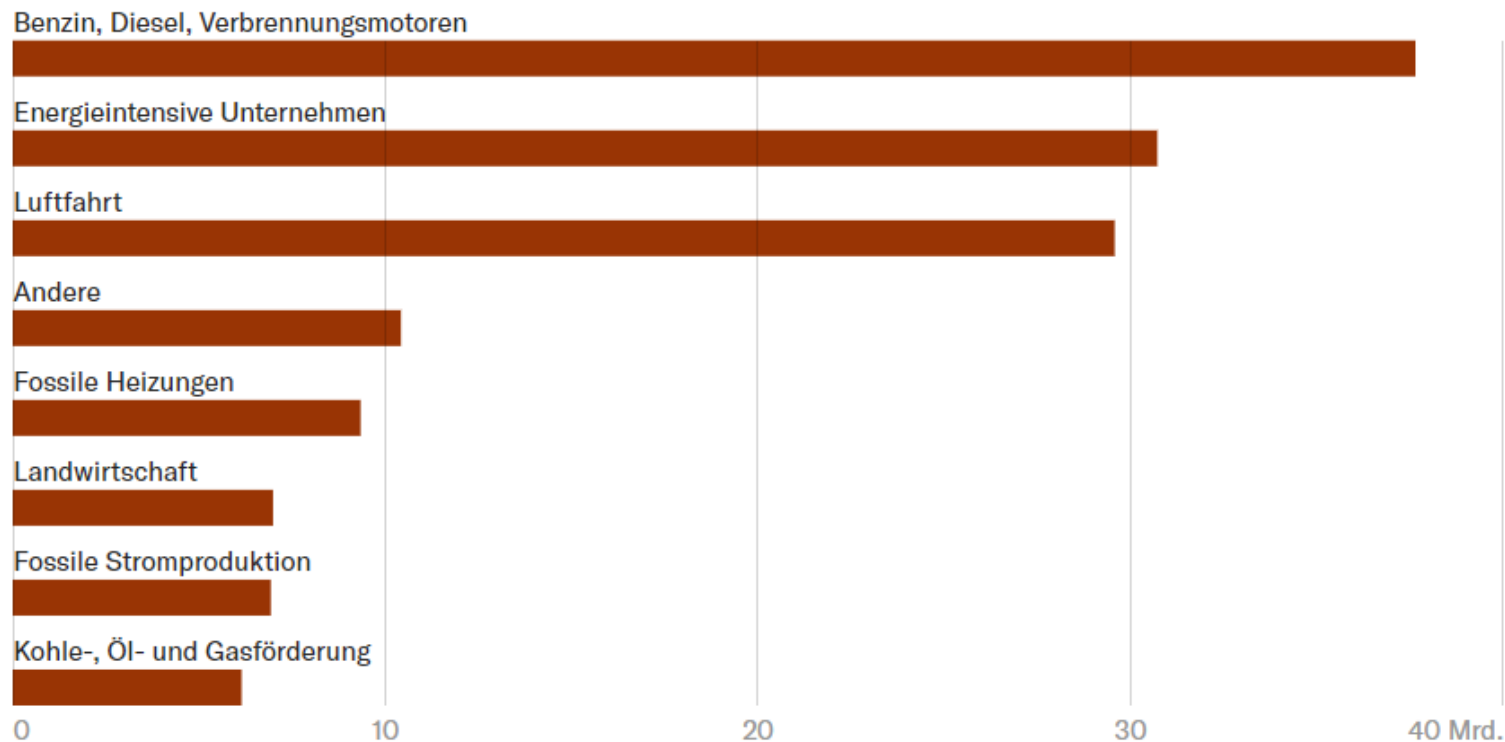
Was passiert wirklich? Ölreserven (Wert in Billionen \$)



Source: Republik vom 28.8.2020: [Plopp! Öl-, Kohle- und Erdgasfirmen in der Krise – platzt mit der Kohlenstoffblase die grösste Illusion der Finanzgeschichte?](#)

Was passiert wirklich?

Die fossile Subventionsmaschine



Quelle: Investigate Europe, OECD, Europäische Kommission, diverse nationale Behörden

Source: Republik vom 6.7.2020: Wie europäische Staaten mit unglaublich viel Geld die globale Erwärmung anheizen

- Die EU subventioniert jährlich fossile Energieträger mit 137 Mia
- Die Schweiz subventioniert jährlich fossile Energieträger mit 2.7 Mia
- Laut BR Doris Leuthard, wird Öl jährlich mit 540 Mia subventioniert, bei Erschliessungskosten von etwa 1800 Mia

Was passiert wirklich?

Die nukleare Subventionsmaschine

- Gefährdung weltweit: alle 15 Jahre ein Super GAU, rund 400 AKW's
→ Gefährdung von durchschnittlich 6000 Jahren pro KKW
- Schweiz 5 AKW's → ein Super GAU alle 1'200 Jahre
- Schadenssumme: 5000 Mia CHF
- Risikoprämie AKW: 4 Mia pro Jahr
- AKW Energieproduktion: 26 TWh/a → 15 Rp/kWh
- Bemerkung: Beznau (2.75 TWh/a) ging mit einer Gefährdung von 300 Jahren (Kernschmelze) bzw. 3000 Jahren (Supergau) in Betrieb
→ Risikoprämie von 1.7 Mia CHF pro Jahr
→ Subvention von 61 Rp/kWh
- Versicherung: 1.5 Mia/AKW (neues AKW kostet 10 Mia)
- Endlagerung:
 - Kosten nach BFE: 28 Mia (Kosten nach Gunzinger 50 Mia)
 - Kassabestand: 6 Mia

Was können wir tun?



- **Vor Sanierung:**
 - **5200 l Öl/a**
 - 10'000 kWh/a Stromverbrauch
- **Heute:**
 - 0 l Öl/a
 - 13'000 kWh/a Stromverbrauch
 - 23'100 kWh/a Solarstrom
- **Höhere Lebensqualität**

Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Vision meets reality.