

# So gelingt die Energiewende



## **Anton Gunzinger**

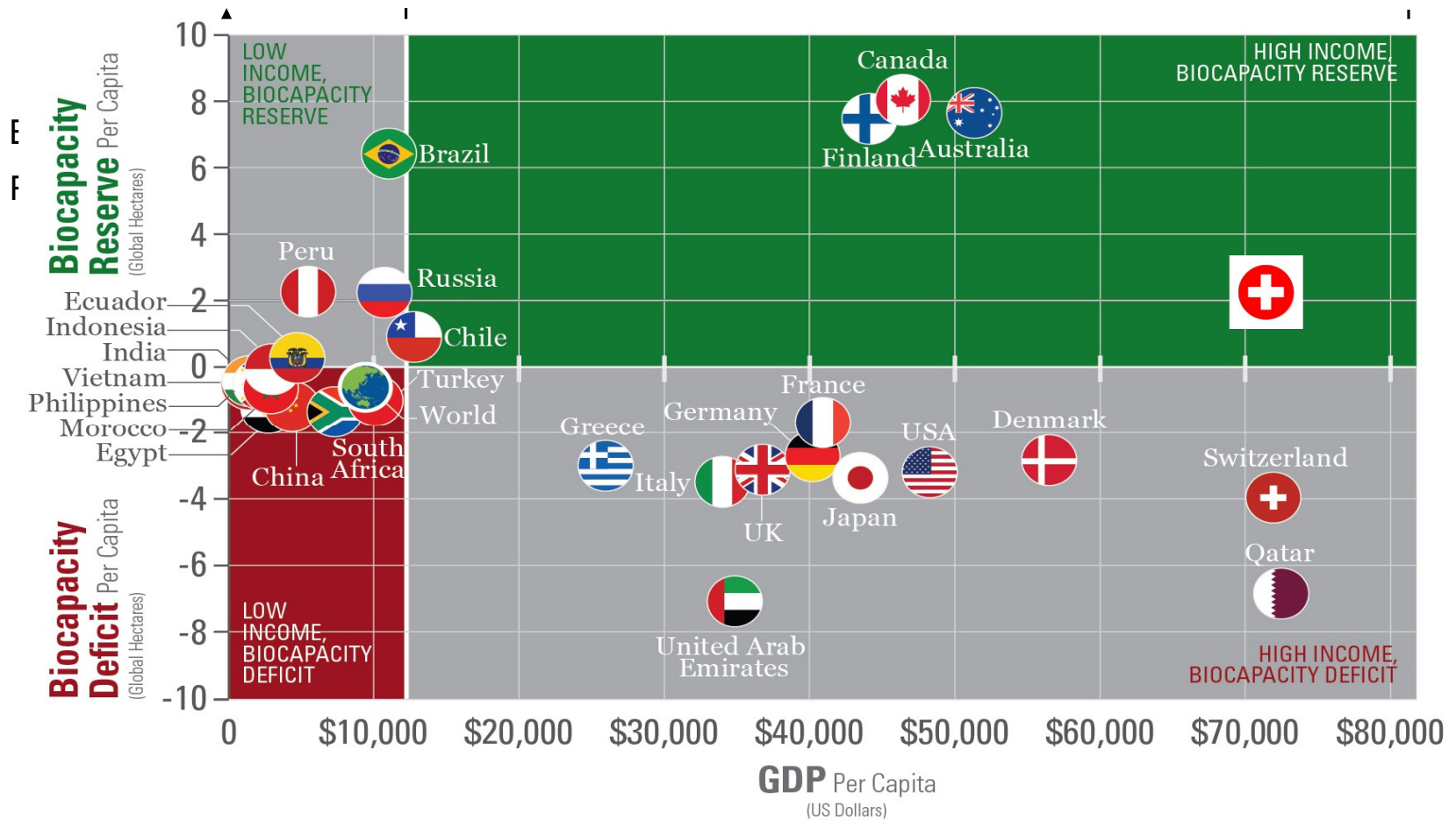
ETH-Professor und Präsident der  
Supercomputing Systems im Technopark  
Zürich

# Kraftwerk Schweiz: So gelingt die Energiewende

Fischer Wärmetechnik  
Sursee, 9. Februar 2023

Anton Gunzinger  
Unternehmer  
Supercomputing Systems AG  
Technoparkstrasse 1  
8005 Zürich / Schweiz  
+41 (0)43 – 456 16 00  
[gunzinger@scs.ch](mailto: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~~

## **Die wichtigen Fragen**

- 1. Ist es möglich, uns ausschliesslich von erneuerbarer Energie zu versorgen und damit unabhängig von anderen Staaten zu werden?**
- 2. Wenn ja, in welchem Zeitrahmen wäre eine realistische Umstellung möglich?**
- 3. Ist eine solche Umstellung überhaupt erschwinglich?**
- 4. Was würde dies für die Klimaerwärmung bedeuten?**

## **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**

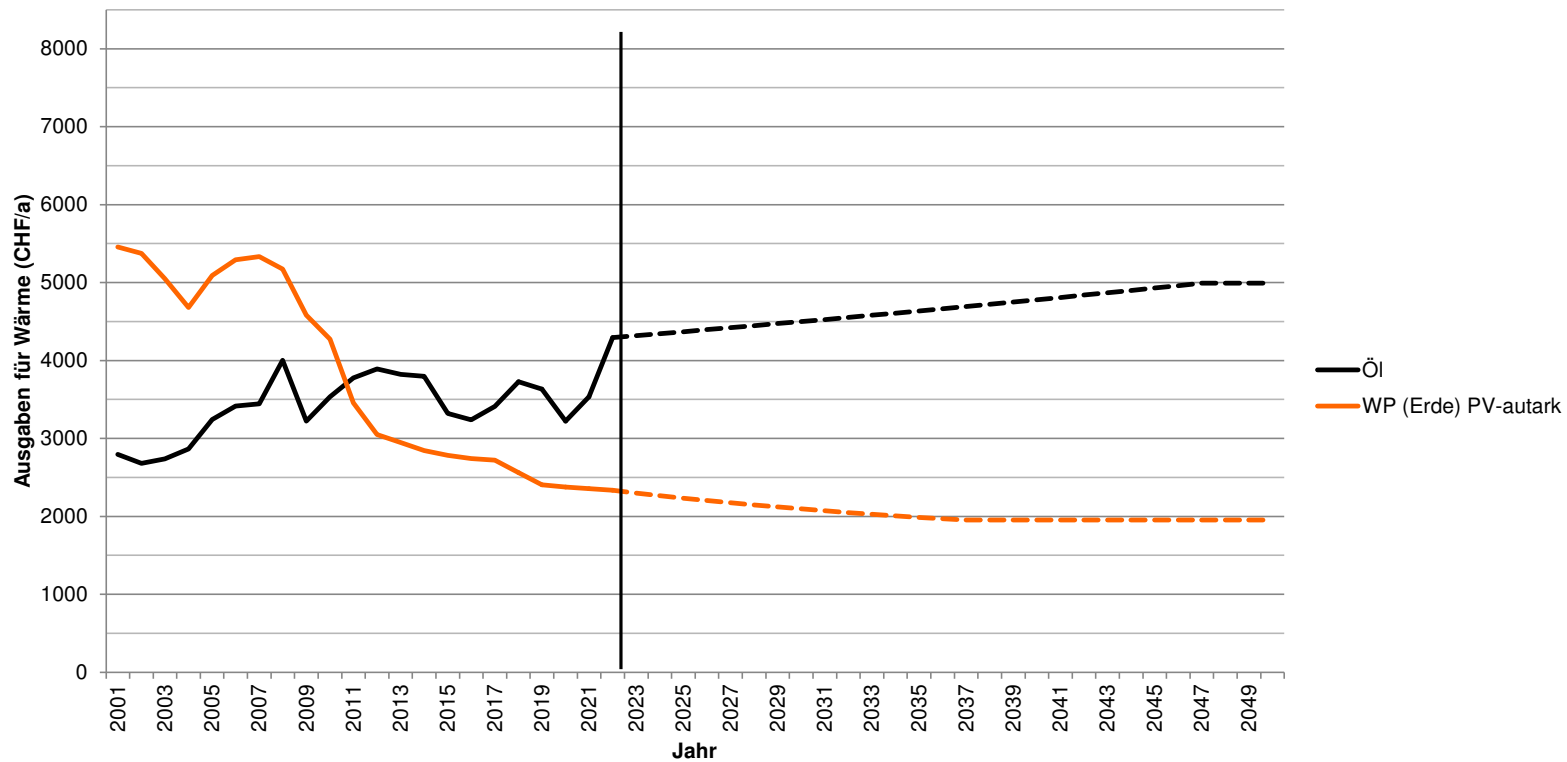
- 1. Wie heizen wir in Zukunft?**
2. Wie bewegen wir uns in Zukunft?
3. Wie viel Strom werden wir benötigen?
4. Wie wird der Strom produziert?
5. Was kostet das Ganze?
6. Wie sieht die Energiezukunft der Welt aus?

## Wärme

- Verbesserung der Wärmedämmung von 22 l (1970) auf 3.6 l Öl pro m<sup>2</sup> & 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



## Was können wir kurzfristig tun, um Heizenergie zu sparen

- **Korrekte Einstellung der Zentralheizungen spart 10% der Energie (ohne Komforteinbuße)**
- **Korrekte Zeit der Zentralheizung**
- **Heizkurve**
- **Warmwassertemperatur (Vorsicht: Legionellen)**
- **Heizkreis entlüften**
- **Prüfen der Regelventile bei den Radiatoren**
- **Luftzirkulation Radiatoren**
- **Temperaturreduktion von ungenutzten Räumen**
- **Aufwand: ~ 1h/Liegenschaft; 2 Mio Liegenschaften**

## «Milchbüchleinrechnung» für Hauseigentümer

- **Mehrfamilienhaus mit 20 Wohnungen;** 100 m<sup>2</sup> pro Wohnung  
Mittlere Isolation (10l Öl pro m<sup>2</sup> & a); Radiator Heizung; 400 m<sup>2</sup> Dachfläche
- **Heiz-Nebenkosten heute mit Ölheizung: 49 kCHF/a**
- **Investitionen Wärmepumpe: 330 kCHF;** Erdsonde; CP = 4
- **Heizkosten mit Wärmepumpe: 25 kCHF/a;** Stromkosten: 20 Rp./kWh
- **Kapitalrendite: 7.3%;** Gewinn: 24 kCHF/a
  
- **PV-Anlage: 80 kWp;** 200 Module; 400 Wp/ Modul
- **Jahresertrag: 64'000 kWh;** 800h
- **Investitionen PV: 80 kCHF;** 1 kCHF/ kWp
- **Kapitalrendite: 11%;** Gewinn: 64'000 x 0.14 CHF/ kWh → 9 kCHF/a

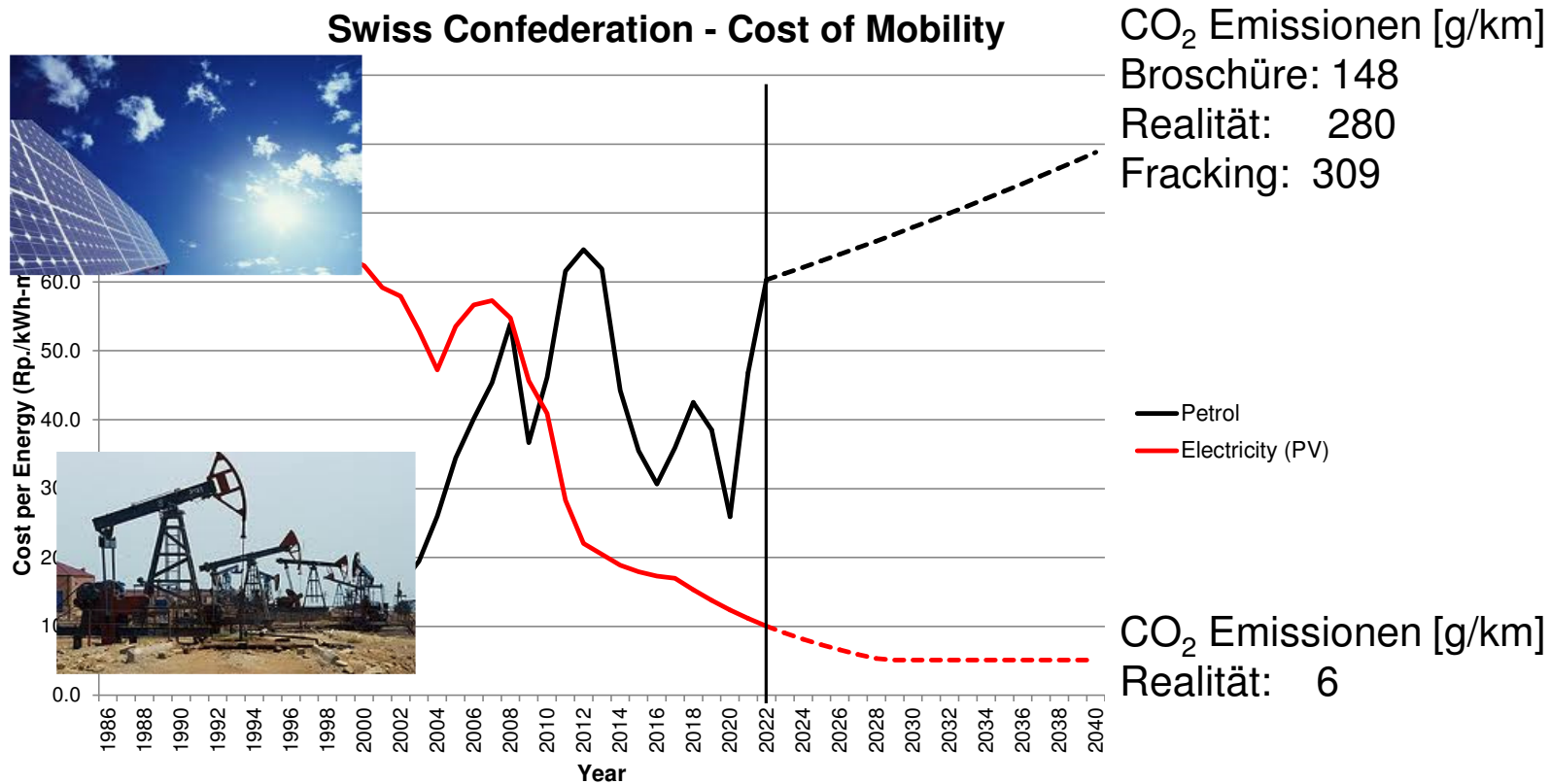
## Wärme: Was kann ich tun?

- **Neubau**
  - Minergie 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
- **Vermietung**
  - Von Nettomiete zu Bruttomiete
- **VermieterIn verkauft Energie (Strom, Wärme, ...)**

# **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?

# Energie Kosten: Öl versus Elektrisch/Solar



## Fahren mit Strom ist hocheffizient



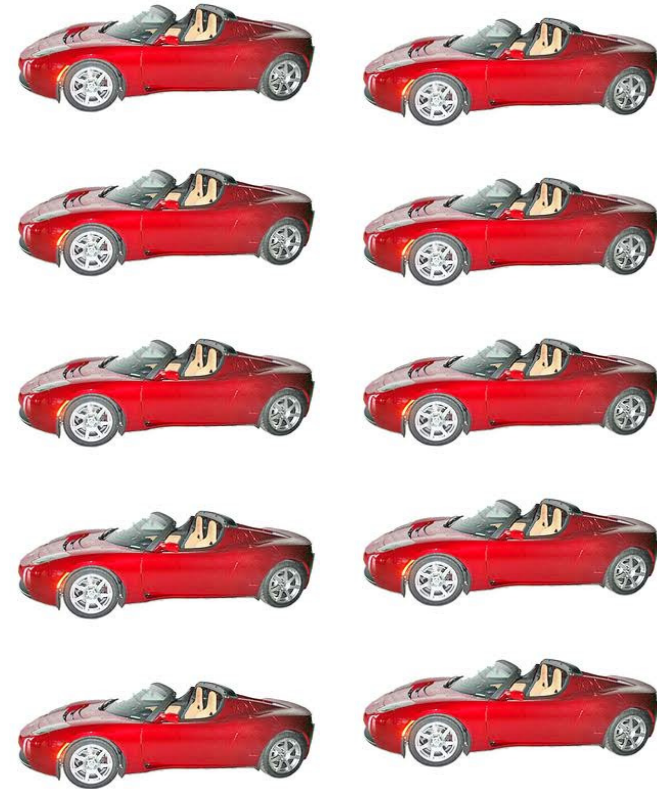
		Tesla	Porsche
Typ		Roadster Sport	911 Carrera S
Leistung	[PS]	300	350
	[kW]	225	260
0 auf 100 km/h	[s]	3.7	4.8
Verbrauch	[kWh/100 km]	14	110
	[l/100km]	1.6	12

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

## Wo kommt der Strom für die Elektromobilität her?



- 133 m<sup>2</sup>, 21 kWp
- 1100 h Sonne/Jahr
- 23'100 kWh/a
- **Wie viele Elektromobile können damit versorgt werden?**



# **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?

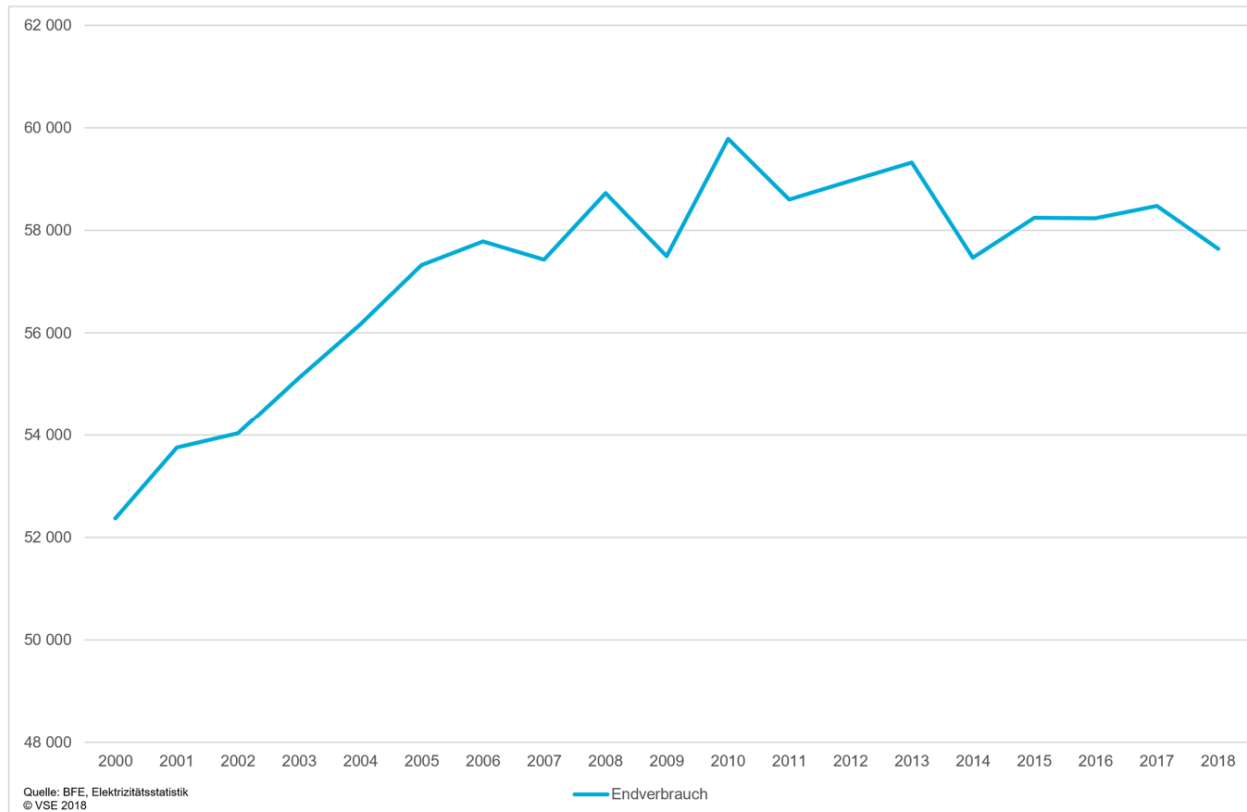
## Wie viel Strom werden wir 2035 benötigen?

- **Elektrizitätsverbrauch heute:** ~ 60 TWh/a
- **Fossiler Energieverbrauch CH für Wärme heute:** ~ 58 TWh/a  
(27 TWh Öl, 31 TWh Gas)
- **Reduktion dank Wärmedämmung & Wärmepumpe: Faktor 10** ~ 6 TWh/a
- **Fossiler Energieverbrauch CH Mobilität heute:** ~ 64 TWh
- **Reduktion Gewicht: Faktor 2; Reduktion durch Verhalten: Faktor 2;  
Reduktion durch Technologie: Faktor 6** ~ 4 TWh/a

## Stromverbrauch 2035

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

## Stromverbrauch CH



- **Verbrauch: Fast konstant über die letzten 10 Jahre**
- **Produktion heute: ~ 32% AKW (~ 20 TWh/a)**
- **Produktion morgen?**

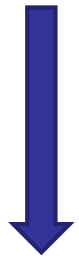
## **Kraftwerk Schweiz: So gelingt die Energiewende**

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:  
Photovoltaik (PV)  
60 ct/kWh



Heute:  
< 5 ct/kWh



«Das schaffen wir...»



Vor 15 Jahren:  
Öl  
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 (PV):

- 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



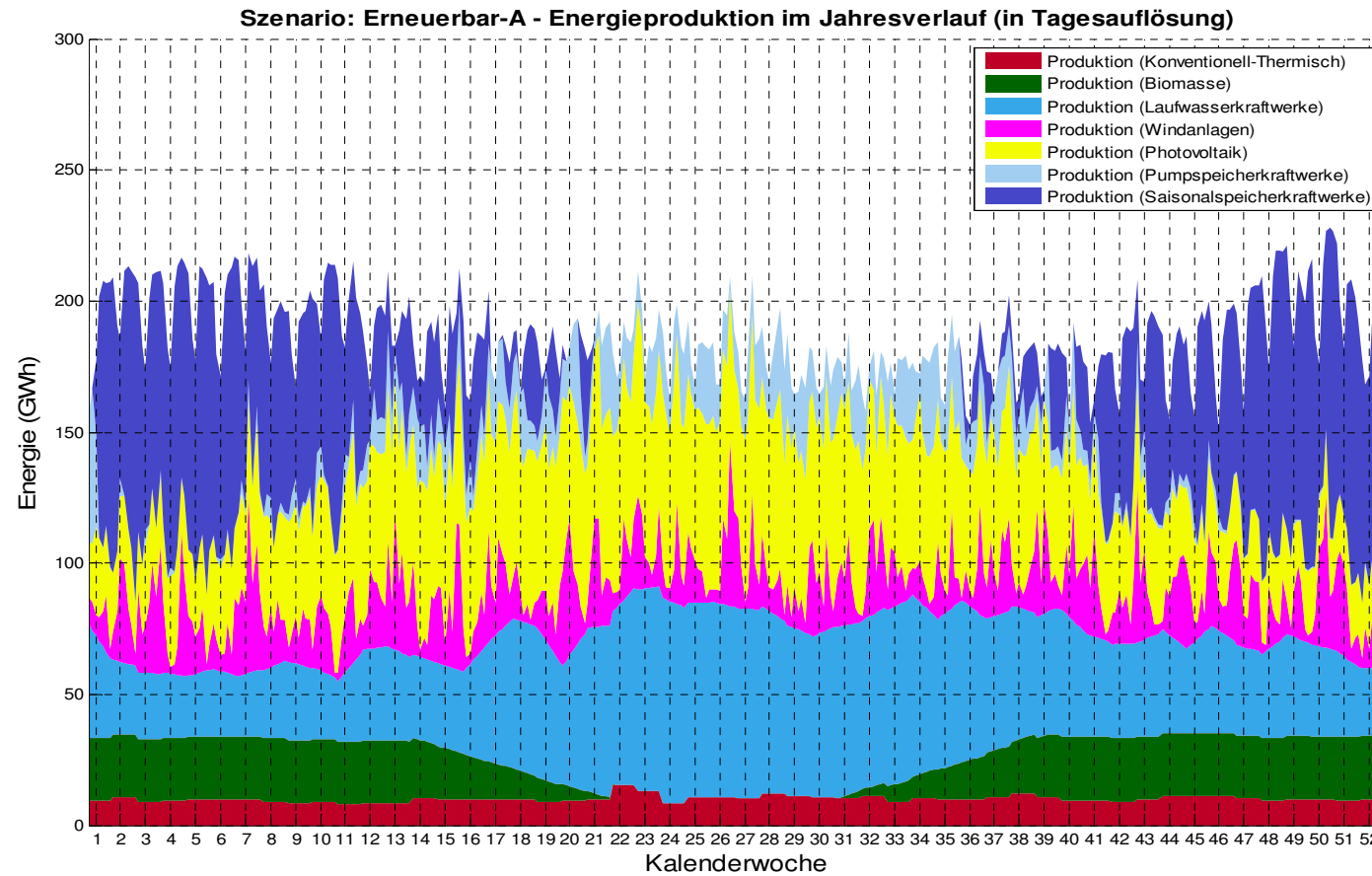
## Ist Kernenergie eine Alternative?

- 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
- **Stand Juni 2022: nach Problemen mit Fremdmaterial in der Turbine soll der Reaktor bis Ende Juli 2022 repariert werden, bis Dezember 2022 im Testbetrieb laufen und anschließend den kommerziellen Betrieb aufnehmen**
- **Aktie von Areva: 90% an Wert verloren**
- **Kosten Kernenergie: Früher 2 ct/kWh; heute 30 ct/kWh (Hinkle Point C UK)**
- **Versicherung: 16.7 ct/kWh (Berechnet nach realen Daten der AKW's)**

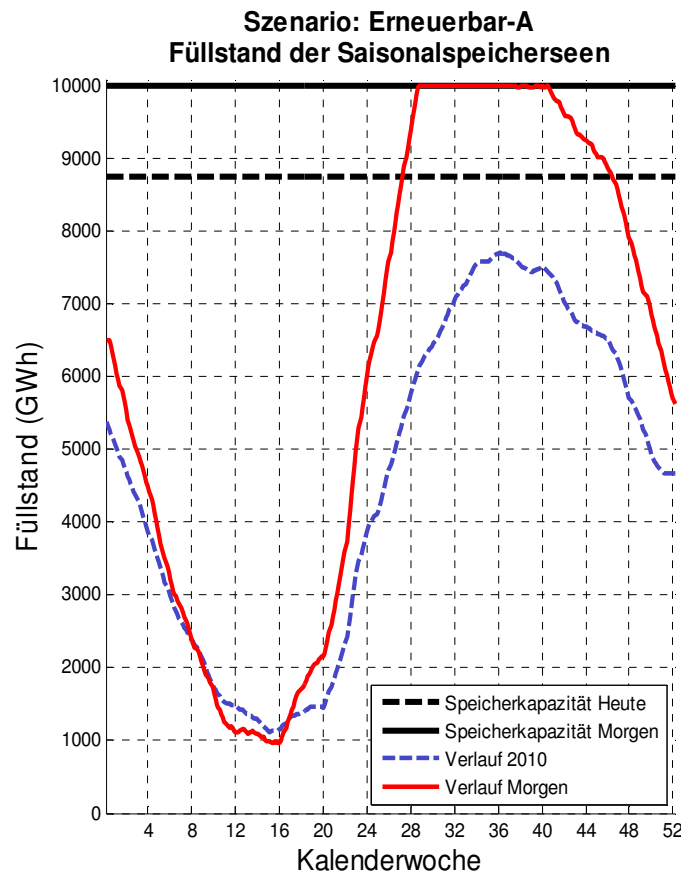
## Ist es möglich, Kernenergie durch PV, Wind und Biomasse zu ersetzen?

- Untersuchung mit Simulation
- Elektrizität Erzeugung, Transport (Netz) und Verbrauch; **Füllstand Speicherseen (kritischer Faktor), Energie Jahresbilanz**
- Zeitauflösung 15', Simulation eines Jahres
- Netzbelastung, Stabilität, Sensitivität, Kostenrechnung
- Bestehendes System als Referenz
- Simulation Schweiz: 72 Wetterszenarien (8 Wasser, 3 Sonne, 3 Wind) über 100 Modellrechnungen
- Simulation EU & USA: 1 typisches Wetterszenario, rund ein Dutzend Modellrechnungen
- **Ergebnis: Bei korrekter Dimensionierung ist die Lösung «100% erneuerbare Energie» für die Schweiz möglich; dies ist auch die kostengünstigste Lösung**  
→ **Buch Kraftwerk Schweiz**

# Solar, Wind und Biomasse: Jahresverlauf der Energie



# Füllstand der Speicherseen (Solar, Wind und Biomasse)



KVA:	3.7 TWh
Laufwasser:	16.6 TWh
Speicherseer	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:	0.3TWh

Kosten

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

## **Bemerkungen zu Vorschlag Gunzinger**

**Wind: 7 TWh/a**

**Windräder sind wichtig! Wind bläst auch in der Nacht und vor allem im Winter...**

- **Installation real CH: 75 MW → 0.2 TWh/a**
- **Installation Österreich: 3000 MW → 7.5 TWh/a**

**Weshalb ist Österreich bezüglich Wind so viel besser als die Schweiz?**

**Weg der Schweiz: Solar (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)

	<b>WWB</b>
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 <sub>2</sub> -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?**

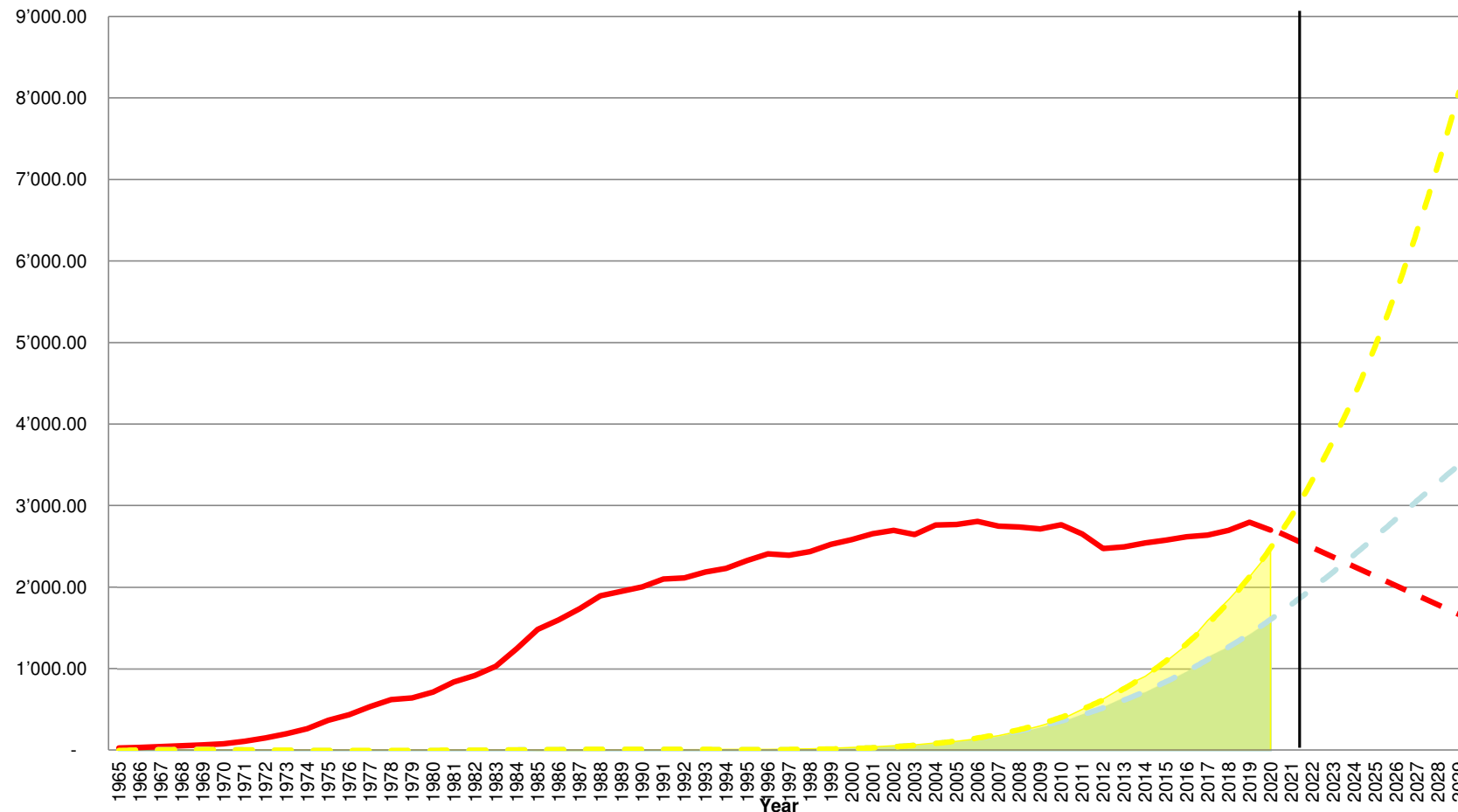
## Was macht die Welt?

- **Zubau neuer erneuerbarer Energie weltweit 2020  
(Grundlage BP Energy Outlook):**
- **Zubau 2020: ~ 358 TWh oder ~ 1 TWh / Tag  
Gösgen produziert ~ 8 TWh /a  
→ alle 8 Tage geht weltweit ein erneuerbares «Gösgen» ans Netz**
- **Wachstum 12.5 %/a (2009-19 : 15.9%/a)**

# BP Nuclear, Wind and Solar Energy Comparison

■ Wind Energy ■ Solar + Wind Energy — Nuclear Energy

[TWh]





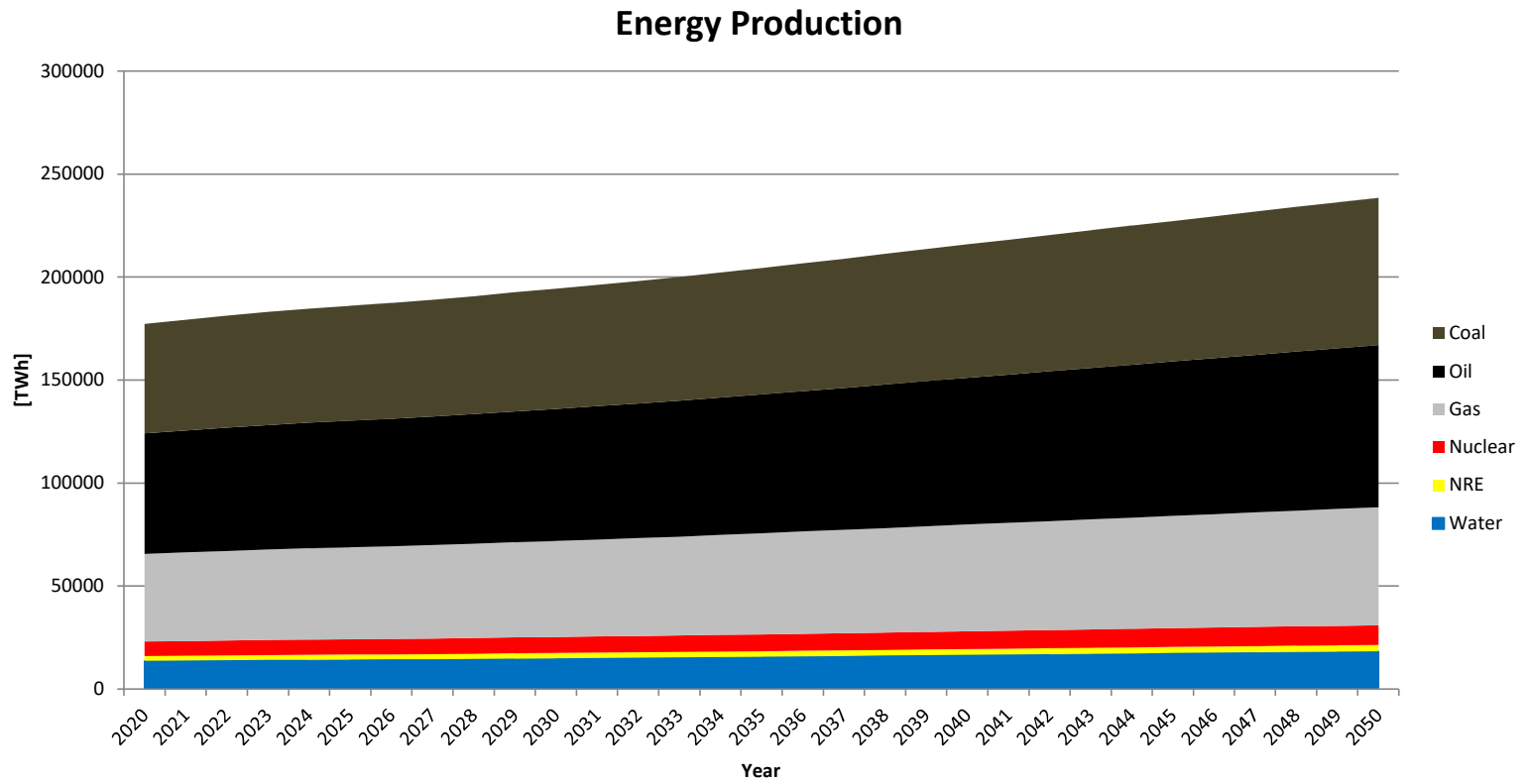
## **Bemerkungen zum Ausbau der NEE in der Schweiz**

- **Produktion Nuklear weltweit 2020: ~ 2700 TWh/a**
- **Soll-Anteil CH 1% (proportional zu BIP): 27 TWh/a**
- **Ist: 24 TWh/a**
  
- **Zunahme NEE weltweit 2020: 354 TWh/a**
- **Soll-Anteil CH 1% (proportional zu BIP): 3.5 TWh/a**
- **Ist: 0.5 TWh/a**
  
- **Weshalb steht die Schweiz bezüglich NEE so schlecht da?**

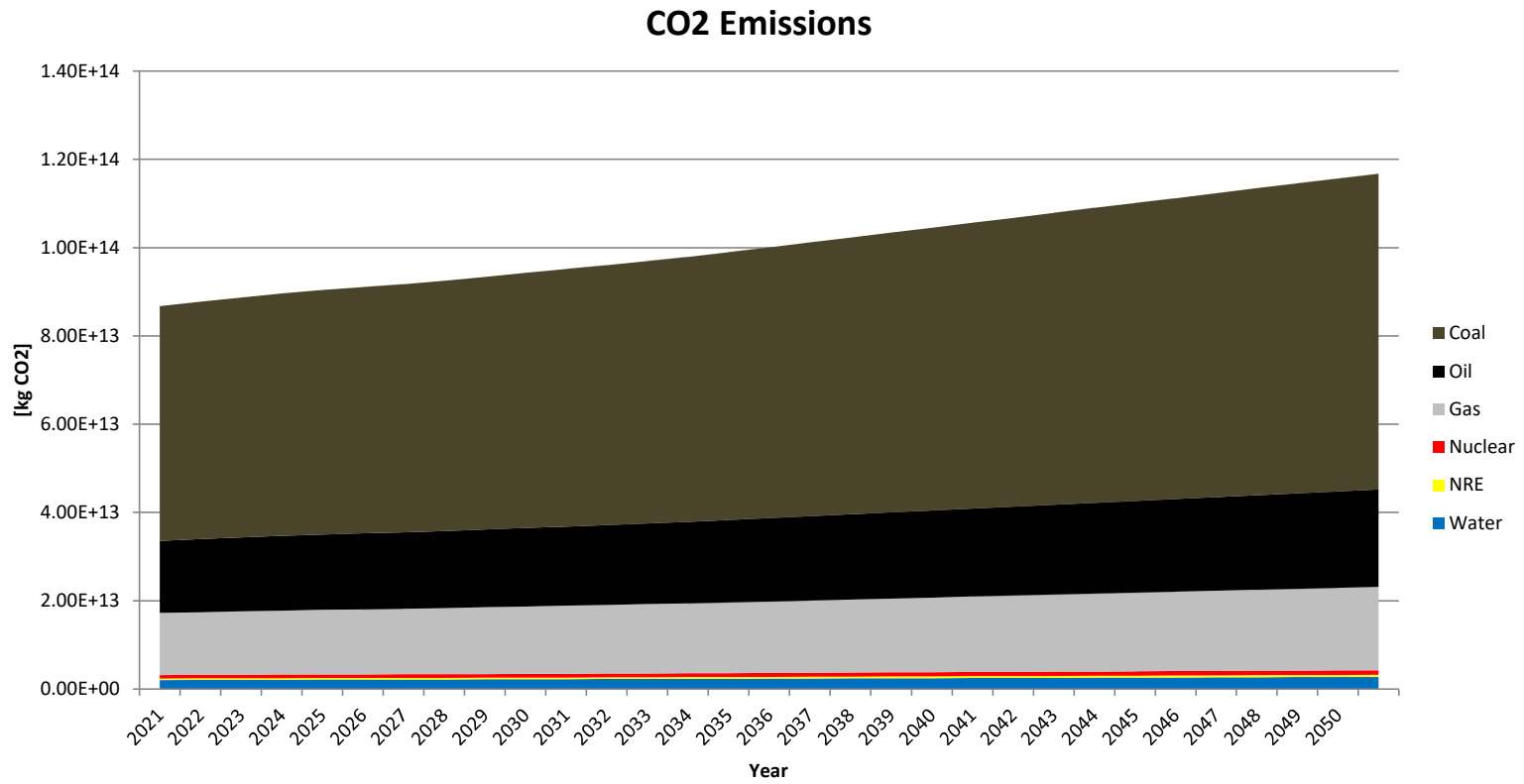
## Was ist weltweit möglich?

- Grundlage Energiebedarf Welt festgelegt durch Amerikanische Energiebehörde
- Ziel: Temperatur Anstieg maximal 2°C  
→ Maximaler Ausstoss CO<sub>2</sub> 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
  - Effizienzsteigerung durch Strom: Faktor 4
  - Je 5% Restmenge bei Öl und Gas
  - Preise NEE wie heute.
- Was geschieht?
- CO<sub>2</sub> Entwicklung?
- Kostenentwicklung?

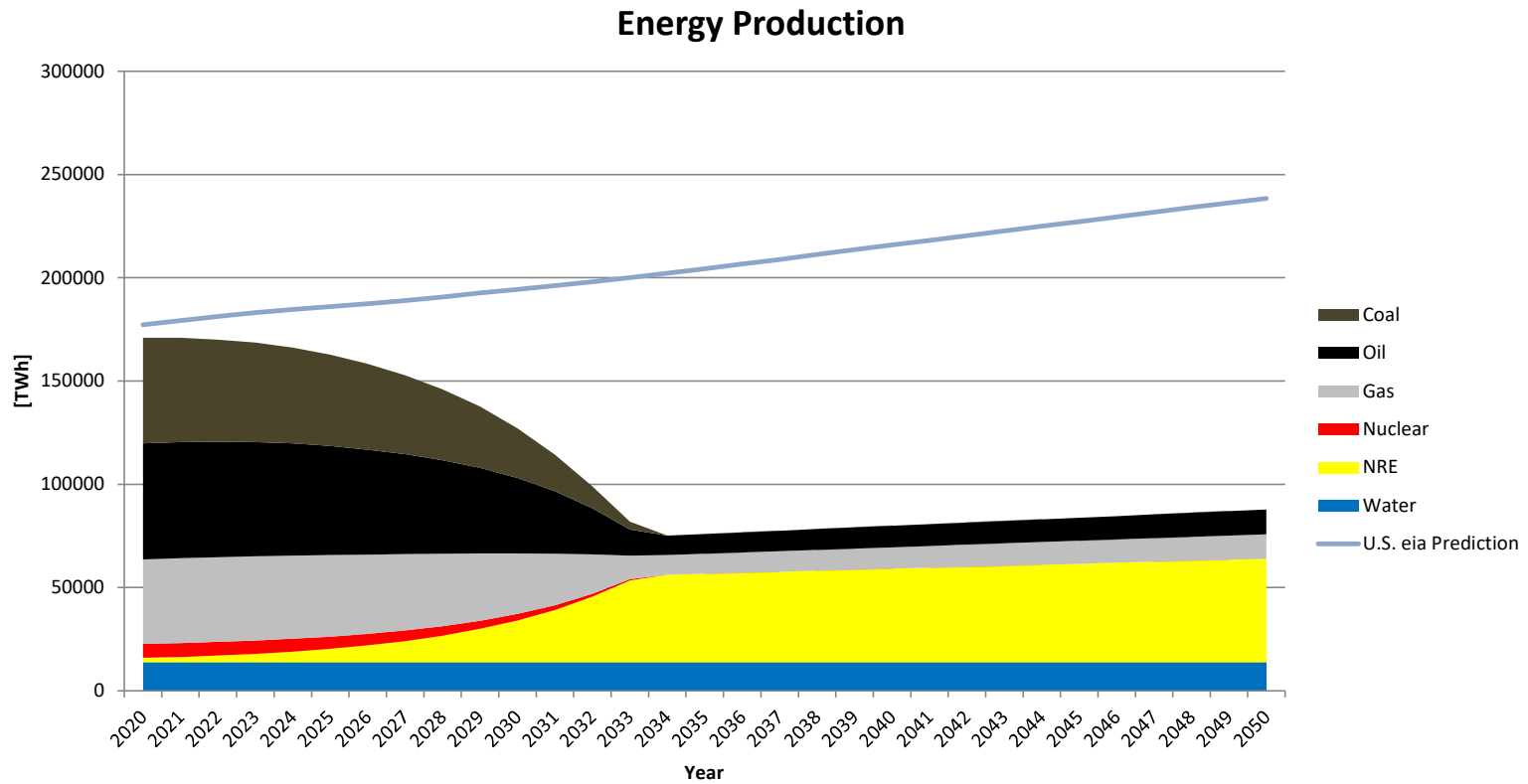
# Reference Scenario A: Energy Production



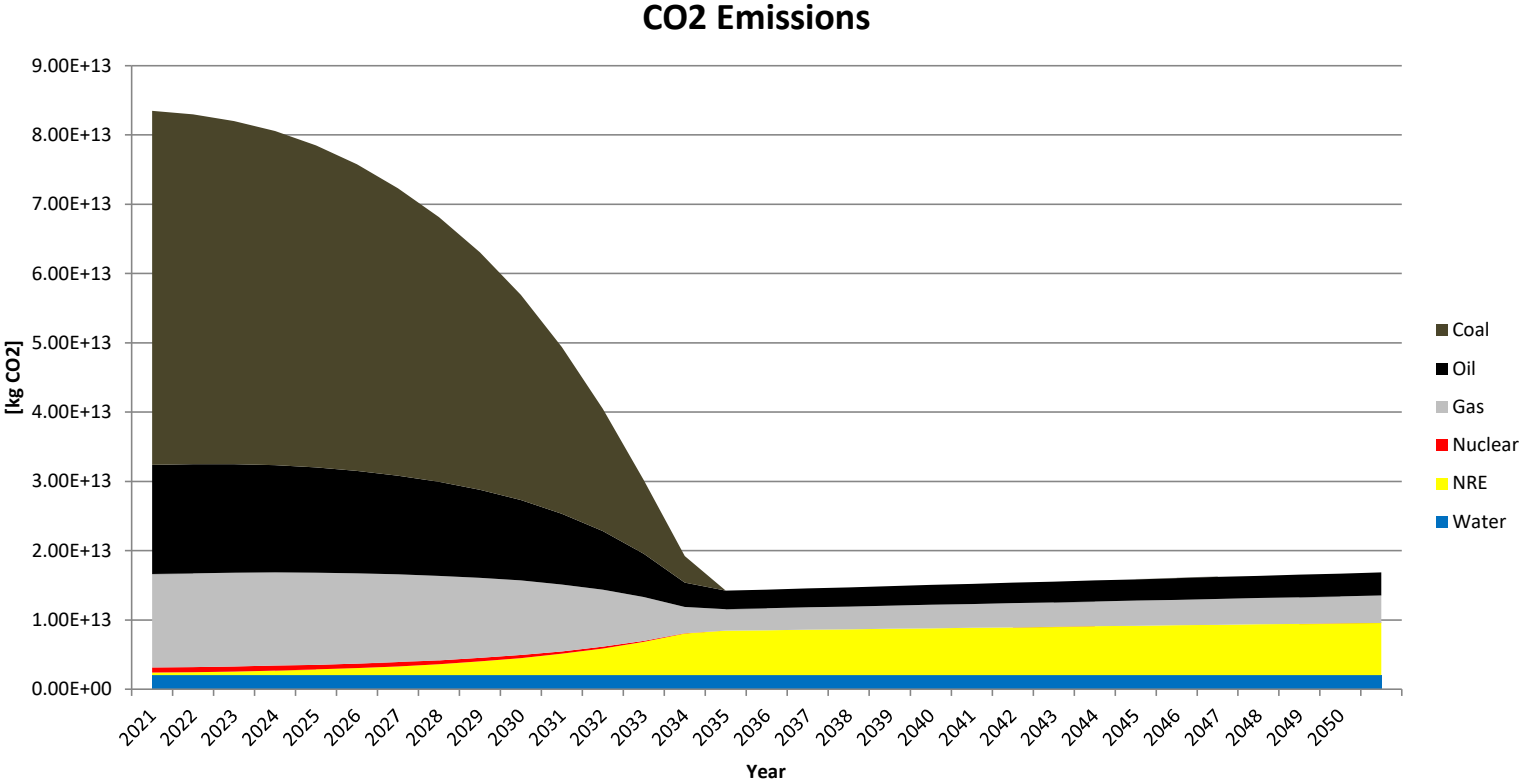
# Reference Scenario A: CO<sub>2</sub> Emissions



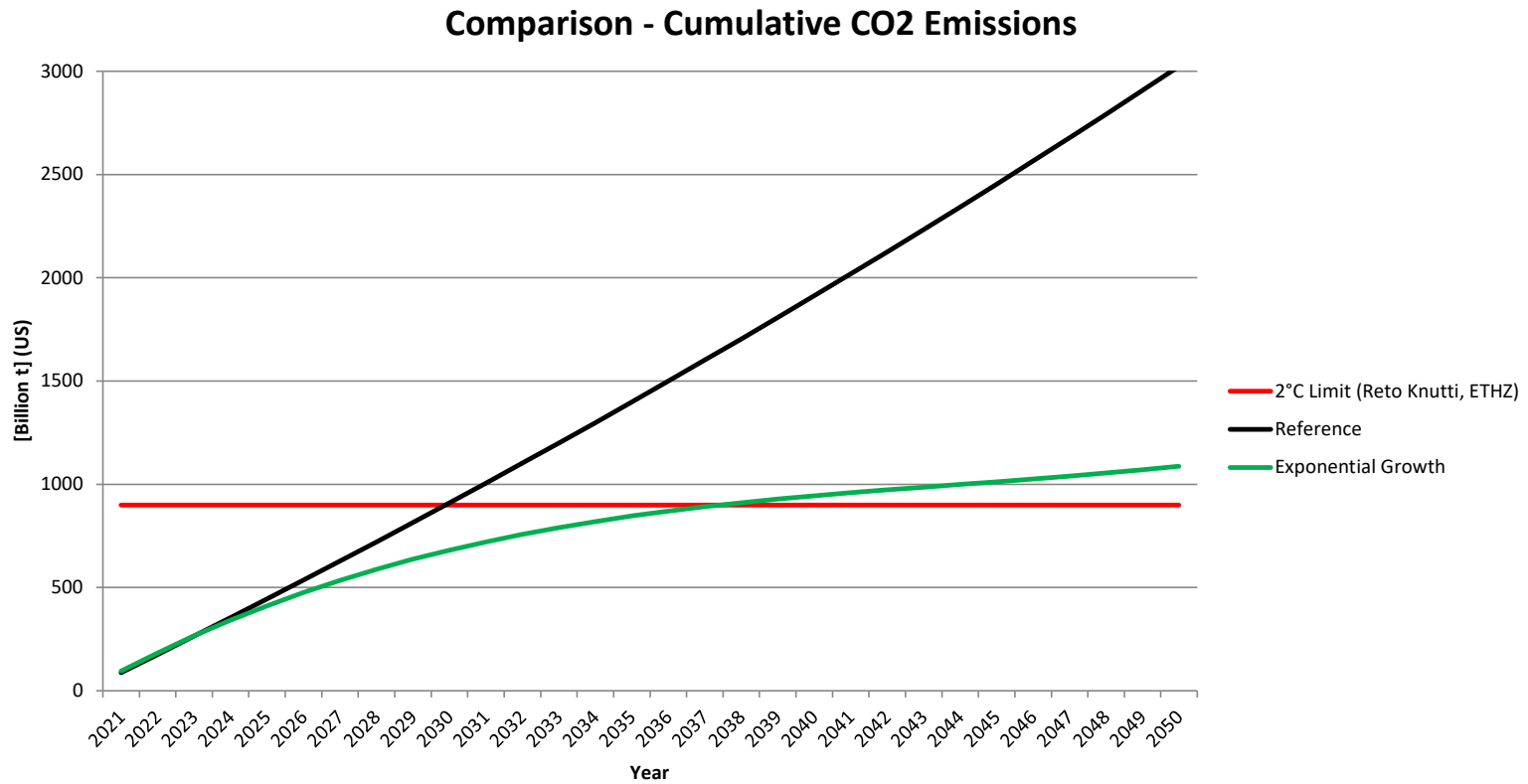
# Scenario B: NRE – Energy Production



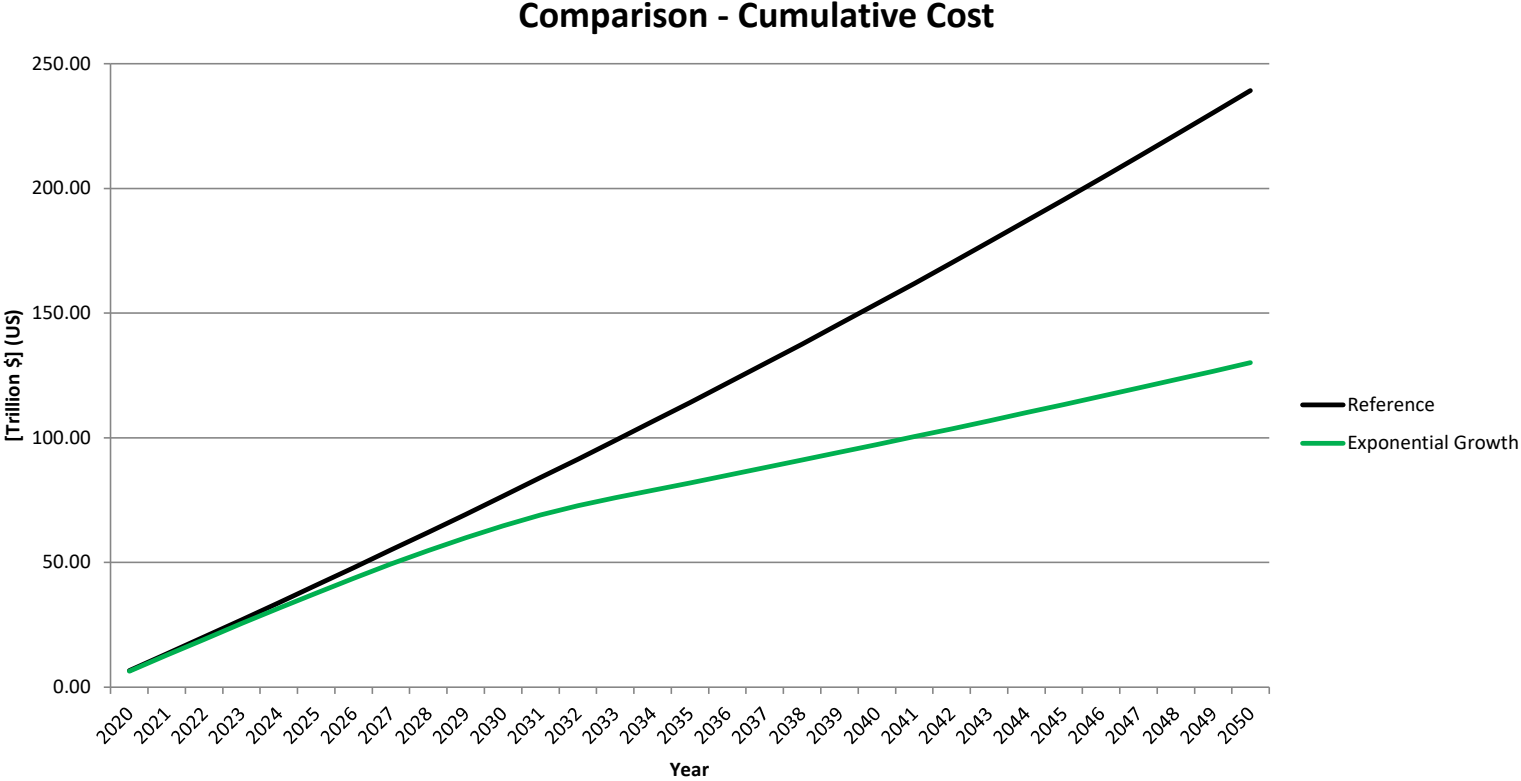
# Scenario B: NRE – CO<sub>2</sub> Emissions



# Comparison – Cumulative CO<sub>2</sub> Emissions



# Comparison – Cumulative Cost



## Welche Veränderungen kommen auf uns zu?

- Geht der weitere Ausbau der neuen Erneuerbaren so weiter wie bisher, so ist das Szenario maximale Erhöhung von 2°C 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 3-5% 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 elektrische Autos fahren: Unterhaltskosten halbieren sich – die europäische und amerikanische Autoindustrie ist schlecht vorbereitet.
- Es findet ein kompletter Machtumbau statt, lokal & global

## Die Schweiz in 5 Jahren...

- **Kosten Solarenergie CH:** **5.5 Rp./kWh**  
(1000 CHF/ kWp, 1000h/a, 1% Zins, 1% Unterhalt, 25 Jahre Amortisation)
- **Grenzkosten Solarenergie CH:** **1.0 Rp./kWh**  
(1000 CHF/ kWp, 1000h/a, 1% Zins, 1% Unterhalt, 25 Jahre Amortisation)
- **Kosten Batteriespeicherung:** **1.0 Rp./kWh**  
(100 CHF/ kWh, 5000 Zyklen, 50% der Energie wird gespeichert)
- **Kosten Öl CH:** **75 Rp./l**
- **Kosten Öl CH:** **7.5 Rp./kWh**
- **Kosten Gas aktuell (1.4.2022)** **22.1 Rp./kWh**
- **Kosten synthetisches Gas (CO<sub>2</sub>-frei) CH:** **11.0 Rp./kWh**
- **Achtung: elektrische Energie ist viel wertvoller als Öl-Energie (mindestens Faktor 4)**

## Die Welt in 5 Jahren...

- **Kosten Solarenergie Saudi Arabien:** **1.5 c/kWh**  
(500 \$/ kWp, 2000h/a, 1% Zins, 1% Unterhalt, 25 Jahre Amortisation)
- **Kosten Öl Saudi Arabien:** **31 c/l**  
(40 \$/ Barrel, 159 l/Barrel, 80% nutzbar)
- **Kosten Öl Saudi Arabien:** **3.1 c/kWh**
- **Kosten synthetisches Gas (CO<sub>2</sub>-frei):** **3.0 c /kWh**
- **Kosten Öl Weltmarkt aktuell (1.4.2022):** **9.4 c/kWh**  
(120 \$/ Barrel, 159 l/Barrel, 80% nutzbar)

## 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 eigenproduzierter Solarstrom
- **Höhere Lebensqualität**

Danke für Ihre Aufmerksamkeit

**Vision meets reality.**