

Kraftwerk Schweiz: Plädoyer für eine Energiewende mit Zukunft

Ein reales Spiel in 5 Akten

Anton Gunzinger

Unternehmer

gunzinger@scs.ch

www.scs.ch

Vision meets reality.

Supercomputing Systems AG
Technopark 1
8005 Zürich

Phone +41 43 456 16 00
Fax +41 43 456 16 10
www.scs.ch

SCS
super computing systems

Prolog

- Persönliche Sichtweise von Anton Gunzinger:
Bitte nicht verwechseln mit der Stellungnahme der ETH Zürich.
- Das Zahlenmaterial basiert auf öffentlich zugänglichen Daten mit zwei Ausnahmen:
 - 1) Wetterdaten: meteonorm
 - 2) Netzberechnungen: BKW, ewz und eigenen Messungen
- Simulationsprogramme erstellt von Mitarbeitenden der SCS auf Basis Matlab
- Inhalte verantwortet Anton Gunzinger.

1. Akt: Wo kommen wir her?

Meine Motivation

- Die Schweiz – ein materielles Paradies.
- Mein Wunsch: Unsere Nachfahren können auch gut leben.
- 2 massive Herausforderungen:
- Unser ökologischer Fussabdruck



- «Peak Oil»

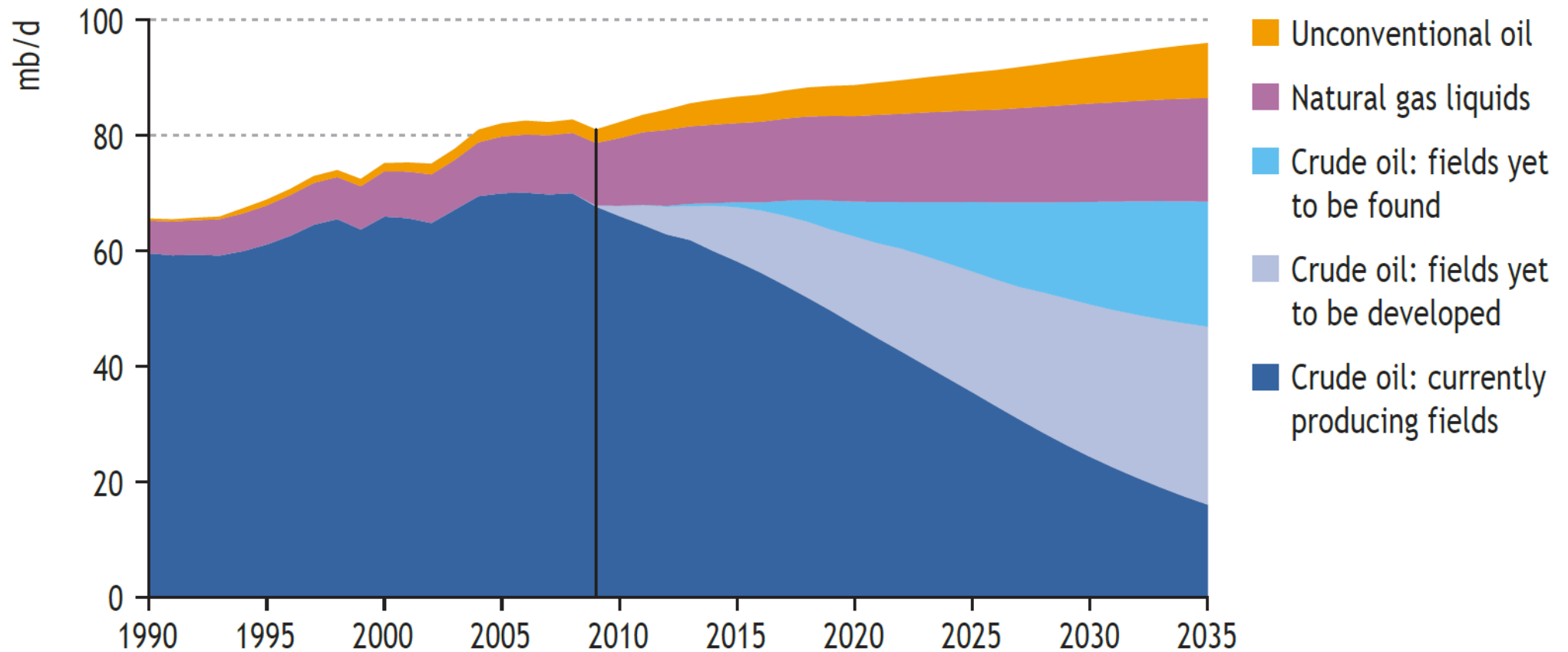
Fussabdruck: Lösungsansätze

- Weiter wie bisher:
Kleine auserwählte Elite kann so leben wie wir, der Rest der Welt muss in Armut leben.
- Reduktion der Weltbevölkerung um den Faktor 4.
- Reduktion unseres Fussabdruckes auf eine halbe Erde.
→ Aufgabe von uns Ingenieuren
- → Erneuerbare Energien
(nichterneuerbare Energie: 65% des ökologischen Fussabdruckes)



Voraussage Öl-Produktion nach IEA 2009

Figure 3.19 • World oil production by type in the New Policies Scenario

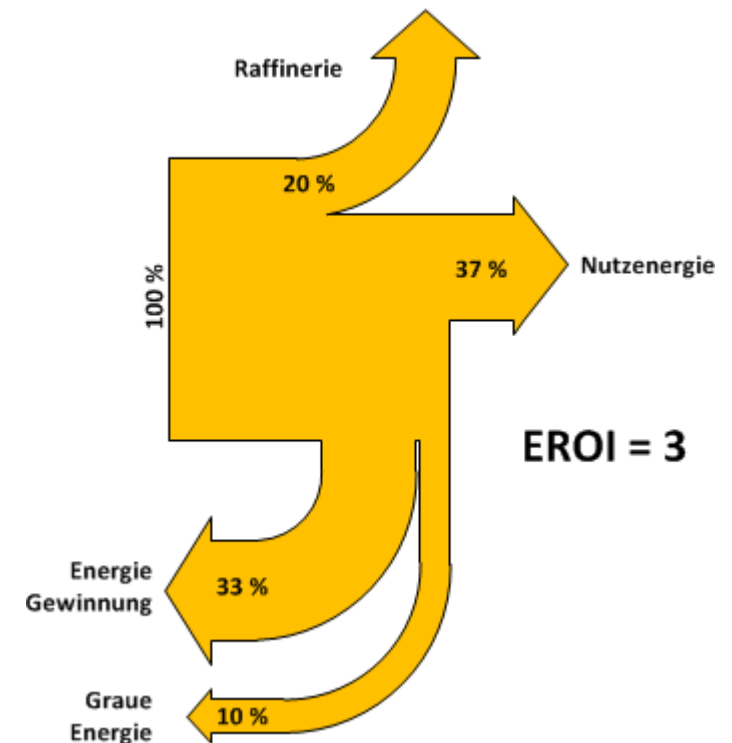


Wem gehört das Öl...?!

- Das Erdöl ist innerhalb von 100 bis 200 Millionen Jahren entstanden
- Weltweit wird ca. 88 Mio Fass Rohöl pro Tag gefördert
- Jeder Erdbewohner hat ca. 1.5 Liter / Tag zu gut:
- Genug für 10 km mit dem Off-Roader
- Oder 20 km mit dem CH-Durchschnittsauto
- Aber nur, wenn wir...
- ...immer kalt duschen
- ...auf Fleisch verzichten
- ...in ungeheizter Wohnung leben
- ...auf Flüge verzichten
- ...nur von regionalen und saisonalen Früchten und Gemüse leben
- ...nur unverpackte Ware und nicht «Take Away» einkaufen

EROI (Energy Return on Investment)

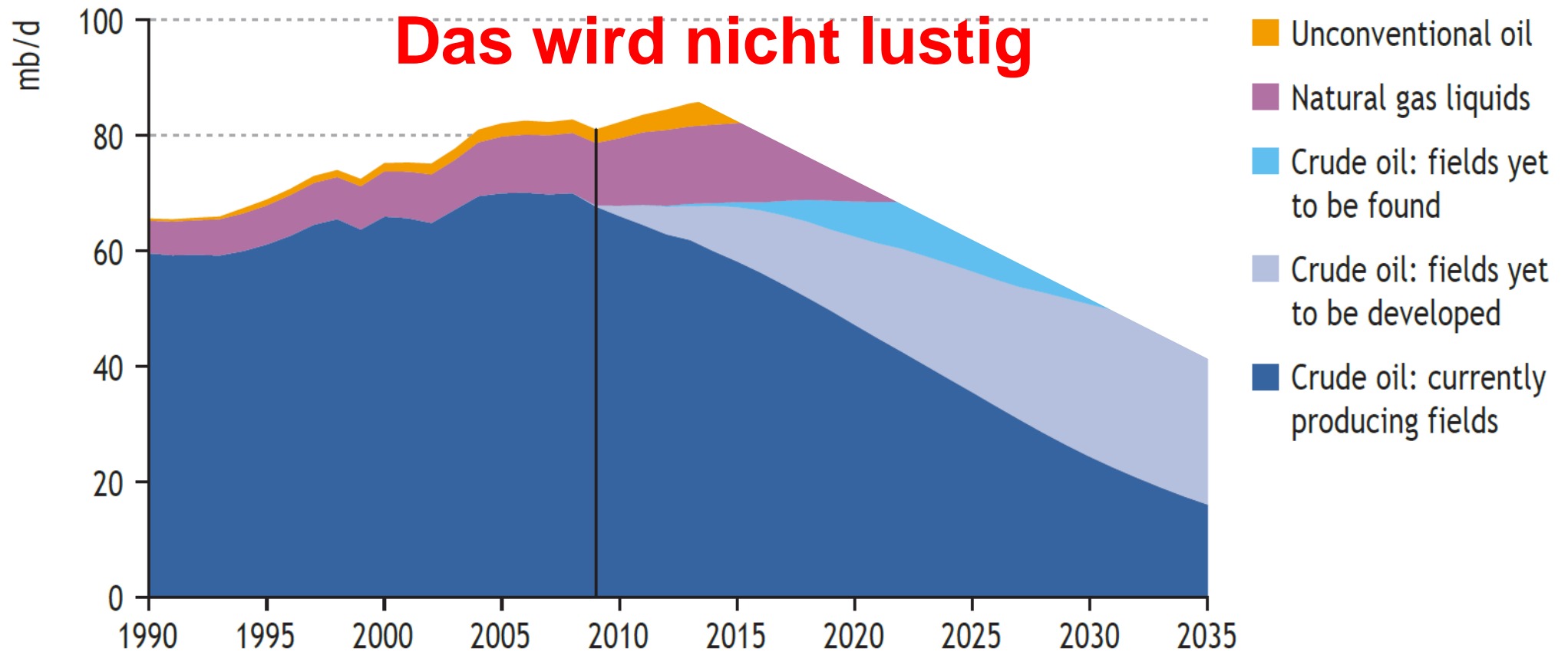
- Verhältnis der gewonnenen Energie zur eingesetzten Energie
- Konventionelles Erdöl (1930): 100 : 1
- Konventionelles Erdöl (1990): 43 : 1
- Konventionelles Erdöl (2005): 18 : 1
- «Off – Shore»: 10 : 1
- Fracking: 7 : 1 ... 5 : 1
- Rohes Schieferöl (2009): 2.1 : 1
- Bei einem EROI von 3 : 1 → nur 37% der Energie verfügbar, Umweltverschmutzung nicht eingerechnet
- Gewinnung: 120\$/b → VP: 360\$/b
- CO₂ Gehalt steigt auch um Faktor 3



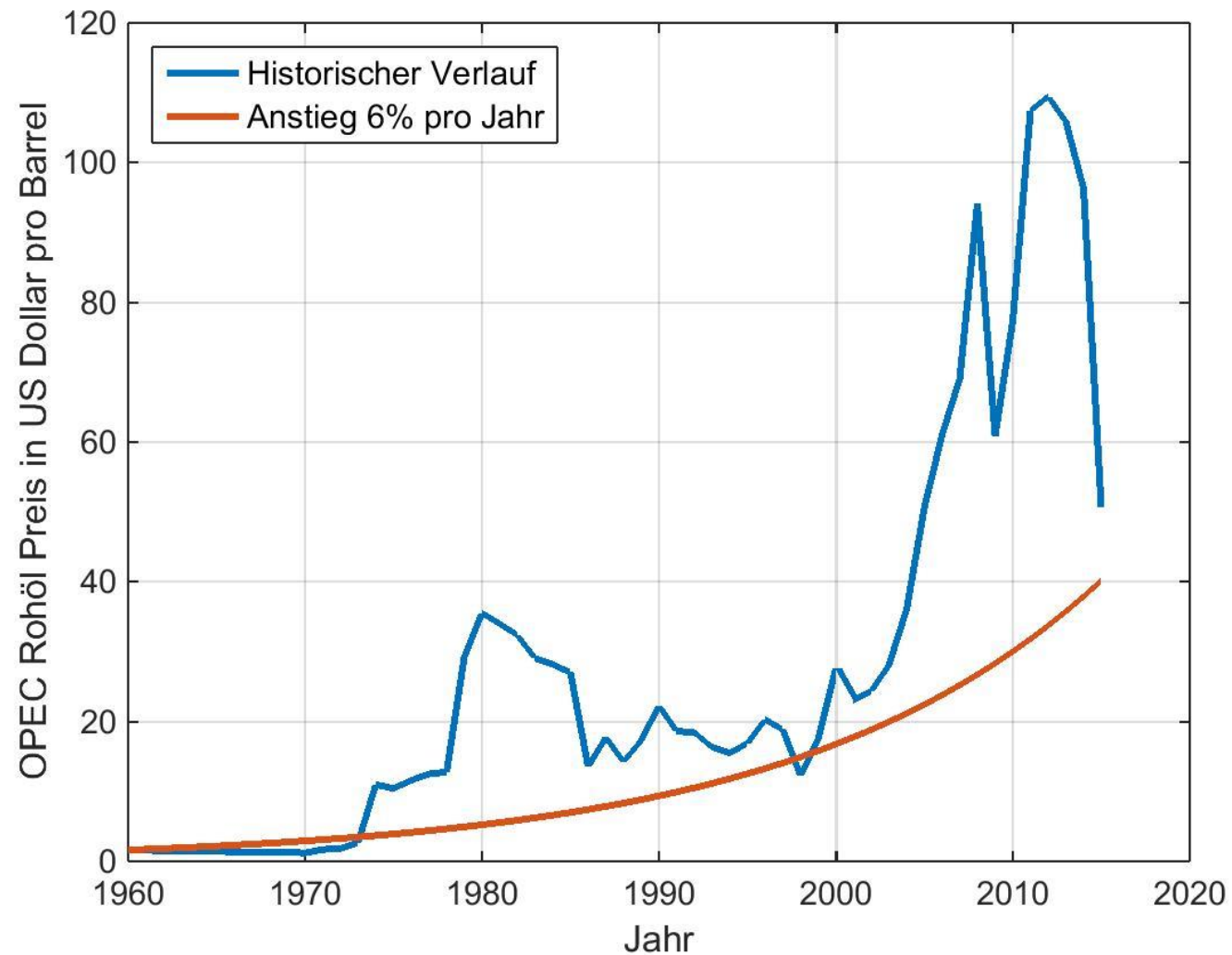
Voraussage Öl-Produktion nach IEA 2009

Wie die Realität aussehen könnte

Figure 3.19 • World oil production by type in the New Policies Scenario



Ölpreis



Ölpreis: Kostenzunahme 6%/a

Das wird nicht lustig

- Preisanstieg Öl 6% pro Jahr (ursprünglich 2\$/b; heute 50\$/b)
- Wachsender CO₂ – Ausstoss
- Grosse Umweltschäden (Fracking, Ölsand)
- Weltweite Ausgaben für Öl ca. 3600 Mia \$/a (bei 100\$/b); USA ca. 1000 Mia \$/a
- Weltweite Subventionen 540 bis 900 Mia\$/a (50% Gewinnung, 50% Produkt)
- Der Ölpreis wird politisch gemacht und wir sind extrem abhängig (+/- 10 Mia CHF/a für die Schweiz)
- In jeder kcal Nahrung stecken ~ 10 kcal Öl
- Sterben in den nächsten 20 Jahren 2 Mia Menschen? (Vergleich 2. Weltkrieg: ~ 100 Mio Tote)
- Wir sind süchtig nach Öl → Ressourcenkriege
- Riesige Völkerwanderungen
- Der Umbau ist schon im Gange.

2. Akt: Wärme

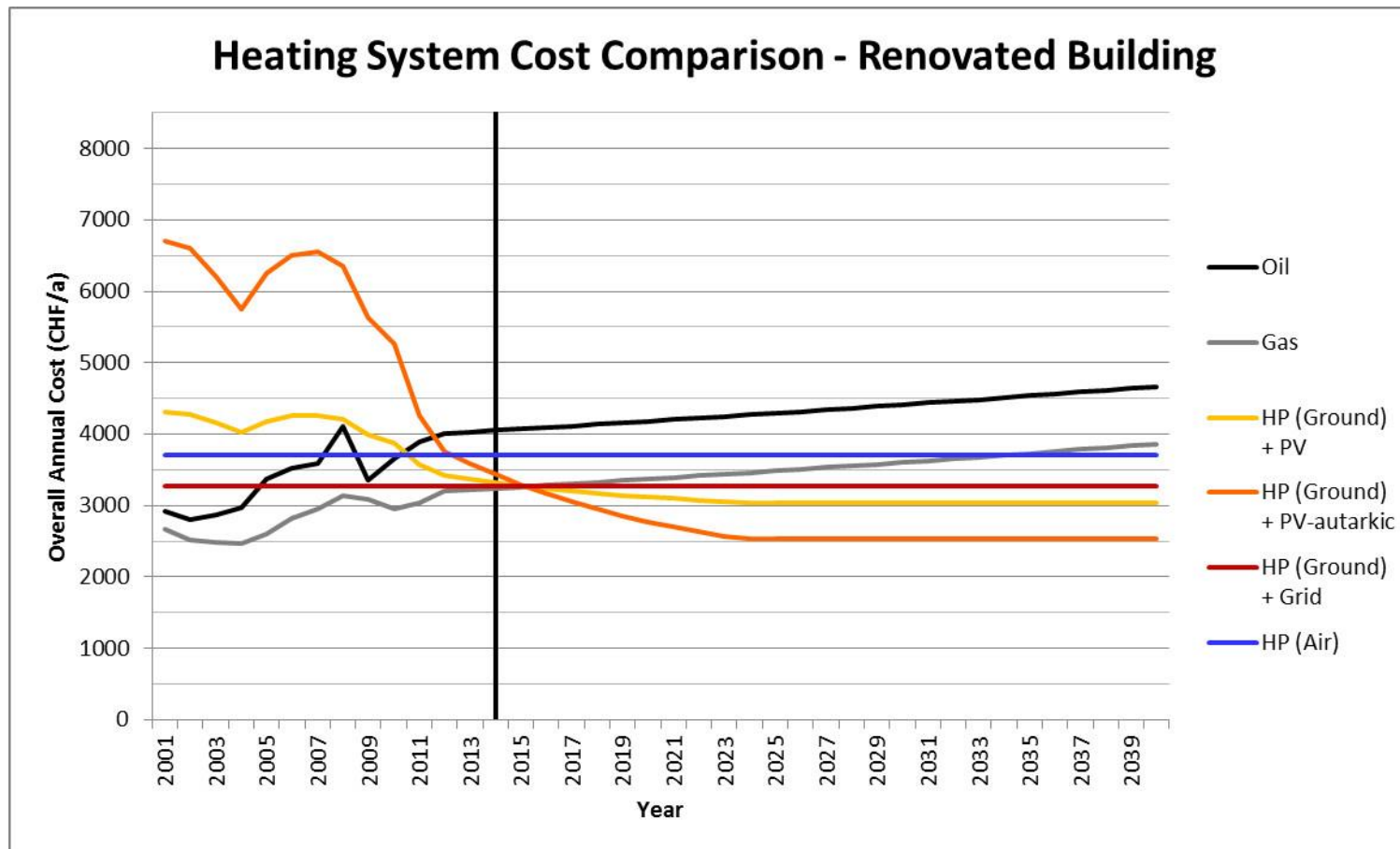
Wärme

Hier macht die Schweiz gute Arbeit

- Bauvorschriften für Isolation
1970: 22 l Öl /m² & Jahr
2010: 3.8 l Öl /m² & Jahr
→ Gewinn: Faktor 4 – 6 zu vergleichbaren Kosten
- Wärmepumpe
→ Gewinn: Faktor 3 – 6



Wärmeproduktion: Heizen mit Öl ist am teuersten



- Heizkosten (Vollkostenrechnung) für ein durchschnittliches Schweizer Einfamilienhaus (10 l Öl /m² & Jahr, 160 m²)
- Heute ist heizen mit Öl am teuersten (und verursacht am meisten CO₂)
- Wärmepumpe & Solar (PV) ist die zukünftige «low cost» Lösung

Wärme

Hier macht die Schweiz gute Arbeit

- Verbrauch Wärme heute: 94 TWh/a (Gas und Öl)
- Mittlere Verbesserung mit Isolation und Wärmepumpe: Faktor 16
 - Die Schweiz macht sehr gute Arbeit
 - Sie beweist, dass bei drastischer Energiereduktion eine Verbesserung des Komforts möglich ist
 - Würde die ganze Schweiz so umgebaut, wird nur 6 TWh/a zusätzlich Strom benötigt
- Renovationsrate heute: 1.1 %/a + Erneuerung von alten Häusern in urbanen Gegenden (→ 70 Jahre)
- Energiestrategie 2050: Renovationsrate 2%/a (→ 35 Jahre)
- Wünschenswert: Renovationsrate 4%/a (→ 20 Jahre)

3. Akt: Mobilität

Grundlage: Faire Vollkostenrechnung

- Stromnetz:
Neuwert: ~ 60 Mia CHF
Kosten pro Jahr: ~ 4.5 Mia CHF (2 Mia CHF Amortisation/ 2.5 Mia CHF Unterhalt)
- Strassennetz:
Kommunale Strassen : ~ 80'000 km; Neuwert: ~ 600 Mia CHF
Kosten pro Jahr: ~ 45 Mia CHF (Unterhalt, eher zu tief)
- Offizielle Strassenrechnung: Kosten Total 8.7 Mia CHF pro Jahr
- Automobilität müsste 4 – 5 mal teurer sein als heute (→ 6.42 CHF /l + Brennstoffkosten)
- Die Schweizer zahlen lieber hohe Steuern als einen angebrachten Benzinpreis...
- Automobilität ist der grösste Flächenverbraucher der Schweiz (1200 km² versus etwa 400 km² für den Rest)

Verhaltensänderungen (Suffizienz)

Vorbemerkung: 1960: \emptyset Fahrzeuggewicht 700 kg, \emptyset Fahrzeugbelegung 2.4 Personen
2010: \emptyset Fahrzeuggewicht 1400 kg, \emptyset Fahrzeugbelegung 1.3 Personen
Wir bewegen rund 4 mal mehr Masse \rightarrow 4 mal höherer Energieverbrauch

Ein fairer Benzinpreis (>CHF 10/l) führt zu Änderungen im Mobilitätsverhalten:

1. Verzicht auf unnötige Fahrten
Einsparungspotential: 10% - 20% \rightarrow \emptyset 15%
2. Substitution: Kurzstrecken zu Fuss oder mit (Elektro-)Fahrrad (rund 35% der Fahrten < 1km, rund 35% der Fahrten < 5km) Einsparungspotential: 10%
3. Erhöhung Fahrzeugbelegung von 1.3 Personen/Fahrzeug auf 1.5 Personen/Fahrzeug. Einsparungspotential: 13%
4. Reduktion Gewicht von \emptyset 1400 kg auf \emptyset 1000 kg \rightarrow Einsparungspotential: 28%

Verbleibende Mobilität dank Verhaltensänderung:

$85\% \cdot 90\% \cdot 87\% \cdot 72\% = 48\%$

\rightarrow Reduktion Automobilverkehr gegenüber heute auf: 48% oder Faktor 2 (weniger Staus)

Energie Kosten: Öl versus Elektrisch/Solar

Well to wheel



Oil market price

Wheel to road

PV System cost (IEA)

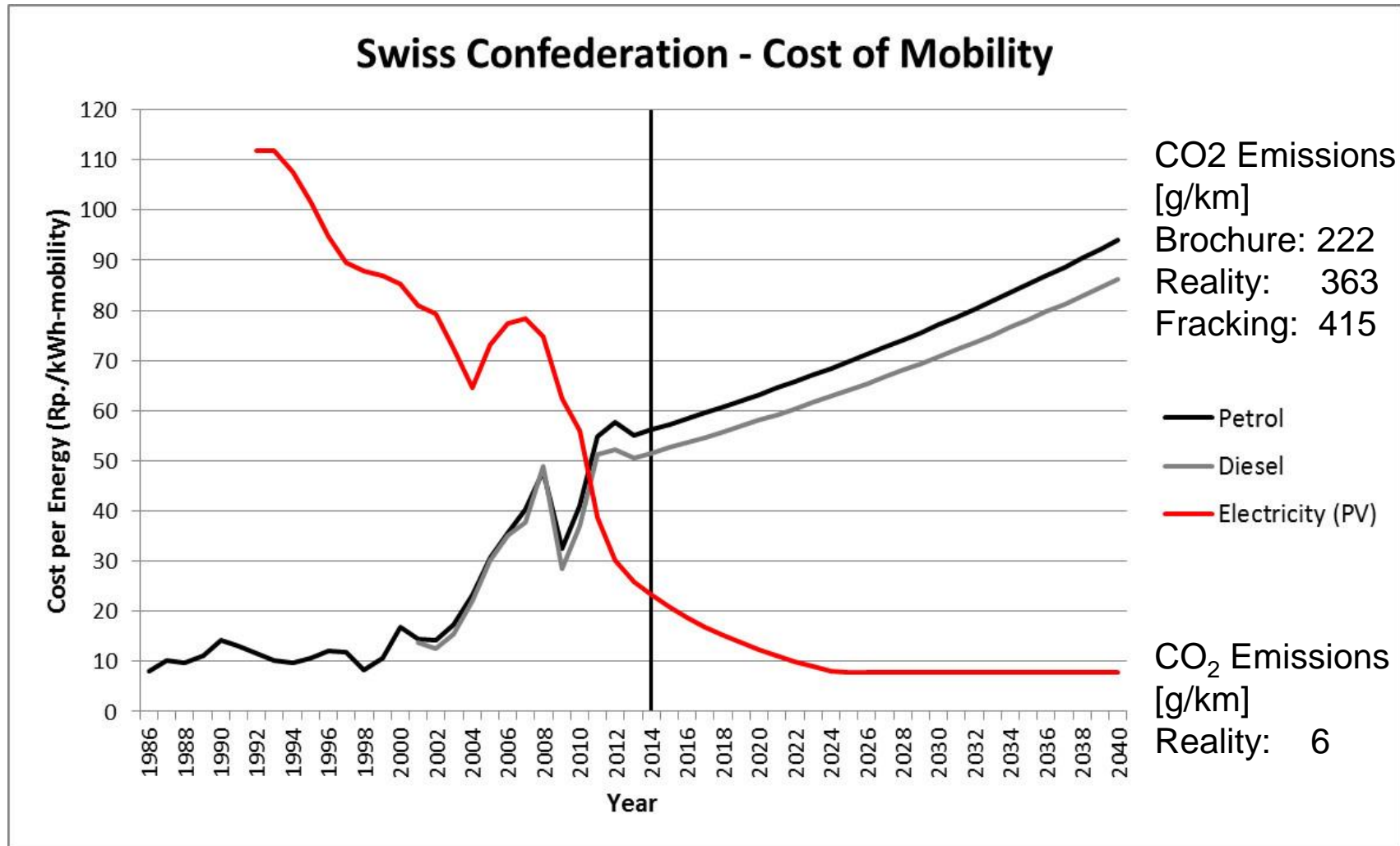


Wheel to road



super computing systems

Mobilität: Heute ist fahren mit Strom billiger als mit Öl



Werden die reinen Energiekosten betrachtet, so ist heute Solarenergie (PV) günstiger als Öl und produziert 60 mal weniger CO₂

Mobilität: Heute ist fahren mit Strom billiger als mit Öl

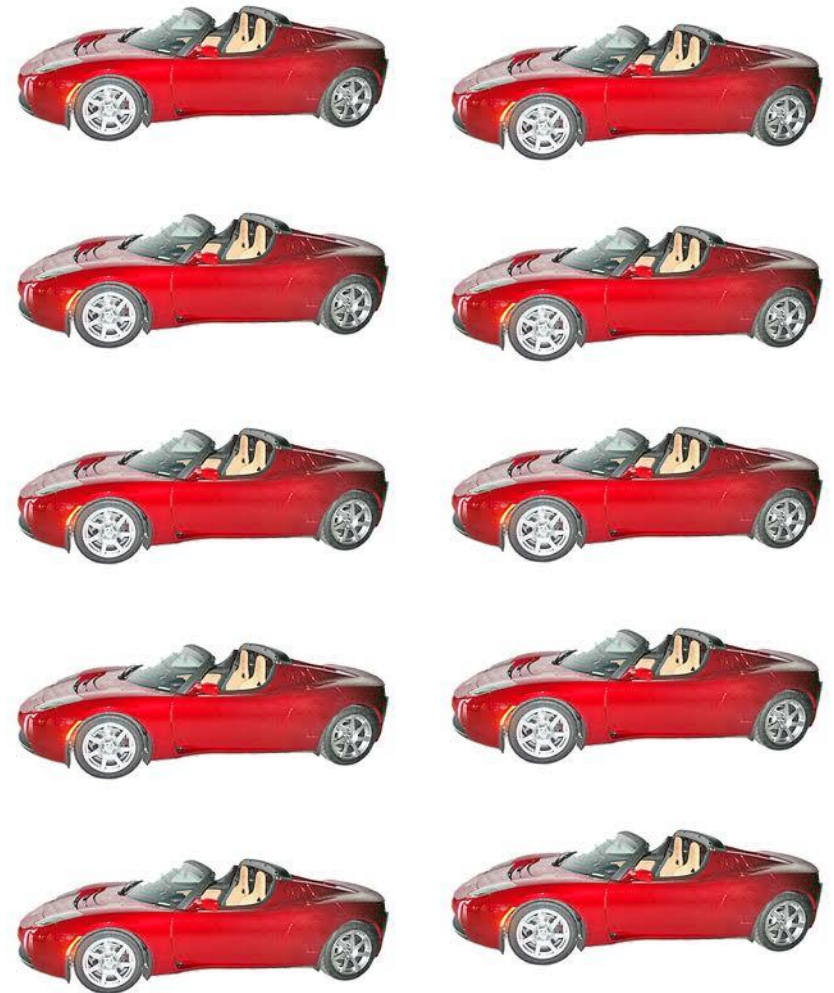


		Tesla	Porsche
Typ		Roadster Sport	911 Carrera S
Leistung	[PS] [kW]	300 225	350 260
0 auf 100 km/h	[s]	3.7	4.8
Gewicht	[t]	1.4	1.1
Verbrauch	[kWh/100 km] [l/100km]	14 1.6	110 12
Jahreskosten Energie für 16'000 km	[CHF]	448	1584
Reichweite Ladung/ Tank	[km]	380	760
Ladezeit		24h (2kW) 3h (16kW)	5 Min

Energieeffizienz in der e-Mobilität



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



Tesla fährt davon... NZZ am Sonntag, 18.10.2015

is
ii-
ert
n-
la
kt
nd
n,
b-
er
n.
en
e-
rt.
OS
e-
en
zi-
h-
ne
n-
er

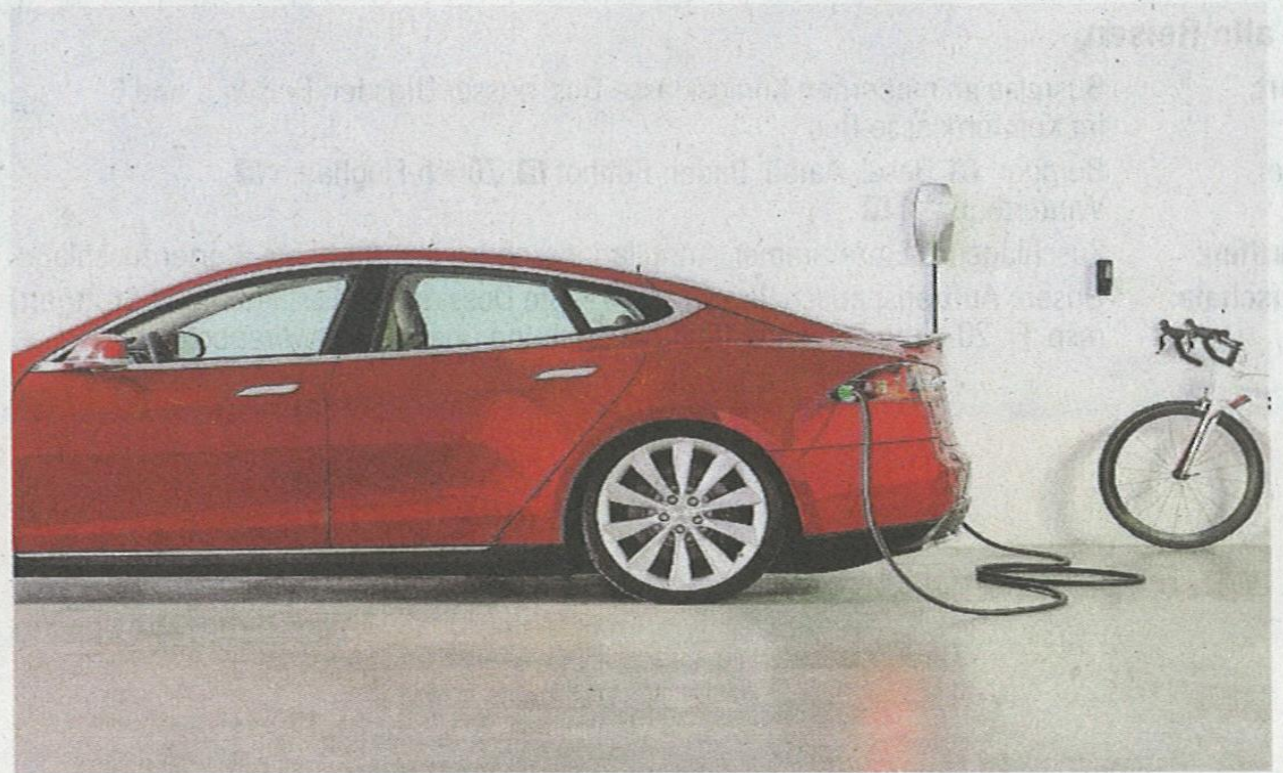
Tesla fährt davon

Verkäufe von Luxus-Limousinen in der Schweiz, Jan.–Sept. 2015

Marke	Modell	Anzahl Wagen
Tesla	Model S	1151
Mercedes	S-Klasse	641
Maserati	Ghibli	424
Jaguar	XF	279
BMW	6er-Serie	237
Audi	A7	180
Porsche	Panamera	120
Audi	A8	86
BMW	7er-Serie	63

Quelle: Auto-Schweiz

Schweiz mit 4,1% noch bescheiden, aber stark steigend: Die



Tesla-Fahrer zahlen nur Stromkosten, aber keine Mineralölsteuer.

seinen elektrisierten Modellen i3 und i8 insgesamt 675 Stück auf

Zahlen, aber die Erfolge von Tesla haben die etablierten Autoher-

Mobilität: Reduktion des Energieverbrauchs (mögliches Potential)

- Verbrauch Mobilität heute: ~ 70 TWh/a
- Reduktion Treibstoffverbrauch durch Verhaltensänderung: Faktor 2
- Reduktion Treibstoffverbrauch durch Elektrofahrzeuge:
Faktor 8 (2/3 der Fahrten)
- Reduktion Treibstoffverbrauch durch serielle Hybridfahrzeuge:
Faktor 4 (1/3 der Fahrten)

- Verbleibender Energiebedarf:
3 TWh/a Strom und 3 TWh/a fossil

4. Akt: Elektrizität steht im Zentrum

Voraussage Verbrauch von elektrischer Energie in der Schweiz 2035

	Verbrauch [TWh/a]
Verbrauch heute	60
Einsparpotential (25%)	-15
Wärme Mehrverbrauch Verbrauch heute: 94 TWh/a (Gas und Öl) Einsparpotential: Isolation Faktor 4, Wärmepumpen Faktor 4 Zusätzlicher Stromverbrauch: 6 TWh/a	+6
Mobilität Mehrverbrauch Verbrauch heute: 70 TWh/a Einsparpotential: Verhalten Faktor 2, serieller Hybrid Faktor 4 Rein Elektrizität: 2/3 (Öl 3 TWh), weiterer Faktor 2 gegenüber seriellem Hybrid Zusätzlicher Stromverbrauch: 3 TWh/a	+3
TOTAL	54
Bevölkerungswachstum Heute: 7.6 Mio Einwohner; Morgen: 8.5 Mio Einwohner	60

Wer produziert heute elektrische Energie?

KVA:	3.7 TWh
Laufwasser:	16.6 TWh
Speicherseen:	15.3 TWh
AKW's:	27.6 TWh

Total:	63.6 TWh
Nutzenergie:	60.0 TWh
Defizit:	0.0 TWh

Business Case Beznau I

- Leistung 365 MW
- Produzierte Jahresenergie ¹⁾ 2.6 TWh
- Jahresumsatz ²⁾ 156 Mio CHF
- Jahresgewinn ³⁾ 16 Mio CHF
- Risiko ⁴⁾ 830 Mio CHF



Weshalb stimmen wir einem so schlechten Business Case zu?

1) 11 Monate Produktion / Jahr

2) Verkaufspreis 6 Rp/ kWh

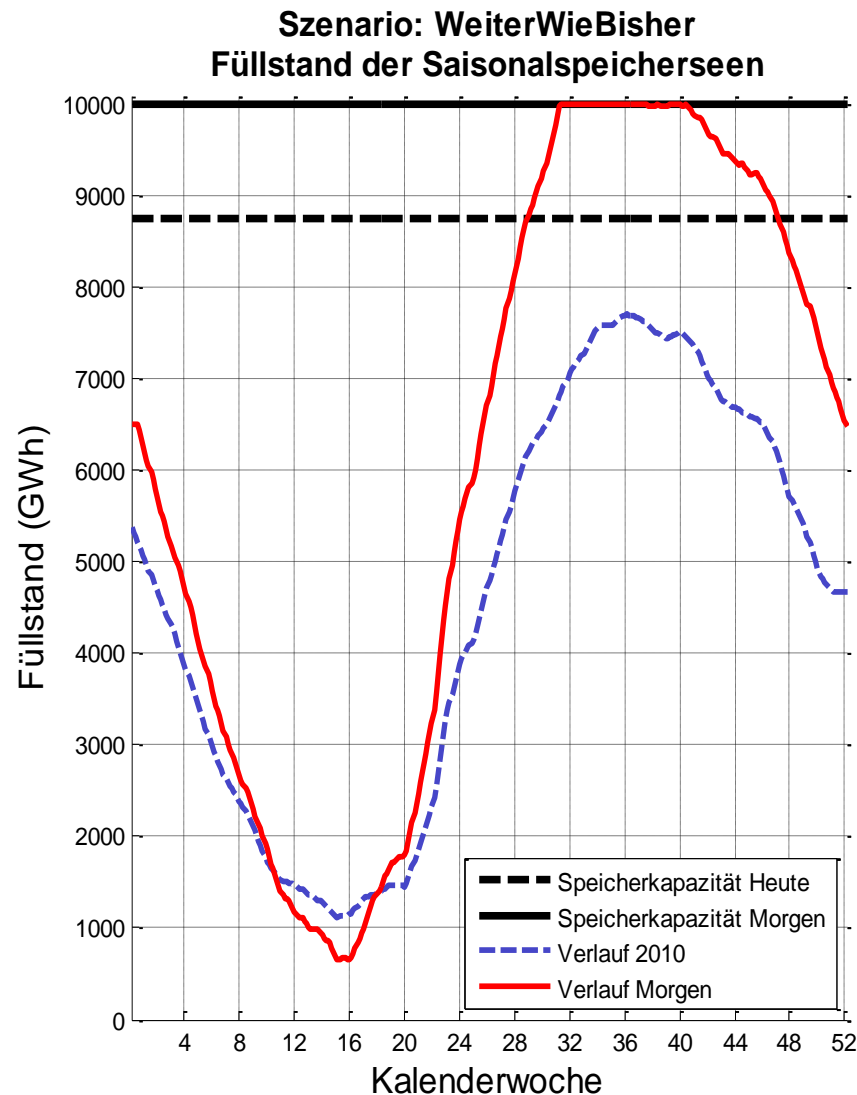
3) Gewinn: 10%

4) Kosten Supergau: 5000 Mia CHF, THR 6000 Jahre

Die Märchen der Atomenergie

- **Atomenergie ist günstig**
 - Kosten Kernenergie: Ursprünglich 2 Rp./kWh, heute 15 Rp./kWh (ohne Risiko)
 - Kostenzunahme: 4%/a
 - Zum Vergleich PV Deutschland: heute 7 ct./kWh (ohne Subventionen)
 - Kernenergie hat hohe Grenzkosten im Vergleich zu erneuerbar
- **Atomenergie ist sicher**
 - Behauptung: THR > 100'000 Jahre; Realität: THR < 6000 Jahre
 - Behauptung Verhältnis Kernschmelze zu Supergau sei 10 : 1; Realität: 2:1
- **Atomenergie besteht auf dem freien Markt**
 - Subventionen Kernenergieforschung ww: 540 Mia\$ (zum Vergleich PV: 10 Mia\$)
 - Subventionen Risiko ww: ~ 300 - 400 Mia\$/a
(Subventionen Risiko CH: ~ 4.2 Mia CHF/a → 30 TWh/a PV Strom zu Kosten heute)
 - Jedes AKW ist Planwirtschaft pur
- **Atomenergie hat Zukunft**
 - Produktion Strom aus Kernenergie: Maximum ww 2006 (vor Fukushima)
→ Die Welt steigt aus der Kernenergie aus
 - Im Bau: 67 AKW → Zubau 6 – 7 AKW/a; Abschaltung: ~ 10-15 AKW/a
Zum Vergleich: Zubau erneuerbare Energie 2014: ~ 20 grossen AKWs; Wachstum 30 %/a
 - Alter Hype Kernfusion; neuer Hype Thorium

«Weiter wie Bisher» (WWB): Füllstand der Speicherseen



KVA: 3.7 TWh
 Laufwasser: 16.6 TWh
 Speicherseen: 15.3 TWh
 AKW's: 27.6 TWh

Total: 63.6 TWh
 Nutzenergie: 60.0 TWh
 Defizit: 0.0 TWh

Kosten 14.8 Rp./kWh
 Kosten inkl. Risiko 22.8 Rp./kWh
 Kosten neue AKW's 17.3 Rp./kWh

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

Erneuerbare Energiequellen PV & Wind



- Solarenergie:
 - Kosten ursprünglich 60 ct./kWh;
heute in der EU ~ 1€/Wp → 7 ct./kWh
 - Grenzkosten: 1 ct./kWh
 - Neu installierte Leistung 2014
ww: ~ 40 GWp; entspricht 5 – 6 grossen
AKW's
- Windenergie:
 - Kosten: etwa Hälfte Solarenergie
 - Neu installierte Leistung 2014 ww ~ 50
GWp; entspricht 12 – 16 grossen AKW's



Tiefe Grenzkosten

- Anlage ist amortisiert
- Dach mit Ziegeln: 450 CHF/m²
- Dach mit PV: 600 CHF/m²
- Dach mit PV und Einmalvergütung: 400 CHF/m²
- Dach mit PV & Isolation: 500 CHF/m²
Watt d'Or 2016
- PV wird in Zukunft fast nichts mehr kosten



super computing systems

Erneuerbare Energiequellen

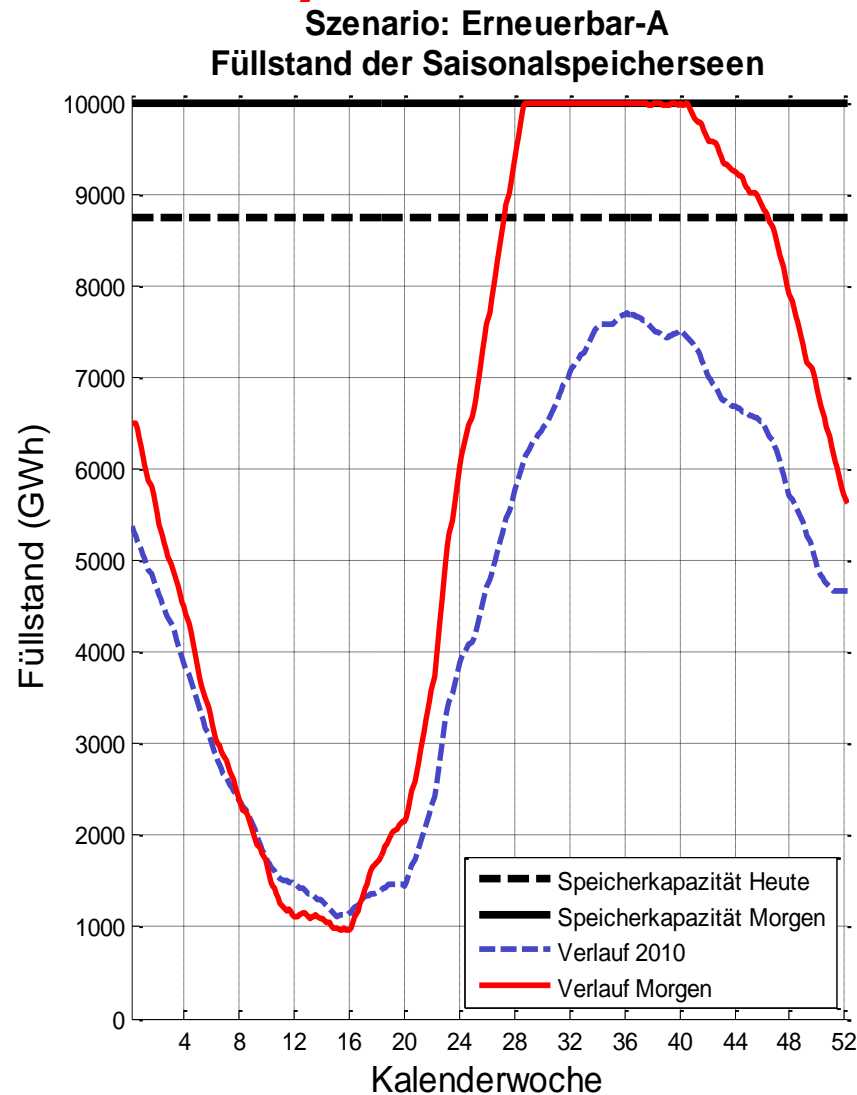
PV & Wind

- Neu installierte erneuerbare Energieproduktion: ~ 20 grosse AKW's/a, 30% Wachstum/ Jahr
- In etwa 5 Jahren wird mehr Strom durch PV & Wind produziert als mit AKW's
- Subventionen erneuerbare Energien ww: ~ 140 Mia\$/a
- «International geht die Post ab»
- Erneuerbare Energien → tiefe Grenzkosten
- Unternehmer setzen, wenn sie Alternativen haben, NIE auf Ressourcen mit steigenden Kosten.

Die Speicherfrage

- Die Schweiz ist mit den bestehenden Speicherseen ausgezeichnet auf volatile Stromerzeuger wie Sonne und Wind vorbereitet
- Die bestehenden Speicherseen sind genügend gross; es ist kein weiterer Ausbau notwendig (bei guter Dimensionierung von PV, Windenergie und Energie aus Biomasse)
- Voraussetzung: Die Speicherseen werden zukünftig nach Bedarf und nicht nach Fahrplan gefahren
- Mit Vollkostenrechnung ist erneuerbarer Strom günstiger als mit neuer Kernenergie

Füllstand der Speicherseen (Solar, Wind und Biomasse)



git: heads/master-0-gc8e6897 Date: 2016-03-03 10:00

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**

Volkswirtschaftliche Kosten der Elektrizität

	Kosten [Rp/ kWh]
WWB (ohne Risiko)	14.8
WWB (mit Risiko)	22.8
WWB mit neuen KKW (ohne Risiko)	17.3
Nur Solar (keine Autarkie!)	16.8
Solar & Wind	17.2
Solar & Wind & Biomasse	16.8
Solar & Wind & Biomasse & Batterie	18.5
Solar & Wind & Biomasse & Lastverschiebung	17.4

Die Kosten enthalten Produktion, Netze, Netzverluste, Speicherung, Speicherverluste, Abregelung (PV und Wind) und Systemdienstleistungen.

5. Akt: Wo gehen wir hin?

Bei den Energiekosten ist der Ölpreis entscheidend (Energiekosten Netto bis 2050 ohne Steuern und Abgaben)

Szanarien		WWB			Bund			Gunzinger		
		0%	2%	3%	0%	2%	3%	0%	2%	3%
Olpreis										
Kosten Inland	Mia CHF	490.3	490.3	490.3	590.8	590.8	590.8	685.9	685.9	685.9
Kosten Ausland	Mia CHF	866.8	1300.0	1612.5	747.4	1098.1	1348.9	285.9	364.6	418.0
Kosten Total	Mia CHF	1357.1	1790.3	2102.8	1338.2	1688.9	1939.7	971.8	1050.5	1103.9
Anzahl Beschäftigte	Tausend	140			169			196		
CO2 / Person (2035)	[t CO2]	5.24			5.10			0.97		

- Sogar bei 0% Ölpreis – Zunahme ist das Szenario Bund nicht teurer als WWB und es bleiben zusätzlich 100 Mia CHF im Inland
- Bei 3% Ölpreis – Zunahme ist das Szenario WWB etwa doppelt so teuer (2100 Mia CHF) wie das Szenario Gunzinger (1100 Mia CHF). → Mit dem Szenario Gunzinger können etwa 30 Mia CHF pro Jahr eingespart werden → rund 5% des heutigen BIP
- Arbeitsplätze: WWB → 140k, Bund → 169k; Gunzinger → 196 k

Politische Massnahmen

1. Faire Strassenrechnung
2. Faire CO2 – Abgabe auf allen Energieträgern (Wärme, Mobilität und Strom)
3. Neue Anreizfinanzierung des Netzes
4. Anschubfinanzierung für erneuerbare Energien
5. Ausstiegsfahrplan aus der Kernenergie, «Bad Bank» für die Kernenergie, Finanzierungskonzept für das Endlager

Die Schweiz hat in der Vergangenheit mehrmals die Energieversorgung umgebaut

- 1. Weltkrieg, Eisenbahn: Weg von der Kohle → Elektrifizierung der Bahn → Grundstein für 100 Jahre erfolgreiche Industriegeschichte
- Nach 2. Weltkrieg: Weg von der Kohle für die Heizung → Ölheizung
- Nach der Ölkrise → Verbesserung der Isolation
- Heute: Weg vom fossilen Heizen → Elektrifizierung Wärme (Wärmepumpe, 70% der neuen Gebäude)
- Heute: weg von der fossilen Mobilität → Elektromobilität
- Heute: Weg von der Kernenergie → erneuerbare Stromproduktion aus Sonne, Wind und Biomasse

Kraftwerk Schweiz – Plädoyer für eine Energiewende mit Zukunft

- Mit gutem Willen
- Mit einfachen Verhaltensänderungen
- Mit Hilfe der Technik
- Mit langfristigem (mindestens 1 Generation) Denken

ist nachhaltiges Leben für uns Schweizer möglich.

Ökologie und Ökonomie gehen Hand in Hand



Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Vision meets reality.