


Kernaussagen der Studie «Energiezukunft Schweiz»

Konstantinos Boulouchos *)
Institut für Energietechnik (LAV) und
Energy Science Center der ETH Zürich

*) koordinierender Autor

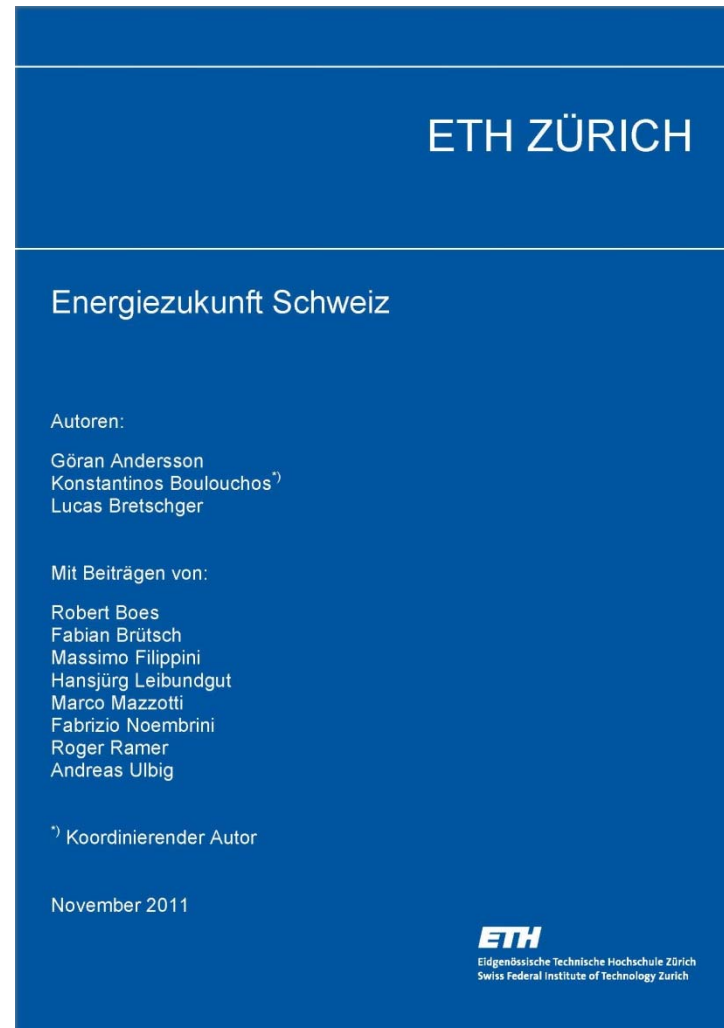


Volkswirtschaftliche Gesellschaft des Kantons Bern
«Energiestrategie 2050 - Chance oder Risiko für unser Land?»
31. Mai 2012

Studie «Energiezukunft Schweiz»

- Die Studie wurde zwischen April und September 2011 von einer Arbeitsgruppe der ETH Zürich und im Hinblick auf die Gestaltung der zukünftigen Energiepolitik der Schweiz erarbeitet.
- Veröffentlichung im Web:
15. November 2011 ^{*)}

^{*)} www.esc.ethz.ch/events/seminars/2011



ETH ZÜRICH

Energiezukunft Schweiz

Autoren:
Göran Andersson
Konstantinos Boulouchos^{*)}
Lucas Bretschger

Mit Beiträgen von:
Robert Boes
Fabian Brütsch
Massimo Filippini
Hansjürg Leibundgut
Marco Mazzotti
Fabrizio Noembrini
Roger Ramer
Andreas Ulbig

^{*)} Koordinierender Autor

November 2011

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Wichtige zu beantwortende Fragen

Ist langfristig (bis 2050) ein Energiesystem für die Schweiz grundsätzlich realisierbar

- welches den kumulativen CO₂-Ausstoss bis 2050 kompatibel mit den nationalen und globalen Zielen gestaltet,
 - gleichzeitig den gestaffelten Ausstieg aus der Kernenergie (bis etwa 2040) erlaubt
- und
- die Versorgungssicherheit des Landes zu volkswirtschaftlich tragbaren Kosten gewährleistet?

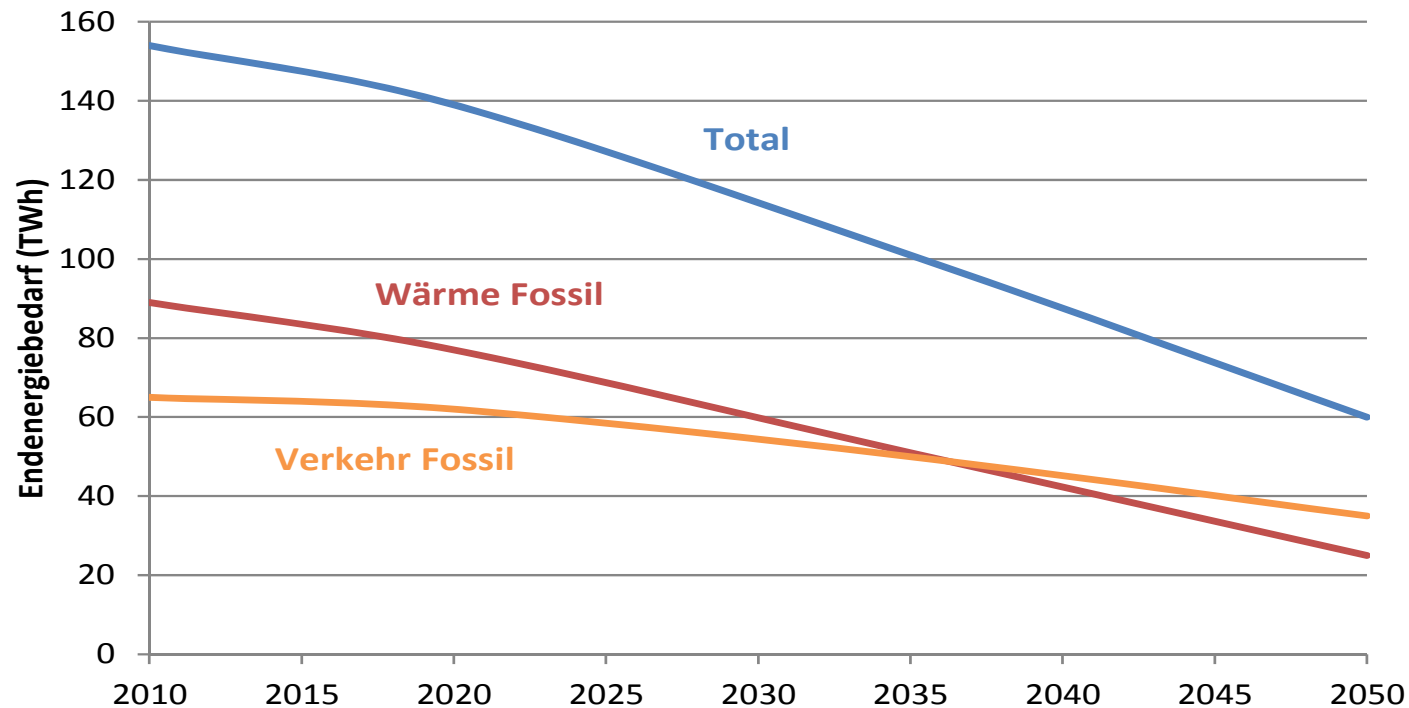
Methodik:

⇒ 2 komplementäre Ansätze verwendet
a) technologisch („bottom-up“)
b) makroökonomisch („top-down“)

Schlüsselanforderungen an das Energiesystem der Zukunft

- Klimaverträglichkeit: Maximal erlaubter CO₂-Ausstoss gemäss wissenschaftlicher Evidenz, d.h.:
 - 2050: < 2t CO₂ / Kopf
 - 2100: ~ 1t CO₂ / Kopf
- Vermeidung seltener aber «fataler» Risiken (nicht nur nuklear)
- Minimierung weiterer Zielkonflikte (begrenzte Ressourcen, weitere Umweltbeeinträchtigungen, soziale Akzeptanz, u.a.)
- Versorgungssicherheit inkl. Kosten
- **Definition:** Die Versorgungssicherheit ist gewährleistet, wenn jederzeit die notwendige Energiemenge zur Erbringung von angemessenen Energiedienstleistungen mit der erforderlichen Qualität zu volkswirtschaftlich tragbaren Preisen erhältlich ist.

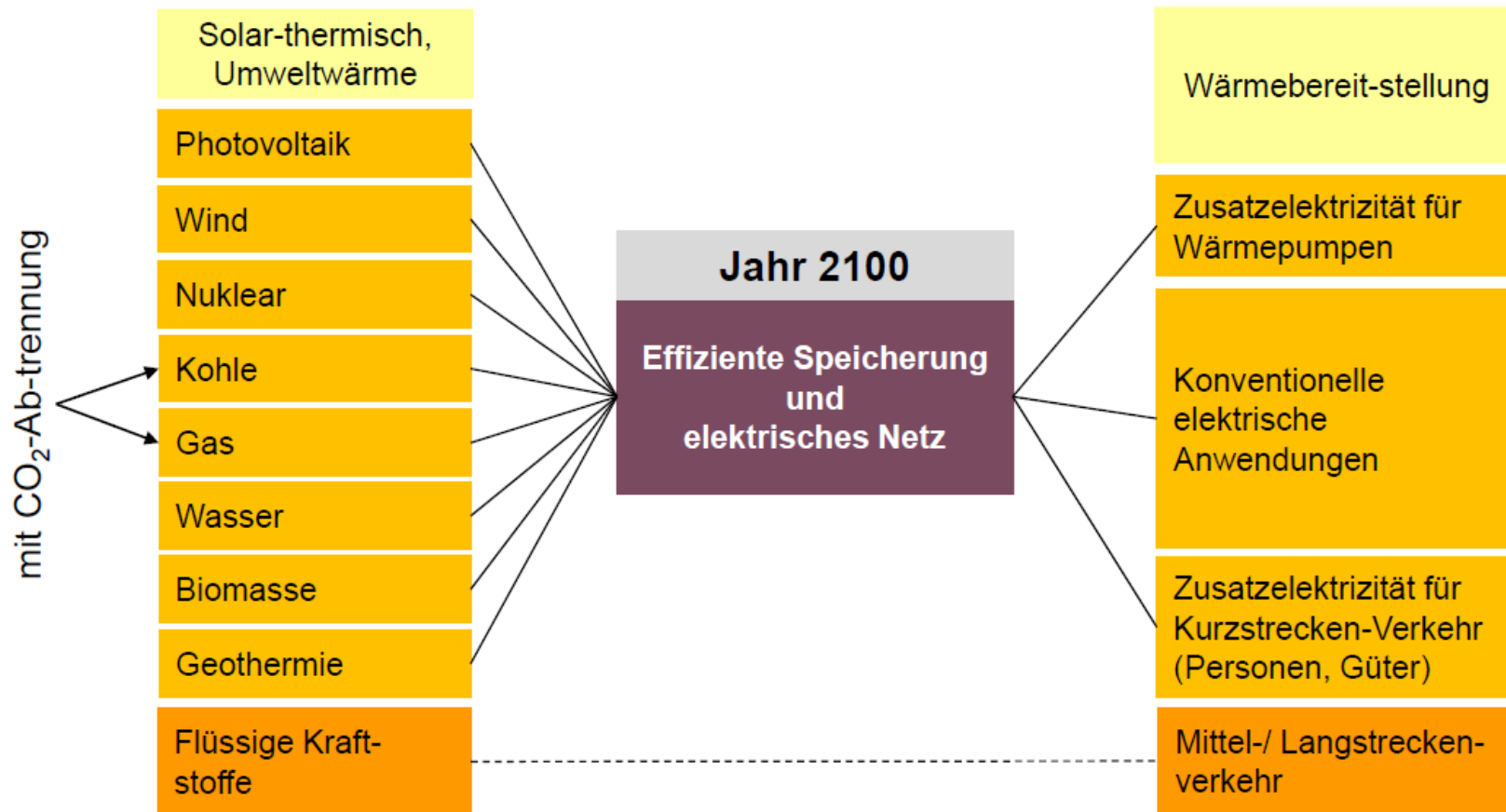
Absenkepfad der fossilen Energiemenge (Wärme, Mobilität und insgesamt, jedoch ohne fossile Stromproduktion) zur Erfüllung der Klimaziele



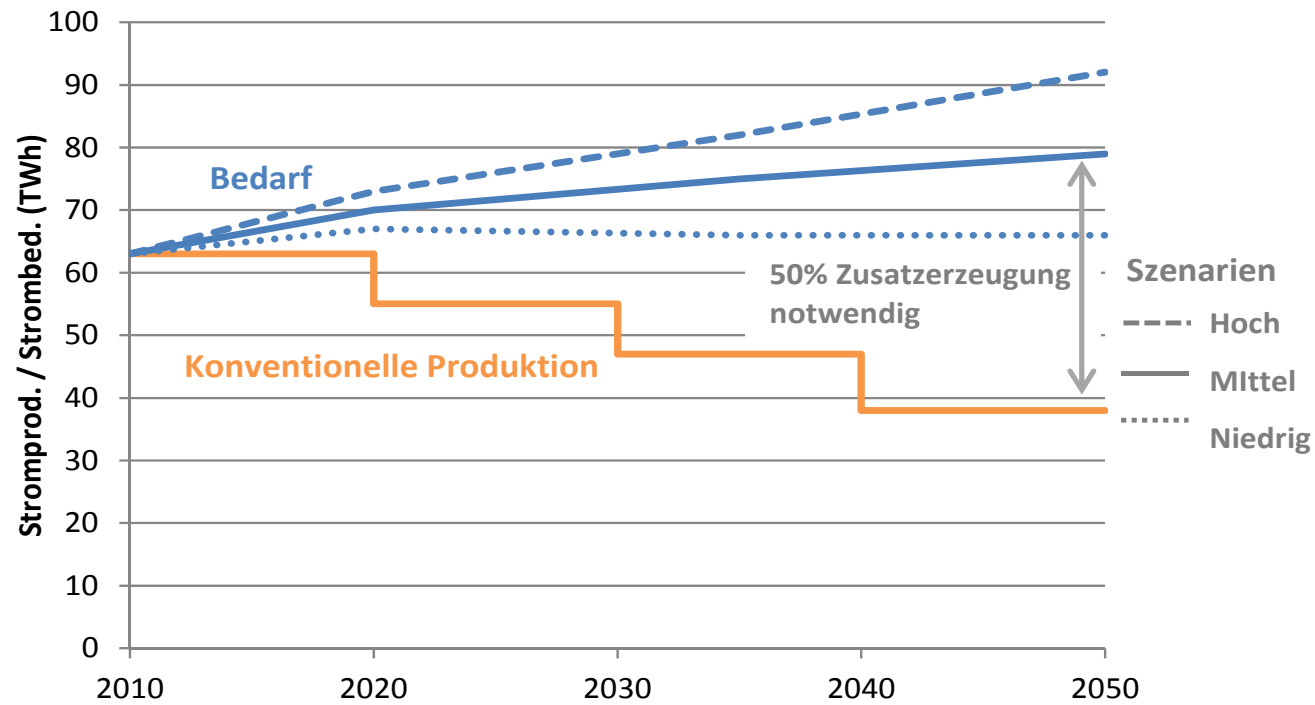
Verkehr Fossil: ohne internationalen Flugverkehr
(noch nicht Kyoto relevant, etwa 16 TWh im Jahr 2010)

Effizienzerhöhung und Entkarbonisierung durch CO₂-arme Energieträger

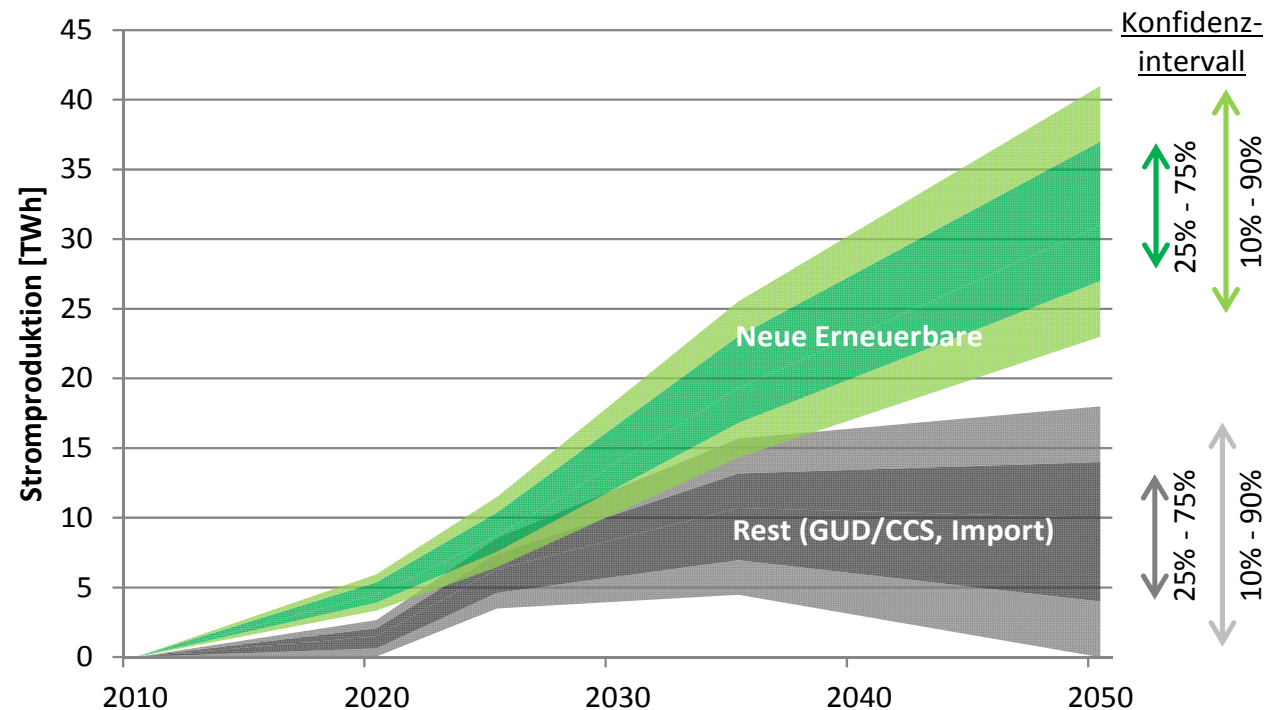
Elektrizität bleibt weiterhin Rückgrat des zukünftigen Energiesystems



Stromerzeugung und Zusatzbedarf für die drei Szenarien bei gestaffelter Abschaltung der Kernkraftwerke (2020/2030/2040)

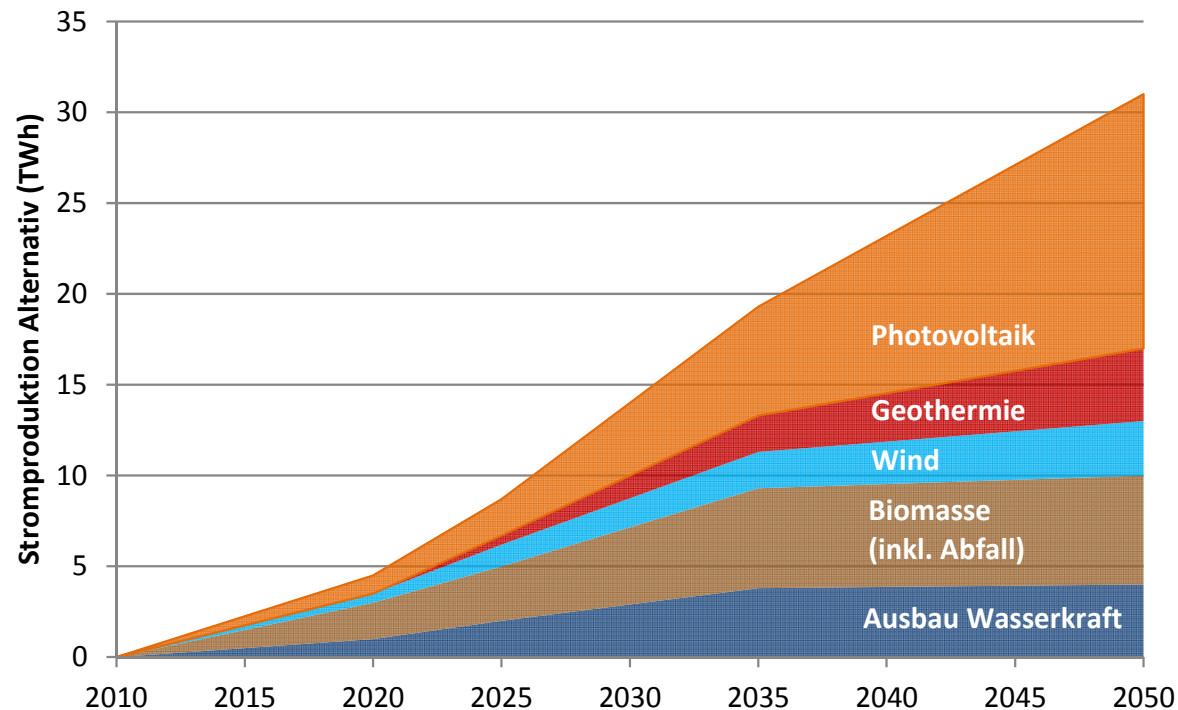


Geschätzte Bandbreite des Ausbaus der neuen erneuerbaren Stromerzeugungstechnologien inkl. Ausbau der Wasserkraft und des Beitrags von Gaskraftwerken und/oder vom Import für das Szenario "Mittel".



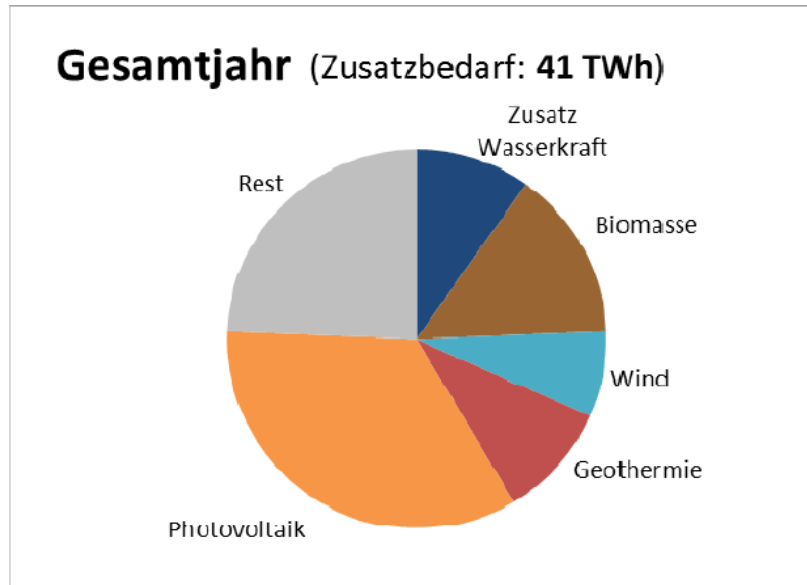
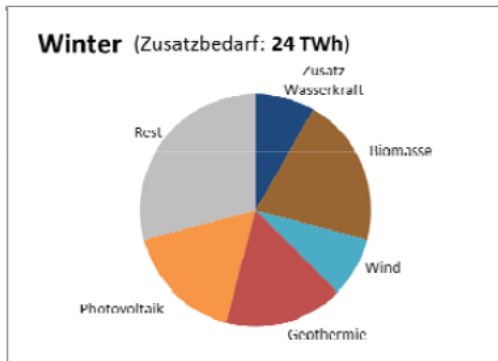
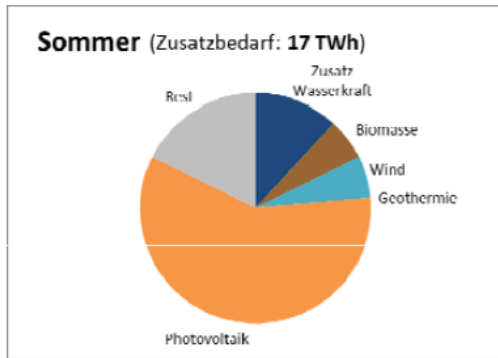
- GuD: Gaskombikraftwerke
- CCS: Abtrennung und Lagerung von CO₂

Angebotsportfolio zur Deckung der Differenz zwischen Nachfrage «Mittel» und herkömmlicher Stromerzeugung: ehrgeizig – realistischer Ausbau der Wasserkraft und der neuen erneuerbaren Energien



- GuD: Gaskombikraftwerke
- CCS: Abtrennung und Lagerung von CO₂

Saisonale Verteilung des Zusatzangebotsportfolios im Jahr 2050 (Nachfrage Szenario „Mittel“)

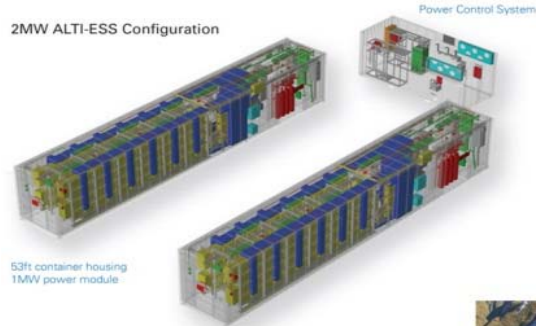


Rest: GuD (mit CCS) und/oder Import

Quelle: ESC/ETHZ 2011

Optionen für die Stromspeicherung

Batterie-Systeme ($\eta \approx 85\%$)

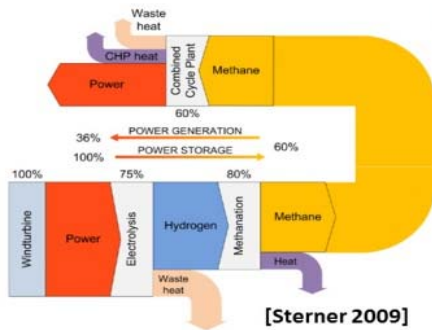


Druckluftspeicher (CAES) $\eta \approx 40-50\%$ (ohne Wärmespeicher) $\eta \approx 65-75\%$ (mit Wärmespeicher)

Druckluftspeicher Huntorf (DE)

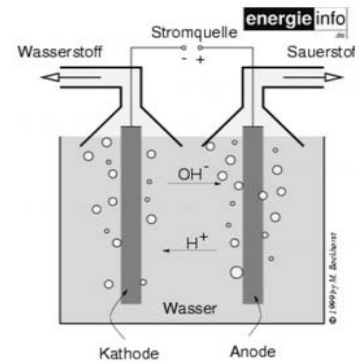


Pumpspeicherung Wirkungsgrad: $\eta \approx 80\%$



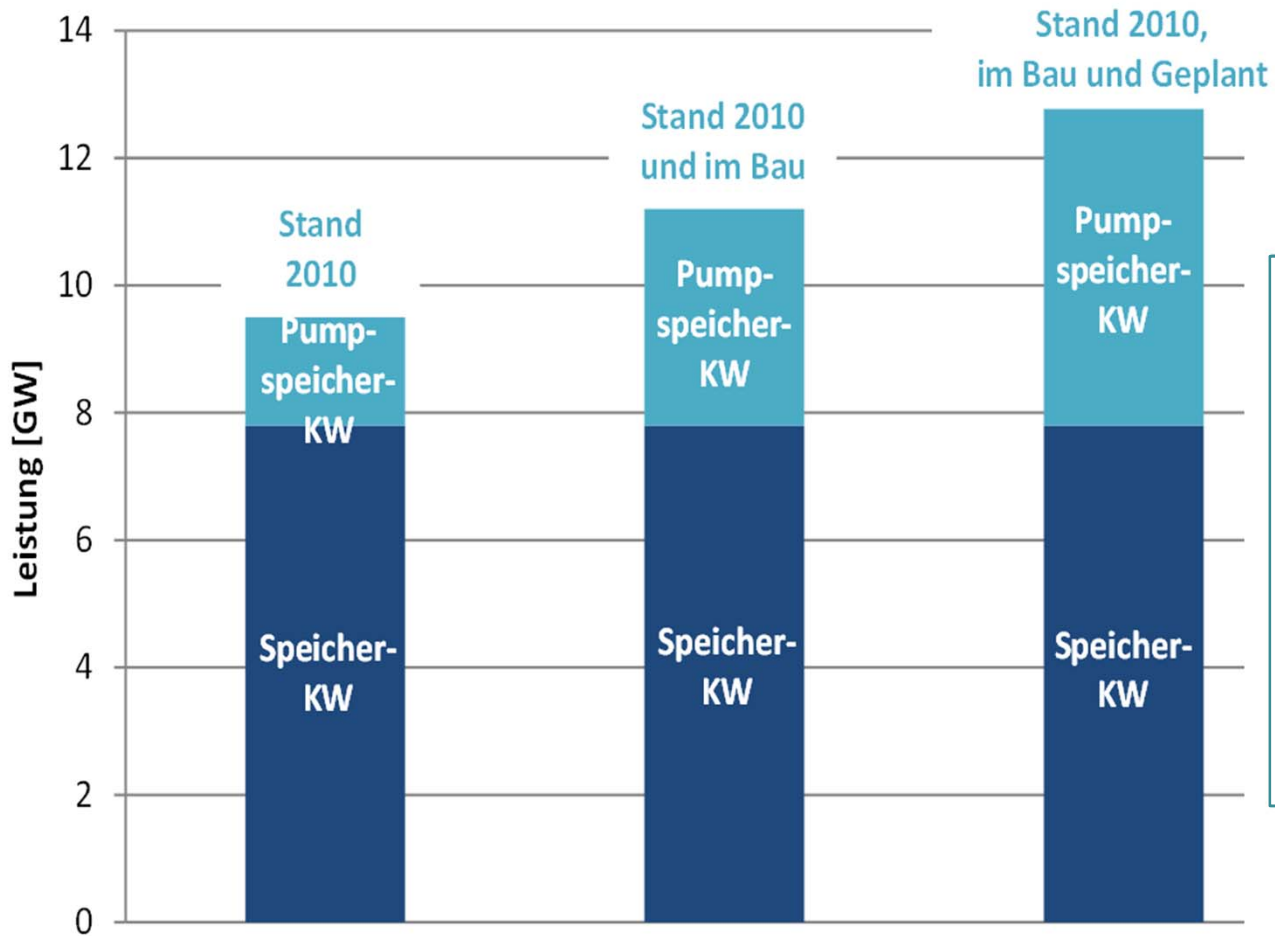
[Stern 2009]

Synthetisierung von Methan (CH_4) $\eta \approx 30-40\%$ (Strom \rightarrow CH_4 \rightarrow Strom)



Elektrolyse von Wasserstoff (H_2) $\eta \approx 35-45\%$ (Strom \rightarrow H_2 \rightarrow Strom)

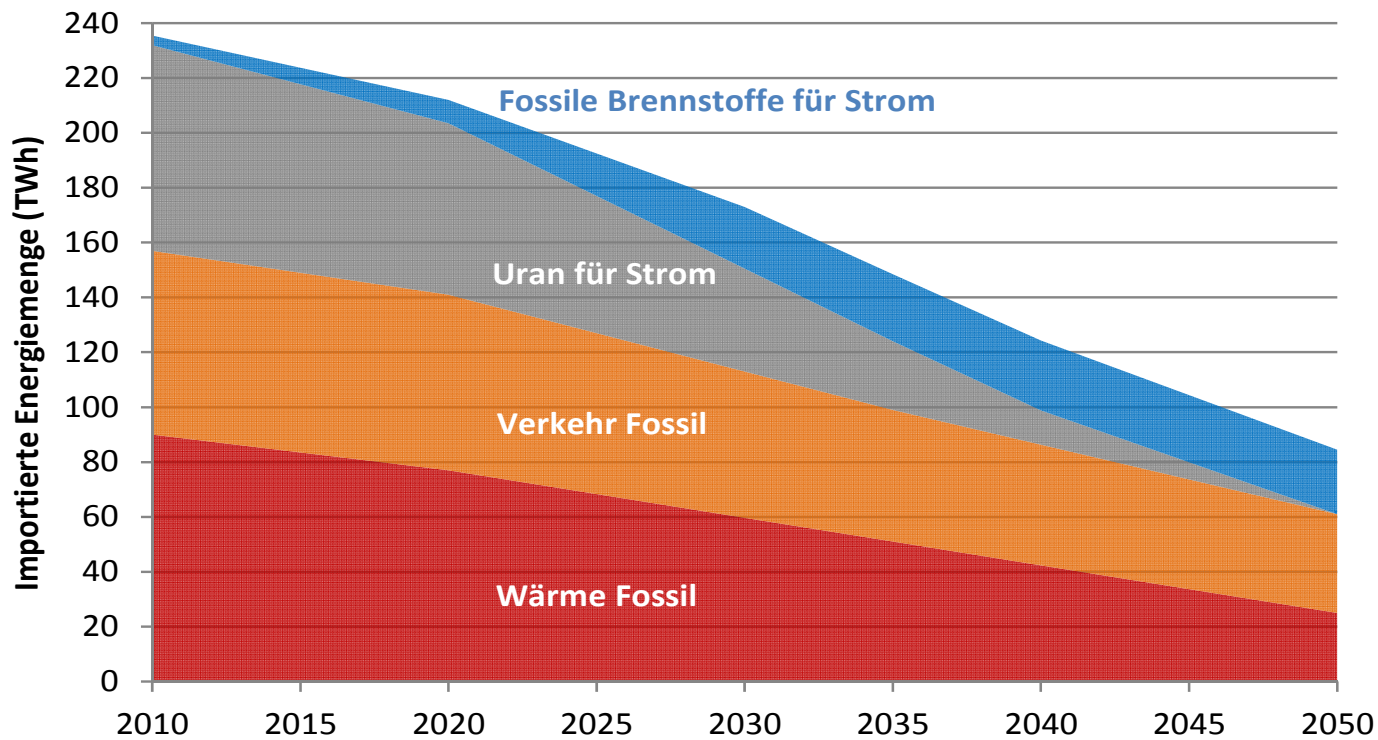
Schweizer Speicherkapazitäten & Ausbaupläne



Energiebetrachtung

- Speicherseen:
~8,5 TWh
- Pumpspeicher:
heute etwa 70 GWh
zukünftig 150-200 GWh

Auslandabhängigkeit des gesamten Schweizer Energiesystems (2010 – 2050)



Importierte Energiemenge zur Deckung des Bedarfs für Wärme, Mobilität und Reststrom (Annahme: Gaskraftwerke ab 2025 mit CCS) unter Einhaltung der Klimaziele, ohne Energie für den internationalen Flugverkehr

Erkenntnisse/Kernaussagen der Studie ①

- Technologisch betrachtet, gibt es keinen grundsätzlichen „show-stopper“ für die Erfüllung der energetischen Klimaziele bis 2050 (Anforderung 1) unter gleichzeitigem schrittweisem Ausstieg aus der Kernenergie zwischen 2020 und 2040 (Anforderung 2). Die Kombination beider Aufgaben stellt jedoch eine große Herausforderung dar.
- Das Angebotsportfolio im Jahr 2050 setzt sich gemäss Szenario „mittel“ voraussichtlich aus knapp 50% Wasserkraft, gefolgt von gut 15% Photovoltaik und 15%-25% weitere neue Erneuerbare zusammen. Etwa 10 bis 20% müssen zusätzlich durch zertifizierte Importe und/oder Gaskraftwerke abgedeckt werden.
- Die „nominelle“ Energieabhängigkeit der Schweiz vom Ausland reduziert sich von etwa 235 TWh heute auf 70-80 TWh im Jahr 2050. Die marktmässige Vernetzung mit dem europäischen Ausland wird jedoch zunehmen.
- Effizienzsteigerung ist zwar richtig, trotzdem wird deren Potenzial überschätzt. Neue Infrastrukturen und Investitionen auf der Angebotsseite werden unerlässlich sein.

Erkenntnisse/Kernaussagen der Studie ②

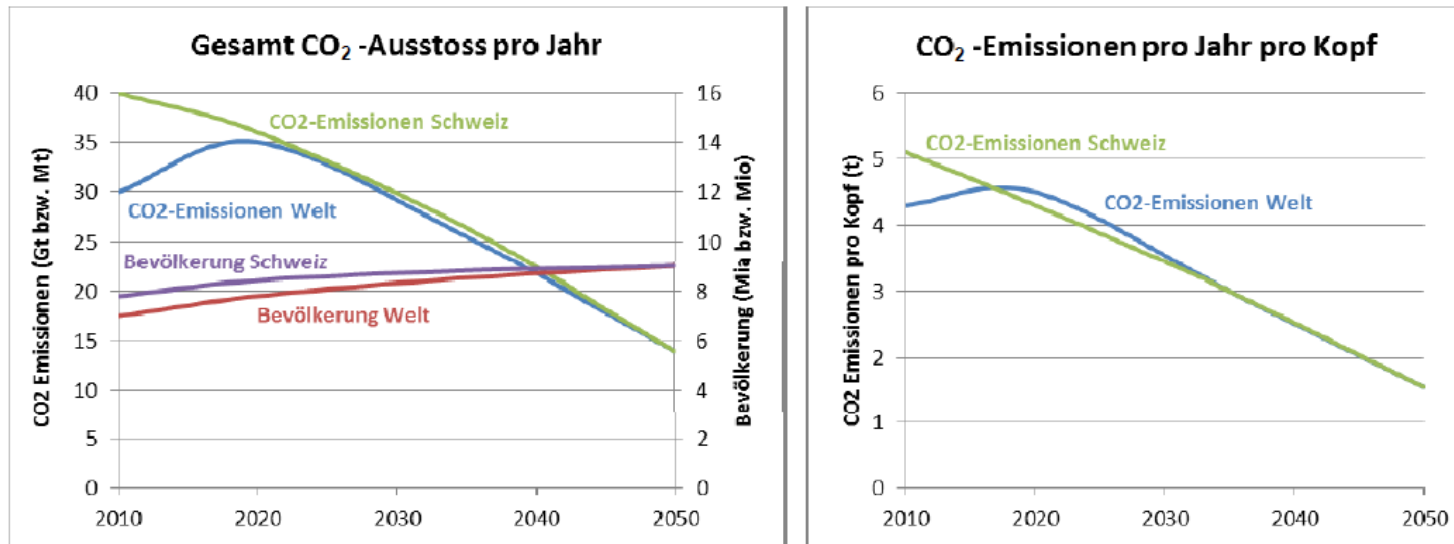
- Die Gestehungskosten für Strom (ohne Netzausbau) steigen bis 2050 (real) um bis zu 30% gegenüber 2010. Zusätzliche Netzkosten äusserst schwierig zu schätzen – grobe Tendenz jedoch in der gleichen Grössenordnung, womit schliesslich eine Angleichung mit dem EU-Marktpreis stattfinden dürfte.
- Die energierelevanten Klimaziele (-65% fossiler Energieinput bis 2050) erfordern um den Faktor 2 bis 3 höhere Preise pro fossile Energieeinheit. Trotzdem sinkt tendenziell der Aufwand für die gesamte Endenergie als Anteil des BIP bis 2050.
- Die volkswirtschaftlichen Auswirkungen werden für diese beiden Anforderungen (1, 2) auf je etwa ein Jahr Verzug bei der BIP-Entwicklung im Jahr 2050 abgeschätzt. Das dazu erforderliche Anpassungspotenzial der Marktwirtschaft bedingt aber langfristige Rahmenbedingungen unter Vermeidung externer Schocks.
- Der Transformationspfad zu einem solchen „nachhaltigen“ Energiesystem wird jedoch kein Selbstläufer, sondern lang und mit Weggabelungen versehen sein. Forschungsinduzierte Technologiefortschritte, ein optimales „Policy-Design“ für Investitions- und Planungssicherheit sowie gesellschaftliche Konsensbereitschaft in der Gesellschaft sind wesentliche Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung.

Danke für Ihr Interesse!

boulouchos@lav.mavt.ethz.ch
www.esc.ethz.ch

Reserve Folien

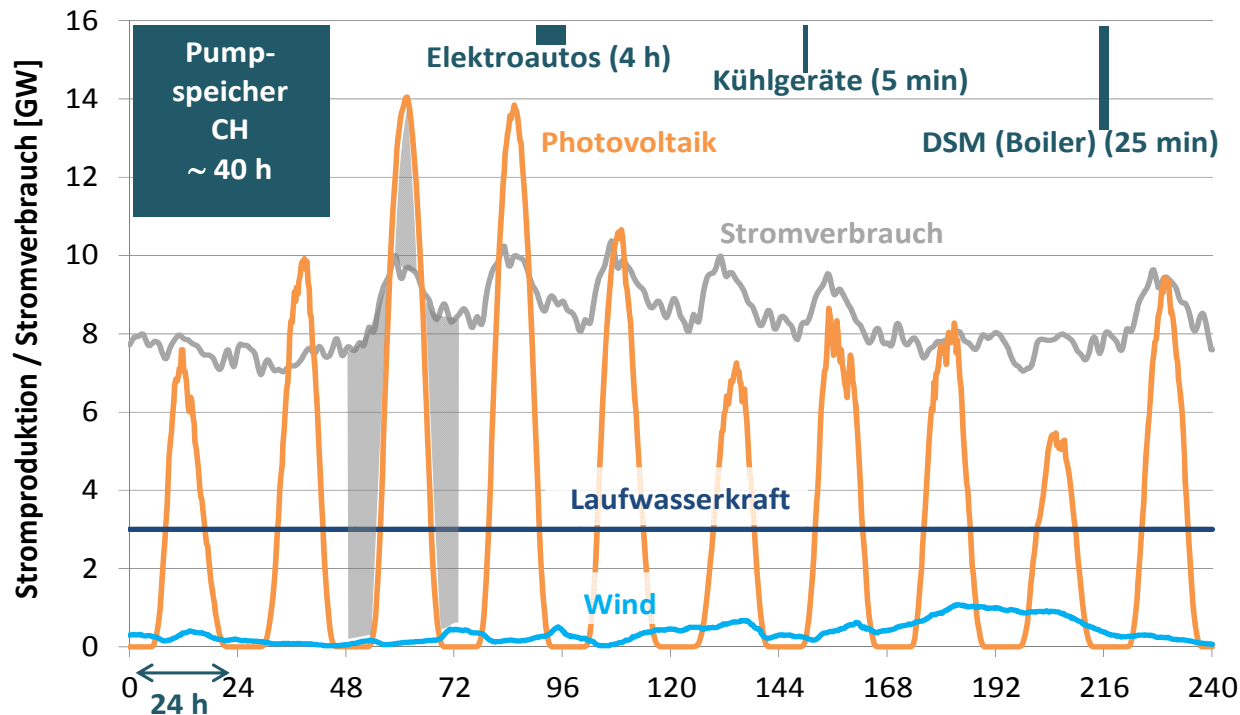
Klimaziele für die Welt und die Schweiz



- Rahmenbedingungen:
- $\Delta T = 2 \text{ K}$ bis 2100 (50% Wahrscheinlichkeit), CO₂-Stabilisierung auf 450 ppm
 - Bevölkerung 2050: 9 Mia Welt, bzw. 9 Mio Schweiz
 - Globaler Ausstoss von CO₂ (2010 - 2050): ~1'000 Gt

Quelle: ESC/ETHZ 2011

Möglichkeiten für aktives Lastmanagement in der Schweiz – PV und Windkraft aus Daten für Deutschland in der Periode 25.6.2011-3.7.2011, skaliert auf erwarteten Beiträge in der Schweiz im Jahr 2050 (Sommer, deswegen ohne Berücksichtigung von Wärmepumpen)



*Annahme: 100'000 Elektroautos mit je 4kW Leistungsaufnahme und 16 kWh Speicherkapazität (beispielhaft).

Geschätzte Entwicklung der Gesteungskosten für Strom aus neuen erneuerbaren Energien (ohne Netz), sowie für Strom für elektrochemische Speicherung (Batterien) in Rp/KWh

	2010	2020	2035	2050
Biomasse-WKK	14-20	12-17	8-12	8-12
Geothermie	-	7-12	6-13	5-15
Wind	14-20	12-17	10-15	8-12
Photovoltaik	35-55	20-30	10-15	6-10
Elektrochemische Speicherung ¹⁾	40-70	16-28	8-14	5-8

1) Werte bis 2020 aus der Literatur; danach Lernkurven geschätzt.

Mögliche Entwicklung der Stromgestehungskosten für den CH-Strommix bei gestaffeltem Ausstieg aus der Kernenergie (ohne Netz) auf Basis der Tab. 9 für die einzelnen Technologien

		2010	2020	2025 ^{*)}	2035	2050
(A)	- Wasserkraft: 8Rp/KWh - Kernkraft: 8Rp/KWh - Thermisch-konventionell 12 Rp/KWh	8.2	9	9.8	9.4	9.1
(B)	Gleich wie (A), aber mit Kosten für Speicherung (Wind/PV)	8.2	9.1	9.9	9.7	9.7
(C)	Gleich wie (A), aber mit jeweils 40% höheren, bzw. 30% tieferen Kosten für PV	8.2	8.8-9.2	9.6-10	9.1-9.7	8.6-9.6
(D)	Gleich wie (A), jedoch mit 6 Rp/KWh für die Kernkraft	7.4	8.3	9.3	9.2	9.1
(E)	Gleich wie (A), jedoch mit 10 Rp/KWh für die Kernkraft	9	9.7	10.3	9.6	9.1

^{*)} 2025: 8 TWh KKW abgeschaltet, teilweise durch Gaskraftwerke mit CCS (12 Rp/KWh) ersetzt

^{**)} Annahme: 50% des Stroms aus PV/Wind muss zwischengespeichert werden; bis 2040 reichen dafür Pumpspeicherkraftwerke, danach zusätzlich Batterien erforderlich (Kosten aus Tab. 9).