



100 Prozent erneuerbar - Einführung in die Energiewende

- I Energieversorgung am Wendepunkt
- II Potentiale der Erneuerbaren
- III Politische Weichenstellungen
- IV Fokus Schweiz
- V Wege zur Vollversorgung mit erneuerbaren Energien

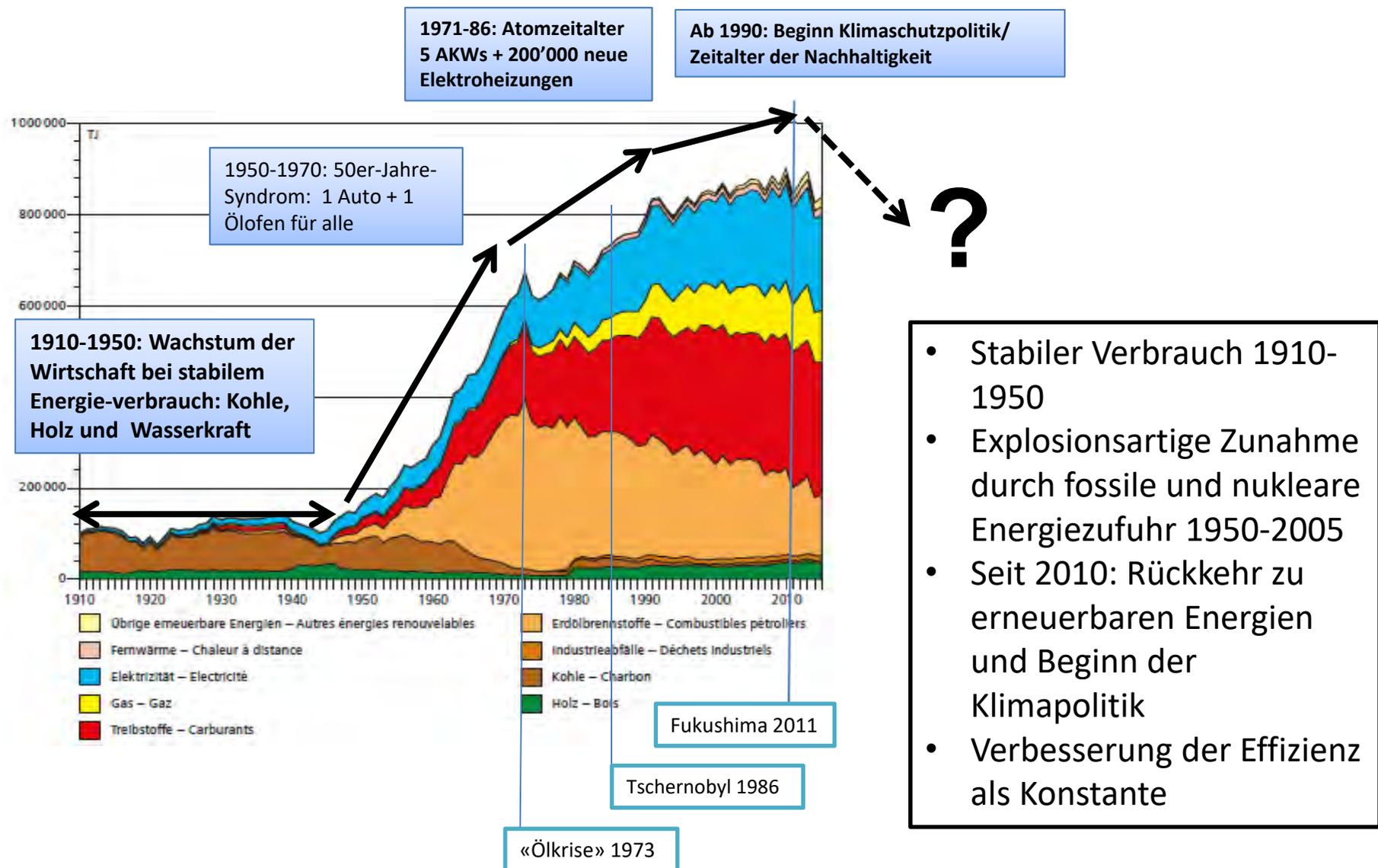
Skript

Dr. Rudolf Rechsteiner

Übersicht

- I **Energieversorgung am Wendepunkt**
- II Potentiale der Erneuerbaren
- III Politische Weichenstellung
- IV Fokus Schweiz
- V Wege zur Vollversorgung mit erneuerbaren Energien

Energieverbrauch Schweiz seit 1910



- Stabiler Verbrauch 1910-1950
- Explosionsartige Zunahme durch fossile und nukleare Energiezufuhr 1950-2005
- Seit 2010: Rückkehr zu erneuerbaren Energien und Beginn der Klimapolitik
- Verbesserung der Effizienz als Konstante

Dezentral: Eigenverbrauch, Nahverbrauch,
geringe Transportkosten, dezentrale Speicher



Zentral oder dezentral?

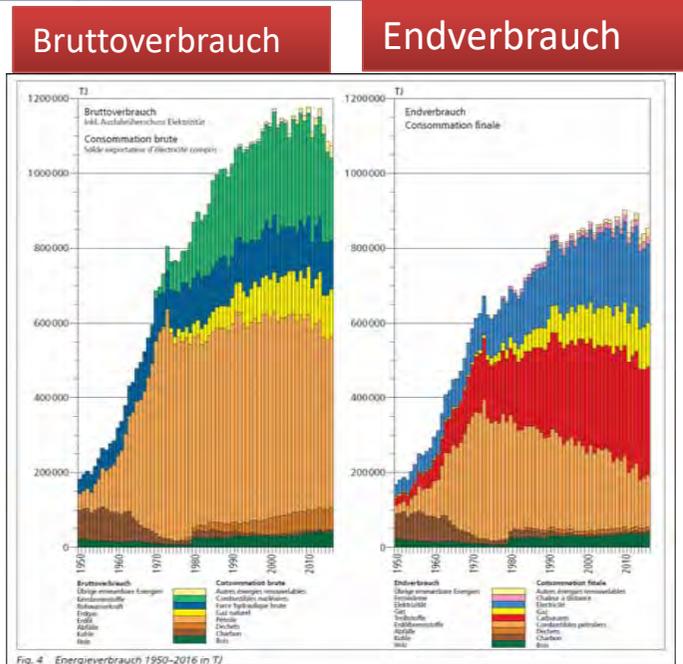
- Nicht alle erneuerbaren Energien arbeiten dezentral.
- Monopole und Verteuerung durch künstliche Verknappung sind aber bei EE höchst unwahrscheinlich
 - «offene Ressource» und niedrige Eintrittsschwellen
 - Unerschöpflich
 - Geringe Nutzungskonkurrenzen bei Sonne und Wind
- unterschiedliche Bedarfs- und Erzeugungsprofile erfordern einen klugen Mix («Portfolio»)
- Sonne und Windenergie schaffen ein ausgeglichenes saisonales Profil
- Speicher (Batterien) glätten kurzfristige Angebots- und Nachfragespitzen
- Präferenzen für zentral oder dezentral in jedem Land anders.
- Kriterien sollten sein:
 - Risikominimierung
 - Wirtschaftlichkeit / Preis
 - Verfügbarkeit von unterschiedlichen Ressourcen
 - Saisonaler und tageszeitlicher Ausgleich

Zentrale Grossanlagen: Übertragung, Verteilung, Vermarktung und Backup über viele Länder hinweg



Mehr als 64% der Primärenergie verpufft ohne Nutzen (Bsp. Schweiz)

2/3 des Energieinhalts von Uran verpufft



3/4 des Energiegehalts von Benzin verpufft



← Nicht energetischer Verbrauch 0.8 PJ (Kunststoffe, Asphalt, u.a.)

Vorinvestitionen werden in der Schweiz gar nicht erst gemessen: Wieviel Erdöl verbraucht die Erdölgewinnung bis zur Landesgrenze?

Primärenergie
1165 PJ: Kohle, Erdöl, Erdgas, Uran, Wasserkraft, Wind, Sonne, Erdwärme, Holz

Endenergie 861.8 PJ: Brennstoffe, Treibstoffe, Elektrizität, Gas, Wärme

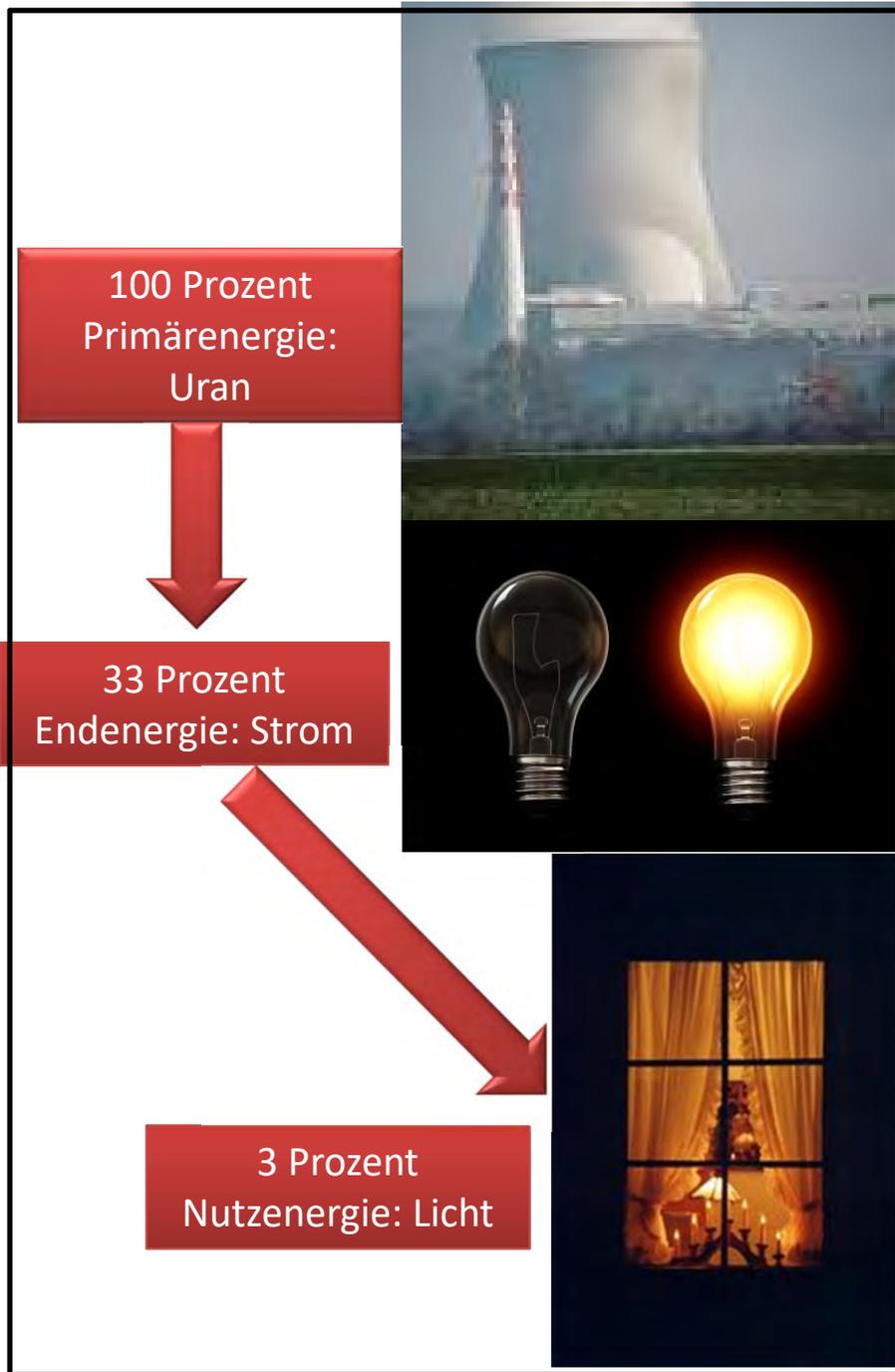
Industrieprodukte, Mobilität, Automation, Kühlung Beleutete Flächen, PC-, Telefon- & Internet

Umwandlungs-verluste
295.2 PJ **25%**

Verluste zur Nutzenergie-erzeugung
431.1 PJ **37%**

Nutzenergie
430.7 PJ
36%

UN Grafik Dieter Imboden 2008

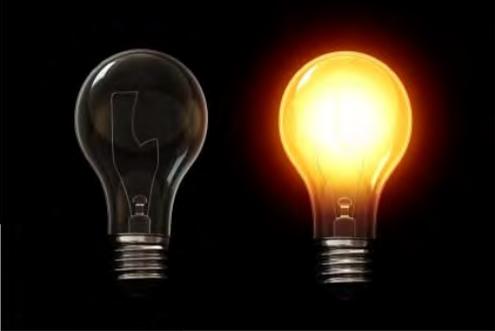


**Effizienz:
Energiequelle ohne
Umweltbelastung**

Primärenergie:
Wind (gratis)

100 Prozent
Endenergie:
Windstrom

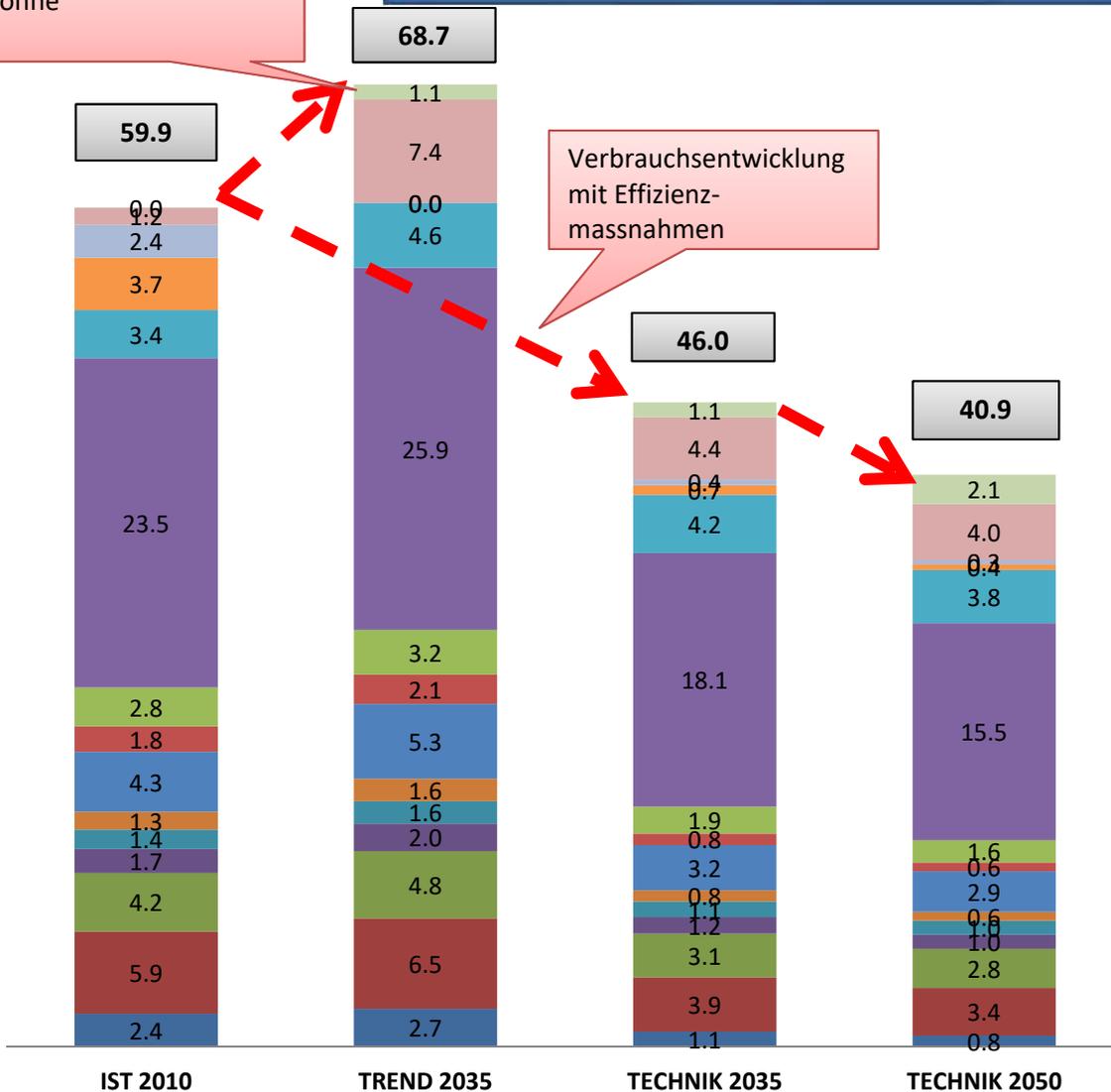
Energiesparleuchte
Bis zu 95 % Nutzenergie
dank elektronischem
Vorschaltgerät



Ein Drittel des Stromverbrauchs lässt sich technisch einsparen (SAFE 2011)

Was Energieeffizienz leisten kann

Verbrauchsentwicklung ohne



Verbrauchsentwicklung mit Effizienzmaßnahmen

- Elektro-Mobilität individuell (Autos, Motos, Velos)
- Elektroheizung Wärmepumpe
- Elektr. Warmwasser (inkl. Anteile WP)
- Elektroheizung Widerstand
- Bahnen, Trams, Seilbahnen etc.
- Industrielle + Gewerbliche Anwendungen (75% Motoren)
- Haustechnik: Lüftung, Klima etc., ohne Elektrowärme
- Haustechnik: Umwälzpumpen
- Bürogeräte, Informations-/Kommunikationstechnik, Heimbüro
- Unterhaltungselektronik
- Haushalt: diverse und Kleingeräte
- Haushaltgeräte Waschen + Trocknen
- Haushaltgeräte Küche inkl. Spezialgeräte wie Kaffeemaschinen etc.
- Beleuchtung Dienstleistung, Gewerbe, Industrie, öffentliche B.
- Beleuchtung Haushalte

Ursache: Erdbeben oder Tsunami?



Wahrscheinlichkeit eines Super-Gaus

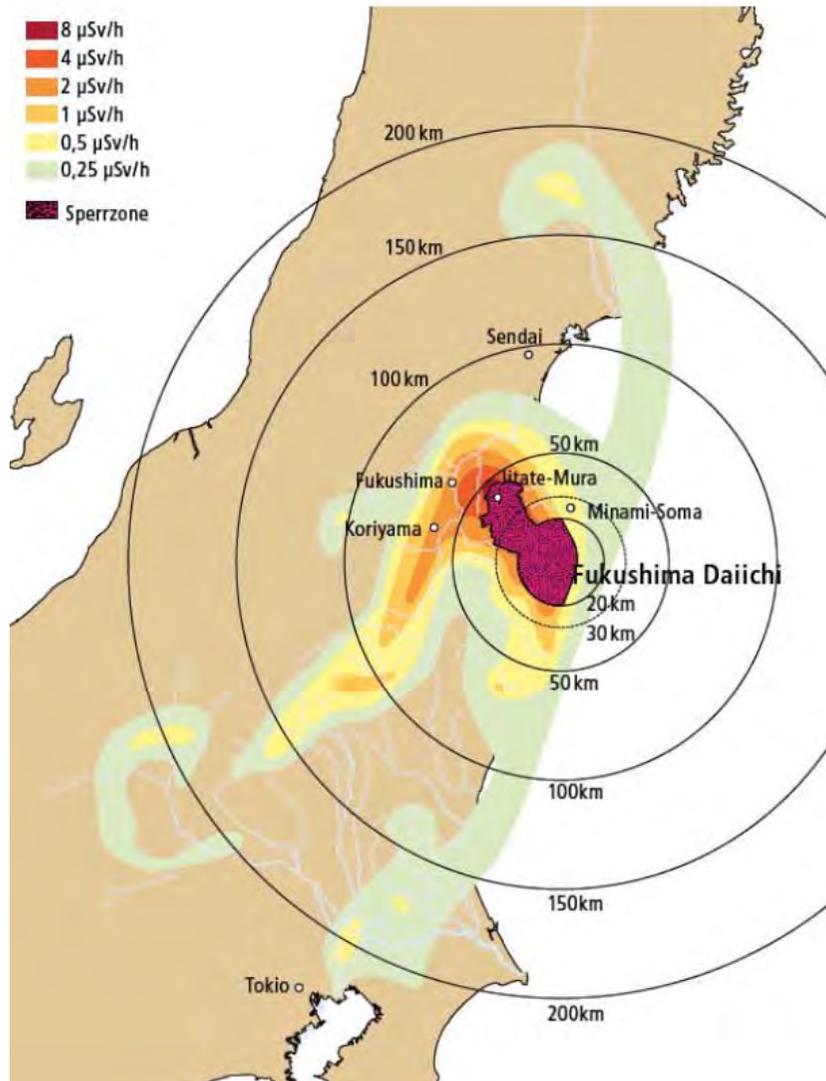
In den letzten 40 Jahren gab es in 435 in Betrieb stehenden Reaktoren statistisch fünfmal einen Super-Gau mit Kernschmelze ($p=1,15$ Prozent).

- Für die Schweiz mit fünf Reaktoren beträgt
 $p= 5 \times 1,15 \text{ Prozent} = 5,75 \text{ Prozent oder } 1:17,4.$
- Rechnet man die zwei Reaktoren in Fessenheim ein, beträgt
 $p= 7 \times 1,15 \text{ Prozent} = 8,05 \text{ Prozent oder } 1:12,5.$
- Die statistische Häufigkeit eines Super-Gaus liegt um mehrere Dimensionen höher als die Wahrscheinlichkeits-Schätzungen der Atomindustrie und der Atomaufsichten.
 - Die Atomindustrie behauptete, ein grosser Unfall ereigne sich nur einmal in 100'000 bis einmal in 1 Million Jahren (Wahrscheinlichkeit bei 435 Reaktoren 1: 229 bzw. 1:2298).
 - Statistisch ist ein Super-Gau alle 8 bis 10 Jahre eingetreten.
- Zum Vergleich: Das Risiko, in der Schweiz in vierzig Jahren Opfer eines tödlichen Verkehrsunfalls zu werden liegt derzeit bei 1:590. (2012: 339 Personen von ca. 8 Millionen Einwohnern).
Das Risiko, Opfer eines Supergaus zu werden, liegt somit 47 mal höher als das Risiko eines tödlichen Autoverkehrsunfalls.

Arnie Gundersen, US-
Nuklear-Ing.
hat für über 70 AKW-
Betreiber gearbeitet



Befürchtung eines Experten: «1 Million mehr japanische Krebstote in nächsten 30 Jahren»



Emission: Mikrosievert pro Stunde	kumulierte Strahlung über 60 Jahre in mSv	Anzahl Todesopfer durch Krebs pro Million Einwohner (ICRP)	Anzahl nicht tödliche Kreberkrank- ungen pro 1 Million Einwohner (ICRP)	Anzahl genetische Effekte pro 1 Million Einwohner (ICRP)
0.25	131.4	6'570	1'314	1'708
0.5	262.8	13'140	2'628	3'416
1	525.6	26'280	5'256	6'833
2	1051.2	52'560	10'512	13'666
4	2102.4	105'120	21'024	27'331
8	4204.8	210'240	42'048	54'662

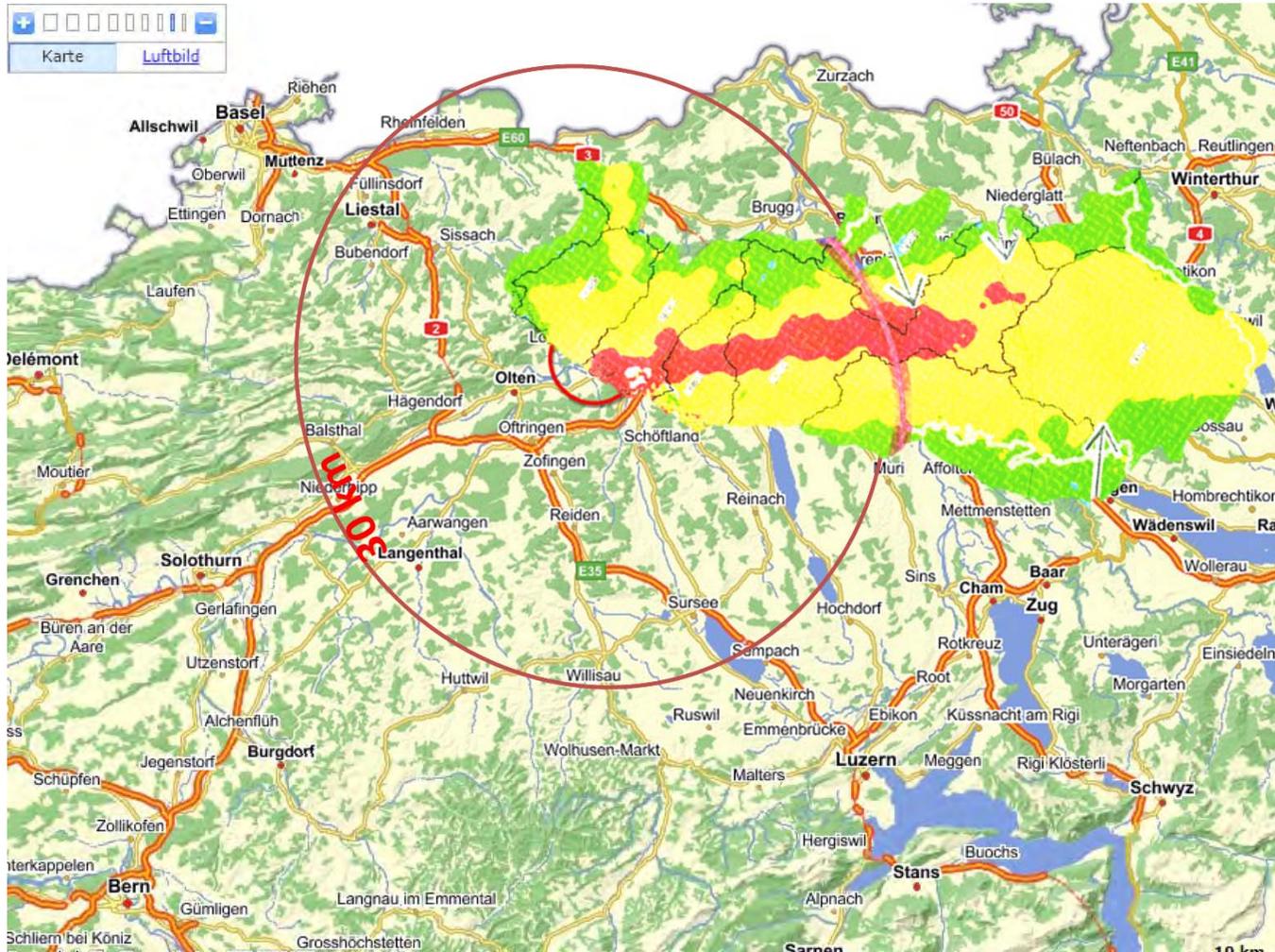
Berechnungsbasis: Internationale
Strahlenschutzkommission ICRP
(1990)

**Über 300'000 Erkrankungen pro 1 Mio.
Einwohner im dunklen Gebiet**

Kontaminierung
durch Cäsium
Fukushima Daiichi

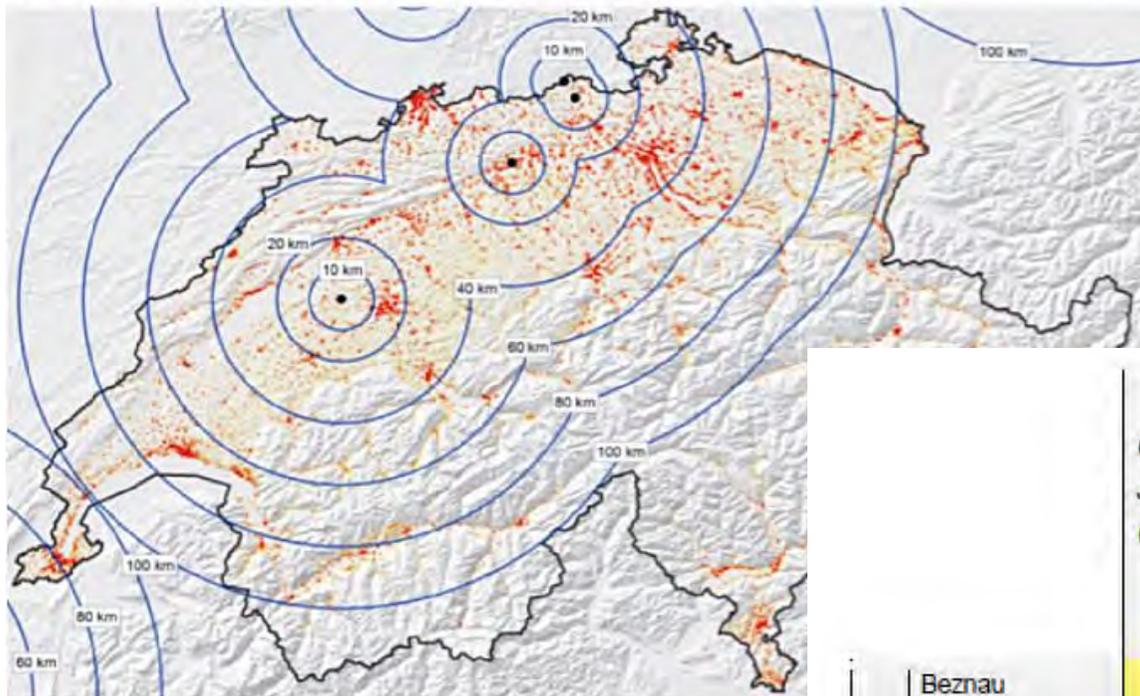
**Wahrnehmung des Risikos
bewirkt Schliessung von
52 der 54 Reaktoren**

Zum Vergleich:Fukushima Exkursion, Westwind, 30 km Zone rund um Gösgen



CH: Fünfmal höhere Bevölkerungsdichte als in Ost-Japan

Bevölkerungsdichte in der Umgebung von Atomkraftwerken



Quelle: Straumann (2011)

		Empfohlener Evakuierungsradius			
		<i>CH Zone 2, JPN nah USA nah</i>	<i>JPN mittel</i>	<i>JPN weit, Greenpeace</i>	<i>USA weit</i>
		20 km	30 km	40 km	80 km
Kernkraftwerk	Beznau	303'402	960'731	1'722'639	3'831'780
	Gösgen	411'916	877'973	1'686'747	4'369'025
	Leibstadt	187'723	589'515	1'457'360	3'742'970
	Mühleberg	545'058	887'447	1'248'491	3'229'652
	Fessenheim (F)	0	0	215'926	1'279'780
	Bugey (F)	0	0	0	174'461

Tabelle 1: Betroffene Bevölkerung innerhalb bestimmte empfohlener Evakuierungsradii.

Was spricht gegen Atomkraftwerke?

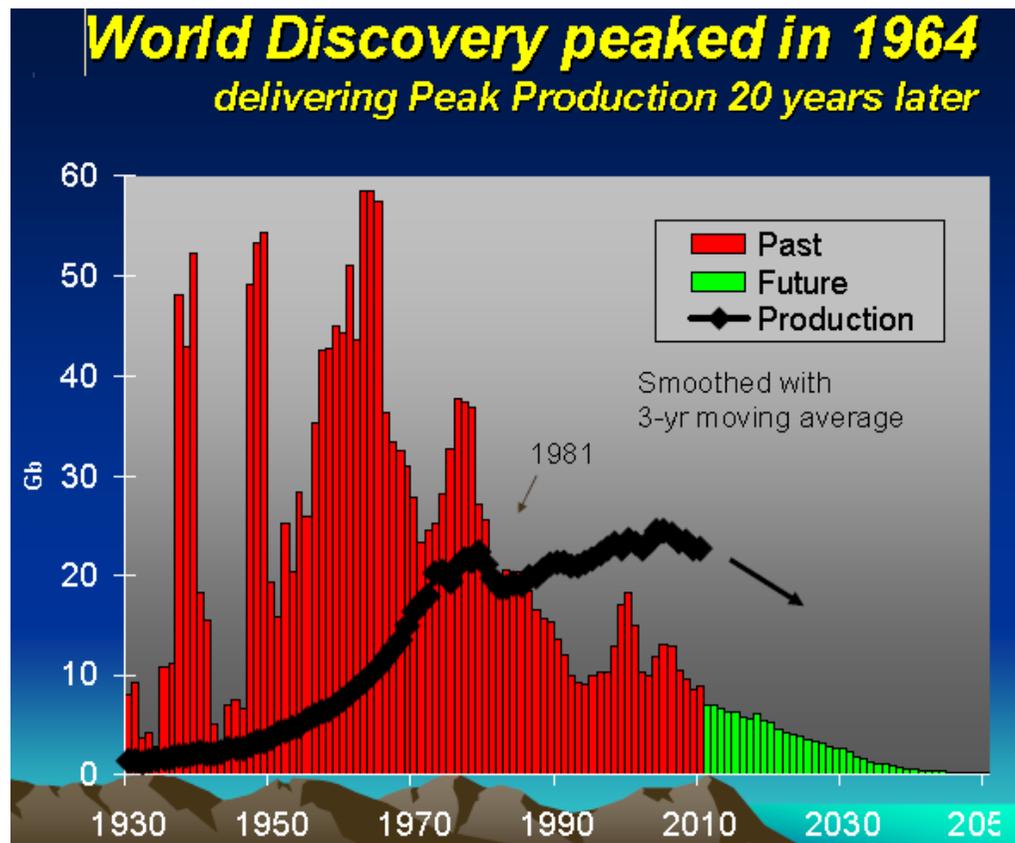
- **Umweltbelastender Uranabbau**
- **Unfallrisiko im Betrieb, Niedrigstrahlung**
- **Keine Haftpflichtversicherung => verfälschter Preis
(volle Haftpflicht verteuert die kWh um 14 bis 240 €C./kWh, so die
Berechnung der Leipziger Versicherungsforen)**
- **Strahlenbelastung bei Wiederaufarbeitung**
- **Fehlende sichere Lagerung von radioaktiven Abfällen**
- **Risiken der Plutonium-Verbreitung**
- **Keine langfristige Versorgungssicherheit mit Uran**
- **hohe Kosten- und Bauzeitüberschreitungen bei neuen AKWs**



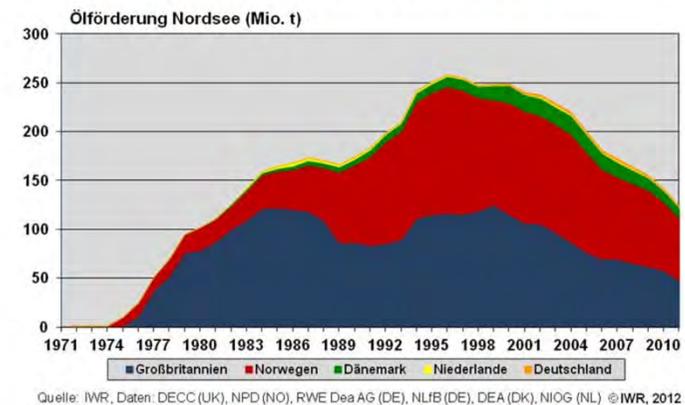
Erdöl: Die Leitwährung versiegt

Ölverbrauch übersteigt Ölfunde seit 1981

(Colin Campbell 2011)

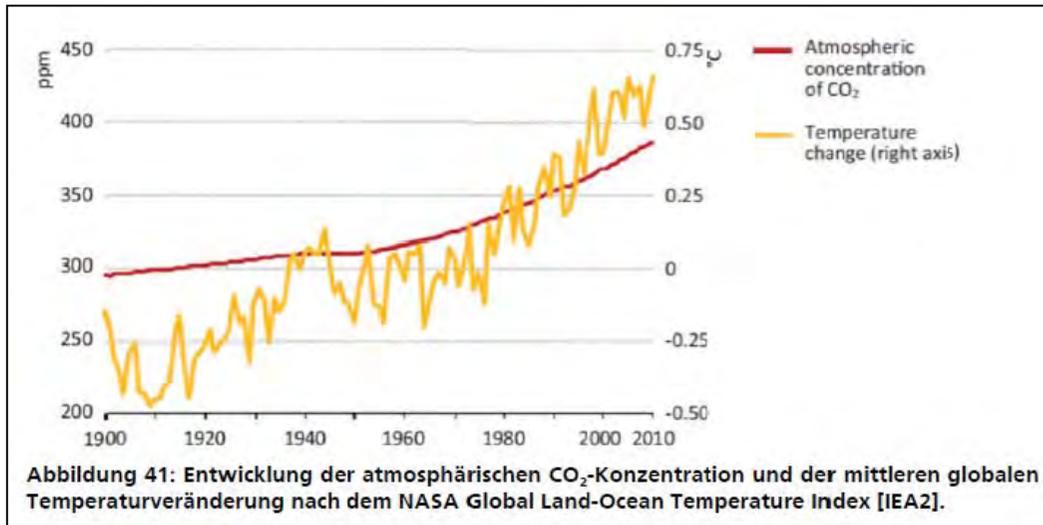


Rohöl-Förderung in der Nordsee IWR
nach Ländern von 1971 bis 2011



Jahresförderung ist mehr als doppelt so hoch wie die neuen Funde an Erdöl.

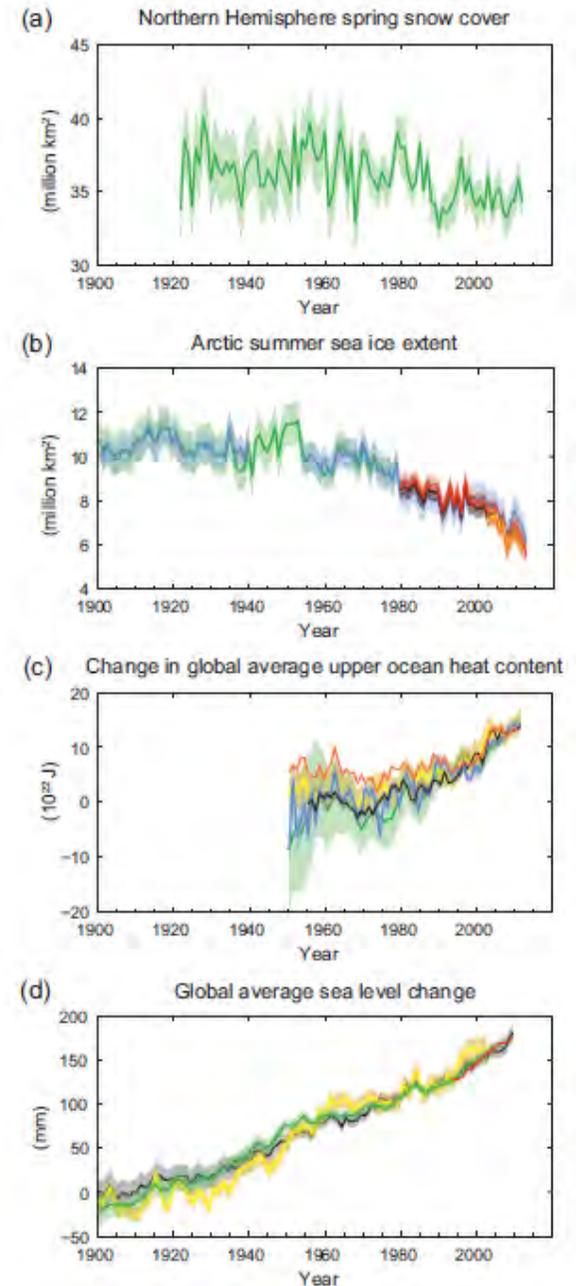
Klimakatastrophe wird zur teuersten Katastrophe aller Zeiten



CO₂-concentration rising = temperatures rising
(Prof. Th. Stocker) 2013: 400 ppm



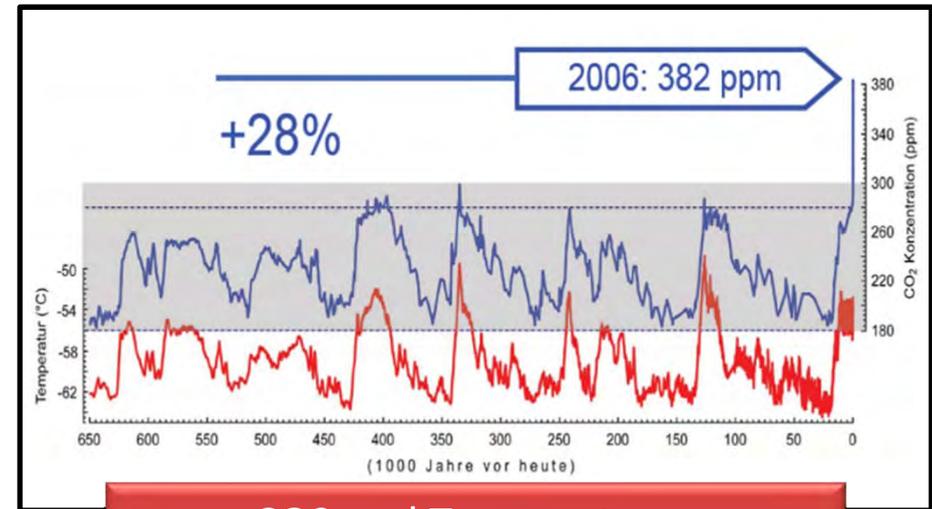
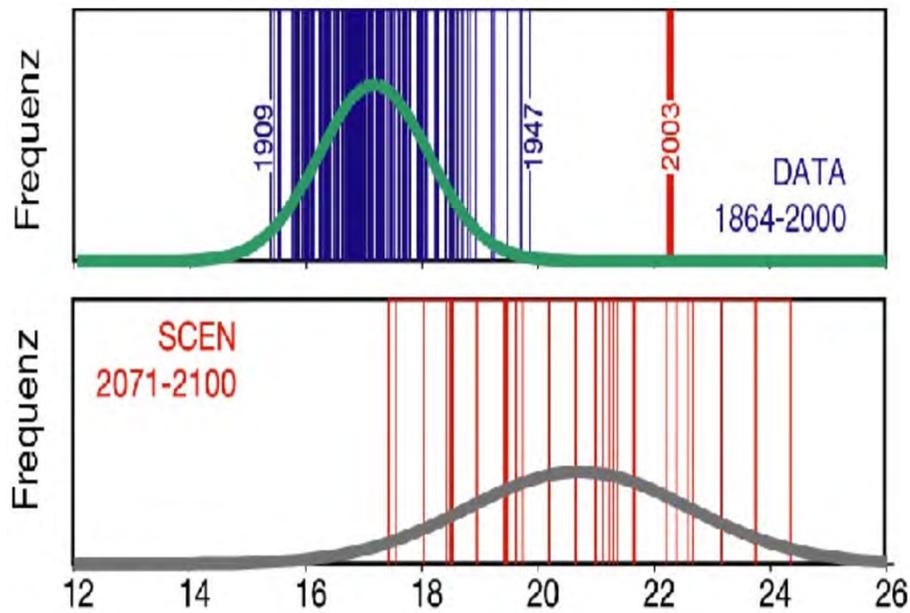
Netherlands:
3 meters of additional sea level
=
loss of ca. 1/3 of space



Reducing snow and ice shields speeds up rise of temperatures (IPCC 2014)

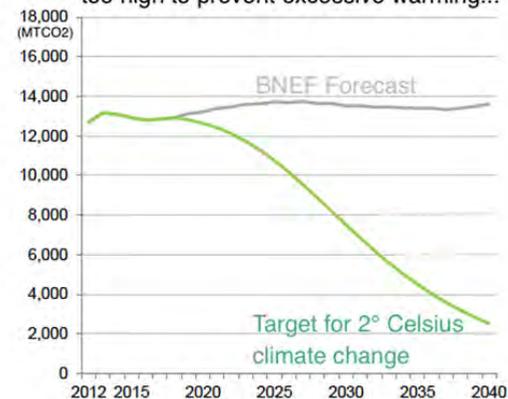
Korrelation CO₂/C° und Erwartungen für die Schweiz

Increase of record
heat days
(Th. Stocker)



CO₂ and Temperatures
The last 650'000 years

Global power emissions will remain far
too high to prevent excessive warming...



Übersicht

- I Energieversorgung am Wendepunkt
- II **Potentiale der Erneuerbaren**
- III Politische Weichenstellung
- IV Fokus Schweiz
- V Wege zur Vollversorgung mit erneuerbaren Energien

Diskurs der letzten Jahrzehnte

Die Argumente der Atom-Monopolisten gegen die erneuerbaren Energien

Die drei Vorsitzenden der Atomkonzerne (bis 2012):
 Heinz Karrer, CEO Axpo bis 2014
 Giovanni Leonardi, CEO Alpiq bis 2012 (früher Atel)
 Kurt Rohrbach, CEO Bernische Kraftwerke bis 2013 (BKW)



Das BKW-Märchen (Originalgrafik)

Technologien

- **Neue erneuerbare Energien**
noch nicht konkurrenzfähig, fehlendes Potenzial
- **Neue Technologien**
wie Kernfusion, Brennstoffzellen, H₂, Deep Heat Mining kommerziell nicht bereit
- **Wasserkraft**
weitgehend ausgeschöpft

Schliessen der Energielücke Schweiz.
 zwei Optionen:
 • Gaskraftwerke
 • Kernkraftwerke

Itol energy



Das Axpo-Märchen (Originalgrafik)

atel

Energiepotenzial: Dezimalstellen und Proportionen

00,00

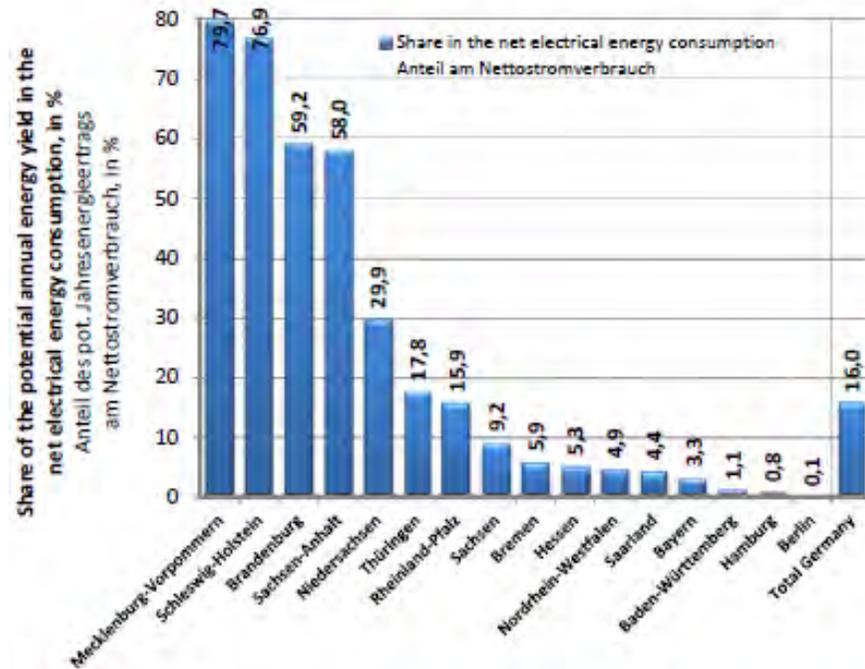
Für die beiden Dezimalstellen vor dem Komma benötigen wir in der Schweiz und in Europa neue grosse Kraftwerke.

Neue erneuerbare Energien sind wichtig. Aber: Sie lösen das Problem auf den beiden Dezimalstellen hinter dem Komma.

Aare-Tessin AG für Elektrizität | Mediengespräch 30.11.2008 | 1 Page 121

Das Alpiq-Märchen (Originalgrafik)

Anteil der Windkraft in deutschen Bundesländern



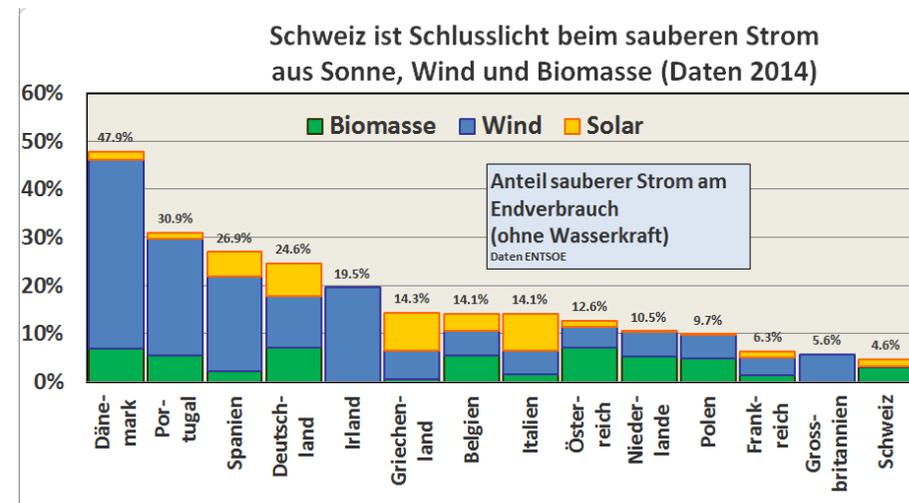
back to text

(Fig. 7) Shares of the potential annual energy yield in the net electrical energy consumption for the Federal States

http://www.dewi.de/dewi_res/index.php?id=22

DEWI Magazin 47

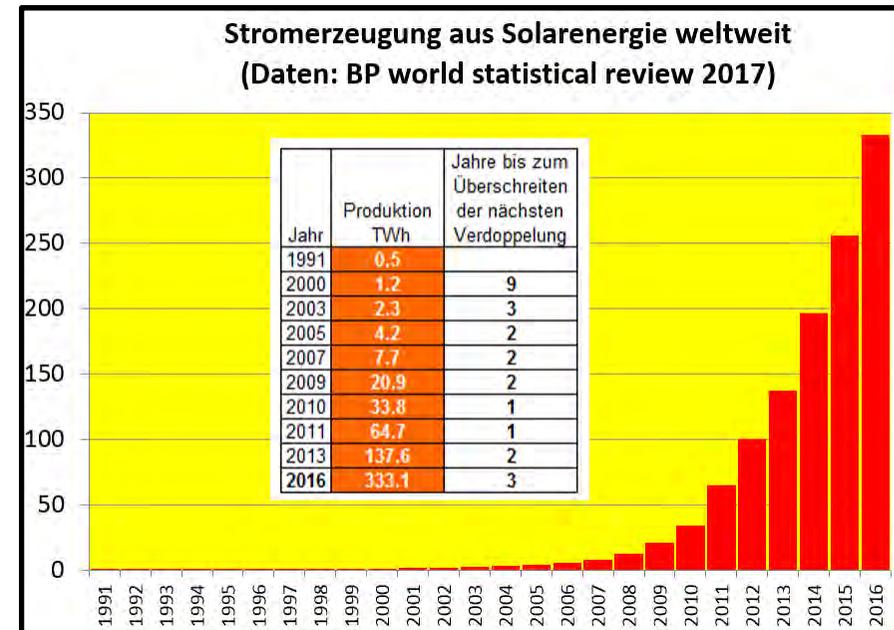
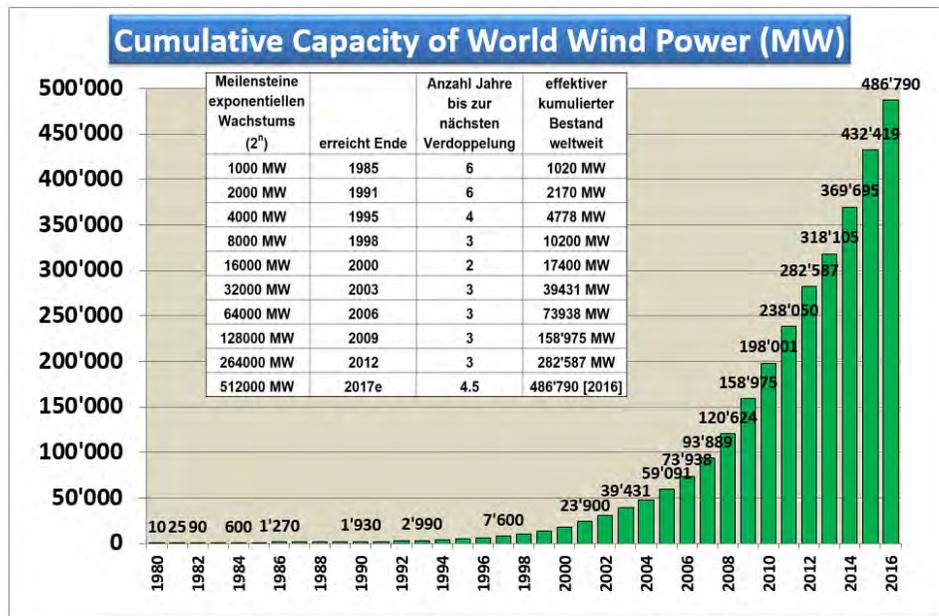
Stand Ende 2014: Wind, Sonne Biomasse



Wind und Solarstrom verzeichnen exponentielles Wachstum weltweit

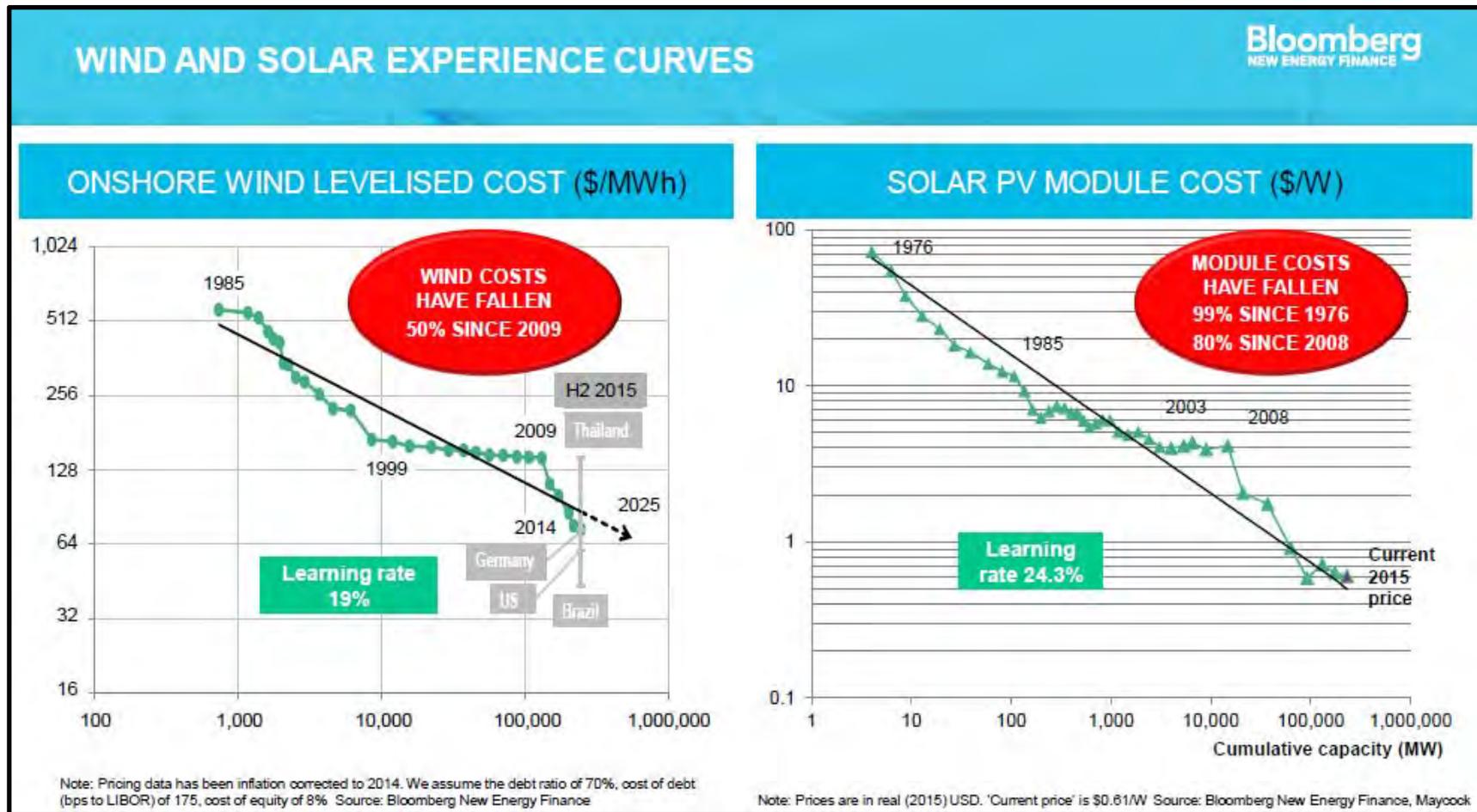
Global Wind Power
9 Verdoppelungen seit 1995

Globale Photovoltaik (PV)
10 Verdoppelungen seit 1996



Daten GWEC, Wind Power Monthly, BP

Lernkurven zeigen die Preissenkungen abhängig vom Wachstum der Installationen



Beispiel: der Bestand an Windturbinen (MW) verdoppelte sich alle 3 bis 4 Jahre. Für neue Turbinen sanken die Preise bei jeder Verdoppelung um 19% (Lernrate 19%).

Beispiel Windenergie –Gründe des Erfolgs

Unterscheidungsmerkmale von nichterneuerbaren Energien

(Die meisten Erfolgsmomente gelten auch für die Solarenergie)

1. Die Primärenergie (Wind) ist **kostenlos**.
2. Wind ist **unerschöpflich**, geht nie aus;
3. Es gibt **genügend Wind**, in **allen Weltregionen**.
4. Die Technik ist **reif**; **stabile Lebenszykluskosten werden garantiert**.
5. Windkraft ist **wettbewerbsfähig** betrachtet über den ganzen Lebenszyklus.
6. **keine CO₂-Emissionen, Luftemissionen, keine radioaktiven Abfälle**.
7. Windkraft benötigt **kein Kühlwasser**;
8. Windturbinen haben eine **kurze Energierücklaufzeit** (< 1Jahr)
9. Marktzutritt für neue Hersteller ist einfach, verglichen mit anderen Kraftwerkstechniken wie Atomenergie.

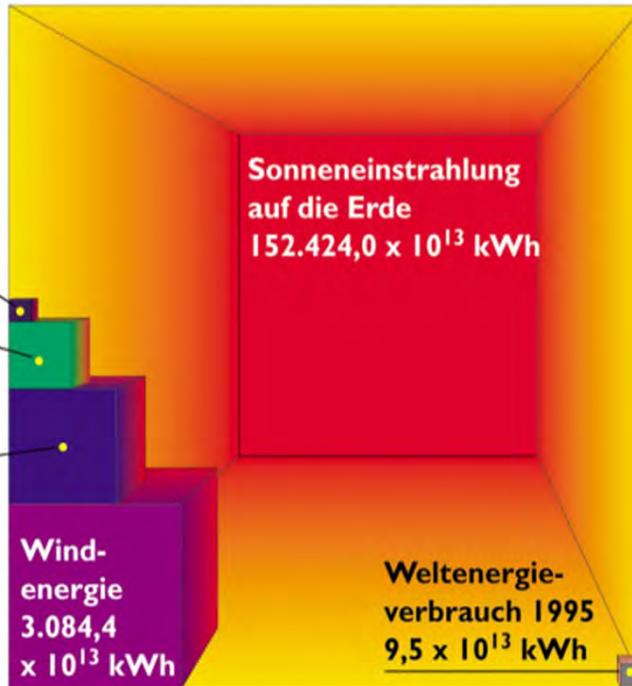
10. Kurze Zeit von der Produktentwicklung bis zur Platzierung am Markt (time to market).
11. Kurze Herstellungszyklen; grosse Windfarmen innert Jahresfrist möglich.
12. Windenergie ist **junge Technik**, weitere Kostenreduktionen sind zu erwarten.
13. Windenergie ist **dezentrale Energie**, **wird nicht von wenigen Anbietern beherrscht**.
14. **Moderate Distanz** vom Ort der Erzeugung bis zum Ort des Verbrauchs ist (1–1500 km)
15. Positive Nebenwirkungen für Hersteller und Nutzer: Steuereinnahmen, Einkommen für Bauern und Landbesitzer (relevant in abgelegenen Gebieten).
16. Windenergie führt zur Schaffung von Know-how und Arbeitsplätzen, immer öfter im Nutzerland selber.
17. Windenergie ist in Europa schwergewichtig **Winterenergie**.

Potentiale weltweit

Wasserkraft
 $4,6 \times 10^{13}$ kWh

Biomasse
 $152,4 \times 10^{13}$ kWh

Wellen- und Meeresenergie
 $762,1 \times 10^{13}$ kWh



Quelle:
 Eurec. Agency/Eurosolar, WIP:
 Power for the World – A Common Concept

Potentiale der Erneuerbaren sind 11'000 mal grösser als Weltverbrauch

Kriterium: Spezifischer Flächenverbrauch

Reichweite eines Fahrzeugs pro 100 m² Nutzungsfläche

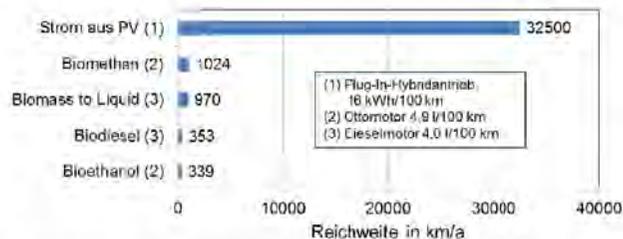


Abbildung 34: Fahrzeugreichweite mit dem Jahresertrag von 1 a = 100 m² Energiepflanzenanbau (2,3) und von 40 m² PV-Modulen, aufgeständert auf 100 m² ebener Grundfläche, Quellen: Photon, April 2007 (1) und Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2), (3)

4 Millionen Kilowattstunden ernten:

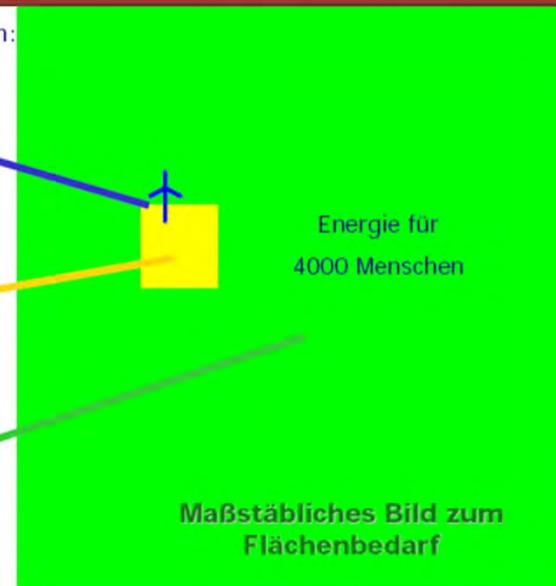
1 Windkraftanlage

oder

4 Hektar Solarzellen

oder

200 Hektar Raps (Öl)



Maßstäbliches Bild zum Flächenbedarf

Übersicht

- I Energieversorgung am Wendepunkt
- II Potentiale der Erneuerbaren
- III Politische Weichenstellungen: Öffnung der Netze, Wettbewerb, Marktmodelle
- IV Fokus Schweiz
- V Wege zur Vollversorgung mit erneuerbaren Energien

Was entscheidet letztlich über den Erfolg der erneuerbaren Energien?

1. Politischer Wille (Ziele und Instrumente)
2. Marktzugang und kostenorientierte Vergütung (zB. Über wettbewerbliche Ausschreibungen)
3. Integration von Angebot und Nachfrage
 - Vernetzung der Systeme, Steuerungsoptionen
 - Speicher
 - Sektor-Kopplung (Strom/Wärme/Verkehr)

Schweiz hätte die besten Möglichkeiten, ist aber politisch durch die Atomlobby blockiert (fehlende Marktöffnung / Parteispenden/ Referendumsmacht der Netzbetreiber und ihrer Verbündeten)

EU-Ziel für 2020: 20% erneuerbare Energien (EE) am Endenergieverbrauch

EU-Richtlinie 2009/28/EG & nationale Aktionspläne

- > Ziele der Richtlinie 2009/28/EG
 - 20% EE am EU-Endenergieverbrauch in 2020
 - Einheitlich mind. 10% EE am Energieverbrauch im Transportbereich
 - Nationale Gesamtziele und Erstellung nationaler Aktionspläne

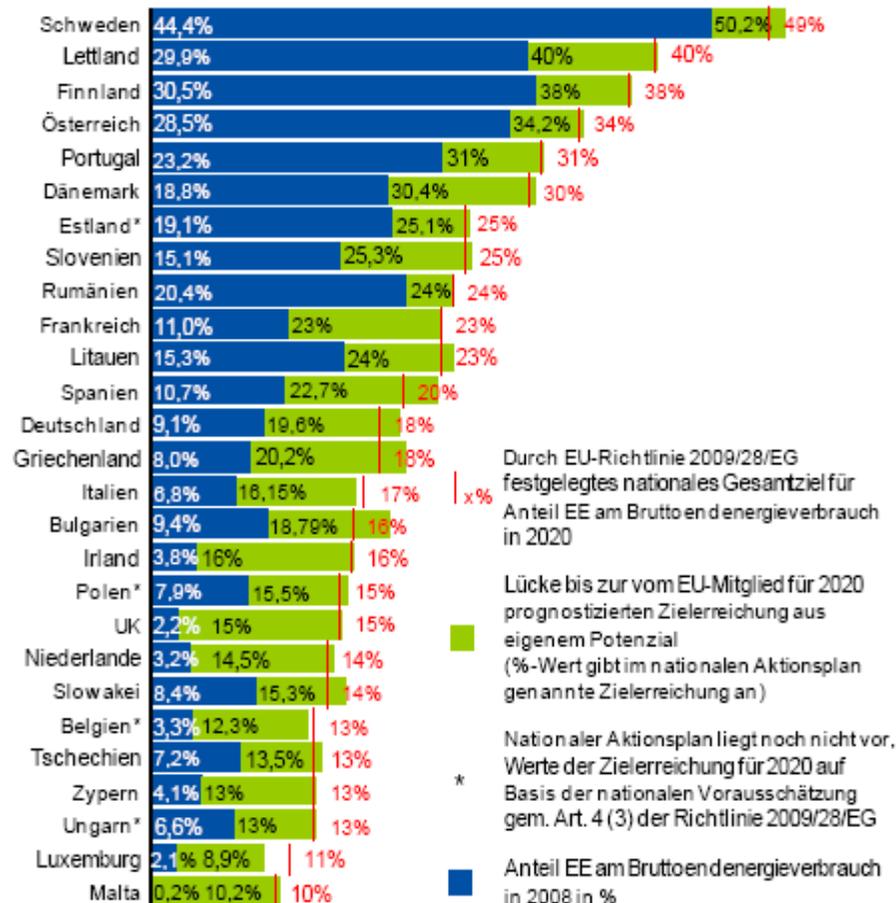
- > Ende 2009 gem. Art. 4 (3) o.a. Richtlinie Übermittlung einer ersten Vorausschätzung der Mitglieder an die EU
 - Mehrzahl geht von Erreichung bzw. Übertreffen des nationalen Ziels mit eigenen Potenzialen aus
 - Europäisches Gesamtziel wird vrstl. leicht übertroffen

- > EU-Mitgliedstaaten haben durch Einreichung der nationalen Aktionspläne Ziele bekräftigt und mit konkreten Maßnahmen hinterlegt



Fortschreitender dynamischer Ausbau der EE auf europäischer und nationaler Ebene

Nationale Ziele und prognostizierte Zielerreichung



Quelle: EU-Kommission, Eurostat

EU-Ziele für 2020 und 2030

EU energy and climate targets (%)

	2020	2030	2050	Basis
Emissions	20	at least 40	at least 80	Below 1990 levels
Renewables	20	at least 27	tbc	Share of final energy demand
Energy efficiency	20	at least 27	tbc	Savings on projected business as usual demand
Est'd renewable electricity share	35	45	tbc	Share of final electricity demand

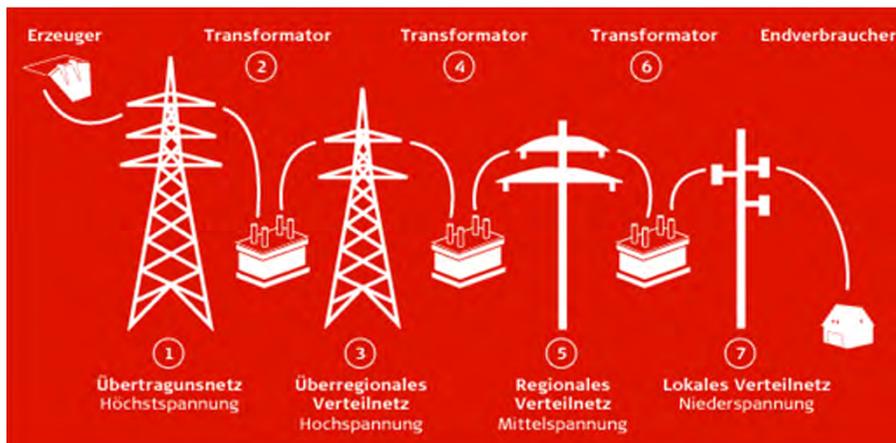
Source: European Commission

Die CO₂-Reduktionsziele (minus 40%) und die angestrebte Erhöhung des Beitrags der erneuerbaren Energien laufen auf einen starken Anstieg der erneuerbaren Stromerzeugung hinaus. Der Beitrag von Wind und Sonne dürfte sich bis 2030 von rund 500 auf 1500 TWh verdreifachen.

Die Öffnung der Stromnetze erleichtert die Vollversorgung mit sauberem Strom dank freiem Wettbewerb

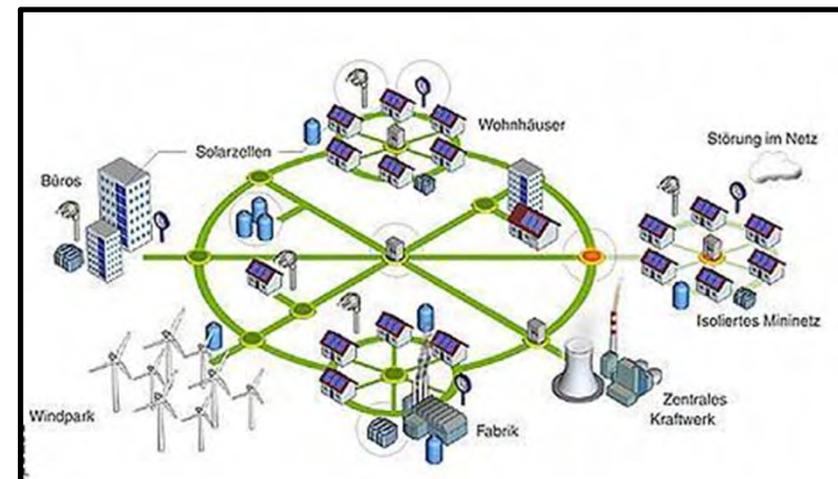
Altes System: Gebietsmonopol

1 Anbieter kontrolliert Angebot und Netze



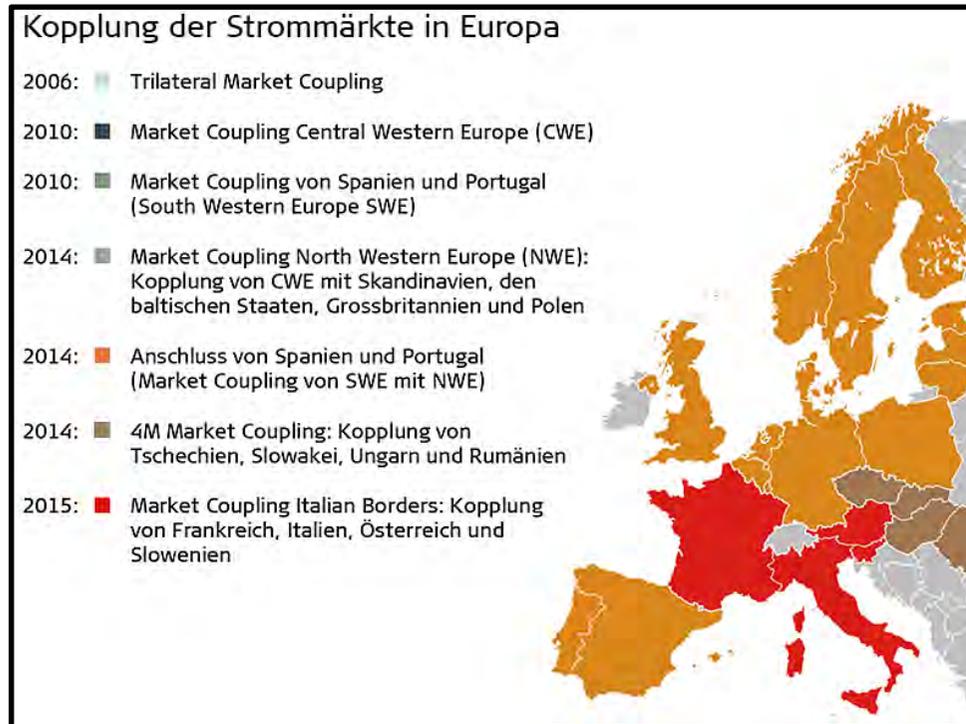
Neues System: offene Netze

Viele Kraftwerke, offener Handel, Prosumer



Der Strombinnenmarkt erleichtert die Vollversorgung mit sauberem Strom dank Vernetzung

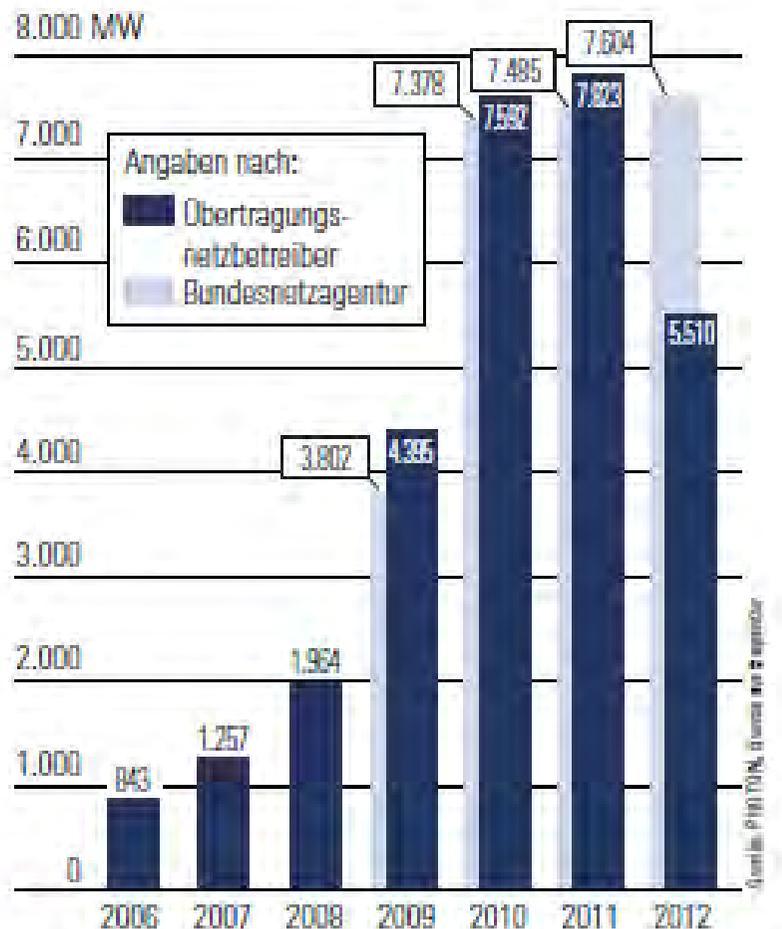
Market coupling: freier Stromhandel



Market Coupling : Strom und
Netzkapazität gemeinsam vermarktet.
(Grafik Swissgrid²⁸)

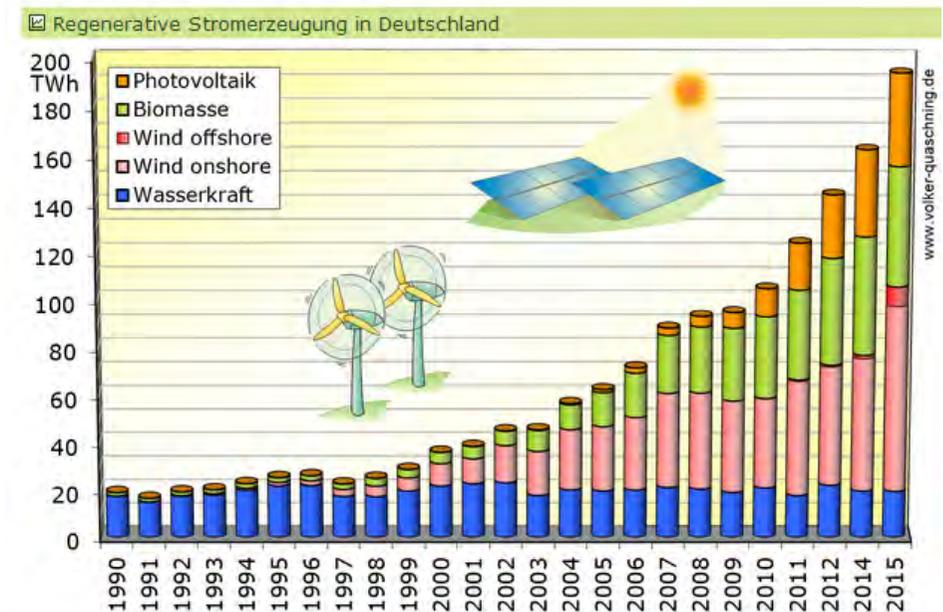
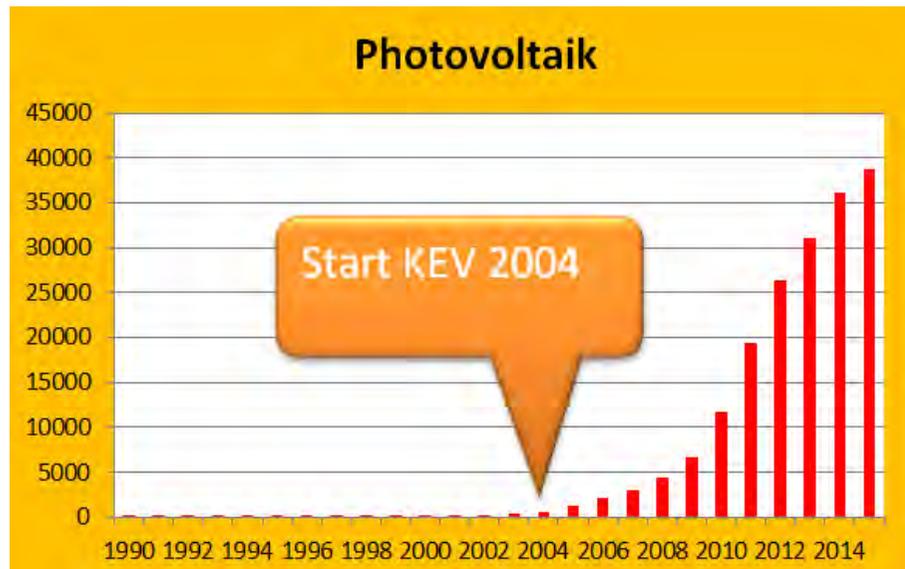
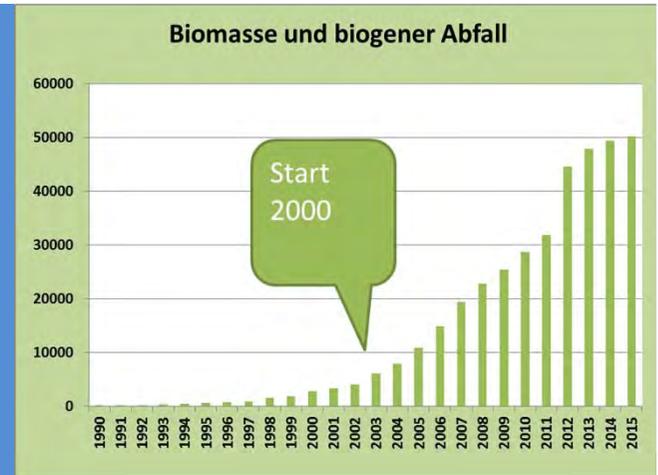
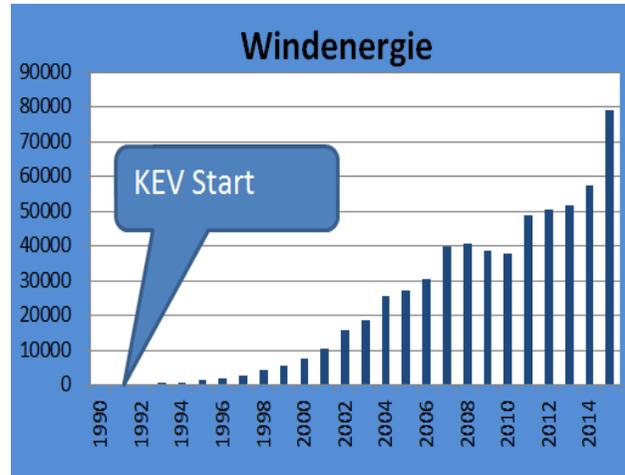
Gründe des deutschen Solarbooms

**Explosionsartiges Wachstum
7000 MW /year 2010-2012**

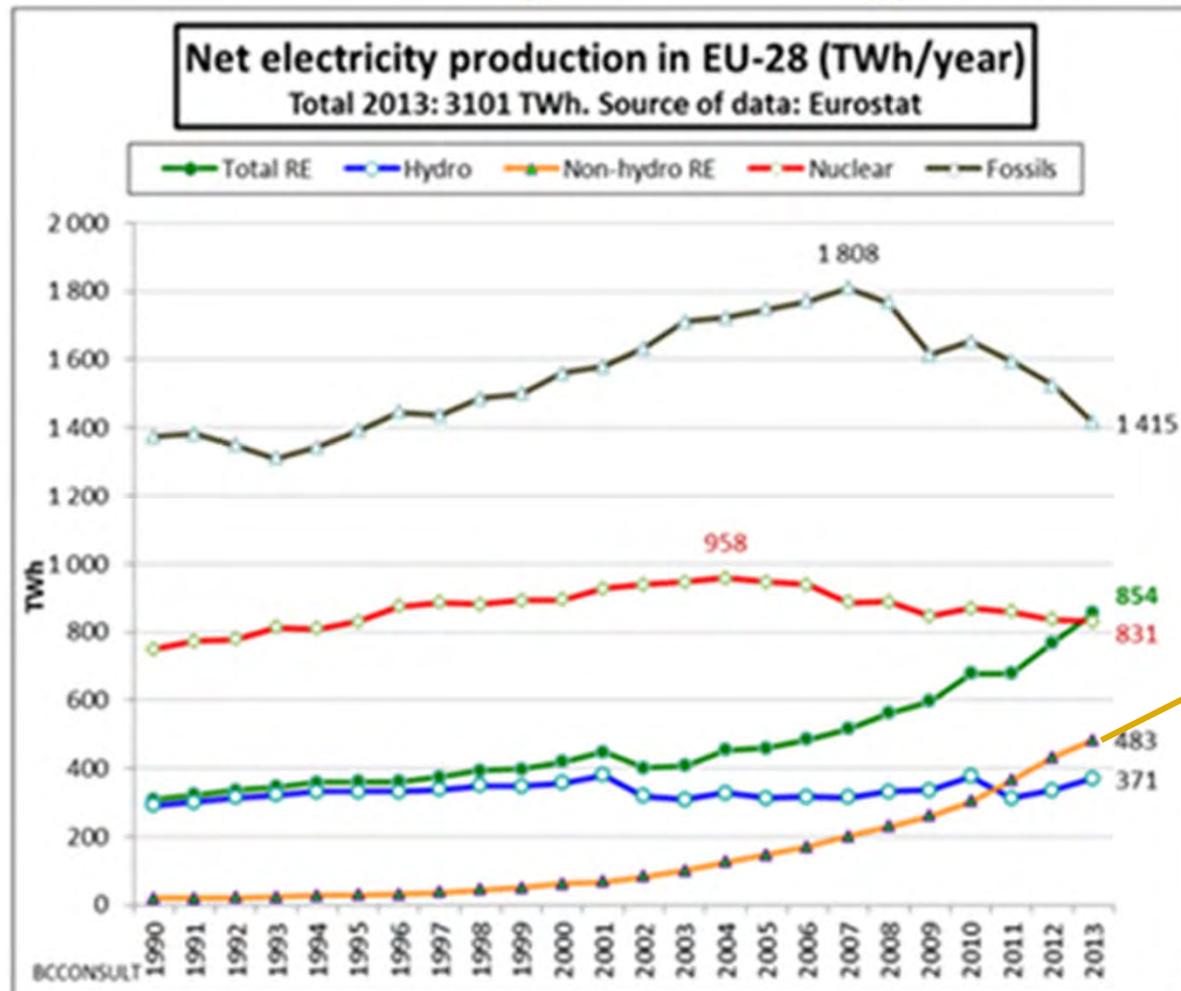


- Sichere Vergütung über 20 Jahre
- Regulierte Verzinsung (7% vom Eigenkapital)
- Vorrang beim Netzzugang
- Günstige Refinanzierung dank KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau)
- Deutsche Technologiebasis von China kopiert und später verdrängt
- Bis 2012 starke Unterstützung der Regierung

Beispiel Deutschland 1990-2015: von 3% auf 33% sauberen Strom



EU-Politik bestimmt auch die Strompreise in der Schweiz



Ausbauziele der EU:

45 % erneuerbarer Strom bis 2030

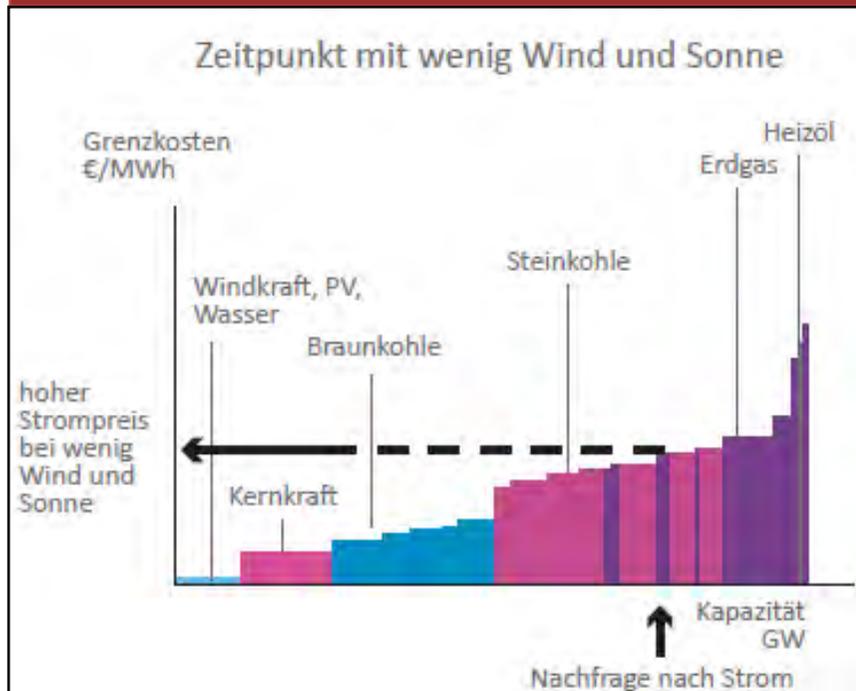
= Verdoppelung Wind und Sonnenstrom

1000 TWh
2030

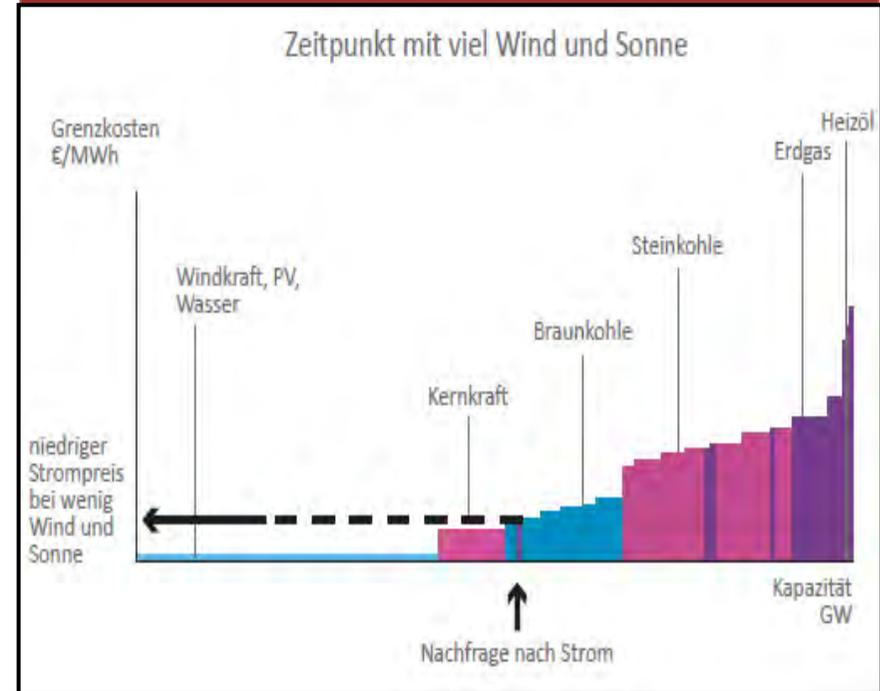
Wer gewinnt im Wettbewerb?

Anbieter mit tiefsten variablen Kosten: Wind, Wasser, Sonne!

Wenig Wind, Sonne =
Kraftwerke mit hohen Kosten am Netz =
hoher Strompreis

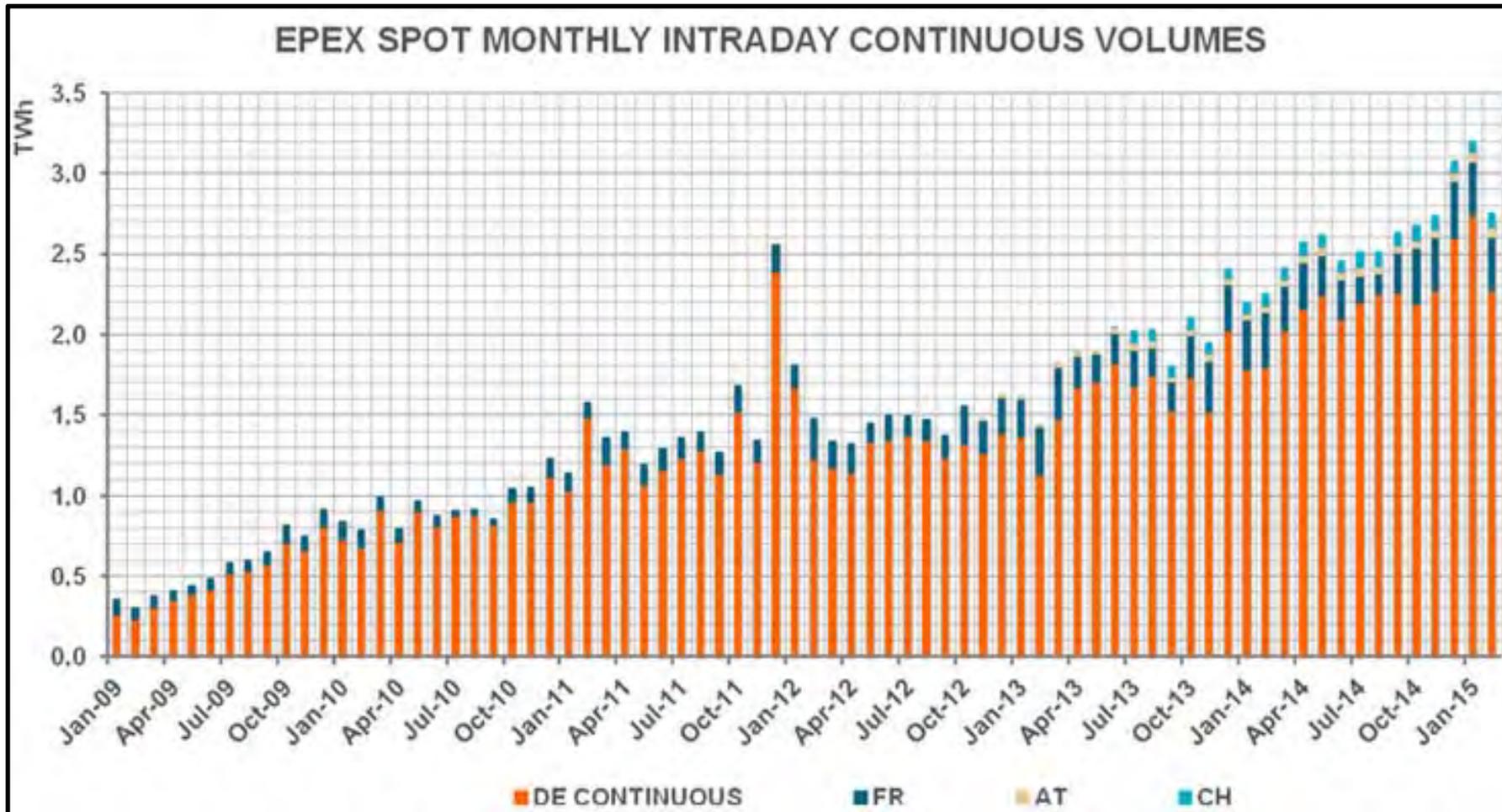


Viel Wind, Sonne =
Kraftwerke mit tiefen Kosten am Netz =
tiefer Strompreis



Tiefe variable Kosten sind ein struktureller Vorteil für Wind-, Wasserkraft und Solartechnik;
Unflexible Techniken mit variablen Kosten > 0 haben ein Vermarktungsproblem (bes. betroffen: Bandenergie Kohle, Atom)

Immer mehr Stromhandel an der Börse: an Stelle der Langzeitverträge treten schnelle Deals

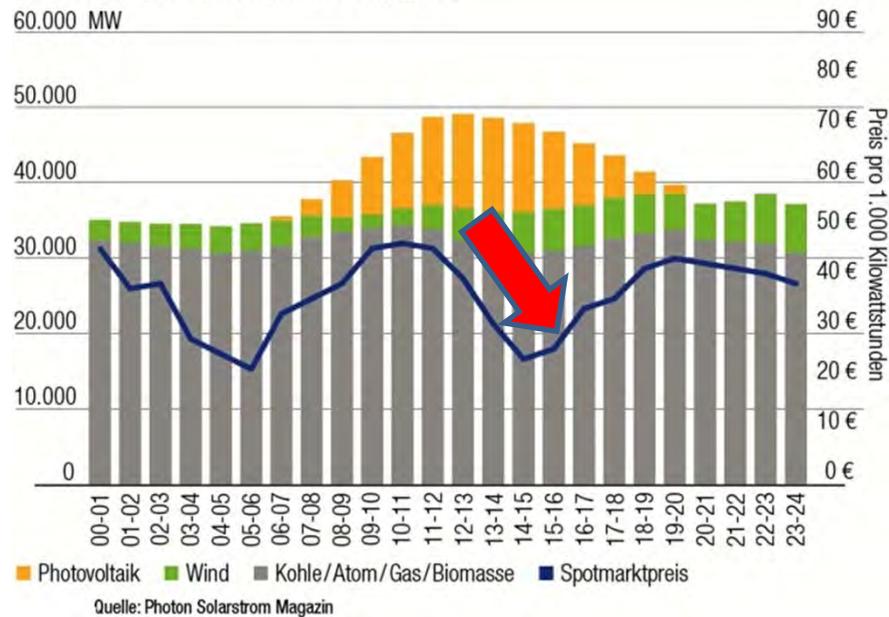


Zunahme des Tageshandels (<24 h) an der europäischen Strombörse

Wenn die Sonne scheint, sinken die Preise!

Beispiel Deutschland 16 Juli 2011

Deutscher Strom-Mix am 16. Juli 2011

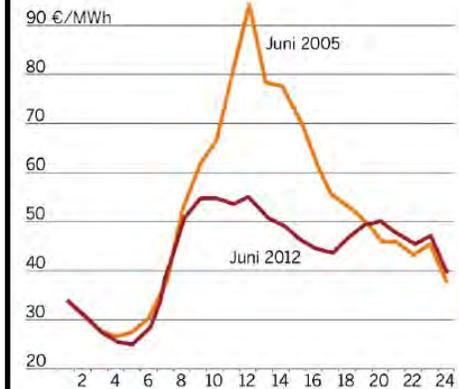


Source:
EEX/Photon

Dank PV ist die teure
Mittagsspitze
verschwunden.

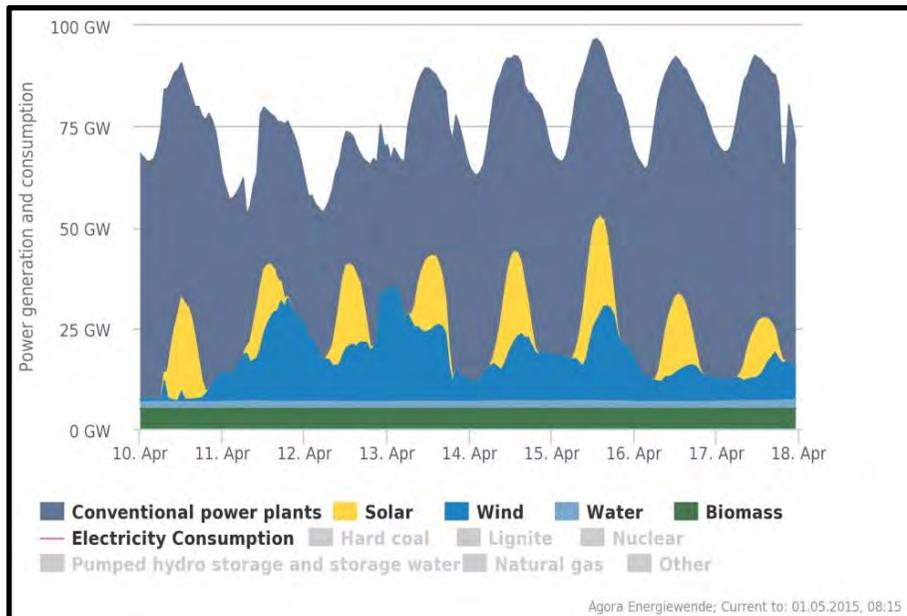
Billiger dank Sonne

Strompreis während eines sonnigen Tages
im Juni 2005 und im Juni 2012

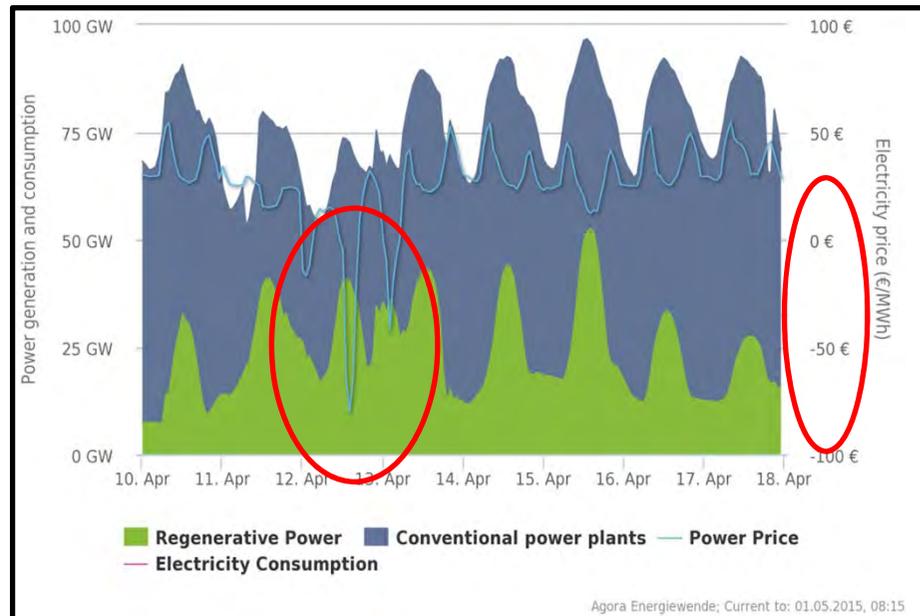


Beispiel Deutschland April 2015

Solarenergie passt gut zur Lastspitze und senkt Preise am Mittag



Starker Wind und Sonnenschein in Kombination mit unflexibler Kohlekraft führen zu negativen Preisen an Strombörse



Wetter bestimmt den Preis – manche Kraftwerke rentieren nicht mehr!

Es gibt verschiedene Anspruchsgruppen:

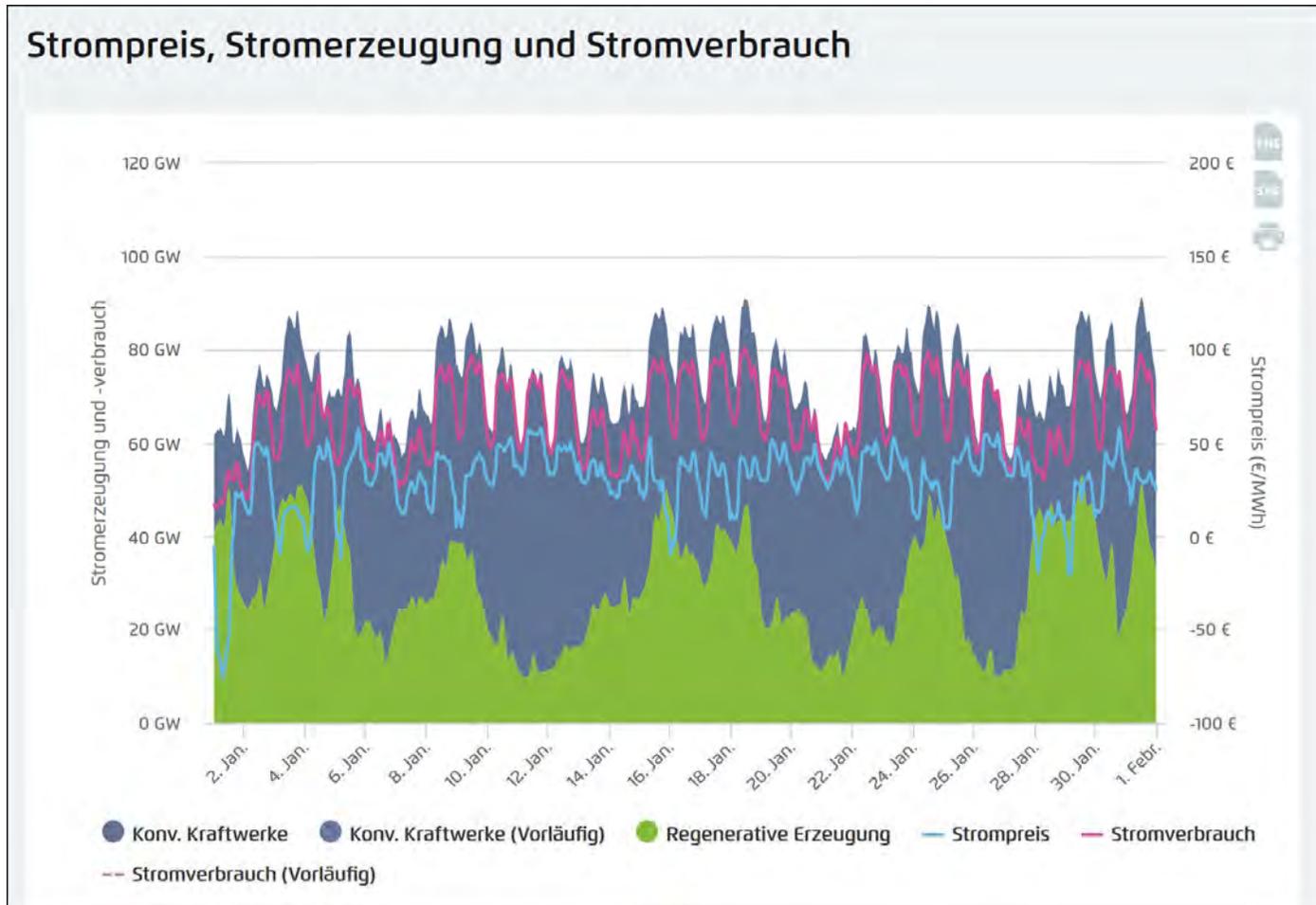
- Investoren brauchen Sicherheit und Rendite
- Konsumenten wollen Versorgungssicherheit
- Neues Marktdesign ist erforderlich
 - Rentabilität dank Preisgarantien oder dank Eigenverbrauch
 - Übergang von festen Einspeisevergütungen zu wettbewerblichen Ausschreibungen mit Einspeiseprämien und flexibler Vermarktung

So wird das Problem in Europa gelöst:

- Einspeiseprämien werden aus Netzzuschlägen finanziert.
- Ausschreibungen berücksichtigen nur die günstigsten Anbieter
- Der freie Markt garantiert die Versorgungssicherheit nicht mehr.
- Die Beiträge aus dem Netzzuschlag verbilligen den Energiepreis.
- Die Strompreise befinden sich im Wettbewerb immer öfter auf dem tiefen Niveau der Grenzkosten

(Grenzkosten = variable Kosten der jeweils teuersten Anlage am Netz)

Deutschland Januar 2018

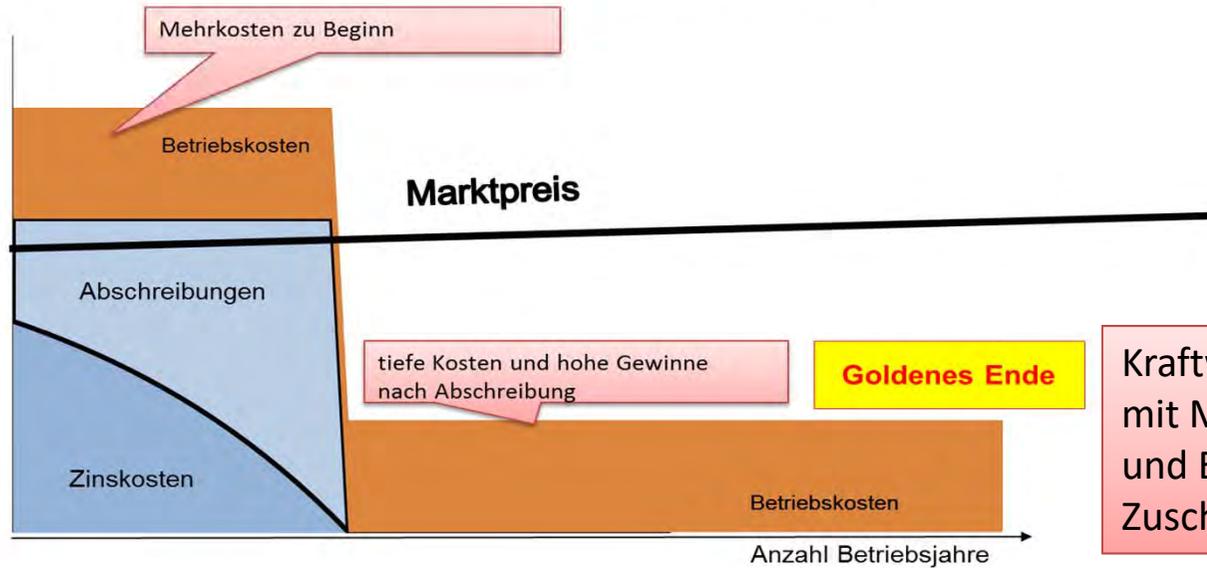


Finanzierungsbedarf von Kraftwerken mit erneuerbaren Energien

Zuerst Mehrkosten, danach «goldenes Ende»



Kosten eines Kraftwerks mit erneuerbarer Energie

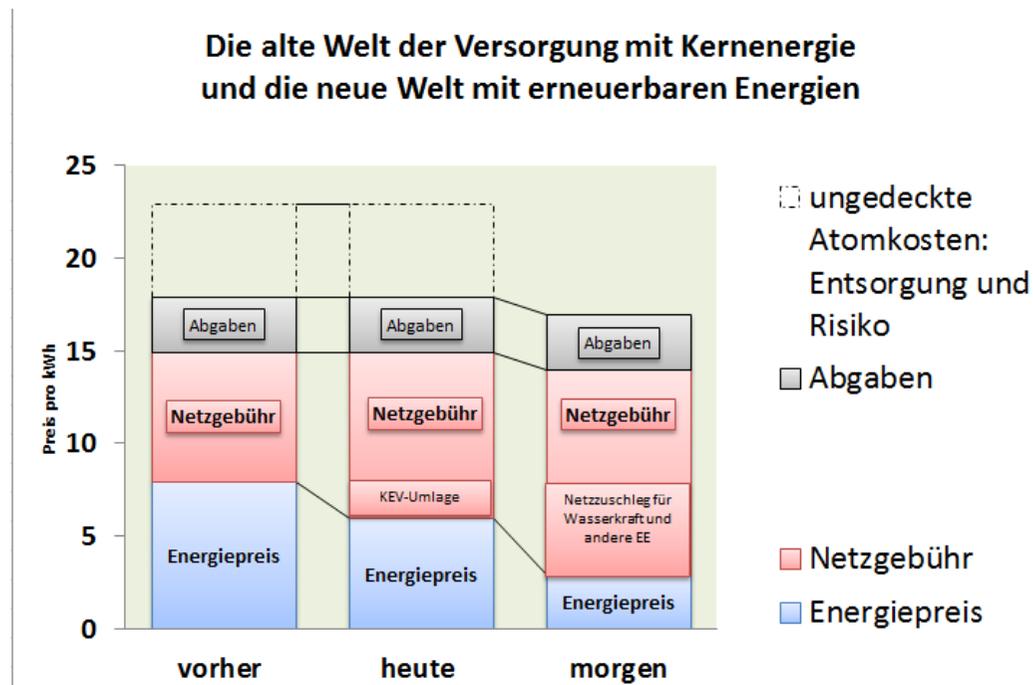


Kraftwerke am Goldenen Ende können mit Marktpreis überleben. Neubauten und Erneuerungen brauchen Zuschüsse (aus Netzzuschlag)



Beispiel Kraftwerk Rheinfelden 1898-2011 (gebaut 1894-1898): Teurer Anfang, hoch rentables Ende

Einspeisevergütungen sind keine Subventionen: Netzzuschlag wird von Verursachern finanziert

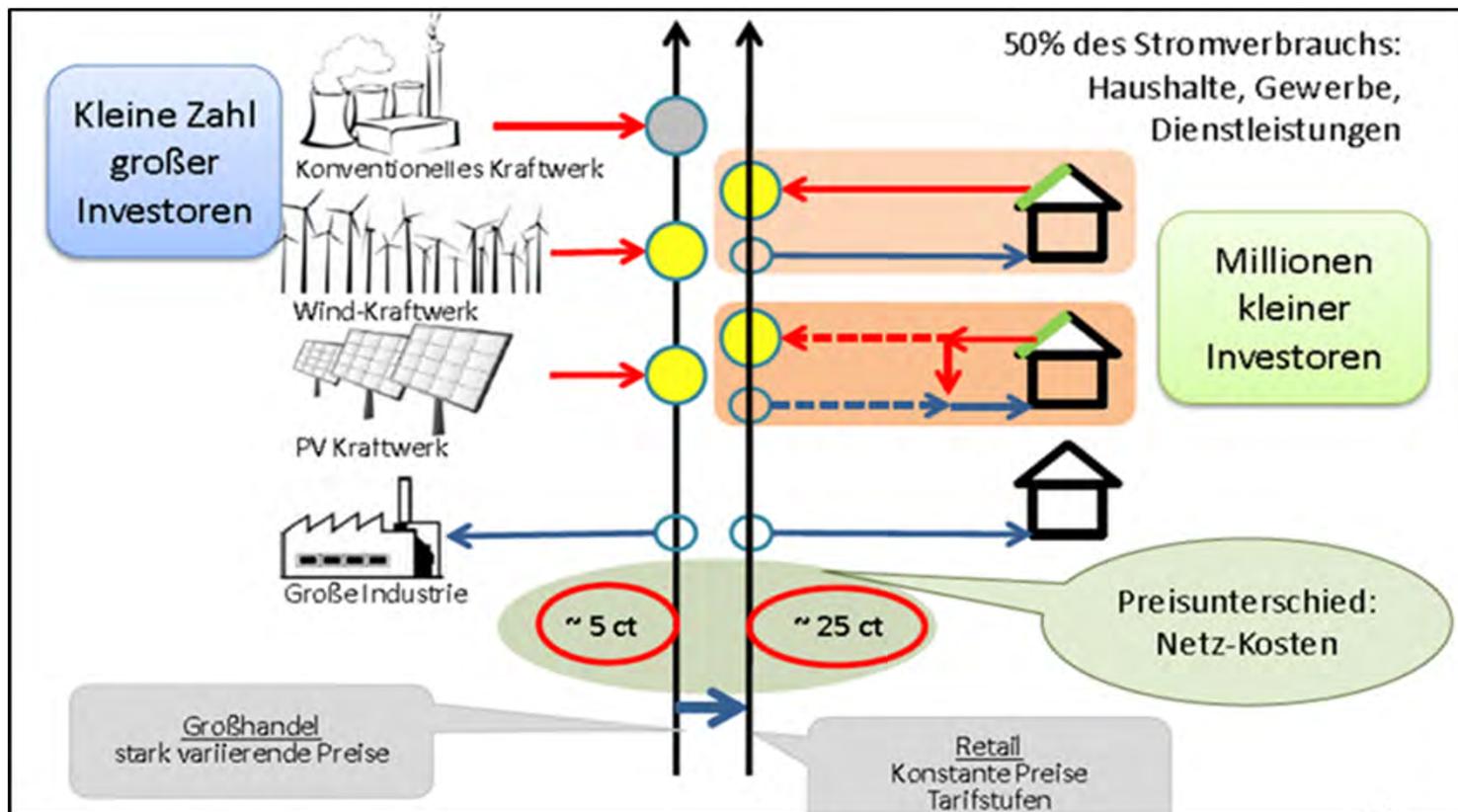


- Die wirtschaftlichen Auswirkungen des neuen Marktdesigns :
 - Energiepreise an der Strombörse sinken immer auf das Niveau der variablen Kosten;
 - die Differenzkosten für die Erzeuger kommen aus dem Netzzuschlag (KEV oder Ausschreibungen)
 - die Gesamt-Stromkosten sinken langfristig leicht ab, weil Wind und Sonne billiger sind als Kraftwerke mit konventionellen Brennstoffen

Neue Geschäftsmodelle für erneuerbare Energien

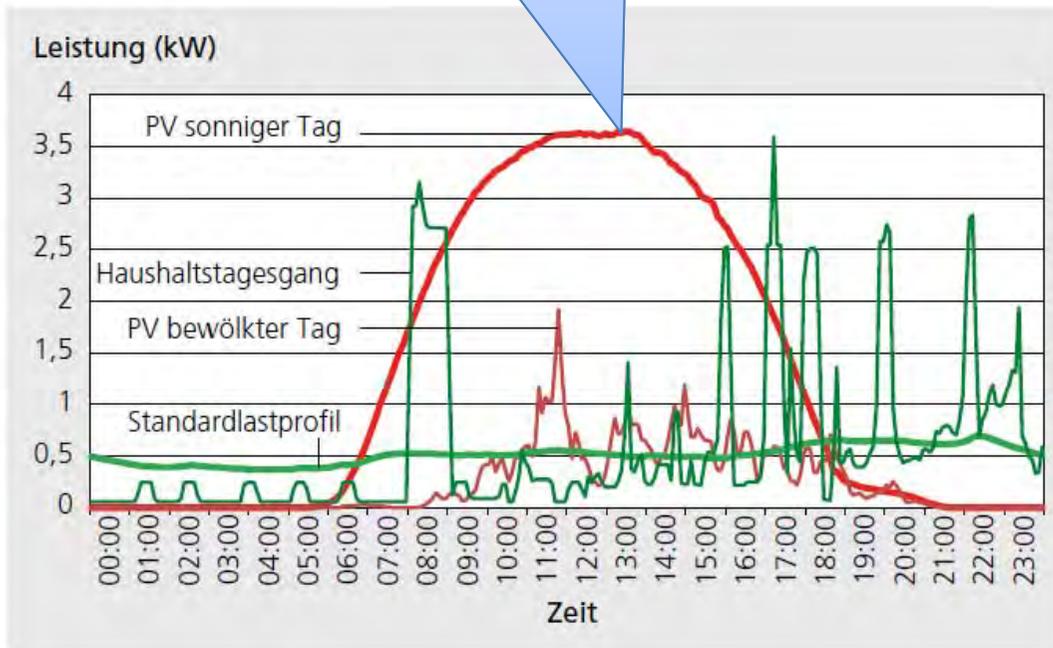
Eigenverbrauch wird neuer, selbsttragender Markt für Solarstrom

Strom vom Solardach ist inzwischen billiger als Strom von der Steckdose, aber Einspeisung zum Großhandelspreis wenig interessant



Eigenproduktion mit Einmalvergütung in einem Einfamilienhaus

Was nicht auf dem eigenen Areal («hinter dem Stromanschluss») verbraucht oder gespeichert wird, wird ins Netz gespeist.



Warum ist Eigenverbrauch so wichtig?

Stromerzeugung mit Eigenverbrauch

- substituiert Strom zu ca. 20-25 Rp/kWh
- ➔ Gute Rentabilität bei hohem Eigenverbrauch

Netzeinspeisung ohne KEV

- Wird nur mit ca. 5-8 Rp/kWh entschädigt, je nach Netzbetreiber [Gegenwert marktorientierter Bezugspreise]

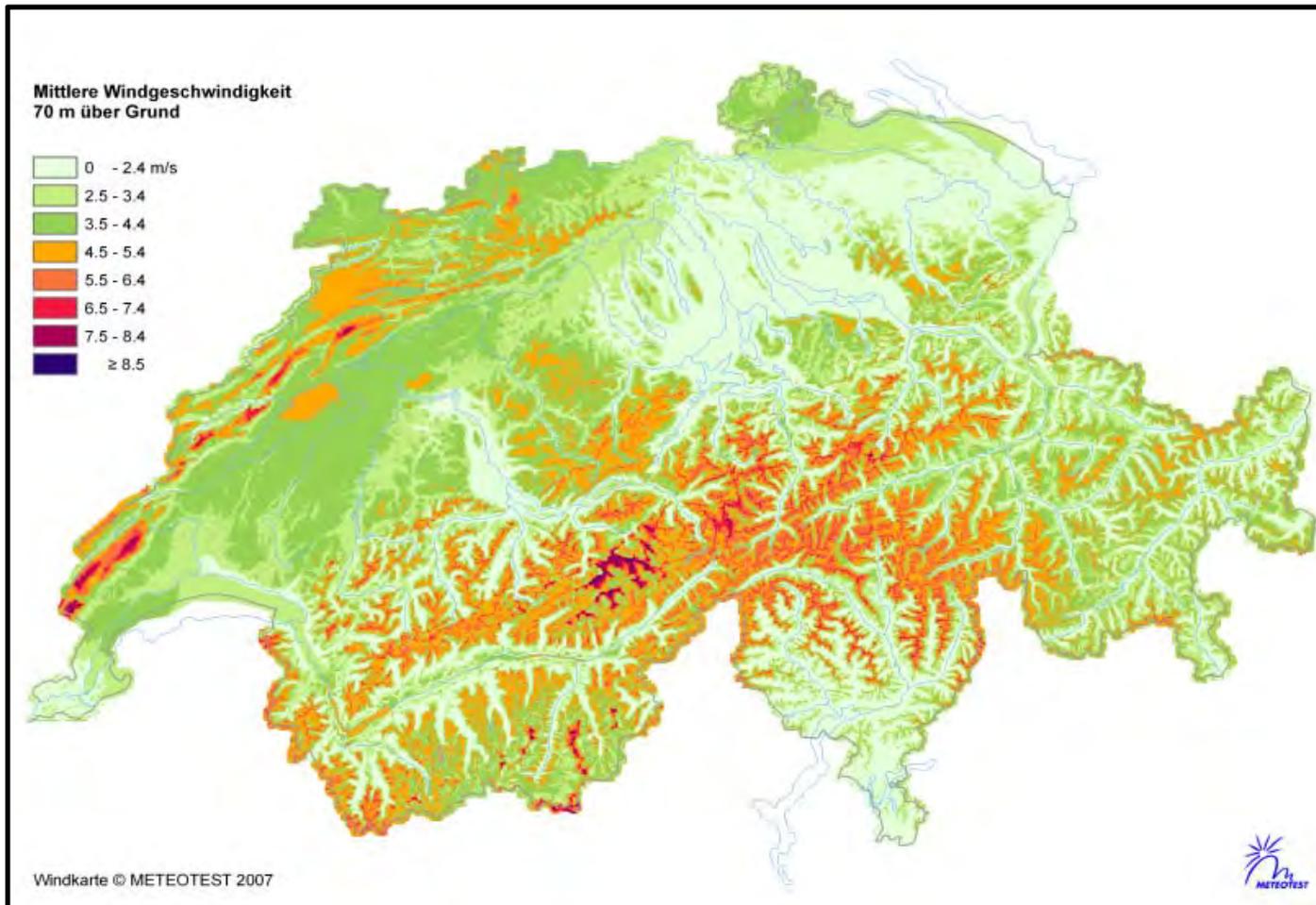
Steuerungsmöglichkeiten für mehr Eigenverbrauch

- Verschiebung des Betriebs von Waschmaschinen, Boilern, Wärmepumpen von der Nacht in den Tag
- Einbau von Speichern speziell für Solarstrom:
- Batterien,
- Wärmepumpen mit Wärmespeichern
- Boiler

Übersicht

- I Energieversorgung am Wendepunkt
- II Potentiale der Erneuerbaren
- III Politische Weichenstellung
- IV Fokus Schweiz**
- V Wege zur Vollversorgung mit erneuerbaren Energien

Windatlas Schweiz (SuisseÉole)



Windenergie vom Binnenland
wächst:
Höhere Türme, längerer Rotoren

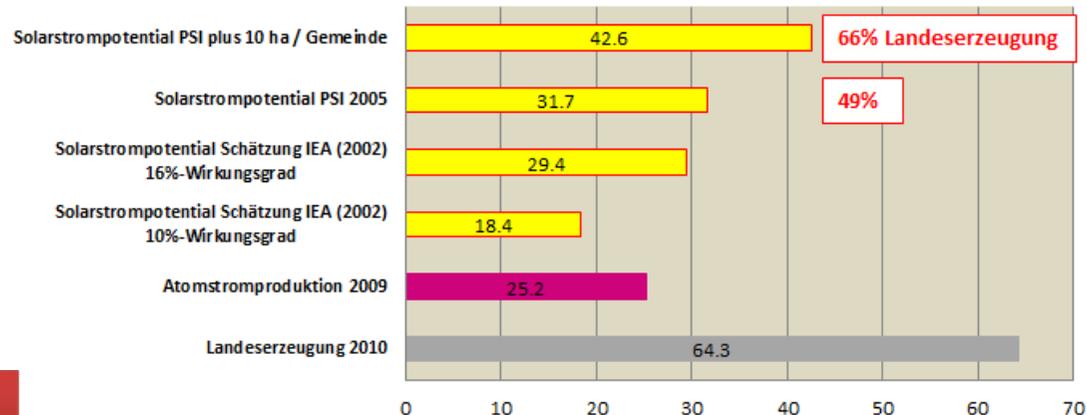
Waldstandorte : Waldwindpark
Fasanerie, Gattendorf/Bayern

Bild: Enercon

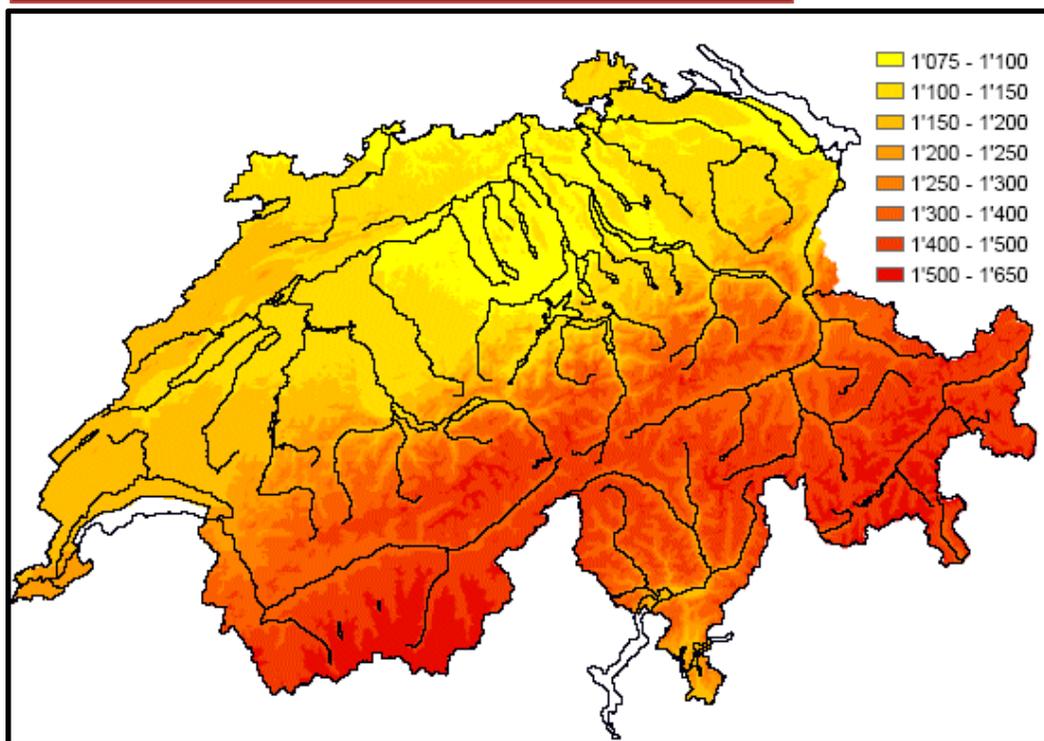


Solarstrom auf CH-Dächern kann Atomstrom übertreffen

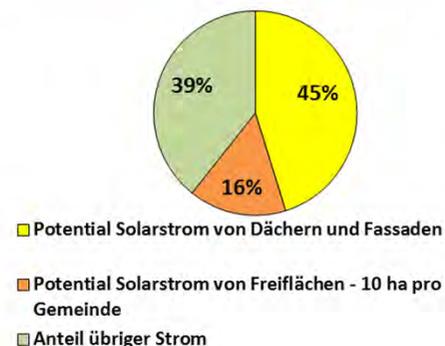
Solarstrompotential in der Schweiz in TWh bestehende Dachflächen und Fassaden, Freiflächen



Solaratlas Schweiz: Höhenlagen im Alpenbogen haben ähnliche solare Einstrahlung wie Spanien



Potential bei Maximalausbau (Annahme: 10 ha Freifläche pro Gemeinde) in % vom Verbrauch (79 TWh)



Alternativer Vorschlag für Sommer-Winter-Ausgleich: Tauschgeschäft mit Schleswig-Holstein (ab 2020 Nettoexporteur Windkraft)

PV an Schallschutzwand (Felsberg/Schweiz)



PV: Vielseitige Anwendung (Fotos SSES)

Dachanlage (Chur / Schweiz)



Fassadenanlage (Lausanne/ Schweiz)

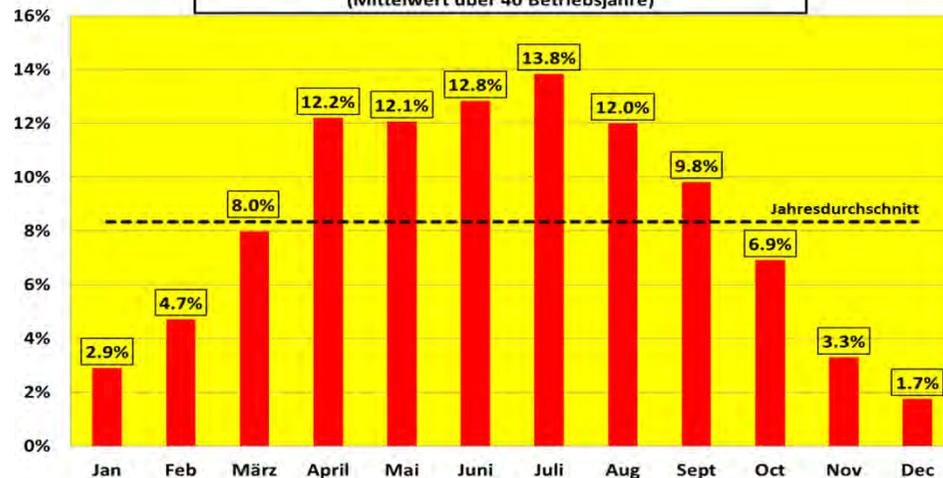


Solarstrom: sehr zuverlässiger Stromertrag

11 PV-Anlagen Standort Schweizer Mittelland (Daten Benetz AG) 1 Standort alpin (Daten PSI)

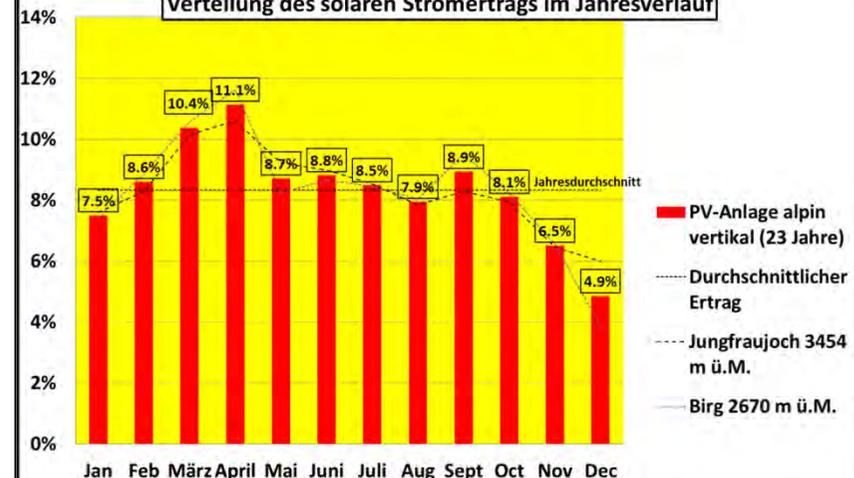
Standort Mittelland

10 Anlagen im Unterland - Verteilung der Monatserträge
(Mittelwert über 40 Betriebsjahre)



Alpiner Standort Schweiz

Alpine Fassadenanlagen (23 Jahresmessungen):
Verteilung des solaren Stromertrags im Jahresverlauf

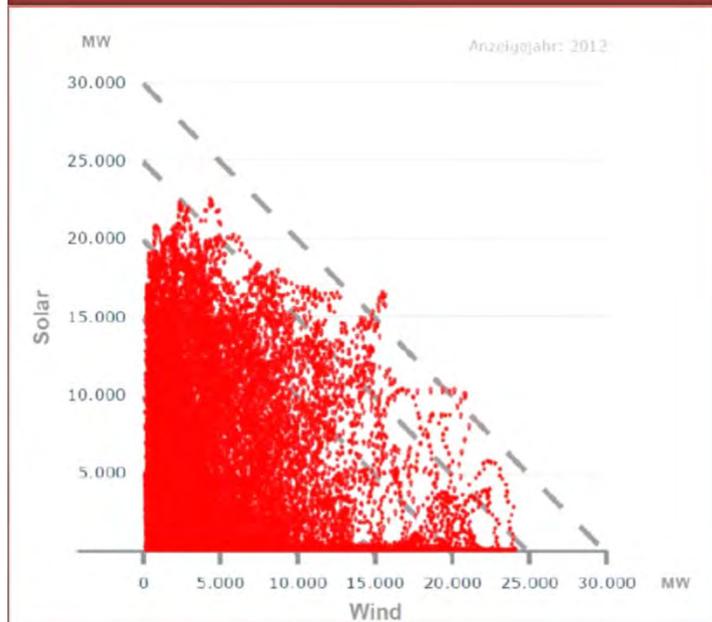


Interessant sind Herbst- und Winterspitzen des PV Stromertrags in alpinen Lagen und der hohe Einstrahlungsertrag vergleichbar mit Nordspanien

Solar- und Windstrom ergänzen sich gut

(Deutschland :
ca. 40 GW Wind, PV)

Mittlere Stundenleistung für die Einspeisung von Sonnen- und Windstrom im Jahr 2012 [ISE 2013]



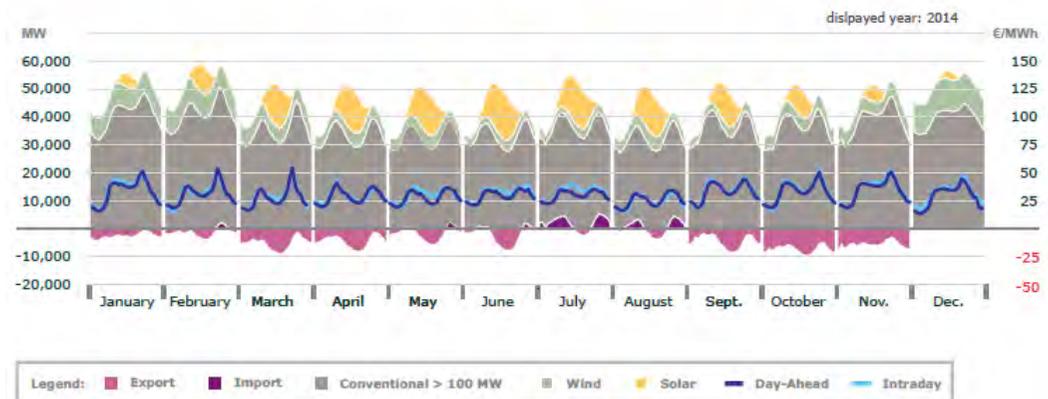
Monatliche PV- und Windstromproduktion [ISE 2013]



Abbildung 31: Monatliche PV- und Windstromproduktion der Jahre 2011-2013 [ISE4]

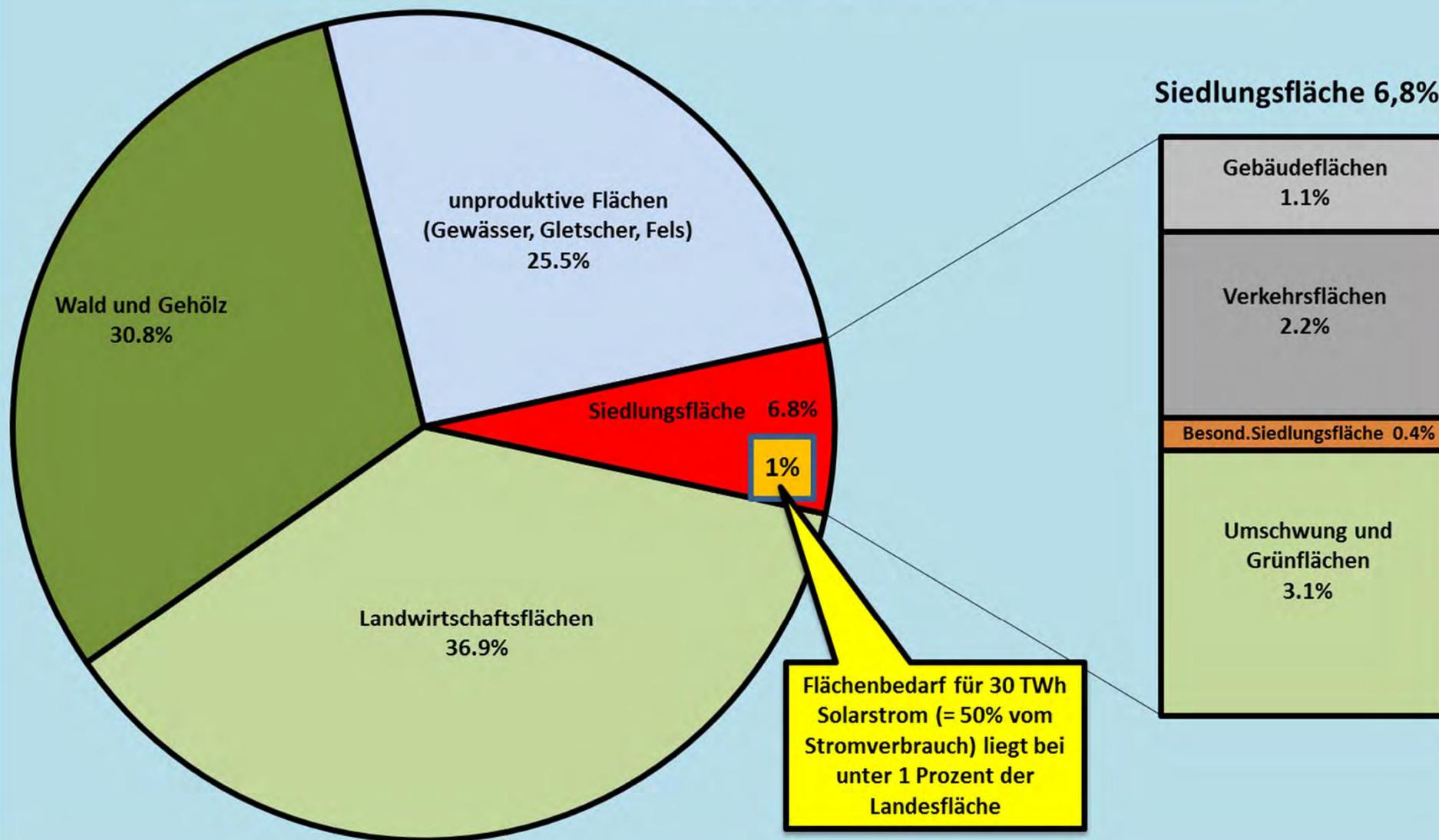
Gesamte Stromproduktion Deutschland [ISE 2013]

Electricity Production and Spot-Prices: Diurnal Courses



Flächennutzung in der Schweiz und Flächenbedarf für Solarstrom

Total 4'128476 ha Arealstatistik der Schweiz (2005)



Schweizer Energiestrategie 2050

- Nur langsamer Ausbau der erneuerbaren Energien
- Ausbau der Preisgarantien, auf 5 Jahre befristet
 - KEV-Umlage steigt von 1,5 auf 2,3 Rappen
 - Stützung der Wasserkraft, auch alte Werke
 - Ausbau des Eigenverbrauchs mit Einmalvergütung
- Gebäudesanierungen, Reduktion Fahrzeugemissionen
- Beratungen noch nicht abgeschlossen
 - Risiko eines Totalabsturzes der Vorlage in der Schlussabstimmung besteht

CH-Energiepolitik: Beschleunigung und Neuausrichtung 2008-2017

2008

- Marktöffnung und Stromversorgungsgesetz
- Nichtdiskriminierender Netzzugang für alle Stromerzeuger und Verteilwerke
- Freie Wahl des Lieferanten ab 100'000 kWh Jahresverbrauch

2009

- Beginn der Einspeisevergütungen für sauberen Strom

2010

- CO₂-Abgabe auf Brennstoffe neu 9 Rp./Liter
- Gebäudesanierungsprogramm: 200 Mio. Franken aus Teilzweckbindung CO₂-Abgabe jährlich bis 2020.
- Schärfere Energieverbrauchsvorschriften: Geräte und Anlagen – Gebäude: unterschiedlicher Vollzug
- Beginn wettbewerbliche Ausschreibungen für Stromeffizienz:
- CO₂-Kompensation für Gaskraftwerke

2012

- Motionen für Atomausstieg überwiesen
- Neues CO₂-Gesetz
 - Erhöhung CO₂-Abgabe auf Brennstoffen von 36 CHF auf max. 120 CHF/Tonne bis 2020 = von 9 auf 30 Rp./l
 - Keine CO₂-Abgabe auf Treibstoffen (Rückschritt!), max. 130 g/km CO₂
 - Klimarappen a.Treibstoffen (max. 5 Rp./l)

2013

- Bewilligungserleichterungen für PV im Raumplanungsgesetz
- Hochspannungsnetz geht an Swissgrid über

2014

- Erhöhung der KEV-Umlage auf 1,4 Rp./kWh
- Eigenverbrauchsregelung nach Arealprinzip
- Einmalvergütung für Anlagen bis 10 kW obligatorisch, für Anlagen bis 30 kW fakultativ
- KEV-Ausnahmen für Grossverbraucher

2013-2016 Beratung Botschaft Energiewende

2017 Volksabstimmung: 58% JA für die Energiestrategie 2050

Übersicht

- I Energieversorgung am Wendepunkt
- II Potentiale der Erneuerbaren
- III Politische Weichenstellung
- IV Fokus Schweiz
- V **Vollversorgung mit erneuerbaren Energien**

100 Prozent erneuerbar ist mehr als die Umstellung des Stromsektors

Transformation in drei Sektoren

Sauberer Strom



Saubere Gebäude

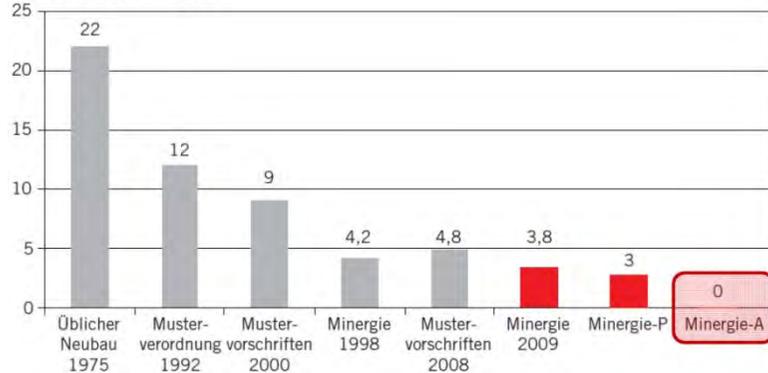


Sauberer Verkehr



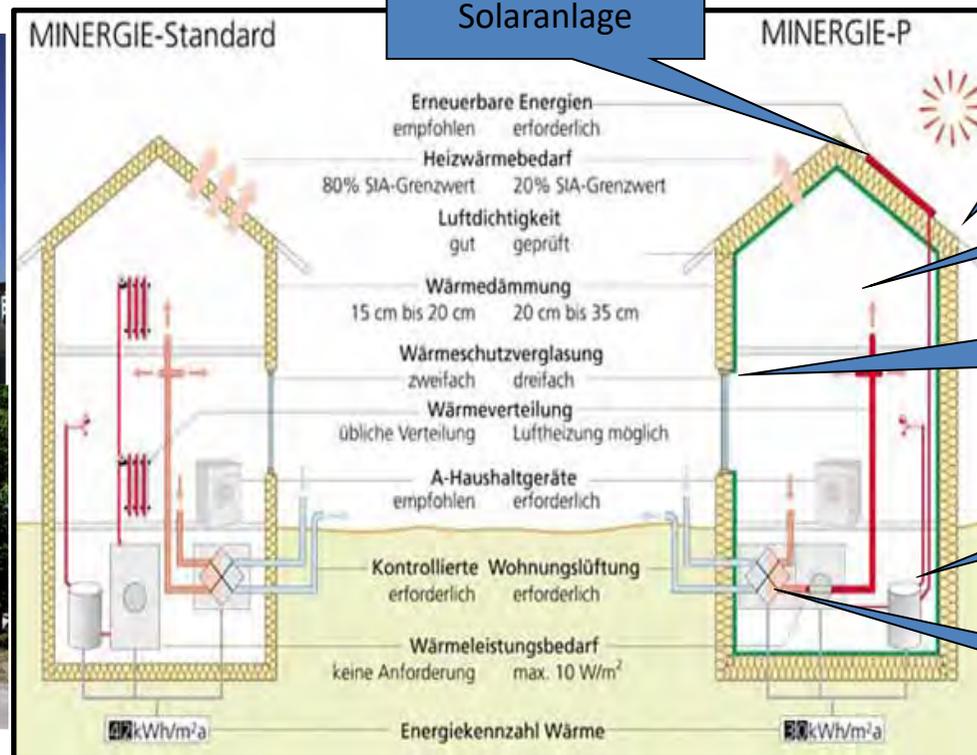
CH-Bauvorschriften: Senkung des spezifischen Verbrauchs um Faktor 6
Minergie A = Selbstversorgung

Liter Heizöl-Äquivalente pro m²



Innovation in Immobilien

Minergie (38 kWh/m²/a),
Minergie-P (30 kWh/m²/a) und
Minergie-A (0 kWh/m²/a)



Solaranlage

Isolation 20-35 cm

A-Klasse Geräte

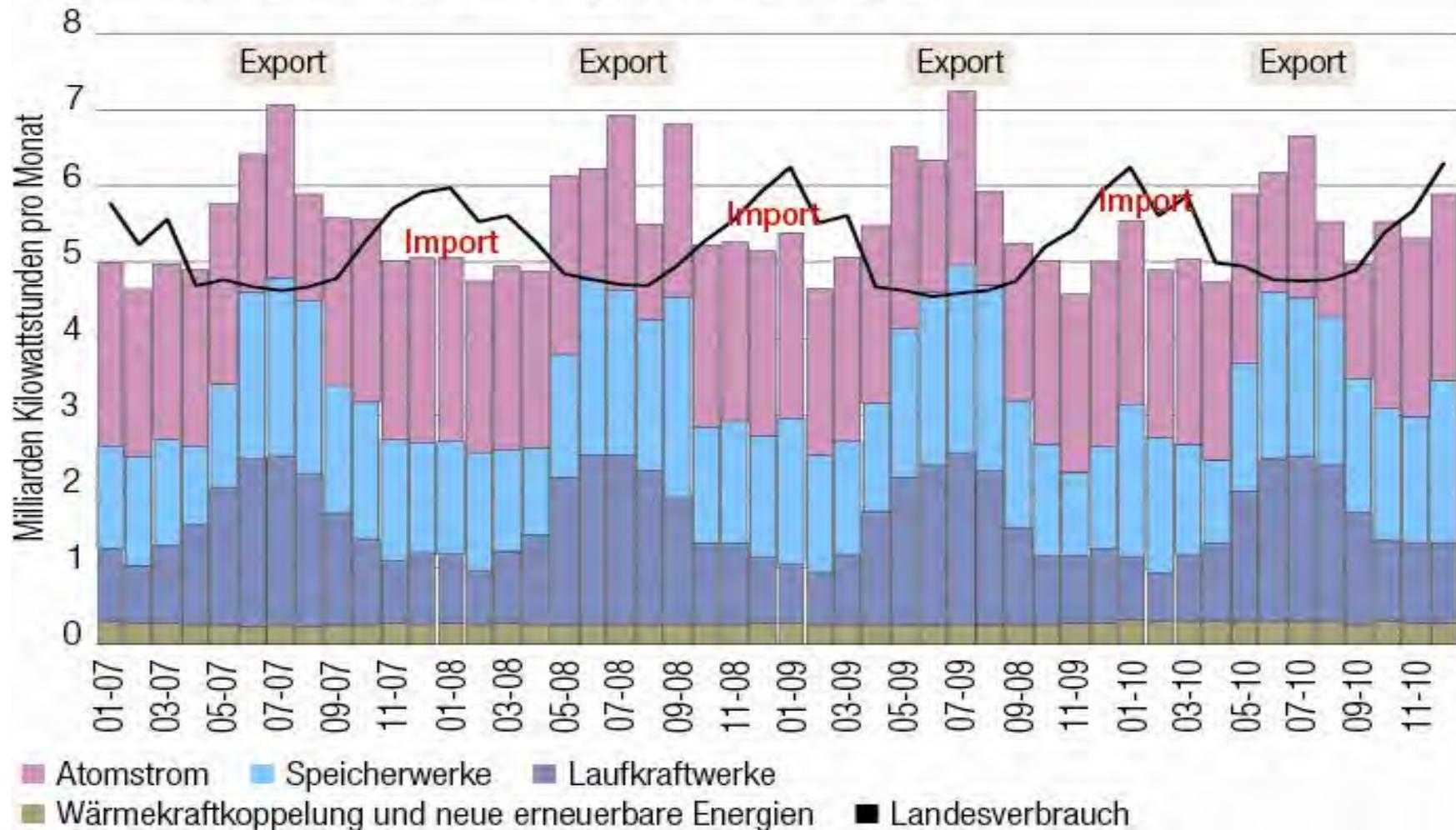
Isolierfenster
3fach verglast

Solarspeicher

Kontrollierte Lüftung mit
Wärmerückgewinnung
(einziges Heizsystem!)

Schweiz mit hohem Anteil Sommerstrom

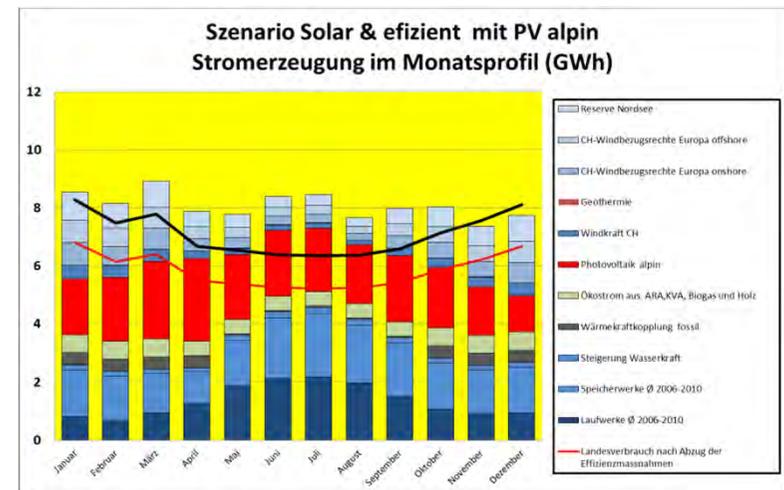
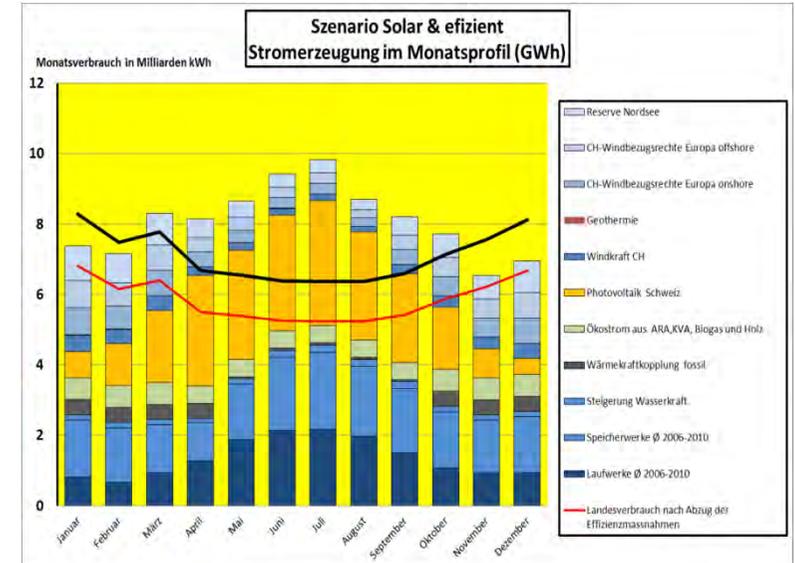
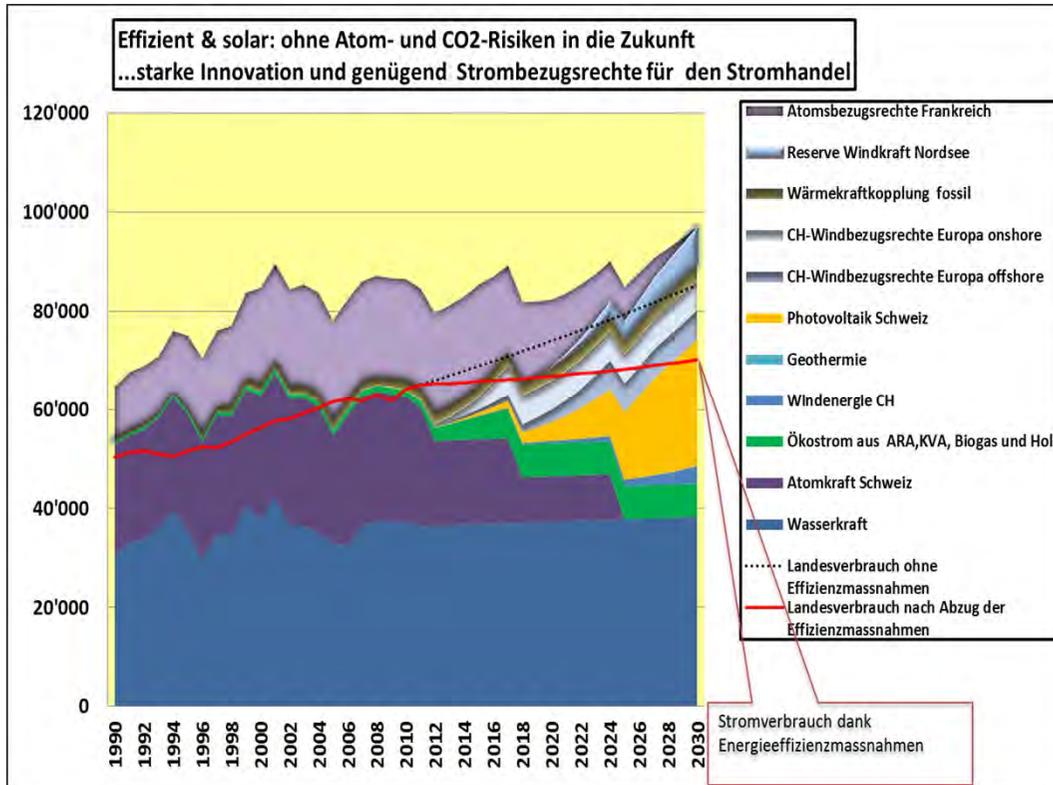
Jahresverlauf der Stromerzeugung 2007 bis 2010



Quelle: CH Elstat

Szenarien für die Schweiz (I)

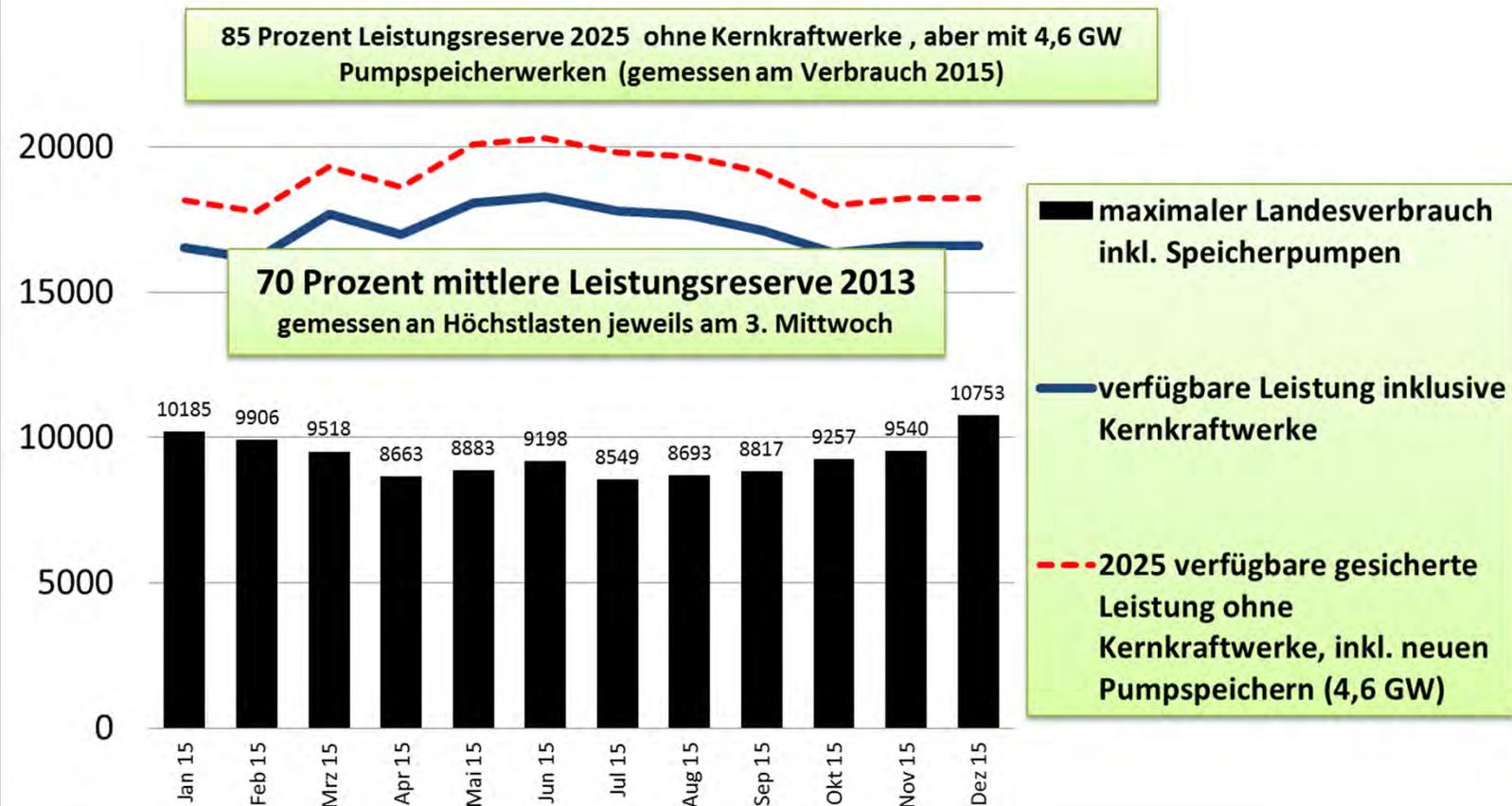
solar & effizient



Genug Reserveleistung dank Wasserkraft CH benötigt keine Gaskraftwerke

Höchstlast und Leistungsreserve der Schweiz

(in Megawatt, Daten: Elektrizitätsstatistik 2015)



Strategien für Versorgungssicherheit bei wetterabhängigen, volatilen Energiequellen

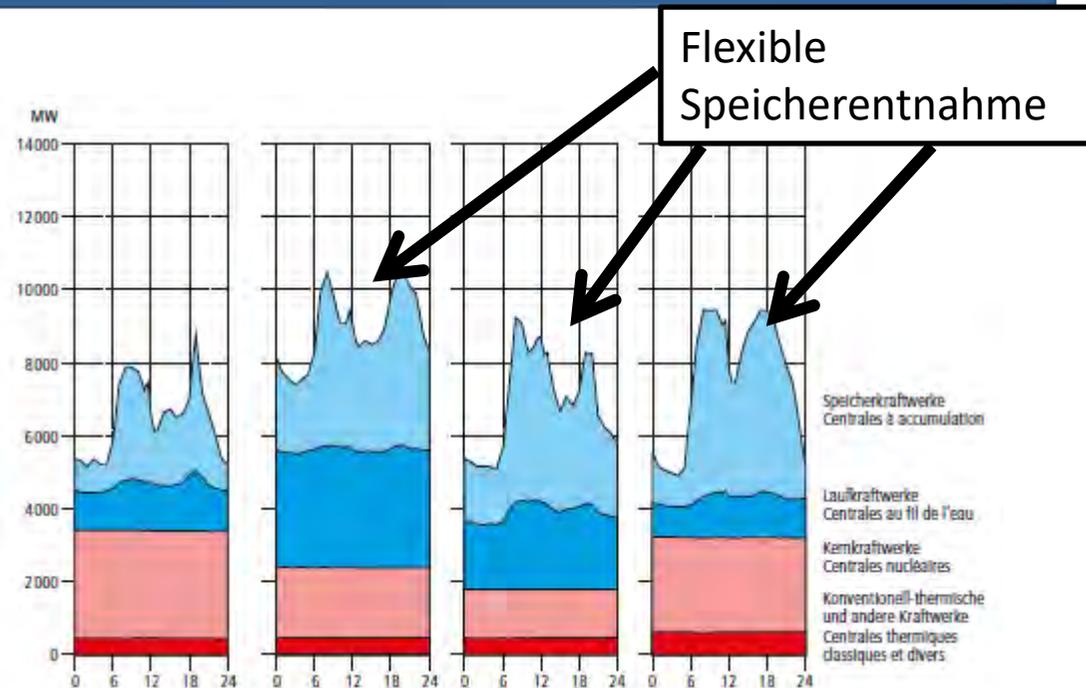
1. **Vernetzung:**
 - setzt auf Ausgleichseffekte, schafft Überschüsse dorthin, wo sie Verwendung finden
2. **Diversifikation der Herkunftsregionen**
 - Gezielte Nutzung verschiedener Wetterzonen
 - Vergrößerung Perimeter schafft Ausgleichseffekte
3. **Diversifikation der Technologien**
 - Wind, Sonne, Wasserkraft, Biomasse, Geothermie mit unterschiedlichem Profil
4. **Nutzung bestehender Speicher und Leistungs-Reserven**
 - Speicherseen mit natürlichem Zufluss, Pumpspeicherseen, Biomasse-WKK, Batterien, Wärmepufferspeicher, E-mobile
5. **«Smart grids»**
 - Geräte, Tarifsysteme und Kommunikationssysteme, die Angebot und Nachfrage harmonisieren
6. **In Notfällen: Zuschalten von fossilen Reserven**
 - Flexible Gaskraftwerke, Biomasse-Kraftwerke
 - 50-100 GW alte oder eingemottete Kohlekraftwerke (beibehalten als Notreserve)

Diversifikation und Dezentralisierung verbessern
Versorgungssicherheit & schaffen einheimische Wertschöpfung 58

Stauseen erleichtern Integration von Wind- und Sonnenstrom

- grosse Leistungsreserven in der Schweiz und in Europa (CH 12 GW, Europa 96GW Wasserspeicher)
- Ausbau der Netze
- Ausbau der Pumpspeicher (Spanien, Schweiz, Deutschland, Norwegen usw.)
- neue Speichern (E-Gas, Batterien)
- Dank fossilem Backup (Erdgas)

Grafik: CH Elektrizitätsstatistik

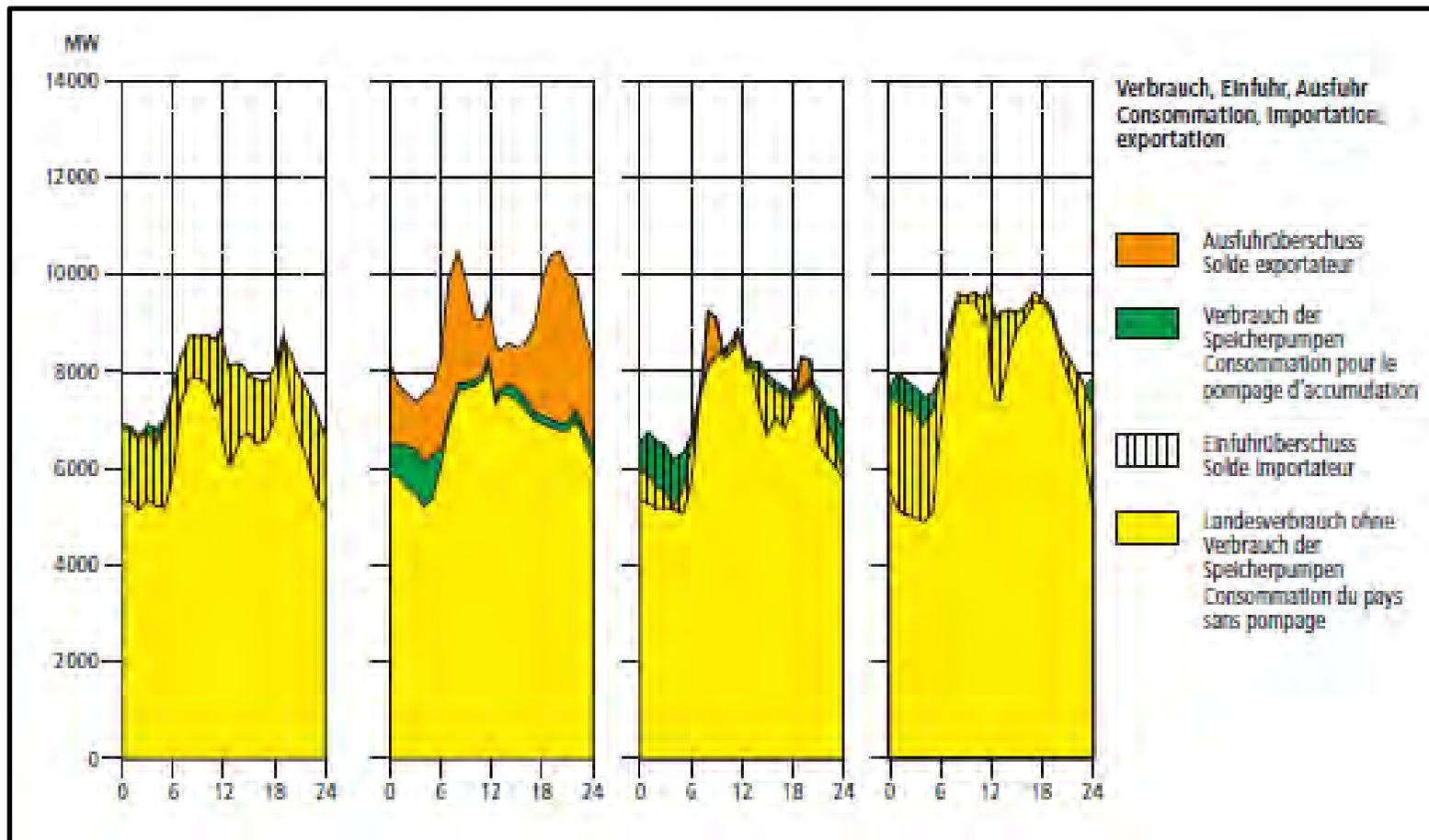


Zu jeder Tages- und Jahreszeit

- **schont Wind- und Solarstrom die Entnahme von Reserven aus den Speicherseen (hellblau)**
- **verbessert die Versorgungssicherheit**
- **ersetzt Kohle-, Gas- oder Atomstrom**

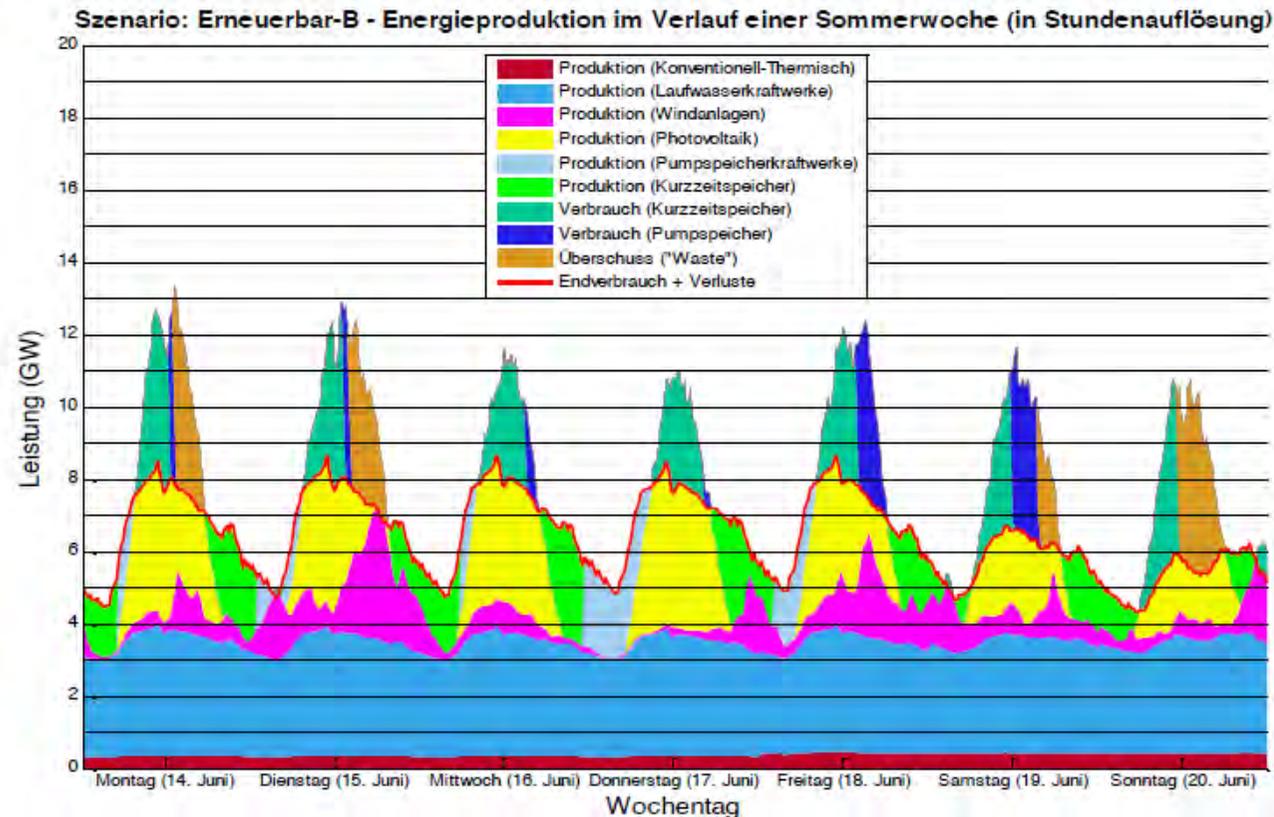
Schweizer Lastkurve:

Importe bei Nacht und im Winter und neuerdings im Sommer am Mittag (Solarstrom)



Leistungsprofil im Sommer, mit 18 TWh/a Solarstrom: Umkehr der Lade-Entlade-Zyklen (Anton Gunzinger)

Verlauf einer Sommerwoche (Solar, Wind, Biomasse, mit Batterie)



Umkehrung der Speicherzyklen!
Speicherkraftwerke produzieren am Abend und in der Nacht
Pumpspeicher pumpen am Tag (Sommerzyklus, PV-Maximum)

Vernetzung mit Gleichstromleitungen: grössere Reichweite, kleinere Verluste

Figure 1-B. Left powerline: The Pacific Direct Current Intertie (PDCI), near Bishop, CA. HVDC, 3,000 MW, +/- 500 kv bipole, 846 miles from Celilo, at The Dalles Dam, OR to Sylmar (NW Los Angeles, CA). Commissioned in 1970 as 1,500 MW line. The right powerline is conventional high voltage AC.



Unterwasserkabel:
Stand de Technik



The benefits of grids:

- Balancing power over several markets
- Access to new resources
- Access to existing storages (e.g. pump storage)
- Access to excess power in other areas

Nötige Transfer-Kapazitäten eines Super-grids aus Sicht der EU-Kommission



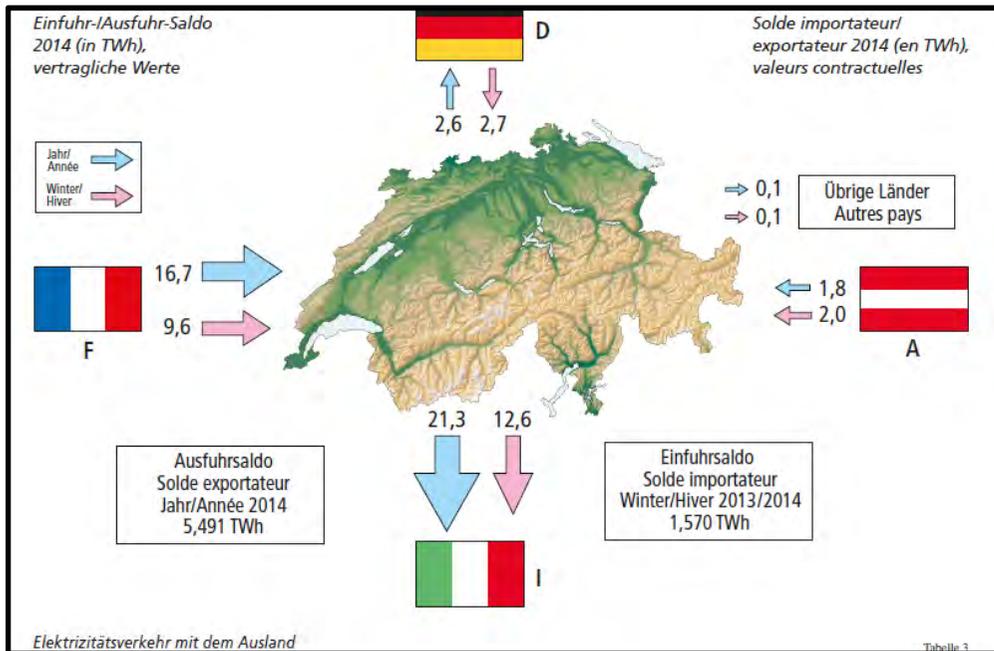
Quelle: Tom Howes, EU-Kommission



Gleichstromleitungen Nord-Süd
im Bundesnetzplan 2012



Abb. 11/Szenario B 2032

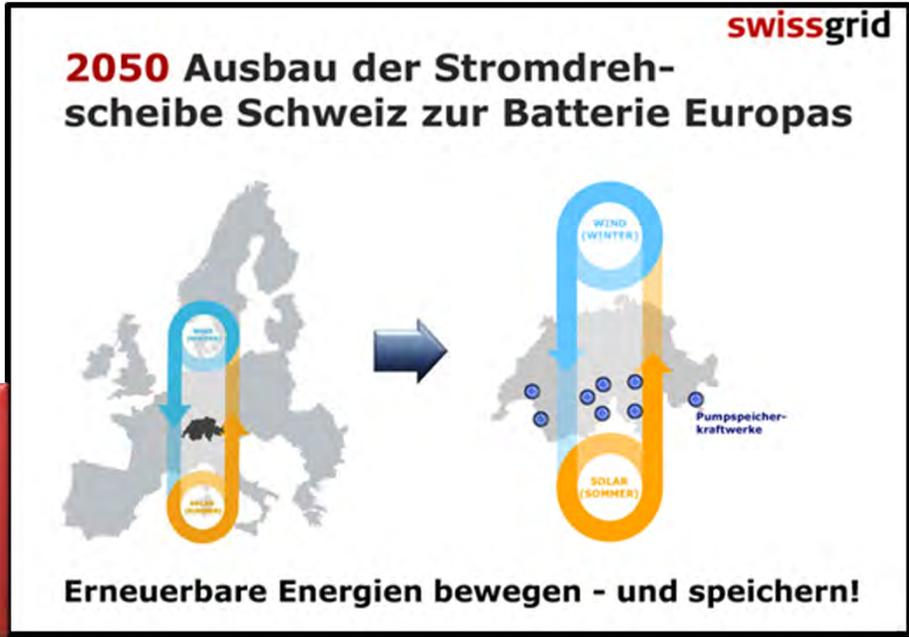


Stromdrehscheibe bisher operierte mit Wasser-, Atom+Kohle-Strom

Stromdrehscheibe morgen operiert mit Wind-, Wasser- +Sonnenstrom

Heute: französischer Atomstrom und deutscher Kohle- und Solarstrom werden zwischengelagert / veredelt und nach Italien weitergeliefert.

Morgen: europäische Wind- und Solarstrom wird in der Schweiz zwischengelagert bzw. veredelt und nach ganz Europa weitergeliefert.



Swiss example: 900 MW pumped storage facility, 300 m difference in altitude

Mehr Leistung von bestehenden Staubecken



Quelle: Nant de Drance / Emosson

Pumpspeicherkraftwerk Nant de Drance

Leistung: 900 MW
 Baubeginn: 2008, Inbetriebnahme: 2017
 Kosten: 1,8 Mrd. Fr.

Staubecken Vieux Emosson

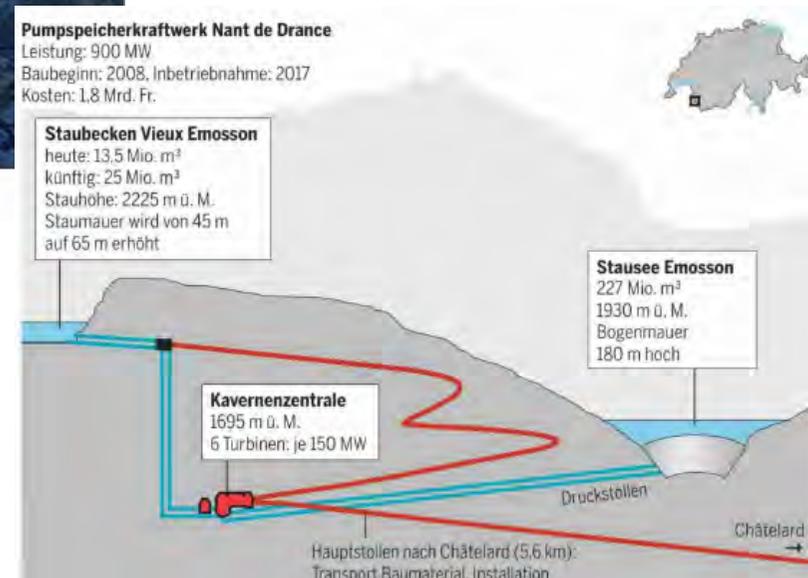
heute: 13,5 Mio. m³
 künftig: 25 Mio. m³
 Stauhöhe: 2225 m ü. M.
 Staumauer wird von 45 m auf 65 m erhöht

Stausee Emosson

227 Mio. m³
 1930 m ü. M.
 Bogenmauer
 180 m hoch

Kavernenzentrale

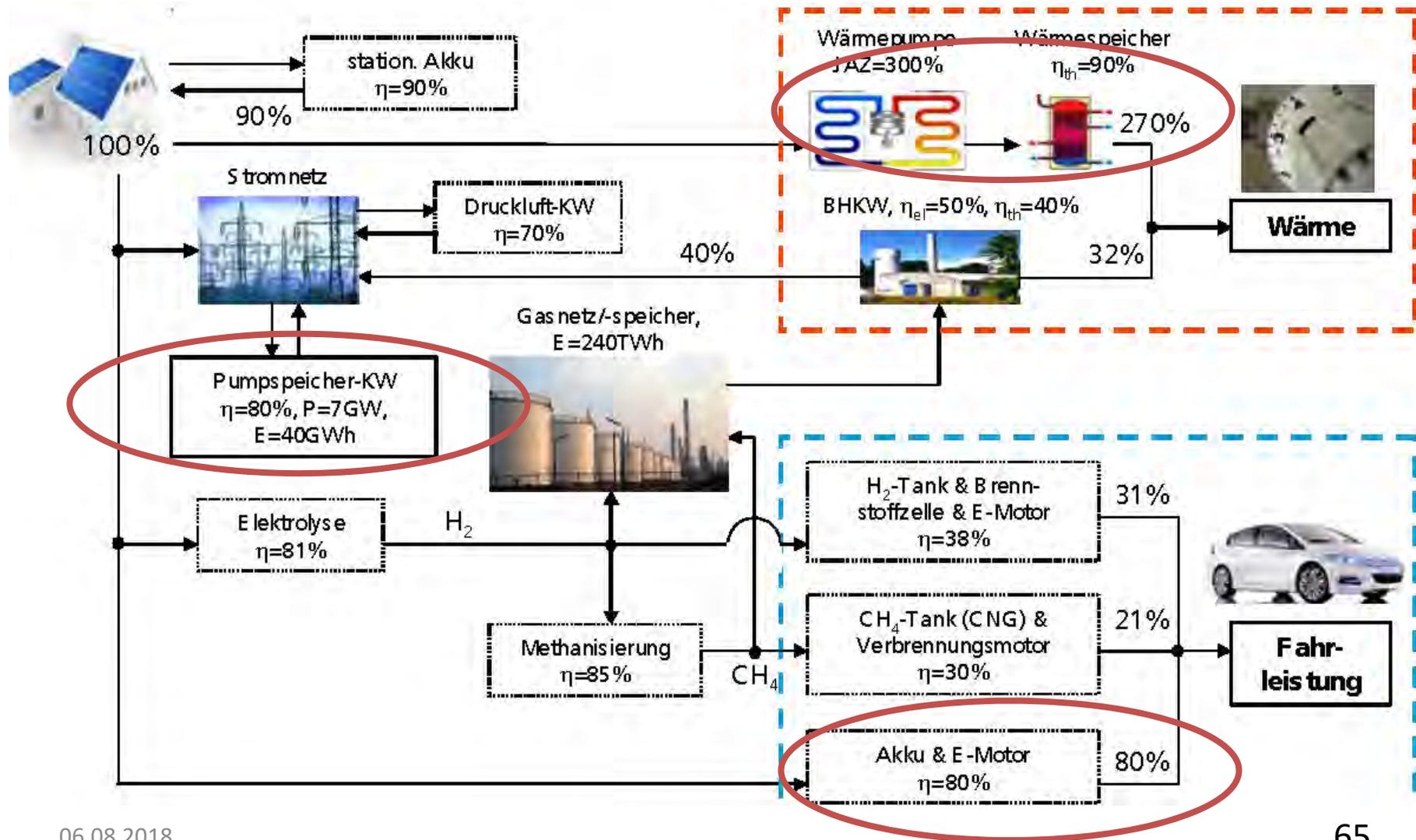
1695 m ü. M.
 6 Turbinen: je 150 MW



Europe storage and pumped storage facilities MW

	AT	CH	DE	NO	SE
Kapazität von Wasserkraftwerken [MW]	12.919	13.728	9.790	31.004	16.735
- Speicherwasserkraftwerke	3.744	8.078	335	23.405	10.802
- Pumpspeicherkraftwerke	3.781	1.839	6.521	1.344	108
- Laufwasserkraftwerke	5.395	3.810	2.934	6.255	5.825

Wärme & Mobilität als Speicher für erneuerbare Elektrizität :
 80-270 % Wirkungsgrad (Verbrennungsmotoren heute 18-25% ,
 thermische Kraftwerke 30-55%)



Beispiele elektrische Mobilität



Elektrische Eisenbahn



Nissan Leaf



E-Bikes

Was heisst Disruption?

"Eine disruptive Technologie (engl. disrupt – unterbrechen, zerreißen) ist eine Innovation, die eine bestehende Technologie, ein bestehendes Produkt oder eine bestehende Dienstleistung vollständig verdrängt" (Wikipedia). Es geht aber nicht nur um Technologie.

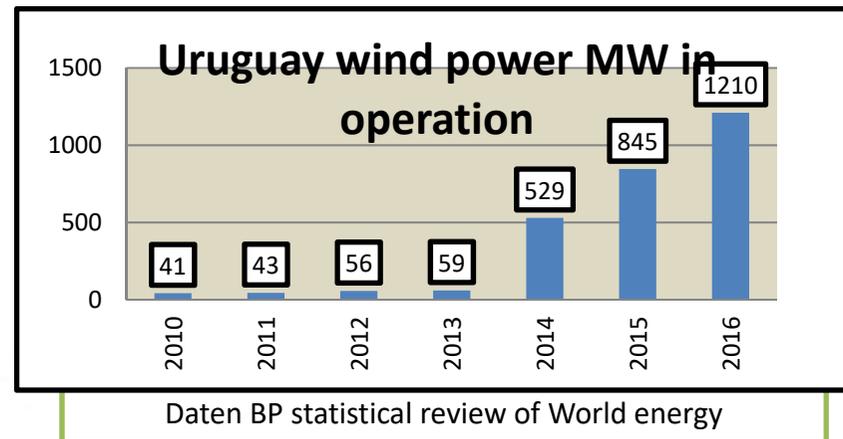
- *Prinzip geht auf Clayton M. Christensen zurück.*
- *Disruptive Innovationen entstehen für die etablierten Anbieter unerwartet und sind für diese auf Grund des zunächst kleinen Volumens oder Kundensegmentes, uninteressant.*
- *Sie können im Zeitverlauf ein starkes Wachstum aufweisen und vorhandene Märkte bzw. Produkte und Dienstleistungen komplett verdrängen.*
- *Disruptive Technologien sind etablierten Produkten anfangs meist unterlegen. Beispielsweise waren die Flash-Speicher den Festplatten in Bezug auf Kapazität, Zuverlässigkeit und Preis anfangs klar unterlegen. Weil Flash-Speicher jedoch klein sind und wenig Energie verbrauchen, werden sie in neuen Gebieten eingesetzt, etwa in USB-Sticks, in Digitalkameras und in MP3-Playern und inzwischen auch in Laptops als Ersatz der traditionellen Festplatten. Es setzen zwei Entwicklungen ein: Die Absatzzahlen von Flash-Speichern steigen, wodurch die Preise fallen und die Speicher immer besser werden. Weitere Beispiele von Disruption:*
- *VoIP-Technologie - Digitalkamera- Filmkamera/ Halbleiterelektronik – Bildröhren / Automobil – Pferdekutsche / Desktop-Publishing - Druckvorstufe Papiermontage, Reprinttechnik, Bleisatz / CAD - technisches Zeichnen/ Compact Disk - Vinyl-Schallplatten / DVD - VHS-Videobänder / Flachbildschirme – Röhrenmonitore / Diesellokomotive und Elektrolokomotive - Dampflokomotive / Smartphones mit Touchscreens - Handys mit Tastatur (Nokia) / Erneuerbare Energien - Kohlekraftwerk, Atomkraftwerk, Gaskraftwerk / Elektroautos - Autos mit Verbrennungsmotoren*

Beispiel Uruguay: disruptiver Markteintritt

30% of Electricity from wind at 4-5 US-Cents/kWh within 3 years,
30% tiefere Erzeugungskosten



**Uruguayan national director of energy
Ramón Méndez**



Uruguay national director of energy Ramón Méndez

The country is expected to reach 1.039GW by June of next year, and 1.346GW by January 2016, which would cover 30% of country's energy requirement.

"Wind is the most mature technology, has reasonable costs and a clearly important potential in Uruguay," said national director of energy Ramón Méndez. "For us, the price of wind energy is very convenient, between \$0.04 and \$0.05 per kilowatt hour".

The state-owned National Administration of Power Plants and Electrical Transmissions, known as UTE by its Spanish acronym, is the sole electricity distributor in Uruguay.

"As a result of the introduction of renewable energy in our country, far from increasing energy prices, as has happened in Europe, it has reduced costs. And all this transformation is allowing us to lower our power generation costs by 30%," Méndez said.

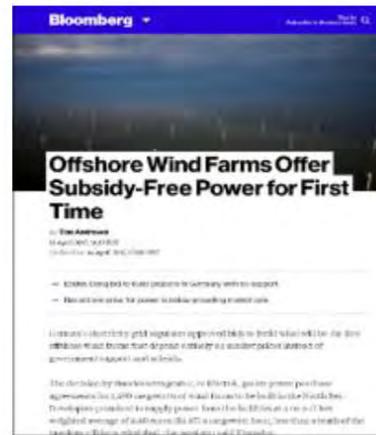
<http://www.windpowermonthly.com/article/1291776/interview-uruguayan-national-director-energy-ramon-mendez>

Beispiele für Disruption durch EE

Source BNEF

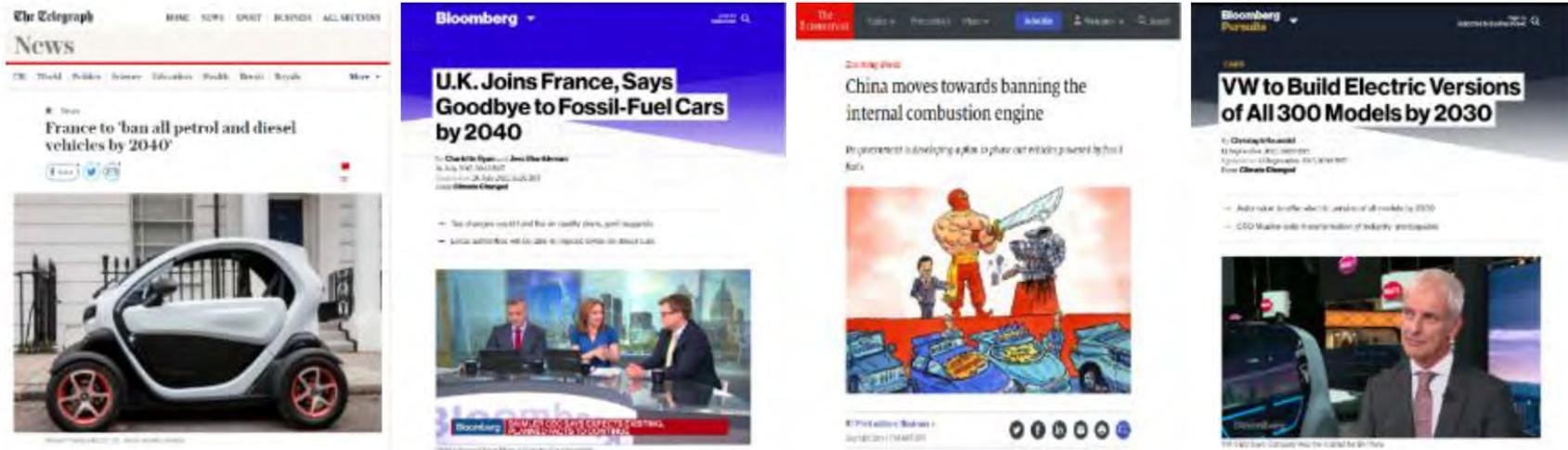


Beispiele für Disruption durch EE



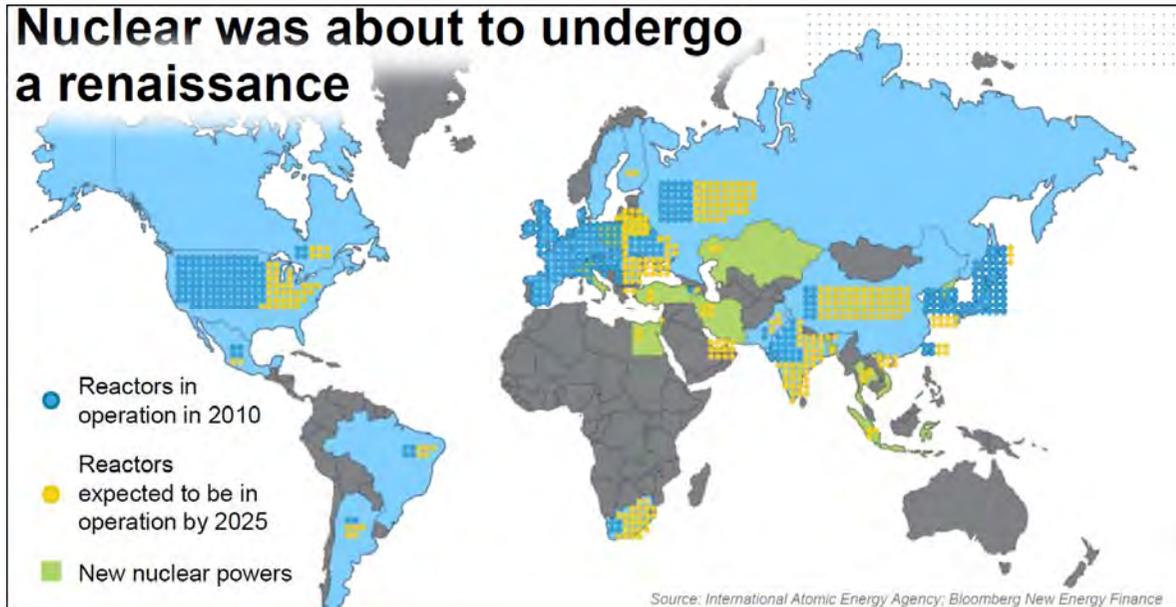
Beispiele für Disruption durch EE

Source BNEF



Nuclear was about to undergo a renaissance

Geplante neue Reaktoren (2004)
Source BNEF



Beispiel einer früheren Disruption

- ***Die Welt steht vor massiven Veränderungen, wie um 1900...***



1900 New York 5th avenue

div. Folien:
Dank an

© [Krispin Romang](#)

DISRUPTION



1900 New York 5th avenue

DISRUPTION



1913 New York 5th avenue

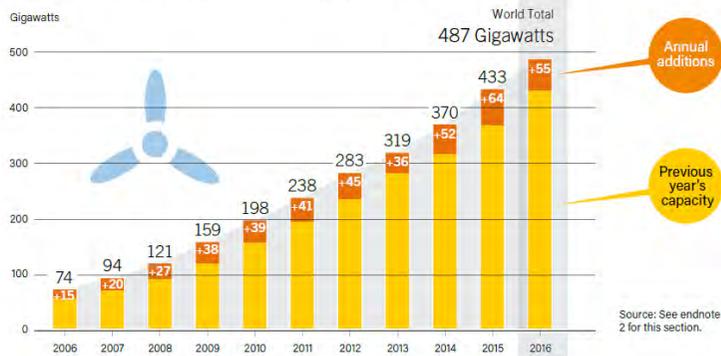
DISRUPTION



1913 New York 5th avenue

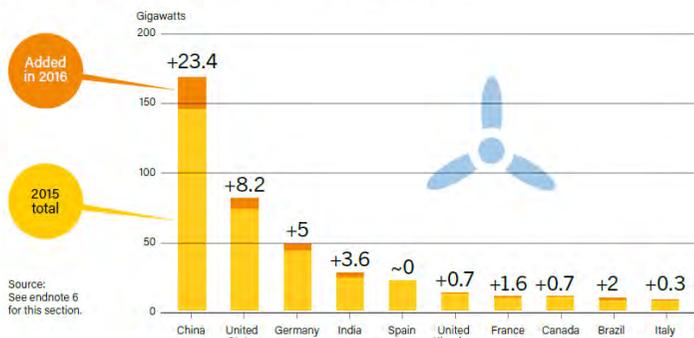
WIND POWER

Figure 26. Wind Power Global Capacity and Annual Additions, 2006-2016



By the end of 2016, **OVER 90 COUNTRIES** had seen commercial wind activity, and **29 COUNTRIES** had more than 1 GW in operation.

Figure 27. Wind Power Capacity and Additions, Top 10 Countries, 2016



Note: Germany's additions are net of decommissioning and repowering. '~0' denotes capacity additions of less than 50 MW.

Figure 28. Wind Power Offshore Global Capacity, by Region, 2006-2016

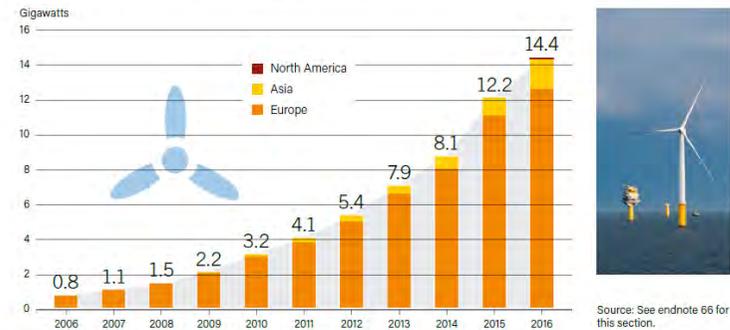
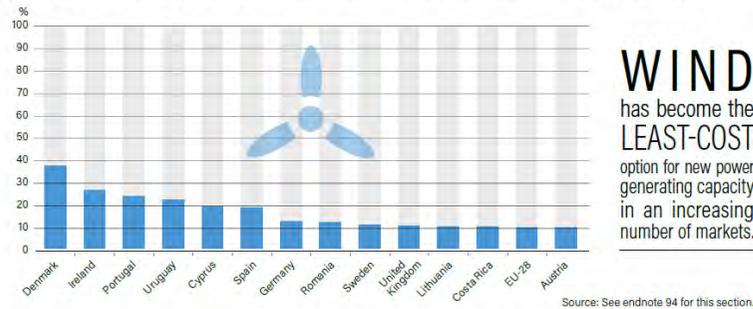


Figure 29. Share of Electricity Demand Met by Wind Power, Selected Countries with over 10% and EU-28, 2016



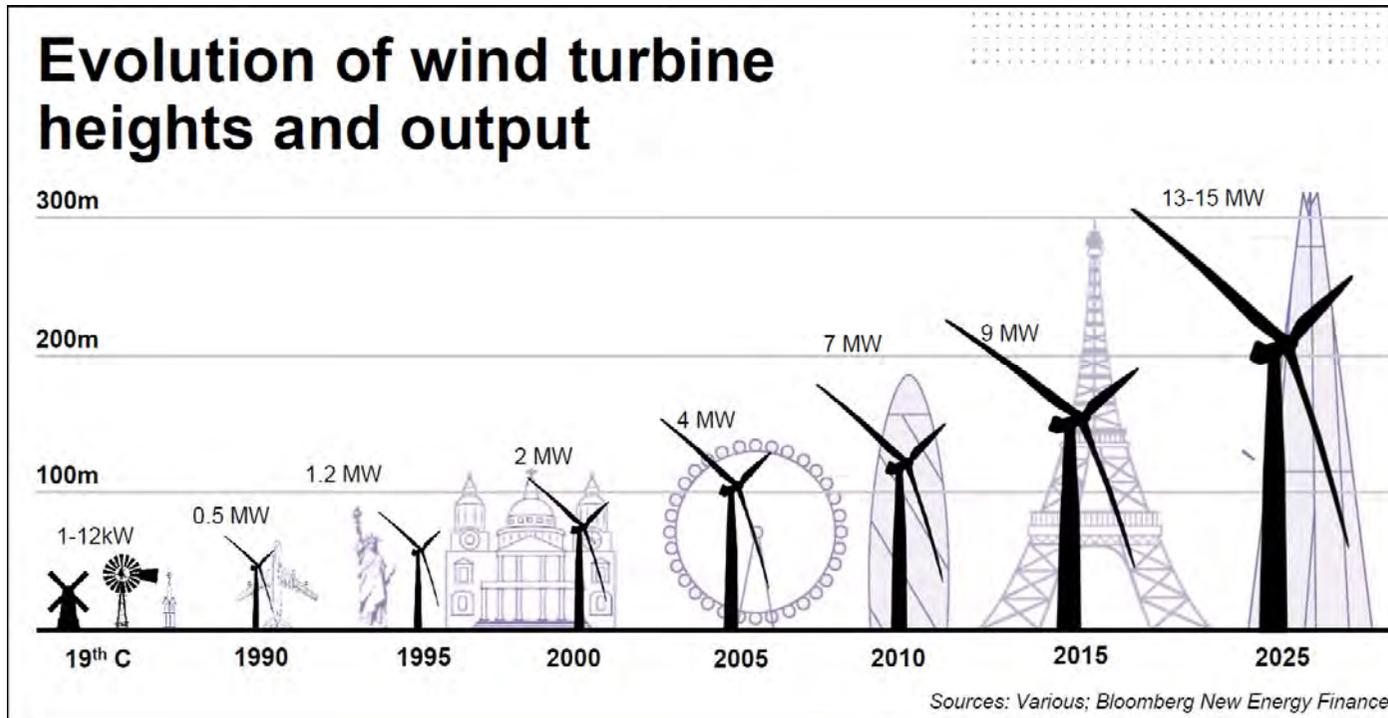
WIND has become the **LEAST-COST** option for new power generating capacity in an increasing number of markets.



Figure 30. Market Shares of Top 10 Wind Turbine Manufacturers, 2016



Die technischen Geheimnisse des Erfolgs: Windkraft



Erfolgsrezepte:

1. Ertrag steigt im Quadrat (n^2) zur Länge des Radius
 2. Kubik (n^3) im Verhältnis zur Windgeschwindigkeit.
- Materialforschung: Rotorblätter (Carbon-Fiber) 90 statt 9m, Auslastung 40% statt 20%
 - Nabenhöhe steigt 200 statt 50 m und nutzt beständigere und stärkere Winde
 - Massenproduktion (20'000 Turbinen/a) und Längerlebigkeit (25-40 Jahre)
 - Elektronische Überwachung, Steuerung, neue Speicher (Batterien)

Windkraft: Exponentielle Produktivitätssteigerung dank langen Rotorblättern

Bild: Australia (Mac Arthur wind farm) – Enercon Turbine

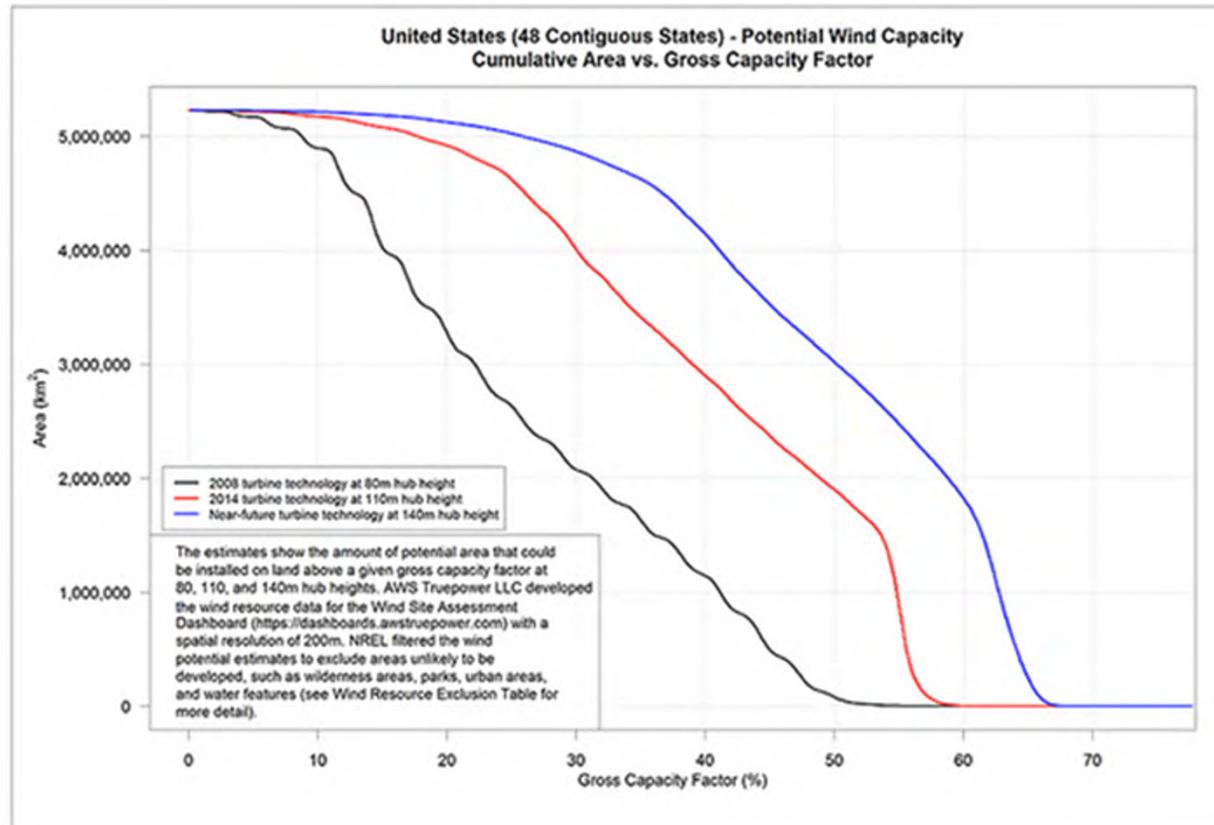


7.5MW turbine beside a 300kW model

alte und neue Turbinen im Vergleich

Leistung kW	300	7500
Flügelänge m	10	63
Jahresstunden h	1500	3300
Jahresproduktion MWh	450	24'750
Strom für Anzahl Haushalte	113	6'188

Erneuerbare Energien bilden eine wachsende Ressource und werden dramatisch unterschätzt



Beispiel
USA-48:

8.4 Mio km²

Davon

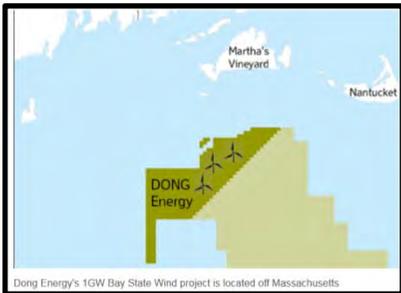
4 Mio. km² extrem
wirtschaftlich für
Windenergie

nutzbar
mit $c > 40\%$,
140 m Nabenhöhe

[2008: erst ca. 1 Mio. km² in
peripheren Lagen



Offshore-Wind schlägt Erdgas: Stromgewinnung aus rückt näher an Bevölkerungszentren an Ost-Küste USA



Rekordpreise für Offshore- Windnutzungsrechte an US-Ostküste: Massachusetts, New York, Maryland, New Jersey und Virginia mit Backup von kanadischer Wasserkraft (neue HVDC Linien)

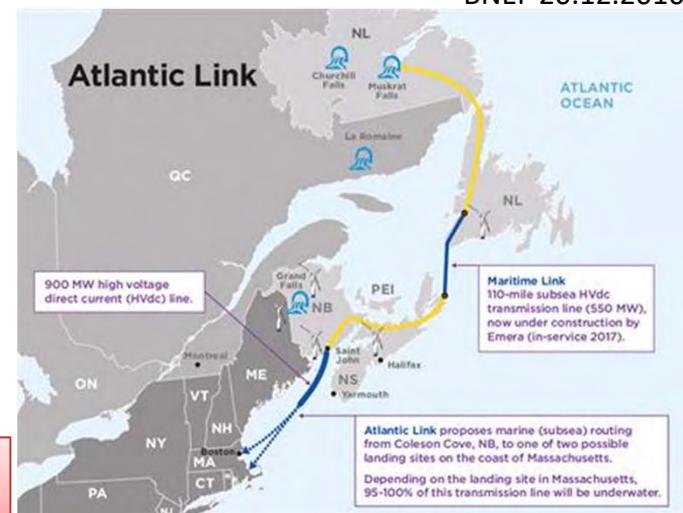
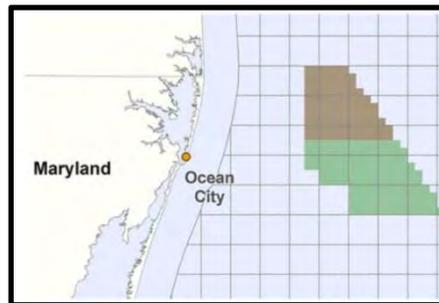
Bloomberg
NEW ENERGY FINANCE

WEEK-IN-REVIEW

New York offshore wind lease goes for twice the value of Mexico oil and gas permits in auction

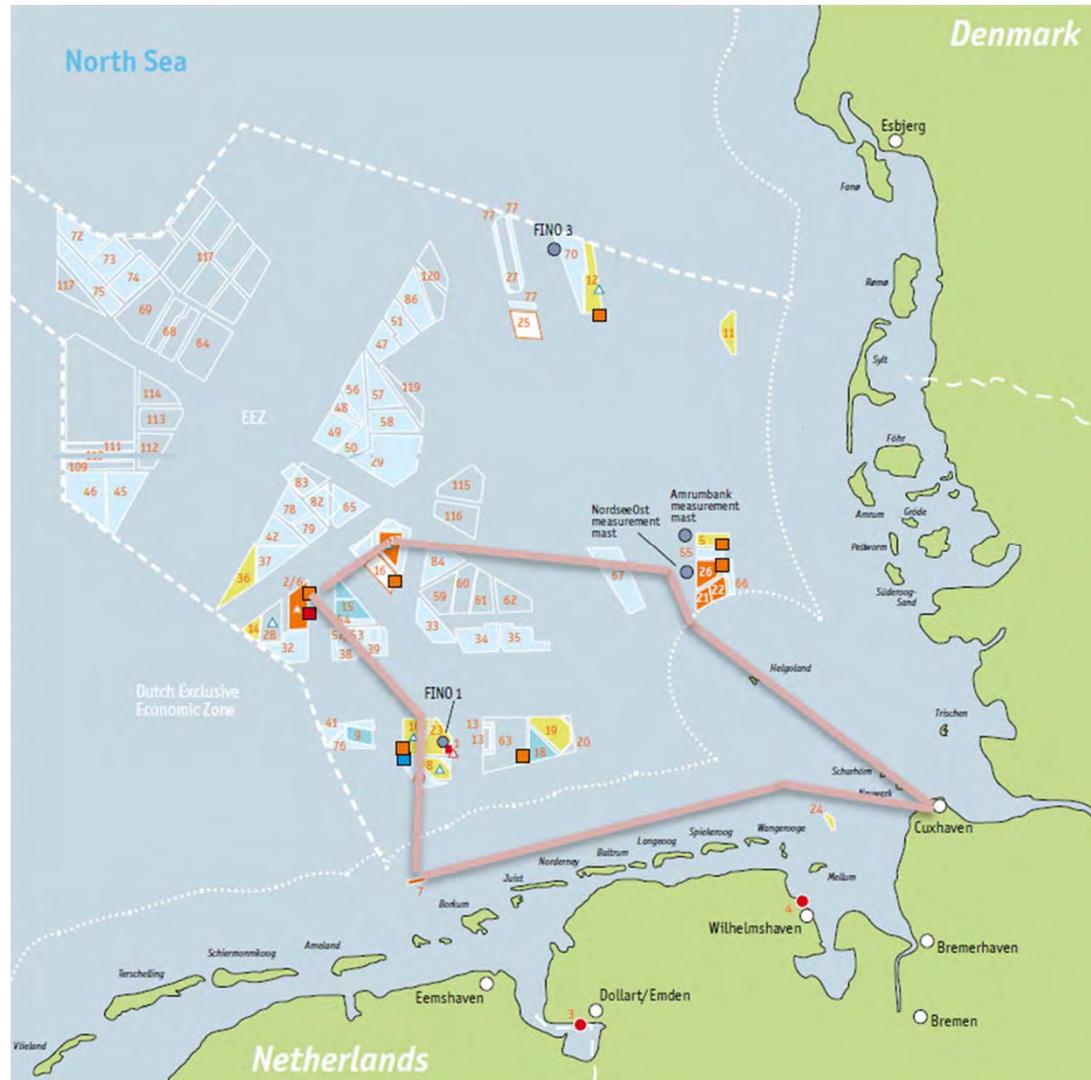
Statoil won New York's inaugural offshore wind auction last week with a \$42.5m bid for a lease area of almost 80,000 acres off Jones Beach, New York, which was more than double recent prices for oil and natural gas leases in the Gulf of Mexico.

BNEF 20.12.2016

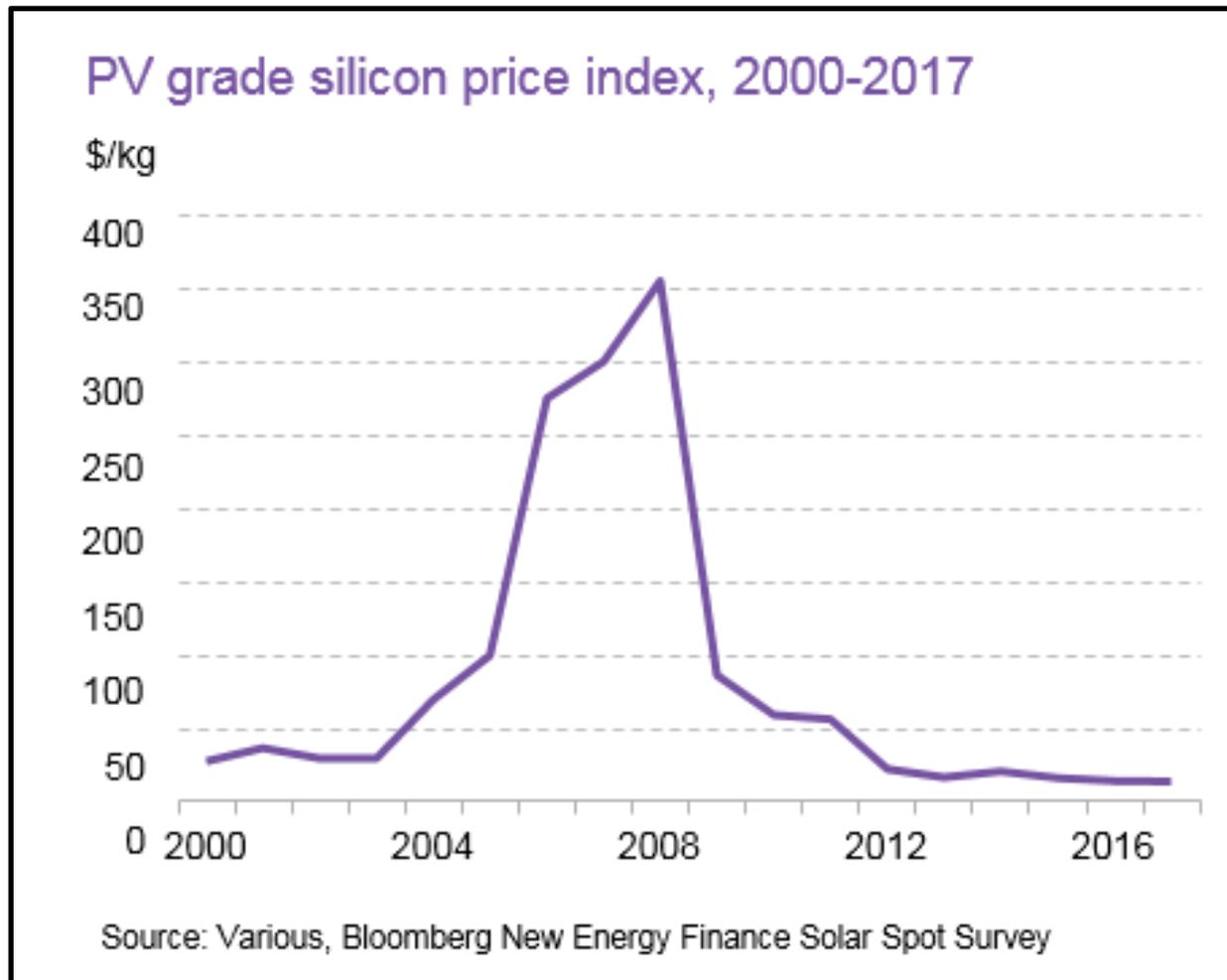


Der Wert der gespeicherten Wasserkraft wird kommerzialisiert werden, indem Wind-Kapazitäten abgesichert werden. Die Leistungssicherheit der steuerbaren Energien wird vervielfacht.

Beispiel Netz- und Zonenplanung vor der deutschen Küste



Knappheit an Silizium war vorübergehend – Herstellung 2004-09 vervielfacht keine reale Begrenzung der Input-Materialien



«Balance of system» Kosten wurden ebenfalls reduziert: Materialverbrauch Wechselrichter sinkt weiter (demnächst: modul-integrierte Micro-Chips statt traditionelle Wechselrichter)

700 W PV-inverter
manufactured 1995
17,5 kg -> 25 kg/kW



6 kW PV-inverter
manufactured 2005
63 kg -> 10,5 kg/kW



Possible technical progress:

- SiC power modules
- Higher switching frequency
→ higher power density
- Higher voltage levels in utility
scale inverters

25 kW PV-inverter
manufactured 2014
61 kg -> 2,4 kg/kW

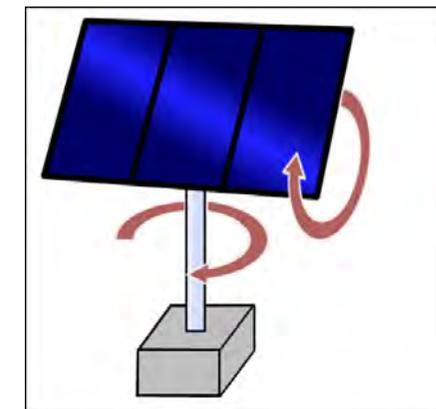
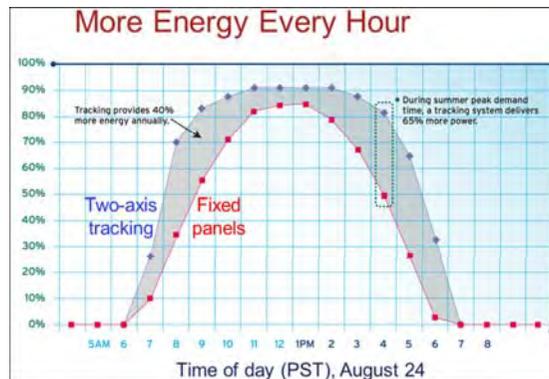
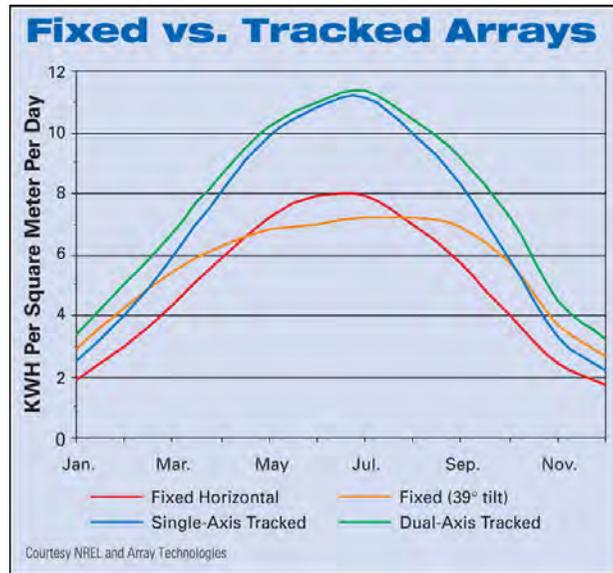




PV-Farmen mit Nachführung Mehr- Ertrag, reduzierter Flächenverbrauch und Kostensenkung

10 - 35 % mehr Ertrag bei 5-10 % Mehrkosten in Grossanlagen





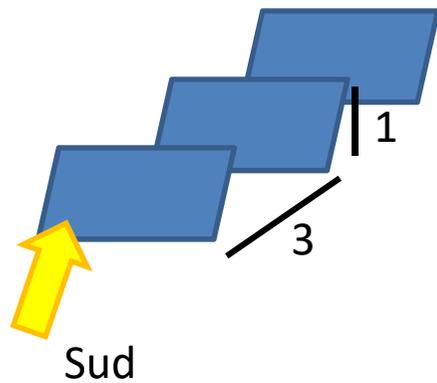
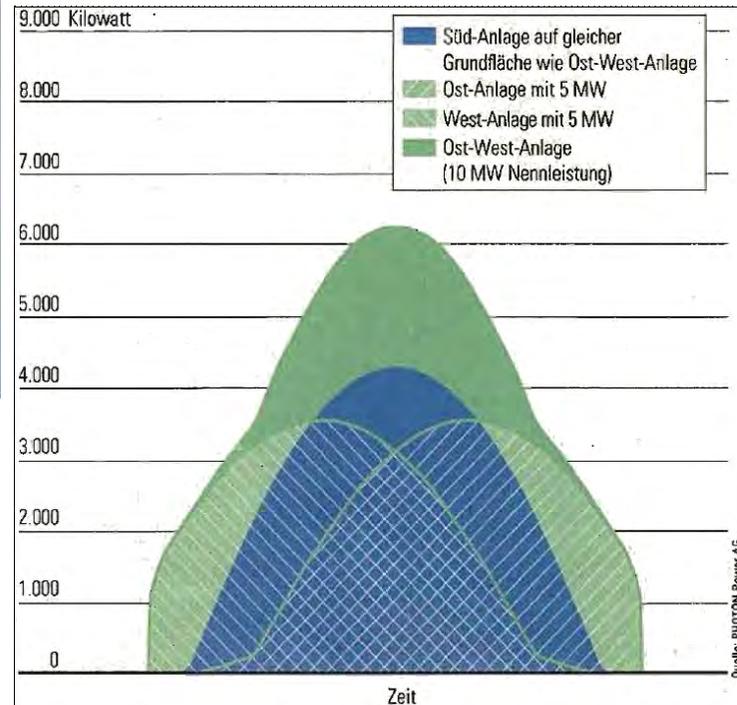
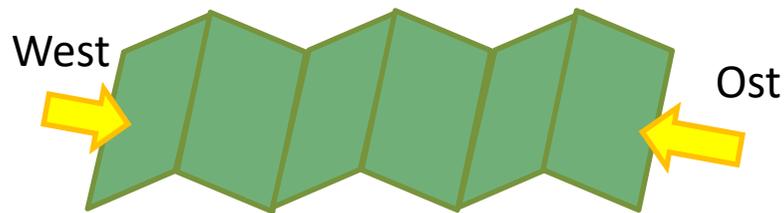
<http://sedonasolartechology.com/wp-content/uploads/2012/02/More-energy-every-hour3.png>

Nachführung einachsig und zweiachsig mit höherem Ertrag an den Tagesrändern: bessere Übereinstimmung mit Lastkurve, geringerer Speicherbedarf

Verbilligung der Hardware bewirkt flächigere Aufstellung

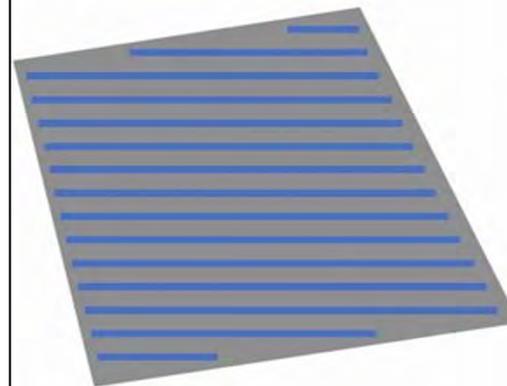
(Ost-West-Fächerung mit hoher Flächeausnutzung statt Süd-Ausrichtung mit grosser Verschattung)

Wirkung: höherer spezifischer Flächenertrag

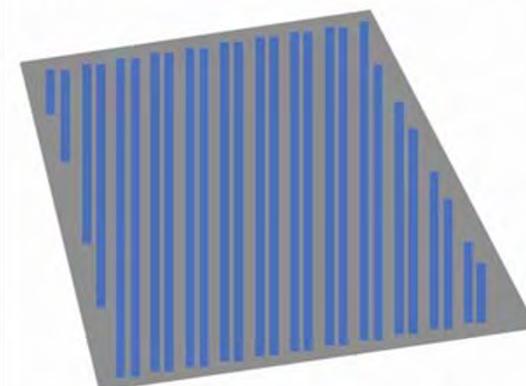


Bessere Flächennutzung in Ost-West-Ausrichtung

800 KW



1,2 MW



■ Solarmodule



Entwicklung bi-faciale Solarmodule: 10% Mehrertrag, Minimierung Flächenverbrauch, Leistung am Tagesrand!



Die Modulreihen stehen mit zehn Metern Abstand zueinander, um Verschattungen zu minimieren. Aus demselben Grund müssen auch die Module selbst seitlich etwas Abstand zum Montagesystem halten.

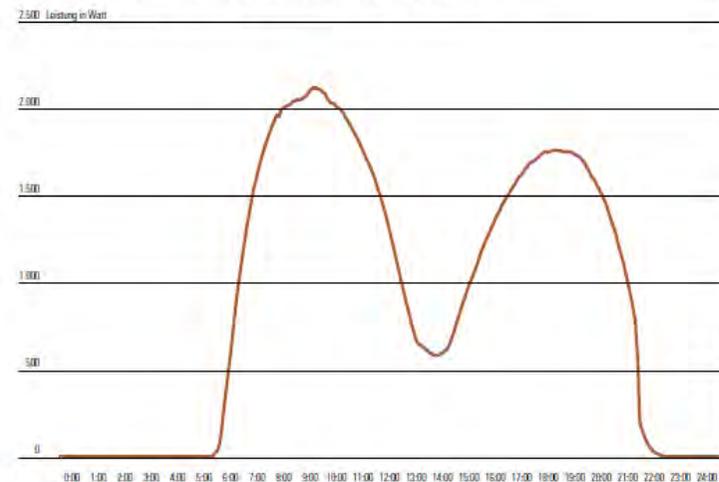


Vorteile:

- Kein Flächenverbrauch, Keine Versiegelung
- Evtl. Mehrertrag (110% v. Südausrichtung)
- Annäherung an Lastkurve morgens/abends

Quelle: Photon Juni 2017

Stromertrag bifacialer, senkrecht angeordneter Module im Tagesverlauf



Dargestellt ist die Leistung eines Strings der Pilotanlage mit einer DC-Nennleistung von 2.228 Watt. Die Leistung weist an einem schönen, wolkenfreien Sommertag im Tagesverlauf zwei Maxima auf: eines am Vormittag, eines am Nachmittag. Die Mittagspitze fehlt.

Nutzung von Gewässern zur Reduktion des Flächenverbrauchs: Floating PV zT. Kombiniert mit Speicherung (Pumpspeicher)

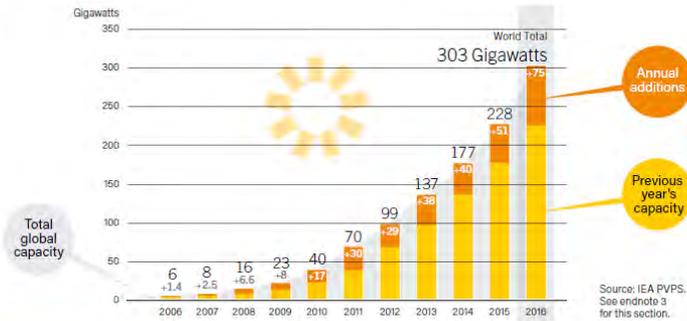


Multi-use-sites PV/Storage



SOLAR PV

Figure 15. Solar PV Global Capacity and Annual Additions, 2006-2016



During 2016, at least **75 GW** of solar PV capacity was added worldwide – equivalent to the installation of more than **31,000 SOLAR PANELS EVERY HOUR**.

Figure 16. Solar PV Global Capacity, by Country and Region, 2006-2016

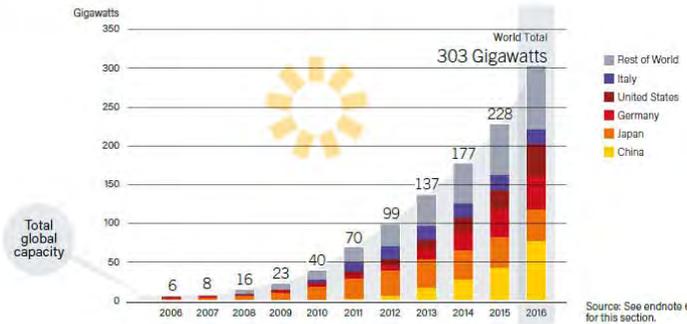


Figure 17. Solar PV Capacity and Additions, Top 10 Countries, 2016

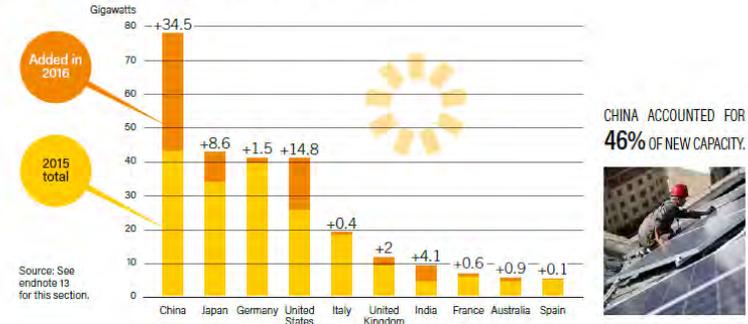


Figure 18. Solar PV Global Capacity Additions, Shares of Top 10 Countries and Rest of World, 2016



Figure 19. Solar PV Global Additions, Shares of Grid-Connected and Off-Grid Installations, 2006-2016

