



# Anmerkungen zu Klimaschutz und erneuerbaren Energien

Dr.-Ing Dipl.Phys Gerd Eisenbeiß

Ein Beitrag zur Sitzung des AKE der DPG  
Bad Honnef, 20. April 2012

# Zur Person

- Ein Berufsleben mit und für Energie, Kanzleramt bis zum Vorstand des Forschungszentrum Jülich
- Solarpreis für das deutsche Windprogramm
- Koordinator der Helmholtz-Energieforschung
- Energietechnologie-Berater der EU-Kommission
- Bücher, Veröffentlichungen in Fach- und Tagespresse

Vieles unter [www.amrehsprung.de](http://www.amrehsprung.de)

# Klärendes Vorwort

Der folgende Beitrag bedeutet nicht, dass ich

- persönlich gegen Kernenergie in Deutschland bin
- Kernenergie, CCS oder Gentechnik in D für möglich halte
- die Vision der Fusionsforschung für erledigt halte
- Photovoltaik für unsinnig halte
- wüsste, wie man zig TWh Strom günstig speichern könnte
- wüsste, wie die Energiewelt 2050 aussieht.

# Klärendes Vorwort

Aber ich möchte streiten über einige Dinge, die ich für klar und unsinnig halte.

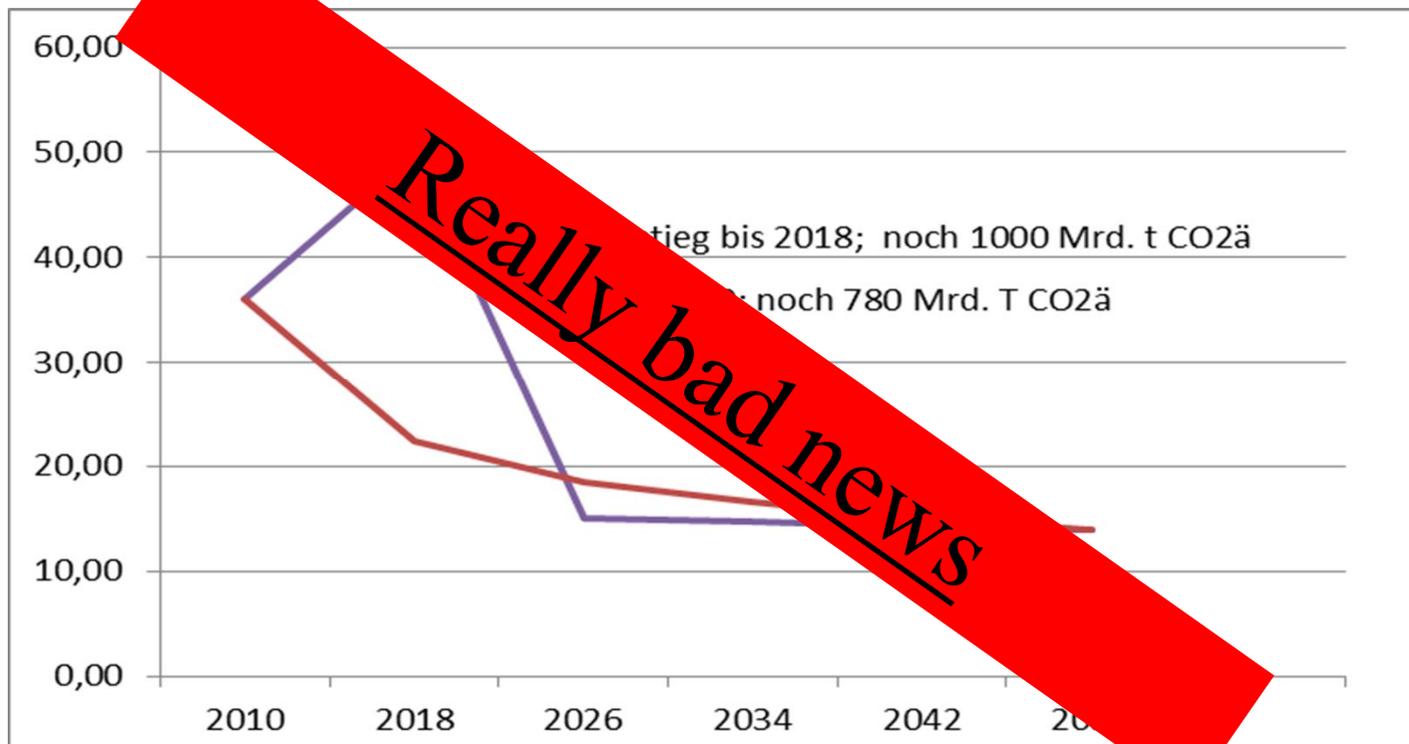
Und wenn die folgenden Analysen richtig sind, dann will ich auch dafür streiten, dass Unsinn fürderhin unterbleibt.

Eines aber steht für mich oben an:

**Es gibt eine absolute, dringende Notwendigkeit  
zu nachhaltiger Entwicklung zu kommen,  
in Europa also auch zu bescheidenerem Lebensstil;  
Klimaschutz ist ein zentrales Element dieser  
Nachhaltigkeit.**

1. Wie geht optimaler Klimaschutz?
2. Erneuerbare Energien: Kosten und Perspektiven
3. Irrweg Photovoltaik in Deutschland?
4. Speicher: die P2G-Hype
5. Elektro-Fahrzeuge: wann?
6. Solarkollektoren, Algen etc vor dem AUS
7. Und solarthermische Kraftwerke?
8. Verbraucherillusionen

# Climate protection till 2050: failed!



goal 2000 was GHG-emissions of 1,4 t/capita 2050 in order to reach 2° C global warming!  
The resulting budget of 700 Mrd. t CO2e is gone by 2030.

# Optimaler Klimaschutz

1 kg C wird zu 3,67 kg CO<sub>2</sub> verbrannt.

Also wäre ein umfassendes Kohlenstoff-Input-System ideal:

- Alle Verbrauchssektoren spüren den selben Kohlenstoff-Preis, kein Sektor wird „politisch“ bevorzugt!
- Niedrigste Verwaltungskosten: Erfassung der Kohlenstoff-Gehalte an der Grenze oder beim Bergbau
- Keine Sondergesetze oder Maßnahmen zu Glühbirnen, KFZ-Steuer oder für reife Technologien – auch nicht für erneuerbare Energien, die ausgereift sind.

Leichte Umrechenbarkeit in CO<sub>2</sub>, falls Deutschland oder andere Staaten auf die Kohlenstoff-Inputvariante wechseln:

# Optimaler Klimaschutz

Erstmals 2007 unter anderem in der Süddeutschen Zeitung und in vielen anderen Medien veröffentlicht.

**P**lotzlich reden alle über Klimaschutz. Jeder hat eine Idee. Mal sollen Glühlampen verboten werden, mal sollen Kfz- oder gar Erbschaftsteuer klimaschützend geändert werden. Und es gibt bereits Zielquoten für Strom aus Sonne, Wind und Wasser, für Bio-Kraftstoffe oder Kraft-Wärme-Kopplung. Muss das sein? Vor allem aber: Bilden all solche Einzelprojekte ein optimiertes Ganzes?

Die Antwort ist: nein. Konsequenter, zielgenauer Klimaschutz kann eleganter und effizienter realisiert werden. Klimaschutz wird ohnehin teuer und sollte daher nicht durch politisches Flickwerk mehr Kosten verursachen als unbedingt nötig. Sonst verliert der Klimaschutz die Unterstützung der Bürger, ohne die kein Erfolg denkbar ist. Denn allein durch den Hinweis, dass alle Mehrkosten geringer sein werden als die Folgekosten der globalen Erwärmung, sich also langfristig rentieren, wird diese Unterstützung nicht zu gewinnen sein.

Klimaschutz ist zwar etwas mehr als die Vermeidung von Kohlenstoffverbrennung. Aber das bei dieser Verbrennung unvermeidbar entstehende Kohlendioxid ist nun mal der wichtigste Auslöser der globalen Erwärmung. Und Kohlenstoff verbrennen wir immer, wenn wir Kohle, Erdöl und Erdgas in Heizungen, Autos oder Kraftwerken einsetzen. Dabei wird exakt aus jedem Kohlenstoff-

## Außenansicht

### Wer Kohlenstoff herstellt oder in Verkehr bringt . . .

. . . sollte erst einmal das Recht dazu erwerben müssen – und sofort würde die Menschheit weniger Kohlendioxid erzeugen

Von Gerd Eisenbeiß

atom ein Kohlendioxid-Molekül. Ein Kilo Steinkohle wird auf diese Weise zu fast 3,7 Kilogramm Kohlendioxid. Ein Kilo Erdgas wird zu etwa 2,7 Kilo Kohlendioxid (weil Erdgas auch Wasserstoff enthält); die Werte für Rohöl, Benzin und Diesel liegen dazwischen. Klimaschutz heißt also, auf diese Rohstoffe weitgehend zu verzichten.

Wie funktioniert Klimaschutz heute? Das vor zehn Jahren in Kyoto vereinbarte Verfahren setzt beim Ausstoß von Kohlendioxid an und will ihn in festgelegten Zeitschritten immer stärker begrenzen, also kappen (Englisch: „to cap“). Jedem Land wurde ein Kontingent an Kohlendioxid zugewiesen, das es künftig noch ausstoßen darf. Wer seine Emissionsrechte nicht ausschöpft, darf sie an andere verkaufen, die mit ihrem Kontingent nicht

zurechtkommen. Die Emissionsrechte dürfen also gehandelt (Englisch: „to trade“) werden, weshalb man von einem „cap & trade“-System spricht.

Das klingt sehr marktwirtschaftlich, hat aber einen großen Nachteil: Die genaue Bestimmung des Kohlendioxid-Ausstoßes ist zwar bei Großanlagen wie Kraftwerken, Raffinerien oder Stahlwerken gut machbar – nicht aber bei Autos, Heizungen und anderen Kleinanlagen. Dieses Manko ist der Grund, weshalb nun all die Einzelvorschläge gemacht werden, für Glühlampen, Biomasse, und so weiter. Dabei ginge es so einfach, wenn Klimaschutz mit Mut und Transparenz betrieben würde.

Ansatzpunkt einer Reform des Klimaschutzes muss die Tatsache sein, dass al-

les freigesetzte Kohlendioxid zuvor in Form von Kohle, Öl und Erdgas, Benzin oder Diesel auf den Markt gekommen ist. Diese Menge an Kohlenstoff ist technisch und organisatorisch leicht zu ermitteln. Man muss nur alle auf den Markt kommenden Kohlenstoff-haltigen Energieträger erfassen und sodann nach ihrem Kohlenstoffgehalt bewerten. Mit anderen Worten: Wer solche Kohlenstoff-haltigen Energieträger importiert, bergmännisch fördert oder herstellt, der muss zuvor das Recht kaufen, diesen Kohlenstoff in den Handel zu bringen. Diese „Kohlenstoff-Lizenz“ kann gehandelt werden wie heute das Kohlendioxid-Emissionsrecht. Vor allem aber: Die Festlegung sowie fortschreitende Kappung der zulässigen Gesamtmenge an Kohlenstoff erzwingt exakt die angestrebte Kohlendioxid-Obergrenze – denn aus jeder Tonne Kohlenstoff werden nun mal knapp 3,7 Tonnen Kohlendioxid.

Die Umstellung des Emissions- auf den Kohlenstoffhandel wäre nicht schwierig. Der Preis für die Kohlenstoff-Lizenzen würde natürlich in die Energiepreise eingehen, das heißt, alle fossilen Energieträger würden teurer, und zwar entsprechend ihres jeweiligen Kohlenstoffgehalts. Insgesamt aber wäre das System billiger. Denn der Markt findet die jeweils billigste Strategie zur Erreichung des Emissionsziels leichter als der Staat mit Einzelvorschriften zu Glühlampen et cetera. Alle Unternehmen und Ver-

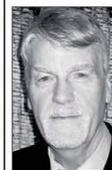
braucher würden durch die Energiepreise in transparenter und gleicher Weise gelenkt, Energie zu sparen und damit etwas für den Klimaschutz zu tun.

Da jedermann wohl das Ziel hätte, die hohen Energiekosten zu vermeiden, würden Millionen Menschen zum Nachdenken darüber gebracht, wie sie durch Investitionen, Innovationen sowie durch Verhaltensänderungen Geld und Energie sparen und so dem Klimawandel entgegenwirken können. Die Wärmedämmung älterer Gebäude käme endlich in Schwung, Energiesparlampen würden freiwillig gekauft, in ihrer Eigenschaft als Autofahrer würden die Menschen sparsamere Fahrzeuge kaufen und damit der ganze verschwenderische Lebensstil würde unter Druck geraten. Wichtig in einem freien Land ist aber, dass der Einzel-

ne sich weiterhin verhalten kann, wie er es in Abwägung seiner Interessen für richtig hält und bezahlen will: Energiesparlampen sind eben zwar nützlich, aber manchmal nicht sehr gemütlich.

Zugleich wäre ein „cap & trade“-System mit Kohlenstoff-Lizenzen intelligenter als eine Energiesteuer, die zwar ebenfalls dem Prinzip der Steuerung über den Preis folgen würde, allerdings keine Handelskomponente enthielte. Denn der Staat wüsste bei Festlegung des Steuersatzes nicht, ob er auf dem Markt damit tatsächlich sein Ziel erreichen würde, die Emissionen zu senken; vermutlich müsste er immer wieder nachregeln. Dagegen garantiert der Lizenzhandel auf der Basis von Marktpreisen, die immer wieder neu austariert werden, das Erreichen des Ziels.

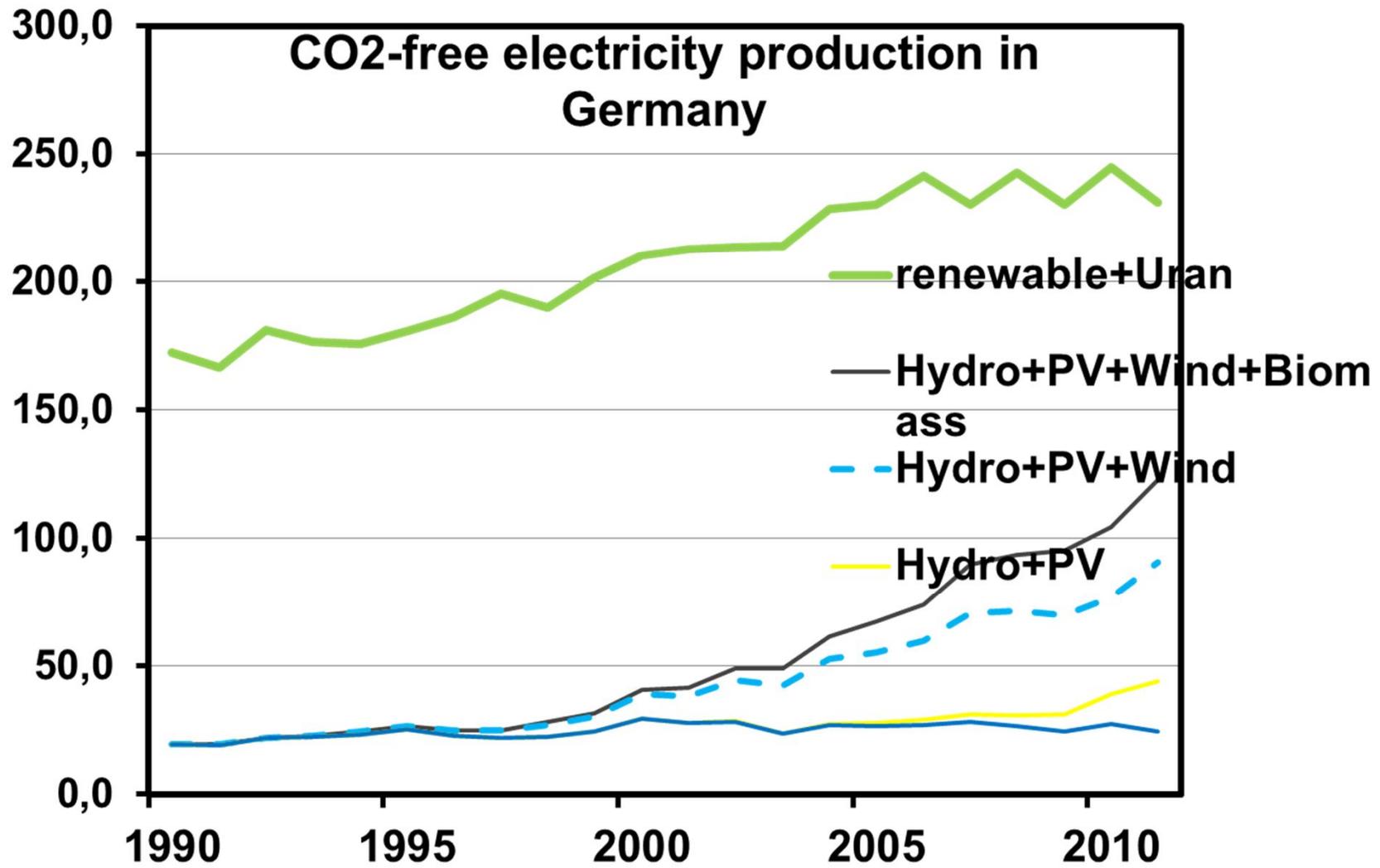
Vor allem aber: Es wären keine Einzelvorschriften für Glühlampen, Flottenverbrauch von Autos, Wärmedämmung oder Quoten für Bio-Kraftstoffe und so weiter mehr erforderlich. Zudem eröffnen die Lizenz-Erlöse auch Spielraum, um einkommenschwachen oder kinderreichen Bürgern einen Ausgleich zu zahlen oder Forschung und Technologie besser zu fördern. Denn nur Energieforschung kann die Kosten erneuerbarer Energien oder klimaschützender Energietechniken nachhaltig verbilligen – und damit den Klimaschutz für die Menschen im Alltag akzeptabel machen.



Gerd Eisenbeiß, 65, war bis 2006 Energievorstand des Forschungszentrums Jülich. Er gehört der „Advisory Group Energy“ an, dem 25-köpfigen Beratergremium der EU-Kommission. Foto: oh

## Bekommt der Vorschlag jetzt eine Chance?

1. Wie geht optimaler Klimaschutz?
2. **Erneuerbare Energien: Kosten und Perspektiven**
3. Irrweg Photovoltaik in Deutschland?
4. Speicher: die P2G-Hype
5. Elektro-Fahrzeuge: wann?
6. Solarkollektoren, Algen etc vor dem AUS
7. Und solarthermische Kraftwerke?
8. Verbraucherillusionen

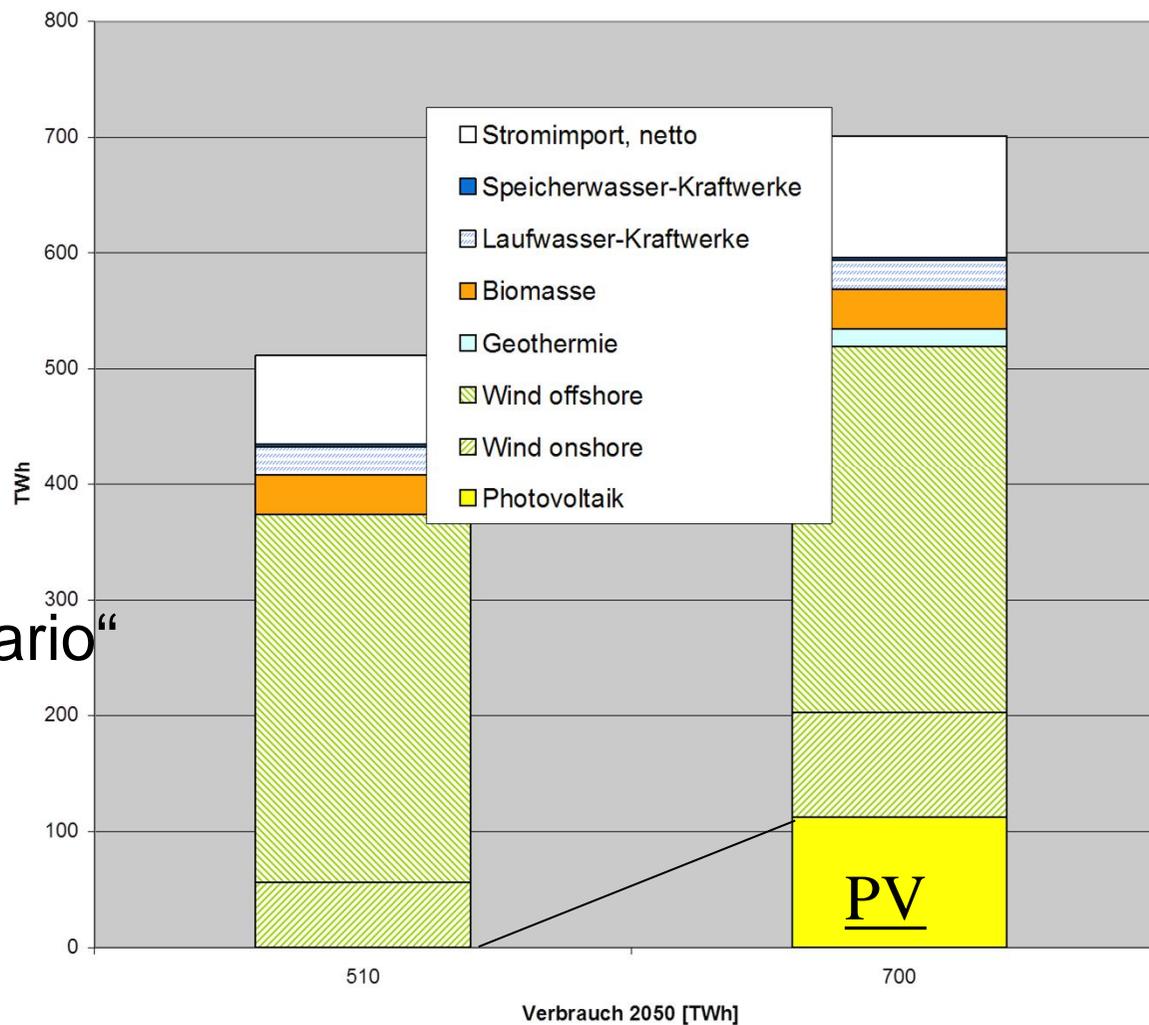


# Deutschland 2050 ohne Nuklear- und Fossilstrom

Das SRU-  
Gutachten von  
2010

Links „Sparszenario“  
mit 510 TWh

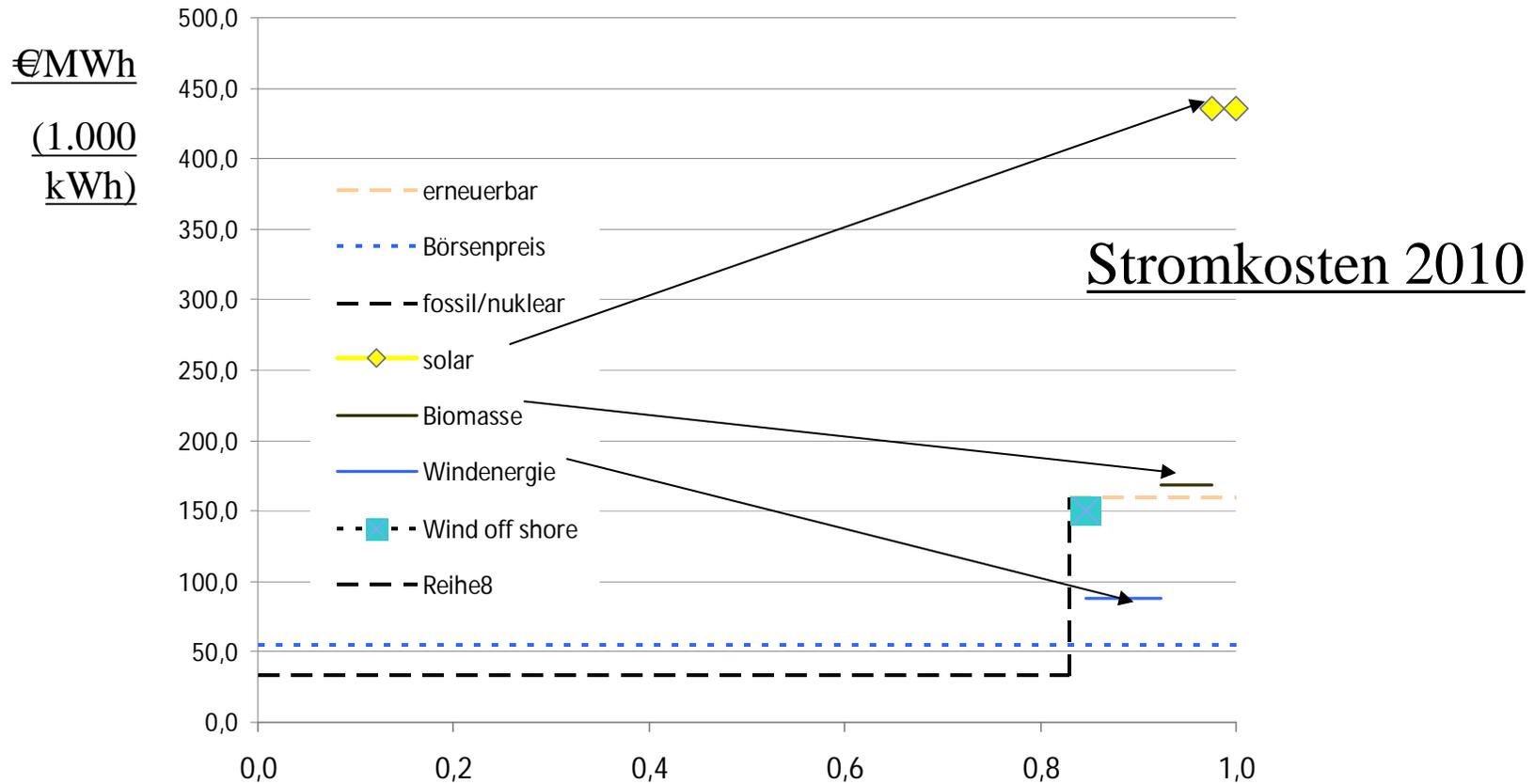
Rechts „leichter  
Zuwachs“.



# Jahresdurchschnittskosten c/kWh

	<i>SRU/DLR</i>	<i>(meine Schätzung)</i>
Wind, terrestrisch	6,5	6,5 c/kWh
Wind, off shore	4,1	8,0 c/kWh
Photovoltaik	8,9	15,0 c/kWh
Biomasse	10,0	10,0 c/kWh
Wasserkraft, Inland	5,5	5,5 c/kWh
Wasserkraft, Import	15,0	15,0 c/kWh

# Electricity cost in Germany



PV jetzt bei 19,4c/kWh, also unter dem Bezugspreis!

1. Wie geht optimaler Klimaschutz?
2. Erneuerbare Energien: Kosten und Perspektiven
3. Irrweg Photovoltaik in Deutschland?
4. Speicher: die P2G-Hype
5. Elektro-Fahrzeuge: wann?
6. Solarkollektoren, Algen etc vor dem AUS
7. Und solarthermische Kraftwerke?
8. Verbraucherillusionen

# Rolle der Photovoltaik im deutschen Netz der Zukunft

Wind und Sonne sind unzuverlässig

Wind ist saisonal günstiger: mehr im Winter

PV liefert im Winter (fast) nichts; deshalb keine Netz-Gutschrift möglich; Batterien im Haus unbezahlbar

Deutschland hat sich an PV verschluckt 25 GW!

In wenigen Jahren 50 GW erreicht!

Was dann?

# Rolle der Photovoltaik im deutschen Netz der Zukunft

Der deutsche Markt wird für etwa 20 Jahre gesättigt sein.

An sonnigen Sommertagen muss man den Wind abschalten, was ihn spürbar verteuern wird.

Oder man nimmt die PV mittags teilweise vom Netz, was sie spürbar verteuern wird.

Oder man speichert, was den Strom ebenfalls ....

# Rolle der Photovoltaik im deutschen Netz der Zukunft

Konsequenz für Industrie und Arbeitsplätze:

- Nur noch Export, wenn wettbewerbsfähig.
- Pleiten mit Übernahme des know hows an andere Standorte.

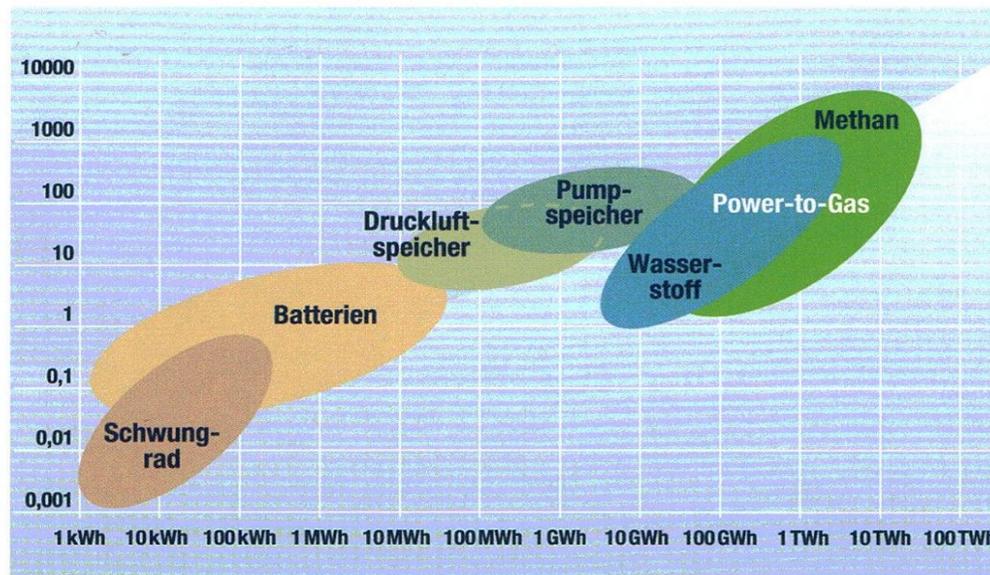
Eine Fehlinvestition der deutschen Volkswirtschaft, die die Lernkurve fast allein bezahlt hat oder eine selbstlose Leistung der Deutschen für Entwicklungs- und Schwellenländer, wo PV häufig sinnvoller zum Klimaschutz beitragen wird.

1. Wie geht optimaler Klimaschutz?
2. Erneuerbare Energien: Kosten und Perspektiven
3. Irrweg Photovoltaik in Deutschland?
4. Speicher: die P2G-Hype
5. Elektro-Fahrzeuge: wann?
6. Solarkollektoren, Algen etc vor dem AUS
7. Und solarthermische Kraftwerke?
8. Verbraucherillusionen

# Speicher: die P2G-Hype

Die Erzeugung von Wasserstoff aus (Wind-)Strom und die nachfolgende Methan-Erzeugung sind technisch machbar.

## Stromspeicherung



Speichertechnologien im Vergleich: Das Gasnetz hat die größten Speicherkapazitäten in Deutschland

Achtung:

P2G ist kein Stromspeicher!

Quelle: EnergieAgentur NRW

# Speicher: die P2G-Hype

Die Erzeugung von Wasserstoff aus (Wind-)Strom und die nachfolgende Methan-Erzeugung sind technisch machbar.

Die Frage ist: braucht man das und ggf. ab wann?

Solange Erdgas in der Wärmeerzeugung eingesetzt wird, ist es sinnvoller, mit „überschüssigem“ Windstrom direkt elektrisch Wasser auch für die Heizungen zu erwärmen, also Erdgas zu substituieren. Wirkungsgrad fast 100%!

Demgegenüber ist die Power-to-Gas-Strategie verlustreich und darüber hinaus (Investitions-)Kosten trächtig, d.h.

**für vermutlich Jahrzehnte unnötig.**

# Rohstoffliche CO2-Nutzung

Die intermediäre CO2-Nutzung im Windmethan hat keinerlei Klimaschutzbedeutung. Wer P2G auch noch mit CO2 aus der Luft machen will, erhöht die Kosten hinzu.

Auch andere Initiativen zur rohstofflichen CO2-Nutzung unter Einsatz erneuerbarer Energien sind teure Umwege gegenüber der Alternative:

Substitution von Kohlenwasserstoffen durch erneuerbare Energien. Chemie macht man den so frei gesetzten Kohlenwasserstoffen.

1. Wie geht optimaler Klimaschutz?
2. Erneuerbare Energien: Kosten und Perspektiven
3. Irrweg Photovoltaik in Deutschland?
4. Speicher: die P2G-Hype
5. Elektro-Fahrzeuge: wann?
6. Solarkollektoren, Algen etc vor dem AUS
7. Und solarthermische Kraftwerke?
8. Verbraucherillusionen

# Wasserstoff und E-Verkehr

Wasserstoff aus (Wind-)Strom kann wahrscheinlich auch langfristig bessere Preise als P2G erzielen, wenn ein Teil des Verkehr auf die H<sub>2</sub>/Brennstoffzellen-Technologie umgestellt wird.

Dass der Verkehr elektrisch wird, scheint sicher;  
wahrscheinlich mit Hybrid-Fahrzeugen:

- teilweise als Batterie-Fahrzeuge mit range-extender
- teilweise als Brennstoffzellen/Batterie-Fahrzeuge.

Beide Entwicklungen werden nur durch gigantische Subventionen marktfähig ....

# Elektro-Fahrzeuge

... in Deutschland schon wegen der höheren Stromkosten.

Was kostet die kWh Tankstrom?

Heute kostet die MÖSt-freie kWh Benzin etwa 8c.

Ein Elektro-Fahrzeug braucht äquivalent etwa 0,3 kWh:

(Grenz-)Kosten zu hause zur Zeit etwa 7c.

Vollkosten an öffentlich. Ladepunkt >>7c!

## **Wer zahlt für die Verkehrsinfrastruktur?**

Das sind rund 40 Mrd. € wegfallender Mineralöl-Steuer, entsprechend etwa 5 %-Punkte Mehrwertsteuer.

1. Wie geht optimaler Klimaschutz?
2. Erneuerbare Energien: Kosten und Perspektiven
3. Irrweg Photovoltaik in Deutschland?
4. Speicher: die P2G-Hype
5. Elektro-Fahrzeuge: wann?
6. Solarkollektoren, Algen etc vor dem AUS
7. Und solarthermische Kraftwerke?
8. Verbraucherillusionen

# Das „AUS“ für Solarkollektoren?

alles mit MWSt

2012 installiert:

2,5 m <sup>2</sup> Flachkollektoren für etwa	720	€
System mit Kollektor	1.500	€
Jährliche Warm-Wasser-Ernte	1.050	kWh
D.h. pro jährlicher kWh rund	1,40	€

2012: 4,5 kW nur noch	9.400	€
Jährliche Warm-Wasser-Ernte (Bonn)	4.150	kWh
D.h. pro jährlicher kWh rund	2,25	€

Anzeige in der  
Süddeutschen Zeitung  
vom Februar 2012

ANZEIGE

**Solarstrom Photovoltaik**  
Anlagen zum Festpreis schlüsselfertig

**1750,- €/kWp** zuzgl. MwSt.

Dachflächen ab 2000 qm zur Pacht für Solaranlagen gesucht.  
Vollständige Pachtvorauszahlung für 20 Jahre.

info@solarenergy-europe.eu | Tel.: +49 (0) 30 25 74 34 17

# Das „AUS“ für Solarkollektoren?

Zusätzlich:

- Wenn kein warmes Wasser gebraucht wird, kann der Strom immer noch selbst verbraucht (23,5c) oder verkauft (19,4c) werden, die überschüssige Kollektorstärke nicht!
- Die PV-Anlage wird länger leben und weniger Wartung benötigen; man verdient am selbstgenutzten Strom.
- PV dürfte noch billiger werden, Kollektoren kaum

Das erledigt auch alle Träume von solaren Bioenergie-Systemen wie z.B. Algen, die immer auf Kollektoranlagen beruhen; denn diese haben keine Chance billiger als Warmwasser-Anlagen zu werden.

1. Wie geht optimaler Klimaschutz?
2. Erneuerbare Energien: Kosten und Perspektiven
3. Irrweg Photovoltaik in Deutschland?
4. Speicher: die P2G-Hype
5. Elektro-Fahrzeuge: wann?
6. Solarkollektoren, Algen etc vor dem AUS
7. **Und solarthermische Kraftwerke?**
8. Verbraucherillusionen

# „AUS“ auch für solarthermische Kraftwerke?

PV-Kraftwerke können im Sonnengürtel solarthermische Kraftwerke schlagen: ca 10 statt 20c/kWh?

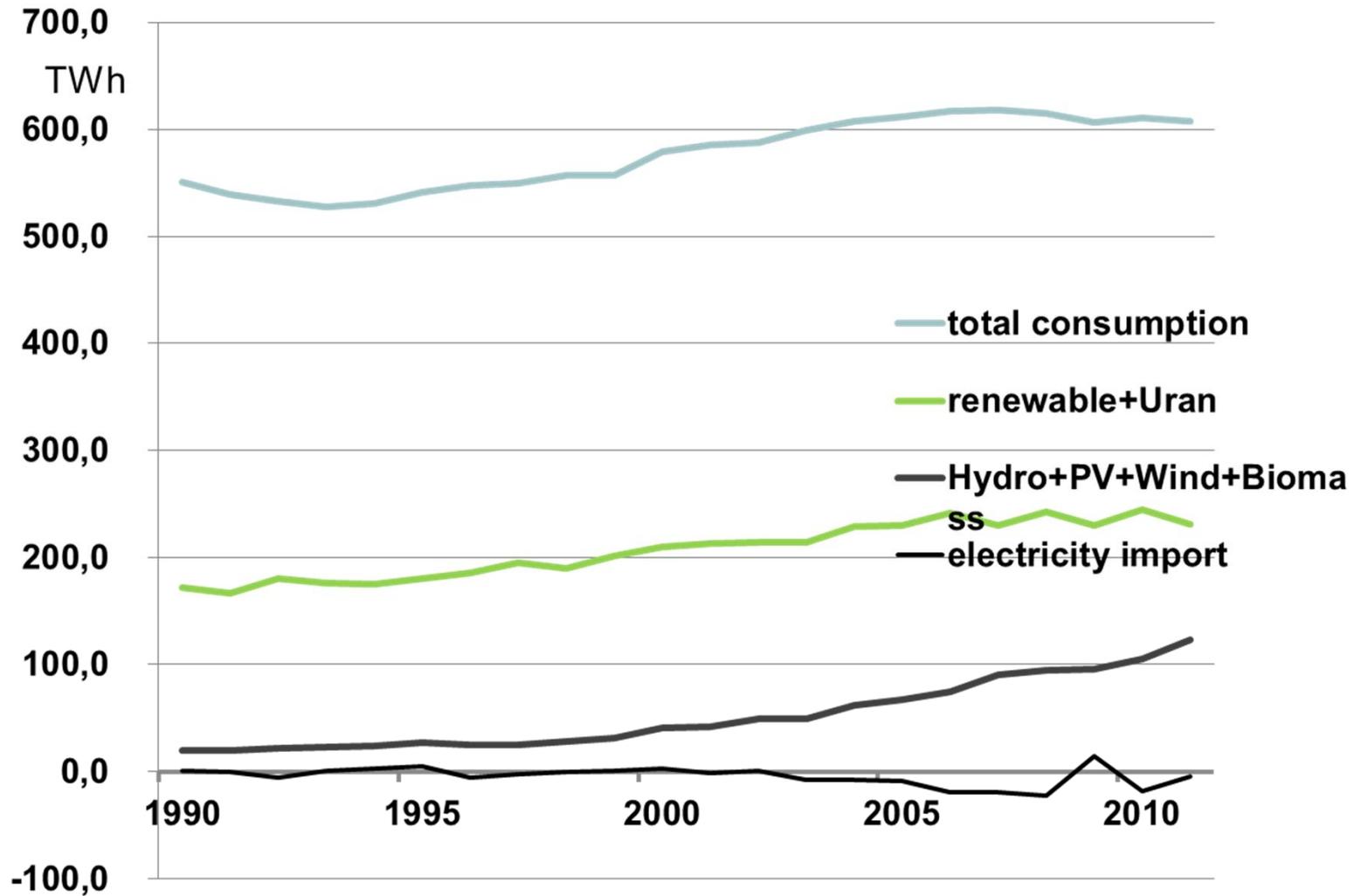
Spanien: 1€/kWh/a!

Zwar können Wärmespeicher die Stromproduktion verstetigen; dieser Vorteil ist aber nur wenige c wert, wenn man das PV-Kraftwerk durch eine Gasturbine ergänzt.

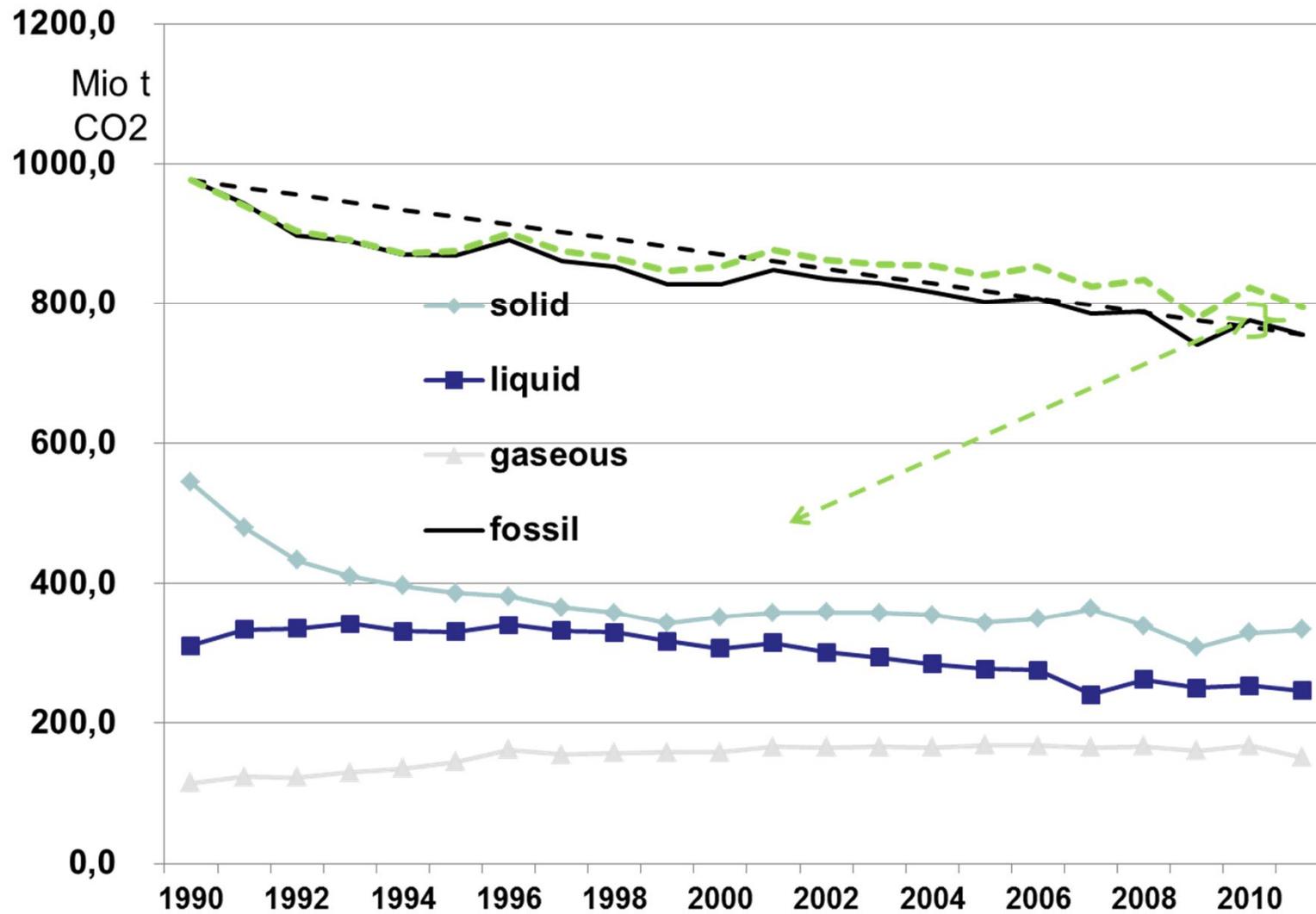


1. Wie geht optimaler Klimaschutz?
2. Erneuerbare Energien: Kosten und Perspektiven
3. Irrweg Photovoltaik in Deutschland?
4. Speicher: die P2G-Hype
5. Elektro-Fahrzeuge: wann?
6. Solarkollektoren, Algen etc vor dem AUS
7. Und solarthermische Kraftwerke?
8. **Verbraucherillusionen**

# Electricity in Germany



# CO2 emissions from the energy sector



# Verbraucherillusionen

Die Werbung verführt den Verbraucher zu glauben, seine Entscheidung für Öko-Strom sei Treiber des Zubaues.

Das EEG hat weit größere Mengen an erneuerbarem Strom ermöglicht als die Öko-Nachfrage.

Die meisten Bezieher von „grünem“ Strom bekommen ohnehin nur jenen Wasserkraftstrom (oft Label-Import aus Norwegen), den es immer schon gegeben hat.



# Erhöhen Batterien die Wirtschaftlichkeit?

Eine Batterie erhöhe die Eigenverbrauchsquote um 20%, d.h. die Einspeisung sinkt um 20%, die Bezugersparnis steigt um 10% der Jahresernte.

Ein Ertragsgewinn tritt also ein, wenn die Bezugskosten einer kWh doppelt so hoch sind wie die Einspeisevergütung.

Der Ertragsgewinn hat die Batterie-Investition zu finanzieren (Annuität 25% wegen kurzer Lebensdauer). Beispiel:

900 kWh von 1kW PV, Strompreis 30c, Einspeisetarif 10c:  
9€ Gewinn pro Jahr finanzieren etwa 35€ Batterie.

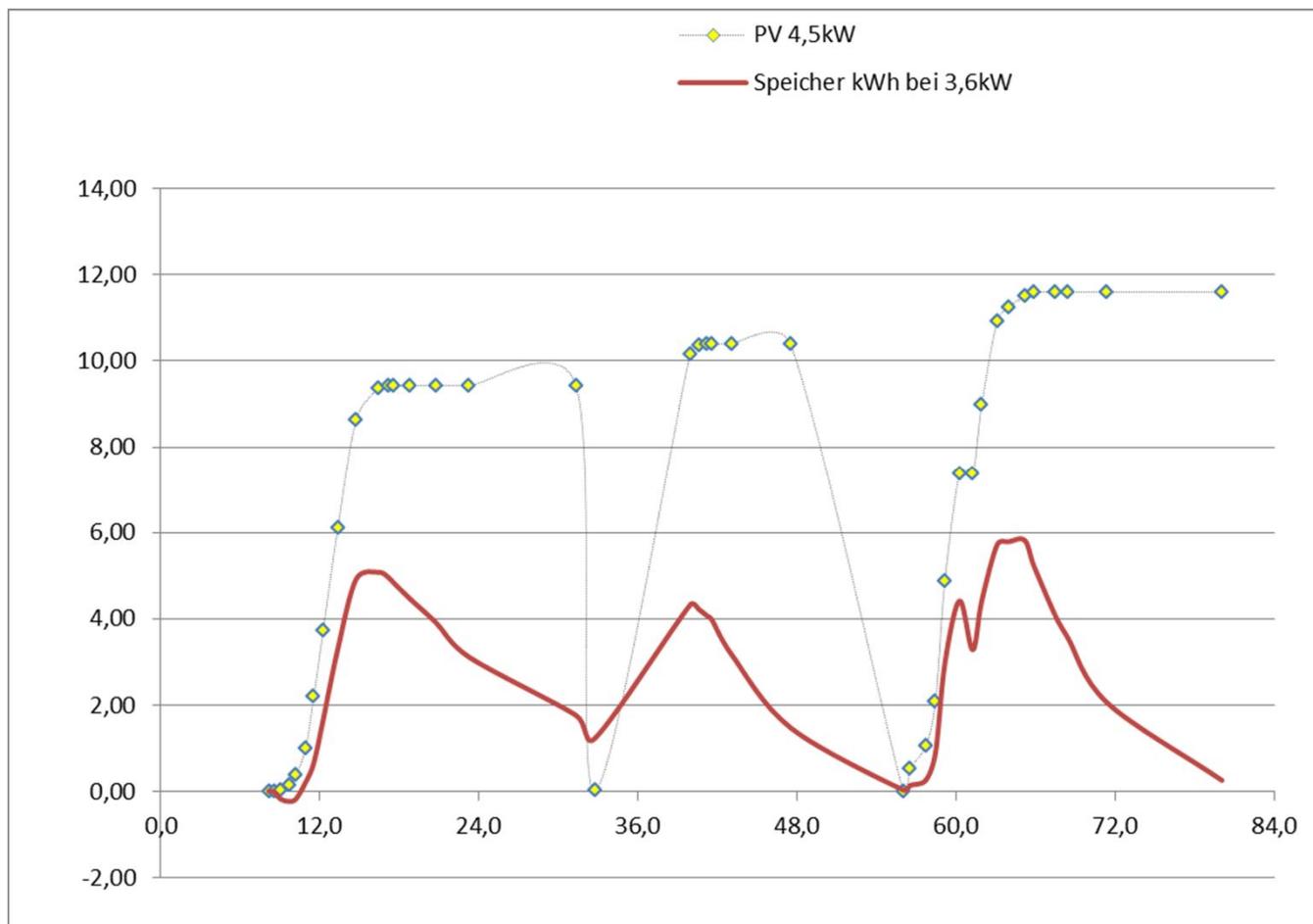
# Strompreis-Paradoxon

Wind und Photovoltaik haben Grenzkosten Null.

Das drückt den Börsenpreis am Spotmarkt und ruiniert alle anderen Stromquellen.

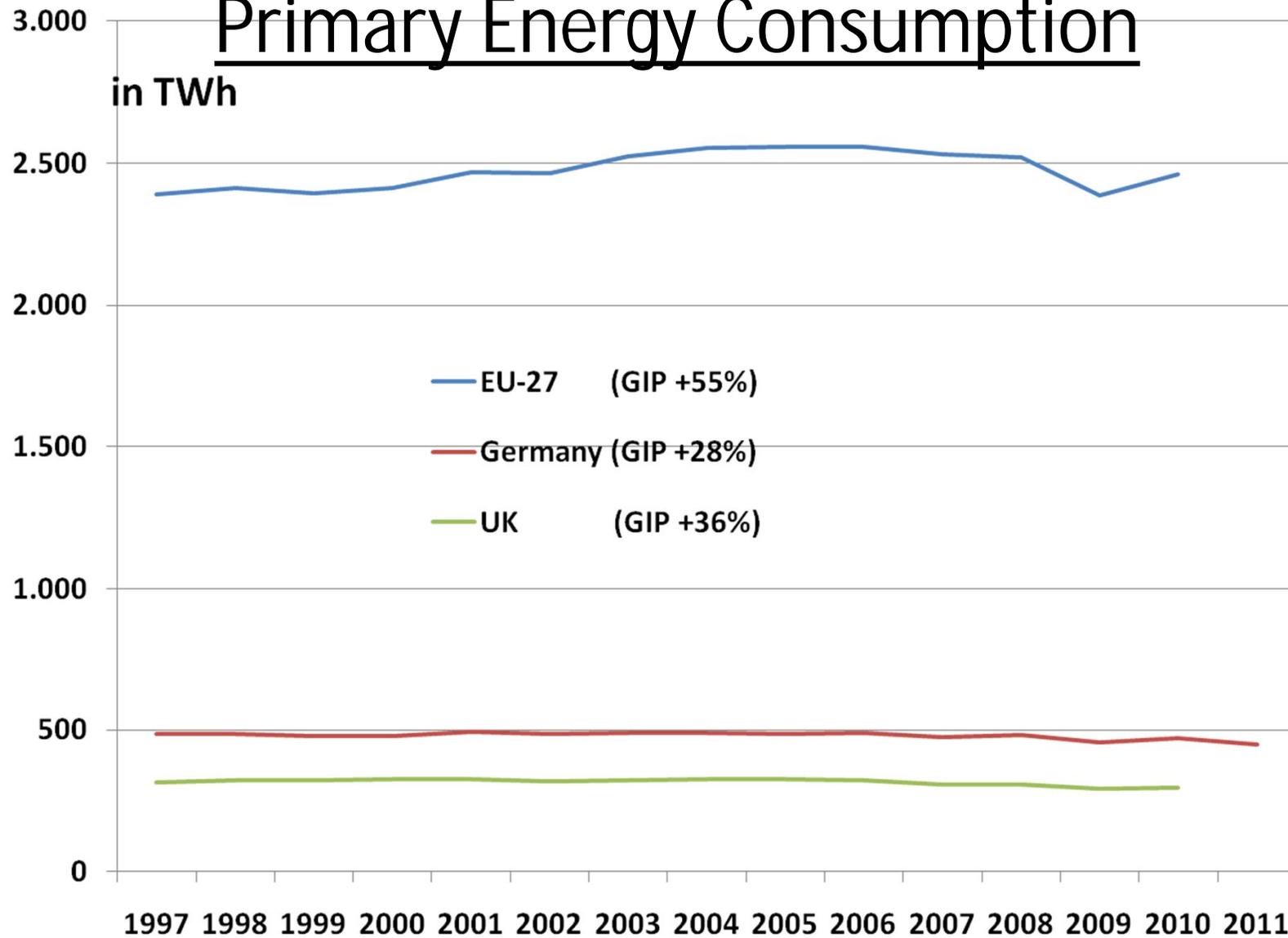
Das EEG garantiert für erneuerbare Stromquellen profitable Kosten unabhängig von der Marktsituation, d.h. das EEG ruiniert die Lieferfähigkeit des Stromnetzes.

Deshalb muss ein neues Geschäftsmodell für Reserve- und Speicherkraftwerke gefunden werden.

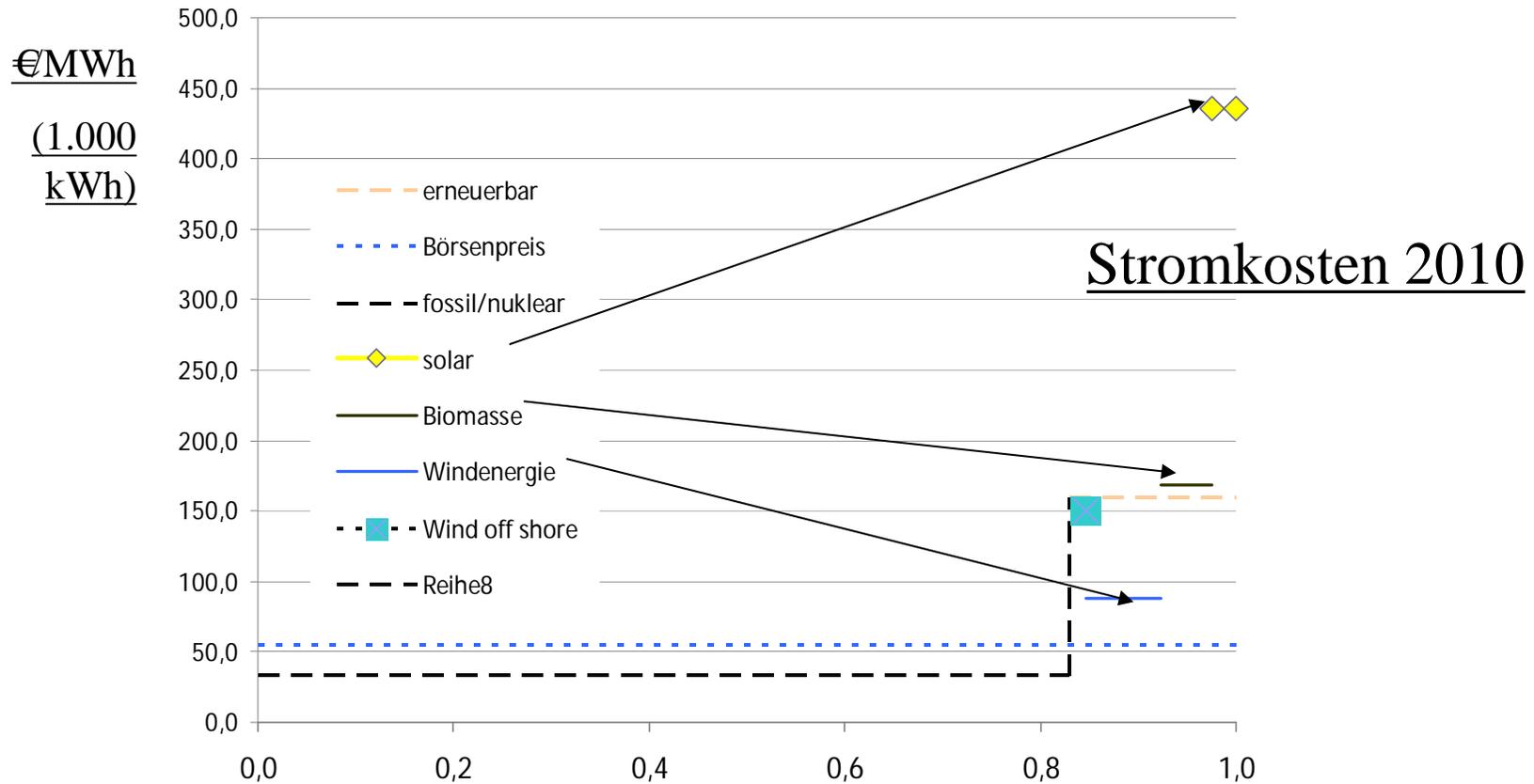


Drei kalte Sonnentage ab 31. Januar

# Primary Energy Consumption



# Electricity cost in Germany



PV is now down to 19,4c/kWh, that is lower than the utility price