

Zukunft der Energieversorgung

- zwischen Ökologie und Ökonomie

- zwischen Visionen und Illusionen

F. Mayinger

Gefördert durch Berichte in den Medien, wird Energieversorgung heute überwiegend unter dem Aspekt des Klimawandels gesehen. Das Spannungsfeld zwischen Ökonomie und Ökologie, zwischen Visionen und Illusionen in der Energieversorgung wird bei den heutigen Diskussionen in der Öffentlichkeit, aber auch in der Fachwelt, meist nicht, und wenn, doch sehr einseitig, ja emotional diskutiert. Ich will mich bemühen, eine entspannte Betrachtung zu präsentieren, bin mir jedoch nicht sicher, ob mir das durchweg gelingt.

Lassen Sie mich versuchen die heutige und zukünftige Energieversorgung aus dem Spannungsfeld von

- Ökologie – vor allem Klimawandel,
- Ökonomie – Kosten der Nutzung verschiedener Energieträger,
- mittel- und langfristiger Verfügbarkeit der verschiedenen Energieträger – lokal und global

zu beleuchten zu versuchen

Erlauben Sie mir einleitend eine kurze Erinnerung an den Physikunterricht: Häufig wird nicht klar zwischen Leistung und Energie unterschieden. Leistung ist Energie pro Zeit und dementsprechend ist Energie Leistung mal Zeit. Bei der Energieerzeugung – fachlich sagt man korrekter Energiewandlung – ist es also wesentlich wie lange eine Maschine von gegebener Leistung Energie liefert. Energie kommt in verschiedenen Formen vor, z. B. in chemischer Form, als Wärme, als mechanische oder als elektrische Energie. Von der Anwendung her gesehen unterscheidet man zwischen Primär- und Sekundärenergie, letztere meist als elektrischer Strom oder mechanische Arbeit.

Diesen Unterscheidungen entsprechend wird Energie auch in verschiedenen Einheiten gemessen, in Joule, Kilowattstunden oder dem Tausendfachen (kJ, MJ oder kWh, MWh). Der Anschaulichkeit halber wurde auch die Steinkohleeinheit eingeführt. Das ist diejenige Energie, die bei der Verbrennung von 1 Tonne Steinkohle als Wärme frei wird.

Kleine Erinnerung an den Physikunterricht

Energie = Leistung mal Zeit

In der Technik übliche Maße für die elektrische Leistung:
Kilowatt (kW), Megawatt (MW), Gigawatt (GW), Terawatt (TW)

Maße für elektrische Energie:
Kilowattstunden (kWh), Megawattstunden (MWh) usw.

In der Physik übliche Maße für die Energie:
 $1\text{J} = 1\text{Ws}$, $1\text{kWh} = 3600\text{kJ}$

Umgangssprachliche Maße für die Energie:
Steinkohleneinheit
Öleinheit (1 Öleinheit = 1,6 Steinkohleneinheiten)

Vor Augen halten müssen wir uns dabei auch, in welchem Wohlstand wir heute leben und wie energieintensiv unsere Arbeitsplätze sind. Die Verfügbarkeit preiswerter und ausreichender, ja überschüssiger Energie ist eine wesentliche Basis unseres heutigen Wohlstands. Der durchschnittliche Energieverbrauch bzw. Energieaufwand an einem industriellen Arbeitsplatz entspricht heute dem rund 400fachen, das ein Mann mit seiner Muskelkraft leisten könnte. Müsste Strom aus menschlicher Muskelkraft erzeugt werden, so wären wir bitterarm.

Was würde „menschlicher“ Strom kosten?

„Menschliche“ mechanische Dauerleistung ~ 60 W

Jahresarbeitszeit: 8 h/Tag mal 200 Tage/Jahr = 1600 h/Jahr

erzeugte elektrische Jahresenergie: 1600 h mal 0,06 kW =
96 kWh/Jahr

Vergütung: Mindestlohn 7,50 €/h mal 1600 h =
12 000 €/Jahr (brutto!)

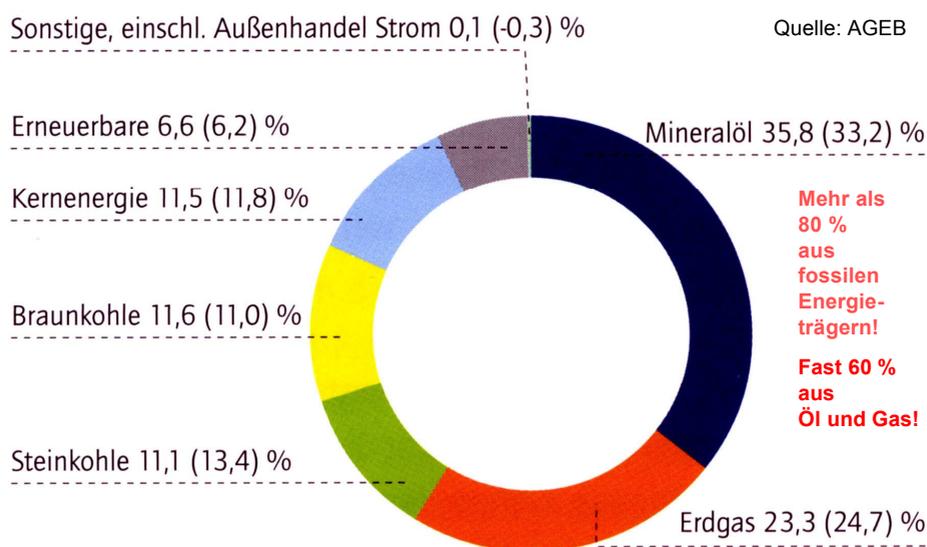
Stromkosten: 12 000 € dividiert durch 96 kWh =

125 €/kWh

Dabei leben wir mehr und mehr in einer Dienstleistungsgesellschaft und weniger in einer Produktionsgesellschaft, von der man eigentlich einen höheren Energieverbrauch erwartet. Allein der Betrieb unseres elektronischen Rechners, des sogenannten Personal Computers oder Laptops, erfordert die doppelte Leistung, die ein Mann mit seiner Muskelkraft aufbringen könnte. Die Informationsdienstleister wie Google oder Yahoo betreiben Computerparks mit einem Strombedarf der dem einer Kleinstadt entspricht. Seit der Urzeit der Menschheit ist der persönliche Energieverbrauch fast um den Faktor 50 gestiegen und die Zahl der Menschen hat um mehr als den Faktor 6000 zugenommen. Hinzukommt, dass wir immer mehr auf sogenannte höherwertige Energie, Sekundärenergie, also auf elektrischen Strom und mechanische Arbeit angewiesen sind und uns nicht mehr mit Primärenergie, wie Wärme, begnügen. Die Umwandlung von Primärenergie in Sekundärenergie ist, nach einem Grundgesetz der Thermodynamik mit erheblichen Verlusten verbunden.

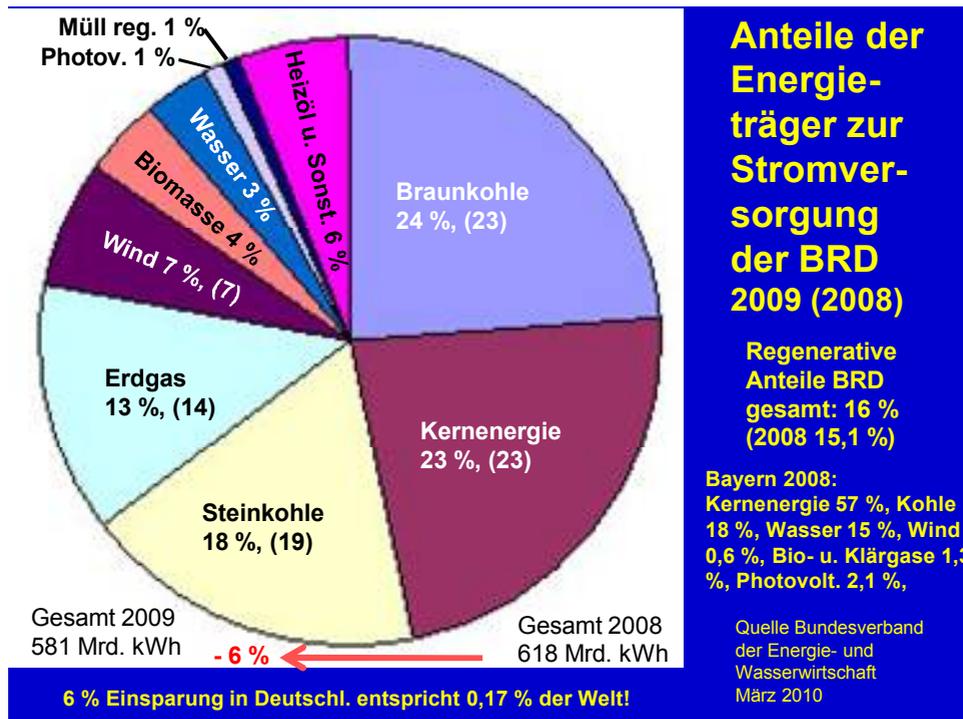
Lassen Sie uns zunächst nach dem status quo fragen, d. h. wo stehen wir und wie beeinflussen wir durch unseren Energieverbrauch die Umwelt.

Beiträge zum Primärenergiebedarf in Deutschland im 1. Halbjahr 2009, bzw. in (2008)



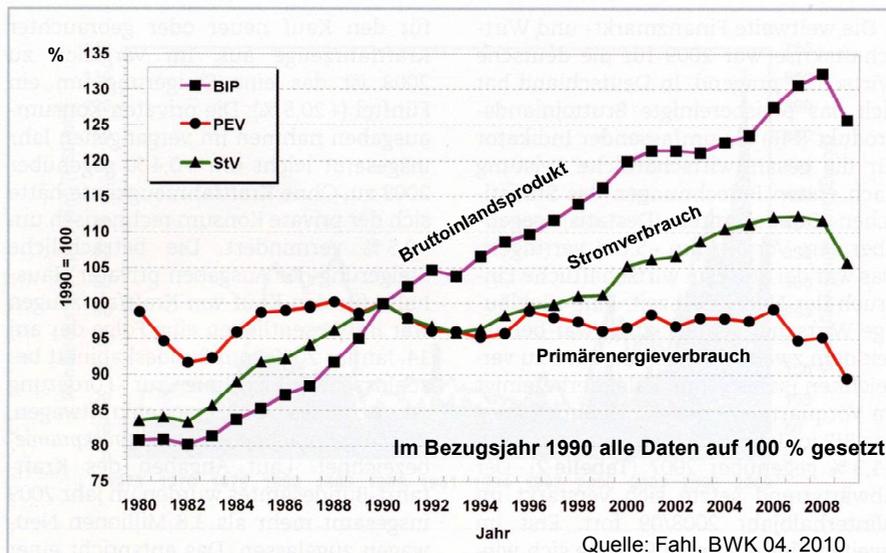
Fast 82 % des Primärenergiebedarfs in Deutschland kommt aus kohlenstoffhaltigen Quellen (Kohle, Mineralöl, Erdgas) und trägt durch Freisetzung von Kohlendioxid (CO₂) zum Klimawandel bei. Den Rest teilen sich Kernenergie und erneuerbare Energien.

Beim Strom, der in einem hochentwickelten Land wichtigsten Energieform, sieht es nur geringfügig besser aus. Die erneuerbaren Energien leisteten 2009 einen Beitrag von 16 % woran aber Biomasse und auch Wasserkraft einen erheblichen Anteil hatten. Wind trug 7 % und Solarstrom gerade mal 1 % zur Stromversorgung bei. Kernenergie trug in der Bundesrepublik mit 23 % zur Stromerzeugung bei, in Bayern aber mit 57 %.



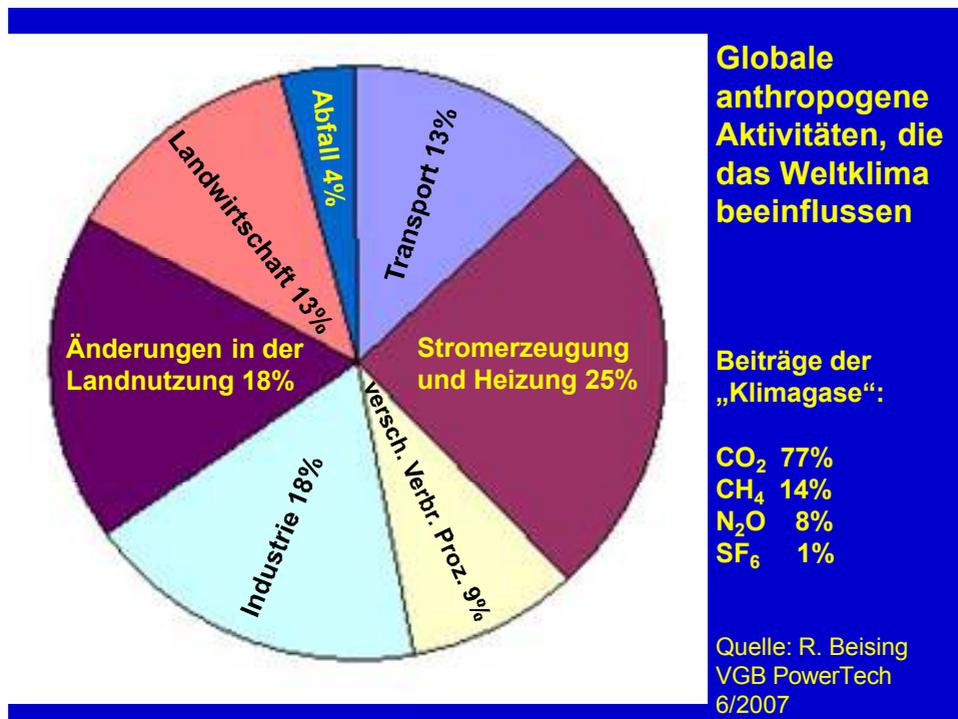
Interessant ist ein Vergleich der Jahre 2008 und 2009! Der Stromverbrauch ging in der Bundesrepublik von 2008 auf 2009 um 6 % zurück, eine Einsparung die fast der Stromerzeugung durch die Windkraftwerke entspricht. Dabei verursachten diese Einsparung in hohem Maße die privaten Haushalte. Daraus lernen wir zunächst, dass Sparen ein hohes Potential besitzt, das mit diesen 6 % noch lange nicht ausgereizt ist. Auf der anderen Seite müssen wir uns aber auch fragen was hat dieses Sparen verursacht? Es war die Wirtschaftsflaute, die uns den Gürtel enger schnallen ließ. Es gibt seit

Zusammenhang zwischen Konjunktur und Energieverbrauch



Jahren eine enge Korrelation zwischen Wirtschaftskraft – gemessen am Bruttoinlandsprodukt – und Stromverbrauch. Der Stromverbrauch stieg aber weniger stark als das Bruttoinlandsprodukt. Dies verdanken wir u. a. der Entwicklung intelligenterer Produktionsmethoden.

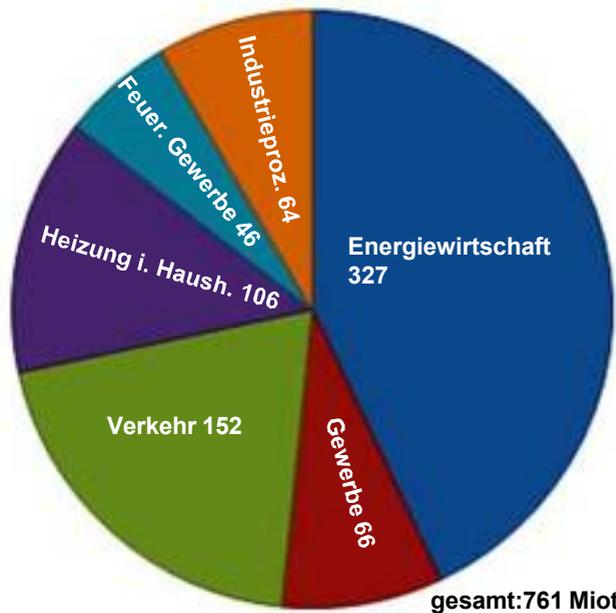
Wie sieht es in der Welt aus und wie beeinflusst die Menschheit über ihren Energiehunger das Klima?



Es ist nicht nur das durch Verbrennung zur Energienutzung freigesetzte CO₂, das zum Klimawandel beiträgt. Klimagase sind auch Methan (CH₄) und Distickstoffmonoxid (N₂O) (Lachgas). Das Klima beeinflussen Methan etwa 20 mal und Distickstoffmonoxid etwa 300 mal stärker als CO₂, jeweils bezogen auf die gleiche Masse. Methan entsteht in der Natur durch Fäulnis und in der Landwirtschaft, besonders in Reisfeldern und durch die Viehhaltung, und N₂O wird durch die Stickstoffdüngung verursacht. Blattgrün ist bekanntlich die wichtigste Senke für atmosphärisches CO₂ und so verschlechtert z. B. Brandrodung von Regenwald in Entwicklungsländern zur Gewinnung von landwirtschaftlichen Flächen die CO₂-Bilanz.

Verschiedene dieser Klimabeeinflusser sind natürlich in Deutschland weniger oder nicht vorhanden. Industrielle Verbrennungsprozesse, einschließlich der Stromerzeugung, aber auch der Verkehr und unsere Hausheizung tragen hier überwiegend zur CO₂-Erzeugung bei. Wie steht nun Deutschland im Vergleich zu anderen Staaten da und welche Rolle spielen wir in der Klimasünderdatei?

Verursacher von Treibhausgasen in Deutschland, 2009



Angaben im Bild sind CO₂-Emissionen in Mio. Tonnen.

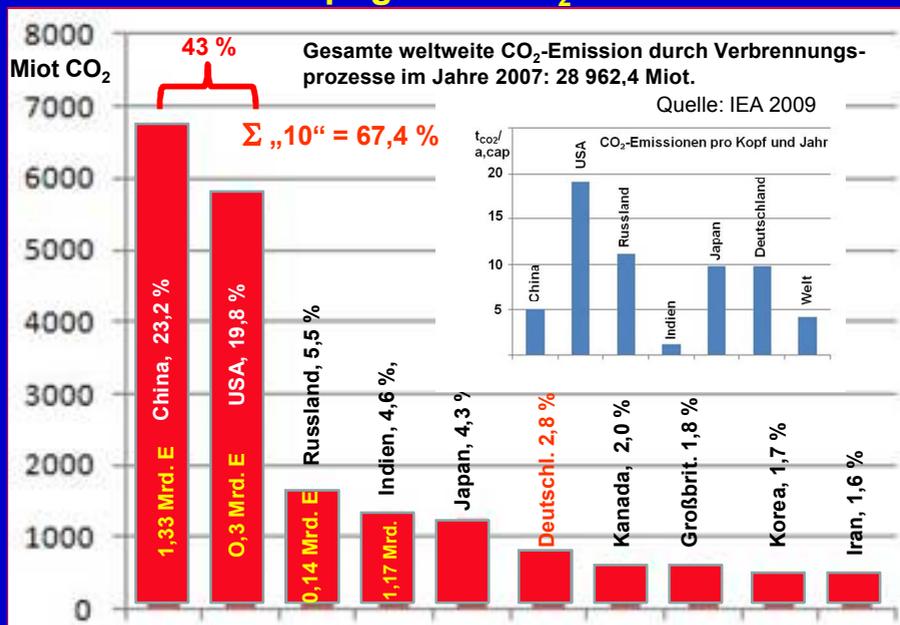
Hinzu kamen aus der Landwirtschaft Methan- und Distickstoffoxidemissionen. Deren CO₂-Äquivalente waren bei CH₄: 25 Mio.t bei N₂O: 31 Mio.t

Methan aus Viehhaltung Distickstoffoxid durch Düngung

2008 waren die CO₂-Emissionen um 8,3 % höher als 2009.

Quelle: BMU

Beiträge der 10 größten Emittenten von anthropogenem CO₂ in 2007

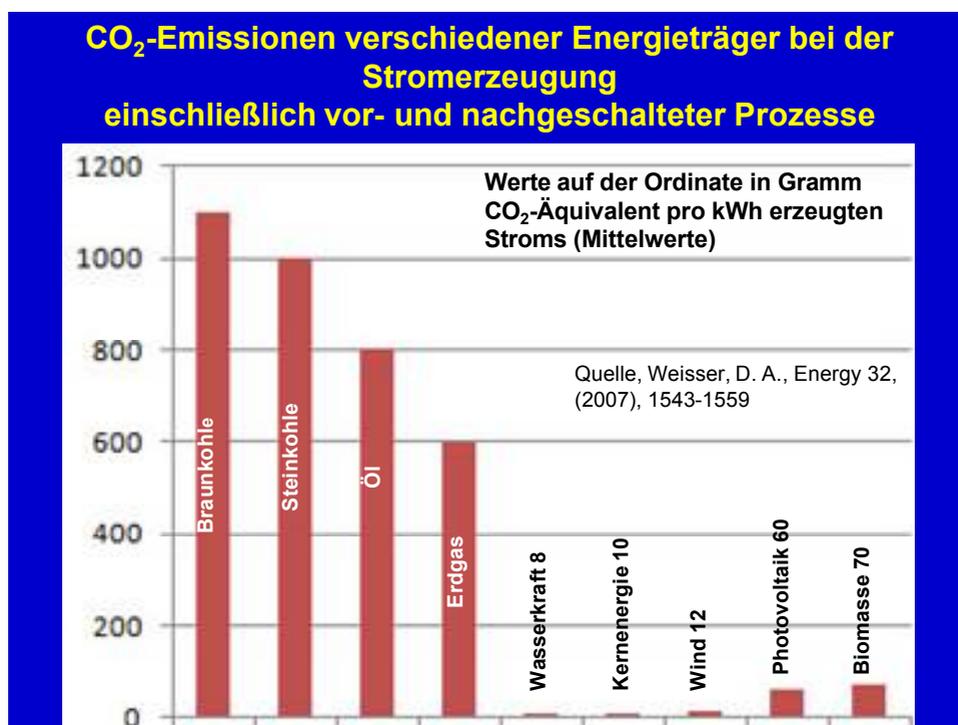


Zugegeben, wir gehören zu den 10 größten „Klimasündern“, aber welche Rolle können wir bei der Reduzierung der Treibhausgase wirklich spielen und wie würde sich die Situation verbessern, wenn wir ganz verschwänden? China und die USA trugen 2007 zusammen mit 43 % zur anthropogenen CO₂-Erzeugung bei. China hat 1,33 Mrd. Einwohner. Die Bevölkerung der USA beläuft sich auf rund 0,3 Mrd. Das gibt bei China eine CO₂-Erzeugung von ~ 5 Tonnen pro Jahr und Kopf und bei den USA eine solche von ~18 t/a, cap. Wir in Deutschland liegen bei ~ 10 t/a, cap. Ein aufstrebendes Land ist Indien, dessen Bevölkerung weniger als 2 t/a, cap CO₂ erzeugt. Es ist ein erschreckendes Szenario.

rio, wenn man sich vorstellt, dass die spezifischen CO₂-Emissionen in China und Indien in wenigen Jahrzehnten auf 10 t/a, cap ansteigen könnte, was eine Vervielfachung der heutigen CO₂-Emissionen zur Folge hätte, wenn die Basis für die Energiegewinnung weiterhin überwiegend auf fossilen Energieträgern beruht. Weitere aufstrebende und bevölkerungsreiche Länder sind Brasilien und Mexiko.

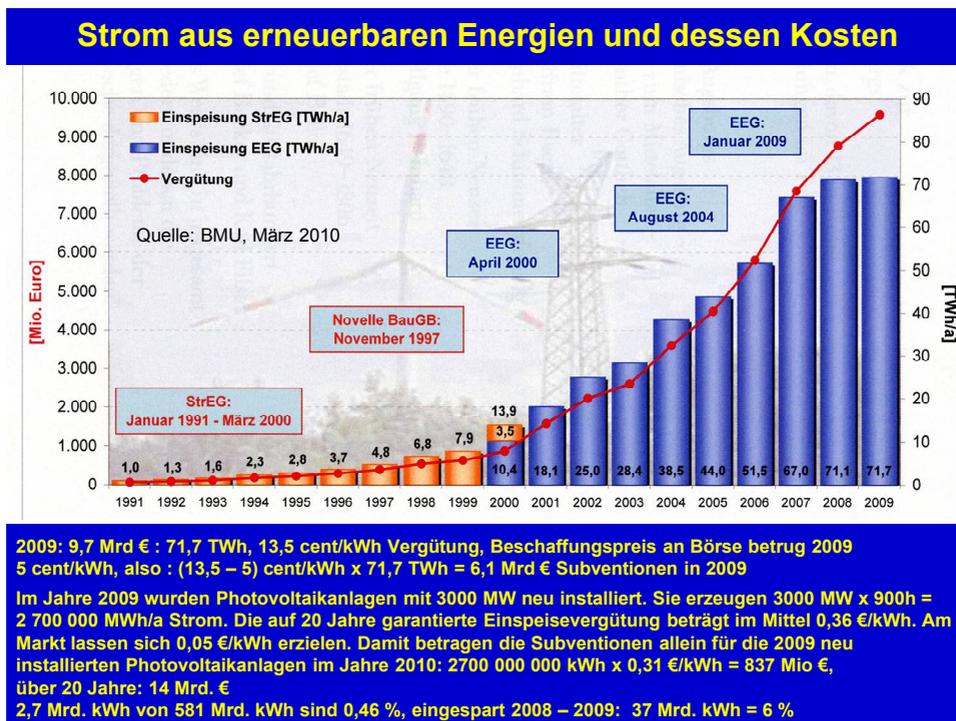
Welche Rolle wird zukünftig im internationalen Konzert Deutschland spielen und was nützt es, wenn wir ohne Rücksicht auf wirtschaftliche Aspekte ausschließlich auf Klimaschutz setzen? Lassen Sie uns deshalb das Spannungsfeld zwischen Ökologie und Ökonomie diskutieren

Lassen Sie uns zunächst fragen in welchem Maße tragen die verschiedenen Energieträger zur CO₂-Emission bei. Dabei dürfen wir nicht nur das beim Betrieb, also das bei der Verbrennung, unmittelbar entstehende CO₂ betrachten, sondern müssen auch das CO₂ berücksichtigen, das bei der Herstellung der Anlage und bei Ver- und Entsorgungsprozessen erzeugt wird.



Dabei wird der Energieaufwand bei der Herstellung auf die mittlere Lebensdauer und die gesamte Energieerzeugung umgerechnet. Ausgegangen wird weiterhin von dem derzeit verfügbaren Energiemix. Bei den fossilen Brennstoffen, der Kernenergie und der Biomasse wird auch der Energieaufwand zur Gewinnung des Brenn- bzw. Spaltstoffes berücksichtigt. Photovoltaik und die Nutzung von Biomasse erscheinen dann nicht mehr so CO₂-arm wie Wasserkraft und Kernenergie. Erdgas verursacht, bezogen auf die Kilowattstunde, immerhin noch halb so viel CO₂ wie Braunkohle, ist aber viel teurer und stellt unseren wertvollsten Rohstoff dar, als Basis nicht nur für Kunststoffe, sondern auch für Stickstoffdünger in der Landwirtschaft.

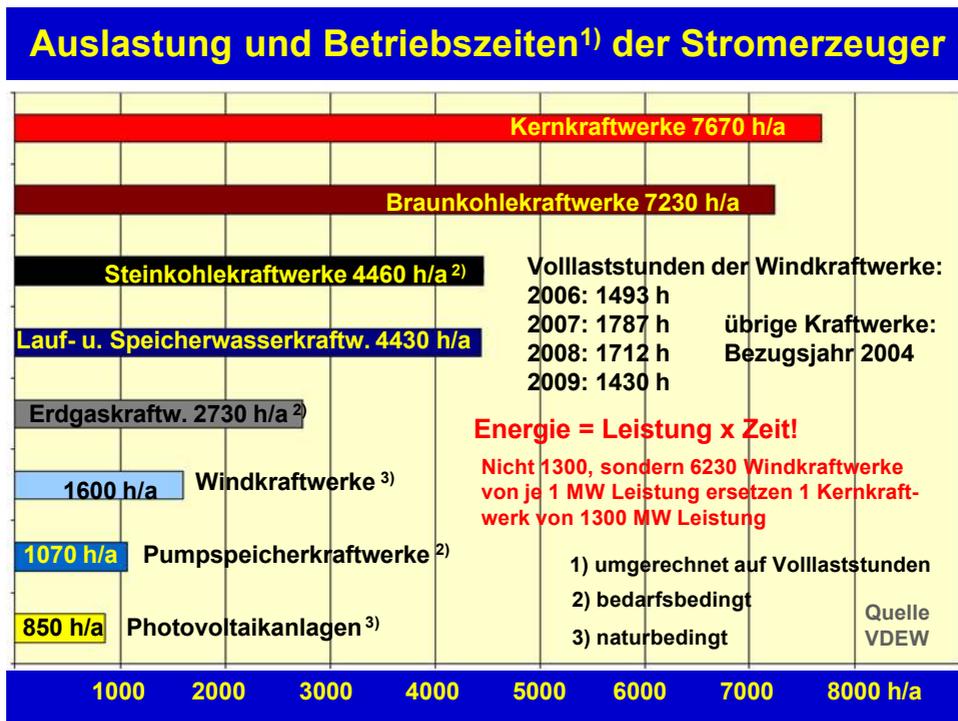
Welche Kosten verursacht die Nutzung CO₂-armer Energieträger? Einen guten Einblick gibt da die Aufstellung des Bundesumweltministeriums über die Vergütungen für erneuerbare Energien nach dem „Erneuerbare-Energie-Gesetz“ (EEG):



Betreiber von Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien haben danach Anspruch auf hohe Vergütung des von ihnen erzeugten Stroms, die kollektiv von allen Stromkunden zu bezahlen ist. Im Jahre 2009 beliefen sich diese Abgaben auf 9,7 Mrd. €, wobei die Photovoltaik einen großen Teil beanspruchte, obwohl sie nur 1 % zur Stromerzeugung beitrug. Zieht man von diesen 9,7 Mrd. den beim Verkauf des Stromes erzielbaren Erlös von derzeit ~ 0,05 €/kWh ab, so verbleiben 6,1 Mrd. € Subventionen allein für das Jahr 2009. Das sind im statistischen Mittel 74 € pro Kopf und Jahr. Allein die im Jahr 2009 neu installierten Photovoltaikanlagen mit ihrer gesamten Peak-Leistung von ~ 3000 MW verschlingen im Jahr 2010 Subventionen in Höhe von 837 Mio. €. Hochgerechnet auf die für 20 Jahre gesetzlich garantierten Zuwendungen ergibt sich eine Subventionssumme von ~ 14 Mrd. €. Dabei tragen diese Anlagen gerade mal 0,46 % zur Stromerzeugung in der Bundesrepublik bei, ein Betrag, der völlig innerhalb der Schwankungsgrenzen liegt. Weltweit bleibt der ökologische Nutzen dieser Photovoltaikanlagen völlig unbemerkt, da er sich im Promillebereich bewegt.

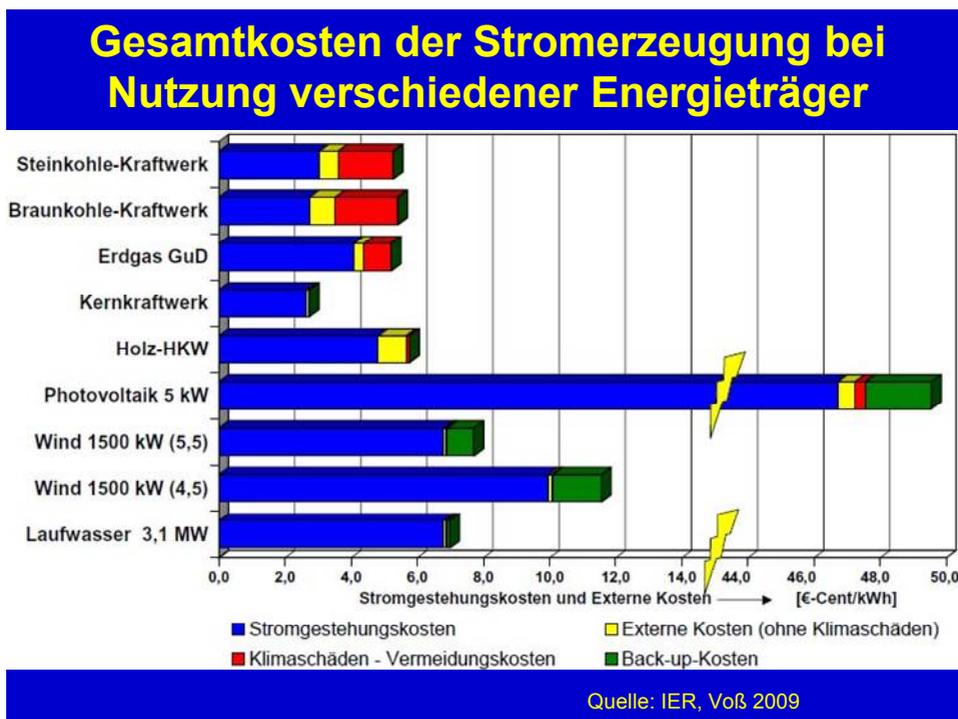
Sind diese Subventionen notwendig und gerechtfertigt und wenn ja, wodurch wird ihre Notwendigkeit verursacht? Dazu müssen wir die Betriebsweisen der verschiedenen Anlagen zur Stromerzeugung betrachten. Mit fossilen Brennstoffen betriebene Anlagen sowie Wasserkraftwerke und Kernkraftwerke werden bedarfsgerecht betrieben, d. h. sie liefern Strom in der Menge wie der Markt sie in jedem Augenblick fordert. Wind- und Solarkraftwerke haben naturbedingte Betriebszeiten und Leistungsabgaben, da ihr Betrieb vom Wetter – Wind und Sonne – abhängt. Zum Vergleich der Betriebszeiten wird in der Regel von sogenannten Vollaststunden ausgegangen. Sie errechnen sich einfach da-

durch, dass man die tatsächliche im Jahr erzeugte Energie durch die Leistung für die die Anlage ausgelegt ist dividiert.



Die im Bild angegebenen Betriebszeiten für Wind- und Solarkraftwerke beziehen sich auf Festlandstandorte und auf unsere Breiten. In ariden Zonen haben Solarkraftwerke längere Betriebszeiten, aber nachts sind sie natürlich auch dort nicht aktiv. Braunkohle- und Kernkraftwerke werden in der Regel für die Deckung der Grundlast eingesetzt. In Deutschland decken Kernkraftwerke etwas über 40 % der Grundlast, in Bayern 80 %.

Diese Betriebszeiten spiegeln sich wegen der Amortisation in den Stromkosten wieder:



Dabei darf man beim Vergleich der Stromkosten für eine kombiniert ökonomisch/ökologische Betrachtung nicht nur die reinen Gestehungskosten berücksichtigen, sondern muss auch ökologische und andere Folgekosten in Betracht ziehen. Solarstrom ist und bleibt, wie wir schon vorher gesehen haben, ein teures Vergnügen. Ist er wenigstens ökologisch so vorteilhaft, wie er häufig gepriesen wird? Am auffälligsten ist da zur Zeit ein Werbespot im Fernsehen, in dem Solarstrom „als „total einfach“ und wie der erfolgreiche Torschuss im Fußballspiel dargestellt wird.



Richtig ist darin die Aussage von der „Dachsparkasse“ für den der eine Photovoltaikanlage betreibt, solange die Subventionen so üppig sprudeln wie bisher und für den Gründer der Firma, Frank Asbeck, der Milliardär geworden ist. Wer eine Dachanlage im Jahre 2009 installierte bekommt 20 Jahre lang 43 €cent/kWh; früher gebaute Anlagen werden mit bis zu 53 €cent/kWh vergütet.

Wie steht es mit der Energieökonomie?

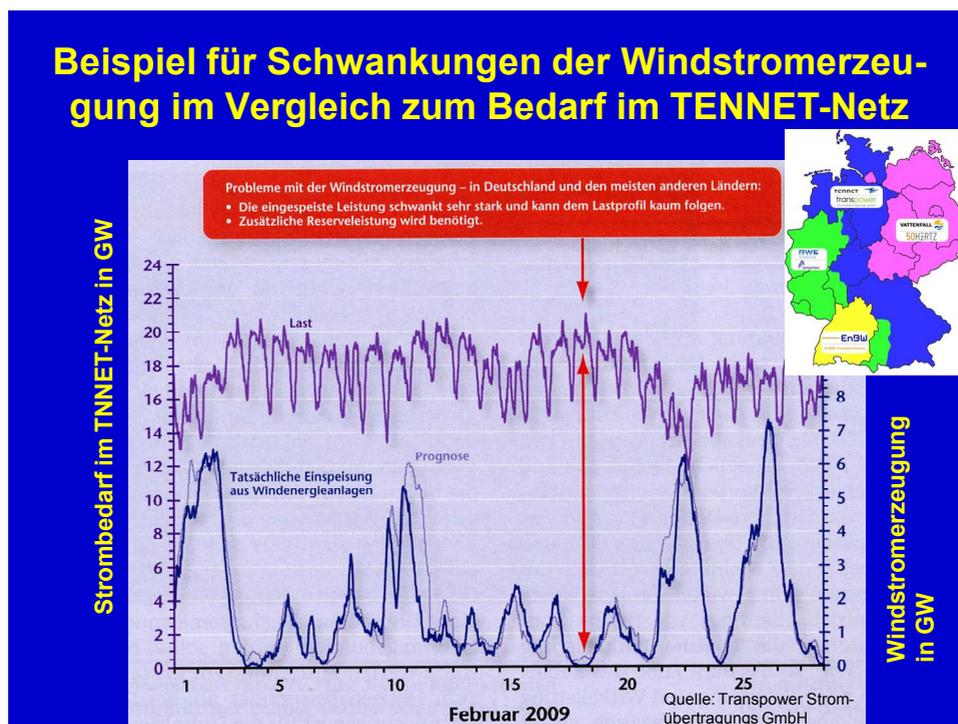
Energieaufwand für und Energieertrag von 1 m² Solarzellen

<u>Energieaufwand</u>	<u>Energieertrag</u>
<p>Prozessschritte bei der Produktion:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reduktion von Quarz zu „MGS“ • Lösung von MGS in heißer Salzsäure • Fraktionierte Destillation→ Chlorsilangas • Abscheiden auf Si-Dünnstäben zu multikristallinem Silizium • Blockgießen (SGS Silizium) • Sägen des Blockes zu Wafern (~0,2 mm Dicke) 50% Abfall • Waferreinigung durch Hochtemperaturprozesse <p>• ∑ Energieaufwand = 900 kWh</p>	<p>Leistung 140 W_{peak}</p> <p>Nutzungsdauer pro Jahr 1000 h_{peak}</p> <p>Energieertrag = 140 kWh/a</p> <p style="color: red;">Energieaufwand/Ertrag: 900 kWh Aufwand dividiert durch 140 kWh/a Ertrag gibt 6,5 Jahre Amortisationszeit für Energieaufwand</p> <p><small>MGS = metallurgical grade silicon SGS = solar grade silicon</small></p>

Solarzellen müssen ~ 6,5 Jahre Strom produzieren bis sie diejenige Energie erzeugt haben die zu ihrer Herstellung notwendig war. Abgesehen davon sind einige Prozessschritte bei ihrer Herstellung, wie das Lösen des Quarzes in heißer Salzsäure und die fraktionierte Destillation mit Chlorsilangas nicht ganz ungefährlich.

In einer ökologisch/ökonomisch geprägten Betrachtungsweise hat aber Strom noch eine andere Facette, nämlich die der Verfügbarkeit und Versorgungssicherheit und dies mittel- wie langfristig.

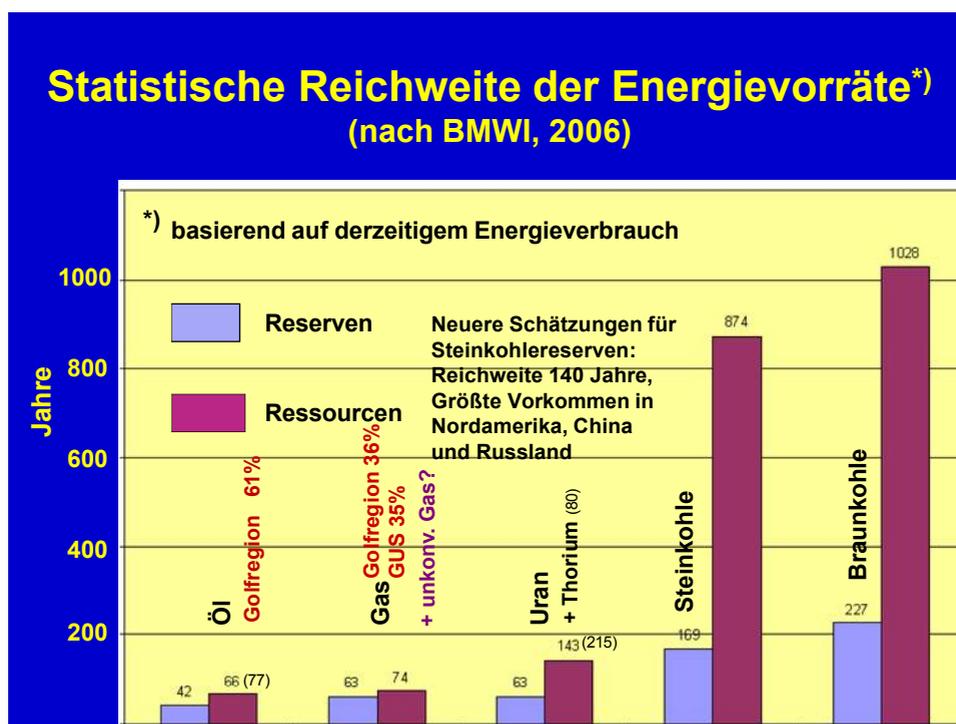
Der Betrieb von Wind- und Solarkraftwerken hängt, wie erläutert, vom Wetter ab, das sich nicht nach dem momentanen Strombedarf richtet. Nach dem Erneuerbaren-Energie-Gesetz muss aller Strom aus erneuerbarer Energien, in dem Moment in dem er entsteht vom Netzaufgenommen werden. Erneuerbare Energien haben also immer den Vorrang. Das Energieangebot des Windes schwankt aber beträchtlich, im Extremfall von Null auf Vollast. Die Schwankungen müssen nicht nur von fossilen sondern auch von Kernkraftwerken aufgefangen werden. Im letztgenannten Fall muss preiswerter, CO₂-armer Strom durch teuren Windstrom ersetzt werden, der in der CO₂-Bilanz sogar geringfügig schlechter ist.



Solange der Windanteil nicht zu hoch ist, sind diese Schwankungen verkraftbar, auch wenn die Windleistung zwischen 0 und 7 GW schwankt und Strombedarf im Netz zwischen 14 und 20 GW pendelt. Die Windstromschwankungen sind einigermaßen gut vorhersagbar, sodass rechtzeitig Vorsorge getroffen werden kann. Wir dürfen nicht vergessen, dass unsere modernen, elektronischen Geräte enorm empfindlich gegen Frequenzschwankungen sind. Zu hohe Einspeisung beinhaltet die Gefahr nicht nur der Überspannung, sondern auch die einer Überfrequenz und zu niedere Leistung hat den umgekehrten Effekt.

sacht durch starke Schwankungen im Windaufkommen und in der Sonnenstrahlung könnte dann das Netz nicht mehr stabilisieren. Bei Teillastbetrieb haben fossile Kraftwerke schlechten Wirkungsgrad, was die CO₂-Bilanz verschlechtert. Abhilfe können hier nur große Energiespeicher schaffen. Da Batterien im MWh- oder gar im GWh-Bereich noch lange nicht in Sicht sind, kommt nur die Speicherung mechanischer Energie infrage, wie z. B. in Pumpspeicher Kraftwerken oder in Druckluftspeichern. Pumpspeicherkraftwerke gibt es bereits vereinzelt in Deutschland, wie z. B. bei Hersbruck in der Nähe von Nürnberg. Bei überschüssigem Stromangebot pumpen sie Wasser in einen höher gelegenen See, das bei Strombedarf wieder in einen See im Tal zurückläuft und über Turbinen Strom erzeugt. Gegen den Neubau solcher Pumpspeicherkraftwerke dürfte sich aber bei Umweltschützern erheblicher Widerstand erheben. Druckluftspeicher komprimieren bei Stromüberschuss Luft und drücken sie in unterirdische Kavernen. Diese komprimierte Luft wird bei Bedarf entspannt und erzeugt über Turbinen Strom, allerdings mit nicht unerheblichen Verlusten.

Ein weitere, mehr langfristig zu beachtende Gefahr für die Versorgungssicherheit kann aus der Verknappung der fossilen und nuklearen Reserven und Ressourcen herrühren. Dabei darf man nicht nur die weltweiten Vorkommen als Ganzes betrachten, sondern auch deren lokale Verteilung. Verknappung eines Gutes führt bekanntlich zu Verteilungskämpfen.

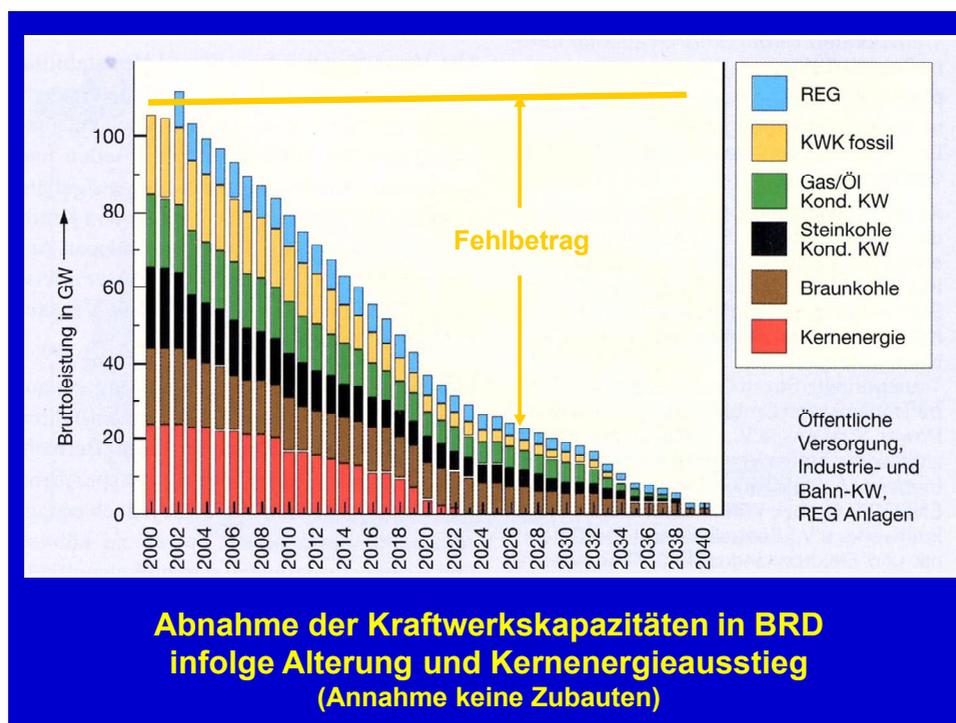


Man unterscheidet zwischen Reserven und Ressourcen. Reserven sind Vorräte, die heute bereits erschlossen sind und mit heutigen Mitteln wirtschaftlich abgebaut werden können. Unter Ressourcen versteht man Vorräte, die heute schon bekannt, noch nicht erschlossen sind, deren Abbau aufwändig ist und sich bei den heutigen Preisen noch nicht lohnt. Für Rohöl seien als Beispiel von Ressourcen

die riesigen Vorkommen in Ölsand – z. B. in Kanada – oder in Ölschiefer in verschiedenen Ländern genannt.

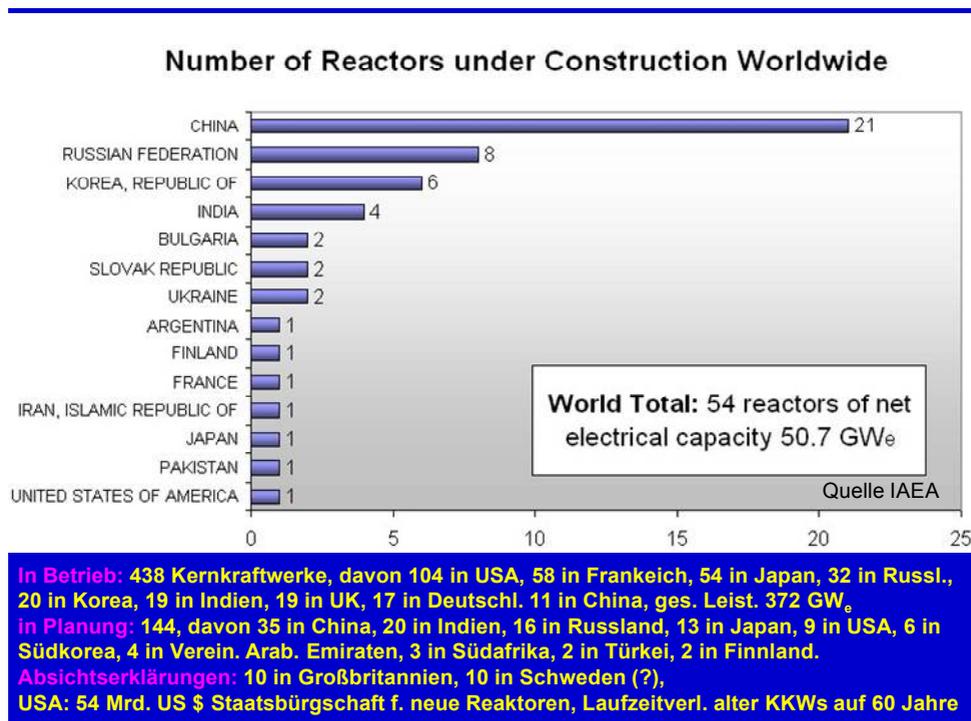
Angaben über Reserven und besonders über Ressourcen sind mit großer Vorsicht zu betrachten, da meist nur solange und so viel exploriert wird wie der Markt bei stabilen Preisen für erforderlich hält. Die Schätzungen für die Reichweite der Ölreserven liegen seit einem halben Jahrhundert bei ~40 Jahren, obwohl der Verbrauch explodiert ist. Aussicht auf zu große Vorkommen würde den Ölpreis drücken. Trotzdem, die fossilen und nuklearen Vorkommen sind und bleiben endlich. Bei der Kernenergie würde der Schnelle Brüter eine Streckung auf mehrere tausend Jahre bewirken. Die Japaner greifen diese, ursprünglich deutsche und französische Entwicklung in ihrem Monju-Reaktor seit Neuestem wieder auf.

Eine erhebliche Gefahr für die zukünftige zuverlässige Stromversorgung ist auch in dem Widerstand großer Teile der Bevölkerung gegen den Bau neuer Kraftwerke zu sehen. Abgesehen von dem Beschluss den Betrieb der deutschen Kernkraftwerke auslaufen zu lassen, entsteht auch eine riesige Versorgungslücke durch die Alterung der Kohlekraftwerke, die durch neue ersetzt werden müssen. Der Bau eines Kohlekraftwerkes dauert heute, insbesondere auch wegen der zu erwartenden Einsprüche, von der ersten Planung bis zur Inbetriebnahme bis zu 10 Jahre.



Das Thema Kernenergie ist Gegenstand des nächsten Vortrags in dieser Reihe, den Herr Birkhofer in einer Woche halten wird. Ich habe deshalb dieses Thema hier weitgehend ausgespart. Lassen Sie mich aber einen ganz kurzen Blick auf die weltweiten Planungen zu dieser Energieform werfen. Kernenergie scheint in Deutschland tabu zu sein, die Welt, insbesondere Asien, denkt anders. Auch

in Europa sind konkrete Pläne für neue Kernkraftwerke vorhanden, ja es sind einige Kernkraftwerke auch hier im Bau. In der Presse wird darüber kaum und wenn, meist abwertend berichtet.



Man glaubt in Deutschland zukünftig ohne Kohle und ohne Kernenergie auszukommen, bleibt aber den Beweis schuldig, wie man den Ausbau von Wind- und Solarenergie von heute zusammen 8 % auf 50, ja 70 % bewerkstelligen und finanzieren will. Es wird von Zielen für 2050 und 2060 gesprochen und bleibt die Auskunft schuldig wie man die nächsten 50 Jahre bis dahin überbrücken will.

Wie sieht die Zukunft aus? Gibt es Visionen und was wird vermutlich Illusion bleiben?

Zeitlich näher liegende Entwicklungen

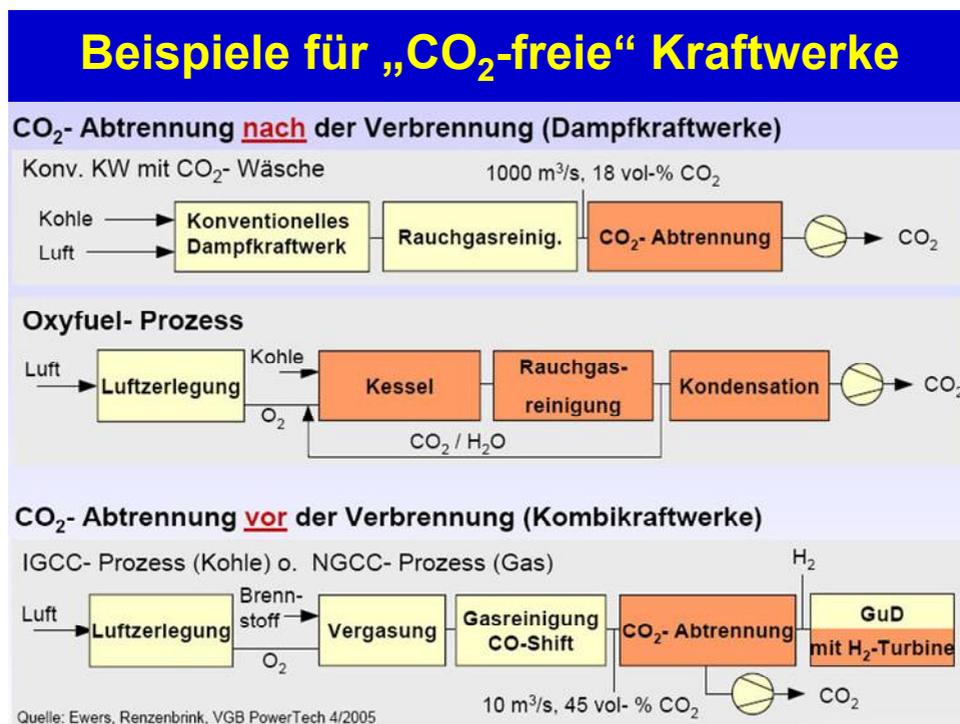
- CO₂-freie Kohlekraftwerke,**
- Windparks in Nord und Ostsee (off shore),**
- Treibstoffe für Motoren aus Biomasse (alte Entw.),**
- Benzin und Dieselöl aus Kohle („wieder entdeckt“),**
- Wasserstoff als Energieträger und Energiespeicher**

Zukunftsvisionen oder Illusionen?

- Riesige Solarparks,**
- Kernfusion.**

Zum Teil werden alte, vorübergehend vergessene Entwicklungen, wie z. B. die Gewinnung von Fahrzeugtreibstoffen aus Kohle als neu verkauft. Da Deutschland während des zweiten Weltkriegs weitgehend von Rohölvorkommen abgeschnitten war, wurde bereits damals Treibstoff – Benzin nach dem Bergiusverfahren und Dieselöl nach Fischer-Tropsch – aus Kohle gewonnen.

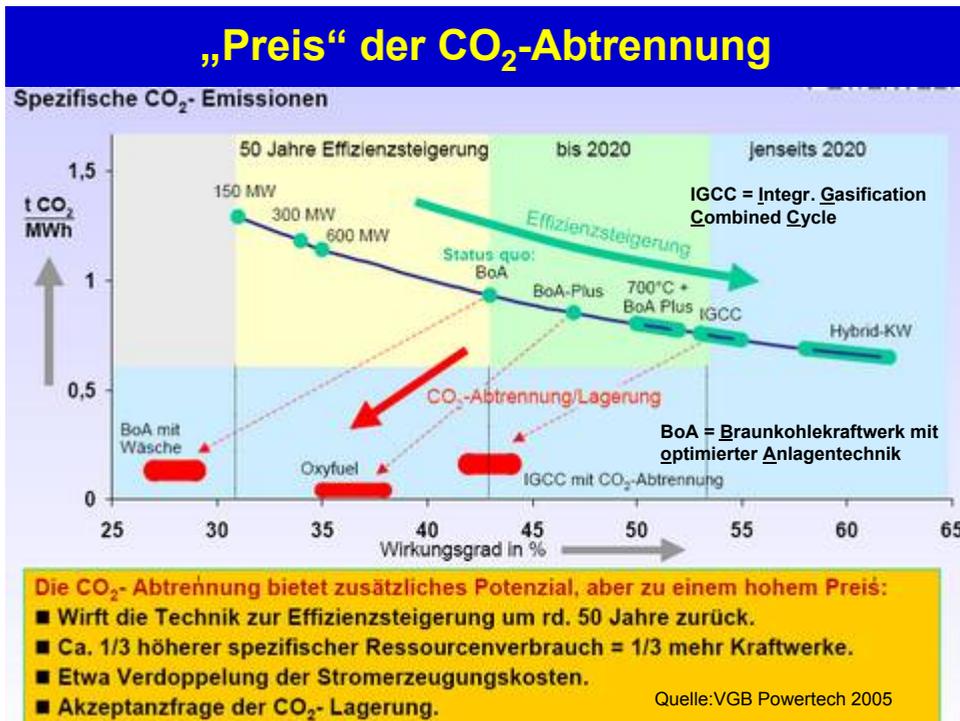
Weltweit wird intensiv an der Entwicklung sogenannter CO₂-freier Kohlekraftwerke gearbeitet. Dafür sind im Wesentlichen drei Verfahren in Entwicklung, die Rauchgaswäsche, der Oxyfuel Prozess und ein aufwändiges Verfahren, das über die Vergasung der Kohle arbeitet. Die beiden letztgenannten Verfahren arbeiten statt mit Luft mit reinem Sauerstoff, der zuvor durch Luftzerlegung gewonnen werden muss.



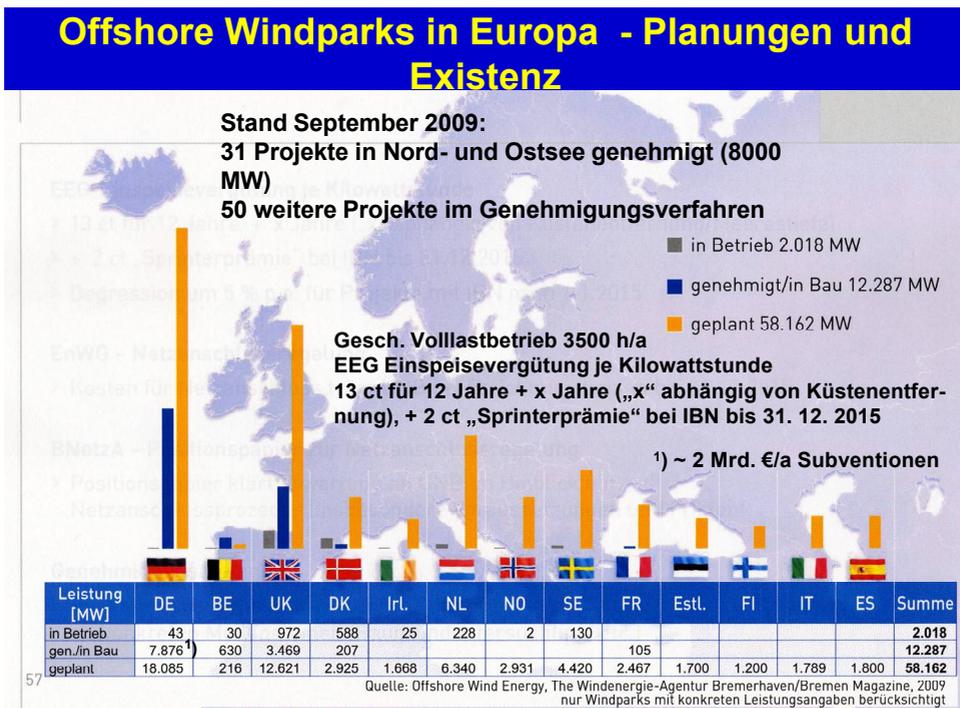
Das Rauchgas eines Kohlekrafwerks enthält ~ 15 % CO₂, der überwiegende Teil besteht aus Stickstoff und Wasserdampf. Im erstgenannten Prozess wird das CO₂ mit amin- oder carbonathaltigen Substanzen ausgewaschen und das CO₂ dann aus den Lösungen durch Wärmezufuhr ausgetrieben. Bei den beiden anderen Prozessen ist die CO₂-Gewinnung einfacher, die gesamte Prozessführung dafür erheblich aufwendiger. Da mit reinem Sauerstoff verbrannt wird, befindet sich kein Stickstoff im Rauchgas. Dieses besteht nur aus CO₂ und Wasserdampf. Letzterer kann durch Kühlung abgeschieden werden, sodass reines CO₂ übrig bleibt. In allen drei Fällen muss CO₂ in großen Mengen und dauerhaft sicher gespeichert werden, was einen nicht unerheblichen Aufwand darstellt.

Die Prozessführung verursacht in allen drei Fällen jedoch erhebliche Verluste im Wirkungsgrad dieser Kraftwerke. Dies bedeutet, dass für die gleiche Menge an erzeugter elektrischer Energie wesentlich

mehr Kohle verfeuert werden muss. Damit werden die Bemühungen von 20 bis 30 Jahren zur Wirkungsgrad Verbesserung zunichte gemacht. Selbstverständlich sind diese Maßnahmen nicht zum Nulltarif zu haben. Es wird mit einer Verteuerung der Erzeugerpreise um 100 % gerechnet.

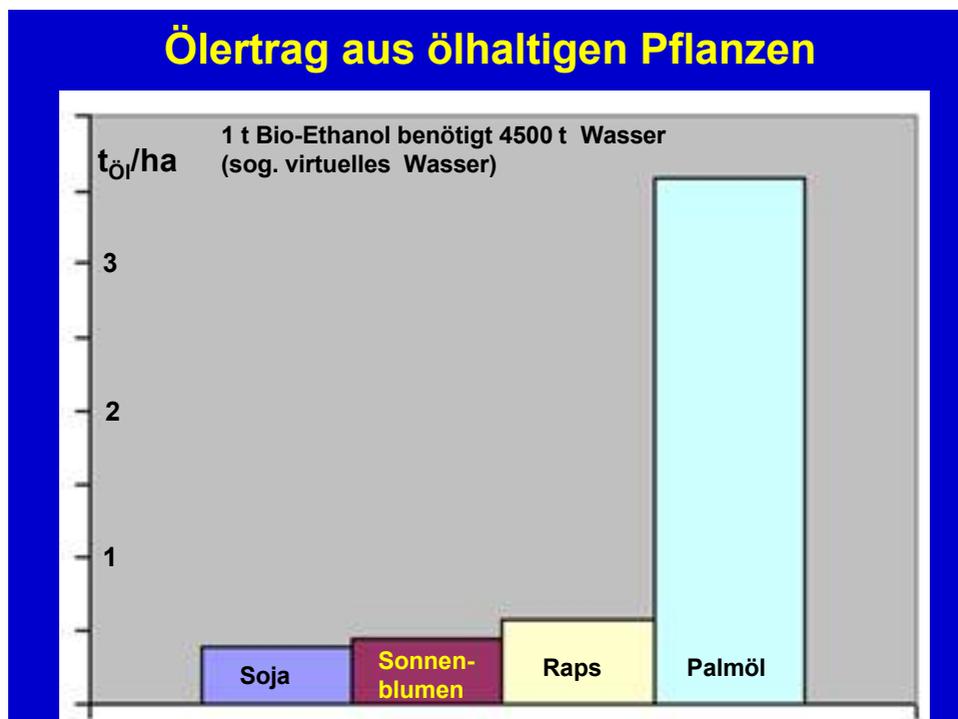


Wird uns die Windenergie retten? Windenergie ist ohne Zweifel viel näher an der Wirtschaftlichkeit als Solarenergie. An Land sind die Standorte für Windkraftanlagen aber weitgehend ausgereizt. Man denkt hier deshalb an den Ersatz alter Anlagen durch neue mit wesentlich höherer Leistung, also z. B. 250 kW durch solche mit 2,5 MW. Man nennt dies Repowering. Große Möglichkeiten für neue Windkraftanlagen werden auf dem Meer für sogenannte offshore Kraftwerke gesehen.

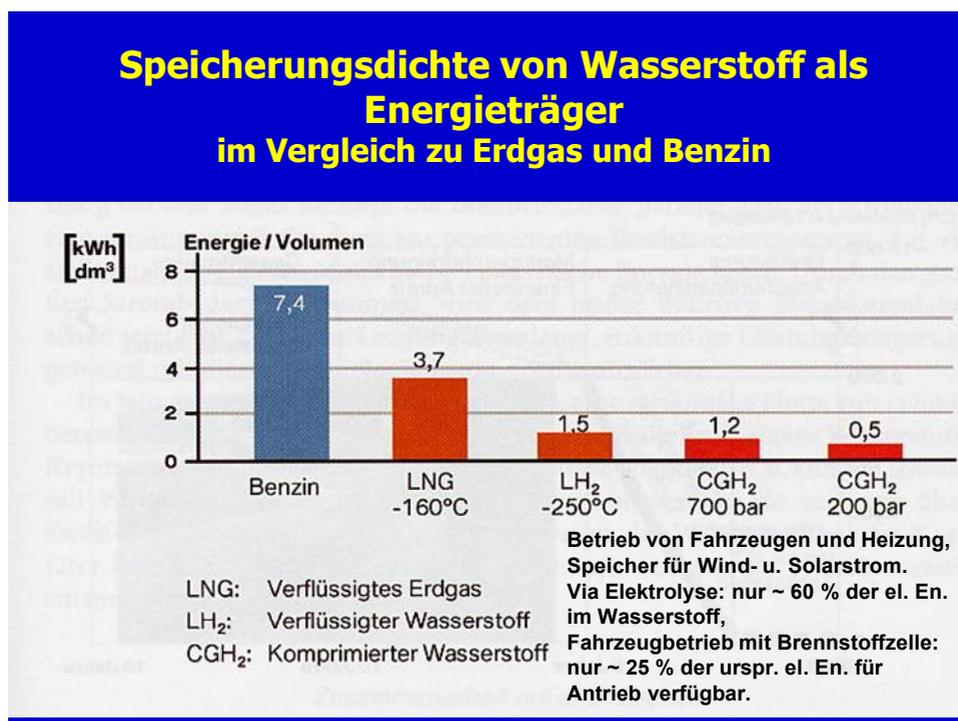


Hierfür wurden vor Jahren Erzeugerpreise versprochen, die unter denen der Windkraftwerke an Land liegen sollten, was auf den ersten Blick plausibel erschien, da wegen der besseren und auch stetigeren Windverhältnisse auf See längere Betriebszeiten zu erwarten waren, also 3500 statt 1600 h/a. Nach gründlicher Prüfung der Investitionsanforderungen und –risiken kamen die zukünftigen Betreiber der offshore-Anlagen aber zu dem Schluss, dass sie für ihre offshore-Anlagen höhere Vergütungen als die 9 €cent/kWh an Land bekommen müssen. Die Bundesregierung hat ihnen für Anlagen, die vor dem 31. 12. 2015 in Betrieb gehen für 12 Jahre 15 €cent/kWh zugesichert. Dies bedeutet für die bereits genehmigten und im Bau befindlichen Anlagen ~ 2 Mrd. €/a nach Inbetriebnahme. Die Bundesrepublik zeigt europaweit das größte Engagement bei der Planung von offshore-Anlagen. Erstaunlich ist, dass sich Dänemark, das die meiste Erfahrung im Betrieb von offshore-Anlagen besitzt, sehr zurückhält.

Hoffen wir also auf Biomasse als preiswerter Energieträger der Zukunft. Holz und Holzpellets sind preiswerte Brennstoffe für die Heizung, werden aber in die Stromversorgung schon wegen der Transportwege und der nur örtlichen Verfügbarkeit wenig Eingang finden. Für den Ersatz von Fahrzeugtreibstoffen wird Pflanzenöl propagiert. Infrage als Trägerpflanzen kommen Soja, Sonnenblumen, Raps und Ölpalmen. Letztere gedeihen bekanntlich nur in tropischen Zonen. Ölpalmen bieten mit Abstand die größte Ausbeute pro Hektar Anbaufläche. Wenn für Ölpalmen aber Tropenwald abgeholzt werden sollte, wäre das im Hinblick auf den Klimaschutz kontraproduktiv. Palmöl wird heute von den Erdölfirmen und Raffinerien den anderen Bio-Ölen vorgezogen.



Seit vielen Jahren wird von Wasserstoff als Treibstoff für Fahrzeuge gesprochen. Er wäre auch ein möglicher Zwischenspeicher für Strom, wobei der Wasserstoff mittels Elektrolyse gewonnen würde und durch Verbrennung wieder Strom erzeugt. Nur ~ 60 % der im Strom vorhandenen Energie findet sich aber im Wasserstoff wieder und bei einem Wirkungsgrad des Gaskraftwerks von 50 % finden sich dann schließlich nur 30 % der ursprünglichen Energie als neuer Strom wieder, also ein wenig wirtschaftliches Speicherverfahren. Als Schwierigkeit kommt hinzu, dass der Wasserstoff eine geringe Energie-Speicherdichte hat. Sie liegt bei einem 5tel bis einem 15tel dessen von Benzin. Flüssiger Wasserstoff ist auch bei guter Isolierung sehr flüchtig. Diese Speichermöglichkeit würde also sehr teuer werden



Wenden wir uns den ganz großen Visionen (Illusionen???) zu, als da sind riesige Solarfelder und die Kernfusion. In Deutschland wurde vor einiger Zeit heftig für das „Desertec-Projekt“ am Rand der afrikanischen Wüste geworben, ein Park und Verbund von Solarrinnen in deren Rohren ein Wärmeträgeröl erhitzt wird, das dann in Wärmeübertragern Dampf erzeugt, der wiederum Turbinen treibt, die über Generatoren schließlich Strom liefern. Dieser Strom soll mittels Unterwasser-Gleichstromleitungen nach Europa transportiert werden. Diese Idee ist keineswegs neu. Ein Jahr bevor ein deutsches Versicherungsunternehmen die „Desertec-Vision“ verkündete, veröffentlichten drei Amerikaner ihren „Plan Grand Solar“ unter anderem auch in der Zeitschrift „Spectrum der Wissenschaft“. Sie propagierten einen Riesensolarpark im Südwesten der USA, der bis 2050 70 % des Strombedarfs der USA decken sollte. Zeitliche Ziele und Kostenschätzungen weisen erstaunliche Parallelitäten auf, nämlich 2050 und 400 Mrd.€ bzw. 420 Mrd. US\$. Plan Grand Solar war in einer zivilisierten, politisch harmonischen und sicheren Zone vorgesehen, Desertec in einem politisch instabilen Gebiet mit unterschiedlichen Bevölkerungsstämmen. Die Stromverteilung würde bei Grand

Plan Solar ausschließlich über Land erfolgen, während der Strom aus Afrika in Unterseekabeln das Mittelmeer durchqueren müsste.

Um Plan Grand Solar ist es still geworden. Desertec muss vermutlich noch viele politische Hürden in den nordafrikanischen Ländern überwinden, auch wenn die Franzosen mit ihrem „Transgreen-Projekt“ Unterstützung signalisierten.

Visionen oder Illusionen?

<p>Kernfusion</p> <p>↓</p> <p>ITER in Cadarache Baubeginn 2008 Betrieb ab 2018 Kosten 10 Mrd. €</p> <p>Demo-Kraftwerk Baubeginn 2040 (?) in Japan, Kosten (?)</p>	<p>Plan Grand Solar</p> <p>↓</p> <p>Riesensolarpark im Südwesten der USA PV-Anlagen und Solarrinnen, 430 000 km² Flächenbedarf (Fläche BRD 357 000 km², soll bis 2050 70 % des Strombedarfs der USA decken, Investitionsbedarf 420 Mrd US \$ (K. Zweibel, J. Mason, V. Fthenakis, Spectrum der Wissenschaft März 2008) www.wissenslogs.de/solargrandplan</p>	<p>Desertec</p> <p>↓</p> <p>Solarpark am Rande der nordafrikanischen Wüste, Investitionsbedarf 400 Mrd. € Zeitziel: 2050 Münchner Rückvers. und versch. Firmen + Transgreen?</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Desertec

Bis 2050 sollen 15 % des europäischen Strombedarfs aus Solarenergie gewonnen werden. (Parabolrinnen mit Rohren in der Brennlinie die von Thermalöl durchströmt werden, das Wärme an Wasser abgibt und dieses verdampft, der Dampf wird in Turbinen entspannt und leistet Arbeit, die in Strom umgewandelt wird)
Geschätzte Investitionen 400 Mrd. Euro, 3000 km Gleichstromkabel nach Europa.





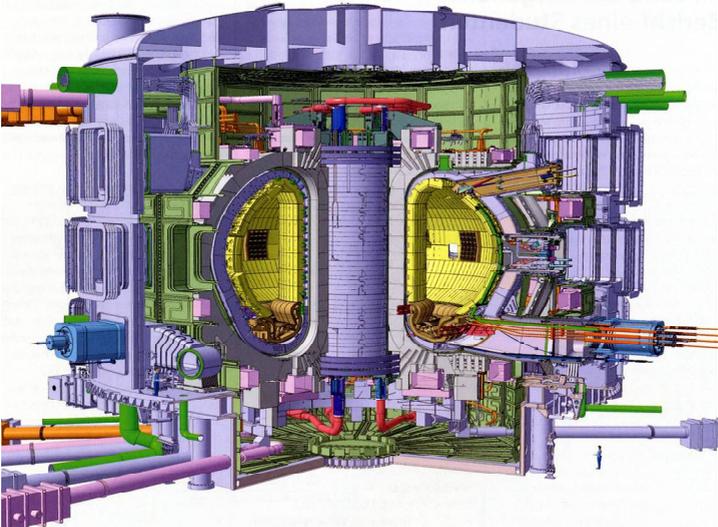
Vorbild: Solare Parabolrinnen-Anlage in der Mojave Wüste, Kalifornien 354 MW elektrische Leistung

Bleibt als langfristige Hoffnung die Kernfusion? Deutschland war mit dem Max-Planck-Institut für Plasma Physik in Garching und mit den Forschungszentren Karlsruhe und Jülich führend in der Fusionsforschung. Inzwischen ist die weitere Entwicklung des Fusionsreaktors Deutschland weitgehend aus der Hand genommen.

Seit vielen Jahren ist international der Bau eines ersten Fusionsreaktors, des sogenannten Internationalen Thermonuklearen Experimentellen Reaktors (ITER) in der Diskussion. 1995 hat sich noch Frau Merkel, damals Umweltministerin, um dessen Standort in Deutschland (in Greifswald) bemüht. Im Juni 2005 beschloss eine internationale Staatengemeinschaft (Japan, USA, Russland, EU, Indien, China und Südkorea), den ITER in Cadarache, Südfrankreich zu bauen und stellte dafür 10 Mrd. € in Aussicht. Davon sollen 5 Mrd. € in den Bau investiert werden und 5 Mrd. € dem zukünftigen Betrieb dienen. Der Vertrag wurde schließlich am 21. November 2006 von den ITER-Partnern in Paris unterzeichnet. Der Betrag von 10 Mrd. € mag hoch erscheinen, er relativiert sich aber, wenn man sich vor Augen hält, dass Deutschland bis vor wenigen Jahren jährlich 3,5 Mrd. € Subventionen für Kohleförderung aufbrachte und heute jährlich mit rund 10 Mrd. € erneuerbare Energien fördert..

Internationaler Thermonuklearer Experimenteller Reaktor (ITER)

ITER = der Weg



Fusionsleistung
500 MW
Eigenbedarf 73 MW

Höhe 30 m
Durchmesser 21 m
Plasmaradius 6,2 m
Plasmavolumen
837 m³
Plasmamasse 0,5 g
Plasmastrom 15 MA
Magnetfeld 5,3 Tesla
Plasmatemperatur
100 Mio Grad
Brenndauer pro Puls 400 s

Baubeschluß Nov. 2006
Kosten 10 Mrd. €
davon 5 Mrd. € für Bau und 5 Mrd. € für 20 Jahre Betrieb

Ort: Cadarache, Südfrankreich

Bei der Fusion im ITER wird das Wasserstoffisotop Deuterium – schweres Wasser – das im Meer vorhanden ist, und das Isotop Tritium, das während des Fusionsprozesses aus Lithium erbrütet wird bei ~ 100 Mio. Grad zu Helium (⁴He) verschmolzen (fusioniert).



Die Fusionsenergie von 1 Gramm ^2H entspricht dabei der Verbrennungsenergie von 8 Mio. Gramm Öl oder 11 Mio. Gramm Kohle.

Die Rohstoffe Deuterium und Lithium sind praktisch unerschöpflich vorhanden, bei der nuklearen Reaktion entstehen keine sehr langlebigen radioaktiven Produkte und der Fusionsvorgang kann jederzeit kontrolliert abgebrochen werden, ohne wie bei der Kernspaltung Nachwärme zu erzeugen. Nach zuletzt bekannten Planungen soll der ITER 2016 in Cadarache in Betrieb gehen. Geplant ist eine Laufzeit von 20 Jahren. Auf Grund der dann gesammelten Erfahrungen wird über den Bau eines Leistungs-Fusionsreaktors entschieden, wofür sich Japan schon die Option gesichert hat. Der Reaktor soll 2060 in Japan ans Netz gehen.

Fünzig Prozent der im ITER zu installierenden Entwicklungen wurden in Deutschland geschaffen. Zukünftige deutsche Wirtschaftsunternehmen werden wenig Nutzen daraus ziehen können. Sie werden daraus kaum Vorteile für Zulieferungen haben.

Auch wenn wir im Hinblick auf die Entwicklung der Fusionsenergie optimistisch sind, müssen wir uns doch fragen woher bis 2060 ja bis 2100 der Strom für unsere Nachfahren kommen soll?

Fazit: Wir müssen uns daran gewöhnen „bescheidener“ zu leben, wir müssen lernen die verschiedenen Risiken sorgfältig gegeneinander abzuschätzen und nach sorgfältigem Abwägen ein gewisses Maß an Risiken zu akzeptieren. Ein Leben ohne Risiken ist nicht möglich.

München, 1. Juni 2010