

Energieversorgung im 21. Jahrhundert – Navigieren zwischen Scylla und Charybdis?

F. Mayinger

Homer beschreibt in der Odyssee Scylla und Charybdis als zwei Ungeheuer die an gegenüberliegenden Ufern einer Meerenge hausten. Scylla hatte zwölf Beine und sechs Köpfe mit schrecklichen Gebissen und verbarg sich in einer Felsenhöhle. Auf der gegenüberliegenden Seite der Meerenge lebte das Ungetüm Charybdis. Dieses sog dreimal am Tag das Meerwasser ein und stieß es brüllend wieder aus. Beide Ungeheuer lauerten vorbeikommenden Seefahrern auf, um sie zu verschlingen. Später wurde in der Geschichtsschreibung diese Meerenge der Straße von Messina zugeordnet. Odysseus wollte Charybdis entgehen, kam dabei aber Scylla zu nahe, die 6 seiner Gefährten ergriff und verschlang.

Ich bitte um Nachsicht, wenn ich versucht war Planungen für die Zukunft unserer Energieversorgung mit einer Passage durch die Meerenge von Messina in der Antike zu vergleichen, an der aber nicht Skylla und Charybdis lauern, sondern gleich mehrere Klippen drohen, wie die Sorge im Hinblick auf den Klimawandel, die Verfügbarkeit der Energieressourcen – global und lokal –, die Kosten für die Energie und deren Folgen auf unsere Wirtschaft sowie auf unseren Wohlstand und last not least Risiken hinsichtlich Gesundheit und zukünftiger Le-



bensqualität. In Politik und Medien wird Energieversorgung meist nur aus dem Blickwinkel des drohenden Klimawandels gesehen. Ich will versuchen das Spannungsfeld zwischen ökologischen und ökonomischen Bedürfnissen zu beleuchten und zum Schluss Möglichkeiten zukünftiger Energiestrategien diskutieren. Dabei will ich auch sporadisch die Wege, die andere Staaten gehen, darstellen.

Bitte haben Sie Verständnis, wenn ich Ihnen eingangs einige Energiemaße in Erinnerung rufe und insbesondere den Zusammenhang zwischen Energie und Leistung nochmal darlege.

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), (jeweils Schritte zu 10^3)

Maße für elektrische Energie:

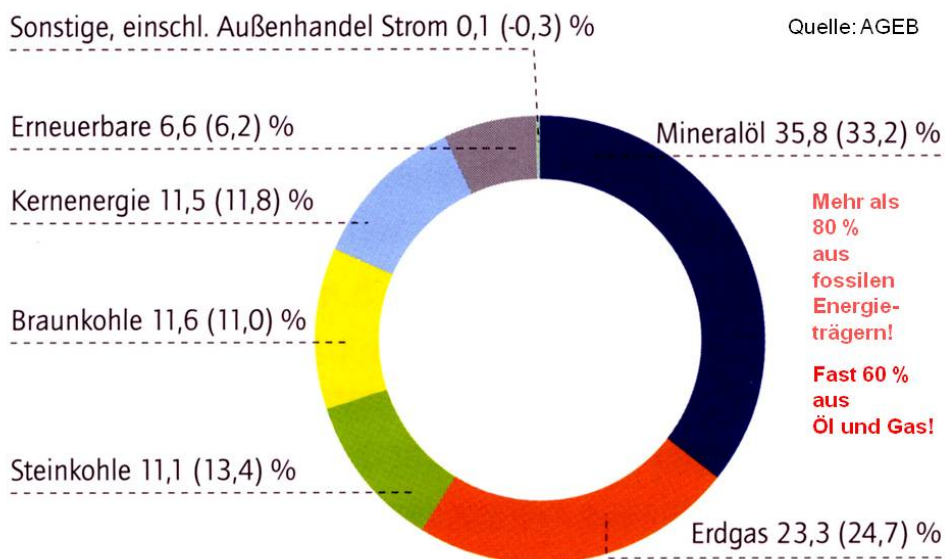
Kilowattstunden (kWh), Megawattstunden (MWh) usw.

In der Physik übliche Maße für die Energie:

1J = 1 Ws, 1kWh = 3600 kJ

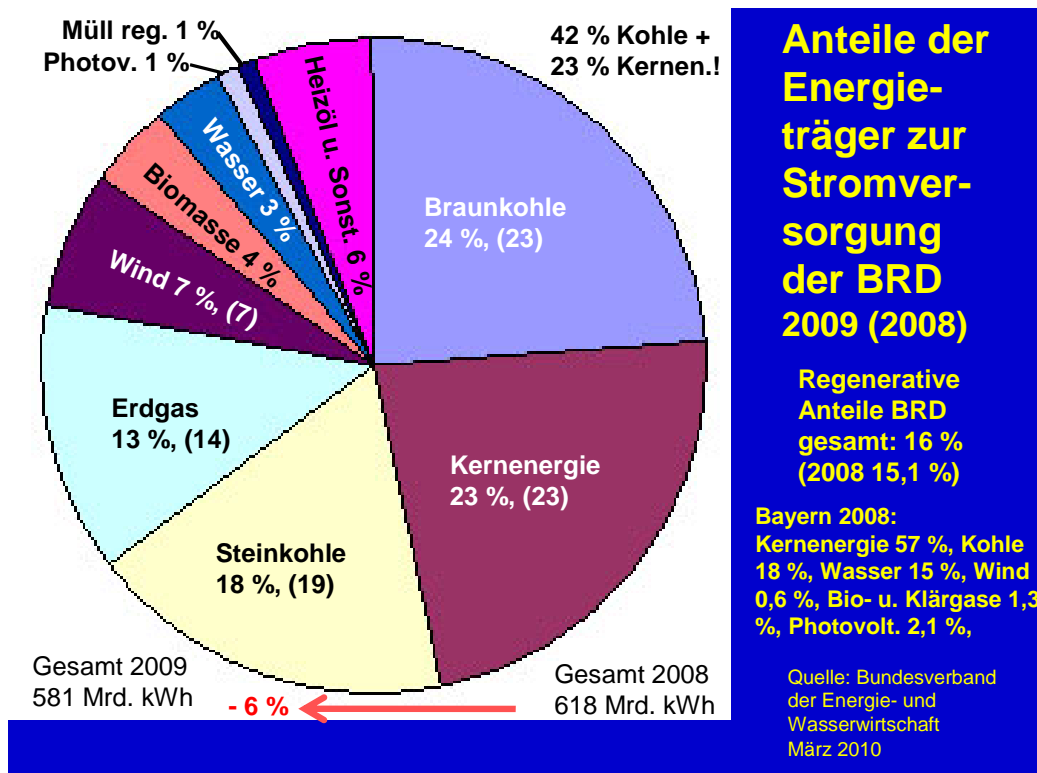
Halten wir uns zunächst den Status quo vor Augen, insbesondere welche Energieträger unsere Energieversorgung garantieren. Dabei müssen wir zwischen Primär- und Sekundärenergie unterscheiden. Fast 82 % des Primärenergiebedarfs in Deutschland kommen aus kohlenstoffhaltigen Quellen (Kohle, Mineralöl, Erdgas) und tragen durch Freisetzung von Kohlendioxid (CO₂) zum Klimawandel bei. Den Rest teilen sich Kernenergie und erneuerbare Energien.

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



Einen großen Teil der uns zur Verfügung stehenden Primärenergie wandeln wir in Sekundärenergie – meist elektrische Energie oder mechanische Arbeit – um. Dabei geht nach den Gesetzen der Thermodynamik ein großer Teil der Primärenergie verloren, bzw. wird bei niedrigen Temperaturen – meist nahe der Umgebungstemperatur – an die Atmosphäre abgeführt.

In einem hochentwickelten Land ist Strom die wichtigste Energieform. Ohne eine sichere, zuverlässige und auch preiswerte Stromversorgung wäre unser modernes Leben nicht denkbar. Produktionsstätten sind längst auf „intelligente“, energiesparende Prozesse umgestellt, d. h. sie nutzen ganz überwiegend Strom als Energieform und in den Privathaushalten würde selbst die Heizung, wegen ausgefallener Umwälzpumpen für das warme Wasser, nicht mehr funktionieren. Auf welchen Energieressourcen beruht unsere Stromversorgung?



Kohle und Kernenergie trugen in der Bundesrepublik im Jahre 2009 zu 65 % zur Stromversorgung bei, erneuerbare Energien zu 16 %, wobei 7 % vom Wind und 1 % von der Sonne stammten. In Bayern deckte die Kernenergie zu 57 % den Strombedarf. Wegen der etwas günstigeren klimatischen Bedingungen lag hier der Anteil des Stroms aus Solarenergie bei 2,1 %. Bayern ist also ein solarfreundliches Land. Auch der Anteil der Wasserkraft ist mit 15 % wesentlich höher als im Bundesdurchschnitt.

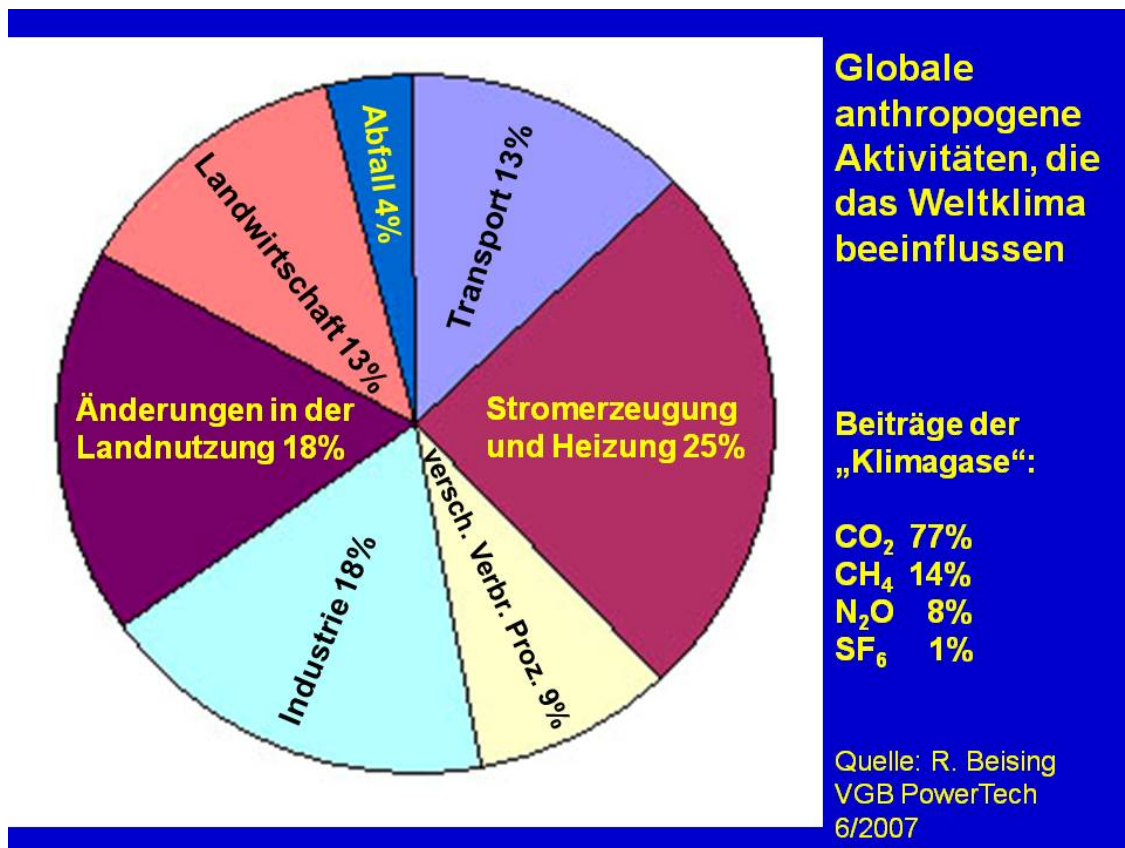
Als Folge der Wirtschaftskrise ging der Stromverbrauch von 2008 auf 2009 um 6 % zurück. Das ist fast so viel wie der Wind beitrug. Der CO₂-Ausstoß reduzierte sich von 2008 auf 2009 um etwas über 8 %.

Wird es beim Kernenergiemoratorium bleiben, dann müssen bis 2022 23 % unserer heutigen Stromversorgung durch regenerative Energien ersetzt werden, wobei noch kein Gramm CO₂ eingespart wäre. Die Stromerzeugung z.B. durch Windkraftwerke müsste dann innerhalb der nächsten 12 Jahre mehr als verdreifacht werden, durch Repowering an Land oder durch offshore-Anlagen. Wir hätten dann preiswerten Strom durch teuren ersetzt, ohne ökologi-

schen Nutzen, aber mit erheblichen Problemen für die Netzstabilität, wie wir noch sehen werden. Das wirft bei mir die Frage nach dem ökologischen und ökonomischen Sinn auf.

Klimawandel

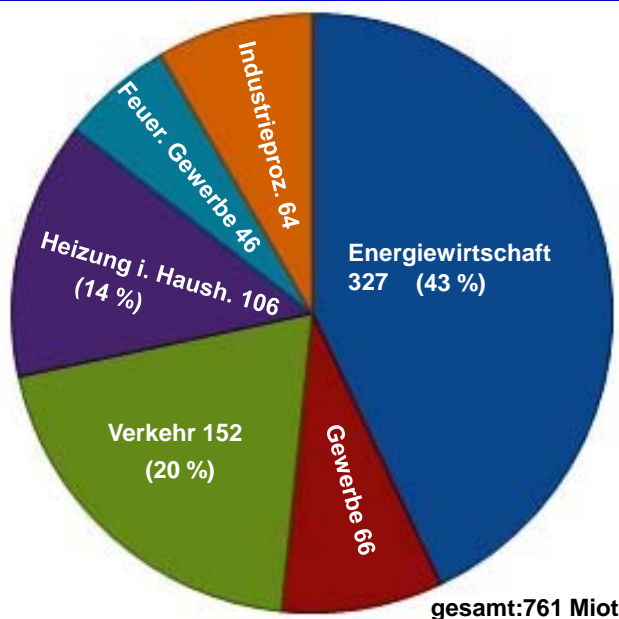
Zur Erhöhung der mittleren Temperatur auf unserer Erde trägt nicht nur die Emission von CO_2 bei, Klimagase – ja mit verstärkter Wirkung – sind auch Methan (CH_4), Distickstoffmonoxid (N_2O , Lachgas) und Schwefelhexafluorid (SF_6). Methan entsteht in der Landwirtschaft beim „nassen“ Reisanbau und in den Mägen von Wiederkäuern sowie durch Fäulnisprozesse. N_2O wird durch Düngung verursacht. SF_6 wird in der Industrie zur elektrischen Isolation und bei der Herstellung elektronischer Bauteile verwendet. Alle drei Gase sind wesentlich klimawirksamer als CO_2 . Durch Photosynthese reduzieren bekanntlich Pflanzen das atmosphärische CO_2 zu Sauerstoff und Kohlenstoff. Deshalb ist der Erhalt der Wälder, insbesondere des Regenwalds essentiell für das Klima.



Weltweit tragen Stromversorgung und Heizung nur 25 % zum Klimawandel bei. Änderungen in der Landnutzung – z.B. Rodung – zusammen mit der Landwirtschaft haben zusammen etwas höheren Einfluss. Vergessen dürfen wir aber den Verkehr nicht und damit auch die persönliche Nutzung unseres Automobils.

In Deutschland tritt der Einfluss der Landwirtschaft in den Hintergrund. Hier sind die größten Verursacher die Stromerzeugung, der Verkehr und die Heizung. Industrie und Gewerbe verursachen gerade mal 17 %. Neuerdings gibt es, wie ich meine, nicht ganz ernst zu nehmen-

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

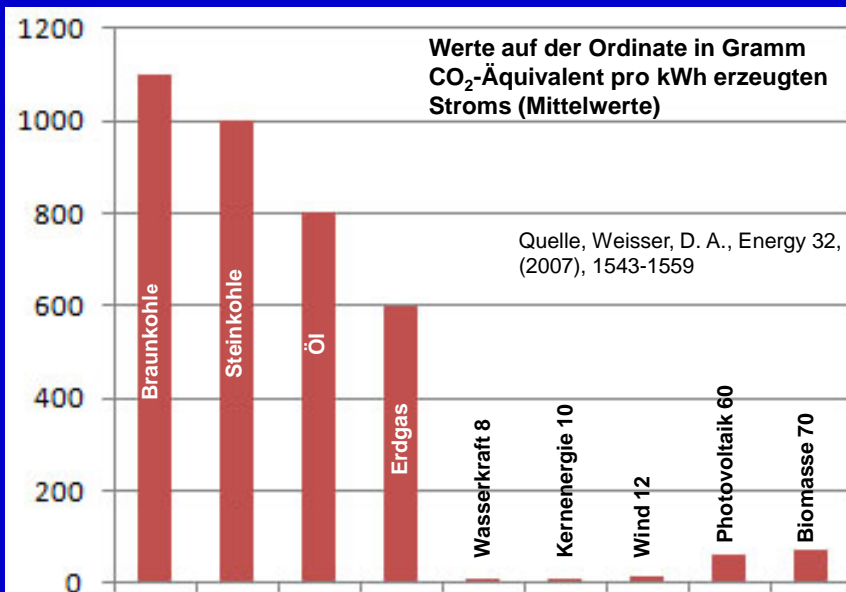
Methan aus Viehhaltung Distickstoffoxid durch Düngung

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

Quelle: BMU

de Berechnungen wonach ein Schäferhund, wegen seines Fleischverzehr, genauso klimaschädlich sein soll wie ein Auto der Golfklasse. Fragen wir uns lieber, wie hoch ist die CO₂-Emission der verschiedenen Energieressourcen und Umwandlungsverfahren bei der Stromerzeugung. Dabei dürfen wir nicht nur das beim Betrieb, also das bei der Verbrennung

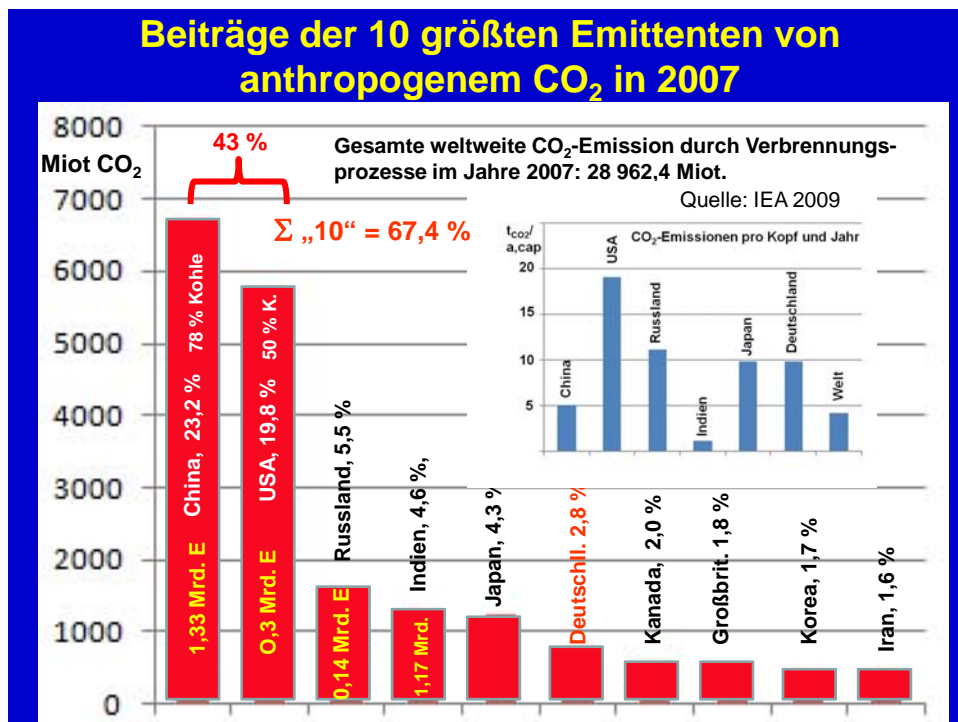
CO₂-Emissionen verschiedener Energieträger bei der Stromerzeugung einschließlich vor- und nachgeschalteter Prozesse



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 auf die gesamte Stromerzeugung 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.

Glaut man Meldungen in den Medien, so drängt sich häufig die Meinung auf, es liegt nur an uns, also an Deutschland, die vorhergesagte Klimakatastrophe zu verhindern. Zugegeben, wir gehören zu den 10 größten Klimasündern, aber mit unserem CO₂-Beitrag, der 2007 2,8 % betrug und heute schon wieder geringer ist, würden wir die Welt nicht retten, selbst wenn wir ganz verschwänden. Das soll und darf nicht heißen, dass wir nicht alle Anstrengungen unternehmen müssen, um auch bei uns den Ausstoß von Treibhausgasen zu verringern. Wir sollten dies aber ausgewogen hinsichtlich ökologischer und ökonomischer Aspekte

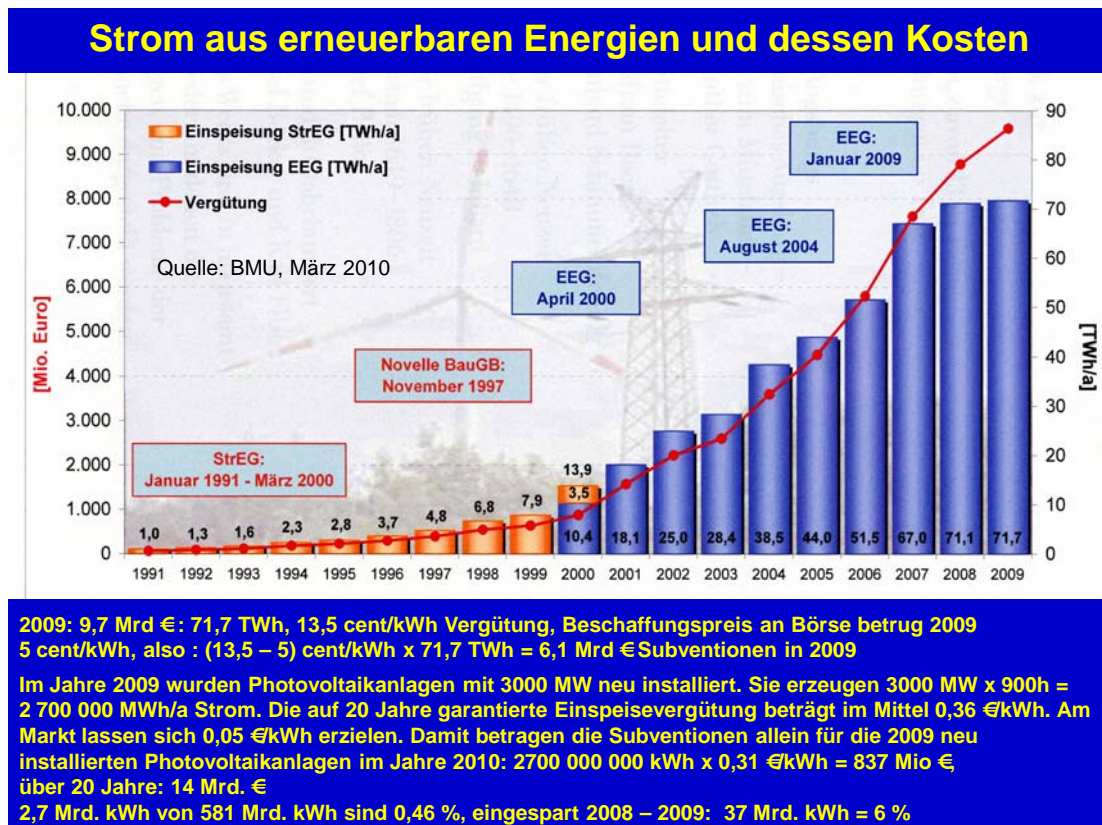


tun. China und die USA trugen 2007 zusammen 43 % zur anthropogenen CO₂-Erzeugung bei. China hat 1,33 Mrd. Einwohner. Die Bevölkerung der USA beläuft sich auf 0,3 Mrd. Das gibt bei China eine CO₂-Erzeugung von ~ 5 Tonnen pro Jahr und Kopf und bei den USA eine solche von ~18 t/a, cap. Wir in Deutschland liegen bei ~ 10 t/a, cap. Ein aufstrebendes

Land ist Indien, dessen Bevölkerung weniger als 2 t/a, cap CO₂ erzeugt. Für mich ist es ein erschreckendes Szenario, wenn ich mir vorstelle, dass die spezifischen CO₂-Emissionen in China und Indien in wenigen Jahrzehnten auf 10 t/a, cap – also so hoch wie bei uns - ansteigen könnten, was ein Vielfaches 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.

Verlust an Wirtschaftskraft und Wohlstand

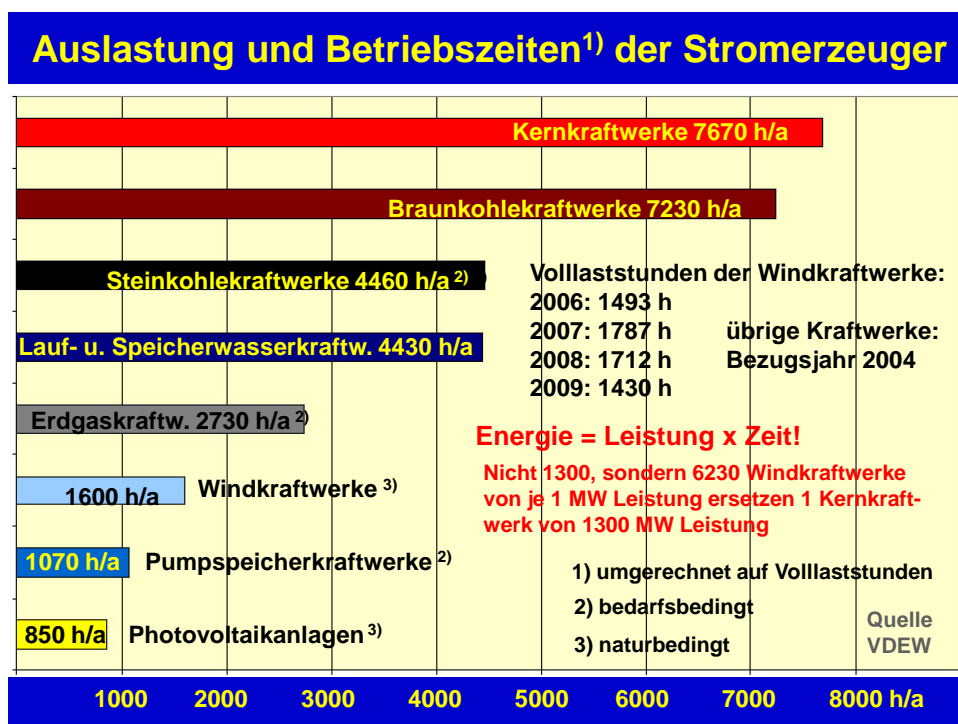
Strom hat einen Anteil von 1 bis 7 % an den Produktionskosten und von 6 bis 8 % beim privaten Konsum. Dies gilt für die heutigen Strompreise. Wie belastet den Bürger die Bereitstellung von Strom aus erneuerbaren Energien (nach dem „Erneuerbaren-Energie-Gesetz“, EEG), welcher Anstieg dieser Kosten ist für die Zukunft zu erwarten? Die Abgaben nach EEG bis Ende 2009 sind aus einer Mitteilung des Bundesumweltministeriums zu entnehmen.



Betreiber von Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien haben Anspruch auf hohe Vergütung des von ihnen erzeugten Stroms, die kollektiv von allen Stromkunden zu zahlen 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 an der Strombörse 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.

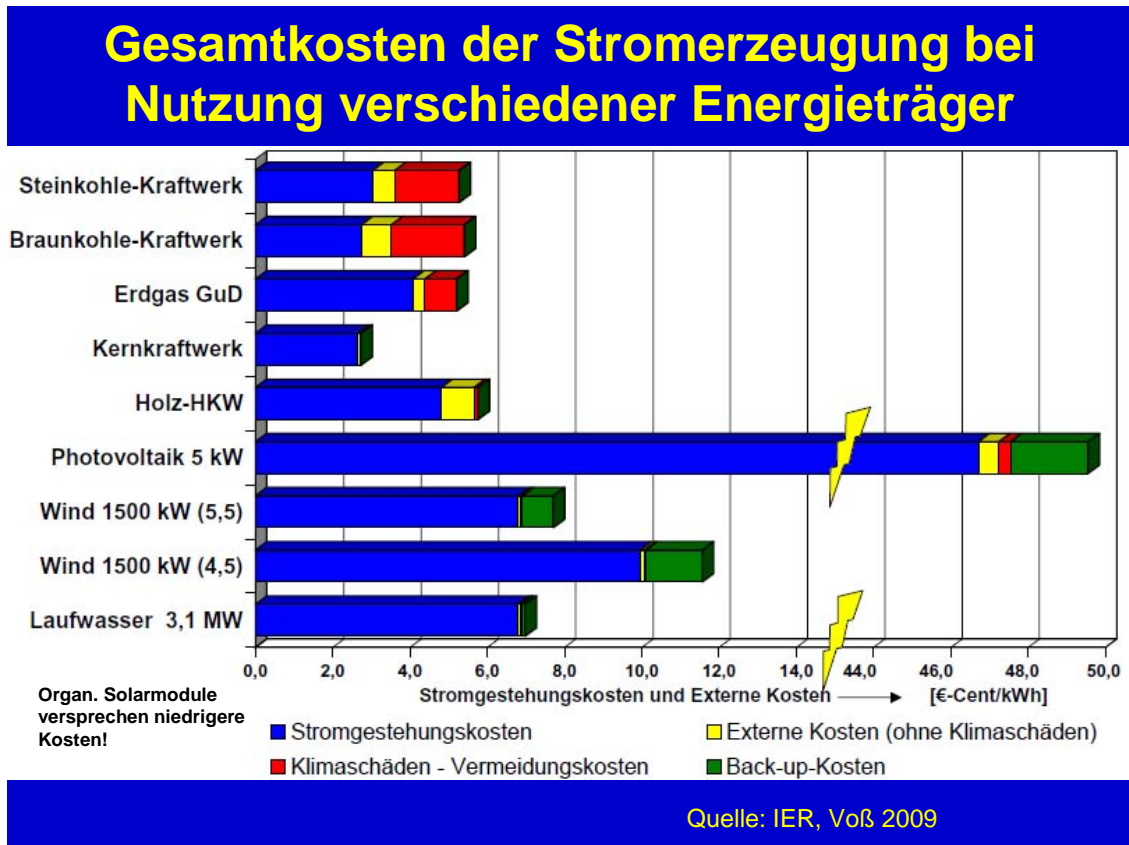
Sind diese Subventionen notwendig und gerechtfertigt und wenn ja, wodurch wird ihre Notwendigkeit verursacht? Dazu müssen wir die Betriebsweisen der verschiedenen Anlagen zur Stromerzeugung betrachten. Mit fossilen Brennstoffen betriebene Anlagen sowie Wasserkraftwerke und Kernkraftwerke werden bedarfsgerecht 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 Volllaststunden ausgegangen. Sie errechnen sich einfach dadurch, dass man die tatsächliche pro Jahr erzeugte elektrische Energie durch die Auslegungsleistung der Anlage 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 Kern-

kraftwerke werden in der Regel für die Deckung der Grundlast eingesetzt. Bezogen auf das Bundesgebiet decken Kernkraftwerke etwas über 40 % der Grundlast, in Bayern 80 %.

Diese Betriebszeiten spiegeln sich wegen der Amortisation des investierten Kapitals in

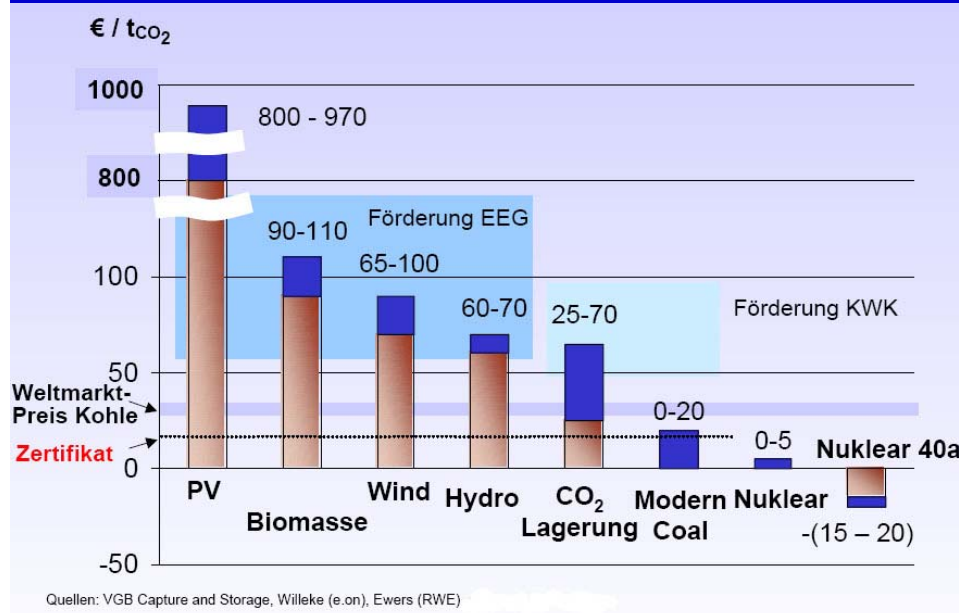


den Stromkosten wieder:

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.

Fragen wir anders herum: Was kostet es die Emission von 1 Tonne CO₂ zu vermeiden? Solarstrom ist auch hier mit weitem Abstand das teuerste Verfahren um CO₂-Emissionen zu vermeiden. Der „Preis“ für 1 Tonne CO₂ liegt hier bei über 800 €. Biomasse und Windenergie sind auch nicht gerade Billigverfahren zur Eindämmung der Klimagase. Wirtschaftlich wesentlich sinnvoller sind da die Verbesserung des Wirkungsgrads der Kohlekraftwerke und längere Laufzeiten für die existierenden Kernkraftwerke. Höhere Wirkungsgrade bei Kohlekraftwerken würde den Neubau solcher Anlagen voraussetzen, wäre aber ein „Affront gegen die Öffentliche Meinung“, die von einem Teil der Medien geprägt ist.

Was kostet es eine Tonne CO₂ zu vermeiden?

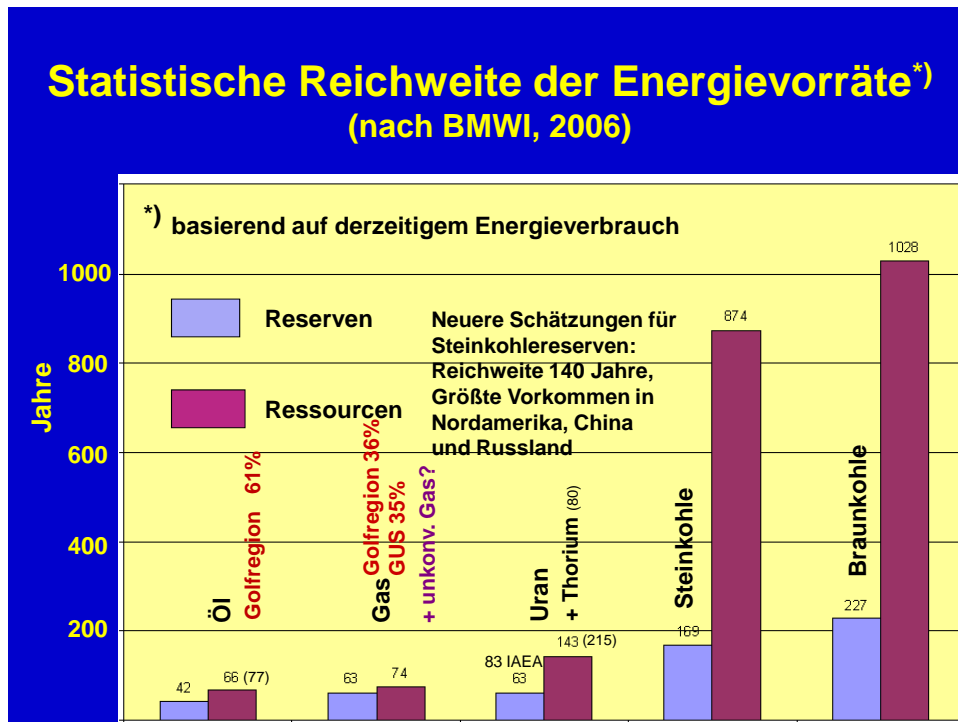


Zertifikate für CO₂-Emissionen, also „Erlaubnisscheine“ CO₂ produzieren zu dürfen, werden z.Z. mit 13 bis 15 €/tCO₂ gehandelt. Inhaber solcher CO₂-Zertifikate können durch Betreiben von Erneuerbaren-Energie-Anlagen ihre Zertifikate für die dadurch eingesparten CO₂-Emissionen an andere Firmen z. B. in Osteuropa verkaufen. Dann wird durch den Betrieb der Erneuerbaren-Energie-Anlage kein einziges Gramm CO₂ eingespart. Es entsteht nur an anderer Stelle und der Stromkunde im Land des Betreibers zahlt die Rechnung für Nichts und Wiedernichts. Das ist rational nicht zu verstehen.

Rohstoffverknappung und Gefahr der Destabilisierung der Netze

Nicht nur unsere Industrie, sondern auch unser tägliches Leben ist in höchstem Maße von einer zuverlässigen und auf Dauer bezahlbaren Stromversorgung abhängig. Zur Sicherheit der Stromversorgung trägt nicht nur die langfristige Verfügbarkeit der Energieträger, sondern auch deren nationale Zugänglichkeit bei. Eine weitere wichtige Rolle für die Versorgungssicherheit spielt die Stabilität des Netzes. Sowohl kurzzeitig mangelndes Angebot als auch Überangebot an Strom führen zu Schwankungen von Spannung und Frequenz im Netz bis hin zu einem totalen Stromausfall. Bei einer großflächigen Unterbrechung der Stromversorgung kann es Stunden dauern bis das Netz wieder stabilisiert ist. Dass bei Stromausfall kein Zugang zum Internet besteht und auch der Fernsehapparat nicht läuft, halte ich noch für das

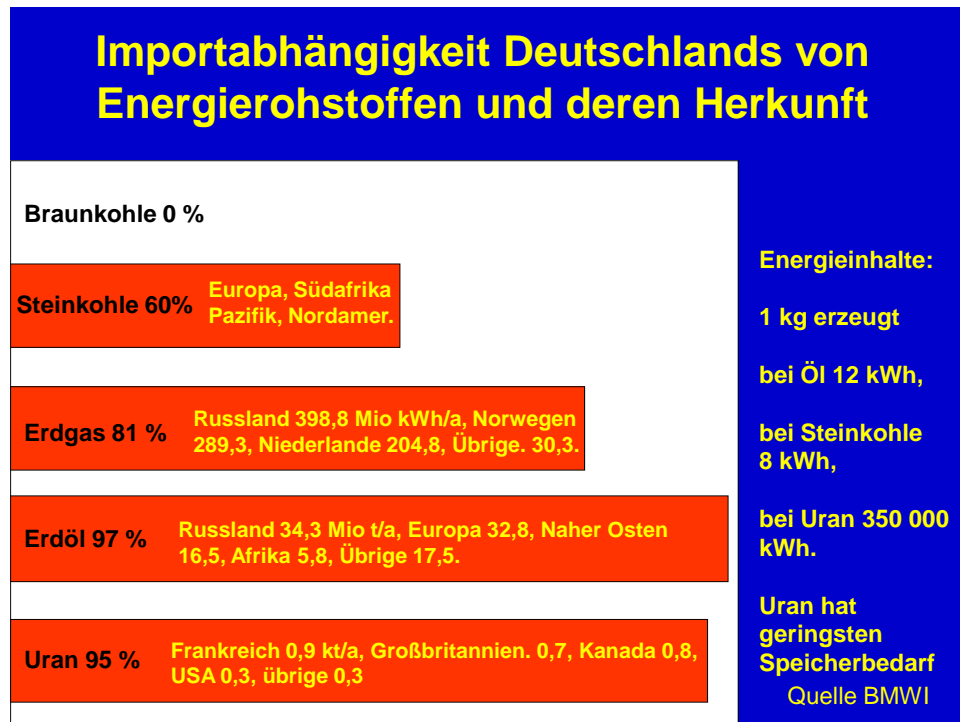
geringste Übel. Die Produktion steht still, in den Kaufhäusern wird es dunkel, wegen Ausfall der Ampeln entsteht ein Verkehrschaos, die Tiefkühltruhen tauen auf, die Heizung fällt aus und die Küche bleibt kalt, um nur einige Beispiele zu nennen.



Für eine langfristige, glöbale Betrachtung interessieren die weltweiten Vorräte an Energieträgern. Wind- und Solarenergie haben da zweifellos einen Vorteil. Sie bleiben ausreichend verfügbar solange die Erde besteht. Bei den fossilen und nuklearen Vorräten unterscheidet man zwischen Reserven und Ressourcen. Reserven sind Vorräte, die 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 im 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.

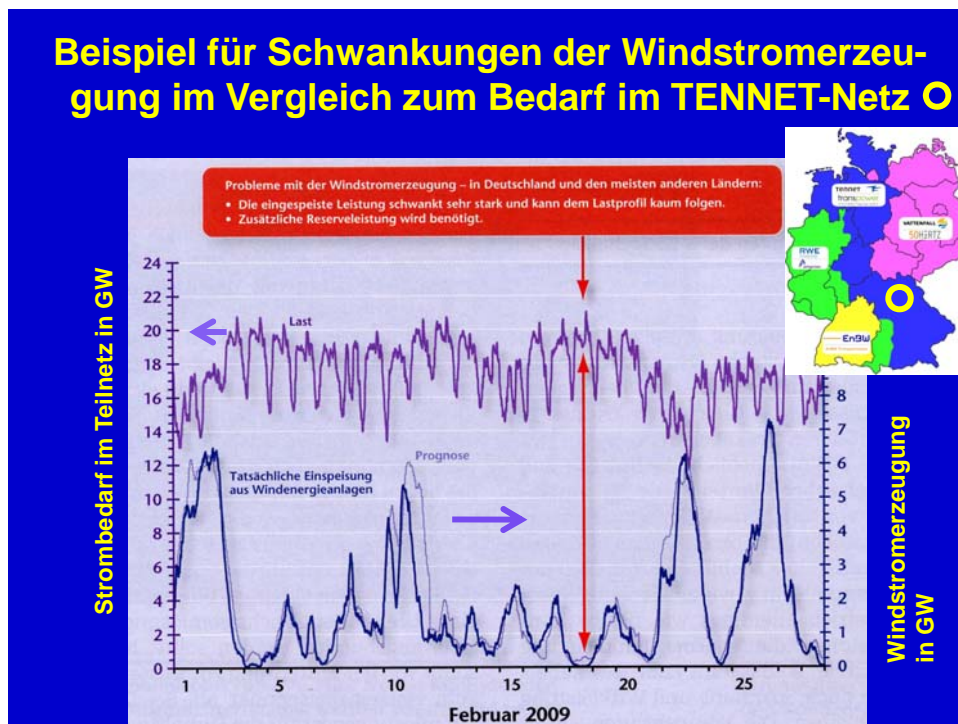
Die fossilen und nuklearen Vorräte sind leider nicht gleichmäßig und flächendeckend auf unserer Erde verteilt. Besonders Deutschland ist enorm importabhängig. Nur Braunkohle



kommt im eigenen Land im ausreichenden Maße vor. Bei Erdgas haben wir uns – nach meiner Meinung – in bedenklichem Maße in die Abhängigkeit Russlands begeben. Die Erdöleinfuhren sind etwas breiter gestreut. Die Verknappung eines einzelnen Energieträgers wird nicht nur zu Preissteigerungen sondern kann auch zu Verteilungskämpfen führen. Für die heimische Bevorratung spielt die Speicherbarkeit des Energieträgers eine große Rolle.

Wind und Sonne sind unbegrenzt verfügbar, können aber nicht zu jedem Zeitpunkt bedarfsgerecht und in ausreichendem Maße genutzt werden. Das hängt mit den naturgegebenen Wetterbedingungen zusammen, die wir nicht beeinflussen können. Dabei wirkt sich besonders das schlechte Verhältnis von erzeugter Energie zu installierter Leistung aus. Um die gleiche Jahresenergie wie bei Kohle- oder Kernkraftwerken zu erzeugen muss man bei Wind und Solarkraftwerken ein Vielfaches an Leistung installieren. Da nach dem EEG die mit erneuerbaren Ressourcen arbeitenden Anlagen absoluten Vorrang bei der Einspeisung ihres Stroms ins Netz haben, muss bei hohem Windaufkommen und sonnigem Wetter die Leistung der Kohle- und Kernkraftwerke zurückgenommen werden und bei Flaute und trübem Himmel müssen sie dann dem Netzbedarf entsprechend wieder einspeisen. Sowohl das Energieangebot des Windes als auch das der Sonne schwankt stark und dies häufig innerhalb kurzer Zeit. Dank flächendeckender Wetterbeobachtungen und zuverlässiger Vorhersagemethoden lassen sich heute die Schwankungen im Wind- und Sonnenangebot gut

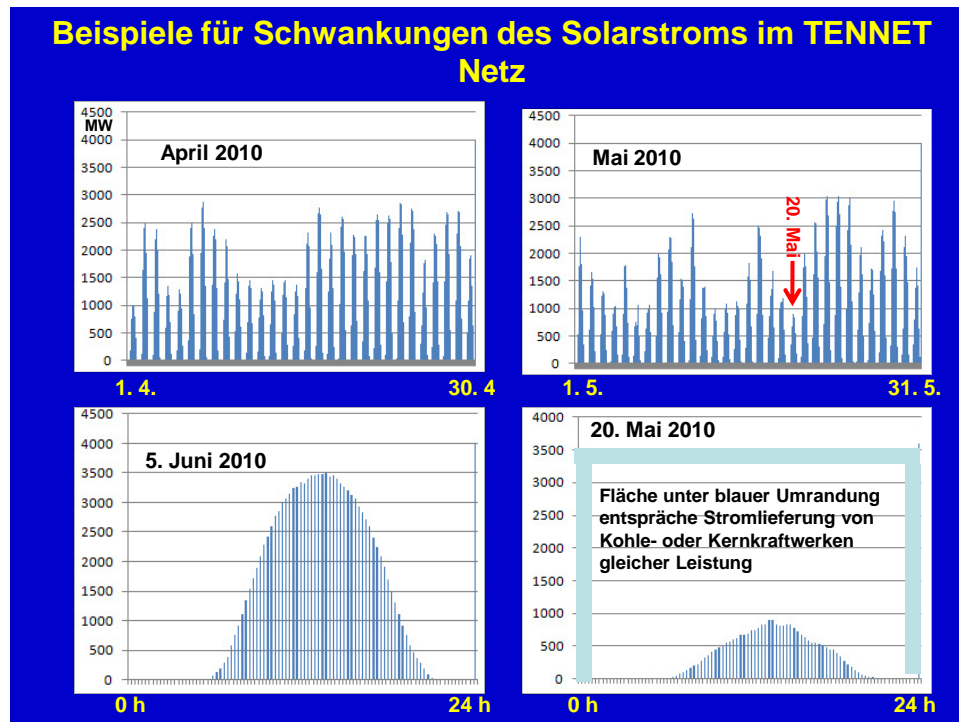
vorhersagen, sind aber trotzdem eine enorme Herausforderung für die Regelung der Kohle- und Kernkraftwerke, da sich diese Schwankungen heute schon im Gigawattbereich bewegen.



Wind hat Perioden langer Flauten und dann wieder Zeiten stürmischen Aufkommens und er harmoniert ganz und gar nicht mit dem momentanen Bedarf im Netz. In Deutschland gibt es 4 Hochspannungsnetze, die je nach Bedarf und Aufkommen ihren Strom austauschen. Die größte Nord- Süderstreckung und damit die größten Wettervariablen hat das TENNET-Netz, das früher E.on gehörte. Die Windleistung schwankte in dem im Bild gezeigten Beispiel zwischen 0 und 7 GW, was der Leistung von mehr als 5 großen Kernkraftwerken entspricht. Der Bedarf in diesem Netz bewegte sich zwischen 14 und 20 GW, womit der Wind keineswegs synchron ging.

Die Einspeisung von Solarstrom unterliegt nicht nur tageszeitlichen Schwankungen, sondern es gibt auch lange Perioden trübem Wetters, die mit sonnigen Abschnitten abwechseln. Bei sonnigem Wetter unterliegt die auf die Solarpanel eingestrahlte Energie dem sogenannten Cosinus-Gesetz, d. h. mit zunehmend flachem Sonnenstand nimmt die Energieaufnahme der Solarzellen nach der Cosinus-Funktion ab. Hinzu kommt aber noch, dass bei zunehmend tieferem Sonnenstand die Strahlen längere Luftschichten zu durchlaufen haben, was die Einstrahlung zusätzlich schwächt. Über eine längere Zeit – z.B. einen Monat - aufsummiert erscheinen die Darstellungen der täglich erzeugten Solarenergie wie Spargelspitzen, die je

nach Wetterlage länger oder kürzer sind. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Tagen eines Monats sind enorm, wie ein Vergleich des 20. Mai und des 5. Juni 2010 bei-



spielhaft zeigt. Der 5. Juni 2010 war der 1. warme und sonnige Tag nach einer langen kühlen Schlechtwetterperiode in diesem Jahr.

Solange der Anteil der Windenergie unter 10 bis 15 % und der der Solarenergie unter 2 bis 3 % liegt, sind die Schwankungen mit den derzeitigen technischen Mitteln noch ausgleichbar. Wenn auch heute schon preiswerter und CO₂-armer Strom – nämlich der aus Kernkraftwerken – durch teuren Wind- oder Solarstrom ersetzt werden muss. Was ist für die Zukunft zu tun? Es bieten sich drei Möglichkeiten:

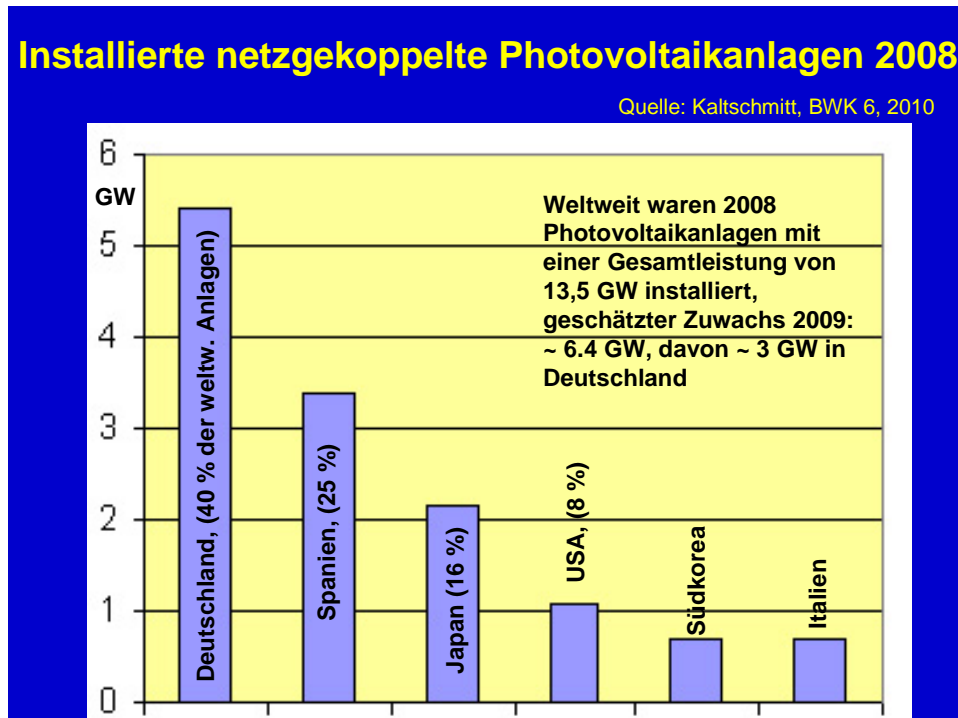
- Bau von Pumpspeicherwerken,
- Bau von Druckluftkavernen,
- erheblicher Ausbau der europaweiten Stromnetze bis nach Afrika und weit nach Russland

Man denkt sogar an eine Art „Zwangsbewirtschaftung“ des Stroms, dadurch dass man „aktive“ Zähler, sogenannte Smart Meter, in die Privathäuser setzt, die große Verbraucher – z. B. Waschmaschinen oder Spülmaschinen – nur einschalten lassen, wenn genügend Strom aus erneuerbaren Energien zur Verfügung steht und welche die Tiefkühltruhen automatisch zu-

schalten um sie zur „Kältespeicherung“ auf unnötig tiefe Temperaturen – minus 20 bis 25 °C – abzukühlen statt nur auf minus 18 °C, wie üblich.

Pumpspeicherkraftwerke gibt es bereits vereinzelt in Deutschland, 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 von Pumpspeicherkraftwerken dürfte sich aber bei Umweltschützern erheblicher Widerstand erheben. Bei Druckluftspeichern wird bei Stromüberschuss Luft komprimiert und in unterirdische Kavernen gedrückt. Diese komprimierte Luft wird bei Bedarf wieder entspannt und erzeugt über Turbinen Strom, allerdings mit nicht unerheblichen Verlusten. Ein großer Teil der ursprünglichen elektrischen Energie geht dabei verloren. Der Netzausbau bedarf des internationalen Konsenses. Alle drei Möglichkeiten, so unreal oder real sie sein mögen, bedürfen sehr großen Kapitalaufwands und machen den Strom zusätzlich erheblich teurer.

Mit großem Abstand am teuersten kommen Photovoltaikanlagen bei der Stromversorgung. Auf diesem Gebiet sind wir Weltmeister. Deutschlandweit dürften heute Anlagen mit über 8 GW installiert sein, mit einem besonderen Zuwachs 2009 wegen der Sorge, die Subventionen könnten ab 2010 stark gekürzt werden. In Spanien, dem sonnenreichen Land, ist der



Markt 2009 fast völlig eingebrochen. China, der große Exporteur von Solarpanels, installiert im eigenen Land kaum Photovoltaikanlagen – wohl mangels ausreichender Subventionen –

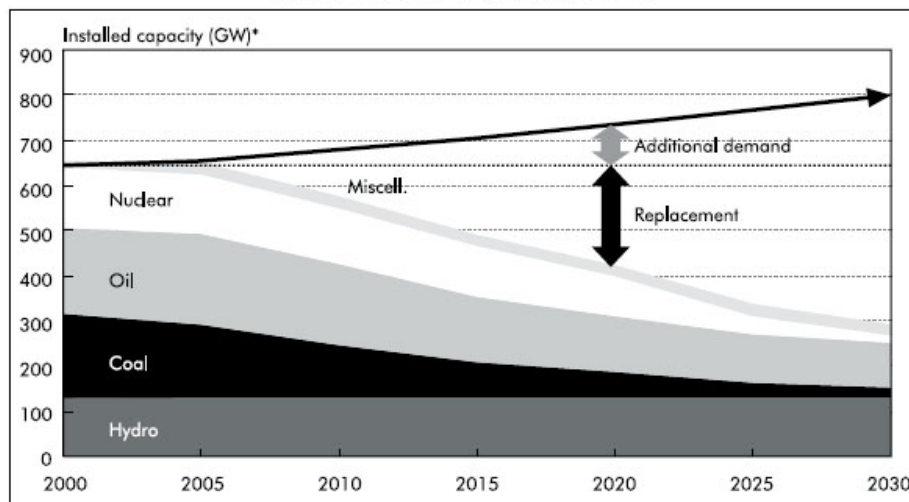
dafür sind dort, vor allem auf dem Land, solarthermische Anlagen zur Bereitung warmen Wassers weit verbreitet. Sie sind um Größenordnungen billiger und auch wirtschaftlich.

Eine weitere Gefahr für eine sichere und stabile Stromversorgung, die häufig nicht gesehen wird, ist die Überalterung der bestehenden Kraftwerke. Das gilt europaweit.

Erneuerungsbedarf an Kraftwerkskapazitäten

Quelle IEA

Power Capacity Renewal In EU-25



* Younger than 40 years.

Gegen den Neubau von Kohlekraftwerken erhebt sich in Deutschland erheblicher öffentlicher Widerstand. In anderen Ländern findet sogar der Neubau von Kernkraftwerken Zustimmung in der Bevölkerung. Fast bin ich versucht die „öffentliche Meinung“ als weiteres Risiko an der hier betrachteten „Straße von Messina“ zu bezeichnen.

Gesundheitliche Risiken und Verringerung der Lebensqualität

Wir sind alle für ein bescheidenes Leben, aber manchmal habe ich den Eindruck, man will dorthin bitte im Rolls Royce und ohne Risiko! Das geht leider nicht. Unser Leben ist ohne Risiken nicht denkbar, wir müssen rational abwägen. Frei entscheiden kann sich aber nur der Starke und Wohlhabende.

Bei der Diskussion um gesundheitliche Risiken gerät sofort die Kerntechnik ins Visier und es wird auf Tschernobyl verwiesen. Die Welt hatte bis heute 2 Unfälle mit Kernschmelzen, den in Tschernobyl und den des amerikanischen Reaktors Three Mile Island (TMI). Obwohl es in beiden Fällen zu einer massiven Kernschmelze kam, waren die Auswirkungen grundverschieden. Beim Unfall in TMI wurde keine Person außerhalb des Reaktorgeländes einer ra-

radioaktiven Belastung ausgesetzt, die das zulässige Maß für Personen, die berufsmäßig mit radioaktiver Strahlung umgehen, übertraf. Dies liegt an den unterschiedlichen Konstruktionen. Tschernobyl hatte im Gegensatz zu allen westlichen Reaktoren keinen Sicherheitsbehälter, der das radioaktive Material am Austreten in die Atmosphäre hinderte. Bei allen westlichen wassergekühlten Reaktoren dient das Kühlwasser auch als Moderator. Bei Tschernobyl übernahm diese Funktion Graphit, der bei Wasserverlust die nukleare Reaktion sogar noch ansteigen ließ. Heißer Wasserdampf strömte in den glühenden Graphit und verursachte eine chemische Reaktion bei der Kohlenmonoxid und Wasserstoff entstanden, die bei Berührung mit Luft wieder verbrannten und der radioaktiven Wolke enormen Auftrieb verliehen.

Risiken der Kernenergie

Kernschmelzen: Ablauf der Reaktorkatastrophe wie in Tschernobyl in Druck und Siedewasserreaktoren aus physikalischen Gründen nicht möglich. Siehe Unfall in TMI!

Terroristische Anschläge: Vom Boden aus KKW's perfekt geschützt, aus der Luft sicher gegen Flugzeugabsturz, nicht gegen Aufprall großer Maschinen bei voller Geschwindigkeit.

Endlagerung: Untersuchung des Salzstocks Gorleben von rot-grüner Bundesregierung gestoppt (Koalitionsvereinbarung vom 20.10. 1998) . Ziel laut damaliger Kv. 2030! 2005 neue Vereinbarung: CDU, CSU, SPD gehen Lösung „zügig“ an. Asse war Forschungslabor, nie als Endlager vorgesehen. BRD war international führend in Forschung zur Entsorgung und Endlagerung.

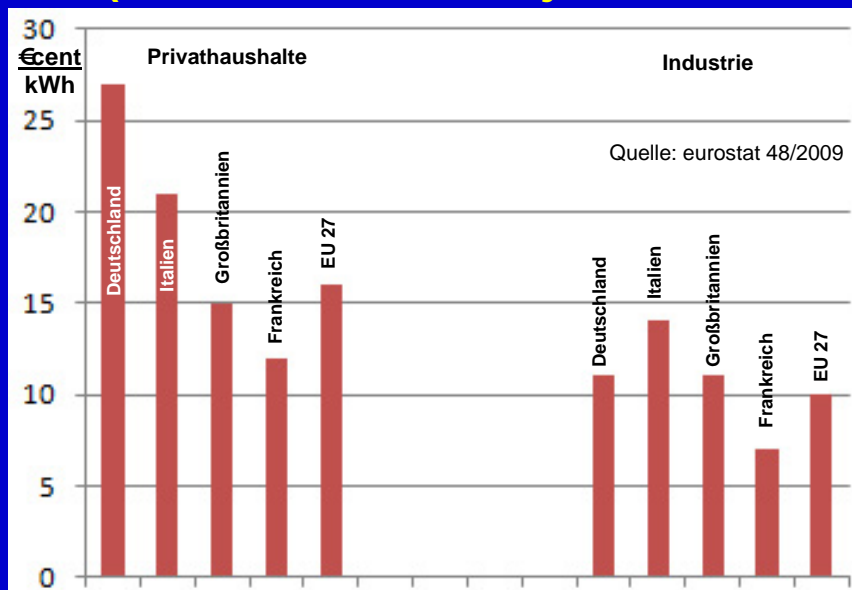
Wiederaufarbeitung statt direkte Endlagerung würde zusätzliche Sicherheit bringen: Einschmelzen des radioaktiven Materials in Glas und dann Einschließen in Gefäßen aus Edelstahl mit 20 mm dicken Wänden (Entwickl. in Karlsruhe)

Es gibt Studien zu „Years of Lost Life“ (YOLL), die auf den Schweden Ove Edlund zurückgehen und die die gesundheitlichen Risiken der verschiedenen Energieträger vergleichen und „verlorene Lebensjahre“ berechnen. Darin kommen Kohle und Erdgas wesentlich schlechter weg als die Kernenergie, aber auch die globalen gesundheitlichen Risiken der Photovoltaik werden noch höher eingeschätzt, als die der Kernkraft. Letzteres liegt am Herstellungsprozess der Solarpanels, bei dem teilweise Salzsäure und Chlorgas verwendet wird.

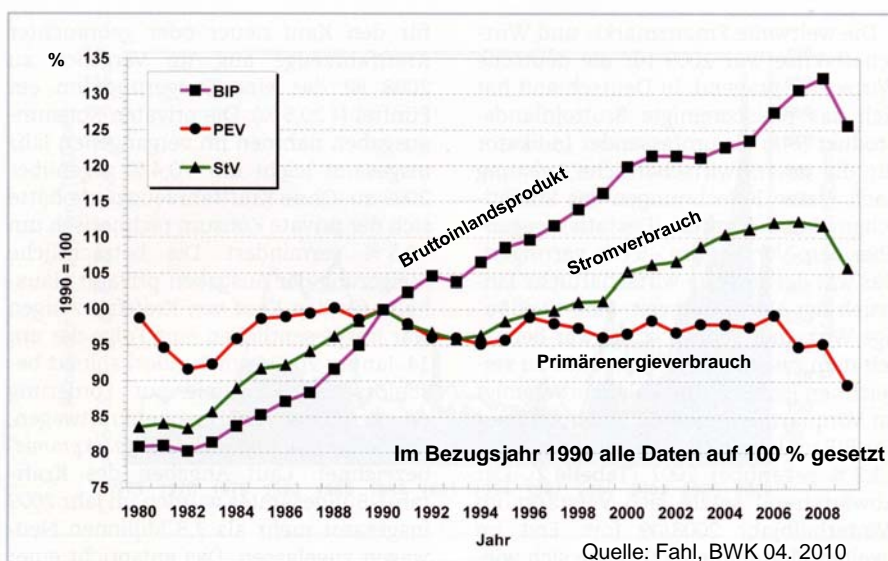
Zur Zeit laufen heftige Proteste gegen die neuesten Sparpläne der Bundesregierung. Was passiert, wenn die Kaufkraft der Bevölkerung wegen drastisch erhöhter Strompreise weiter sinkt? In Deutschland zahlt der private Verbraucher europaweit die zweithöchsten Strompreise. Teurer ist der private Strom nur in Dänemark. In Frankreich, Großbritannien und Italien sind die Tarife niedriger. Das liegt auch an den Steuern und Ökoabgaben mit denen der

Strom in Deutschland belastet ist. Die Abgaben nach dem „Erneuerbaren-Energie-Gesetz“ betragen 2009 bei einem Anteil von nur 8 % aus Wind- plus Solarenergie 9,7 Mrd. €. Die nach dem „Erneuerbaren-Energie-Gesetz“ zu zahlenden Subventionen belasteten im Mittel jeden Bürger im Jahre 2009 mit 74 €. Wie hoch wird die Belastung der Bürger, wenn sich der Anteil aus Wind- und Sonnenenergie verfünffacht, um Kernenergie und einen Teil des Kohlestroms zu ersetzen? Dabei wäre für das Weltklima noch kaum etwas gewonnen.

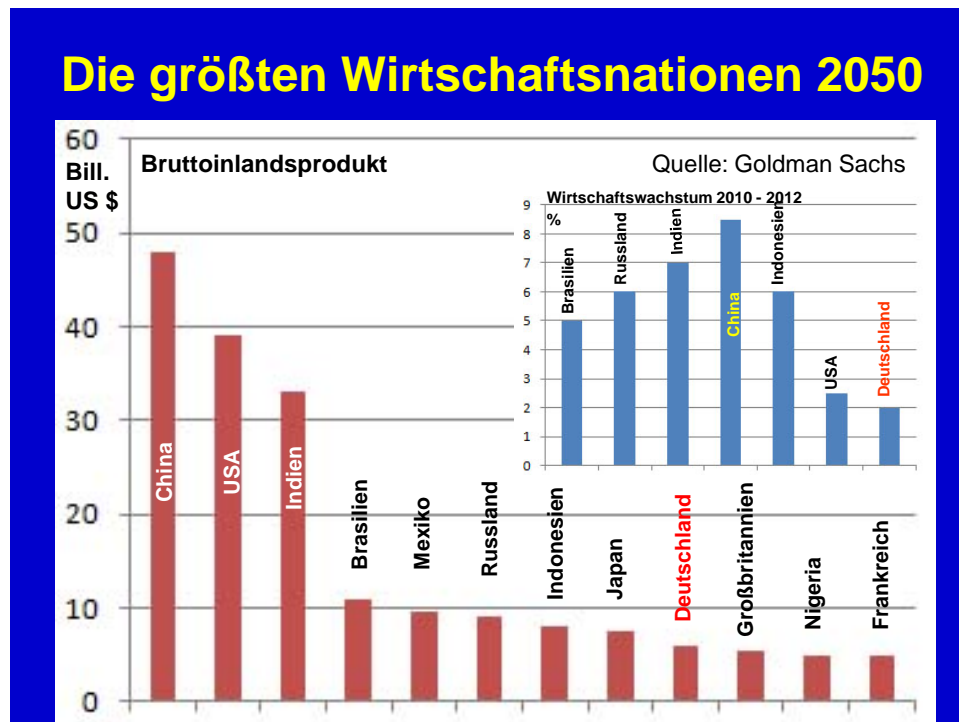
Strompreise in einigen EU Ländern (Mittelwerte 1. Halbjahr 2009)



Zusammenhang zwischen Konjunktur und Energieverbrauch



Wirtschaftskraft und Stromverbrauch stiegen in den vergangenen Jahren – bis 2009 - kontinuierlich an, der Stromverbrauch allerdings weniger stark als die Wirtschaftskraft. In 2009 sanken aber Wirtschaftskraft und Stromverbrauch rapide ab. Wie wirkt sich – umgekehrt - ein merklicher Preisanstieg beim Strom auf die Wirtschaftskraft aus? Hinzukommt, dass einige Schwellenländer enorm nach vorne drängen. Dies sind zum Teil solche, die über große Rohstoffvorkommen verfügen und damit auf den Markt Einfluss nehmen können. Glaubt man einer Studie von Goldman Sachs, so würde Deutschland bis zum Jahre 2050



auf den 9. Platz absinken und die wirtschaftsstärksten Nationen wären China, USA und auch Indien.

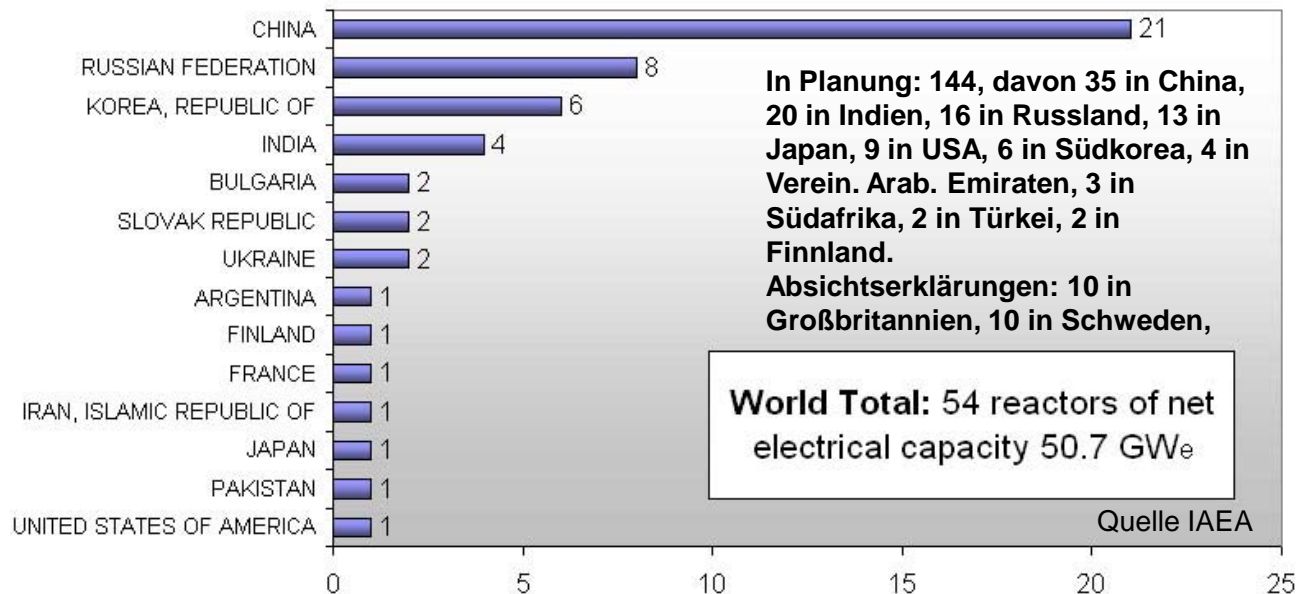
Zukünftige Optionen

Wie sieht die zukünftige Energieversorgung aus und woher wird unser Strom in 20 oder 30 Jahren kommen? Gibt es Visionen oder wenigstens hoffnungsvolle Optionen? Werden die kohlenstoffhaltigen Energieträger weitgehend verschwinden und werden Wind, Sonne und Biomasse die überwiegenden Energiequellen sein? Welche Optionen können und wollen sich die aufkommenden Schwellenländer leisten? Neben den erneuerbaren Energien bieten sich CO₂-freie Kohlekraftwerke, offshore- Windkraftwerke, Kernenergie (Kernspaltung) und als Zukunftsvision, in großer zeitlicher Entfernung, vielleicht die Kernfusion an

Die Welt scheint wieder auf Kernenergie zu setzen. Zumindest sind in verschiedenen Ländern wieder neue Kernkraftwerke im Bau und eine noch größere Zahl ist in Planung.

Deutschland ist weltweit das einzige Land, das am Ausstieg aus der Kernenergie noch festhält. Schweden hat nach dem Unfall in TMI 1979 per Volksbefragung ein Moratorium für Kernenergie beschlossen, es aber nie ernsthaft durchgesetzt. Im Gegenteil, nach einem jüngsten Parlamentsbeschluss können die 10 bestehenden Kernreaktoren sukzessive nach altersbedingter Stilllegung durch neue ersetzt werden. Auch in Großbritannien sind 10 neue

Number of Reactors under Construction Worldwide



In Betrieb:

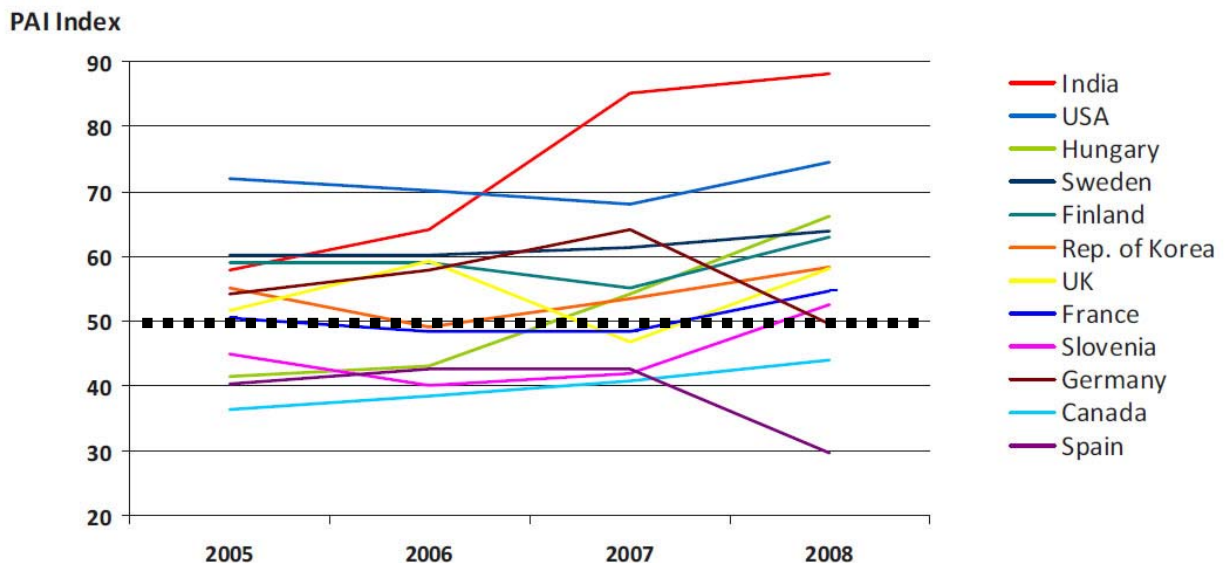
438 Kernkraftwerke, davon 104 in USA, 58 in Frankreich, 54 in Japan, 32 in Russl., 20 in Korea, 19 in Indien, 19 in UK, 17 in Deutschl. 11 in China, ges. Leist. 372 GWe. USA: 54 Mrd. US \$ Staatsbürgschaft f. neue Reaktoren, Laufzeitverlängerung alter Kernkraftwerke auf 60 Jahre (60 % des Bestands bereits genehmigt).

Reaktoren in Planung. Laufzeitverlängerungen alter Kernkraftwerke sind vielfach bereits beschlossen und fast überall in Diskussion.

Die Akzeptanz der Kernkraft in der Bevölkerung liegt in den meisten Ländern über 50 %. In Spanien und in Deutschland ist sie in den letzten Jahren gesunken. In Deutschland liegt dies vermutlich an der Berichterstattung über den Brand eines Transformators des Kernkraftwerkes Krümmel, der außerhalb des Reaktorgebäudes stand und die Sicherheit des Kernkraftwerks zu keinem Zeitpunkt gefährdete sowie an der Berichterstattung über Wassereintrich in das Lager Asse. Dieses Lager war ursprünglich als Forschungsfeld für unterirdische Lage-

rung konzipiert und zu keinem Zeitpunkt als Endlager gedacht. Endlager sollte Gorleben werden. Die Bundesregierung unterband 1998 die Erkundungsarbeiten zu dessen Eignung.

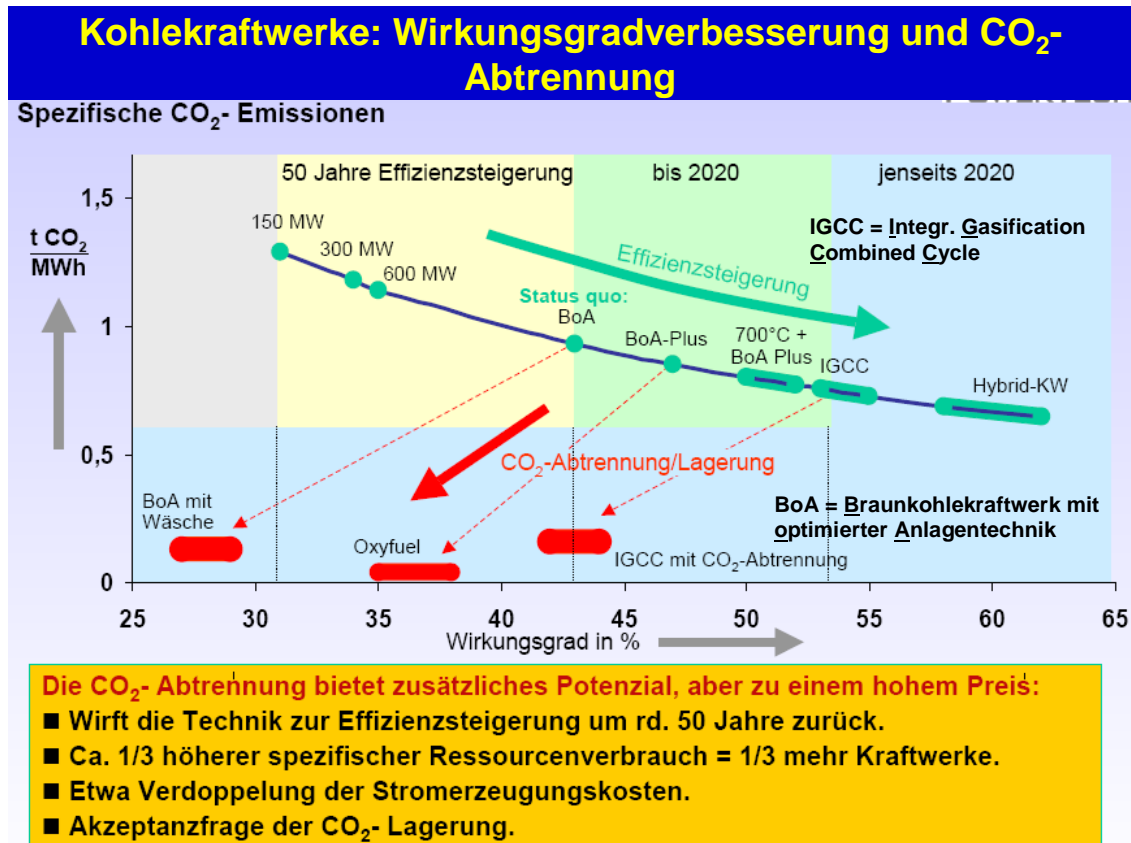
Akzeptanz der Kernenergie in der Bevölkerung



Quelle: IAEA, Nuclear Technology Review, 2009

Weltweit wird seit einigen Jahren an der Entwicklung sogenannter CO₂-freier Kohlekraftwerke gearbeitet. In Deutschland hat z.B. der Stromversorger Vattenfall ein Versuchskraftwerk in Betrieb. Es gibt verschiedene Möglichkeiten das CO₂ aus dem Rauchgas abzuscheiden. Bei der Rauchgaswäsche wird amin- oder carbonathaltige Flüssigkeit in den Rauchgasstrom gesprüht, die das CO₂ absorbiert. Durch Erhitzen dieser Flüssigkeit wird das CO₂ wieder ausgetrieben und gesammelt. Der sogenannte Oxyfuel-Prozess arbeitet mit reinem Sauerstoff statt Luft bei der Verbrennung, der aber erst durch Luftzerlegung gewonnen werden muss. Da das Abgas, mangels Stickstoff, nur aus CO₂ und Wasserdampf besteht lässt sich das CO₂ durch Abkühlen und Kondensation des Wasserdampfes leicht gewinnen. Der dritte Prozess, der „Integrated Gasification Combined Cycle“ arbeitet mit Kohlevergasung. In allen drei Fällen muss CO₂ in großen Mengen und dauerhaft sicher gespeichert werden, was einen nicht unerheblichen Aufwand darstellt und vermutlich zu Akzeptanzproblemen bei der

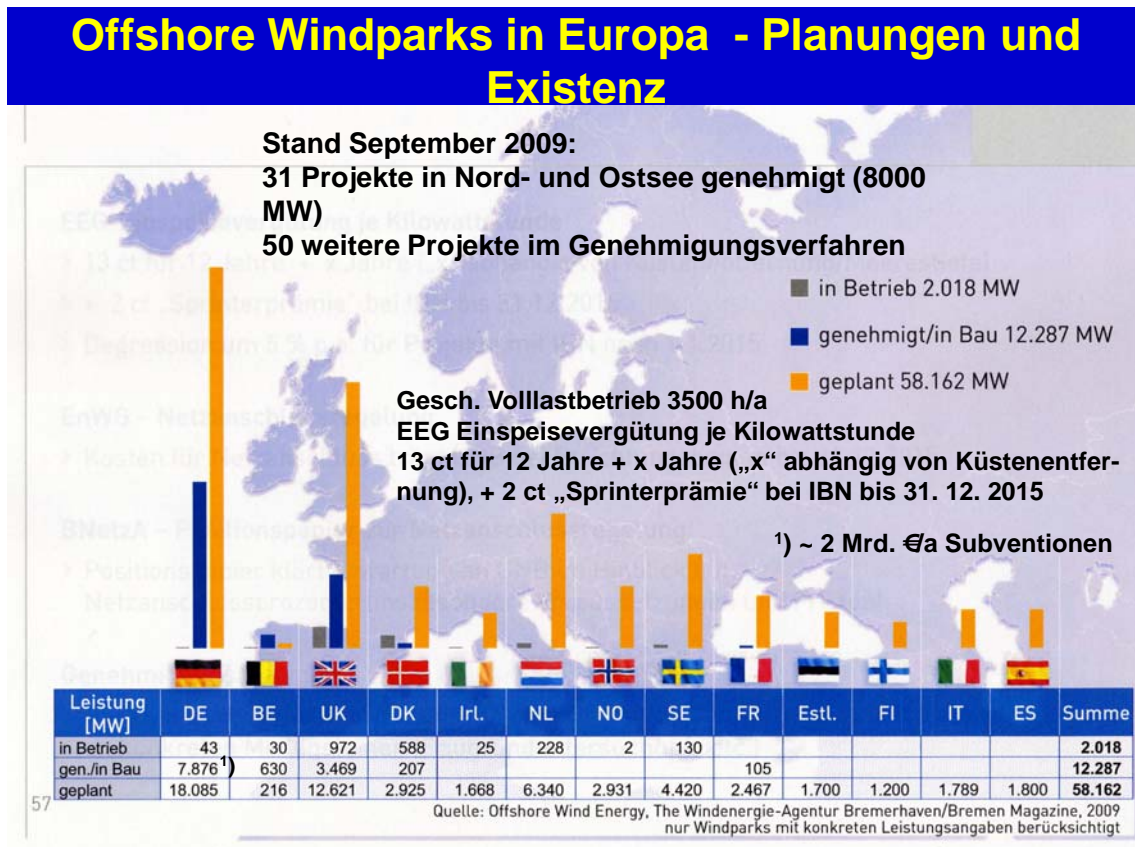
Bevölkerung führt. Wer will schon eine riesige Kaverne gefüllt mit Millionen Tonnen, in hoher Konzentration hochgiftigen, CO₂s in seiner Nähe haben?



Die Prozessführung verursacht in allen drei Fällen 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 Wirkungsgradverbesserung zunichte gemacht. Selbstverständlich sind diese Maßnahmen nicht zum Nulltarif zu haben. Es wird mit einer Verteuerung der Erzeugerpreise um 100 % gerechnet. Vergessen sollten wir nicht, dass schon allein durch Verbesserung des Wirkungsgrads der Kohlekraftwerke eine erhebliche Verringerung der CO₂-Emissionen erreicht werden könnte. Das würde aber einen Neubau moderner Kohlekraftwerke erforderlich machen, was große Teile der Bevölkerung ablehnen.

Wird uns die Windenergie retten? Windenergie ist ohne Zweifel viel näher an der Wirtschaftlichkeit als Solarenergie. An Land sind die Standorte für Windkraftanlagen weitgehend ausgereizt. Man denkt hier deshalb an den Ersatz alter Anlagen durch neue mit wesentlich höherer Leistung, also z. B. 600 kW durch solche mit 2,5 MW. Man nennt dies Repowering. Große Potentiale 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 höhere Volllastbetriebszeiten zu erwartensind, also 3500 h/a 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.

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 Parabolsolarrinnen in deren, in der Brennlinie angeordneten, 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 zum

Teil 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



„Spektrum 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 sollte bei Grand Plan Solar ausschließlich über Land erfolgen, während der Strom aus Afrika in Unterseekabeln das Mittelmeer durchqueren müsste. Vorteil von Solarrinnen ist die Speicherfähigkeit der Wärme.

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

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

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. Man spricht jedoch bereits heute von einer erheblichen Steigerung der Baukosten für den ITER.

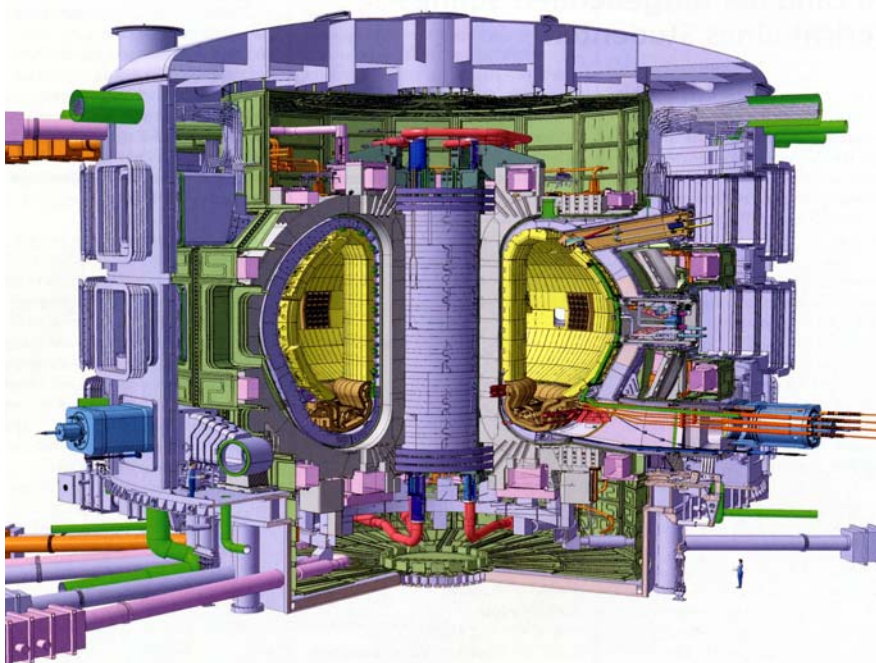
Bei der Fusion im ITER wird das Wasserstoffisotop Deuterium – schwerer Wasserstoff – das im Meer vorhanden ist, und das Isotop Tritium, das während des Fusionsprozesses aus Lithium erbrütet wird bei ~ 100 Mio. Grad zu Helium (^4He) verschmolzen (fusioniert).



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

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

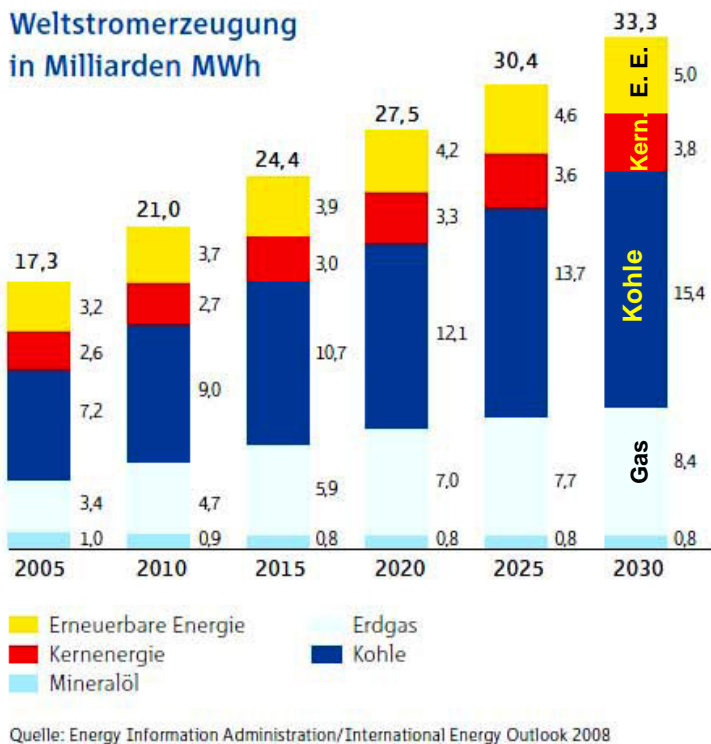
Die Rohstoffe Deuterium und Lithium sind auch langfristig in ausreichendem Maße vorhanden, bei der nuklearen Reaktion entstehen keine sehr langlebigen radioaktiven Produkte und der Fusionsvorgang kann jederzeit kontrolliert abgebrochen werden, ohne wie bei der Kernspaltung Nachwärme zu erzeugen.

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 sein mögen, müssen wir uns doch fragen woher bis 2060 ja bis 2100 der Strom für unsere Nachfahren kommen soll?

Ein nicht gerade optimistisches Bild zeichnet für die nächsten 20 Jahre die International Energy Agency (IEA). Sie nimmt an, dass die CO₂-Emissionen noch erheblich zunehmen werden und dies wegen des zunehmenden Energiebedarfs der Schwellenländer, die sich teure Verfahren zur Energieversorgung nicht leisten können. Nach Einschätzung der IEA



Erwartete Entwicklung der Weltstromerzeugung in den kommenden 20 Jahren

wird der Strombedarf der Welt gegenüber heute um die Hälfte zunehmen. Kohle wird, trotz Ausbau der erneuerbaren Energien und der Kernenergie nach wie vor die dominierende Rolle spielen.

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. Rati-

onale und tragfähige Entscheidungen, frei von Ideologie, kann aber nur treffen, wer umfassend, sachlich und ungefärbt informiert ist.

Zurückdenkend an Scylla und Charybdis fällt mir der lateinische Hexameter ein:

„Incidit in scyllam, qui vult vitare charybdim!“

(Der Scylla verfällt, wer Charybdis vermeiden will) In einem Anflug von Galgenhumor kommt mir die etwas freie bayerische Übersetzung meines alten Lateinlehrers wieder in den Sinn, der wie folgt reimte:

„Kimmst am Oxn vorbei, gwieß drahts di beim Schimmiwirt eini!“

Hoffen wir, dass die Welt sich einigt und auch für die armen Länder ein ausgewogener Weg zwischen Ökologie und Ökonomie gefunden wird.

München, den 24 Juni 2010