



Es gibt nur eine Erde.
Bewirtschaften wir sie richtig?

Text zum Vortrag von
Dr. Gerd Eisenbeiß
Seeheim-Jugenheim
24. September 2009

In diesem Vortrag zum Internationalen Forum in Seeheim-Jugenheim geht es um den großen, globalen Rahmen der Ökonomie und der Ökologie, der zu nachhaltigem Umgang mit Ressourcen zwingt, sowie um die Möglichkeiten, rationellen, ja sparsamen Energieverbrauchs und neuer sauberer Energiequellen, aber auch um damit verbundene Probleme und Grenzen.

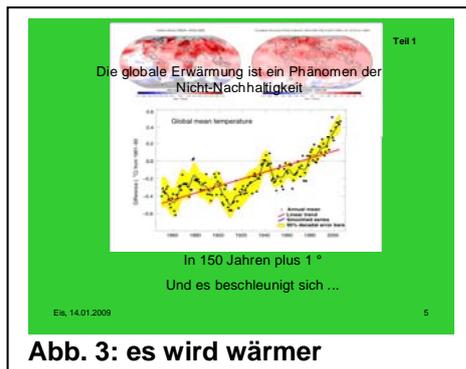
Ich werde dies in 4 Kapitel tun, nämlich

- erstens über das Nachhaltigkeitsziel sprechen, das sich aus der heute spürbaren Begrenztheit unseres Planeten ergibt
- zweitens über die tief in der menschlichen Natur wurzelnden Gründe von Wachstum und Raubbau, die zum Innehalten zwingen und zu Änderungen unseres Energiesystems, aber auch unseres Lebensstils zwingen
- drittens das Kernproblem analysieren, warum rationelle Energieanwendung und Energieeinsparung bisher so bescheidene Erfolge hatten
- viertens über die weiteren Entwicklungsoptionen berichten, die von der Ressourcensituation und fortschreitender Technologie her möglichen sind.

Kapitel 1: Nachhaltigkeit: unser Planet wird eng

Die Megatrends der Entwicklung der Menschheit sind so oft geschildert worden, dass ich es mit der in **Abb. 1** bewendet sein lasse; auch die Definition von Nachhaltigkeit, wie sie zum Leitziel Deutschlands und der EU geworden ist, muss hier nicht erläutert werden. **Abb. 4** zeigt, dass man Nachhaltigkeit sehr einfach und volkstümlich definieren kann. Natürlich ist die globale Erwärmung (**Abb. 3** und **Abb. 3**), die wir eindeutig der vom Menschen verursachten Zusatz-Emission an Treibhausgasen zuordnen müssen, nicht das einzige Phänomen der Nicht-Nachhaltigkeit; es geht auch um davon unabhängige Phänomene der Reduktion von Waldflächen und Artenvielfalt oder um Folgen des Klimawandels wie der Anstieg des Meeresspiegels, Zunahme extremer Trockenheit und zugleich von Überschwemmungen, Wüstenbildung und überhaupt um den Verlust bebaubaren Ackerlandes, der Überfischung der Meere und ausreichender Wasserversorgung, so dass ja

nicht nur die Energieversorgung sondern auch die Ernährung der wachsenden Menschheit gefährdet ist.



Megatrends

- Bis 2050 etwa 3 Milliarden Menschen zusätzlich
- Leben in Städten oder gar Megacities
- Weniger Ackerfläche pro Kopf für bessere Ernährung
- Energiebedarf insbesondere bei Strom und Kraftstoffen
- Förderung nach sauberer Umwelt und Stopp des Klimawandels weltweit
- Globalisierung unwiderruflich.

Abb. 1: Megatrends

Bitte hinterlassen Sie diesen Ort Ihrem Nachfolger so, wie Sie ihn vorzufinden wünschen.

Nachhaltigkeit ist zum Leitziel der internationalen, aber auch speziell der deutschen Politik geworden.

Nachhaltigkeit ist die Vision, soziale, wirtschaftliche und ökologische Ziele gleichzeitig und ausgewogen anzusteuern.

Abb. 4: Nachhaltigkeit

Viel wärmer darf es nicht werden: Stopp bei plus 2°C?

18th Century 1900 1950 1970 1980 1990 2006

Aber Nachhaltigkeit ist mehr als Klimaschutz, z.B. auch gute Ernährung und Wasser, Gesundheit, UV-Schutz, Artenvielfalt und Regenerationsfähigkeit, sozialer und internationaler Frieden

Abb. 2: Anpassungsstrategien

Die Art und Weise wie die Menschheit die Tragfähigkeit unseres Planeten überfordert, wird sehr schön in einem Cartoon deutlich (Abb. 5). Jared Diamond hat in seinem Buch „Collaps“ eindrücklich gezeigt – etwa am Beispiel der Osterinsel – wie Inselkulturen durch Raubbau (zumeist am Waldbestand!) Selbstmord begangen haben; die Menschheit als Ganzes muss daraus lernen!



Abb. 5: die fröhlichen Flößer

Wenn dieses Floß nun auf dem Meer herumtreibt und Eisberge sieht, sollten sich die fröhlichen Flößer aber doch bewusst sein, dass man von einem Eisberg nur jenes Siebtel sieht, das aus dem Wasser ragt; darunter liegen sechs Siebtel, die unbekannt sind. So geht es uns auf dem Weg in die Zukunft auch: wir wissen viel weniger als wir nicht wissen.

Ich habe das als drei Eisberge ins Bild (Abb. 6) gesetzt; jeder von ihnen stellt einen entscheidenden Engpass dar, wenn es um die Lösung des Problems nachhaltiger Energieversorgung geht. Der erste Eisberg symbolisiert das Wissen um die verfügbaren Energiequellen, ihre Eigenschaften und Kosten; schon hier wissen wir vieles nicht, z.B. ob uns die dauerhafte Sequestration des CO₂ aus der Umwelt gelingen wird, ob die Kernfusion eines Tages zu vertretbaren Bedingungen zur Verfügung steht oder ob es gelingt, die gewaltigen Methanvorräte an den Kontinentalrändern im Meer nutzbar zu machen.

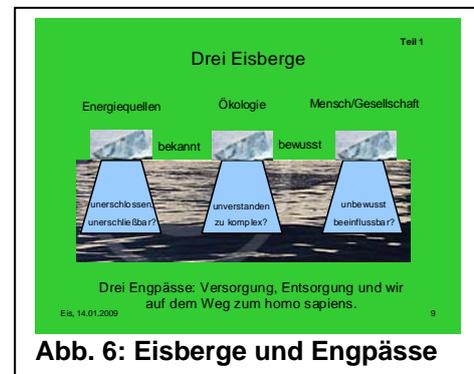


Abb. 6: Eisberge und Engpässe

Der ökologische Eisberg symbolisiert alle Auswirkungen unseres Energiesystems auf die Umwelt und das dauerhafte Überleben der Menschheit in Wohlstand und Sicherheit; hier sind viele Zusammenhänge nicht nur unbekannt, sondern auch so komplex, dass ein Gesamtverständnis wohl nie gelingen wird; Beispiele sind hier das gefährdete Lebenssystem in den Ozeanen, die regionalen Folgen der globalen Erwärmung, die Folgen der Artenvernichtung und der Entstehung neuer Arten und Krankheiten.

Der dritte Eisberg ist nichts anderes als unsere eigene Denk- und Lebensweise, die wir aus den langen Zeiträumen unserer Entwicklung übernommen haben und auf der wir mit großer Trägheit beharren. Wir fangen gerade an, aus den Neurowissenschaften gewisse Schlüsse auf unser Denken und Entscheiden abzuleiten. Was wir dabei bisher erkennen konnten, zeigt, wie wenig wir rational entscheiden, wie schwer

Verhaltensänderungen zu bewirken sind – ja, letztendlich wie egoistisch wir für uns und unsere Allernächsten sind. Dazu zwei Bilder Abb. 7 und Abb. 8, die zunächst zeigen, wie sich die Schwellen- und Entwicklungsländer allenfalls auf wirksamen Klimaschutz einlassen könnten; unsere Bundeskanzlerin hat das bei ihrer letzten Asienreise aufgenommen und akzeptiert, dass also letztlich jedem Menschen die gleiche Menge Treibhausgas-Emissionen zusteht. Das Bild zeigt, dass das

Teil 1

Klimaschutz konkret à la Merkel:

Globaler Klimaschutz kann von 5 Mrd. Menschen in Asien, Afrika und Südamerika nur auf der Basis gleicher Emissionsrechte pro Kopf akzeptiert werden.

Also müssen alle auf knapp 2 t CO₂ pro Kopf runter:

- Deutschland	von derzeit	10
- USA	von derzeit	20
- China	von derzeit	4

Eis, 14.01.2009

10

Abb. 7: Reduktion auf < 2t CO₂/c

von der UNO empfohlenen Ziel einer Gesamtreduktion um 80% nur erreichbar ist, wenn die USA auf weniger als ein Zehntel, die Deutschen auf weniger als ein Fünftel, aber auch die Chinesen auf weniger als die Hälfte ihrer derzeitigen Emissionen zurück gehen. Es ist übrigens nicht so, dass alle Schwellen- und Entwicklungsländer damit zufrieden sind, denn sie argumentieren auch mit den von den Industrieländern zuvor verursachten Emissionen, fordern also teilweise eine noch stärkere Reduktion bei den Industrieländern!

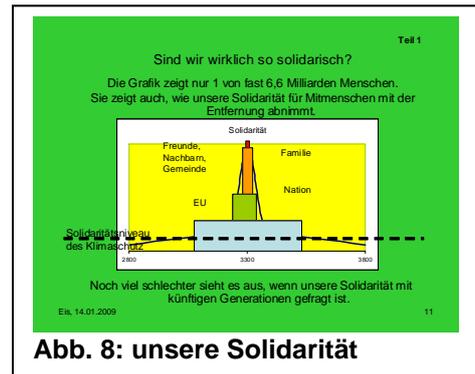


Abb. 8 soll verdeutlichen, wie extrem neu die Situation für uns ist: über Millionen von Jahren genügte es dem Menschen, nur kurze Reichweiten in Raum und Zeit zu berücksichtigen; er konnte Jagen, Früchte sammeln und Bäume fällen, ja Wälder roden, soviel er für notwendig hielt; wer früher einen Fisch fing, nahm ihn niemandem weg – heute im Zustand der Überfischung aber schon! Denn es fischen und essen heute so viele Menschen! Wenn wir ehrlich unser Solidaritätsprofil überprüfen, dürften wir uns alle in der Abbildung wiedererkennen: wir haben zumeist fast unbeschränkte hohe Solidarität in unseren Familien, dann abgeschwächt gegenüber Freunden, Landsleuten und erfreulicherweise auch schon mit anderen Mitglieds-Nationen der EU; was aber globaler Klimaschutz von uns verlangt, ist gleichmäßige Solidarität mit allen 6,6 Milliarden lebenden Menschen und darüber hinaus mit allen kommenden Generationen.

Das ist wahrhaft umwälzend neu!

Kapitel 2: Wachstum und Raubbau

Fragt man nach dem Grund für die Situation, in die der Mensch seinen Planeten und sich selbst gebracht hat, so liegt er ursächlich in einer edlen Eigenschaft, die seine biologischen Tierverwandten nur in bescheidenen Ansätzen aufweisen: der Neugier. Dieser Neugier des erwachenden Hirns ist es zu danken, dass der Mensch versucht hat, seine Umwelt zu verstehen, sie nach seinen Wünschen zu gestalten und die erkannten Gesetzmäßigkeiten der Natur zur Erleichterung seines Lebens und seiner Sicherheit zu nutzen. Aus Neugier entstand Wissen und aus Wissen Technologien und aus Technologien Produktivität. Allein die neolithische Revolution vor 10000 Jahren ließ die Bevölkerungszahl in den Flussregionen des Nils, des Zweistromlandes, des Indus und in China explodieren; Agrar-Technologien erlaubten wesentlich höhere Felderträge und eine durch Zucht gesteigerte Fleischversorgung. Ich will hier diese großartige Entwicklung nicht in Details nachzeichnen, sondern im Grundsätzlichen bleiben: in der Kette von Neugier – Forschung – Technologie – Produktivität ist das Muster noch heute wirksam. Wir können mit unserem Arbeitseinsatz das Notwendige in immer kürzerer Zeit schaffen – oder umgekehrt, wir können bei gleichem Einsatz immer mehr produzieren. Auf diesem Weg hat sich die Menschheit auf fast 7 Milliarden vermehrt und könnte diese Zahl von den verfügbaren Technologien her auch ausreichend ernähren, kleiden und versorgen, wenn die reicheren Schnellläufer etwas mehr Solidarität mit den Zurückhängenden hätten.

Es ist aber auf diesem Weg immer deutlicher geworden, dass dieses Wachstum an Menschen und Gütern Rohstoffe benötigt, die der Erde entnommen werden und damit ganz überwiegend der Endlichkeit des Planeten unterliegen. Sehr alt ist dieses Erkenntnis übrigens nicht: ich setze die Geburtsstunde dieses Endlichkeitsbewusstseins auf das Erscheinungsdatum des Meadows-Buches: „Die Grenzen des Wachstums“. Zuvor hat die seit Urzeiten geltende „Illusion der Unendlichkeit“ geherrscht, die vor der Industrialisierung ja durchaus ihre Berechtigung hatte. Ob bei der Verschmutzung und Überfischung der Meere, bei der Klima wirksamen Veränderung der Zusammensetzung der Atmosphäre, beim Abholzen der Wälder oder der Ausbreitung von Siedlungs- und Verkehrsflächen zulasten von fruchtbarem Ackerland, in hundert Dimensionen hat die Menschheit die Grenzen überschritten, die nachhaltiges Wirtschaften von Raubbau trennt.

Endlich aufgewacht, haben die Menschen in den letzten Jahrzehnten begonnen, nach weniger rohstoff- und naturverbrauchenden Produkten und Produktionsweisen zu suchen; da geht vieles, aber das quantitative Wachstum zehrt die Erfolge oft wieder auf. Im nächsten Kapitel werde ich das am Beispiel der Energieeffizienz zeigen.

Hier muss aber die Problemanalyse mit einer zumindest theoretischen Lösungsperspektive ergänzt werden: wenn menschliche Neugier, Forscherdrang und Technologieentwicklung die Produktivität immer weiter erhöhen (ganz zu schweigen vom Aufholprozess langsamerer Regionen) und wenn die Bemühungen um Energie- und Rohstoffeinsparung bescheiden bleiben, dann darf die erzielte Produktivitätssteigerung ab einem bestimmten Wohlstandsniveau nicht mehr in Einkommenszuwächsen ausgezahlt werden, die dann zu Verbrauchszuwächsen führen würden. Dann bleibt nur die Alternative der Arbeitszeitverkürzung – natürlich ohne „Lohnausgleich“ – übrig, an der wir bisher auch gescheitert sind. Die Gründe für dieses Scheitern kennen wir bereits: es ist der egoistische Mensch, der auch bei hohem Einkommen immer noch mehr will – und der sich übrigens eine größere Freizeit ohne zusätzlichen Kon-

sum kaum mehr vorstellen kann; braucht man doch selbst beim Spaziergang heute Plastikstöcke, um auf „nordische“ Weise im Boden zu stochern.

Wirklichen Erfolg an der Nachhaltigkeitsfront wird die Menschheit wohl erst haben, wenn sie eine alte Freizeitkultur wieder entdeckt, in der man mit Menschen redet, mit Freunden und Kindern spielt, liest und auch vorliest, die Freude des Lernens und Verstehens entdeckt, Musik genießt und ggf. auch ausübt, kurz: wieder leben und genießen lernt, ohne immerzu zu konsumieren.

Kapitel 3: Kernproblem Energie

Wenn uns also die Notwendigkeit seit Jahrzehnten klar ist, Energie einzusparen und die Treibhausgasemissionen drastisch zu reduzieren, so darf man 17 Jahre nach dem globalen Nachhaltigkeits-Schwur von Rio de Janeiro wohl mal schauen, was passiert ist.

Dass Energie knapp und teuer ist, muss man wohl trotz zwischenzeitlicher Preiseinbrüche nicht erläutern; diese Preisvolatilität zeigt ja nur, wie empfindlich der Ölmarkt auf Wachstum oder Rezession reagiert. Auch spiegelt der aktuelle Preis natürlich nur die Bilanz von Förderung und Nachfrage, nicht aber die Vorrats- und Ressourcensituation, die auch ich nur aus den Veröffentlichungen z.B. der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) kenne und hier nicht wiedergeben möchte. Es herrscht weitgehender Konsens, dass die konventionellen Ölvorkommen in diesen Jahren das Maximum ihre Förderung erreichen und dass unkonventionelle Vorkommen wie Teersände und Ölschiefer nur unter sehr viel höheren Kosten genutzt werden können. Was ich allerdings über Wachstum gesagt habe, sei hier in einer Graphik **Abb. 9** der Internationalen Energieagentur (IEA) eingebildet; die Agentur geht von einem fast ungebrochenen Nachfrage-Wachstum an Energie aus und schätzt interessanterweise das Wachstum des Sekundärproduktes Strom deutlich höher ein als das der Primärenergie.

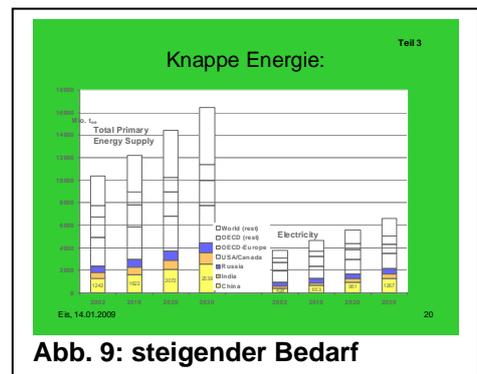


Abb. 9: steigender Bedarf

Dahinter steht, dass alle Menschen gut leben wollen und dazu erschwingliche Energie benötigen; gleichzeitig lehnen immer mehr Menschen die Eingriffe in die Natur ab, die mit der Förderung in sensiblen Regionen, etwa in Alaska, verbunden sind. Und Kernenergie hat in einigen Staaten, wie auch in Deutschland, so wenig Akzeptanz, dass aktiv militante Proteste eher auf Zustimmung stoßen als etwa der Bau eines Kernreaktors oder gar der erforderlichen Entsorgungsanlagen.

Geht man die Optionen einer nachhaltigen Energieversorgung jenseits der Kohlenwasserstoffe Öl und Gas einmal durch, so zählt Kernenergie ohnehin nur zu den mittelgroßen Potenzialen; für das Weltklima ist es daher weitgehend egal, ob Deutschland diese Technologie weiter nutzt oder nicht: andere werden es im Rahmen der Verfügbarkeit von Uran tun und damit einen Beitrag zum Klimaschutz leisten, in Europa insbesondere Frankreich, leider aber auch einige undemokratische und nicht-rechtsstaatliche Länder, in denen zudem die notwendige Kompetenz für die Sicherheitsgewährleistung mitunter noch längere Zeit fehlen wird.

Die größten Potenziale künftiger Energieversorgung haben die Kohle und die Sonne; während die Kohle relativ billig bleiben könnte, wird die Solarnutzung wohl eher teurer bleiben. Andererseits ist nur die Solarnutzung nahezu ideal nachhaltig, während die Kohle nur bei Abtrennung des Kohlendioxyds aus dem Nutzungsprozess und seiner Endlagerung als nachhaltig gelten kann – einer Bedingung also, über deren Erfüllbarkeit noch keine Klarheit besteht.

Riesig wäre auch das Potenzial der Kernfusion, wenn sie denn zu technisch-wirtschaftlichen Bedingungen gelänge. Wegen oft zu hörender hämischer Bemerkungen sei hinzugefügt: die Physik und Technologie der Kernfusion hat über die letzten beiden Jahrzehnte eminenten Fortschritt gezeigt; die technische Machbarkeit steht nun nicht mehr in Frage. Trotz dieser Fortschritten, z.B. im europäischen Versuchsreaktor JET in England, und dem vertieften Verständnis der Prozesse und Belastungen, sind aber Fragen einer kommerziellen Nutzung mit langen Brenndauern und entsprechend belastbaren Materialien noch offen; da die größten und kompetentesten Nationen Asiens, Europas und Amerikas ihre Gelder und Fähigkeiten im Projekt ITER (Abb. 10), einer größeren Versuchsanlage in Frankreich, zusammengeführt haben, besteht Grund zur Hoffnung, dass die noch fehlenden Entwicklungen innerhalb der nächsten 2 Jahrzehnte erfolgreich sein werden, so dass um 2050 herum der Bau kommerzieller Anlagen denkbar erscheint.



Abb. 10: Fusionsversuch ITER

Schwerpunkt dieses Kapitels soll das Schicksal der Einsparungs- und Effizienzbemühungen seit 1973, bzw. 1990 sein – auch mit einem Blick auf die Reduktion der CO₂-Emissionen, also die Einsparung von fossilen Energien¹. Abb. 12: wenig Einsparung zeigt, wie gering der absolute Rückgang des deutschen Primärenergieverbrauchs seit 1990 war; was durch Effizienzgewinne im Energieeinsatz pro BSP-Einheit gewonnen wurde, wurde durch das Wachstum des BSP, also der Wirtschaft, wieder kompensiert. Der mittlere jährliche Effizienzgewinn lag bei 1,8%; es ist also nur dem schwachen Wirtschaftswachstum zuzurechnen, dass überhaupt Energie eingespart wurde. Ganz ähnlich war es übrigens in anderen Industriestaaten wie in England und den USA (ebenfalls 1,8% bzw. 1,6%); viel schlechter lagen Frankreich (0,6%), Italien und die Schweiz (je 0,3%) und Japan (0%). Spanien hat seine Effizienz sogar um 0,3% pro Jahr verschlechtert; der Mittelwert aller der Unterzeichner des Kyoto-Abkommens, die sich zu Zielwerten des Treibhausgasausstoßes in Annex I (im Mittel -5% Treibhausgase gegen 1990) verpflichtet haben, liegt bei 1%! Kein

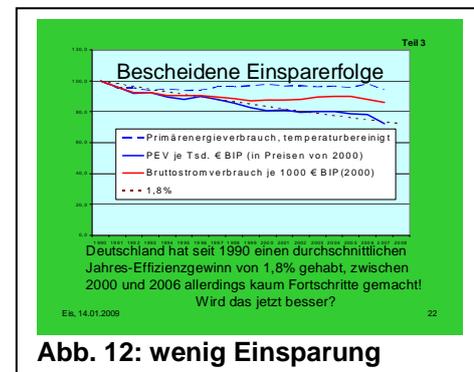


Abb. 12: wenig Einsparung

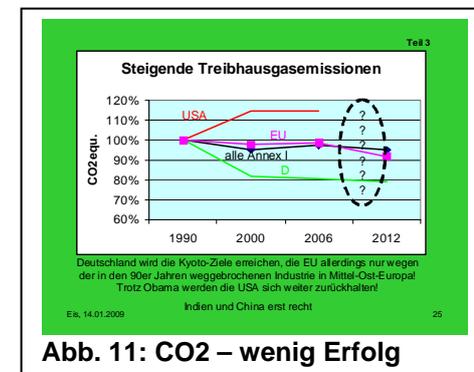


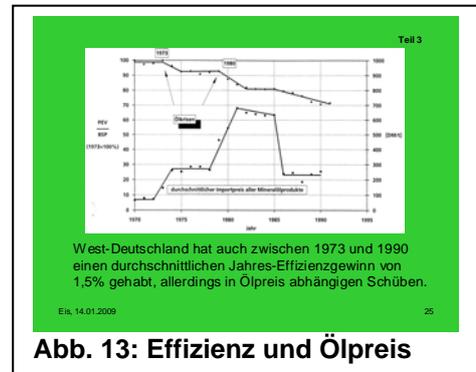
Abb. 11: CO₂ – wenig Erfolg

¹ Die Zahlen beziehen sich auf die Entwicklung vor der Finanz- und Wirtschaftskrise, die durch Wachstumseinbrüche auch den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen nach unten gezogen hat, also ein nicht nachhaltiger Reduktionseffekt.

Wunder also, dass auch die Treibhausgas-Emissionen kaum gesunken sind (**Abb. 11**), in den USA, Kanada wie auch in Spanien und Italien sogar gewaltig gestiegen sind. Deutschland, das mit minus 21% das höchste Einsparziel an Treibhausgasen von allen auf sich genommen hat, hat dagegen sein Ziel 2007 mit 22,4% übertroffen!

Analysiert man die Zeitverläufe in verschiedenen Ländern, so erhellt sich das Bild: nur nach Versorgungs- und Preisschocks wie 1973/74, 1982 und seit 2006 steigt die volkswirtschaftliche Energieeffizienz deutlich schneller; man achte auf die Stufen sinkenden Energieaufwandes pro BSP-Einheit in Zusammenhang mit den Preisen von Importöl in **Abb. 13**. Immer, wenn Bürger und Industrie solche Schocks erfahren, reagieren sie relativ rasch auf zweierlei Weise

- zum einen drehen sie die Heizung runter, ziehen Pullover an und fahren langsamer, vielleicht auch etwas weniger Auto (Verhaltensänderungen)
- zum anderen greifen sie bei Anschaffungen von neuen Kühlschränken, Autos oder Investition in neue Produktionsanlagen zu energieeffizienteren Angeboten, die die Industrie ebenfalls auf Grund des Schocks auf den Markt bringt (Veränderungen im Investitionsverhalten).



Man erkennt in **Abb. 12** und **Abb. 13**, dass auf die Phasen spürbarer Effizienzgewinne Phasen der Konsolidierung des „Erreichten“ folgten. In den 90er Jahren kam der Zusammenbruch der Wirtschaft in der DDR und den anderen osteuropäischen Volkswirtschaften auch dem Effizienzgewinn und der Emissionsreduktion zu gute, Auch da zeigt sich anschließend eine Phase ohne weitere Effizienzgewinne von 2000 bis 2006, bis der neue Preisschock zu wirken begann.

Die Analyse nährt nun den Verdacht, den man aus eigener Beobachtung wohl nur bestätigen kann, dass die Heizung auch bei höherem Preisniveau bald wieder hoch gedreht wird und der alte Fahrstil im Verkehr nach kurzer „Schockstarre“ wieder aufgenommen wird, d.h. die Verhaltensänderungen waren und sind nicht nachhaltig. Anders dagegen das Investitionsverhalten: dank der besseren, effizienteren Angebote bleibt es beim besseren Kühlschrank und dem effizienteren Automotor – die Industrie trägt den höheren Energiekosten ohnehin in professionellerer Art Rechnung.

Nun waren die Phasen erhöhter Effizienzgewinne zugleich Phase schlechter Konjunktur und zunehmender Arbeitslosigkeit, die ja auf die Preisschocks zurückzuführen waren; es stellt sich also die Frage, ob der Zusammenhang zwischen überdurchschnittlichen Effizienzgewinnen und Wirtschaftsschwäche mit Beschäftigungsproblemen in beide Richtungen besteht. Wenn die Antwort wäre, dass beides durch Energiepreisschocks verursacht ist, dann wäre die in der EU angestrebte wesentliche Verteuerung der Energie durch versteigerte Emissionszertifikate und hohe Ausbauziele für erneuerbare Energien zwar ein gutes Mittel zur angestrebten Effizienzsteigerung auf 2,5 bis 3% pro Jahr, nicht aber zur Wirtschafts- und Beschäftigungsförderung. Die langjährigen Effizienzgewinne von jährlich 1 bis 1,5% stellten dann so etwas wie eine soziale Grenze dar, die nicht mit Gewalt überboten werden sollte.

Zur Zeit haben wir, von den USA ausgehend, eine Weltwirtschaftskrise, die nicht energiepreisbedingt ist. Solange also die Weltwirtschaft in den nächsten Jahren lang-

samer wächst oder gar schrumpfen wird, werden die absoluten Werte des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen entsprechend niedriger ausfallen. Die Energieeffizienz wird allerdings voraussichtlich weniger steigen als in „guten“ Jahren, weil der niedrigere Energiepreis sowie weniger Neu-Investitionen das Innovations-tempo verlangsamen werden. Das liegt auch daran, dass Investitionen in Effizienz (und auch erneuerbare Energien!) einen gewaltigen Nachteil haben, wenn Kredite zäher fließen: beide Maßnahmen müssen nämlich alle Kosten am Anfang, d.h. vor der Inbetriebnahme bezahlen; hinterher fallen kaum noch Ausgaben an. Das bedeutet, dass die Finanzierung z.B. von Sanierungsinvestitionen oder Windparks in der gegenwärtigen Situation von Banken und Realwirtschaft schwieriger und teurer geworden ist.

Volkswirtschaftlich unglücklich ist auch, dass sich die EU und damit auch Deutschland auf ein Instrumentarium des Klimaschutzes festgelegt haben, das unnötig kompliziert und aufwändig im Verfahren ist. Es minimiert weder die Transaktionskosten noch die Gesamtkosten des Klimaschutzes. Der Grund: zu viele Einzelvorschriften, mit ganz unterschiedlichen CO₂-Vermeidungskosten und teilweise unsinniger Gestaltung. Als Beispiel sei die Autopolitik genannt, bei der nicht das Fahren sondern der Besitz eines Autos durch Abgaben belastet wird – sei es durch eine KFZ-Steuer oder sei es durch Strafzahlungen der Hersteller, wenn sie bestimmte Mittelwerte ihrer Angebotsflotte überschreiten. Auch die Extravorschriften für Quoten für erneuerbare Energien allgemein, für erneuerbaren Strom extra, für Kraft-Wärme-Kopplung oder Beimischungszwänge im Sprit bringen eine bedauerliche Regelungsfülle, die vermeidbar wäre. Dabei hat man mit "cap&trade"-System des ETS (European Emission Trading System) ein fast ideal marktwirtschaftliches Teilsystem geschaffen!

Man müsste diesen Emissionshandel vom Kopf auf die Füße stellen, also vom teilweisen CO₂-Output auf den gesamten Kohlenstoff-Input umstellen, um die Volkswirtschaften mit einheitlichen, fairen Preissignalen auf das gewünschte Ziel hin zu steuern. Dazu müsste „nur“ jeder Kohlenstoff, der als Öl, Gas oder Kohle in den Handel gebracht wird, lizenziert werden, wie ich dies 2007 in vielen Veröffentlichungen² vorgeschlagen habe. Das Recht, Kohlenstoff in den Handel zu bringen, müsste begrenzt, die Rechte versteigert und handelbar gemacht werden – genauso wie beim ETS, allerdings eben nicht begrenzt auf Großemittenten. Denn jedes Kohlenstoffatom, das in den Handel gebracht wird, endet als CO₂-Molekül – sei es im Automotor, in der Heizung oder im Kraft- und Stahlwerk; jede Tonne CO₂ stammt exakt aus 0,273 t Kohlenstoff. Ein solches System würde automatisch dafür sorgen, dass alle Verbraucher und Verbrauchssektoren über die resultierenden Preise zur Einsparung von kohlenstoffhaltigen Brennstoffen gezwungen würden und die Grenzkosten der Emissionsvermeidung für alle gleich wären. Vermieden würden die zahllosen Spezialvorschriften sowie Teilstrategien, die viel zu teuer sind, um sinnvoll zu Einsparung an Energie und Emissionen beizutragen; man denke nur an Sprit aus Stroh oder Holz oder an Photovoltaik auf Hausdächern, deren CO₂-Vermeidungskosten bei mehrere Hundert Euro pro t CO₂ liegen.

Es ist überhaupt eine politische Wettbewerbsverzerrung zwischen Investitionen zur Einsparung und solche für erneuerbare Stromerzeugung zu bedauern, die ein einheitliches Kohlenstoff-Lizenzierungsverfahren vermeiden würde; Produzenten von erneuerbarem Strom werden per Gesetz vor jedem Risiko durch Nachregelung der

² Nachzulesen im Internet unter www.amrehsprung.de

Einspeisetarife gegen Verluste abgesichert, Investition in Effizienzmaßnahmen sind dagegen jedem Marktrisiko schutzlos ausgeliefert.

Kapitel 4: Was steht zu erwarten?

Erdöl und Erdgas sind so ideale Energierohstoffe, dass ihre Nutzung noch lange Zeit attraktiv bleiben wird – trotz der sicher anzunehmenden knappheits- und produktionsbedingt hohen Preise. Denn die Zeit des billigen, wie von selbst aus der Erde sprudelnden Öls geht nunmehr sicher zu Ende; Erdöl muss jetzt schon aus immer tiefer liegendem Meeresboden geholt werden, oder es müssen Ölsände und Ölschiefer gefördert werden und das enthaltene Öl möglichst umweltfreundlich (und das wird schwierig!) mit einigem Energieaufwand herausgelöst werden.

Sollte sich die Welt auf konsequenten Klimaschutz einigen, wird man zusätzliche Kosten für eine Sequestration des CO₂ zu tragen haben, weniger beim Erdgas (denn ein Methanmolekül besteht aus nur einem Kohlenstoffatom verbunden mit vier Wasserstoffatomen) als bei Öl und erst reicht Kohle, die fast reiner Kohlenstoff ist.

Wenn Experten sagen, der letzte Tropfen Öl würde in einem Flugzeug verbrannt und der vorletzte Tropfen in einem Auto, so wird zum Ausdruck gebracht, dass die Substitution von Öl im Verkehrsbereich am teuersten ist, dass also zunächst die Möglichkeiten ausgeschöpft werden sollten, Öl aus dem Wärmemarkt und auch aus dem Stromsektor zu verdrängen, wo es in manchen Ländern noch immer eine größere Rolle spielt. Ich bin auch der Meinung, dass dies auch für das reichlicher verfügbare Erdgas gelten sollte: Erdgas in komprimierter Form (CNG) sollte der erste Substitutionskandidat für Öl im Fahrzeug sein – lange vor Strom oder Wasserstoff. Auf diese Verkehrs Aspekte gehe ich am Ende dieses Kapitels noch einmal ein.

Blicken wir aber auf die Möglichkeiten jenseits der Kohlenwasserstoffe Öl und Gas, so steht die Kohle sehr viel länger zur Verfügung. Die auf der Erde weit gestreuten reichlichen Vorkommen sollte eine bessere Versorgungssicherheit als Öl und Gas bieten; auch dürfte die geographisch verteilte Ressourcensituation preisdämpfend wirken. Kohle ist also ein Hauptkandidat für die weitere Energieversorgung der Welt; sie wird auch weiterhin im Wesentlichen zur Stromerzeugung genutzt werden (Abb. 14). Im Interesse von Umwelt- und Klimaschutz wird die Kohlenutzung intensiv weiter entwickelt:

- zunächst ist der Wirkungsgrad von Kohle-Dampfkraftwerken weiter auf 50% zu erhöhen; das ist vor allem eine Herausforderung an Hochtemperatur-Materialien.
- parallel ist die Technologie der integrierten Kohlevergasung (Integrated Gasification Combined Cycle, IGCC) zu ausreichender Zuverlässigkeit zu entwickeln; hierbei wird die Kohle zunächst vergast, so dass das wasserstoffreiche Kohlegas in einer Gasturbine verbrannt und eine anschließende Dampfturbine den Gesamt-Wirkungsgrad auf deutlich über 50% anheben kann.

Konsequenter Klimaschutz wird darüber hinaus eine Abtrennung des CO₂ erforderlich machen sowie die sichere Endlagerung dieses Treibhausgases. Eine entsprechende Rauchgaswäsche gilt als technisch möglich, ist aber noch in dem erforderlichen (gigantischen) Ausmaß zu erproben; leider wird ein Kohle-Kraftwerk mit dieser



Form der CO₂-Abtrennung nach der Verbrennung („post combustion“ Prozess) wesentlich an Wirkungsgrad verlieren, d.h. von knapp 50 auf weniger als 40% zurück fallen. Deshalb werden u.a. zwei andere alternative Wege erprobt

- zum einen durch die Abtrennung des Stickstoffs aus der Verbrennungsluft vor der Verbrennung („oxy coal“ oder „oxy fuel“ Prozess), so dass die Kohle mit reinem Sauerstoff verbrannt und das Rauchgas dann fast nur CO₂ enthält.
- zum andern im Rahmen der IGCC-Technologie, indem man das CO₂ nach der Vergasung abtrennt und nur den verbleibenden Wasserstoff in der Gasturbine verbrennt („precombustion“ Prozess).

Diese drei Abtrenn-Technologien werden zur Zeit weltweit und auch in Deutschland erforscht und in kleineren Pilotanlagen erprobt. Welcher Weg zu den geringsten Kosten, bzw. besten Wirkungsgraden führt, ist noch lange nicht entscheidbar. Einen möglichen Zeitplan für die Einführung der CO₂-Abtrennung zeigt **Abb. 15**.

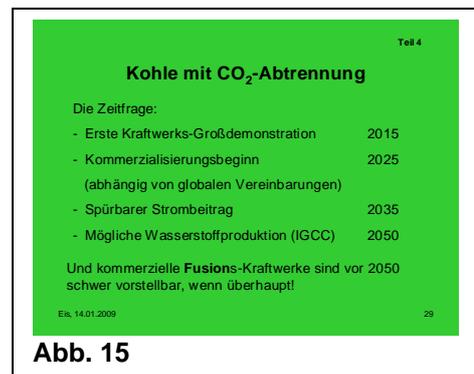


Abb. 15

Natürlich nutzt die Abtrennung des CO₂ nur, wenn das Gas auf ewige Zeiten sicher entsorgt werden kann. Man geht davon aus und macht dazu auch schon Experimente, dass das CO₂-Gas komprimiert zu geeigneten Stellen gebracht und dort in den tiefen Untergrund gepresst werden kann, wo es unter dem Druck der Tiefe zunächst als Flüssigkeit, im Lauf der Zeit vielleicht Karbonate bildend, dauerhaft verbleibt. Zunächst wird man das CO₂, wo immer möglich, zur Stimulation in der Gasförderung einsetzen; das eingepresste CO₂ drückt dabei Erdgas aus Lagerstätten, das ohne diese Stimulation im Sediment geblieben wäre. Darüber hinaus werden international tiefe salzige Aquifere als geeignet für Endlagerung angesehen, auf die sich die Forschung dementsprechend konzentriert. Da öffentliche Widerstände absehbar sind, wenn ein Standort für das Einpressen des CO₂ ausgewählt werden muss, gibt es z.B. in Europa auch Überlegungen, das CO₂ über ein Pipelinesystem zu sammeln und in die nördlich Nordsee zu transportieren, wo norwegische Wissenschaftler und Unternehmen riesige Lagermöglichkeiten tief unter dem Meeresboden sehen. Es mag überraschen, dass bei Kostenbetrachtungen solche Transport- und Lagerszenarien nur einen relativ kleinen Teil der Gesamtkosten der Sequestration ausmachen.

Obwohl also die politische Durchsetzbarkeit von CO₂-Endlagern ebenso wie die Kosten nicht sehr klar sind, geht die Energiepolitik der EU bereits davon aus, dass es weiter Kohle-Kraftwerke geben wird und diese durch die Sequestration des CO₂ klimaschonend sein werden. Viele derjenigen, die heute auch gegen neue Kohle-Kraftwerke protestieren, glauben daher nicht an den Erfolg dieser Sequestrationstechnologien und fordern eine ausschließliche Konzentration auf erneuerbare Energien. EU und Deutschland setzen dagegen auf die Option weitgehend klimaneutraler Kohlenutzung als wichtigen Eckpfeiler der künftigen Energieversorgung. Offenbar gehen die Regierungen und Parteien auch davon aus, dass sich alle Nationen dem konsequenten Klimaschutz anschließen werden, wie ihn die EU vertritt; sollte sich diese Einschätzung als falsch erweisen, dürfte der politische Druck groß werden, keine so teuren Wettbewerbsnachteile hinzunehmen, wie sie die Sequestration des CO₂ verursacht. Kohle wird dann wohl weiterhin ohne Sequestration eingesetzt werden.

Die andere Option mit riesigem Potenzial ist die Sonne, die schon vor der Nutzung fossiler Rohstoffe im 19. Jahrhundert alleinige Quelle aller Energie war. Technisch gut entwickelt sind alle Möglichkeiten, die Sonnenstrahlung im Wärmebereich zu nutzen – als Kollektor auf dem Dach für Warmwasserbereitung oder zur Heizungsunterstützung wie auch als unentgeltliche Wärmestrahlung, die bei intelligenter Gebäudegestaltung insbesondere durch die Fenster fällt und den Heizenergiebedarf eines gut wärme gedämmten Hauses zu Null machen kann.

In südlichen Regionen mit starker Direktstrahlung kann man die Sonnenstrahlung durch konzentrierende Spiegel (in **Abb. 16** sind es Rinnen, die das Licht auf ein Rohr in der Brennpunktlinie konzentrieren) zur Erzeugung von heißem Dampf nutzen und damit Strom erzeugen – heute bei Kosten von über 20 c pro kWh (Anlagen in Spanien), nach Ausreifung und Massenproduktion unter 15, vielleicht sogar 10 c in Nord-Afrika, Arabien oder den Sonnenstaaten der USA. Solche Anlagen haben sich seit fast zwei Jahrzehnten in Kalifornien bewährt und werden jetzt wieder in USA und Spanien gebaut und betrieben; in Planung sind mehrere GW Kraftwerkskapazität, allerdings sind zumeist Finanzierungsfragen noch offen. Im Rahmen der von Präsident Sarkozy initiierten Mittelmeerunion wird derzeit intensiv nach Wegen zur Realisierung solcher solarthermischer Kraftwerke gesucht, da sie unter den Möglichkeiten solarer Stromerzeugung in großen Mengen relativ billig sind und mit integrierten Wärmespeichern auch Strom bis in die Abendstunden hinein liefern können. Deutsche Groß-Unternehmen prüfen zur Zeit einen Einstieg in diese Technik mit gigantischen Investitionen. Eine andere Variante solarthermischer Kraftwerke zeigt **Abb. 17**; hier wird das Licht von vielen Spiegeln auf einen „Receiver“ konzentriert, der erhöht in einem Turm angebracht ist und die Energie für den Kraftwerksprozess einfängt.

Deutlich teurer und weniger bedarfsgerecht ist der Solarstrom aus Photovoltaik, die in Deutschland nicht nur viel bekannter ist, sondern hier auch den Großteil ihres Marktes findet (**Abb. 18**); dies mag verwundern, denn Deutschland ist nicht gerade ein Sonnenland, aber es liegt natürlich am starken grünen Einfluss auf die deutsche Klimaschutzpolitik, die auch dieser teuersten aller Energietechniken durch hohe Einspeisevergütungen einen boomenden Markt geschaffen hat. Vertreter der Photovoltaik-Forschung und der schnell wachsenden PV-Branche sind sehr optimistisch, dass es dank dieser großzügigen gesetzlichen Förderung möglich wird, Kosten und Preise noch ganz wesentlich zu senken. Man wird sehen, ob sich diese Erwartungen als realistisch erweisen werden.



Abb. 16: Konzentrierende Rinnen



Abb. 17: Die PS 10-Anlage



Abb. 18: Photovoltaik in Bonn

Viel günstiger, auch in Deutschland, ist der Strom aus Windenergie. Auch hier ist Deutschland weit vorangeschritten und beherbergt auch heute noch, wo Indien und USA schnell nachziehen, 22% der globalen Gesamtkapazität von über 100 GW. Wir können mit Sicherheit erwarten, dass Windenergie eine wesentlichen Energiequellen der Zukunft ist; 1000 GW weltweit scheint mir keine Illusion, während der Ausbau der Wasserkraft gering sein dürfte – in Deutschland aus Gründen der Verfügbarkeit und in anderen Ländern wegen der Risiken großer Staudämme (Abb. 19). Auch Windenergie wird allerdings in Deutschland bald auf Schwierigkeiten stoßen, gute Standorte an Land zu finden; deshalb sind große Pläne entwickelt worden, Windparks in der Nordsee zu errichten. Die technische Entwicklung der entsprechenden Anlagen mit einer Leistung von je 5 MW und 120 m Rotordurchmesser (und mehr) ist noch nicht abgeschlossen; schließlich müssen die Anlagen im etwa 40 m tiefen Meer gegründet werden, die rauen Winde und Stürme auf hoher See sowie das Salzwasser vertragen und so zuverlässig sein, dass die auf See teure Wartung nur selten erforderlich wird. Herausfordernd ist auch der Anschluss von vielleicht einmal 40 GW off-shore Windstrom an das territoriale Netz, d.h. die Kabelverbindungen und die Rückwirkungen auf das gesamte europäische Netz, denn der Windstrom soll ja auch Frankfurt und München versorgen.



Abb. 19: Wind- und Wasserkraft

Nachdem die Politik gerade ernüchert festgestellt hat, dass agrarisch angebaute Biomasse kein Königsweg zu billigem Sprit ist - ja, dass es geradezu zynisch erscheint, den fast 1 Milliarde hungernden Menschen den Ackerboden wegzunehmen, um Sprit zu produzieren, sollten wir einen klareren Blick auf die Biomasserolle in der Energieversorgung der Zukunft werfen. Da die Menschheit zunimmt, die Ackerfläche aber abnimmt, wird sich die heute mögliche Nutzung von Brachflächen in Überproduktionsländern bald erübrigen; das werden die steigenden Nahrungsmittelpreise regeln. Ein Maßstab des Möglichen ergibt sich aus der globalen Erntesituation; sie ist gekennzeichnet durch etwa 2,24 Milliarden t Getreide, vor allem Weizen, Reis und Mais. Dieser Erntemenge an Körnern steht etwa die gleiche Menge an Halmen, Blättern und Wurzeln gegenüber, die wir in gewissem Rahmen energetisch nutzen dürfen. 2 Milliarden t Biomasse-Abfälle dürften einen Brennwert haben wie 0,7 Milliarden t Steinkohle, also knapp 5% des Weltenergiebedarfs. Zählen wir die Abfälle aus dem Anbau von Ölpflanzen, Zuckerrohr und Zuckerrüben, Gemüse etc hinzu, mag sich die verfügbare Energie auf 1 Milliarde t Steinkohleäquivalent erhöhen (etwa 6% des Weltenergiebedarfs); mehr können wir von der Landwirtschaft nicht erwarten! Die Forstwirtschaft kann zusätzlich Holz zur Verfügung stellen – weltweit etwa soviel wie dem Primärenergieverbrauch Deutschlands entspricht, in Deutschland etwa 2% seines Primärenergieverbrauchs. Hier muss aber gewarnt werden, denn Nachhaltigkeit gebietet eine schnelle Reduktion des Holzeinschlags, also Aufforstung und nicht weiteren Raubbau! In Deutschland nimmt der Waldbestand zwar zu, weltweit nimmt er aber dramatisch ab. Abb. 20 zeigt, wie groß die benötigte Ackerfläche in verschiedenen Ländern und Szenarien, wenn rücksichtslose Bio-Sprit-Strategien verfolgt werden.



Abb. 20

Es wird auch schwer sein, an der folgenden Verwertungslogik vorbei zu kommen: feste trockene Biomasse, z.B. Stroh und Holz, wird man wohl immer mit wirtschaftlicherem Klimaschutzeffekt verbrennen, also dem Strom und Wärmemarkt zuführen, als daraus umständlich und sehr aufwändig Kraftstoff fürs Auto zu machen. Feuchte Biomasse und Tierexkremate dürften am günstigsten als Biogas verwertet werden, das wiederum ebenfalls vor allem dem Strom- und Wärmemarkt zugute kommen wird. Soweit Biogas unter Zusatzkosten in Erdgasleitungen eingespeist wird, könnte es natürlich auch indirekt dem Verkehrssektor zufließen, wenn komprimiertes Erdgas Marktanteile gewinnt.

Nun bin ich immer wieder auf das Problem des richtigen Kraftstoffs der Zukunft zu sprechen gekommen und möchte das abschließend im Zusammenhang erörtern. Es steht also zu erwarten, dass Öl, Diesel und Kerosin im Auto und Flugzeug noch lange dominieren werden. Jenseits dieser Kraftstoffe wird Mobilität mit Sicherheit teurer und unbequemer werden. Das allein wird zu einer Zunahme des öffentlichen Verkehrs führen. Ich sagte schon, dass in gewissem Umfang komprimiertes Erdgas als Kraftstoff hinzukommen dürfte, ebenso wie ein geringes Quantum an beigemischten Bio-Kraftstoffen. Dann aber kommt mit hoher Wahrscheinlichkeit der auf Elektrizität beruhende Verkehr

- zunächst als Zuwachs der Bahnen, möglicherweise auch elektrische O-Busse
- dann als Hybrid-Fahrzeuge mit Nachlademöglichkeit der Batterien
- schließlich als Fahrzeug mit Elektro-Antrieb, wobei der Strom entweder aus dem Netz in die Batterie geladen wird oder der Strom in stationären Elektrolyseuren Wasserstoff erzeugt, der den Strom dann im Fahrzeug aus Brennstoffzellen zurück gewinnt.

In einer auf Nachhaltigkeit eingestellten Welt würden ja auch die wesentlichen Energiequellen mehr oder weniger direkte Stromquellen sein, wie die Tabelle in **Abb. 21** zeigt. Da Prozesstemperaturen unter 800 bis 1000°C nicht für eine chemische Kraftstoffherstellung aus Kohle ausreichen, kommen Nieder- und Mitteltemperaturwärme aus Kernenergie (Ausnahme Hochtemperatur-Reaktor!) oder solarthermischen Kraftwerken, wahrscheinlich aus Materialgründen auch aus Kernfusion, nicht als Energiequelle für Kohlesprit in Frage. Es bliebe nur die Kohle selbst, die zugleich Energiequelle und Rohstoffbasis von künstlichem Diesel oder Benzin werden könnte – natürlich in klimaschonender Weise nur mit Sequestration des CO₂.

Vergleicht man Netzstrom „tankende“ Batterie-Fahrzeuge mit der Wasserstoff/Brennstoffzellen-Alternative (**Abb. 22**), so scheint der kurze Weg des primären Windstroms zur Batterie einfacher als die zahlreichen Prozessschritte vom Windstrom zum Wasserstoff, der Aufbau einer Sonderlogistik für hoch komprimierten (um 800 bar) oder tief kalten Wasserstoff (minus 253°C) bis zum Tank und der Brennstoffzelle im Fahrzeug. Man täusche sich aber nicht über die Schwierigkeiten und offenen (Kosten-) Fragen auf beiden Wegen; so

Teil 4

Die nachhaltigen Energiequellen der Zukunft machen Strom

nachhaltige Energiequellen	produziert	Hochtemperaturwärme	Nieder-Mitteltemperaturwärme	Kraftstoff
Wasserkraft	X			
Sonne - PV	X			
Sonne - Kollektor	X		X	
Sonne - Röhren/Türme	X	?	X	
Wind	X			
Gezeiten, Wellen	X			
Geothermie	(X, HDR)		X	
Biomasse - fest	X	X	X	(X, BTL)
Biomasse - flüchtig	X	X	X	(X, BTL)
Biomasse - Cellulose	X	X	X	X
Kohle - Kraftwerk/CCS	X		X	
Kohle - H ₂ O-Reduktion		X	X	(X, CLE)
Kernenergie	X	(X, AHT)	X	
Fusion	?	?	?	

Strombedarf wächst überdurchschnittlich!
Niedertemperatur-Wärme ist einsparbar.

Eis. 14.01.2009 38

Abb. 21

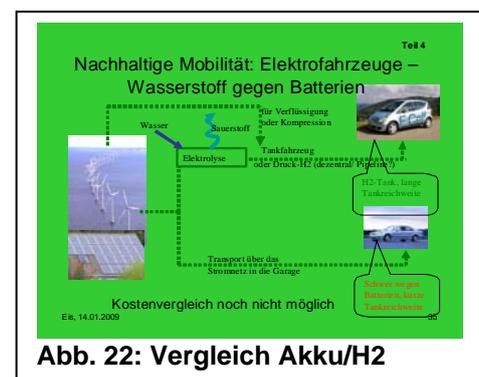


Abb. 22: Vergleich Akku/H₂

wäre eine Batterie für bequeme Tankreichweiten schwer und teuer und z.B. die Lebensdauer und Kosten der erforderlichen Brennstoffzelle ebenfalls noch unbekannt. So müsste die Brennstoffzelle durch ihre erhoffte Effizienz all die Umwandlungs- und Speicherverluste der Wasserstoffbereitstellung kompensieren, und der beträchtliche Energieaufwand bei der Herstellung von Batterien, Brennstoffzellen und anderen Komponenten muss auch berücksichtigt werden. Beide Wege bringen übrigens einen Vorteil für die Stabilität des elektrischen Netzes, weil sich sowohl die zeitliche Ladestrategie der Batterien wie auch der Betrieb der Elektrolyseure an den nach dem Netzzustand (z.B. dem momentanen Windstromaufkommen) richten kann. Ein Urteil ist noch nicht zu sprechen, weshalb die großen Automobilkonzerne beide Wege gründlich erforschen und auf dem Weg sind, sie in Versuchsflotten zu erproben. Ein großer deutscher Hersteller hält auch unverändert daran fest, dass sich ein Wasserstoff-Verbrennungsmotor im Hybridbetrieb der Brennstoffzelle als überlegen erweisen könnte. In jedem Fall sollte man nicht vergessen, dass beide Technologien ohne massive Subventionen noch lange keine Marktchancen haben, ja dass die Beteiligten wie selbstverständlich unterstellen, dass die „Zukunfts-Fahrzeuge“ generell keine Mineralölsteuer zu entrichten hätten, die Erhaltung der Verkehrsinfrastruktur also durch andere Steuern zu finanzieren wäre.

Wenn wir sehr langfristig, also über 50 Jahre hinweg auch weitgehend neue Gebäude ins Bild nehmen, die kaum noch Heizenergie brauchen müssten und sollten, dann können wir sogar erwarten, dass die an immer weniger Tagen erforderliche Restheizung ebenfalls elektrisch bereitgestellt wird, schon weil elektrische Heizsysteme auf der Anwendungsseite immissionsfrei und von der Investition her billig sind.

Die Antwort auf die Frage, was zu erwarten steht, könnte also lauten: eine „high efficiency all electric world“, in der große zentrale ebenso wie kleine dezentrale umwelt- und klimafreundliche Stromerzeuger/Kraftwerke den Strom in intelligente Netze einspeisen und die privaten und industriellen Verbraucher ihren Verbrauch mittels elektronischer Intelligenz ebenso an das Aufkommen, z.B. von Wind- und Solarstrom anpassen, wie die großen Kraftwerk nach wie vor ihren Betrieb an den resultierenden Bedarf anpassen werden. Der Verkehr wird elektrischer. Auch die erneuerbaren Energien werden der Kostendegression folgend in immer zentraleren, größeren Einheiten verarbeitet; entgegen mancher Dezentralitäts-Propheten wird der Strom auch über große Entfernungen transportiert werden, sei es aus off-shore Windparks oder solarthermischen Kraftwerken in Nord-Afrika, nationale Netze werden zusammenwachsen und eines Tages auch Solarstrom aus den Sonnengebieten des Südens nach Seeheim-Jugenheim bringen, wenn dies die nachhaltig günstigste Versorgung werden sollte.

Mehr über den Autor und andere Vorträge, Texte etc unter www.amrehsprung.de
Oder einfach bei Google „Gerd Eisenbeiß“ eingeben.