



Energie

Was kann ich wissen?

Was soll ich tun?

Was darf ich hoffen?

Dr. Gerd Eisenbeiß

Karlsruhe

16. September 2009

Vortrag auf Einladung der Gesellschaft
zur Pflege wissenschaftlicher Kontakte
im Haus „Heinrich-Hertz“

Energie
Was kann ich wissen?
Was soll ich tun?
Was darf ich hoffen?

Dieser Vortrag handelt von der großen Herausforderung unserer Zeit, die lebensnotwendige Energieversorgung für jedermann erschwinglich, sicher und sauber, insbesondere klimaschonend bereit zu stellen. Ein so umfassendes Thema auch nur annähernd vollständig abzuhandeln, ist in einer Stunde nicht einmal oberflächlich möglich; hier ist das auch sicher nicht notwendig, weil wir alle tagtäglich über Klimaschutz und Energiepolitik lesen und hören. Ich werde daher etwas auswählen und dabei so wichtige Teilthemen wie Energieeffizienz, Biomasse und Ernährung oder die Phänomene des Klimawandels und seine schlimmen Folgen kaum berühren¹.

Bei der Abhandlung des großen Themas erweisen sich die **drei Kant'schen Fragen** der Philosophie auch für das Energiethema als sinnvoll. Sollte man sich doch immer, wenn es um die Zukunft geht, zunächst fragen, was an Wissen vorhanden ist, und dann, was zu tun oder zu unterlassen ist. Am Ende darf man dann vorsichtig fragen, was man erhoffen darf.

Dieser so hochgestochen mit Kant beginnende Vortrag soll sofort auf den Boden politischer Niederungen gezogen werden – frei nach einem Zitat von Woody Allen: „Was Sie schon immer über ... wissen wollten und sich nie zu fragen trauten“.

	öff. Vermutung	meine Sicht
Ist Öl in 30 Jahren aus?	ja	nein
Werden Kohle und Kernenergie subventioniert?	ja	nein
Sind Kohlekraftwerke Dreckschleudern?	ja	nein
Gibt es Leukämiecluster nur im Umkreis von KKW?	ja	nein
Sind erneuerbare Energien billig(er)?	ja	nein
Wird Solar- und Windstrom subventioniert?	ja	nein
Teurere Energiequellen schaffen Arbeitsplätze	ja	nein
Ist Wasserstoff die Zukunft?	ja	eher nein
Ist elektrischer Strom die Zukunft?	?	eher ja
Wird die Welt der EU beim Klimaschutz folgen?	schau'n wir mal!	

Nehmen wir also die Woody Allen–Liste und fragen, ob die weithin als sicher geltende Antwort „ja“ auf die erste Frage richtig ist:

Ist **Öl** in 30 Jahren aus? Gewiss nicht! Allerdings spricht alles dafür, dass der aus dem Verbrauchs- und Förderwachstum der Vergangenheit fortgeschriebene Bedarf nicht mehr gedeckt werden kann. Das ist vielleicht keine exakt quantitative Aussage, weil man sich bei beliebigen Kosten natürlich alles Mögliche vorstellen kann, z.B. die Entdeckung großer Vorräte in heute eisbedeckten Weltgegenden. Aber wird so teuer

¹ Wenn die Meinungen des Autors zu diesen Themen interessieren, kann man unter www.amrehsprung.de einige ergänzende Texte finden.

zu förderndes Öl noch wettbewerbsfähig sein gegenüber Einsparungen und Alternativen, über die wir noch zu sprechen haben? Und werden die Menschen etwa in Kanada oder Venezuela tatsächlich zulassen, dass riesige Territorien vom Abbau der dort liegenden teerigen Öle in Sänden und Schiefen verwüstet werden? Werden sie jenseits der Verwüstung und Verschmutzung die enormen Treibhausgasemissionen hinnehmen, die mit dem Energieeinsatz bei diesen Abbaufahren verbunden sind?

Nachdem nun schon seit vielen Jahren weniger Öl gefunden als verbraucht wird, müssen wir davon ausgehen, dass die Marktsituation dauerhaft von Knappheit und steigenden Preisen gekennzeichnet bleibt.

Öl geht also nicht aus, sondern der Ölverbrauch wird immer teurer und die Nachfrage nach Öl wird sich nach unten korrigieren, weil eben nicht genug angeboten werden kann. Aber es wird nach menschlichem Ermessen immer Öl geben und die Frage bleibt, wo es mit dem größten Nutzen eingesetzt wird. Meine Aussage dazu ist: die letzten Tropfen werden in einem Flugzeug verbrannt, die vorletzten in einem Auto.

Beim **Erdgas** sieht es übrigens ähnlich aus, nur um vielleicht 20 bis 30 Jahre verschoben. Was die Ölschiefer als problematische Quelle weiterer Ölversorgung sind, sind die **Methanhydrate** an den Kontinentalrändern für das Erdgas. Selbst wenn ein ökologisch vertretbares Abbaufahren gefunden wird, wird es teuer sein und unter Klimaschutzaspekten hochproblematisch. Die sicher übertrieben optimistischen Mengenschätzungen dieser Methanvorkommen wären bei ihrer weitgehenden Nutzung eine Treibhausgasquelle, die die **Erwärmung im globalen Treibhaus** noch um vieles erhöhen würde. Also wird auch Gas nicht einfach ausgehen, sondern über Knappheit und Preis seinen eigenen Marktanteil verringern. Fragt man, wo teures Gas am leichtesten einzusparen, bzw. den größten Anwendungsnutzen bringen wird, so vermute ich, dass man das Erdgas weitgehend aus dem Heizungsmarkt durch effizientere Gebäude verdrängen wird, aber dass dafür Gas sehr viel stärker im Verkehr eingesetzt wird, um das knappere Öl zu ergänzen. Das kann als komprimiertem Erdgas (CNG) geschehen, als Wasserstoff aus Reformierungsprozessen oder auch als Strom aus hocheffizienten Gas-Kraftwerken. GuD-Kraftwerke scheinen ja die Patentlösung zu sein, wenn man auf relativ billige Weise die CO₂-Emissionen vermindern, also Kohle vermeiden will und zugleich eine flexible Ergänzung zu den erratischen erneuerbarer Stromquellen sucht, dabei aber Kernenergie ablehnt..

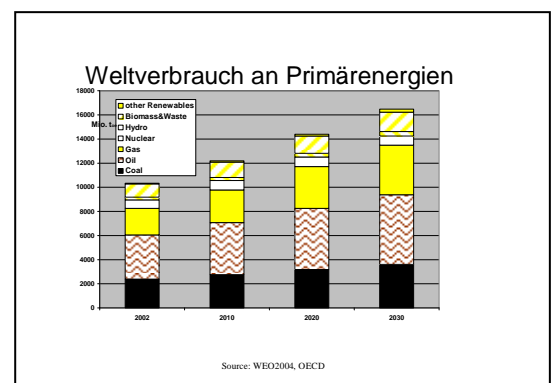
Wir wissen also, dass die Kohlenwasserstoffe Öl und Gas knapp und teuer werden, also sollten wir zu Einsparungen und weniger problematischen Alternativen übergehen, und wir dürfen – nein, wir können nur hoffen, dass die Menschheit verantwortlich mit Natur und Umwelt umgeht, also nicht jedes Vorkommen ausbeutet, wenn die Schäden nach der raschen Befriedigung momentanen Bedarfs langfristig bleiben. Die Hoffnung ist also eine von allen akzeptierte neue Wirtschaftsweise ohne Raubbau an den natürlichen Ressourcen, die dem Ziel der Nachhaltigkeit entspricht; dazu bekennen sich ja heute fast alle Politiker – sie finden allerdings keinen Konsens darüber, wer welche Opfer für dieses erhabene, ja notwendige Ziel zu erbringen hat.



Wenn wir uns jetzt die Kohle vornehmen, dann begegnen uns viele Fakten wieder, insbesondere der CO₂-bedingte Treibhauseffekt. Da ich aber eine Reihe von Fragen als Leitfaden aufgelistet habe, möchte mit der deutschen Sage beginnen, **Kohle** werde bei der Stromerzeugung subventioniert.

Wenn ich das verneine, dann deshalb, weil in der deutschen Diskussion deutsche Steinkohle und Import- sowie Braunkohle verwechselt werden. Nur die deutsche Steinkohle wurde und wird aus Gründen der Versorgungssicherheit auf das Niveau der Importkohle herunter subventioniert; hätte man das nicht getan, wäre der Kohlestrom nicht teurer geworden, er wäre eben mit billiger Importkohle produziert worden. Das gleiche gilt übrigens auch für die Kernenergie aus den kommerziellen Reaktoren der Druck- und Siedewasser-Technologie. Denn die vielen Milliarden DM der deutschen Atomprogramme haben weder die Errichtung noch den Betrieb dieser Kernkraftwerke unterstützt, wie dies heute bei der Windenergie oder der Biomasseverwertung gemacht wird, um dem so erzeugten erneuerbaren Strom Marktchancen zu geben; allerdings haben die Atomprogramme mit einem kleineren Anteil der Mittel dazu beigetragen, dass die Reaktoren nicht von Westinghouse und General Electric, also den Amerikanern, gekauft werden mussten, sondern bei Siemens und AEG kompetente Mannschaften entstanden, die eine hervorragende eigene Technik entwickeln konnten, die bald frei war von den amerikanischen Lizenzen. Deutschland hätte also wie z.B. Belgien oder Spanien ohne jede Förderung Kernenergie als Importtechnik nutzen können, wenn es die Kernenergie-orientierten Teile der Atomprogramme nicht gegeben hätte. Nun wird bei dieser Frage oft auf den Schnellen Brüter in Kalkar hingewiesen, dabei aber übersehen, dass dies reine Forschung im Neuland war, die keinerlei Subventionswirkung auf die Kosten und Preise von Kernenergiestrom hatte.

Aber diese Fragen, die die Diskussion der Vergangenheit erhitzt haben, als es um vermeintliche Benachteiligung der erneuerbaren Energien ging, sind eigentlich nicht mehr interessant für die Zukunft. Heute wird den erneuerbaren Energien schlicht die Profitabilität gesetzlich garantiert; dagegen sind **Kohle und Kernenergie** unter Beschuss wegen ihrer Umweltrisiken vor allem bei der Entsorgung der Rückstände. Allerdings sind weder Kohle- noch Kernkraftwerke „Dreckschleudern“, wie heute vielfach zu hören ist; beide Stromquellen sind im Normalbetrieb äußerst sauber. Aber es lässt sich nicht leugnen, dass wir gegen den Treibhauseffekt der Kohleverbrennung noch weniger eine reife Lösung haben als für die Entsorgung der abgebrannten Brennelemente aus Reaktoren. Die nukleare Entsorgung ist nach meiner Überzeugung vor allem ein politisches Problem, weil die Politik zwar behauptet, eine schnelle Entsorgung zu wollen, zugleich aber wegen der Widerstände zögert, die von ihren grünen Teilen strategisch organisiert wird, um das gesamte Kernenergiesystem zu blockieren - sogar die Lagerstättenforschung. Die Entsorgung des CO₂ aus der Kohleverbrennung ist dagegen wesentlich weniger als gelöst anzusehen. Und das ist eines der Schlüsselprobleme nachhaltiger Energieversorgung der Zukunft, weil Kohle reichlich, preiswert und relativ versorgungssicher vorhanden ist – also eine Lösung des Energieproblems für wenigstens ein Jahrhundert wäre, wenn sie ohne Klimagefährdung genutzt werden könnte. Umgekehrt wird die Versuchung für viele Menschen und Staaten groß sein, die billige Kohle ohne



besonderen Aufwand für Klimaschutz zu nutzen, wie das heute – noch? – überall geschieht.

Die Ingenieure sind heute eigentlich überzeugt, dass der erste Teil des Problems, die Abtrennung des CO₂ aus dem Verbrennungsprozess, bis auf das scale-up zur Dimension von Großkraftwerken gelöst werden kann. Insbesondere der konventionellste Weg, die chemische **Wäsche der Rauchgase** mit Rezyklierung des Waschmittels (eigentlich Absorptionsmittels), gilt als machbar aber sehr teuer: die Wirkungsgrade der Stromerzeugung dürften von fast 50% eines Dampfkraftwerkes heute auf unter 40% sinken und natürlich sind die zusätzlichen Investitionen beträchtlich.

Sehr neuartig ist das alternative Verfahren einer **Kohleverbrennung mit reinem Sauerstoff**; dies verlagert die Trennaufgabe auf die Luftzerlegung vor der Verbrennung, also die Abtrennung des Stickstoffs der Luft. Es klingt einfach, weil das Verbrennungsprodukt aus Kohle und reinem Sauerstoff nahezu reines Kohlendioxid ist; allerdings handelt es sich hier um eine völlig neue Technologie mit ganz anderen Werkstoffen und Verfahrensschritten als im konventionellen Kraftwerkbau.

Ein weiterer Weg nutzt die bereits mehrfach realisierte Technologie der **Kohlevergasung**. Soweit man mit Wasserdampf und reinem Sauerstoff vergast, wird auch hier eine leistungsfähige Luftzerlegungstechnologie gebraucht. Im ersten Verfahrensschritt wird hier ein Wasserstoff-reiches Gasgemisch erzeugt, das auf verschiedene Arten weiter verarbeitet werden kann. Verbrennt man es in einer Gasturbine mit nachgeschalteter Dampfturbine, so kann ein Wirkungsgrad über 50% erreicht werden – allerdings bei erhöhten Stromkosten (einige dieser IGCC-Kraftwerke wurden bereits gebaut). Muss man allerdings das CO₂ aus dem Prozess entfernen, dann ist nach der Vergasung mit geringeren Kosten und Verlusten möglich als nach der Verbrennung durch Rauchgaswäsche. Wird also demnächst die weitgehende Abtrennung und Entsorgung des CO₂ bei Kohle-Kraftwerken vorgeschrieben, dann werden IGCC-Kraftwerke wohl das Rennen machen.

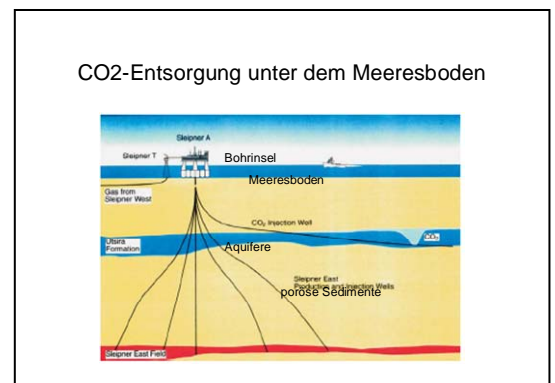
Hinzuzufügen ist, dass die Kohlevergasung auch andere Energieprodukte ermöglicht: so kann das primär erzeugte Synthesegas zur Erzeugung von Chemikalien wie z.B. Methanol oder Kunststoffen genutzt werden; es kann in einer Fischer-Tropsch-Synthese zu hochreinen Kohlenwasserstoffen, also Benzin, Kerosin oder Diesel synthetisiert werden oder die Zusammensetzung kann in einer Shiftreaktion ganz zum Wasserstoff verschoben werden. Damit öffnen sich Kohlenutzungspfade mit oder ohne CO₂-Abtrennung, die den Energieverbrauch an Strom, Wärme und Kraftstoff auf mehrere Weisen erreichen könnten:

- über den Strompfad auf großen Kraftwerken, auch für Wärmepumpen, elektrische Restheizung und Elektro-Fahrzeuge
- als synthetisches Erdgas, also Methan, für dezentrale Wärme-Kraftkopplungsaggregate in Gebäuden und Nachbarschaften mit Nahwärmeversorgung, möglicherweise auch zur Betankung von Fahrzeug mit CNG.
- als Wasserstoff, zunächst bis zur Toleranzgrenze ins Erdgas gemischt, zur Versorgung insbesondere von Brennstoffzellen in stationärer Wärme-Kraftkopplung oder Fahrzeugantrieben.
- als Fischer-Tropsch-Kraftstoff für Fahrzeuge (solche Anlagen laufen seit Jahrzehnten in Südafrika aus Autarkiegründen).

Bei einigen dieser Pfade stehen dem schlechte Wirkungsgrad der „Kohleveredelung“ (kaum 50% ohne CCS, mit CCS noch niedriger) und den hohen Kapitalkosten der Anlagen der Vorteil gegenüber, dass bestehende Infrastrukturen wie Pipelines und Verteilnetze, bzw. die Tanklogistik weitgehend unverändert genutzt werden können. Zur Zeit gibt es einen regelrechten Boom an geplanten Kohlevergasungsanlagen, vor allem in China und USA: insgesamt waren 2008 31 Anlagen mit einer thermischen Leistung von fast 150 GW mit angeschlossener Fischer-Tropsch-Synthese geplant und 28 Vergasungsanlagen mit gut 30 GWth für die Erzeugung von Strom, Chemikalien und SNG, also synthetischem Erdgas.

Welche Zukunft die Kohle in unserem Land, in der EU oder anderswo haben wird, ist nicht sicher vorhersagbar, nicht nur, weil viele Technologien und Komponenten noch in der Entwicklung sind, sondern auch weil lokale Faktoren (Kohleverfügbarkeit, Kohleart, bestehende Infrastrukturen) entscheidend eingehen. Über allen Unsicherheiten stehen aber die offenen Fragen, welche Rahmenbedingungen aus den laufenden Klimaschutzverhandlungen hervorgehen werden und ob überhaupt die wesentlichen Mehrkosten der CO₂-Abtrennung und Endlagerung irgendwo hingenommen werden. Ehrlich gestanden, sieht es nicht danach aus; hoffen dürfen wir natürlich.

Während nach heutigen Abschätzungen der Schwerpunkt der Mehrkosten klimafreundlicher Kohle-Kraftwerke bei der Abtrennung des CO₂ liegt, ist die Entsorgung des Klimagases ein Problem der zuverlässigen Dichtigkeit geologischer **Endlagerstätten** für alle Zeiten und der öffentlichen Akzeptanz solcher Endlager, nicht unähnlich den Problemen im nuklearen Bereich. Insbesondere die Norweger haben Erfahrung gesammelt mit der Einpressung von CO₂ in jene Sedimente und Aquifere unter dem Meeresboden, aus denen sie Gas fördern. Wenn solche Lagerstätten nicht durch zu viele Versuchs- und Produktionsbohrungen undicht sind, sollte das CO₂ dort ebenso verbleiben wie zuvor das Methan; obendrein entlastet die stimulierte Zusatzförderung von Restmethan die Kosten Seite der Verpressung. Überschlagsrechnungen zeigen aber, dass die beseitigte CO₂-Menge in derselben Größenordnung liegt wie diejenige, die durch das zusätzlich geförderte Methan erzeugt wird. Immerhin haben die Erfahrungen Norwegens ermutigt, der EU einen weitreichenden Entsorgungsvorschlag zu machen, nämlich das abgetrennte CO₂ der Kraftwerke in einem Pipelinesystem zu sammeln und unter der nördlichen Nordsee in salzige Aquifere einzulagern, wo gute Chancen bestehen, dass das CO₂ nicht nur verbleibt sondern auch allmählich im Sediment adsorbiert wird oder gar Verbindungen eingeht, die als Mineralisierung enden könnten. Solche Aquifere gibt es allerdings auch an vielen Stellen des Festlands, so dass eine gewisse Menge an CO₂ vielleicht auch kostengünstiger am Kraftwerksstandort entsorgt werden könnte; das dürfte die Standortwahl bei neuen Kraftwerken beeinflussen.



Auf die Frage, was sollen wir tun, gibt es hier eine klare Antwort: wir müssen den Bau von Demonstrationskraftwerken mit CO₂-Abtrennung finanziell möglich machen, wie es die EU im Rahmen ihres Energie- und Klimapakets für ein Duzend Projekte in Aussicht gestellt hat; einige deutsche Unternehmen wie RWE (Rauchgaswäsche beim Braunkohle-Kraftwerk in Niederaußem) und Vattenfall (Oxycoal in Schwarze Pumpe) haben bereits mit Versuchsanlagen begonnen; in allen großen Kohle nut-

zenden Ländern entstehen zur Zeit ähnliche Anlagen. Auf die Frage „was dürfen wir hoffen“ wäre also die Antwort: zumindest hoffen dürfen wir, dass die Abtrennung und Endlagerung des CO₂ aus Kraftwerken gelingt – sicher ist das allerdings nicht!

Und wir sollten uns auf einen großen gesellschaftlichen Konflikt in Deutschland über die weitere Kohlenutzung einstellen, der ja schon begonnen hat: ähnlich der Schlacht gegen die Kernenergie sind engagierte Gruppen dabei, umfassende Argumente für die Verteufelung der Kohlenutzung zu sammeln; ökologisch sehen sie mit einer gewissen Berechtigung ausschließlich die erneuerbaren Energien als zulässig an, wirtschaftlich meinen sie diese Energiequellen seien auch deutlich billiger und gesellschaftlich werden sie überall, wo Kohlekraftwerke oder gar CO₂-Endlager geplant werden, zum aktiven Widerstand aufrufen, der dann hoffentlich wenigstens freidlich bleibt.

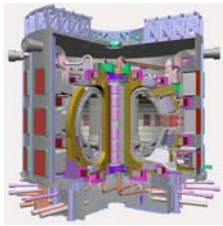
Ich sollte hier eine kurze Bemerkung zur **Kernfusion** machen. Dabei gilt nämlich dasselbe. Wir sollen, ja wir müssen in teuren Schritten der Forschung und Entwicklung herausfinden, ob die Kernfusion zu technisch-wirtschaftlichen Bedingungen gelingt. Physikalisch ist sie längst gelungen, aber die Werkstoff- und Verfahrensfragen eines kommerziellen Reaktors sind noch deutlich offen. Wie bei der CO₂-Entsorgung können wir erst für die Zeit nach 2020 hoffen, dass Demonstratoren wie der Fusionstestreaktor ITER in Frankreich die Zahl der offenen Fragen reduzieren; bis 2050 wird man brauchen, um einen ersten kommerziellen Reaktor zu bauen, wenn sich die Probleme bis dahin nicht als unüberwindlich erweisen sollten. Aber Hoffnung ist erlaubt und der Weg bis zum Ziel darf sehr teuer sein, weil das Energiepotenzial der sauberen und klimaneutralen Kernfusion größer wäre als alles, was wir sonst kennen.

Zukunftshoffnung Kernfusion

Fusion steht technisch noch lange nicht zur Verfügung; im Erfolgsfall der Forschung ab 2050.

Die Brennstoffe Lithium und Deuterium (schwerer Wasserstoff) bilden keine Begrenzung.

Energiepotenzial riesig



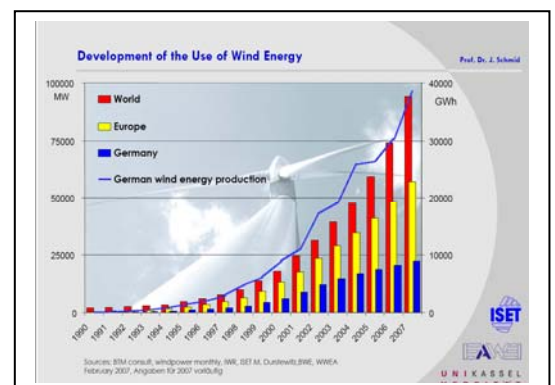
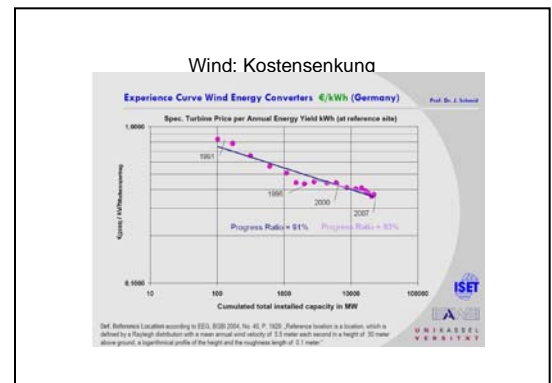
Der Testreaktor ITER

Ich will nicht viel zur **Kernspaltungsenergie** sagen, deren Nutzung in demokratischen Rechtsstaaten mit hoher technischer Kompetenz ich zwar für sicherheitstechnisch verantwortbar halte, die aber nicht im Mittelpunkt der deutschen Diskussion stehen sollte. Für das Klima der Erde und die Energieversorgung der Menschheit ist sie nicht allzu wichtig. Selbst wenn die Prognosen wahr werden, dass bis 2030 400 neue Reaktoren gebaut werden, wäre das doch nur der Ersatz der heute bereits 440 laufenden und überwiegend schon alten Kernkraftwerke. Schon Kaiser Wilhelm musste erkennen, dass die Welt nicht am deutschen Wesen genesen will; und wir sehen ja, dass das deutsche Ausstiegsbeispiel eben nicht Schule macht, sondern anderenorts Kopfschütteln auslöst. Warum die Debatte in Deutschland so anders verlaufen ist, fragte mich vor etwa 5 Jahren ein kanadischer Diplomat; ich will hier gerne meine Antwort wiedergeben, zu der ich auch heute noch stehe: vor allem meine Generation, die ihre Eltern gefragt hat, warum sie nichts gegen Hitler getan hat, - gerade diese Generation hat aus der Geschichte die Lehre oder wenigstens die Absicht gezogen, dass von Deutschland nie mehr ein großes Problem ausgehen dürfe. An der durchaus problematischen Kernenergie konnte man sich dann in den 70er und 80er Jahren des letzten Jahrhunderts als prinzipientreu erweisen! Und die Diskussion um z.B. „Genfood“ oder Klimaschutz läuft nach demselben Muster. Mein Resümee nach der Schlacht um die deutsche Kernenergie, die ich selbst in den 70er Jahren an verantwortlicher Stelle der Bundesregierung geführt habe, ist: da ist nichts

zu hoffen; keine deutsche Partei wird bürgerkriegsähnliche Auseinandersetzungen riskieren, allen ist letztlich der innere Friede wichtiger als Reaktoren. Die Erwartung, dass eine neue Generation in Deutschland vielleicht entspannter auf Nuklearprojekte reagieren wird, hat nicht berücksichtigt, dass unsere Kinder in den Schulen von anti-nuklear sozialisierten Physiklehrern unterrichtet werden. Und was die Kernenergienutzung in anderen Ländern angeht, so ist mir recht unwohl, dass die sogenannte Renaissance der Kernenergie vorwiegend in nicht-demokratischen Ländern statt findet; denn verantwortungsvoller Umgang mit Kernenergie verlangt hohe Kompetenz und unabhängige Kontrolle, wie sie nur in demokratischen Rechtsstaaten gewährleistet ist.

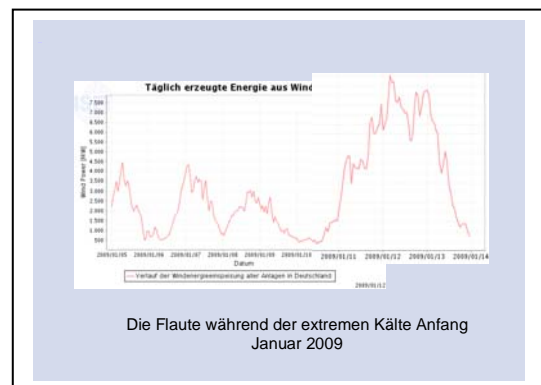
Erneuerbare Energien sind hingegen allseits beliebt, obwohl sie keineswegs billig sind oder gar billiger als Kohle, Öl, Gas und Kernenergie. Für eine konsequente Klimaschutzpolitik sind sie unentbehrlich; da sie ohne staatliche Unterstützung kaum zur Anwendung kämen, haben fast alle europäischen Staaten das deutsche System kopiert, den stromerzeugenden Energiequellen, bzw. Energietechniken Kostendeckung und angemessenen Gewinn zu garantieren. Da diese Garantie nicht durch staatliche Zuschüsse, sondern durch Zuschläge auf den Strompreis finanziert werden, handelt es sich im EU-Recht tatsächlich nicht um eine Subvention. Nun mag das als juristische Spitzfindigkeit belächelt werden, aber es hat schon auch einen ethischen Kern: der heutige Verbraucher wird an den Kosten der Zukunftssicherung beteiligt, er hat nicht nur für den Verbrauch zu bezahlen, sondern auch für den längerfristigen Ersatz der unwiederbringlich verbrannter fossiler Energierohstoffe. Ich kritisiere dies nicht nur nicht, sondern ich bekenne mich sogar zu einer gewissen Erfinderrolle, weil ich ein solches System 1989 im Bundesforschungsministerium für die ersten 250 MW Windenergie durchgesetzt habe.

Windenergie hat seitdem und durch dieses Förderschema insbesondere in Deutschland einen beispiellosen Zuwachs gebracht; heute sind es mehr als 70 TWh oder 12% der deutschen Stromproduktion, die durch das mittlerweile gesetzliche Förderinstrument an Strom aus Wind, Sonne und Biomasse realisierbar wurden. Der damit vollzogene Einstieg in die Massenproduktion bei Wind und Photovoltaik sowie die Vergrößerung der Windanlagen bis in den Bereich von 5 MW mit 120 m Rotorspannweite haben zu beträchtlichen Kostensenkungen geführt. Während die Windenergie jetzt in anderen Weltregionen ähnliche Erfolge zeigt – allein China wird bis 2020 wohl 100 GW an Windenergiekapazität errichten – , neigt sich der Zuwachs in Deutschland spürbar nach unten; Grund sind Standortengpässe in unserem dicht besiedelten und weithin windschwachen Land. Deshalb ist nun der off-shore Bereich in der deutschen Nord- und Ostsee für Windparks zu erschließen. Obwohl der Wind dort stärker weht, eine Windmaschine bei gleicher Leistung 50 bis 100% also mehr kWh erzeugen kann, wird die kWh vom Meer zumindest vorerst deutlich, anfangs sogar 50% teurer werden. Zusätzlich steigen die Aufwendungen für den erforderlichen **Netzausbau**, sei es, um den Strom an Land zu bringen, und sei es, um den Strom dann in die Verbrauchszentren bis nach Süddeutschland zu bringen.



Weniger einverstanden bin ich mit der kostendeckenden Vergütung sehr viel teurer

Energien wie der **Photovoltaik** oder den Versuchen, **Kraftstoff aus Biomasse** herzustellen. Bei diesen Energien stehen die von der Gesellschaft zu tragenden Zusatzkosten in keinem vernünftigen Verhältnis zu anderen Maßnahmen insbesondere der Effizienzsteigerung und der Energieeinsparung. Was die Biomasse betrifft, so will ich nur sehr kurz bemerken: natürlich soll man einen verantwortbaren Teil der pflanzlichen und tierischen Abfälle energetisch nutzen – feuchte Substrate als Biogas und Holz etc direkt verbrennen. Alles andere ist im Wesentlichen unethisch, soweit es agrarische Anbaufläche benötigt und diese der Ernährung entzieht. Das ist leicht zu sehen, wenn man sich die Energiewertigkeit der **Weltagrarernte** ansieht: inklusive der Halme, Blätter etc beträgt der Energiewert gerade mal 14% des Weltenergieverbrauchs; davon brauchen wir die Hälfte als Nahrung! Und was die Photovoltaik angeht, so gibt es zwar eine weltweiten Boom, die Zellen kommen aber trotz deutscher Extremförderung – oder vielleicht gerade durch sie – mehr und mehr aus China.



Agrarisch erzeugte Biomasse für die Ernährung

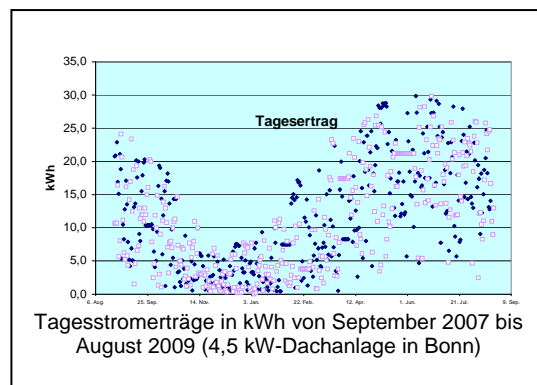
	Erntebereiche 2006 in Mio. t		
	Deutschland	EU-25	Welt
Getreide	45	250	2000
Olisaaten	5	20	400
Zucker	3	16	150

Quelle: BMELV vom 5. September 2006

Zusätzlich Abfälle in etwa gleicher Energiewertigkeit/Brennwert.

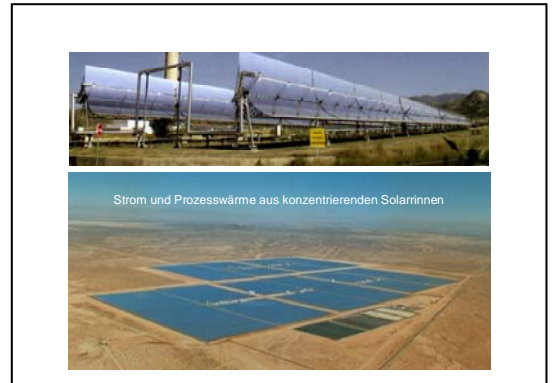
Also Gesamt-Ernte entspricht nur etwa 15% des Weltenergieverbrauchs.

Ich habe vor 2 Jahren eine Dachanlage von 4,5 kW installieren lassen und Mehrwertsteuerfrei 20.000€ bezahlt, davon 15.000€ für die Module; heute bekäme ich die Module aus deutscher Fabrikation für etwa 10.500€ und aus chinesischer Fertigung um 2.000€ billiger. Schaut man auf die Wirtschaftlichkeit, die bei meiner Anlage durch eine für 20 Jahre garantierte Vergütung von 49c/kWh gesichert ist, so käme ich heute bei einer Neuanlage mit gut 30c/kWh gut hin. Nun ist die oft verbreitete frohe Botschaft der Photovoltaik-Branche, dass man kurz der „Netzparität“ stehe, d.h. die Durchschnittskosten einer kWh sollen dann den Preisen entsprechen, die wir für eine kWh aus dem Netz beziehen. Ich halte das in einigen Jahren durchaus für möglich, muss aber auf das Missverständnis hinweisen, bei Netzparität benötige die Photovoltaik keine staatliche Hilfe mehr; es bliebe bei der Notwendigkeit, dass alle Verbraucher jene Netzdienstleistungen der Photovoltaik unentgeltlich zur Verfügung stellen müssen, die für die jederzeitige Stromverfügbarkeit erforderlich sind. Das Ertragsdiagramm meiner Dachanlage zeigt auch ohne die täglichen Ausfälle nachts, wie stark der Tagesertrag nicht nur saisonal, sondern auch täglich schwankt, also hohe Speicherkosten oder eben die Hilfe anderer Systemkomponenten benötigt.



Eine relativ kostengünstige Technologie der Solarstromerzeugung sind die **solarthermischen Kraftwerke**. Diese Technologie nutzt die direkte Sonnenstrahlung, konzentriert sie durch Spiegel und erzeugt so hohe Dampftemperaturen wie sonst Kohle im Kessel eines Kraftwerks. Natürlich ist auch diese Technologie ohne staatliche Unterstützung nicht wettbewerbsfähig; wo wie in Spanien diese Unterstützung

gewährt wird, werden solche Kraftwerke gebaut, wo nicht, wie in Nord-Afrika, gibt es keine Projekte, obwohl dort die Solarstrahlung noch besser ist. Nachdem die EU ende 2008 in ihrem Energie- und Klimapaket nicht nur nationale Quoten für erneuerbare Energien beschlossen hat, sondern auch Solarstromimport unter bestimmten Bedingungen auf diese Quoten anrechenbar sind, könnte es demnächst zu solarthermischen Kraftwerken auch in Nord-Afrika kommen. Notwendige Voraussetzung ist allerdings, dass es Transportleitungen durch das Mittelmeer geben wird. Es sieht so aus, als ob solche Leitungen als Hochspannung-Gleichstromkabel entstehen könnten. Dies ist ein wichtiges Thema auf der Agenda der 2008 gegründeten Mittelmeerunion. Sehr ermutigend ist die Initiative mehrerer deutscher Großunternehmen, den Bau von bis zu 100 GW Kraftwerkskapazität unter dem Projektnamen DESERTEC zu prüfen. Ich würde mich als derjenige, der die deutsche Kompetenz auf diesem Gebiet gegen den Willen der Bundesregierung in den 90er Jahren im DLR erhalten hat, natürlich sehr über positive Ergebnisse der Prüfung und konkrete Bauprojekte freuen.



Trotz der skeptischen Bemerkungen über erneuerbare Stromquellen sei hier eine ungefragte Antwort auf eine weitere Woody-Allen-Frage gegeben: „Kann man Deutschland mit erneuerbarem Strom zu 100% versorgen?“. Vielleicht überraschend lautet die Antwort: ja! Das Kasseler ISET hat im Maßstab 1:10.000 gezeigt, dass man mit allerdings sehr viel Wind, Solar-, Biomasse- und Speicherkapazität den Stromverbrauch zeitgerecht abdecken kann.

**Deutschlands Stromversorgung (410 TW)
zu 100% aus erneuerbaren Energien**

	Kapazität [GW]	Strom [TWh]	Strom %
Wind	126,0	223,0	54,2%
PV	55,0	61,5	15,0%
BG-BHKW	40,0	113,2	27,5%
µ-Turbine	0,3	0,0	0,0%
Speicher	10,6	3,0	0,7%
Import	10,0	10,5	2,6%
	241,9	411,2	

Eine ISET-Demonstration ohne Kostenangaben mit viel Speicher und dem gesamten Biomasseaufkommen.

Ich habe jetzt sehr viel über Stromquellen gesprochen, wenig über **Wärme- und Heizungstechnologien** und noch weniger über Kraftstoffe. Über Wärme möchte ich aus Zeitgründen nur bemerken, dass jedenfalls die für Heizung benötigte Wärme am besten durch sehr gute Wärmedämmung der Gebäude reduziert und gar vermieden werden kann. Verweisen sollte ich auch auf die sehr effizienten Kraft-Wärme-Kopplungstechnologien – seien es Fernwärmesysteme aus Großkraftwerken, dezentrale Blockheizkraftwerke oder Wärmepumpen, ggf. auf geothermischer Basis; letztere verbrauchen natürlich Strom und tragen zu dessen wachsenden Marktanteilen bei.

Sehr kritisch ist zu sehen, dass es eine klare Bevorzugung erneuerbarer Stromquellen gegenüber Effizienzmaßnahmen sowohl beim Wärme- wie auch Stromverbrauch gibt, obwohl erstere häufig teurer sind: die über 20 Jahre garantierten Einspeisevergütungen für erneuerbaren Strom bevorzugen nicht nur erneuerbaren Strom durch die finanzielle Förderung, sondern sie stellen solche Investitionen auch von Preis- und Profitrisiken frei, während Investitionen in Effizienz und Einsparung die Unsicherheiten weiterer Preisentwicklungen voll tragen müssen.

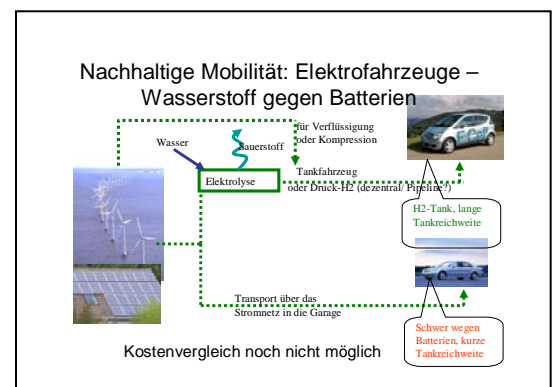
Kraftstoffe für den Auto- und Flugverkehr sind heute zu fast 100% Ölprodukte; Beimischungen von Pflanzenöl oder Bioethanol erreichen sicher noch keine 5%. Auch die paar Millionen Gasfahrzeuge weltweit stellen noch keine wirksame Diversifizie-

rung dar. Für die Zukunft gibt es eigentlich nur zwei große Lösungen: die Kohle oder erneuerbarer Stromquellen. Es ist interessant, dass die meisten nachhaltigen Energiequellen direkte Stromerzeuger sind wie Wasser- und Windkraft, Wellen- und Meeresströmungsenergien oder Photovoltaik; für eine evtl. chemische Herstellung von Kraftstoffen sind zudem die Temperaturen einer Reihe anderer Energiequellen zu niedrig, etwa die der Druckwasser- und Siedereaktoren, solarer Kollektoren oder der Geothermie. Es liegt daher als eine Alternative nahe, auf elektrischen Straßenverkehr zu setzen, wie das seit kurzer Zeit populär geworden ist. Dabei gibt es zwei Wege: das **Batterie-Fahrzeug** mit Strom „aus der Steckdose“ oder das Brennstoffzellen-Fahrzeug mit Strom aus der Brennstoffzelle an Bord; auch letzteres verbraucht letztlich Strom, der zunächst in Elektrolysen den **Wasserstoff** herstellen muss. Dieser benötigt dann eine neue Tanklogistik und Wasserstofftanks, die den entweder bei minus 251°C verflüssigten oder auf 700 bis 800 bar komprimierten Wasserstoff crash-sicher aufnehmen müssen. In beiden Fällen sind die innovativen Logistik- und on-board-Systeme, also die Batterien, Brennstoffzellen und die Wasserstofftanks noch lange nicht befriedigend entwickelt; sie sind noch nicht zuverlässig genug und sie sind zu teuer und /oder zu schwer; vielleicht benötigt ihre Herstellung mehr Zusatzenergie als sie über ihre Lebensdauer einsparen – ich kenne zumindest noch keine Untersuchung zu einer vollständigen Energiebilanz. Wieder ist klar, was wir tun müssen und worauf wir hoffen dürfen: wir müssen forschen und auf einen Entwicklungserfolg hoffen.

Die nachhaltigen Energiequellen der Zukunft machen Strom

Nachhaltige Energiequellen	produziert		Kraftstoff
	Strom	Hoch- / Nieder- / Mitteltemperatur-Wärme	
Wasserkraft	X		
Sonne - PV	X		
Sonne - Kollektor		X	
Sonne - Rinnen/Türme	X	?	X
Wind	X		
Gezeiten, Wellen	X		
Geothermie	(X HDR)		X
Biomasse - fest	X		X (X BTL)
Biomasse - flucht	X		X (X Biogas)
Biomasse - Oplanden			X
Kohle - Kraftwerk/CCS	X		X
Kohle - H ₂ O-Reduktion			X (X CTL)
Kernenergie	X	(X AHTR)	X
Fusion	?	?	?

Strombedarf wächst überdurchschnittlich!
Niedertemperatur-Wärme ist einsparbar.



Nun heißt es oft, die deutsche Autoindustrie habe etwas verschlafen; ich kann das nicht erkennen. Es ist noch überhaupt nicht klar, ob die deutschen Hersteller aus der aktuellen Krise des Automarktes schlechter heraus kommen als die Fiats, Renaults oder die Japaner; dass die unsinnigen Abwrackprämien kleine Wagen bevorzugen, ist kein Beweis. Auch Toyota hat die Produktion 2009 kürzen müssen; dass Japaner früher als Deutsche Hybrid-Fahrzeuge auf den Markt gebracht haben, hat sie viel Geld gekostet – die deutschen Hersteller haben sich da vernünftig zurück gehalten, aber die Forschung keineswegs vernachlässigt. Es ist bei solchen Innovationen oft besser, der zweite oder dritte zu sein, wenn man nur gut ist und aus den Fehlern der Ersten lernt! Wir dürfen hoffen, dass die deutschen Autofirmen gut genug sind, jene raschen Verbesserungen der Verbrauchs- und Emissionswerte zu realisieren, die sie von hohen Strafzahlungen der EU-Klimaschutzpolitik schützen sollen.

Wenn ich trotz meiner Einschätzung, dass Elektro-Batterie-Fahrzeuge das Rennen machen werden, wenn Kohlenwasserstoff-basierte Kraftstoffe ihre Wettbewerbsfähigkeit verloren haben werden, nochmals auf den Wasserstoffpfad kommen muss, dann wegen der Möglichkeit, dass dieser **Wasserstoff aus Kohle** ohne CO₂-Emissionen gewonnen werden kann, wie ich dies im Kohleteil erörtert habe. Ich traue mir keine Bewertung zu, ob dieser Pfad sich als günstiger/attraktiver erweisen könnte, als die Erzeugung von Strom, der ja ebenfalls Fahrzeugen als Kraftstoff dienen kann.

Auch für die Kraftstoff- und Autofrage ist die zweite Kant'sche Frage „Was sollen wir tun?“ klar mit „mehr und schnellere Forschung“ zu beantworten, damit alle Kostensenkungsmöglichkeiten erkannt und entwickelt werden; denn erst dann wird man beurteilen können, welcher der Pfade attraktiv genug ist, um am Markt bestehen zu können. Eines aber ist sonnenklar: Mobilität wird in Zukunft wesentlich teurer und weniger komfortabel sein als heute mit den idealen Kraftstoffen Benzin, Diesel und Kerosin! Das wird erhebliche Folgen auf die Entwicklung von Industrie- und Siedlungsstrukturen haben und so manche globale Arbeitsverteilung zugunsten regionaler Versorgungsstrukturen zurück drängen. Für viele ökologisch denkende Menschen ist dies zugleich eine Hoffnung.

Was können wir also hoffen?

McKinsey und andere werden nicht müde, der Welt vorzurechnen, dass Klimaschutz bezahlbar ist – ja, lohnend und wahrhaft notwendig ist, um jene Nöte abzuwenden, die ein zu starker Klimawandel bringen wird. „Nur“ 810 Mrd. € seien an Investitionen erforderlich, um 2030 40% weniger Treibhausgase zu emittieren als 1990. Deutschland hat sich ein 40%-Ziel für 2020 gesetzt, wenn die EU als ganzes ein Ziel von 30% beschließt. Die EU wiederum hat Ende 2008 eine Aufstockung ihres 20%-Zieles für den Fall beschlossen, dass es zu einem wirksamen Post-Kyoto-Abkommen aller Staaten kommt. Präsident Obama strebt an, die Emissionswerte bis 2020 etwa auf die von 1990 zurück zu führen; noch ist unklar, ob ihm der Senat folgen wird, nachdem es im Repräsentantenhaus eine knappe Mehrheit gegeben hat. Für 2050 besteht eine allgemeine Übereinstimmung, dass die Treibhausgasreduktion 80 bis 95% betragen sollte. Wenn wir also hoffen dürfen, dass alle so mitziehen, dann dürfen wir hoffen, dass die globale Erwärmung vielleicht doch bei etwa jenen 2° plus bleibt, die den Wissenschaftlern als gerade noch erträglich erscheinen. Im Hinblick auf ein globales Abkommen sind diese USA-Ziele den Schwellen- und Entwicklungsländern nicht weitgehend genug; auch Australiens Parlament hat trotz Regierungswechsels eine 5% Absenkung der CO₂-Emissionen abgelehnt und Berlusconi fordert ohnehin, den Klimaschutz zurück zu stellen. Niemand weiß daher, ob es daher zu einem Klimaschutzabkommen kommen wird, das seinen Namen verdient.

Leider folgt die Politik als Kunst des Interessenausgleichs nicht der ökonomischen Vernunft minimaler Kosten. Statt den Kohlenstoffeinsatz in den Volkswirtschaften einheitlich zu begrenzen, was zumindest für das dominante Treibhausgas CO₂ absolut zwingend wirkte, hat man in Berlin, Brüssel und Kyoto begonnen, einen Flickenteppich unterschiedlichster Einzelmaßnahmen zu knüpfen, der nicht nur wegen uneinheitlicher CO₂-Vermeidungskosten sondern auch wegen unangemessen hoher Verwaltungs- und Transaktionskosten suboptimal ist. Gäbe es die einheitlich **Kohlenstoffeinsatzlimitierung**² und –Lizenzierung, hätten alle beteiligten Subjekte ein einheitliches Preissignal, das sie auf etwa gleiche CO₂-Vermeidungskosten hinführen würde. Leider dürfen wir auf ein solches System minimaler Kosten nicht hoffen, sondern müssen uns als politische Realisten weiterhin auf eine nur für Experten durchschaubares System vielfältiger Einzel- und Spezialregelungen einstellen, die unnötig hohe Klimaschutzkosten verursachen werden und die man mit Recht Flickschusterei nennen darf.

Auf der optimistischen Seite könnte man über die Aussicht ins Schwärmen kommen, dass eines nahen Tages tatsächlich alle Staaten wirksamem Klimaschutz nicht nur

² Dazu sind auf www.amrehsprung.de mehrere Veröffentlichungen des Autors dokumentiert.

zugestimmt, sondern auch die teilweise harten Maßnahmen tatkräftig realisieren. Denn eine solche Einigung hätte so viele Voraussetzungen und Folgen auf alle Lebensbereiche, dass die **Vision einer Weltregierung** nicht mehr ganz so utopisch erschiene wie heute.

Da man einen Vortrag mit einer positiven Aussicht, also damit, dass wir hoffen dürfen, abschließen sollte, möchte ich ganz am Schluss eine vielleicht überraschende historische Tendenz ins Bewusstsein bringen – nämlich, dass der Mensch auf seinem unvollendeten Weg zum homo sapiens u.a. die gewaltige kulturelle Leistung vollbracht hat, immer größere politische Einheiten, heute Staaten genannt, zu organisieren. Vor 10.000 Jahren mag es auf unserer Erde mehr als 10.000 autonome Menschengruppen gegeben haben, die ein organisiertes Zusammenleben mit innerer Rechtsordnung praktizierten. Obwohl die Zahl der Menschen heute sicher zwei Größenordnungen größer ist als vor 10.000 Jahren, ging die Zahl der politischen Einheiten in den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts auf etwa 180 herunter, also ebenfalls um zwei Größenordnungen! Mit dem Zerfall der Sowjetunion und anderer kommunistischer Staaten sowie dem Zusammenbruch einiger afrikanischer Staaten erhöhte sich zwar die Zahl der autonomen Staaten und Gruppen wieder; dafür stehen andererseits Zusammenschlüsse mit staatsähnlichem Charakter, vor allem die EU, sowie die völkerrechtlichen Systeme mit immer größerer Regelungsdichte, zu denen bald auch ein Welt-Klimaschutzsystem gehören könnte.

Seien wir also optimistisch, nutzen und erweitern wir unser Wissen und Können, dann dürfen wir hoffen, das Ziel einer für Mitmenschen und Nachwelt gerechten, nachhaltigen Bewirtschaftung unseres Planeten doch noch zu erreichen, sicher nicht rechtzeitig im Sinne der wissenschaftlichen Warnungen und Empfehlungen, aber vielleicht doch noch so, dass das Allerschlimmste für die Menschen nach uns vermieden wird..