

# Nachhaltigkeit und Energiezukunft

Ulf Bossel  
Morgenacherstrasse 2F  
CH-5452 Oberrohrdorf  
Tel.: +41-56-496-7292; ubossel@bluewin.ch

## Nachhaltigkeit

Bei nachhaltiger Bewirtschaftung wird einem Forst lediglich die nachgewachsene Holzmenge entnommen. Die Waldsubstanz bleibt der Nachwelt erhalten, deshalb "nachhaltig". Zur Sicherung der Holzversorgung von Bergwerken hat der sächsische Bergbaudirektor Hanns Carl von Carlowitz bereits 1713 die Regeln der Nachhaltigkeit formuliert. Sein Modell kann für eine nachhaltige Gestaltung der Energiezukunft übernommen werden. Bei der Nutzung von Erdöl, Erdgas, Kohle und Uran werden Substanzen verbraucht und Stoffe freigesetzt, die von der Natur nicht absorbiert werden können. Folglich muss eine nachhaltige Zukunft Energiequellen aufgebaut werden, die uns alle Jahre wieder umweltneutral zur Verfügung stehen. Nur mit Sonne, Wind und Co. kann der Energiehunger der Menschheit langfristig und umweltfreundlich gesichert werden. Dies ist keine "grüne" Wunschvorstellung, sondern eine physikalisch bedingte Notwendigkeit.

Die im deutschen Sprachraum mit "Nachhaltigkeit" verbundenen Vorstellungen lassen sich physikalisch definieren. Es gibt keine langfristige zeitliche Abhängigkeit. Man hat "alle Jahre wieder" die gleichen Bedingungen, auch wenn kurzfristige Schwankungen etwa im täglichen, meteorologischen oder jahreszeitlichen Wechsel unvermeidbar sind. Im englischen Sprachraum bezieht man sich auf die philosophische Definition des Begriffs "Sustainability", die von der Brundtland Kommission formuliert und später in einer ISO-Norm fixiert worden ist. Für die Sustainability-Kriterien werden Wichtungsfaktoren zugelassen, was einen weiten Spielraum für den Sustainability-Nachweis schafft. So hat ein Schweizer Kraftwerksbetreiber mit den Sustainability-Spielregeln allen Ernstes nachgewiesen, dass Sonnen- und Windenergie nicht "nachhaltig" sind. Im Folgenden wird deshalb die physikalisch begründete Definition der "Nachhaltigkeit" benutzt. Nachhaltig sind Prozesse, die keinen langfristigen Veränderungen unterworfen sind.

## Unterirdische Energievorräte können nicht nachhaltig sein

Für die nachhaltige Gestaltung der Energiezukunft sind beispielsweise die folgenden Gedanken prägend. Mit dem Bau von Kernkraftwerken wird das Energieproblem ebenso wenig gelöst wie das Benzinproblem durch den Bau neuer Raffinerien. Kraftwerke und Raffinerien sind keine Energiequellen, sondern intelligente Gebilde aus Stahl und Beton zur Umwandlung von Energie. Sie liefern nur dann Strom oder Benzin, wenn man sie mit Uran oder Rohöl füttert. Beides wird knapp. Erdöl geht für alle erkennbar schon in wenigen Jahrzehnten zur Neige und Kernkraftwerken können nur arbeiten, weil sie vorwiegend mit Uran betreiben werden, das während des Kalten Krieges angehäuft wurde. Die laufende Uranförderung kann den Bedarf von fast 70'000 Tonnen pro Jahr schon lange nicht mehr decken. Aller Voraussicht nach müssen die ersten Atommeiler in den kommenden Jahrzehnten abgeschaltet werden, weil das benötigte Uran nicht mehr in ausreichenden Mengen und zu annehmbaren Preisen zur Verfügung steht.

Da hilft auch die Hoffnung auf neue Uranfunde oder der Hinweis auf die insgesamt grossen Uranmengen nichts, die in feinsten Verteilung in allen Gesteinen zu finden sind. Gute Lagerstätten sind längst ausgebeutet. Auch der Hinweis auf die grossen Uranmengen im Meerwasser ist wenig hilfreich. Zur Deckung des weltweiten Uranbedarfs müsste man jährlich 25'000 Kubik-Kilometer(!) Meerwasser vom Uran befreien. Das entspricht einer 500 Meter hohen Wasserschicht auf der gesamten Schweiz. Der Energieaufwand für die Urangewinnung aus Meerwasser oder aus minderwertigen Erzen wird bei schlechten Uranvorkommen nicht mehr durch die spätere Stromlieferung gedeckt. Auch bei fossilen Vorräten steigt der Energiebedarf für die Energiegewinnung mit zunehmender Ausbeute der Lagerstätten exponentiell an. Alle irdischen Energiequellen werden also allmählich zu Energiesenken. Die Kosten für die Energiegewinnung steigen stetig und damit zwangsläufig auch die Energiepreise selbst bei stabilisiertem Endverbrauch. **Wir befinden uns in einem Teufelskreis, aus dem wir uns befreien müssen, solange wir noch über die erforderlichen Mittel und über genügend Energie verfügen.**

## Nur überirdischen Energiequellen sind nachhaltig

Das exponentielle Gesetz gilt nicht für Sonne und Wind. Man muss keine Energie einsetzen, damit die Sonne scheint oder der Wind bläst. „Naturstrom“ ist nach Rückführung der „grauen“ Energie für alle Zukunft energetisch nahezu unbelastet. Nach Amortisation der benötigten Anlagen wird Naturstrom deshalb schon bald günstiger zu haben sein, als Strom aus thermischen Energieanlagen. Es spielt keine Rolle, wo der Wind bläst oder die Sonne scheint, der geerntete Strom fliesst über Landesgrenzen und wird die Strompreise bestimmen.

Aufgrund der flächigen Verfügbarkeit von Sonne und Wind werden aber viele Kleinanlagen an verbrauchernahen Standorten entstehen und Strom ins Netz liefern. Für Brennstoffe hoher Energiedichte wie Kohle oder Uran ist die konzentrierte Stromerzeugung in Grosskraftwerken sinnvoll. Für das Einfangen der vergleichsweise geringen Energieflüsse von Sonne und Wind sind Grossanlagen weniger geeignet. Der Wechsel zu dezentralen Systemen ist physikalisch vorbestimmt.

Der Übergang in eine nachhaltige Energiezukunft wird nicht durch neue Energiewandler erreicht, sondern durch Klärung der folgenden vier energetischen Fragenkomplexe:

1. Woher kommt die Energie?
2. In welcher Form wird sie geerntet?
3. In welcher Form wird Energie zur Wahrung des Lebensstandards benötigt?
4. Wie viel Energie der benötigten Form muss bereitgestellt werden?

Es geht also zuerst einmal um Energie als solches und erst danach um Entwicklung, Bau und Einführung von Anlagen und Verfahren zu deren Handhabung und Wandlung. Bekanntlich kann Energie weder geschaffen noch vernichtet werden. Man kann sie lediglich mit Verlusten von einer Form in eine andere umwandeln. Mit dem Bau neuer Anlagen lässt sich das Energieproblem nur dann lösen, wenn diese Anlagen ausreichend mit Energie versorgt werden können. Dies kann jedoch langfristig nur für Anlagen garantiert werden, mit denen Energie solaren Ursprungs eingefangen wird.

Die Energiequelle der Zukunft ist also die Sonne. Schnelle Brüter und Fusionsreaktoren werden, wenn überhaupt, Strom zu vergleichsweise hohen Preisen liefern, der mit Strom

aus amortisierten Wind- und Solaranlagen nicht konkurrieren kann. Da nur ein winziger Bruchteil der täglich eingestrahlten Sonnenenergie den Energiebedarfs der gesamten Menschheit decken kann, wird es langfristig keine Alternative zu Sonne, Wind und Co. geben. Da diese nachhaltigen Energiequellen vorwiegend als Strom geerntet werden, muss Elektrizität zum dominierenden Energieträger der Zukunft werden. Dieser Wechsel von fossilen Energieträgern zu Strom (ohne Atom!) wird die gesamte Gesellschaft erfassen. Die Elektrizitätswirtschaft könnte sich aktiv an der Gestaltung einer "Elektronenwirtschaft" beteiligen, denn es gibt viel zu tun.

## **Übergang zu einer nachhaltigen Energiezukunft**

Mit energiesparenden Massnahmen wird die Basis für eine nachhaltige Energiezukunft geschaffen. Es folgen Elektromobile, elektrische Wärmepumpen und vieles mehr. Der naturverträgliche Strom wird mit Hilfe physikalischer Energiewandler (Windkraftanlagen, Solarzellen, usw.) gewonnen und kann effizient verteilt und direkt genutzt werden. Die Energiebilanzen werden nicht mehr durch die hohen Energieverluste von thermischen Anlagen und Verbrennungsmotoren belastet sein. Wegen der deutlich besseren Wirkungsgrade kann der heutige Lebensstandard auch mit wesentlich weniger Naturstrom gehalten werden. Wer in einem gut isolierten Gebäude wohnt und mit einem Elektroauto zur Arbeit fährt kann mit nur einem Drittel des heutigen Primärenergiebedarfs weiterhin gut leben. Die 2000-Watt-Gesellschaft ist ein realistisches Teilziel für den Weg in eine nachhaltige Energiezukunft, sofern der Energiebedarf nachhaltig gewährleistet ist und alle Produkte darin eingeschlossen sind.

Gezwungenermassen wird man von fossilen chemischen Energieträgern Abschied nehmen und auf physikalische Energieträger umsteigen müssen. Man kann das fossile Zeitalter nicht verlängern, indem man mit Hilfe von gutem Strom Wasserstoff erzeugt, nur um weiterhin Autos mit chemischer Energie betreiben zu können. Verbrennungsmotoren werden durch Elektromotoren ersetzt, Heizkessel elektrische Wärmepumpen, Kraftwerke durch Windenergie- und Solaranlagen usw. Der Massnahmenkatalog ist umfangreich und sehr attraktiv für technische Entwicklungen und wirtschaftliche Betätigung.

Die Umstellung fordert grosse Investitionen. Es locken jedoch stabile Energiepreise, weil das oben erwähnte exponentielle Gesetz keine Gültigkeit hat. Die zufließende Energie kann alle Jahre wieder ohne Energieaufwand geerntet werden. Der Umstellungsprozess wird Jahre dauern. Aber wer ihn zuerst bewältigt wird auch den grössten Nutzen daraus ziehen können. In einer nachhaltigen Energiezukunft bleiben die Energiepreise stabil, Geld wird nicht mehr für Energieimporte ausgegeben. Die Wertschöpfung erfolgt im Lande. Der Energiebedarf kann ohne weltpolitische Zugeständnisse gedeckt werden. Letztlich wird auch das Klimaproblem gelöst, denn die Erneuerbaren hinterlassen fast keine Klimagase.

## **Bedeutung der Energie-Rücklaufzeit**

Die Umstellung erfordert aber auch Energie, die heute eher verfügbar ist als in den kommenden Jahren. Bei allen Massnahmen im Energiebereich wird man in Zukunft zweigleisig rechnen und neben dem finanziellen Return-on-Investment ("ROI") auch auf ein gutes Verhältnis von gewonnener Energie zur investierten Energie (Energy Return on Invested Energy "EROIE") achten. Mit möglichst geringem Energie- und Kostenaufwand muss man den Übergang schnellstens bewältigen. Im Gegensatz zu allen konventionellen thermischen Prozessen sind Wind- und Solarstromanlagen als physikalische Wandler

wahre Stromgewinnungsmaschinen, denn Sonnenstrahlung und Luftbewegung sind kostenlos zu haben und bleiben energetisch wertlose Wetterphänomene, wenn man sie nicht als Strom erntet.

Bezüglich der lebenslangen Energiebilanz sind überirdische Quellen den unterirdischen haushoch überlegen. An günstigen Standorten haben moderne Windenergieanlagen die in ihren Bau investierte "graue" Energie bereits in drei Monaten geerntet und ins Netz gespeist. Bei modernen Photovoltaik-Anlagen liegt die Energierücklaufzeit zwischen einem und zwei Jahren mit sinkender Tendenz. Aus energetischer Sicht kann der Übergang zu einer nachhaltig gestalteten Energiezukunft am besten mit Windenergie- und Solaranlagen bewältigt werden, die sich in kurzer Zeit energetisch amortisiert haben und dann saubere Energie für den Bau weiterer Anlagen liefern. Bei konventionellen Grosskraftwerken vergehen mehrere Jahre vom ersten Spatenstich bis zur ersten Energielieferung. Während dieser Zeit wird sehr viel Energie investiert, die jedoch nie zurück gewonnen werden kann, denn solche Kraftwerke sind lediglich Energiewandler, die laufend mit Energie gefüttert werden müssen. Windenergie- und Solaranlagen werden von der Natur mit kostenloser Energie versorgt. Man könnte sie als "Energiegewinnungsmaschinen" bezeichnen.

## **Umstieg auf Erneuerbar ist physikalisch bedingt**

Wie bereits gesagt ist der Umstieg auf erneuerbare Energiequellen eine physikalische Notwendigkeit. Erklärtes Ziel kann die weitgehende Umstellung in einem bestimmten Zeitraum sein. Hierfür braucht es eine sachliche Diskussion, keine Schreckensszenarien wie "Stromlücke", "Klimaerwärmung" oder "Benzinpreisschock". Jede Region, jedes Land, jede Gesellschaft muss diesen Übergang bewältigen. Alle Energieverbraucher, um deren Zukunft es letztendlich geht, müssen diese Entwicklung akzeptieren. Mehr noch, sie sollten diese Zukunftsgestaltung durch Sparmassnahmen, Einsatz effizienterer Geräte, Betrieb von Solaranlagen, finanziellem Engagement oder Akzeptanz der notwendigen visuellen Veränderungen aktiv unterstützen. Die gesicherte Versorgung mit billiger Energie ist kein einklagbares Grundrecht, das von politischen Instanzen garantiert werden kann. Es gehört zur Verantwortung jedes Einzelnen, seinen Energieverbrauch an seine materiellen Möglichkeiten anzupassen.

Bei der allgemeinen Energiediskussion wird oft mit veralteten Zahlen argumentiert, die ihre Bedeutung beim Übergang in eine nachhaltige Zukunft verlieren. Auch verwirren die bei Energieanlagenplaner beliebte Darstellung des Energiebedarfs in Leistungseinheiten (kW, GW), statt richtigerweise in Energieeinheiten (kWh, Joule). Offenbar besitzt der Bau von Anlagen zur Energiewandlung einen höheren Stellenwert als die Lösung des Energieproblems. Weiterführend wären auch rückwärtige Analysen vom Energie-Endnutzen zu dem sich daraus ergebenden Primärenergiebedarf. Es wäre gut zu wissen, mit wie wenig Energie die menschlichen Bedürfnisse befriedigt werden können und in welcher Form die benötigte Energie bereitgestellt werden muss, um daraus verlässlichen Zahlen für die Zukunftsgestaltung zu gewinnen. Die Risiken von Fehlplanung und Fehlinvestitionen liessen sich so am besten vermindern.

Solche rückwärtigen Analysen werden zeigen, dass man nur einen Teil des heutigen fossilen Energiebedarfs durch Wind oder Sonne ersetzen muss, denn der Wohlstand kann auch mit wesentlich weniger Energie langfristig, sauber und kostengünstig gesichert werden. Mit der rückwärtige Bilanzierung der für die Erfüllung von Energiedienstleistungen (angenehmes Raumklima, gekochte Speisen, transportierte Personen usw.) benötigten Energie zur Primärenergie werden viele Dinge verdeutlicht, über die heute nur spekuliert

wird. Wie wenig Energie wird noch für die Gebäudebeheizung benötigt, wenn energiesparende Gebäudestandards bei 80% aller Wohnungen verwirklicht worden sind? Wie wenig Energie wird noch für den Verkehr benötigt, wenn 60% aller Fahrzeuge elektrisch betrieben werden? Wie hoch ist der Energiebedarf der Industrie, wenn auch dort Minergie-Standards und energiesparende Fahrzeuge eingeführt werden?

Elektroautos werden schon bald kommen. Alle namhaften Autofirmen haben solche Fahrzeuge mit Reichweiten bis 200 km angekündigt. Sie sind mit langlebigen, leichten und leistungsstarken Batterien ausgestattet. Der oft gehörte Hinweis "Batterien sind nicht geeignet für die Energiespeicherung in Fahrzeugen" steht im Widerspruch zum rasanten Fortschritt der Technik. Der verlustreiche Einsatz von Wasserstoff im Verkehr wird hingegen kaum noch ernsthaft diskutiert.

## **Perspektiven für eine nachhaltig gestaltete Energiezukunft**

Die nachhaltige Energiezukunft basiert deshalb auf einer hocheffizienten, mit Strom aus erneuerbaren Quellen gespeiste Elektronenwirtschaft. Dies ist sicherlich keine "grüne" Wunschvorstellung, denn für viele umweltbewusste Akteure ist Strom immer noch ein rotes Tuch. Der Umstieg auf erneuerbar und elektrisch ist die logische Konsequenz von physikalischen Zusammenhängen. Mit Ausnahme von Biomasse liefert die Natur physikalische Energie, die vorwiegend als Strom geerntet wird. Mit Ausnahme von Essen und Trinken benötigt der Mensch physikalische Energie für Transport, Heizen, Kochen, Beleuchtung, Kommunikation oder Fertigungen die in Form von Strom angeboten wird. Die beste nachhaltige Lösung ergibt sich bei einer möglichst direkten Verknüpfung der erneuerbaren Energiequelle mit der Energienutzung über elektrische Leitungen. Mit der Fortschreibung des heutigen Energiemixes lässt sich das Energieproblem nicht lösen.

Wegen der wesentlich verbesserten Wirkungsgrade einer „Elektronenwirtschaft“ kann der Endenergiebedarf auch in unseren Regionen mit wesentlich weniger Primärenergie befriedigt werden. Man muss keine Solarkraftwerke in Nordafrika errichten, sondern gute Standorte für Wind- und Solaranlagen in Verbrauchernähe konsequent nutzen. Für Dünnschicht-Solarzellen wird die Netzparität schon in wenigen Jahren erreicht sein. Solarstrom wird dann billiger als Strom aus neuen thermischen Kraftwerken.

Es ist also fraglich, ob neue Kernkraftwerke, die wegen der langen Bauzeit erst um 2025 ans Netz gehen werden, jemals gewinnbringend betrieben werden können. Bei ihrer Inbetriebnahme werden die heute erarbeiteten Planungsdaten und Gewinnerwartungen nur noch historische Bedeutung haben. Investoren erwarten jedoch, dass nach Inbetriebnahme noch 60 Jahre lang Strom gewinnbringend produziert und verkauft werden kann. Aufgrund der sich abzeichnenden Entwicklung wird in einem liberalisierten Strommarkt Windstrom von amortisierten Anlagen schon bald die Strompreise diktieren.

Die Gestaltung einer nachhaltig gestalteten Energiezukunft ist ein nationales Anliegen und keine rot-grüne Politik. Aus physikalischen Gründen muss die Menschheit auf Energie auf erneuerbaren Quellen umsteigen. Das politische Ziel sollte eine möglichst zügige Umstellung sein, die von einer breiten und informierten Mehrheit in der Bevölkerung getragen wird. Mit einer Fortschreibung der heutigen Situation lässt sich eine nachhaltige Energiezukunft nicht gestalten. Das müssten eigentlich auch die Befürworter zentraler Kraftwerkslösungen begreifen können. Alle Optionen offen zu halten ist keine überzeugende Energiepolitik.



## Lebenslauf

### Dr. Ulf Bossel

(Ph.D. UC Berkeley, Dipl. Masch. Ing. ETH)  
geb. 24. April 1936, Braunschweig / Deutschland  
seit 1995 Schweizer Bürger  
verheiratet mit Lisbeth Bossel-Locher  
zwei Töchter  
Leiter, European Fuel Cell Forum  
Morgenacherstrasse 2F  
CH-5452 Oberrohrdorf  
056-496-7292, ubossel@bluewin.ch

- 1956 Abitur in Korbach / Deutschland
- 1959 Vordiplom Maschinenbau, TH Darmstadt / Deutschland
- 1961 Diplom Maschinenbau, ETH in Zürich / Schweiz  
Aerodynamik, Thermische Turbomaschinen, Reaktortechnik
- 1968 Ph.D. in Mechanical Engineering, University of California, Berkeley / USA  
Dissertation: Erzeugung intensiver Molekularstrahlen mit Hilfe eines aerodynamischen Verfahrens
- 1968-70 Professor of Mechanical and Aerospace Engineering, Syracuse University, Syracuse, New York / USA.
- 1970-79 Leiter der Gruppe "Freimolekulare Strömungen"  
DFVLR – AVA Göttingen / Deutschland
- seit 1975 Arbeitsschwerpunkt erneuerbare Energien und rationelle Energienutzung  
1978-86 Eigene Beratungsfirma "SOLENTEC GmbH", Adelebsen bei Göttingen
- 1986-91 Projektleiter Brennstoffzellen bei ABB Baden mit Prokura und weltweiten Kompetenzen
- seit 1991 Freischaffender Innovationsberater für Brennstoffzellentechnik mit Klienten in Europa, USA und Japan
- seit 1994 Organisator der internationalen Brennstoffzellen-Kongresse in Luzern  
"Lucerne Fuel Cell Forum"
- seit 2000 Geschäftsführer der Brennstoffzellen-Entwicklungsfirma FUCCELLCO AG, seit 2007 "ALMUS AG"
- seit 2003 Intensive Beschäftigung mit der Schaffung einer nachhaltig organisierten Energieversorgung. Kritische Analysen zur Wasserstoffwirtschaft, zum landwirtschaftlichen Anbau von Biomasse, zur Entsorgung von CO<sub>2</sub> usw.
- Juli 2007 Organisator des "European Sustainable Energy Forum" in Luzern  
(Europaforum für eine nachhaltige Energiezukunft)

Zahlreiche Veröffentlichungen und Patente auf den Gebieten "nachhaltigen Energie" und "Brennstoffzelle" sowie den früheren Arbeitsgebieten "Molekularstrahltechnik", "Sonnenenergie", "Windenergie", "Biomasse", "rationelle Energienutzung".