

2000-Watt-Gesellschaft – eine Metapher oder ein anzustrebendes Ziel?

Wie kurzem hat die ETH Zürich eine Energiestrategie vorgestellt (NZZ, 26. 2. 08). In ihren Augen muss der Koh-

lendioxidanstoss pro Kopf und Jahr langfristig auf eine Tonne gesenkt werden. Kritiker sehen darin eine Abkehr von der

Vision einer «2000-Watt-Gesellschaft», die vor einigen Jahren ebenfalls von der ETH ausgearbeitet wurde. Im Folgenden neh-

men diese und die ETH Stellung zu den verschiedenen Ansätzen in der Bekämpfung des Klimawandels.

Ziele und Wege zum nachhaltigen Energiesystem der Zukunft

Von Konstantinos Boulouchos, Professor am Institut für Energietechnik, ETH Zürich*

Die Gestaltung des zukünftigen Energiesystems ist auch in der Schweiz Gegenstand intensiver Diskussionen. Die neue Energiestrategie des Energy Science Center (ESC) will einen wissenschaftlich fundierten Beitrag zur Meinungsbildung leisten. Folgende Herausforderungen werden als Rahmenbedingungen betrachtet: begrenzte nichterneuerbare Energieresourcen, die Beeinträchtigung der Umweltqualität, der drohende Klimawandel sowie Konflikte um den Zugang zu vergleichsweise preisgünstigen Energiequellen – dies bei einer wachsenden Weltbevölkerung mit höherem Wohlstand und entsprechenden Energiedienstleistungen. Die ESC-Strategie betrachtet den Klimawandel, der ja zu etwa zwei Dritteln energiebedingt ist, als grösste Herausforderung; ein klimakompatibles Energiesystem ermöglicht auch die Entschärfung der übrigen erwähnten Dimensionen der Energieproblematik. Dazu sind einerseits die Ausschöpfung aller Einsparpotentiale entlang der gesamten Energieumwandlungskette und andererseits die effiziente Substitution fossiler Energieträger erforderlich.

2050) und langfristige (bis 2100) Wegmarken definiert werden. Wichtige Gestaltungsparameter sind Forschung an neuen Technologien, Rhythmus der Erneuerung der Energieinfrastruktur und wirtschaftliche Instrumente. Als Erstes wird dabei die Entkarbonisierung der Niedertemperaturwärme durch Solarthermie, Umgebungswärme und Wärmepumpen angestrebt. Biomasse soll für stationäre Prozesse reserviert werden, in erster Linie als kombinierte Strom-/Wärmeerzeugung. Ein radikaler mittelfristiger Schritt ist die Elektrifizierung des Kurz- und Mittelstreckenverkehrs. Diese ermöglicht einen optimalen, kontinuierlichen Übergang von der fossilen zur erneuerbaren Energie für die individuelle Mobilität. Die Elektrifizierung ist vom Primärenergiefluss her deutlich effizienter als die wasserstoffbasierte Mobilität. Biotreibstoffe wiederum haben erst bei Überwindung der heutigen ökologischen Nachteile ein gewisses, insgesamt beschränktes Potential. Für den Langstreckenverkehr wird langfristig der CO₂-Ausstoss von einer Tonne pro Kopf und Jahr «reserviert».

Damit wird die CO₂-arme Elektrizität zum Rückgrat des zukünftigen Energiesystems. Nachhaltig wird dies aber dann erst sein, wenn weitestgehend erneuerbare Energien den Strombedarf abdecken. Vom Potential her geht dazu an erster Stelle die solare Elektrizität, vor Wasserkraft, Windenergie und allenfalls Biomasse. Bis eine deutliche Kostenreduktion für die Photovoltaik und die effiziente Speicherung der unregelmässig anfallenden erneuerbaren Elektrizität gelingen, werden Jahrzehnte verstreichen. Während dieser Übergangszeit werden grundlastfähige Kraftwerke weiterhin erforderlich sein – wenn auf fossiler



Solarenergie soll in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen.

PHILIPP BÄRNER / NZZ/STRA

Basis, nur noch mit CO₂-Abtrennung, wenn nuklear, dann unter der Voraussetzung wesentlicher Fortschritte bei Brennstoffausnutzung, Sicherheit und radioaktivem Abfall.

Langfristig lässt sich ein CO₂-Ausstoss von einer Tonne pro Kopf und Jahr realisieren, wobei der Primärenergiefluss etwa 4 bis 6 kW pro Kopf beträgt. Dieser Wert ergibt sich trotz einer markanten Einsparung bei der Endenergie, z. B. in der Schweiz um 50 Prozent, weil der Wirkungsgrad der Umwandlung von Primärenergie in Elektrizität nicht sehr hoch ist. Trotzdem reichen langfristig wenige Promille der auf die kontinen-

talere Erdoberfläche einfallenden Sonnenenergie, um diesen Primärenergiefluss auf nachhaltige Art bereitzustellen. Für die nächsten 15 bis 20 Jahre sind die ESC-Strategie und der Ansatz der 2000-Watt-Gesellschaft in guter Übereinstimmung miteinander. Letztere ist eine sinnvolle Metapher für die Ausschöpfung der grossen Einsparpotentiale; sie kann aber allein die Eindämmung des Klimawandels nicht schnell genug herbeiführen, und sie stellt keinen quantitativ zwingend erforderlichen Wert dar. Politik und Gesellschaft müssen in der Energiefrage langfristige Ziele setzen und beharrlich am Kurs halten.

* Konstantinos Boulouchos stellt dem Leitungsstab des Energy Science Center der ETH Zürich vor. Die Energiestrategie der ETH Zürich ist öffentlich unter www.eth.ch/energy-science zu finden. Ein entsprechendes Kollogium findet am 10. April an der ETH Zürich statt (www.eth.ch/colloq).

Energiestrategie an vorsorgeorientiertem Leitbild ausrichten

Von Marco Morosini*

Die Wende der neuen ETH-Schulung von einer Energie- hin zu einer Klimastrategie hat viele überrascht. Nach der neuen Strategie dürfe in 100 Jahren der Primärenergieverbrauch pro Kopf 4000 bis 6000 Watt sein (d. h. global bei 60 Terawatt; 1 TW = 1000 Milliarden Watt) anstatt einer 2000-Watt- sei eine globale 1-Tonne-CO₂-Gesellschaft anzustreben. Diese sei erreichbar dank Effizienz, erneuerbarer und (vorübergehend) Atomenergie sowie dank massiver Elektrifizierung. Die 2000-Watt-Gesellschaft sei eine nicht wörtlich zu nehmende «qualitative Metapher». Die neue Verknüpfung hat für Irritationen gesorgt bei vielen, die in der Schweiz und an der ETH für eine Selbstbegrenzung nicht nur des CO₂-Ausstosses, sondern auch der gesamten anthropischen Energieumwandlungen arbeiten.

Es überrascht, dass der neu angepöbelte Energieumsatz bis dreimal so hoch ist wie der erst vor zehn Jahren propagierte, zumal für die Verträglichkeit dieses Energieniveaus keine neuen Erkenntnisse und Begründungen vorliegen. Der ursprüngliche 2000-Watt-Nachford wurde nicht mit einem profitorientierten angehenden Bedarf, sondern mit anderen Argumenten begründet. Zum einen entsprechen 2000 Watt nicht einem Szenario, sondern einer Tatsache dem jetzigen globalen Durchschnittsverbrauch. Die Plafondierung auf diesem Niveau würde die Energieeffizienz und eine bessere Verteilung der Energieansprüche stimulieren – bei wenigstens nicht steigenden Naturstörungen. Zum anderen wurde von verschiedenen Autoren versucht, einen vorsorgeorientierten Energieplafond zu errechnen, der sich auf Kerngrößen nicht der Anthropo-, sondern der Biosphäre bezog – wie anlehnbar sie auch sind.

In den letzten Jahren postulierte Wolfram Ziegler an der TU München, dass der anthropogene Energiefluss pro Flächeninhalt als Kausal- und Kenngröße für die Umweltbelastung geeignet sei, insbesondere in Bezug auf die Beeinträchtigung der Artenvielfalt. Für Mitteleuropa kam Ziegler auf eine maximale Grenzbelastung von

etwa 0,16 W/m². Diesen Wert auf den Globus extrapolierend, errechnete der Physiker Hans-Peter Dürr eine globale Grenzbelastung durch anthropogene Energieumsätze auf etwa 9 TW. Die Teilung von 9 TW durch die Anzahl Erdbewohner führte Dürr zum Entwurf einer vorsorgeorientierten globalen «1500-Watt-Gesellschaft». Dürr wies darauf hin, dass die Lebewesen der Festland-Erde 40 bis 50 TW an Sonnenenergie aufnehmen; damit entspreche ein anthropogener Fluss von 9 TW einem Fünftel des Umsatzes der terrestrischen Lebewesen. Ein anthropogener Fluss von 60 TW übertrüfe den natürlichen Energiefluss durch die terrestrische Biomasse deutlich.

Welche neuen Erkenntnisse belegen, dass die Erhöhung der Energieumwandlungen der Menschheit von momentan 13 auf etwa 60 TW ohne unannehmbare Effekte möglich sei? Für eine massive Elektrifizierung würden weltweit nicht nur die erneuerbaren Energien, sondern auch die Atomkraft ausgebaut. Ist zu erwarten, dass dies in allen Ländern mit der gebotenen Zuverlässigkeit vonstatten geht? Wie wird man während vieler zehntausend Jahre mit einem Vielfachen des jetzigen Atomabfalls umgehen?

Eher als an einer messerscharf definierten Tragfähigkeit der Biosphäre sollten wir uns an vorsorgeorientierten Leitbildern ausrichten, wie etwa die «Wand-/Teppich-Metapher» (nach Carlos Davidson) bildet der anthropogene Degradationsprozess der Natur dem allmählichen Entfernen von einzelnen Fäden aus einem Wandteppich, der dadurch an Reichtum und Komplexität verliert, ohne sich dabei jedoch autulösen [BioScience, 2000, 50, 5] und die «Fehlerfreundlichkeit» der menschlichen Interventionen in die Natur (E. U. von Weizsäcker). Denn wir wissen es: Je mehr Energie wir umsetzen, desto mehr stören wir die Natur – auch wenn die Energie erneuerbar ist. Vor allem ist die Energieumwandlung pro Person nicht eine natur- oder marktbedingte unveränderbare Grösse, sondern ein Nebenprodukt unserer kommerziell gesteuerten und verhandelbaren Lebensweise. In diesem Sinne bleibt das Leitbild der 2000-Watt-, ergänzt durch das der 1-Tonne-CO₂-Gesellschaft erst zu nennen.

* ETH-Gesprochener von 2001 bis 2004 für Umweltklimawandel und nachhaltige Entwicklung.

Eine massive Reduktion des Energieumsatzes ist unumgänglich

Von Rüdiger Paschotta und Jürg Buri, Schweizerische Energiestiftung (SES)*

Die Energiepolitik steht vor gewaltigen Herausforderungen. Derzeit beansprucht die Weltbevölkerung durchschnittlich rund 2000 Watt an Primärenergie pro Kopf. In der Schweiz liegt man mit etwa 6000 Watt weit darüber, und die Schwellenländer sind dabei, diesem Beispiel zu folgen. Schon jetzt beginnt Erdöl knapp zu werden, und etwas später wird Gleiches bei Erdgas und Uran geschehen. Der jetzige Energieumsatz verursacht im globalen Mittel CO₂-Emissionen von rund 3,7 Tonnen (t) pro Kopf und Jahr, in der Schweiz über 10 t (inklusive grauer Energie). Um eine verheerende Erderwärmung zu vermeiden, müssen die Emissionen innerhalb weniger Jahrzehnte auf rund 2 t reduziert werden, längerfristig auf 1 t. Ein Ansatz zur Lösung dieses Problems ist das an der ETH Zürich entwickelte Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft. Danach muss der Energieumsatz weltweit auf 2000 Watt beschränkt und der Bedarf weitgehend aus erneuerbaren Quellen gedeckt werden. Andere setzen auf den Ersatz der heutigen fossilen Brennstoffe und Treibstoffe durch CO₂-arme Energieträger. Wie hier gezeigt wird, bietet nur die Kombination beider Ansätze die Chance einer klimaverträglichen Lösung.

Atomkraft stellt heute weltweit rund 6 Prozent der Primärenergie bzw. 2,5 Prozent der Endenergie bereit. Da schon dies zu einem drastischen Anstieg des Uranpreises geführt hat, würde die Lösung des Klimaproblems durch eine massive Ausweitung der Atomenergienutzung schon an der Knappheit von Uran scheitern. Hinzu kommen die Probleme der Finanzierbarkeit, des grossen Zeitbedarfs und der Weiterverbreitung von Atomwaffen. Brutreaktoren und Kernfusion könnten im Prinzip weitaus mehr Energie liefern und gleichzeitig das Atomüllproblem entschärfen. Kommerzielle Brutreaktoren haben aber noch nie jemals zufriedenstellend funktioniert, und ein Fusionreaktor wäre extrem kompliziert und damit zu teuer. Für demnach zu bauende Kraftwerke werden Brutreaktoren oder gar Fusionsreaktoren deswegen nicht einmal erwogen. Was in 50 Jahren

verfügbar sein wird, ist unklar und für das heutige Handeln weitgehend irrelevant.

Photovoltaik, Solarwärme, Wasser- und Windkraft, Biomasse und Geothermie sind annähernd CO₂-frei und unerschöpfliche Energiequellen und somit zu Recht Gegenstand grosser Hoffnungen. Begrenzende und teilweise schwer abschätzbare Faktoren sind allerdings die benötigte Fläche, die längerfristig zu erwartenden Kosten und der Zeitaufwand. Immerhin sind die Kosten tendenziell fallend, und langfristige Kostenrisiken wie die Entorsung alter Kraftwerke und Brennstoffe entfallen. Da Energie voraussichtlich nie wieder so billig wird wie im beginnenden Überflut, ist der Ansatz der 2000-Watt-Gesellschaft auch ökonomisch realistischer als der Versuch, einen beliebig steigenden Energiekonsum mit grossen Mengen «sauberer» Energie zu decken. Mit der zukünftigen Technik sollten 2000 Watt zudem einen hohen Lebensstandard problemlos ermöglichen.

Gelegentlich wird der Standpunkt vertreten, es genüge doch, dass die Schweiz CO₂-neutral werde – mit welchem Energieverbrauch auch immer. Dies würde erreicht durch moderne Technik oder gar nur auf dem Papier über ausländische Emissionszertifikate. Mit dieser Logik wäre jedoch das Scheitern des Klimaschutzprogramms: Wenn wir ärmere Länder nicht davon überzeugen können, dass Wohlstand mit weniger Energie erreichbar ist, dann werden sie sich mehr Energie besorgen. Wenn ihnen dies nun nicht auf CO₂-neutraler Weise gelingt, wird die Lücke mit Kohle gedeckt werden – allein davon gibt es grosse, billige Vorräte. Entscheidend ist es also, ein Leben in Wohlstand mit der Menge Energie pro Kopf zu demonstrieren, die weltweit umweltverträglich und kostengünstig bereitgestellt werden kann. Nach Jahrzehnten der Forschung ist immer noch keine neue Quelle von Energie erkennbar, die problemlos 6000 Watt oder mehr an billiger CO₂-freier Energie für jeden Erdbewohner liefern kann. Solange dies so ist, bietet die massive Reduktion des Energieumsatzes – insbesondere in den Industrieländern – die einzige realistische Chance, die Klimawärmung nicht zur Katastrophe werden zu lassen.

* Rüdiger Paschotta ist Stabschef der Schweizerischen Energiestiftung, Jürg Buri deren Geschäftsführer.

Neue Zürcher Zeitung, 8.4.2008

2000-Watt-Gesellschaft - eine Metapher oder ein anzustrebendes Ziel?

Vor kurzem hat die ETH Zürich eine Energiestrategie vorgestellt (NZZ 26. 2. 08). In ihren Augen muss der Kohlendioxidausstoss pro Kopf und Jahr langfristig auf eine Tonne gesenkt werden. Kritiker sehen darin eine Abkehr von der Vision einer «2000-Watt-Gesellschaft», die vor einigen Jahren ebenfalls von der ETH ausgearbeitet wurde. Im Folgenden nehmen diese und die ETH Stellung zu den verschiedenen Ansätzen in der Bekämpfung des Klimawandels.

Ziele und Wege zum nachhaltigen Energiesystem der Zukunft

Von Konstantinos Boulouchos, Professor am Institut für Energietechnik, ETH Zürich*

Die Gestaltung des zukünftigen Energiesystems ist auch in der Schweiz Gegenstand intensiver Diskussionen. Die neue Energiestrategie des Energy Science Center (ESC) will einen wissenschaftlich fundierten Beitrag zur Meinungsbildung leisten. Folgende Herausforderungen werden als Rahmenbedingungen betrachtet: begrenzte nichterneuerbare Energieressourcen, die Beeinträchtigung der Umweltqualität, der drohende Klimawandel sowie Konflikte um den Zugang zu vergleichsweise preisgünstigen Energiequellen - dies bei einer wachsenden Weltbevölkerung mit höherem Wohlstand und entsprechenden Energiedienstleistungen. Die ESC-Strategie betrachtet den Klimawandel, der ja zu etwa zwei Dritteln energiebedingt ist, als grösste Herausforderung; ein klimakompatibles Energiesystem ermöglicht auch die Entschärfung der übrigen erwähnten Dimensionen der Energieproblematik. Dazu sind einerseits die Ausschöpfung aller Einsparpotenziale entlang der gesamten Energieumwandlungskette und andererseits die effiziente Substitution fossiler Energieträger erforderlich.

Die neuesten Erkenntnisse des Uno-Klimarates lassen das strategische Ziel quantitativ festlegen. Weltweit dürfen im 21. Jahrhundert nicht mehr als 2000 Gigatonnen (Gt) CO₂ in die Atmosphäre gelangen, im Jahr 2100 sollen es maximal 10 Gt pro Jahr sein, d. h. bei einer Weltbevölkerung von 10 Milliarden eine Tonne pro Kopf und Jahr. Daraus können kurz- (bis 2025), mittel- (bis 2050) und langfristige (bis 2100) Wegmarken definiert werden. Wichtige Gestaltungsparameter sind Forschung an neuen Technologien, Rhythmus der Erneuerung der Energieinfrastruktur und wirtschaftliche Instrumente. Als Erstes wird dabei die Entkarbonisierung der Niedertemperaturwärme durch Solarthermie, Umgebungswärme und Wärmepumpen angestrebt. Biomasse soll für stationäre Prozesse reserviert werden, in erster Linie als kombinierte Strom-/Wärmeerzeugung. Ein radikaler mittelfristiger Schritt ist die Elektrifizierung des Kurz- und Mittelstreckenverkehrs. Diese ermöglicht einen optimalen, kontinuierlichen Übergang von der fossilen zur erneuerbaren Energie für die individuelle Mobilität. Die Elektrifizierung ist vom Primärenergiefluss her deutlich effizienter als die wasserstoffbasierte Mobilität. Biotreibstoffe wiederum haben erst bei Überwindung der heutigen ökologischen Nachteile ein gewisses, insgesamt beschränktes Potenzial. Für den Langstreckenverkehr wird langfristig der CO₂-Ausstoss von einer Tonne pro Kopf und Jahr «reserviert».

Damit wird die CO₂-arme Elektrizität zum Rückgrat des zukünftigen Energiesystems. Nachhaltig wird dies aber dann erst sein, wenn weitestgehend erneuerbare Energien den Strombedarf abdecken. Vom Potenzial her gehört dazu an erster Stelle die solare Elektrizität, vor Wasserkraft, Windenergie und allenfalls Biomasse. Bis eine deutliche Kostenreduktion für die Photovoltaik und die effiziente Speicherung der unregelmässig anfallenden erneuerbaren Elektrizität gelingen, werden Jahrzehnte verstreichen. Während dieser Übergangszeit werden grundlastfähige Kraftwerke weiterhin erforderlich sein - wenn auf fossiler Basis, nur noch mit CO₂-Abtrennung; wenn nuklear, dann unter der Voraussetzung wesentlicher Fortschritte bei Brennstoffausnutzung, Sicherheit und radioaktivem Abfall.

Langfristig lässt sich ein CO₂-Ausstoss von einer Tonne pro Kopf und Jahr realisieren, wobei der Primärenergiefluss etwa 4 bis 6 kW pro Kopf beträgt. Dieser Wert ergibt sich trotz einer markanten Einsparung bei der Endenergie, z. B. in der Schweiz um 50 Prozent, weil der Wirkungsgrad der Umwandlung von Primärenergie in Elektrizität nicht sehr hoch ist. Trotzdem reichen langfristig wenige Promille der auf die kontinentale Erdoberfläche eintreffenden Sonnenenergie, um diesen Primärenergiefluss auf nachhaltige Art bereitzustellen. Für die nächsten 15 bis 20 Jahre sind die ESC-Strategie und der Ansatz der 2000-Watt-Gesellschaft in guter Übereinstimmung zueinander. Letztere ist eine sinnvolle Metapher für die Ausschöpfung der grossen Einsparpotenziale; sie kann aber allein die Eindämmung des Klimawandels nicht schnell genug herbeiführen, und sie stellt keinen quantitativ zwingend erforderlichen Wert dar. Politik und Gesellschaft müssen in der Energiefrage langfristige Ziele setzen und beharrlich am Kurs halten.

- Konstantinos Boulouchos steht dem Leitungsausschuss des Energy Science Center der ETH Zürich vor. Die Energiestrategie der ETH Zürich ist erhältlich unter www.esc.ethz.ch. Ein entsprechendes Kolloquium findet am 10. April an der ETH Zürich statt (www.esc.ethz.ch/index).

Energiestrategie an vorsorgeorientiertem Leitbild ausrichten
Von Marco Morosini*

Die Wende der neuen ETH-Schulleitung von einer Energie- hin zu einer Klimastrategie hat viele überrascht. Nach der neuen Strategie dürfe in 100 Jahren der Primärenergieverbrauch pro Kopf 4000 bis 6000 Watt sein (d. h. global bis 60 Terawatt; 1 TW = 1000 Milliarden Watt); anstatt einer 2000-Watt- sei eine globale 1-Tonne-CO₂-Gesellschaft anzustreben. Diese sei erreichbar dank Effizienz, erneuerbarer und (vorübergehend) Atomenergie sowie dank massiver Elektrifizierung. Die 2000-Watt-Gesellschaft sei eine nicht wörtlich zu nehmende «qualitative Metapher». Die neue Verkündung hat für Irritationen gesorgt bei vielen, die in der Schweiz und an der ETH für eine Selbstbegrenzung nicht nur des CO₂-Ausstosses, sondern auch der gesamten anthropischen Energieumwandlungen arbeiten.

Es überrascht, dass der neu angepeilte Energieumsatz bis dreimal so hoch ist wie der erst vor zehn Jahren propagierte, zumal für die Verträglichkeit dieses Energieniveaus keine neuen Erkenntnisse und Begründungen vorliegen. Der ursprüngliche 2000-Watt-Plafond wurde nicht mit einem projizierten angeblichen Bedarf, sondern mit anderen Argumenten begründet. Zum einen entsprechen 2000 Watt nicht einem Szenario, sondern einer Tatsache: dem jetzigen globalen Durchschnittsverbrauch. Die Plafonierung auf diesem Niveau würde die Energieeffizienz und eine bessere Verteilung der Energieansprüche stimulieren - bei wenigstens nicht steigenden Naturstörungen. Zum anderen wurde von verschiedenen Autoren versucht, einen vorsorgeorientierten Energieplafond zu errechnen, der sich auf Kenngrössen nicht der Anthro-, sondern der Biosphäre bezog - wie anfechtbar sie auch sind.

In den siebziger Jahren postulierte Wolfram Ziegler an der TU München, dass der anthropogene Energiefluss pro Flächeneinheit als Kausal- und Kenngrösse für die Umweltbelastung geeignet sei, insbesondere in Bezug auf die Beeinträchtigung der Artenvielfalt. Für Mitteleuropa kam Ziegler auf eine maximale Grenzbelastung von etwa 0,16 W/m². Diesen Wert auf den Globus extrapolierend, errechnete der Physiker Hans-Peter Dürr eine globale Grenzbelastung durch anthropogene Energieumsätze auf etwa 9 TW. Die Teilung von 9 TW durch die Anzahl Erdbewohner führte Dürr zum Entwurf einer vorsorgeorientierten globalen «1500-Watt-Gesellschaft». Dürr wies darauf hin, dass die Lebewesen der Festland-Erde 40 bis 50 TW an Sonnenenergie aufnehmen; damit entspreche ein anthropogener Fluss von 9 TW einem Fünftel des Umsatzes der terrestrischen Lebewesen. Ein anthropogener Fluss von 60 TW überträfe den natürlichen Energiefluss durch die terrestrische Biomasse deutlich.

Welche neuen Erkenntnisse belegen, dass die Erhöhung der Energieumwandlungen der Menschheit von momentan 13 auf etwa 60 TW ohne unannehmbare Effekte möglich sei? Für eine massive Elektrifizierung würden weltweit nicht nur die erneuerbaren Energien, sondern auch die Atomkraft ausgebaut. Ist zu erwarten, dass dies in allen Ländern mit der gebotenen Zuverlässigkeit vonstatten geht? Wie wird man während vieler zehntausend Jahre mit einem Vielfachen des jetzigen Atomabfalls umgehen?

Eher als an einer messerscharf definierten Tragfähigkeit der Biosphäre sollten wir uns an vorsorgeorientierten Leitbildern ausrichten, wie etwa die «(Wand-)Teppich-Metapher» (nach Carlos Davidson ähnelt der anthropogene Degradierungsprozess der Natur dem allmählichen Entfernen von einzelnen Fäden aus einem Wandteppich, der dadurch an Reichtum und Komplexität verliert, ohne sich dabei jedoch aufzulösen [BioScience, 2000, 50, 5]) und die «Fehlerfreundlichkeit» der menschlichen Interventionen in die Natur (E. U. von Weizsäcker). Denn wir wissen es: Je mehr Energie wir umsetzen, desto mehr stören wir die Natur - auch wenn die Energie erneuerbar ist. Vor allem ist die Energieumwandlung pro Person nicht eine natur- oder marktbedingte unveränderbare Grösse, sondern ein Nebeneffekt unserer kommerziell gesteuerten und verhandelbaren Lebensweise. In diesem Sinne bleibt das Leitbild der 2000-Watt-, ergänzt durch das der 1-Tonne-CO₂-Gesellschaft ernst zu nehmen.

- ETH-Gastprofessor von 2001 bis 2004 für Umweltindikatoren und nachhaltige Entwicklung.

Eine massive Reduktion des Energieumsatzes ist unumgänglich
Von Rüdiger Paschotta und Jürg Buri, Schweizerische Energiestiftung (SES)*

Die Energiepolitik steht vor gewaltigen Herausforderungen. Derzeit beansprucht die Weltbevölkerung durchschnittlich rund 2000 Watt an Primärenergie pro Kopf. In der Schweiz liegt man mit etwa 6000 Watt weit darüber, und die Schwellenländer sind dabei, diesem Beispiel zu folgen. Schon jetzt beginnt Erdöl knapp zu werden, und etwas später wird Gleiches bei Erdgas und Uran geschehen. Der jetzige Energieumsatz verursacht im globalen Mittel CO₂-Emissionen von rund 3,7 Tonnen (t) pro Kopf und Jahr, in der Schweiz über 10 t (inklusive grauer Energie). Um eine verheerende Erderwärmung zu vermeiden, müssen die Emissionen innerhalb weniger Jahrzehnte auf rund 2 t reduziert werden, längerfristig auf 1 t. Ein Ansatz zur Lösung dieses Problems ist das an der ETH Zürich entwickelte Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft. Danach muss der Energieumsatz weltweit auf 2000 Watt beschränkt und der -bedarf weitgehend aus erneuerbaren Quellen gedeckt werden. Andere setzen auf den Ersatz der heutigen fossilen Brenn- und Treibstoffe durch CO₂-arme Energieträger. Wie hier gezeigt wird, bietet nur die Kombination beider Ansätze die Chance einer klimaverträglichen Lösung.

Atomkraft stellt heute weltweit rund 6 Prozent der Primärenergie bzw. 2,5 Prozent der Endenergie bereit. Da schon dies zu einem drastischen Anstieg des Uranpreises geführt hat, würde die Lösung des Klimaproblems durch eine massive Ausweitung der Atomenergienutzung schon an der Knappheit von Uran scheitern. Hinzu kommen die Probleme der Finanzierbarkeit, des grossen Zeitbedarfs und der Weiterverbreitung von Atomwaffen. Brutreaktoren und Kernfusion könnten im Prinzip weitaus mehr Energie liefern und gleichzeitig das Atommüllproblem entschärfen. Kommerzielle Brüter haben aber noch nie jemals zufriedenstellend funktioniert, und ein Fusionsreaktor wäre extrem kompliziert und damit zu teuer. Für demnächst zu bauende Kraftwerke werden Brüter oder gar Fusionsreaktoren deswegen nicht einmal erwogen. Was in 50 Jahren verfügbar sein wird, ist unklar und für das heutige Handeln weitgehend irrelevant.

Photovoltaik, Solarwärme, Wasser- und Windkraft, Biomasse und Geothermie sind annähernd CO₂-freie und unerschöpfliche Energiequellen und somit zu Recht Gegenstand grosser Hoffnungen. Begrenzende und teilweise schwer abschätzbare Faktoren sind allerdings die benötigte Fläche, die längerfristig zu erwartenden Kosten und der Zeitfaktor. Immerhin sind die Kosten tendenziell fallend, und langfristige Kostenrisiken wie die Entsorgung alter Kraftwerke und Brennstoffe entfallen. Da Energie voraussichtlich nie wieder so billig wird wie im beginnenden Ölzeitalter, ist der Ansatz der 2000-Watt-Gesellschaft auch ökonomisch realistischer als der Versuch, einen beliebig steigenden Energiekonsum mit grossen Mengen «sauberer» Energie zu decken. Mit der zukünftigen Technik sollten 2000 Watt zudem einen hohen Lebensstandard problemlos ermöglichen.

Gelegentlich wird der Standpunkt vertreten, es genüge doch, dass die Schweiz CO₂-neutral werde - mit welchem Energieverbrauch auch immer. Dies würde erreicht durch moderne Technik oder gar nur auf dem Papier über ausländische Emissionszertifikate. Mit dieser Logik wäre jedoch das Scheitern des Klimaschutzes programmiert: Wenn wir ärmere Länder nicht davon überzeugen können, dass Wohlstand mit weniger Energie erreichbar ist, dann werden sie sich mehr Energie besorgen. Wenn ihnen dies nun nicht auf CO₂-neutrale Weise gelingt, wird die Lücke mit Kohle gedeckt werden - allein davon gibt es grosse, billige Vorräte. Entscheidend ist es also, ein Leben in Wohlstand mit der Menge Energie pro Kopf zu demonstrieren, die weltweit umweltverträglich und kostengünstig bereitgestellt werden kann. Nach Jahrzehnten der Forschung ist immer noch keine neue Quelle von Energie erkennbar, die problemlos 6000 Watt oder mehr an billiger CO₂-freier Energie für jeden Erdenbürger liefern kann. Solange dies so ist, bietet die massive Reduktion des Energieumsatzes - insbesondere in den Industrieländern - die einzige realistische Chance, die Klimaerwärmung nicht zur Katastrophe werden zu lassen.

* Rüdiger Paschotta ist Stiftungsrat der Schweizerischen Energiestiftung, Jürg Buri deren Geschäftsleiter.