

# STRATEGISCHE GEDANKEN ZUR ENERGIEWENDE

## DIE KONSEQUENZEN DER NEUEN AUSGANGSLAGE



Alte und neue Energie. Aufgenommen zwischen dem deutschen Ort Twist und dem niederländischen Nieuw Schoonebeek

Bildquelle: Wikimedia Commons, Michielverbeek

**U**kraïne und Hitzewelle liefern schlagkräftige Argumente für eine rasche Verwirklichung der Energiewende. Die Abhängigkeit von Energieimporten macht uns erpressbar und gegen die klimabedingte Erwärmung sind wir machtlos. Zur nachhaltigen Gestaltung unserer Energieversorgung kommen nun auch der Erhalt unserer politischen Handlungsfähigkeit und die Grundlage unserer Existenz. Wir müssen schnell und gezielt handeln, bevor uns die klimatischen Veränderungen alle Optionen zum Wandel genommen haben. Da weltweit koordinierte Aktionen nicht zu erwarten sind, sollten einzelne Länder ihre Energiewende in eigener Regie verwirklichen. Richtig geplant wird die Schaffung einer nachhaltig gestalteten Energieversorgung wirtschaftliche Vorteile bringen, denn Energie muss nicht mehr aufwändig gefördert, importiert und gekauft werden. Mit amortisierten heimischen Anlagen lässt sich grüne Energie nahezu kostenlos ernten.

Leider lässt sich diese Erkenntnis nur schwer vermitteln, denn die Energiediskussion spielt sich auf drei Zeitebenen ab. Die Energieversorgung von morgen wird heute auf der Wissensebene von gestern diskutiert. Mit erkennbarer Befangenheit wird versucht, die für fossile Energieträger entwickelte Technik mit aus grüner

Energie erzeugten Stoffen in die Zukunft zu retten. Wir wollen neue Konzepte der Kernspaltung verwirklichen, auch wenn Uranverfügbarkeit, Endlagerung und Wirtschaftlichkeit nicht gegeben sind. Wir träumen weiterhin von der Kernfusion, obgleich für die neuartige Befehrerung von Dampfkesseln bisher noch keine stabilen Kettenreaktionen (bei 100 Millionen Grad Celsius!) nachgewiesen werden konnten.

Die Politik reagiert aufgeschreckt mit Temperaturvorschriften für beheizte Gebäude und Heizkostenzuschüssen und macht damit die regelnde Wirkung höherer Energiepreise auf dringend notwendige Gebäudesanierungen wieder zunichte. Die Realität dokumentiert eine andere Wirklichkeit. Sonne und Wind liefern heute bereits den billigsten Strom. Wir sollten uns schnell von zeitlich begrenzten „Sozialmaßnahmen“ und der „technologieneutralen Forschung“ verabschieden und eine zielorientierte Energiewende mit bewährten, bewährten und verfügbaren Bausteinen verwirklichen.

### Befangenheit der Entscheidungsträger

Leider wird ein pragmatisches Vorgehen durch eine Kakophonie von parti-

kulären Interessen gebremst. Die Politik vernimmt von allen Seiten Vorschläge und verhält sich wie das Kaninchen vor der Schlange. Stillstand ist besser als Bewegung. Der vorgeschlagene Weg könnte ja in die falsche Richtung führen und Wählerstimmen kosten.

Die Energiedebatte wird in diesem Zustand verharren, solange einstudiertes Fachwissen oder persönliche Erfahrungen als Basis für zukunftsbezogene Entscheidungen dienen. Weitgehend sind wir fixiert auf technische Lösungen für das fossile Zeitalter, weil wir uns nicht in das Kommende versetzen können. Die Energiezukunft muss anhand von Wirtschaftlichkeitsvergleichen auf der Basis der Physik gestaltet werden und kann nicht eine Fortsetzung der bestehenden Praxis sein. Viele Endzustände sind heute bereits deutlich erkennbar. Vielleicht sollten wir uns in die Zeit nach Vollendung der Energieversorgung versetzen und rückblickend die Fragen stellen: „Wie haben wir es geschafft? Was hätten wir schneller machen können? Was haben wir richtig oder falsch gemacht?“ Die virtuelle Retrospektive liefert wichtige Hinweise für den schnellen Weg in eine nachhaltige Energiezukunft, also für die Strategie zur Energiewende.

### Eckpunkte der Energiewende

Die folgenden Eckpunkte einer gelungenen Energiewende sind bereits deutlich erkennbar und können als Marksteine dienen:

1. Energie stammt fast nur aus erneuerbaren Quellen. Kernspaltung und Kernfusion sind wegen der vergleichbar hohen Energiekosten keine nachhaltigen Optionen
2. Erneuerbare Energie wird von Sonne, Wind, Wasserkraft und Biomasse dezentral geerntet
3. Geerntet werden vorwiegend Strom, etwas Wärme und Biomasse. Strom wird deshalb zur Leitwahrung des Energiesystems
4. Die Energieernte folgt dem regionalen Energieangebot. Jede Region besitzt ihren eigenen Ener-

gemix aus Sonne, Wind, Wasserkraft, Biomasse, Tidenhub und Geothermie

5. Die regional geerntete Energie wird bevorzugt auch regional genutzt. Nur überschüssiger Primärstrom und feste Biomasse (Energieholz) wird in benachbarte Regionen exportiert
6. Speicherbare Biomasse (Brennmaterial, Biogas) wird vorwiegend im Winter genutzt.
7. Die Gebäude sind überwiegend gut gedämmt und werden mit kleinen Wärmepumpen beheizt
8. Private, gewerbliche und öffentliche Gebäude besitzen solarthermische und PV-Anlagen, sowie Wärme- und Stromspeicher
9. Der Landverkehr wird weitgehend elektrisch betrieben
10. Synthetische Kraftstoffe werden fast nur für Luft- und Seetransport benötigt
11. Höchste Wirkungsgrade gelten für alle Wandlungsschritte jeder Energiekette

Die Vergangenheit zeigt, dass für jede Energieform eine spezielle Energietechnik entwickelt worden ist. Auf Kohle folgte die Dampfmaschine, auf Erdöl der Verbrennungsmotor, auf Erdgas die Gasturbine, auf Uran die Kernenergie. Das wird in Zukunft auch so sein. Die hauptsächlich als Strom geerntete Naturenergie wird zu einer auf Strom basierenden und für Strom optimierten „Elektronenwirtschaft“ führen und nicht zu einer künstlich geschaffenen, aber eigentlich nicht benötigten „Wasserstoffwirtschaft“.

### Lokale Energieernte

Sonne, Wind und Biomasse liefern ihre Energie in flächiger Verteilung. Die lokale oder regionale Energieernte führt zu einer weitgehend dezentral aufgebauten Energienutzung. Dies ist ein tragender Teil der Energiewende. Hierfür muss ein nachhaltig geltendes Gleichgewicht zwischen Energieangebot und Energiebedarf gefunden werden, das berücksichtigt, in welcher physikalischen Form die grüne Primärenergie zur Verfügung steht: Strom, Wärme oder Biomasse? Auch muss geklärt werden, wie diese Energie mit den geringsten Verlusten dem Verbraucher zugeführt werden kann. Die Energiewende ist deshalb eng mit technischen Veränderungen im Bereich der Energienutzung verbunden, also mit einer teilweisen Umgestaltung des für fossile Primärenergieträger geschaffenen Energiesystems. Viele Einzelmaßnahmen werden bereits diskutiert, aber die Energiewende kann nur gelingen, wenn das

gesamte System von Energiegewinnung, Energieverteilung und Energienutzung für den Einsatz von grüner Primärenergie optimiert wird.

Auf den Ausstieg aus den klimaschädlichen fossilen Energieträgern folgt der Einstieg in die Energiegewinnung aus erneuerbaren Quellen. Elektrizität ist nicht mehr eine verlustreich erzeugte Sekundärenergie, sondern eine hochwertige Primärenergie. Leistungsfähige Netze für die Stromverteilung bestehen bereits. Öl- und Erdgasleitungen werden nicht mehr benötigt. Der Aufbau einer neuen Infrastruktur für Wasserstoff ist nicht zwingend. Dieser Strukturwandel wird noch nicht öffentlich diskutiert, obgleich er unausweichlich ist und bei allen Überlegungen zur Energiewende unbedingt berücksichtigt werden sollte.

### Einstieg in den Wandel

Kennzeichnend für diesen epochalen Wandel sind die folgenden Notwendigkeiten:

- Vollständige Versorgung des Endbereichs mit Energie aus erneuerbaren Quellen
- Unverzögerlicher Ausstieg aus fossilen Energieträgern zur Rettung des Klimas
- Verringerung der Energieimporte
- Dezentrale Energieernte für dezentrale Energienutzung
- Höchste Effizienz für alle Schritte der Energiewandlung
- Wirtschaftlichkeitsvergleiche der nachhaltigen mit veralteten Lösungen vermeiden

Die Energiewende wird sich in diesem Rahmen abspielen müssen. Diese Zielvorgaben sind umfassend und physikalisch begründet und sollten in zeitlicher Abstimmung verwirklicht werden. Noch fehlt ein Gesamtkonzept, das Verknüpfungen schafft und Widersprüche vermeidet. Für die Planung eines schlanken Wandels müssen wir uns gedanklich in die Energiewelt von morgen versetzen. Basierend auf meinen seit 1972 gewonnenen Erfahrungen betrachte ich die notwendigen Wandlungsschritte vom physikalisch begründeten Endzustand her. Solche Retrospektiven führen zu einer zielsicheren Verwirklichung der Energiewende, weil „Holzwege“ vermieden werden, die bei einem hastigen Einstieg in den Wandlungsprozess unvermeidbar sind.

Wir haben keine Zeit zu verlieren, es geht um eine langfristig gesicherte Energieversorgung mit einem neuen Energiesystem und nicht um die Modifikation einer auf fossilen Energieträgern basierenden Energiewirtschaft.

### Nachhaltige Energieversorgung

Die Forderung nach Nachhaltigkeit enthält zwei wesentliche Komponenten. Erstens muss die Energie der Zukunft für alle Zeiten verfügbar sein. Diese Forderung wird nur durch Sonne, Wind, Wasserkraft, Biomasse, also durch Energie solaren Ursprungs erfüllt. Zweitens muss die Energienutzung frei von klimaschädlichen Emissionen sein. Damit scheiden alle fossilen Energieträger inklusive Kern- und Fusionsenergie aus. Energie aus erneuerbaren Quellen wird vornehmlich als physikalische Primärenergie in Form von Strom oder Wärme geerntet. Beide Energieformen sind direkt und ohne wesentliche Wandlungsverluste nutzbar. Biomasse liefert chemische Primärenergie in Form von Brennholz oder fermentiert als Biogas. Beides kann direkt verstromt oder zur Heizung im Winter und zur Stromerzeugung bei Dunkelflaute gespeichert werden.

### Wende mit Bremsklötzen

Anstatt sich dem Wandel zu stellen und dessen Notwendigkeit auf breiter Basis überzeugend zu kommunizieren, lässt sich die Politik weitgehend von emotionalen Argumenten leiten. Der Schutz von Natur, Tieren, Landschaften, Gebäuden wird ebenso laut gefordert, wie der Erhalt von Arbeitsplätzen oder Wirtschaftszweigen. Wir können nicht Neues schaffen und gleichzeitig Hergebrachtes erhalten. Wende bedeutet Wandel. Im Rückblick werden wir erkennen, dass mit der Wende die Natur vor dem Klimatod gerettet worden ist und viele neue zukunftssichere Arbeitsplätze entstanden sind. Im 19. Jahrhundert hat die Industrialisierung viele handwerklich geprägte Tätigkeiten durch Maschinen ersetzt und damit angestammte Arbeitsplätze vernichtet. Die neu geschaffenen haben uns jedoch zu Wachstum und Wohlstand geführt. Auch das wird mit der Energiewende verbunden sein.

Wie für jede Veränderung bedarf es auch für die Energiewende eines gewissen Leidensdrucks. Der Bürger muss fühlen, dass ein Wandel notwendig ist und Besserung bringt. Die stark gestiegenen Energiekosten hätten den benötigten Leidensdruck sehr gut liefern und damit den politischen Willen zur Wende unterstützen können. Leider wird die treibende Kraft für die Energiewende durch Kompensation der Mehrkosten für Energie neutralisiert. Die Politik sollte die Folgen der Wende ehrlich und entschlossen darstellen und den Mut besitzen, alle Wähler auf die Zukunft vorzubereiten statt ihnen ein „Weiterso“ zu ermöglichen.

## Energieträger der Zukunft

Schon immer ist die Energietechnik der Energiequelle gefolgt. Wegen ihrer inhärent hohen Effizienz werden elektrische Systeme zum dominierenden Pfeiler der Energieversorgung. Da ein gut funktionierendes Stromnetz und alle wesentlichen Bausteine für eine breit gefächerte Stromnutzung bereits existieren, führt der Weg vom grünen Strom zwangsläufig zu einer „Elektronenwirtschaft“. Angesichts der sich deutlich abzeichnenden Entwicklung müssen die Bemühungen zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe auf der Basis von grünem Wasserstoff mit grossen Fragezeichen versehen werden, denn damit lässt sich die Zukunft nicht nachhaltig gestalten.

Fossile Energieträger werden also verdrängt oder wegen der CO<sub>2</sub>-Emissionen verboten. Auch der hochgelobte, aber mit hohem Energieverschleiss hergestellte Sekundärträger Wasserstoff wird nicht die ihm zugedachte Rolle spielen, denn der zu seiner Herstellung und Verteilung benötigte grüne Strom lässt sich direkt wesentlich effektiver nutzen. Noch problematischer sind alle Optionen zu Herstellung künstlicher Energieträger für den Weiterbetrieb von Verbrennungsmotoren und Heizkesseln. Nur ein Bruchteil der eingesetzten grünen Primärenergie steht für diese Anwendungen als Nutzenergie zur Verfügung.

Ein wichtiges Element für die Verwirklichung der Energiewende ist die Gesamtbetrachtung von Energiewandlungsketten. Viele der heute favorisierten Massnahmen führen zu verheerend schlechten Energiebilanzen. Auf den in Mitteleuropa verfügbaren Flächen lässt sich nicht genug Energie (100%) für eine Wasserstoffwirtschaft ernten, um den Bedarf (25%) und die Verluste (75%) zu decken. Mit der hier präsentierten rückblickenden Analyse können für viele Massnahmen der Energiewende bessere Wege, andere Verknüpfungen und effizientere Verfahren identifiziert werden. Viele der heute ernsthaft diskutierten Massnahmen sind aus rückblickender Sicht nicht zielführend und sollten überdacht werden.

## Gebäudesanierung vor Heizkesslersatz durch Wärmepumpen

Mit dem Wechsel wird die elektrische Wärmepumpe zum Standardgerät für die Beheizung und Klimatisierung von Gebäuden. Da „grüner“ Solarstrom im Winter saisonbedingt Mangelware ist und bleiben wird, führt der leistungsgleiche Austausch von Heizkesseln durch Wärmepumpen unweigerlich zu Stromengpässen im Winter. Das Heizproblem kann also nur nachhaltig gelöst werden, wenn

Gebäude zuerst thermisch modernisiert werden, dann können kleine, für den Restwärmebedarf ausgelegte Wärmepumpen auch tagsüber mit Solarstrom (vom eigenen Dach?) betrieben werden.

## Kaltmiete abschaffen

Auch sollte bei der Wohnungsvermietung die Kaltmiete für Mietwohnungen per Gesetz abgeschafft werden. Damit würde der durch hohe Energiekosten erzeugte Leidensdruck vom Mieter auf den Hauseigentümer verlagert. Nur der Besitzer der Immobilie kann entscheiden, ob, wann und wie er seine Wohnungen mit energiesparenden Veränderungen modernisieren und mit reduzierten Gesamtkosten für Mieter attraktiv macht. Mit der Abschaffung der Kaltmiete wird die Gebäudebeheizung Teil der betriebswirtschaftlichen Optimierung des Vermieters. Kalt vermietete Wohnungen werden wegen der hohen Energieebenenkosten nur noch schwerlich zu vermieten sein. Für gut gedämmte Gebäude wird auch der Einsatz elektrischer Wärmepumpen attraktiv.

## Mit Biogas und Brennholz Sommerenergie speichern

Nicht nur im landwirtschaftlichen Bereich, sondern auch im gewerblichen oder städtischen Umfeld wird aus organischem Abfall Biogas gewonnen. Fast immer wird das aufbereitete Gas direkt zur Erzeugung von Strom eingesetzt, der direkt ins Netz eingespeist wird. Schwerpunkt der Biogaserzeugung liegt jedoch im Sommer, also wenn Solarstrom bereits im Überschuss angeboten wird. Gleichzeitig soll aber zur Vermeidung von Netzüberlastungen mit dem überschüssigen Sommerstrom Wasserstoff für den Energiebedarf im Winter erzeugt und gespeichert werden. Es wäre viel einfacher, das im Sommer erzeugte Biomethan für den Winter zu nutzen. Auch kann im gleichen Speichervolumen bei gleichem Druck mit Methan etwa dreimal mehr Energie gespeichert werden als mit Wasserstoff. Biomethan aus heimischer Produktion könnte russisches Erdgas ersetzen, die Technik für die Erdgasspeicherung ist entwickelt und kann kurzfristig für Biogas adaptiert werden.

## Beheizen von Hochöfen mit Grünstrom

Nicht nur Hochöfen, auch viele andere chemische oder metallurgische Prozesse werden heute mit Erdgas beheizt, wobei nur ein Teil des zugeführten Gases für den bei höheren Temperaturen ablaufenden chemischen Prozess benötigt wird. Die vollständige Umstellung der Stahlherzeugung von Erdgas auf Wasserstoff

erfordert riesige Mengen Grünstrom, die nur schwerlich von Sonne, Wind & Co. geerntet werden können. Denkbar wäre eine Funktionstrennung im Hochofen: Aufheizen elektrisch mit grünem Strom, dann Reduktion des Eisenerzes mit Wasserstoff. Das Roheisen könnte mit etwa einem Drittel der nachhaltig geernteten Energie erzeugt werden, wenn mit Strom statt mit Wasserstoff geheizt würde. Diese Trennung von Beheizung und Reaktionschemie führt zu neuen technischen Verfahren, die jedoch für alle Zeiten nachhaltig anwendbar sind.

## Öffentliche Verkehrsmittel elektrisch betreiben

Beim privaten Strassenverkehr sind die Würfel bereits gefallen. Die batteriegespeisten Elektrofahrzeuge haben den Wettstreit mit den Brennstoffzellenautos gewonnen. Schon bald werden wir nur noch Elektrofahrzeuge mit fortschrittlichen Batterien und Reichweiten zwischen 600 und 1.000 km kaufen können. Batteriefahrzeuge sind wesentlich kostengünstiger zu betreiben als Wasserstoffmobile mit Brennstoffzellen.

Bei Lastwagen und Bussen wird noch diskutiert, obgleich auch hier die Vorzüge der ganzelektrischen Lösungen erkennbar werden: Kostenersparnisse, weniger Wartungsaufwand, starke Leistung wenn benötigt, tiefer Schwerpunkt usw. In Unkenntnis der aktuellen Entwicklung wird das Gewicht der Batterien jedoch immer noch kritisch diskutiert. Die nächste Batteriegeneration wird leichter sein und trotzdem etwa 50% mehr Strom speichern können.

Mit kleineren Batterien ausgestattete Elektrobusse könnten im städtischen Linienverkehr an Haltestellen nachgeladen werden. Erste Versuchsstrecken sind bereits im Betrieb. Mit leichteren Bussen wird der Energieverbrauch gesenkt. Nach dem gleichen Prinzip könnten auch Bahnlinien elektrifiziert werden. Batterien werden an Haltestellen nachgeladen. Der grüne Strom wird so wesentlich effizienter genutzt als mit dem Umweg über Wasserstoff. Mit dem Gesamt-Strombedarf für einen Wasserstoffbus können vier Elektrobusse betrieben werden.

## Synthetische Kraftstoffe nur wenn unvermeidbar

An vielen Orten wird an Verfahren gearbeitet, CO<sub>2</sub> aus der Luft zu gewinnen und dieses mit grünem Wasserstoff zu Methan, Methanol oder anderen Brenngasen oder flüssigen Kraftstoffen zu vereinen, mit denen Verbrennungsmotoren weiter betrieben werden sollen. Eine einfache Energiebilanz offenbart, dass diese Kraftstoffe, wenn das CO<sub>2</sub> aus



der Luft gewonnen wird, weniger Energie enthalten als für deren Herstellung insgesamt benötigt wird. Auch wird das der Luft entnommene CO<sub>2</sub> nicht, wie oft behauptet, klimafreundlich entsorgt, sondern lediglich auf Umwegen recycelt. Alle Bemühungen zur Herstellung künstlicher Kohlenwasserstoffe auf nachhaltiger Basis sind energetisch schlecht durchdachte Vorhaben. In einer nachhaltig gestalteten Energiezukunft fahren wir jedoch elektrisch und nicht mehr mit den für fossile Kraftstoffe entwickelten Verbrennungsmotoren. Auch in diesem Bereich liefert die rückwärts gerichtete Projektion der Zukunft Empfehlungen für das aktuelle Forschungstreiben. Die Bemühungen zur Herstellung künstlicher Ersatzkraftstoffe für Benzin, Diesel und Kerosin führen zu interessanten Erkenntnissen, aber nicht zu brauchbaren Lösungen für eine nachhaltig gestaltete Zukunft des Strassenverkehrs.

Anders ist es jedoch bei Kraftstoffen für den Langstreckenverkehr zu Wasser und zu Luft. Wegen des hohen spezifischen Volumens kann auch verflüssigter Wasserstoff nicht in Flugzeugen für den interkontinentalen Verkehr untergebracht werden. Das Gleiche gilt für Batterien, deren Gewicht den Lufttransport begrenzt. Kurzstreckenflugzeuge werden jedoch bereits mit Wasserstoff oder Batterie erprobt. Den Kohlenstoff für die synthetischen Kraftstoffe sollten wir jedoch Verbrennungsprozessen (bis 12% CO<sub>2</sub> im Rauchgas) und nicht der Luft (0,2%) entnehmen.

Auch die ersten Küstenschiffe und Fähren fahren mit Batterien oder mit Brennstoffzelle und Wasserstoff. Für den Hochseetransport scheidet jedoch der elektrische Antrieb aus. In Kryotanks lässt sich der von Fracht- und Kreuzfahrtschiffen benötigte Wasserstoff unterbringen.

### Ammoniak als grüner Energieträger

Mit Ammoniak wird Kohlenstoff und das sich daraus bildende CO<sub>2</sub> völlig ausgeschaltet. Die Substanz lässt sich bei mässigem Überdruck und Normaltemperatur in flüssigem Zustand gut transportieren. Es kann in Motoren und Gasturbinen verbrannt und mit alkalischen Brennstoffzellen direkt in Strom verwandelt werden. Beim Einsatz von keramischen Brennstoffzellen steht die Abwärme zur Ammoniakspaltung zur Verfügung. Mit drei an ein Stickstoffatom gebundenen Wasserstoffatomen ist Ammoniak auch der beste Wasserstoffträger. Ammoniak wird nach Vollendung der Energiewende aller Voraussicht nach eine wichtige Rolle spielen. Wir sollten uns jetzt schon ernsthaft mit dem universellen Energieträger Ammoniak befassen.

### Verfügbare Energie direkt nutzen

In Zukunft wird Energie bevorzugt dann geerntet oder zur Verfügung gestellt, wenn sie benötigt wird. Der Speicherbedarf wird also durch organisatorische Massnahmen deutlich verringert. Mit dem Begriff „Dunkelflaute“ wird die Notwendigkeit zur Speicherung von grünem Wasserstoff begründet, obgleich der Strombedarf weitgehend auch mit Wasserkraft und gespeichertem Biogas gedeckt werden kann, wenn Sonne und Wind zeitgleich keinen Strom liefern. In Zukunft werden wir sehr bewusst mit gespeicherter Energie umgehen und der direkten Nutzung von Sonne und Wind den absoluten Vorrang geben, damit Dunkelflauten auch ohne gespeicherten Wasserstoff überbrückt werden können.

Auch in diesem Fall bestimmt die Energiebilanz das Geschehen. Biogas lässt sich mit geringstem Energieaufwand und bestehender Technik speichern. In Zukunft wird Biogas nicht direkt verstromt, sondern zur Überbrückung von Dunkelflauten gespeichert werden. Andernfalls müssten wir den zu viel ins Netz eingespeisten Strom dem Netz zur Erzeugung von Wasserstoff wieder entnehmen, den wir dann zur Überbrückung von Dunkelflauten speichern müssen. Dümmer geht es kaum noch.

Mit der Speicherung von Biogas wird das Problem wesentlich effizienter, kostengünstiger und schneller gelöst als mit der Speicherung von Wasserstoff. Wasserstoff und daraus abgeleitete Energieträger werden voraussichtlich nicht die tragende Rolle spielen, die ihnen heute von den Protagonisten einer Wasserstoffwirtschaft zugesprochen wird.

### Zusammenfassung

Die dargestellten Beispiele verdeutlichen, dass die Energiewende aller Voraussicht nach zu einer sehr effizienten „Elektronenwirtschaft“ führen wird. Der über-eilte Aufbau einer „Wasserstoffwirtschaft“ führt nicht zum Ziel, denn die Energieversorgung der Zukunft basiert auf der dezentralen Energieernte von Sonne, Wind, Wasserkraft und Biomasse und einer auf diese Energieträger abgestimmten Technik. Mit einer effizienten Elektronenwirtschaft kann der Energiebedarf weitgehend aus heimischen Quellen gedeckt werden. Die benötigten Ernteflächen sind ohne grosse Eingriffe in die Natur vorhanden. Für eine „Wasserstoffwirtschaft“ werden jedoch etwa viermal grössere Ernteflächen für Solar- und Windstrom benötigt, weil nur ein Viertel der grünen Energie genutzt werden kann. Der Rest geht „von der Wiege bis zur Bahre“ nutzlos verloren.

Eine auf Wasserstoff aufbauende Wirtschaft lässt sich nicht ohne Energieimport-

te betreiben. Ohnehin ist der Seetransport von Wasserstoff ein problematisches Unterfangen. Der grösste Flüssiggastanker der Welt, die Mozah, ist für den Transport von 180.000 Tonnen LNG konzipiert. In den Tanks könnten jedoch nur 20.000 Tonnen flüssigen Wasserstoff LH<sub>2</sub> mit einem Drittel der Energiemenge untergebracht werden, die mit einer LNG-Ladung transportiert wird. Das macht den Seetransport von Wasserstoff nicht nur unbezahlbar, sondern auch unsinnig. Um den Strassenverkehr in Deutschland mit Wasserstoff zu versorgen, müsste täglich ein LH<sub>2</sub>-Supertanker an der Nordseeküste gelöscht werden.

Grüner Wasserstoff soll aus grünem Strom hergestellt werden, den wir ja auch direkt über Leitungen verteilen könnten. Der über Wasserstoff verteilte Strom muss also mit seinem eigenen Ursprung konkurrieren, was nie und nimmer möglich ist, auch wenn die Rückwandlung in effizienten Brennstoffzellen erfolgt. Aufgrund der hohen Verluste der Wasserstoffkette wird der mit Wasserstoff erzeugte Strom immer wesentlich teurer sein als der grüne Primärstrom.

Wir sollten sorgfältig entscheiden, welchen Weg wir für das Gelingen der Energiewende beschreiten müssen. Ohne Zweifel wird Wasserstoff in Zukunft eine gewisse Rolle spielen. Der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft ist jedoch keine wesentliche Voraussetzung für die Energiewende. Wir müssen uns unverzüglich entscheiden, wie wir gezielt und mit geringstem Aufwand die Zukunft nachhaltig gestalten wollen. Energiewende oder Wasserstoffwirtschaft, das ist die Frage. Beides zusammen geht nicht, wie der Rückblick aus der Zeit nach verwirklichter Energiewende verdeutlicht.

Wir müssen uns von der Idee verabschieden, dass Strom als Sekundärenergie mit fossil beheizten Carnot-Maschinen produziert wird. Strom wird in Zukunft als Primärenergie geerntet und wird zur Leitwährung im Energiesystem. Die hochentwickelte Technik der thermischen Stromerzeugung wird nur noch bei der Abfallverbrennung, der direkten Nutzung der Geothermie und bei solaren- und nuklearen Kraftwerken zum Einsatz kommen.

### ZUM AUTOR:

► Dr. Ulf Bossel

PhD. (UC Berkeley), Dipl. Masch. Ing. (ETH Zürich), Berater für nachhaltige Energielösungen

ubossel@bluewin.ch