

## CO<sub>2</sub>-neutrale Schweiz bis 2050

Könnten wir das schaffen? Könnten wir uns das leisten?

### Überblick und Zusammenfassung

Richard Voellmy (Dr.Natw. ETHZ, J.D. UM) und Olivier Zürcher (Dr.sc.techn. EPFL)



25 MW Photovoltaik Anlage mit 90'000 Panels in DeSoto County, Florida. Hätten wir schätzungsweise **3'000 bis 5'000** solcher Anlagen und hätten wir **ausserdem noch mehrere Hundert Milliarden Franken** in Gebäudesanierungen und weiteren Technologieumbau investiert, dann sollten wir grossenteils auf fossile Treib- und Brennstoffe (Energienutzung) verzichten und dennoch «anständig» weiterleben können...

## Überblick

Das angestrebte Ziel ist Netto Null CO<sub>2</sub>-Emissionen spätestens im Jahr 2050. In diesem Bericht geht es um eine allgemeinverständliche Beurteilung, auf Grund von statistischen Zahlen und technischen/wissenschaftlichen Informationen, der Anstrengungen, die gemacht werden müssten, um ein Schweizer Energiewesen einzurichten, das im Wesentlichen mit Sonnenenergie und anderen erneuerbaren Energien auskommt. Unkomplizierte Rechnungen zeigen auf, dass ein monumentaler Aufwand betrieben und riesige Investitionen (sowohl in Franken also auch in grauer Energie) gemacht werden müssten. Technologien, die heute noch nicht als ausgereift gelten können, müssten zum Einsatz kommen. Obwohl ihr Schwerpunkt auf Fragen der Machbarkeit liegt, beschäftigt sich die Arbeit auch mit der Unzulänglichkeit des gesetzgeberischen Ansatzes (der auch dem neuen CO<sub>2</sub> Gesetz zugrunde liegt), der darauf abzielt, CO<sub>2</sub>-Emissionen sukzessive zu reduzieren mittels Beschränkungen des Verbrauchs von fossiler Energie, Abgaben auf fossile Energieträger und Kompensationsverpflichtungen. Es wird angeregt, dass, schon aufgrund der schieren Dimensionen des Projekts, der Umbau des Energiewesens eine staatliche Aufgabe sein sollte. Ein konkreter Plan für den konsequenten Umbau sollte erstellt werden, der Massnahmen, deren Abfolge und deren Finanzierung definiert und der von Parlament und Stimmbürgern mitgetragen werden könnte. Elemente eines solchen Plans werden angedacht.

## Zusammenfassung

Es ist heutzutage schwierig zu entscheiden, welchen Informationen man vertrauen soll. Deshalb wollte ich (RV) mir selbst ein Bild machen von den technischen und finanziellen Schwierigkeiten, die überwunden werden müssten, um unser heute grossenteils auf der Nutzung von fossilen Treib- und Brennstoffen (und Kernbrennstoffen) beruhendes Energiewesen in ein System zu verwandeln, das praktisch ausschliesslich erneuerbare Energien verwendet und keine CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht. Mein Mitautor (OZ) unterstützte mich bei diesen Betrachtungen. Die wichtigste erneuerbare Energie, die uns heute zur Verfügung steht, ist die Sonnenenergie, eine Energieform mit einer äusserst geringen Energiedichte verglichen mit Öl. Sonnenenergie kann mittels Photovoltaik (abgekürzt «PV») ineffizient in Elektrizität verwandelt werden, die dann für den Betrieb von elektrischen Geräten aller Art und elektrisch motorisierten Fahrzeugen sowie zur Ausnutzung von Umweltenergie (hauptsächlich geothermale Energie) für die Wärmeerzeugung benutzt werden kann. In meinen Überschlagsrechnungen ging ich vom «worst case» Szenario aus, dass sich zwischen heute und 2050 nichts in unserem Verhalten ändern wird, dass sich also unser Lebensstil nicht verändern wird und auch gleichviele km gefahren werden wie heute. Die Rechnungen benutzten soweit möglich offizielle statistische Daten oder Daten aus der wissenschaftlichen Literatur. Die generelle Vorgabe war, dass unser

zukünftiges Energiewesen primär auf im Inland erzeugter PV-Elektrizität beruhen wird und dass wir alle energiesparende Technologien (im Betrieb, nicht in der Herstellung) für Wärmeerzeugung (hauptsächlich Raumwärme und Warmwasser) and Mobilität verwenden werden, also Geothermie (oder analoge Technologien) und elektrisch motorisierte Mobilität.

Wieviel zusätzlicher Strom müsste produziert werden, um Kernkraftwerke und mit fossilen Brennstoffen betriebene Kraftwerke zu ersetzen, eine elektrische Mobilität zu speisen und mit Geothermie oder ähnlicher Technologie zu heizen und Warmwasser zu erzeugen? Die Rechnung ergab, dass 52.6 TWh Strom zusätzlich erzeugt werden müssten. Diese Energiemenge könnte von PV-Anlagen mit einer Gesamtfläche von etwa 530 km<sup>2</sup> (Fläche des ganzen Bodensees) einigermaßen sicher produziert werden (1.5-fache Überdimensionierung). Etwa 200 km<sup>2</sup> hätten auf Gebäudedächern und Fassaden Platz. Der Rest, also 330 km<sup>2</sup>, was etwa 4-mal der Fläche des Zürichsees entspricht, müsste irgendwo in der Landschaft installiert werden. Der Aufwand, der mit der Errichtung von PV-Anlagen von dieser Grössenordnung verbunden wäre, wäre gigantisch. Noch furchterregender wären die Mengen von grauer Energie, die bei der Herstellung solcher Anlagen verbraucht würden, sowie das Preisschild. Vielleicht ist es erwähnenswert, dass die bisher in der Schweiz installierte PV-Fläche etwa 14.5 km<sup>2</sup> beträgt.

Die obige Rechnung unterschlägt die saisonale Natur der Sonnenenergie: bei uns fällt 73% dieser Energie im Sommerhalbjahr an und nur 27% im Winterhalbjahr. Und heizen müssen wir ausschliesslich im Winterhalbjahr. Die PV-Fläche könnte so vergrössert werden, dass sie auch im Winterhalbjahr genügend Energie liefern würde. Die dafür notwendige Fläche wäre etwa 1'200 km<sup>2</sup>. Es müsste also quasi der ganze Kanton Thurgau mit Solarzellen zudeckt werden. Erlauben wir, dass elektrische Geräte effizienter arbeiten werden in 2050 (nur noch 50% des heutigen Verbrauchs) und dass dann etwa 30% der Gebäude energetisch saniert sein werden, dann wären es immer noch etwa 930 km<sup>2</sup>. Wenn wir dies nicht wollten, dann müssten wir überschüssigen PV-Sommerstrom für den Winter speichern können, und hier hätten wir das nächste Riesenproblem. An eine Speicherung mittels Batterien wäre nicht zu denken. Die nächstbeste Möglichkeit wäre die Nutzung von Pumpspeicherkraftwerken. Diese Möglichkeit würde voraussichtlich ebenfalls nicht zur Verfügung stehen, selbst wenn die optimistischsten Ausbaupläne des Bundes realisiert würden. Es blieben uns also bloss die sogenannten «power-to-gas» (P2G) Technologien, bei denen Strom z.B. in Form von Wasserstoff oder Methanol gespeichert wird. Elektrizität kann dann über sogenannte Brennstoffzellen zurückgewonnen werden. Diese Technologien sind noch ziemlich unausgereift; dass es schon einige Wasserstoff-betriebene Fahrzeuge zu kaufen gibt (in gewissen Märkten), täuscht über die verbleibenden Schwierigkeiten hinweg. Auch sind diese Technologien wenig effizient: mehr als die Hälfte der eingesetzten elektrischen Energie geht verloren. Nehmen wir mit viel Optimismus an, die Speicherung von PV-Sommerstrom für den Ersatz von nuklearem und fossilem Strom würde mittels Pumpkraftwerken erfolgen, und Mobilität und Heizung/

Warmwasserherstellung würden von gespeichertem Methanol unterstützt. Der zusätzliche Strombedarf in diesem Szenario wäre 54.2 TWh, was einer PV-Fläche (1.5-mal theoretisches Minimum) von ca. 540 km<sup>2</sup> entspricht.

Weitere Rechnungen gingen davon aus, dass es sinnvoll wäre, wenn der auf Gebäuden produzierte PV-Strom auch da verbraucht würde. In den gerechneten Szenarien wären in einem typischen Gebäude alle geeigneten Dach- und Fassadenflächen mit PV-Zellen bestückt, und Heizung und Warmwasserzubereitung würden mit einer geothermischen Anlage betrieben. Die Speicherung der im Winter benötigten Energie fände mittels einer P2G Technologie (Wasserstoff) statt. Die Resultate der Rechnungen lassen es als möglich erscheinen, dass (über den gesamten Gebäudepark gerechnet) die PV-Produktion ausreichen würde, um alle Gebäude mit Wohnnutzung mit Elektrizität sowie alle beheizbaren Gebäude mit Raumwärme und Warmwasser zu versorgen. Allerdings mit dem wichtigen Vorbehalt, dass alle beheizbaren Gebäude energetisch saniert sein müssten. Der für die Mobilität benötigte PV-Strom müsste in zusätzlichen im Gelände installierten PV-Anlagen oder Parks erzeugt werden. Überschüssiger Sommerstrom würde für die Wintermobilität gespeichert. P2G Technologie käme wieder zum Zug, und wir würden im Winter z.B. mit Methanol-Unterstützung fahren. Die benötigte PV-Anlagenfläche wäre ca. 210 km<sup>2</sup> gross. Wenn der viele PV-Strom die Stabilität des Stromnetzes in Frage stellte, würde man sich möglicherweise dafür entscheiden, ganzjährig mit Methanol zu fahren. Die Methanol Herstellung könnte dann unabhängig vom Netz erfolgen. Allerdings müsste dann die PV-Anlagenfläche etwa doppelt so gross sein.

Obschon zugegebenermassen grob, die angestellten Rechnungen vermitteln eine Vorstellung von den gigantischen Anstrengungen, die unternommen werden müssten, um ein CO<sub>2</sub>-neutrales (oder armes) Energiewesen einzurichten. Schon allein die Beschaffung von 400- 500 km<sup>2</sup> Solaranlagen würde einen tiefen dreistelligen Milliardenbetrag verschlingen (zu heutigen Preisen). Die graue Energiemenge, die nur schon für die Herstellung der benötigten PV-Panels aufgebracht werden müsste, würde den jährlichen Gesamtenergieverbrauch der Schweiz übersteigen. Und dann bräuchten wir noch Grossanlagen für die Elektrolyse von Wasserstoff und dessen Karbonisierung (zu Methanol), und vielleicht sogar - es klingt wie ein schlechter Witz – Holzverbrennungsanlagen für die Herstellung von CO<sub>2</sub> für die Karbonisierung. Geschätzt könnte die Gesamtsanierung aller Ein- und Mehrfamilienhäuser über die nächsten 20 Jahre beinahe 30 Milliarden Franken pro Jahr kosten. Die inländische verarbeitende Industrie und die Bauindustrie müssten hochgefahren werden. Wer soll denn sonst die PV-Anlagen herstellen, die wir in der geforderten Menge nirgends werden einkaufen können? Wer soll die Sanierung von über einer Million Gebäuden durchführen, usw.? Selbst wenn wir uns einen bescheideneren Lebensstil angewöhnen würden – und dies ist dringlich gefragt – und, vor allem, unsere Mobilität herunterfahren würden, bliebe die Aufgabe gewaltig.

Nur schon wegen ihrer schieren Grösse müsste die Aufgabe ohne Verzug in Angriff genommen werden, sollte es uns ernst damit sein. Wir bräuchten einen konkreten Plan, den ich hier anzudenken versuche. Hier setzt auch meine Kritik an den Energiegesetzen des Bundes an. Es geht dabei um das CO<sub>2</sub>-Gesetz von 2011 (noch in Kraft) und das Energiegesetz von 2016. Diesen Gesetzen liegt kein eigentlicher Plan zugrunde. Vielmehr befassen sie sich mit Konsumbeschränkungen, Abgaben auf Treibstoffe und Brennstoffe, and Bussen. Zudem fordern sie Kompensationsmassnahmen für CO<sub>2</sub>-Emissionen in gewissen Wirtschaftsbereichen ein. Sie versprechen auch (im grossen Ganzen bescheidene) «Investitionsbeiträge» für Gebäudesanierungen und verschiedenste Projekte, die zur Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen beitragen könnten. Nichtgebrauchtes Geld wird sogar an die Bevölkerung zurückverteilt. Das «neue» CO<sub>2</sub>-Gesetz, über das wir demnächst abstimmen werden, ist eine Neuauflage des CO<sub>2</sub>-Gesetzes von 2011 mit einschneidenderen Beschränkungen und höheren Abgaben. Weil diese Gesetze bloss regulieren, unterstehen sie dem Gesetz der «unintended consequences». Man kann nur Schlimmes befürchten. Nur wer bezahlt befiehlt. Mit anderen Worten, nur wer bezahlt, kann einen konkreten Plan erstellen und dessen zeitnahe Durchführung umsetzen. Die Umwandlung unseres Energiewesens sollte eine staatliche Aufgabe sein genauso wie der Bau von Strassen und Schulen, die AHV oder der Einkauf vom Kampfjets. Ein sorgfältig ausgearbeiteter Projekt- und Finanzierungsplan (Steuern) sollte vom Parlament verabschiedet werden. Da ein Referendum zu erwarten wäre, würden die Stimmbürger schlussendlich darüber entscheiden, ob die Aufgabe angegangen werden soll.

Mein Mitautor befasst sich im letzten Kapitel ausführlicher mit dem Konzept der grauen Energie, das offenbar kaum beachtet wird. Die Energiegesetze streben offensichtlich eine sukzessive Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen an; es erscheint als möglich, dass der Trend eher umgekehrt sein wird, bis die neue Infrastruktur eingerichtet ist. Seine Beispiele vermitteln ein intuitives Verständnis von grauer Energie. Er befasst sich auch mit der Bedeutung des gegenwärtigen Paradigmenwechsels, der mit dem Ersatz der fossilen Energiequellen, die eine extrem hohe Energiedichte aufweisen, mit erneuerbaren Energiequellen mit geringer Energiedichte wie der Sonneneinstrahlung und dem Wind, einhergeht.

**Eine französische Übersetzung ist in Arbeit.**