

Die Grenzen erneuerbarer Energien

Auch die Übernutzung von Windkraft, Biomasse oder Solarenergie kann das Erdsystem aus dem Gleichgewicht bringen. Doch die Grenzen sind noch nicht erreicht – das nachhaltige Potenzial erneuerbarer Energien ist zehnmal grösser als der heutige Energiebedarf. Ausbauen lässt sich vor allem die Sonnenenergie. *Harald Desing*

Abstract Auf unserem endlichen Planeten sind auch die erneuerbaren Energieflüsse beschränkt. Werden die ökologischen Belastungsgrenzen der Erde respektiert, können nur 0,04 Prozent des Energiehaushalts des Planeten für unsere Gesellschaft genutzt werden. Dieses Potenzial besteht fast ausschliesslich aus der direkten Sonnenenergienutzung auf der bereits durch Strassen, Gebäude und Schienen versiegelten Oberfläche sowie auf einem Teil der Wüsten. Eine nachhaltige Gesellschaft wird daher auch eine solare Gesellschaft werden und zuallererst Dächer, Fassaden und andere Infrastrukturfleichen solar nutzen müssen.

Klimakrise, Artensterben, Müll in jeder Ecke unseres Planeten: Die Belastung der Erde hat ihre Grenzen – das wird uns zunehmend vor Augen geführt. Unser Hunger nach Energie und Rohstoffen führt zu weitreichenden und potenziell existenzbedrohenden Veränderungen im System Erde. Doch wie können wir die Zukunft nachhaltig gestalten, bevor es zu spät ist? Fest steht: Auch eine nachhaltige Gesellschaft braucht Energie. Daher stellt sich die Frage gleich zu Beginn: Wie viel erneuerbare und saubere Energie haben wir innerhalb der Belastungsgrenzen der Erde zur Verfügung? Antworten auf diese Frage suchte ein Team der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt im Rahmen des Projects «Laboratory for Applied Circular Economy».

Die Erde erhält einen ungeheuer grossen Energiestrom von der Sonne. Im Vergleich dazu sieht der menschliche Energiebedarf vernachlässigbar klein aus. Doch dieser Energiestrom bleibt nicht ungenutzt, im Gegenteil: Seit Urzeiten liefert die Sonne die Energie, die das Erdsystem am Laufen hält. So treibt sie etwa den Wasserkreislauf an und ist der primäre Energielieferant für das Leben. Die Sonnenenergie hat die Evolution des Menschen überhaupt erst ermöglicht.

Belastungsgrenzen respektieren

Der Mensch kann verschiedene Formen der Erdsystemenergie nutzen: zum Beispiel kinetische Energie in Wind und Wasserströmungen oder chemische Energie in Biomasse wie Holz oder Agrartreibstoffe. Doch alle diese Energieformen lassen sich letztlich auf die Sonne zurückführen, mit Ausnahme der

Gezeiten und der Erdwärme, welche global gesehen nur einen sehr kleinen Anteil zum Energiehaushalt der Erde beitragen. Wollen wir diese Energieströme nachhaltig nutzen, müssen wir gleichzeitig Sorge tragen, dass die Belastungsgrenzen des Erdsystems respektiert werden. Sind die vom Menschen umgenutzten Energieflüsse zu gross, besteht die Gefahr, dass dies schnelle und irreversible Veränderungen im Erdsystem auslöst.

Die Landnutzung ist dabei von entscheidender Bedeutung: Waldoberfläche hat fundamental andere Eigenschaften als beispielsweise ein Solarpark. Ein Solarpark stört nicht nur die Biodiversität, sondern auch die Verdunstung und damit den Wasserkreislauf oder die Reflexion von Sonnenlicht und die Abstrahlung von Wärme. Kleine Änderungen im System Erde können ausgeglichen werden, oder sie haben nur sehr kleine Auswirkungen. Werden diese Störungen allerdings zu gross, kann das Erdsystem sie nicht mehr kompensieren und verlässt seinen stabilen Betriebszustand. Viele sogenannte Kippelemente, wie beispielsweise das Abschmelzen der Polkappen oder das Absterben der Korallenriffe, sind bekannt.¹ Werden die jeweiligen Kippunkte überschritten, wechselt das Erdsystem schnell und meist irreversibel in einen neuen Zustand. Die Landnutzung, ein Haupttreiber für den Verlust an Biodiversität und ein Beschleuniger der Klimaveränderung, erhöht den Druck auf solche Kippelemente und hat bereits ihre sichere Belastungsgrenze überschritten.

Die Menschheit benötigt neben technischer Energie wie Strom oder Wärme auch

chemische Energie in Form von Nahrung und biologische Materialien wie Holz oder Baumwolle. Wenn die Weltbevölkerung weiterwächst und sich voraussichtlich erst bei rund 11 Milliarden² stabilisiert, wird allein schon die Ernährungssicherung innerhalb der Belastungsgrenzen der Erde zur Herausforderung.³ Zusätzlich dazu noch grossflächig Agrartreibstoffe anzubauen, kann bestenfalls erst nach dem Umbau zu einer gesicherten und nachhaltigen Ernährungsproduktion erfolgen. Denn die Bioenergienutzung – das heisst die Umwandlung von Biomasse in elektrische Energie, Wärme oder Kraftstoff – liegt bereits heute über ihrem nachhaltigen Potenzial.⁴

Wasserkraft begrenzt nutzbar

Die Schweiz setzt dank ihrer geografischen Lage stark auf Wasserkraft. Allerdings ist auch hier der Ausbau bereits auf einem hohen Niveau angelangt. Zudem ist das nachhaltige Potenzial der Wasserkraft global gesehen sehr beschränkt. Sei es aufgrund fehlender topografischer Eignung für Speicherseen oder wegen negativer ökologischer Folgen beim Bau von Staumauern. So verändern Staumauern etwa den Nährstoff- und Geschiebetransport, was weitreichende Auswirkungen auf die Flussökologie haben kann. Zudem sind sie eine künstliche Barriere für die Migration von Wasserlebewesen in Flüssen.

Auch die Windkraft ist ein grosser Hoffnungsträger. Leider hat auch sie aus Erdsystemsicht nur beschränkt Potenzial. Die kinetische Energie im Wind entsteht, weil die Sonneneinstrahlung zu ungleichmässiger Erwärmung in der Atmosphäre führt. Dadurch ergeben sich Druckunterschiede, welche zu Ausgleichsströmungen – sprich: Winden – werden. Jeder Umwandlungsschritt – von der Sonne zu Wärme zu Bewegung zu Strom – bedingt zum Teil erhebliche Verluste, welche das Potenzial von Wind gegenüber der direkten Sonnenenergienutzung, also der direkten

² Gemäss UN Department of Economic and Social Affairs (2019).

³ Siehe Willett et al. (2019).

⁴ Siehe Smith et al. (2012) sowie Desing et al. (2019).

¹ Siehe Lenton et al. (2019).

Fotovoltaikanlagen auf der grünen
Wiese stören die Biodiversität. Ein
Schaf im bayrischen Solarpark Bavaria.



Umwandlung von Sonne zu Strom, entsprechend verkleinert.⁵

Biomasse, Wasser- und Windkraft zusammen können nur einen Bruchteil des globalen Energiebedarfs der Menschheit decken. Andere erneuerbare Energieformen wie Wellen, Gezeiten oder Erdwärme haben bereits ein sehr kleines theoretisches Potenzial. Sie können bestenfalls lokal einen Beitrag zur technischen Energienutzung leisten. Global gesehen sind sie vernachlässigbar.

Hoffnungsträger Solarenergie

Wie die bisherige Aufzählung zeigt, ist das Ausbaupotenzial vieler erneuerbarer Energieträger bescheiden. Doch was ist mit der direkten Umwandlung von Sonnenenergie in Strom? Hat sie das Potenzial, den globalen Energiebedarf zu decken? Solarenergie kann mithilfe von Fotovoltaikanlagen, Solarthermie oder thermischen Sonnenspiegelkraftwerken genutzt werden. Die ersten beiden sieht man auf immer mehr Dächern installiert, Letztere sind vor allem in Wüstengebieten sinnvoll einsetzbar. Das Potenzial für die Nutzung ist beträchtlich. Würden die ganzen bereits gebauten Infrastrukturoberflächen wie Dächer, Fassaden, Strassen, Parkplätze oder Schienenwege genutzt, könnte das Dreifache des globalen Energiebedarfs von 2018 verfügbar gemacht werden.⁶ Das heisst: Kein zusätzlicher Flächenverbrauch ist nötig, also keine Solarparks auf der grünen Wiese.

Dieses Potenzial allein wäre ausreichend, um eine globale 2000-Watt-Gesellschaft zu versorgen, eine Gesellschaft also, in der

jedem Erdenbürger über das Jahr durchschnittlich 2000 Watt zur Verfügung stehen. Würde hingegen der weltweite Energiebedarf pro Person auf 5000 Watt und damit auf den heutigen Bedarf eines durchschnittlichen Einwohners der Schweiz ansteigen, wären zusätzlich rund 10 Prozent der Wüstenfläche zur Solarenergieernte notwendig.⁷ Immerhin: Der Flächenverbrauch in den Wüsten hat nur kleine Auswirkungen auf die Biodiversität. Die Auswirkungen auf das Klima und den Energiehaushalt der Erde durch veränderte Sonnenreflexion müssen jedoch erst näher untersucht werden. Hinzu kommen hohe politische und technische Hürden für den Transport der in der Wüste gesammelten Energie in die Ballungsräume. Aus diesen Gründen spricht viel dafür, die Wüstengebiete nur dann zu erschliessen, wenn alle anderen Möglichkeiten ausgeschöpft sind.

Zählt man das globale Potenzial aller erneuerbaren Energien, inklusive des Zubaus von 10 Prozent der Wüstenfläche, zusammen, ist dieses zehnmal grösser als der heutige weltweite Energiebedarf. Und trotzdem entspricht dieses Potenzial nur 0,04 Prozent der einfallenden Sonnenstrahlung auf die Erde.⁸

Weg zur solaren Gesellschaft

Eine nachhaltige Gesellschaft sollte daher überwiegend von direkter Nutzung der Sonnenenergie angetrieben werden. Jedes Dach, jede Fassade, jeder Parkplatz kann so einen Beitrag für eine nachhaltige Energiezukunft leisten. Da CO₂-Emissionen global immer noch ansteigen, müssen wir immer dringen-

der handeln, um die globale Klimakatastrophe noch abzuwenden. Energetisch betrachtet ist es jedenfalls möglich, innerhalb von Jahren und nicht Jahrzehnten alle fossilen Energieträger durch Sonnenkraft zu ersetzen.⁹ Die Technologie ist startklar, und Fotovoltaik ist mittlerweile sogar die billigste Energieform. Und dies, obwohl sich im Jahr 2017 die Subventionen für fossile Energieträger weltweit auf bis zu 5,3 Billionen Dollar jährlich beliefen.¹⁰ Würde man diese in den Bau von Fotovoltaikanlagen investieren, liessen sich innerhalb von acht Jahren doppelt so viele Anlagen installieren, wie für den Ersatz aller fossilen Energieträger nötig wären.

Auf dem Weg zur solaren Gesellschaft könnte gerade die Schweiz als Pionierin vorgehen. Einerseits könnte sie die Fotovoltaik-Kapazitäten auf bereits versiegelten Oberflächen massiv ausbauen. Andererseits könnte sie den Energiebedarf senken und eine 2000-Watt-Gesellschaft Realität werden lassen.

⁹ Desing und Widmer (submitted).

¹⁰ Coady et al. (2019).



Harald Desing

Dr. sc., Post Doc, Abteilung Technologie und Gesellschaft, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa), St. Gallen

⁵ Kleidon (2012).

⁶ Desing et al. (2019).

⁷ Desing et al. (2019).

⁸ Desing et al. (2019).

Literatur

Coady, D.; Parry, I.; Le, N.-P. und Shang, B. (2019). Global Fossil Fuel Subsidies Remain Large: An Update Based on Country-Level Estimates.

Desing, H. und Widmer, R. (submitted). Reducing Climate Risks with Fast and Complete Energy Transitions: Applying the Precautionary Principle to the Paris Agreement. *Environmental Research Letters*.

Desing, H.; Widmer, R.; Beloin-Saint-Pierre, D.; Hirschier, R. und Wäger P. (2019). Powering a Sustainable and Circular Economy – An Engineering Approach to Estimating Renewable Energy Potentials Within Earth System Boundaries. *Energies*, 12(24), 1–18.

Kleidon, A. (2012). Thermodynamik des Erdsystems – Was leistet die Erde? *Physik unserer Zeit* 3 (43): 136–144.

Lenton, T. M.; Rockstrom, J.; Gaffney, O.; Rahmstorf, S.; Richardson, K.; Steffen, W. und Schellnhuber, H.J. (2019). Climate Tipping Points – Too Risky to Bet Against. *Nature* 575(7784), 592–595.

Smith, W. K.; Zhao, M. und Running, S. W. (2012). Global Bioenergy Capacity as Constrained by Observed Biospheric Productivity Rates. *BioScience*, 62(10), 911–922.

UN Department of Economic and Social Affairs (2019). *World Population Prospects 2019: Highlights (ST/ESA/SER/A/423)*.

Willett, W.; Rockström, J.; Loken, B.; Springmann, M. et al. (2019). Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on Healthy Diets from Sustainable Food Systems. *The Lancet*, 393(10170), 447–492.