

Zeit für den Rohstoffwandel

Schlagwörter wie „erneuerbare Energien“, „Klimawandel“ oder „Nachhaltigkeit“ tauchen derzeit oft in den Medien auf. Die diskutierten Zahlen und Meinungen werden dabei sehr unterschiedlich dargestellt und sind für einen Laien oftmals schwer nachzuvollziehen. Daher wurden im Rahmen einer Lehrveranstaltung der Aachener Verfahrenstechnik Fakten zusammengetragen, um ein Gesamtbild über die Möglichkeiten und Potenziale verschiedener regenerativer Technologien quantitativ zu bewerten, die zur zukünftigen Energieversorgung beitragen können. Die Vorlesung wurde in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Deutsche Philologie durchgeführt, um die Kommunikation in interdisziplinären Kontexten zu untersuchen und insbesondere auch die Ingenieure darin zu unterstützen, die Sachverhalte allgemein verständlich zu formulieren. Dieser Beitrag gehört zu den Ergebnissen der Veranstaltung.

Die Notwendigkeit für den Einsatz erneuerbarer Energien ergibt sich, weil die Vorräte der fossilen Energieträger, wie in Bild 1 dargestellt, bereits in absehbarer Zukunft aufgebraucht sein werden. Aus der Prognose ergibt sich, dass die Reserven von Erdöl und Erdgas zuerst zur Neige gehen, aber auch Kohle hat nur eine vergleichsweise kurze Reichweite. Würden nun alle diese Reserven fossiler Energieträger verbrannt, so würde das zur weiteren globalen Erwärmung deutlich über das als noch unkritisch angesehene $+2^{\circ}\text{C}$ -Niveau hinaus führen. Für eine nachhaltige Entwicklung dürfen also nicht einmal alle Reserven genutzt werden. Oftmals wird die Kernenergie als mögliche Alternative angeführt; hierbei sind allerdings die Nachteile wie beispielsweise die Gefahr eines atomaren Unfalls und die sichere Entsorgung der langfristig riskanten Abfälle zu bedenken. Aufgrund dieser Risiken und da auch die Kernenergie nicht vollständig CO_2 -neutral ist, konzentrieren wir uns hier auf die erneuerbaren Energien.

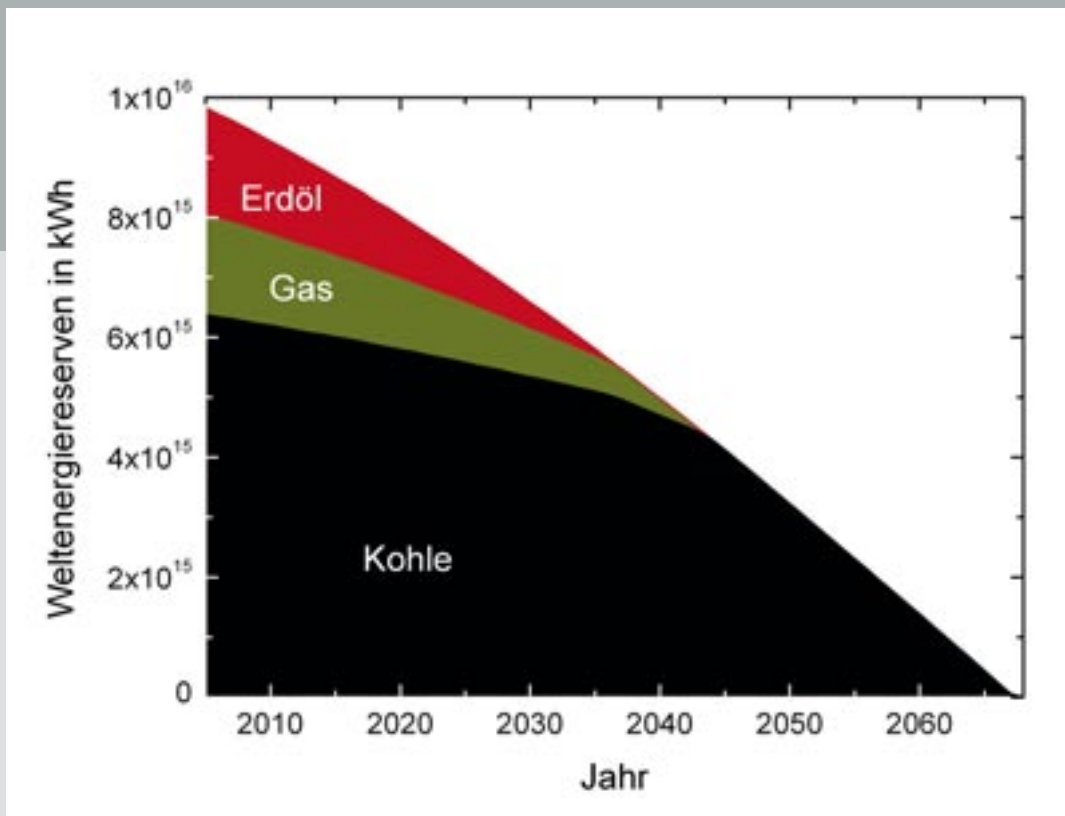


Bild 1: Reserven an fossilen Primärenergieträgern unter Berücksichtigung des Bevölkerungswachstums und eines realistischen Anstiegs des weltmittleren Lebensstandards.

Die wichtigsten regenerativen Quellen zur Energiebereitstellung sind Wasser, Wind, Sonne, Biomasse und Geothermie. Es ist sinnvoll, eine zukünftige Energieversorgung aus einem Mix dieser regenerativen Quellen zu gestalten, um Schwankungen besser ausgleichen und die Energieversorgung den regionalen Gegebenheiten anpassen zu können. Da die Technologien zur energetischen Nutzung von Wasser und Wind bereits weitgehend entwickelt sind, ist dieser Artikel auf die Energiebereitstellung aus Biomasse und Fotovoltaik sowie eine Speicherung mit Hilfe von Wasserstoff fokussiert. Für diese Technologien sollen die zukünftigen Potenziale abgeschätzt und sowohl die Chancen als auch die Risiken aufgezeigt werden.

Biomasse

Die Energieversorgung basierend auf Biomasse stellt eine vielseitige Alternative dar und weckt zudem die Hoffnung, die Abhängigkeit von den fossilen Rohstoffen zu reduzieren und den CO_2 -Ausstoß zu verringern. Biomasse kann, im Gegensatz zur Fotovoltaik, für alle Energieanwendungsgebiete wie Strom, Wärme und Kraft eingesetzt werden. Insbesondere im Verkehrssektor werden die Biokraftstoffe bereits heute als eine mögliche nachhaltige Alternative zu fossilen Kraftstoffen betrachtet. Biokraftstoffe der ersten Generation wie Biodiesel oder Bioethanol werden lediglich aus Teilen der Energiepflanze wie der Frucht oder den Samen hergestellt. Damit stehen Biokraftstoffe der ersten Generation in direkter Konkurrenz zur Nutzung der Pflanzen für die Ernährung, sie können allerdings den heutigen Kraftstoffen bis zu einem gewissen Prozentsatz problemlos beigemischt werden.

Biokraftstoffe der zweiten Generation zeichnen sich dadurch aus, dass für ihre Herstellung nahrungstechnisch irrelevante Pflanzen wie Holz, Gras oder Abfall als Rohstoffe dienen können. Durch die Nutzung der gesamten Pflanze

sind die Energieerträge pro Hektar entsprechend größer. Allerdings ist die Herstellung dieser Biokraftstoffe noch zu teuer. Die Aachener Verfahrenstechnik ist mit 14 Teilprojekten am Exzellenzcluster „Maßgeschneiderte Kraftstoffe aus Biomasse“ beteiligt, in dem Biokraftstoffe der dritten Generation entwickelt werden. Ziel ist es, aus Bioabfällen optimale Kraftstoffe herzustellen, sodass eine Konkurrenz zur Nahrungsmittelherstellung nicht gegeben ist.

Schon heute reichen die hergestellten Lebensmittel nicht aus, um die Weltbevölkerung zu sättigen. Hinzu kommt, dass die Weltbevölkerung stetig wächst; ausgehend von aktuell etwa 6,5 Milliarden Menschen wird bis 2050 mit einem Wachstum auf deutlich über 9 Milliarden gerechnet. Damit wächst der Bedarf an Lebensmitteln und Energie. Diese Trends kombiniert mit steigenden Energiepreisen haben im letzten Jahr auch zu einer Explosion der Lebensmittelpreise geführt. Die Verwendung der Biomasse zur Energiegewinnung ist zwar nicht der einzige Grund für die Preissteigerung, da temporäre Ursachen wie Missernten oder die steigende Nachfrage nach

Strategien und ethische Implikationen

höherwertiger Nahrung in den Schwellenländern auch zu dieser Entwicklung beitragen. Es kann aber nachgewiesen werden, dass die Preise der Lebensmittel proportional zur Biokraftstoff-Produktion gestiegen sind.

Wie viel Energie können wir global betrachtet aus Biomasse gewinnen? Zurzeit gibt es 15,5 Millionen km² ungenutzte Ackerfläche weltweit. Das entspricht etwa der Fläche von Südamerika. Diese Fläche verringert sich von Jahr zu Jahr, da durch Versiegelung und Umweltkatastrophen ein Teil un nutzbar wird. Unter der Annahme einer Flächeneffizienz für Biomasse von 1,5 kWh/m² könnten mit der ungenutzten Ackerfläche etwa 55 Prozent des heutigen Erdölbedarfs beziehungsweise 20 Prozent des gesamten Primärenergiebedarfs gedeckt werden. Berücksichtigt man aber die stetig wachsende Weltbevölkerung und den Anstieg des globalen Primärenergieverbrauchs, so ist der maximale Anteil der Biomasse an der Energiebereitstellung zukünftig deutlich geringer.

Dies lässt den Schluss zu, dass die Effizienz der Bioenergie nicht besonders hoch ist. Wird die Fotosynthese mitberücksichtigt, liegt der Gesamtwirkungsgrad unter einem Prozent für die Umwandlung der am Erdboden einfallenden Sonnenstrahlung in Nutzenergie. Fotovoltaik erreicht dagegen selbst unter Berücksichtigung der Verluste für die Herstellung der Solarmodule und aller Abschreibungen Wirkungsgrade von über zehn Prozent.

Trotzdem macht die energetische Nutzung von Biomasse durchaus Sinn, wenn nicht eigens Energiepflanzen angebaut werden, sondern organische Abfallprodukte für Biokraftstoffe der zweiten und dritten Generation verwendet werden. Damit können allerdings nur wenige Prozent des Energieumsatzes bereitgestellt werden. Biomasse wird zukünftig eine noch stärkere Bedeutung bei der stofflichen Nutzung haben, insbesondere als chemischer Rohstoff. Außerdem können

schon heute die biogenen Kraftstoffe bei Verknappung der Ressource Erdöl als Ersatz dienen, bis sich der Verkehrssektor zum Beispiel auf Brennstoffzellen und Elektrofahrzeuge umgestellt hat.

Bereits heute dient Biomasse also als Ergänzung zu erdölbasierten Treibstoffen. Vor Augen halten sollte man sich dabei, dass aus 100 kg Weizen 25 l Biosprit oder 100 kg Brot hergestellt werden können. Das ist etwas mehr, als jeder Bundesbürger im Durchschnitt jährlich verzehrt (etwa 87 kg) und was vom Energieinhalt für knappe 100 Tage eine ausreichende Ernährung sicherstellen kann. Es sollte sich also jeder die Frage stellen: Ist es wichtiger, dass ein Mensch für fast 100 Tage genug zu essen hat, oder dass mein Wagen einmal halb voll getankt wird? Solche und verwandte Themen werden im Programm „Ethics for Energy Technologies“ im Projekthaus HUMTEC (Human Technology Centre) beforscht, das im Rahmen der Exzellenzinitiative gefördert wird. An diesem Programm sind neben Verfahreningenieuren auch Elektrotechniker und Philosophen beteiligt. Ziel ist es dabei, einen Rahmen für ethisch vertretbare Technologiepfade modellbasiert abzuleiten.

Fotovoltaik

Das theoretische Potenzial der Fotovoltaik, die die Energie der Sonnenstrahlen effizienter als die Biomasse umsetzt, ist sehr hoch, da die Sonnenenergie, die auf die Erde trifft, den weltweiten Primärenergiebedarf um ein Vielfaches übersteigt. Zwar ist das technisch nutzbare Potenzial wesentlich geringer, aber für die Deckung des globalen Energiebedarfs wird nur ein noch kleinerer Teil benötigt. Gerade die Wüstenregionen und Gebiete in Äquatornähe sind prädestiniert für den Einsatz der Fotovoltaik. Durch die Nutzung der Wüsten wird auch die Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion ausgeschlossen. Zurzeit liegen die Kosten bei Fotovoltaik-Strom allerdings

noch bei dem Zehnfachen derer für konventionell erzeugten Strom. Um einen signifikanten Anteil an der Stromerzeugung zu erreichen, müssten also die Kosten erheblich reduziert werden. Forscher versuchen durch andere Materialien oder neue Konzepte die Wirkungsgrade von Solarzellen zu verbessern, um sie preiswerter zu machen. Lässt sich diese Preisentwicklung als Basis für Prognosen nun vorhersagen? Dazu kennt die Betriebswirtschaftslehre die empirische Methode der „Lernkurven“. Hierbei geht man davon aus, dass der Preis pro Anlage bei einer Verdopplung der produzierten Anlagen, um einen bestimmten Faktor, dem Lernfaktor, reduziert wird. Mit-



Der Veranstaltungsort der Region.

Ob Kongress, Tagung, Konzert, Ballettaufführung, Ball oder Ausstellung: hier finden Sie stets den richtigen Rahmen.

Top-Technik, variables Raumangebot, Spitzen-gastronomie, Kongress-Service etc. sind hier selbstverständlich!

Das gewisse "Mehr" bei uns: Individueller Service.

Wir informieren Sie!

Eurogress Aachen

Monheimsallee 48

52062 Aachen

Telefon 0241/9131-230

Telefax 0241/9131-200

info@Eurogress-Aachen.de

hilfe eines Modells, in dem neben dem Lernfaktor auch zusätzliche Parameter berücksichtigt werden, wurde die Preisentwicklung für verschiedene Szenarien berechnet. Bild 2 zeigt die Ergebnisse dieser prognostizierten Szenarien für die Kostenentwicklung der Fotovoltaik in Abhängigkeit von den heutigen deutschen und internationalen Stromgestehungskosten der Fotovoltaik. In Ländern wie beispielsweise Japan können heutzutage bereits Fotovoltaikzellen mit einem um die Hälfte niedrigeren Preis als in Deutschland erworben werden – ein Resultat des deutschen Energie-Einspeise-Gesetzes. Zudem sind die Stromgestehungskosten der fossilen Energieträger in der Grafik dargestellt, wobei ausgehend von den heutigen Teuerungsraten angenommen wurde, dass der jährliche Preisanstieg der fossilen Energieträger zwischen zehn und 30 Prozent betragen wird. Dieser Anstieg lag in den letzten zehn Jahren trotz aller Preisausschläge um 20 Prozent. Es wird deutlich, dass etwa um das Jahr 2020 – spätestens 2030 – photovoltaisch erzeugter Strom günstiger wird als der konventionell erzeugte.

Wasserstoff

Eine weitere Herausforderung für die Forscher stellt die Energiespeicherung dar. Konventionelle Akkus in Autos sind zurzeit groß und damit schwer. Ihre langen Ladezeiten sind zudem für den Verbraucher lästig und die Materialien sind teuer und meist selten. In modernen Lithium-Ionen-Akkus kann zwar pro Kilogramm Akku viel Energie gespeichert werden, allerdings gibt es auf der Erde nicht ausreichend Lithium, um alle Autos damit auszustatten. Eine weitere Möglichkeit Strom zu speichern bietet Wasserstoff. Dieser kann beispielsweise mit photovoltaisch erzeugtem Strom aus Wasser hergestellt werden. Der Wasserstoff wird dann für stationäre Anwendungen in Metallverbindungen oder Drucktanks gespeichert oder für den mobilen Einsatz

verflüssigt. So lässt sich Wasserstoff wie Benzin einfach an der Zapfsäule tanken.

Wasserstoff kann in einer Brennstoffzelle zu Strom und Wärme umgewandelt oder in einem leicht modifizierten Verbrennungsmotor eingesetzt werden. Der Wirkungsgrad einer Brennstoffzelle liegt heute bereits im Bereich von herkömmlichen Verbrennungsmotoren. Doch an der Brennstoffzelle wird erst seit Kurzem intensiv geforscht, hier ist also eine große Steigerung zu erwarten, vor allem da der theoretische Wirkungsgrad deutlich höher ist als bei Verbrennungsmotoren. Der Transport von Wasserstoff zum Verbraucher kann dabei in Tanks erfolgen oder über ein Netzwerk von Pipelines.

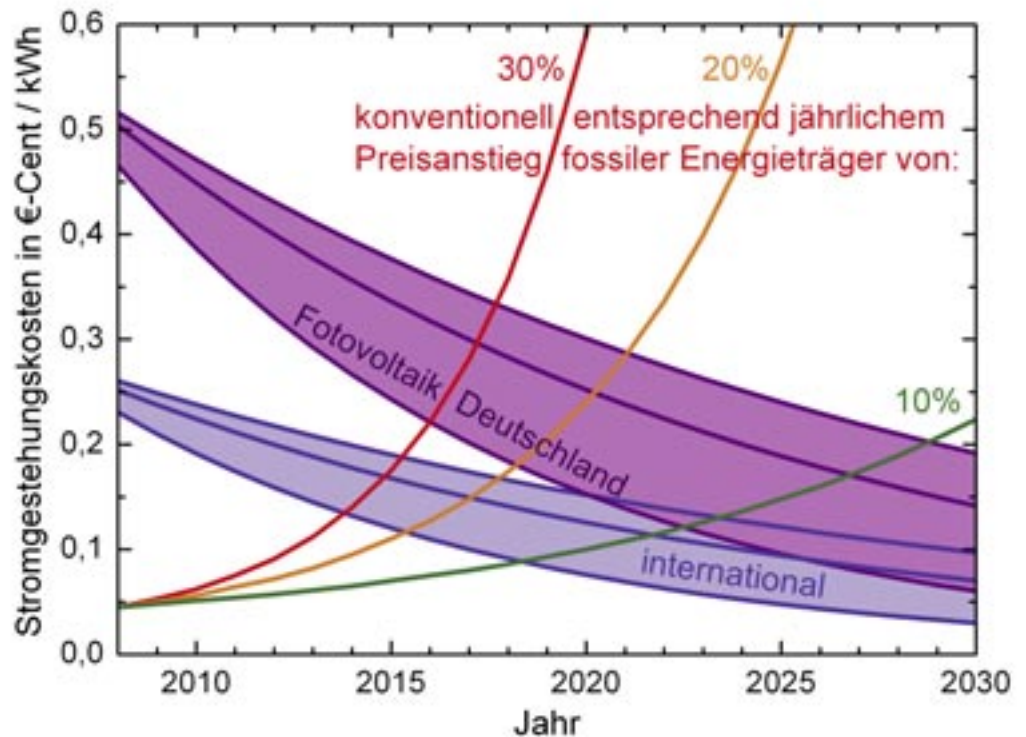
Wasserstoff bietet also das Potenzial, uns weiterhin mobil zu halten und die regenerativen Energien jederzeit verfügbar zu machen. Durch intensive Forschung wird es in Zukunft noch deutliche Fortschritte in allen Bereichen der Produktions- und Nutzungskette geben, sodass die heute noch vorhandenen Verluste absehbar reduziert werden können.

Konsequenzen

Die Bedürfnisse nach ausreichend Nahrung, Energie und Mobilität werden offensichtlich den Mix der zukünftigen Energiequellen bestimmen. Eine breite Nutzung aller zur Verfügung stehenden Möglichkeiten zur Bereitstellung von Energie ist schon allein deswegen notwendig, um nicht wieder von nur wenigen Rohstoffen und deren Verteilung auf der Welt abhängig zu sein.

Forscher und Ingenieure arbeiten an immer neuen und besseren Technologien, die Ressourcen gut auszunutzen, sparsam damit umzugehen und neue Quellen zu erschließen. Doch nicht nur Technologien sollten vorangetrieben werden. Die neuen Techniken müssen in der Bevölkerung auch akzeptiert werden und für alle Nationen wirtschaftlich und einsetzbar sein, um den steigenden Energie- und Nahrungsbedarf global nachhaltig befriedigen zu können. Auch ein Abbremsen des Bevölkerungswachstums, zum Beispiel durch Förderung der Bildung für die breite Bevölkerung, kann einer Verschärfung des Hungers nach Nahrung und Energie entgegenwirken.

Bild 2: Zukünftige Preisentwicklung von photovoltaisch und konventionell erzeugtem Strom basierend auf eigenen Berechnungen mittels Lernkurven.



Außerdem kann auch durch eine Umstellung der Ernährungsgewohnheiten der Welthunger bekämpft werden. So gäbe es weltweit genügend Nahrungsmittel, wenn weniger Fleisch gegessen würde. Insgesamt können wir die globalen Herausforderungen also meistern, wenn sowohl das Verhalten der Menschen auf mehr Nachhaltigkeit gerichtet wird, da dies einen massiven Einfluss hat, als auch durch die konsequente Nutzung der heute bereits verfügbaren Technologien.

Autoren:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Andreas Pfennig ist Inhaber des Lehrstuhls AVT-Thermische Verfahrenstechnik. M.Sc. José Manuel Ayesterán, M.Sc. Sara Fayyaz und Dipl.-Ing. Nicole Kopriwa sind Wissenschaftliche Mitarbeiter des Lehrstuhls AVT-Thermische Verfahrenstechnik. Philip Frenzel, Bettina Kollmeier, John McIntyre, Kristina Meier, Marius Müller, Patrick Schmidt, Irene Somoza und Nicolai Weber sind Studierende der AVT-Thermische Verfahrenstechnik. Martin Köster, Julia Schmidt und Till Weinert sind Studierende am Institut für Kommunikationswissenschaften.