

Erneuerbare Energie – Chancen einer industriellen Wertschöpfung in Europa

Andreas W. Bett, Georg Krugel • Fraunhofer ISE

Romy Brödner • DBFZ

Marlene O'Sullivan, Hans Christian Gils • DLR

Jan Wenske • Fraunhofer IWES

Jens Hauch, Martin Robinius • FZ Jülich

Rutger Schlatmann • HZB

Bianca Lim • ISFH

Andreas Püttner • ZSW

Einführung

Der European Green Deal setzt als Ziel, die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2030 um mindestens 55 Prozent gegenüber dem Referenzwert aus dem Jahre 1990 zu reduzieren. Im Jahr 2050 sollen keine Netto-Treibhausgase mehr emittiert werden. Für die bisherigen Energieversorgungssysteme, die vor allem auf der Nutzung fossiler Energieträger basieren und für einen Großteil der Treibhausgase der Europäischen Union verantwortlich sind, bedeutet dies, dass diese umgebaut werden müssen. Zukünftige nachhaltige Energiesysteme werden bezüglich der Energiebereitstellung vor allem auf Erneuerbaren Energien wie Sonne, Wind und Biomasse, aber auch Wasserkraft, Geothermie und Umweltwärme basieren. Speicher - elektrisch, thermisch, wasserbasierend - sowie Wasserstofftechnologien werden zur Energiespeicherung und zum Ausgleich von Angebot und Nachfrage eine Schlüsselrolle im Energiesystem der Zukunft einnehmen (siehe Abbildung 1).

Abb. 1: Schematische Darstellung zukünftiger Energiesysteme (Fraunhofer ISE)

Ein solcher Umbau der Energiesysteme, der nicht nur in Deutschland und Europa, sondern weltweit stattfinden wird, ermöglicht große ökonomische Chancen. Weltweit wurden nach einer Studie der International Renewable Energy Agency (IRENA) bis heute mehr als 11 Millionen Arbeitsplätze im Bereich der Erneuerbaren Energien geschaffen – mit weiter klar steigendem Trend.¹ In Deutschland waren im Jahr 2018 etwa 300.000 Beschäftigte im Zusammenhang mit Erneuerbaren Energien zu verzeichnen.²

Eine Vielzahl systemanalytischer Untersuchungen zeigen konsistente techno-ökonomische Entwicklungspfade für die erforderliche Energietransformation auf. Für die einzelnen Szenarien können die sich ergebenden Installations- und Zubauraten sowie die Investitionskosten der Schlüsseltechnologien abgeschätzt werden. Für Deutschland hat beispielhaft das Fraunhofer ISE eine Studie veröffentlicht.³ Daraus lassen sich folgende

kumulierte Investitionskosten für die Jahre 2020 bis 2050 ableiten und können somit einen Richtwert geben:

- Photovoltaik ($\sim 500 \text{ GW}_p$): $\sim 200 \text{ Mrd €}$
- Windenergie ($\sim 260 \text{ GW}_p$): $\sim 500 \text{ Mrd €}$
- Biomasse/-diesel/-gas ($\sim 70 \text{ GW}_p$): $\sim 40 \text{ Mrd €}$
- Stationäre Batteriespeicher ($\sim 150 \text{ GWh}_{el}$): $\sim 15 \text{ Mrd €}$
- Wasserelektrolysesysteme: ($\sim 45 \text{ GW}_{el}$): $\sim 20 \text{ Mrd €}$.

Verbunden mit diesen Investitionsvolumina bestehen große Potenziale für die Industrie und für eine industrielle Wertschöpfung in Europa, die in diesem Beitrag etwas detaillierter dargestellt werden.

Photovoltaikproduktion entlang der Wertschöpfungskette

Die Produktion von Photovoltaikmodulen erfolgt derzeit entlang der gesamten Wertschöpfungskette (Siliziummaterial, Wafer, Zelle, Module) zu einem großen Teil im asiatischen Wirtschaftsraum, insbesondere in China. Zwar gibt es in Deutschland mit der Firma Wacker einen auf dem Weltmarkt sichtbaren Lieferanten für Siliziummaterial, aber schon bei der Siliziumwafer-Fertigung gibt es in Europa nur in Norwegen und Frankreich in geringem Umfang Fertigungskapazitäten. Eine Zellproduktion ist derzeit praktisch nicht vorhanden, während bei der Modulfertigung noch Kapazitäten im Gigawatt-Bereich vorhanden sind. Dennoch kann die europäische Produktion nicht annähernd den Bedarf des europäischen Marktes sicherstellen. Insgesamt besteht damit eine vergleichsweise große Importabhängigkeit und die Gefahr, langfristig die technologische Souveränität zu verlieren, wenn es nicht gelingt, die Produktionskette in Europa erneut zu etablieren.

Erfreulicherweise sprechen mehrere aktuelle Entwicklungen nun dafür, dass eine Wiederansiedlung auch für die Solarzellenherstellung möglich ist. Einige Rahmenbedingungen haben sich geändert:⁴ So hat sich – nicht zuletzt aufgrund der in den letzten Jahren stark gesunkenen Preise für die Photovoltaikproduktion entlang der Wertschöpfungskette – der Anteil der Transportkosten an den Modulkosten erhöht (siehe Abbildung 2). Zum anderen erlaubt die Entwicklung neuer hocheffizienter PV-Zelltechnologien wie beispielsweise die Heterojunction-Technologie oder die Perowskit-Silizium- bzw. III-V-Silizium-Tandemsolarzellen den Einstieg neuer Akteure und die Schaffung von Wettbewerbsvorteilen.^{5,6} Hinzu kommt, dass der Forschungsstandort Deutschland in der Photovoltaik und auch der Produktionstechnologie nach wie vor sehr stark aufgestellt ist. Dadurch ist eine breite Wissensbasis vorhanden, um die neuesten Innovationen in den Markt zu bringen, auf denen die europäische Industrie aufsetzen kann.

Abb. 2: Kostenzusammensetzung von PV-Modulen (Fraunhofer ISE)

Eine zukünftige Stärkung der europäischen Industrie kann dabei besonders durch die Entwicklung höchsteffizienter Solarzellenkonzepte, den schnellen Transfer entwickelter Fertigungsprozesse sowie durch digital unterstützte Prozess- und Qualitätskontrolle gewährleistet werden. Zudem kann die Entwicklung integrierter Photovoltaik-Module für die bauwerks- und fahrzeugintegrierte Photovoltaik sowie die Agri-Photovoltaik Alleinstellungsmerkmale auf dem Weltmarkt schaffen und eine Vorreiterrolle Europas in diesen Nischen begründen.

Onshore-Windenergieanlagen

Die Fertigung von Onshore-Windenergieanlagen ist in Europa bislang noch gut etabliert. Allerdings haben aktuell einige Hersteller derzeit unter dem erfolgten Einbruch ihres Heimatmarktes zu leiden. Zudem haben sich Onshore-Windenergieanlagen mehr und mehr zu einer austauschbaren Standardware entwickelt. Der Preis ist dabei das entscheidende Kriterium, weshalb der Marktdruck durch asiatische Anbieter angestiegen ist. Insgesamt wurde die Fertigungstiefe von Onshore-Windenergieanlagen in den letzten Jahren in Deutschland eher abgebaut.

Eine wesentliche Chance für die europäische Onshore-Windenergie ist die Tatsache, dass die Windenergie neben der Photovoltaik die wichtigste Säule der zukünftigen Energieversorgung bilden wird.¹ Der sich daraus ergebende Bedarf an installierten Windleistungen sollte so erschlossen werden, dass eine kontinuierliche Marktentwicklung gegeben ist, um die Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Industrie zu unterstützen.⁷ Zudem sorgt die zunehmende Flächenknappheit für einen hohen Innovationsdruck. Die europäische Industrie kann dabei von ihrer starken Innovationskraft und Forschungsstärke profitieren.

Die Forschung kann außerdem durch die Entwicklung smarterer innovativer Technologien (bspw. Vogel-Radar, Verringerung von Schall- und Störlichtemissionen) zur Erhöhung der Akzeptanz beitragen und Alleinstellungsmerkmale ermöglichen. Auch zur Erhöhung der Effizienz der Anlagen kann die Forschung wesentliche Beiträge liefern. Dadurch kann die verfügbare Leistung bei gleicher Anzahl an installierten Anlagen erhöht werden.

Offshore-Windenergieanlagen

Europa ist derzeit ein bedeutender Standort der globalen Offshore-Windindustrie, wobei die komplette Wertschöpfungskette abgebildet wird. Besondere Synergien ergeben sich durch das vorhandene sehr ausgeprägte Offshore-Know-how. Fertigungsstätten und Installationshäfen befinden sich besonders rund um die Ost- und Nordsee, wobei die Forschung und Entwicklung aktuell insbesondere durch dänische und norddeutsche Unternehmen vorangetrieben wird.

Große Chancen für die europäische Industrie bieten sich aufgrund des Marktwachstums der Offshore-Windenergie, welches sowohl in Europa als auch weltweit Umsatzpotenziale ermöglicht. Die Offshore-Windenergie kann dabei davon profitieren, dass sie – im Vergleich zur Onshore-Windenergie – auf eine vergleichsweise hohe Akzeptanz in der Gesellschaft aufbauen kann. Die vorhandenen Flächen- und Ausbau-Potenziale stellen dadurch eine geringere Beschränkung dar.

Bei Offshore-Windenergie sind die Anforderungen an die verwendeten Materialien besonders hoch. Intensive Materialforschung – bspw. an korrosionsbeständigen Stählen und Beschichtungen – kann daher Wettbewerbsvorteile für die europäische Industrie erzeugen. Weiterer drängender Forschungsbedarf besteht außerdem bei der Entwicklung von Floating-Offshore-Windenergieanlagen, z.B. bezüglich effizienter Fertigungstechnologien und Logistikkonzepte. Grundsätzlich bleibt jedoch festzuhalten, dass die Floating-Offshore-Windenergie im direkten Vergleich zu der konventionellen Windenergienutzung technologisch noch in den Kinderschuhen steckt. Das Ausbaupotential für die Floating-Technologien hingegen wird längerfristig im zweistelligen GW-Bereich prognostiziert. Investitionen in grundlegende Forschung, aber auch in die erforderliche Systemtechnik

können hier dem europäischen Wirtschaftsraum langfristig eine internationale Technologieführerschaft sichern.

Bioenergie-Anlagen

Derzeit werden Bioenergie-Anlagen überwiegend in der biochemischen Konversion, der thermo-chemischen Konversion und in Bioraffinerien eingesetzt. Die energetische Biomassennutzung ergänzt damit sowohl den Stromsektor als auch die Bereiche Prozesswärme und Verkehr. Szenarien der Energiesystemanalyse legen nahe, dass die Bedeutung der Bioenergie zukünftig ansteigen wird und sich ein Wachstum des Markts für Bioenergieanlagen einstellen wird. Chancen ergeben sich dadurch bspw. für den europäischen Maschinen- und Anlagenbau. Die Branche profitiert dabei davon, dass eine Umwandlung der Biomasse in feste, flüssige sowie gasförmige Energieträger möglich ist und damit die Nachfrage aller Wirtschaftssektoren befriedigt werden kann.

Konzepte zur Verbreiterung der Rohstoffbasis (insbesondere in Bezug auf Rest- und Abfallstoffe) und zur Effizienzsteigerung eingesetzter Biomassen müssen durch eine intensivierete Forschung und Entwicklung ermöglicht werden.

Zudem können durch die Steigerung der Kohlenstoffnutzungseffizienz und Minderung von Emissionen eine Verbesserung der Treibhausgasbilanz erzielt werden. Sofern eine Entscheidung zur Nutzung von BECCS/U-Konzepten (bioenergy with carbon capture and storage/utilization) getroffen würde, könnten sogar negative Emissionen ermöglicht werden.

Batteriezellen

Die derzeitige Fertigung von Batteriezellen erfolgt hochautomatisiert, wobei asiatische Hersteller den Markt dominieren. Eine europäische Batteriezellproduktion befindet sich derzeit an mehreren Standorten im Aufbau. Durch die weiter steigende Nachfrage aufgrund der zunehmenden Marktdurchdringung der Elektromobilität bietet sich für die Industrie dabei ein anhaltend wachsendes ökonomisches Potenzial. Hinzu kommen stationäre Batteriespeicher, die perspektivisch beim weiteren Ausbau der Energiebereitstellung durch fluktuierende Erneuerbare Energien eine ausgleichende Funktion im Energiesystem der Zukunft einnehmen werden.

Eine europäische Produktion von Batteriezellen bietet Vorteile in Bezug auf Logistikkosten, aber auch bezüglich Transportrestriktionen (Einstufung als Gefahrgut). Hinzu kommt die vorhandene politische Unterstützung der Batteriezellproduktion in Europa, da die Batteriezelle als Schlüsseltechnologie der Energiewende angesehen wird und die strategischen Vorteile der Technologiesouveränität erkannt wurden. Zugleich kann mit einer Ansiedlung von Batteriezellfertigungskapazitäten Wertschöpfung im Zuge der Transformation vom Verbrennungsmotor hin zu elektrischen Antrieben in der Automobilindustrie gesichert werden.

Die Forschung kann die europäische Industrie besonders durch die Erhöhung der Energiedichte und der Zyklenfestigkeit sowie durch weitere Kostenreduktionen unterstützen. Weitere Vorteile können durch die Entwicklung von Batteriezellen geschaffen werden, die auf geringere Anteile an kritischen Materialien (wie Kobalt, Nickel und Lithium) angewiesen sind und deren Produktion mit einem möglichst geringen ökologischen Fußabdruck verbunden ist. Dadurch kann auch die Akzeptanz in der Gesellschaft weiter erhöht werden.

Elektrolyseure

Zellen für die Wasserelektrolyse werden aktuell noch überwiegend mittels händischer Einzelfertigung im Manufakturbetrieb hergestellt. Auf Komponentenebene werden bereits teilweise automatisierte Herstellverfahren eingesetzt.

Elektrolyseure sind eine Schlüsseltechnologie der Sektorenkopplung und ermöglichen die (auch saisonale) Speicherung von Energie sowie die Defossilierung von Industrieprozessen und als weitere Alternative zur Batterietechnologie des Verkehrssektors. Da die industrielle Fertigung noch im Aufbau befindlich ist und die Fertigungsverfahren weltweit vergleichsweise wenig automatisiert sind, ist die Einnahme einer weltweiten Vorreiterrolle Europas möglich. Sowohl innerhalb Europas als auch weltweit wird aufgrund einer zunehmenden Anzahl an Wasserstoffstrategien und -roadmaps mit einem gigantischen Marktwachstum gerechnet, sodass sich ein hohes Exportpotenzial für die europäische Industrie ergibt.⁸

Über die Entwicklung angepasster Zellmaterialien kann die Forschung zur Erhöhung der Leistungsdichte und der Lebensdauer bei gleichbleibender Effizienz beitragen. FuE-Projekte können zudem zu einer Senkung des Bedarfs kritischer Materialien beitragen, was der europäischen Industrie Wettbewerbsvorteile verschaffen kann. Zusätzlich unterstützt die Forschung durch die Erforschung von Produktionsverfahren und Ansätze zur Automation der Produktion von Elektrolyseuren, die essenziell für einen schnellen Markthochlauf und die Einnahme einer Vorreiterrolle Europas sind.

Fazit und notwendige politische Rahmenbedingungen

Der weltweit zunehmende Umbau hin zu Energiesystemen, die auf Erneuerbaren Energien basieren, bietet große Chancen für die europäische Wirtschaft. Dieser Umbau ist verbunden mit hohen Investitionsvolumina, wachsenden Absatzmärkten und der Schaffung industrieller Arbeitsplätze. Zudem sichert die industrielle Produktionsfähigkeit im Energiebereich die Technologiesouveränität und reduziert politische Abhängigkeiten Europas.

Forschung und Entwicklung in Schlüsseltechnologien sind dabei essenziell zur Unterstützung der europäischen Wirtschaft und zur Schaffung oder Stärkung der industriellen Produktion dieser Technologien.

Um diese Chancen ergreifen zu können, müssen allerdings die politischen Rahmenbedingungen in Europa adäquat gesetzt werden. Im Folgenden werden einige politische Maßnahmen angeführt, die zu einer Stärkung der industriellen Wertschöpfung in Europa beitragen und die Umsetzung der Energiesystemtransformation erleichtern können:

- Photovoltaikmodule: Ein CO₂-Grenzausgleichssystem (carbon border adjustment mechanism) würde eine Steuerungswirkung zum Vorteil klimafreundlicher Photovoltaikmodule erzeugen. Da der CO₂-Fußabdruck von in Europa gefertigten Modulen in der Regel geringer ist als von importierten Modulen, würde ein Mechanismus die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie eher erhöhen.
- Onshore-Windenergieanlagen: Regionale Vergünstigungen und Anreize für Anwohner*innen durch die Betreiber von Anlagen und Netzen können die Akzeptanz von Onshore-Windenergie erhöhen. Das vergrößerte Marktpotenzial stärkt den Absatz auf dem Heimatmarkt der europäischen Industrie.
- Offshore-Windenergieanlagen: Offshore-Windenergie könnte durch eine europäische Integration und die Stärkung eines länderübergreifenden Verbundnetzes auch in

Offshore-ferneren Regionen eingesetzt werden. Die daraus resultierenden Marktpotenziale würden ebenfalls den Heimatmarkt der europäischen Industrie stärken.

- Bioenergie-Anlagen: Bioenergie bietet über CCS- und CCU-Konzepte die Option von negativen Emissionen. Eine gesellschaftliche Debatte und eine klare politische Positionierung zu diesen Konzepten sind zur Festlegung der Forschungsagenda und zum Treffen von Investitionsentscheidungen in diesem Themenfeld notwendig.
- Batteriezellen: Die europäische Industrie könnte besonders von der Definition von Kriterien an die nachhaltige Rohstoffgewinnung und von regulatorischen Vorgaben an den ökologischen Fußabdruck von Batteriezellen profitieren, wie sie in den Debatten zu einem Lieferkettengesetz diskutiert werden. Dies kann zur Schaffung von Alleinstellungsmerkmalen und zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit europäischer Produzenten beitragen.
- Elektrolyseure: Die Anpassung der regulatorischen Rahmenbedingungen für die Installation und den Strombezug von Elektrolyseuren – wie beispielsweise die Senkung bzw. Streichung von Umlagen auf erneuerbaren Strom – würde eine schneller eintretende Wirtschaftlichkeit von Elektrolyseuren begünstigen. Carbon Contracts for Difference (Differenzverträge) können die Planungssicherheit von Investitionsentscheidungen erhöhen und damit die Wettbewerbsfähigkeit von Grünem Wasserstoff stärken. Zudem könnte der Aufbau von Partnerbeziehungen zu Ländern, aus denen ein Teil der europäischen Wasserstoffnachfrage gedeckt werden soll, das Exportpotenzial der Industrie stärken.

All diesen Schlüsseltechnologien gemein ist, dass ein klares politisches Bekenntnis und verlässliche Rahmenbedingungen notwendig sind, um heute die richtigen Forschungsroadmaps aufzustellen und Investitionsentscheidungen zu treffen. Der European Green Deal bietet dabei den Rahmen für eine langfristig stabile Entwicklung des Heimatmarkts – und jede Stärkung der europäischen Nachfrage in diesen Technologien stärkt wiederum die Position der europäischen Industrie auf dem Weltmarkt und erhöht deren Wettbewerbsfähigkeit.

¹ IRENA, Renewable Energy and Jobs, Annual Review 2020

² M. O'Sullivan und D. Edler, Gross Employment Effects in the Renewable Energy Industry in Germany — An Input–Output Analysis from 2000 to 2018. Sustainability, 12(15), 6163 (2020)

³ P. Sterchele et al., „Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem, Fraunhofer ISE (Februar 2020)“, Referenz-Szenario, <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/wege-zu-einem-klimaneutralen-energiesystem.html>

⁴ VDMA, „Competitiveness of a European PV Production Chain“ (August 2019)

⁵ „Solarproduktion in Deutschland: Strategische Innovationsführerschaft als Eckpfeiler einer europäischen Energiesouveränität“, Whitepaper von Meyer Burger (2020)

⁶ pv magazine, „Nächstes Jahr kommen die Silizium-Perowskit-Zellen aus der ersten Serienproduktion von Oxford PV auf den Markt“, 07.10.2020, <https://www.pv-magazine.de/2020/10/07/naechstes-jahr-kommen-die-silizium-perowskit-zellen-aus-der-ersten-serienproduktion-von-oxford-pv-auf-den-markt/>

⁷ M. O'Sullivan, Industrial Life Cycle: Relevance of national markets in the development of new industries for energy technologies – the case of wind energy. Journal of Evolutionary Economics (2020)

⁸ Hydrogen Europe „Green Hydrogen for a European Green Deal - A 2x40 GW Initiative“ (März 2020)