



## Forschung senkt Kosten der Energiewende

Die von der Bundesregierung beschlossene Transformation des Energiesystems ist ein langfristiger und komplexer Prozess, der von der gesamten Gesellschaft getragen werden muss. Dieser Prozess bedingt eine Vielzahl von Maßnahmen, die alle unterschiedliche Auswirkungen auf das Gesamtsystem haben und eng miteinander verzahnt sind. In der gegenwärtigen Debatte um die Weiterentwicklung der Energiewende stehen die Kosten für die erneuerbare Energieerzeugung, Netze und Speicher im Mittelpunkt. Dabei stellen Kritiker der Energiesystemtransformation deren Bezahlbarkeit unter anderem mit Blick auf die steigende EEG-Umlage immer wieder in Frage. Bei dieser eher kurzfristigen Betrachtungsperspektive vernachlässigen sie, dass damit auf längere Sicht eine Absicherung gegenüber einer Strompreissteigerung erreicht wird, die vor allem durch die erwartbar zunehmenden Kosten der fossilen Energieträger verursacht wird. Darüber hinaus bleiben positive sozio-ökonomische Effekte, die mit der Energiesystemtransformation verbunden sind (z.B. regionale Wertschöpfung und Beschäftigungsimpulse), unberücksichtigt.

Wissenschaftliche Forschungsinstitute und Entwicklungsabteilungen der Industrie arbeiten an innovativen Lösungen, die die Investitionen für die Energiewende in einem überschaubaren Zeitraum vollständig amortisieren und die Grundlage für eine versorgungssichere, von Importen zunehmend unabhängige, kostenstabile und klimaverträgliche Energieversorgung liefern.

Der ForschungsVerbund Erneuerbare Energien bringt mit der vorliegenden Stellungnahme einen Beitrag aus der Perspektive der FVEE-Institute in die Debatte ein.

### Forschung für eine wirtschaftliche und kostenstabile Energieversorgung

Auf dem Weg der Energiewende sind technische, gesellschaftliche und ökonomische Herausforderungen zu meistern, für die Lösungen gefunden werden müssen. Eine Vielzahl von Forschungsinstituten und Entwicklungsabteilungen in Unternehmen arbeitet intensiv an diesen Lösungen, die auf eine sichere, wirtschaftliche, sozial verträgliche und kostenstabile Versorgung mit erneuerbaren Energien und Energieeffizienztechnologien abzielen.

Schon in den zurückliegenden Jahren haben wissenschaftliche und industrielle Forschung die Leistungsfähigkeit und Effizienz von Windenergie- und Photovoltaikanlagen sowie anderen Technologien für erneuerbare Energien und Energieeffizienz stark verbessert und Fertigungsprozesse dieser Anlagen kontinuierlich optimiert. Im Ergebnis haben die technischen Innovationen der wissenschaftlichen und industriellen Forschung die Gestehungskosten der erneuerbaren Energien stark reduziert und werden deren Kostenkurve auch weiterhin nach unten drücken. Die dynamische technische Entwicklung der erneuerbaren Energien wird die Kosten der Energiebereitstellung mittel- bis langfristig unter das Niveau der kontinuierlich teurer werdenden konventionellen Energien senken.

Auf dem Weg zur Kostenparität mit dem fossilen Energiesystem haben die erneuerbaren Energien bereits einen großen Teil der Strecke zurückgelegt. Beispielhaft seien dafür die Ent-

wicklungen und Perspektiven in den Bereichen Photovoltaik, Windenergie und Geothermie genannt.

## Forschung senkt Kosten in der Photovoltaik

Solarenergieforschungsinstitute und industrielle Forschungsaktivitäten haben Wirkungsgrade und Produktionsprozesse der Photovoltaik kontinuierlich verbessert. Die Preise für Photovoltaikmodule sind durch Forschung und Massenfertigung seit den 1990er Jahren um einen Faktor 10 gesunken. Dadurch konnten auch die Preise für installierte Photovoltaiksysteme drastisch gesenkt werden. Als Folge hat der PV-Strom im letzten Jahr bereits die Kostenparität mit Haushalts-Strompreisen erreicht – einige Jahre früher als ursprünglich erwartet – und ist auch 2012 noch einmal deutlich preiswerter geworden. Die Einspeisevergütung für PV-Strom ist seit 2004 von 54,6 Cent auf 15,85 Cent gefallen (mittelgroße Anlagen mit 40-100 kWp Leistung).

Auf Grundlage der bereits erreichten Fortschritte arbeitet die Solarenergieforschung in Wissenschaft und Industrie weiterhin daran, Technologien zu entwickeln, die den Sonnenstrom noch preiswerter machen. Vielversprechende Ansätze für Kostensenkungen sind v.a.

- die weitere Optimierung von bekannten Materialien und die Erforschung neuer Materialien und neuer Technologien mit dem Ziel, den Energieeinsatz zu reduzieren und auf seltene oder giftige Ausgangsstoffe zu verzichten,
- die weitere Optimierung von Fertigungsprozessen für die Komponenten eines Photovoltaiksystems,
- die Steigerung der Anlagenerträge durch Optimierung des Betriebsverhaltens ihrer Komponenten im System und durch die Steigerung der Lebensdauer,
- neue Komponenten, die für das Gesamtsystem optimiert werden und
- höhere Wirkungsgrade – heutige Photovoltaiksysteme haben die Grenzen des physikalisch Möglichen noch längst nicht ausgeschöpft.

Mit der weiteren globalen Marktentwicklung der Solarenergie tragen die genannten Technologien dazu bei, dass Solarstrom mittelfristig auch ohne festgelegte Abnahmepreise konkurrenzfähig gegenüber Energie aus konventionellen Kraftwerken erzeugt werden kann. Dabei ist zu beachten, dass Solarenergie bereits heute sehr gut mit Strom aus Erdöl konkurrenzfähig ist, besonders in sonnenreichen Ländern. Dies ist der Grund für die weiterhin rasche Entwicklung des globalen PV-Marktes, mit erwarteten mehr als 30 GW Installationen 2012.

## Forschung senkt Kosten in der Windenergie

Bei der Forschung und Entwicklung der Windenergienutzung wurden auf den Gebieten Anlagentechnik, Standortanalyse und Energiemeteorologie, Regelung und Betriebsführung sowie Netzeinbindung Fortschritte erzielt, die zur Senkung der jetzt schon niedrigen Stromgestehungskosten beitragen. So konnten durch die kontinuierliche Weiterentwicklung der Windenergietechnik und der angrenzenden Technologien die Kosten für Onshore-Anlagen, die sich in der Einspeisevergütung widerspiegeln, in den letzten 10 Jahren von 8,25 auf 7,52

ct/kWh gesenkt werden. Eine ähnliche Entwicklung ist auch für die Windenergienutzung auf See zu erwarten. Die Entwicklungen, die zu weiteren Kostenreduktionen führen, sind:

- verbesserte Konzepte und Einsatz neuer Materialien und Verbundwerkstoffe sowie die Erhöhung des aerodynamischen Wirkungsgrads von Anlagen und Windparks,
- die verbesserte Potenzialbestimmung und Bestimmung der Windverhältnisse in komplexen Umgebungen (Wald, Offshore) für die Standortplanung,
- die kurz- bis mittelfristige Vorhersage der Einspeisung zur Minimierung des Bedarfs von Regel- und Ausgleichsenergie und zur Unterstützung der Direktvermarktung,
- neue Regelungs- und Betriebsführungskonzepte um die Effizienz zu steigern und gleichzeitig die Lebensdauer der Anlagen und Komponenten zu erhöhen und
- verbesserte Anlagensteuerung zur Netzeinbindung für die Bereitstellung von Systemdienstleistungen und die Erlangung von Kraftwerkseigenschaften.

Die Windenergie kann als Motor der Energiewende bezeichnet werden. Ihre niedrigen Stromgestehungskosten macht sie jetzt schon zu einigen konventionellen Kraftwerken konkurrenzfähig. Damit diese Technologie ihrer Aufgabe gerecht werden kann, wird die Forschung hier weiter vorangetrieben.

## Forschung senkt Kosten in der Geothermie

Geothermie ist eine erneuerbare Energiequelle, die krisensicher und umweltfreundlich Strom sowie Wärme oder Kälte jederzeit bereitstellen kann und somit die Schwankungen anderer erneuerbarer Energien ausgleichen kann. Daher kommt ihr im Kreis der Erneuerbaren eine besondere Rolle zu. Tiefe Geothermie benötigt Bohrungen in 2-5 Kilometern Tiefe zur Versorgung größerer Wärmenetze und zur Bereitstellung von elektrischem Strom. Die Entwicklung der Nutzung der tiefen Geothermie läuft im Vergleich zu den anderen erneuerbaren Energien nur sehr zögerlich an. Daher sollte Forschung dem Ziel der Kostenreduktion folgen. Vielversprechende Ansätze finden sich:

- in verbesserten Erkundungsmethoden, die dazu beitragen, die spezifischen Gesteins- und Reservoireigenschaften genauer vorher zu sagen und das Fündigkeitsrisiko zu minimieren,
- in Verfahren zur künstlichen Erhöhung der Produktivität eines geothermischen Reservoirs nach dem EGS-Konzept – darunter versteht man tiefe geothermische Systeme, bei denen produktivitätssteigernde Maßnahmen im Reservoir durchgeführt werden, um eine wirtschaftliche Nutzung zu erreichen,
- in betriebsbegleitenden Untersuchungen zur Systemverlässlichkeit einer Gesamtanlage und der schrittweisen Weiterentwicklung ihrer Effizienz.

## Energiesystemforschung senkt Kosten bei der Transformation

Im Bereich der Forschung und Entwicklung spielt die Netzintegration von Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien und die systemische Betrachtung des Gesamtsystems eine immer größer werdende Rolle. Neben der Entwicklung von immer leistungsfähigeren Prognosemodellen für die Wind- und Solarstromeinspeisung konzentriert sich die Energiesystemtechnik

auf die Koordination und das Energiemanagement dezentraler Erzeugungseinheiten sowie die verbesserte Steuerung und Überwachung von Versorgungsnetzen. Ziel zukünftiger Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen wird es sein, die sich ändernden Versorgungsstrukturen so zu gestalten, dass die Netzstabilität und die Versorgungssicherheit bei wachsender Anzahl fluktuierender Erzeuger auch ohne große Leistungsreserven gewährleistet bleiben. Ohne die erforderlichen Entwicklungen und anstehenden Maßnahmen zur Netzintegration sind der weitere Ausbau der regenerativen Energien und die damit verbundene Verdrängung konventioneller Leistung nicht oder nur zu erheblichen Kosten umzusetzen.

## **Kostensenkungspotenziale in der gesamten technologischen Breite ausschöpfen**

Forschung und Entwicklung werden auch in Zukunft große Kostensenkungspotenziale für die erneuerbaren Energien erschließen können. Alle Arten der erneuerbaren Energien – die Solarenergie, Windkraft, Bioenergie, Geothermie und Wasserkraft – bieten dafür vielversprechende Möglichkeiten. Windkraft und Photovoltaik haben in den vergangenen Jahren bereits starke Kostensenkungen erreicht. Bei anderen Technologien liegen diese Durchbrüche für eine selbsttragende Marktentwicklung noch einige Jahre in der Zukunft. Für die kontinuierliche Fortsetzung der Innovationsprozesse ist ein starker Heimatmarkt notwendig. Nur so können sich die Forschungsergebnisse in der Praxis bewähren und für den internationalen Markt genutzt werden. Dafür muss der Ausbau der Erneuerbaren und damit die Kostendegression technologieoffen in allen wesentlichen Arten der Energieproduktion fortgesetzt werden.

## **Ausbau erneuerbarer Energien mit konsequenter Ausschöpfung der Energieeinsparpotenziale verbinden**

Trotz des hohen Industrialisierungsgrades und hohen technischen Standards bestehen in Deutschland ganz erhebliche Energieeinsparmöglichkeiten. Studien belegen, dass allein durch den konsequenten Einsatz von heute schon zur Verfügung stehenden energieeffizienten Technologien im Rahmen des normalen Erneuerungszyklus in den nächsten 10 Jahren ein Stromeinsparpotenzial von bis zu 20% realisiert werden könnte und dies zu großen Teilen mit korrespondierenden Nettokosteneinsparungen. Für die Verbraucher bietet die Ausschöpfung dieser Potenziale die Chance, die steigenden Strompreise zu kompensieren. Für sie ist letztendlich die Höhe der Strom- respektive Energierechnung entscheidend und nicht das was sie für die Kilowattstunde Strom oder den Kubikmeter Gas zu bezahlen haben.

Ein weiteres riesiges Potenzial liegt in der energetischen Sanierung des Gebäudebestands, auf den heute mehr als ein Drittel des Endenergieverbrauchs entfällt. Die gleichzeitige Umsetzung von Effizienzmaßnahmen in Gebäudehülle und Anlagentechnik für Wärme und Kälte und der Einsatz lokal verfügbarer erneuerbarer Energien bietet eine große Chance, den Energieverbrauch des Gebäudesektors drastisch zu senken und wird nahezu vollständig von Betrieben durchgeführt, die zu Wertschöpfung in Deutschland und Europa beitragen.

## **Langfristige kostendämpfende Effekte der Energiesystemtransformation**

Die erneuerbaren Energien gewährleisten bei Ausschöpfung ihrer Kostensenkungspotenziale und in Verbindung mit Energieeffizienztechnologien eine wirtschaftliche und kostenstabile



Energieversorgung. Für die Transformation zu einem nachhaltigen Energiesystem, das auf erneuerbaren Energien und Energieeffizienz basiert, müssen jedoch zunächst Anfangsinvestitionen getätigt werden. Diese Kosten für den Umbau des Energiesystems sind Investitionen in die Zukunft, die sich in einem überschaubaren Zeitraum vollständig amortisieren und positive volkswirtschaftliche Effekte entfalten:

- Ab dem Jahr 2025 wird die Bereitstellung von Energie aus erneuerbaren Quellen etwa im Mittel den gleichen Preis haben, wie der Einsatz von Steinkohle, Öl und Erdgas. Etwa im Jahr 2040 kann bereits so viel an den teurer werdenden fossilen Energieträgern eingespart sein, dass sämtliche Vorleistungen für die Investitionen getilgt wurden. Zur Jahrhundertmitte hat die Versorgung mit erneuerbaren Energien dann bereits rund 570 Milliarden Euro gegenüber der Weiterführung einer fossilen Energieversorgung eingespart<sup>1</sup>.
- Erneuerbare Energien schonen den Bestand der begrenzten fossilen Ressourcen und sichern damit auch nachfolgenden Generationen die Nutzung dieser Rohstoffe. Mit dem hohen Erdölverbrauch für energetische Zwecke (v.a. Verkehr, Gebäudeheizung) sinkt die Verfügbarkeit dieses Rohstoffs für vielfältige andere Nutzungen. Bei fortgesetzter, ungebremster Ausbeutung der Erdölressourcen ist deshalb auch mit stark steigenden Kosten für Produkte zu rechnen, die auf petro-chemischen Ausgangsstoffen basieren (z.B. Kunststoffe). Erneuerbare Energien substituieren den energetischen Verbrauch der fossilen Rohstoffe und sichern damit ihre Verfügbarkeit in der Zukunft.
- Der globale Temperaturanstieg durch stetig steigende Kohlendioxidemissionen ist mit dem Risiko lokaler und globaler Natur- und Klimakatastrophen verbunden. Die Begrenzung des Temperaturanstiegs auf maximal 2° K begrenzt dieses Risiko, erfordert aber die Reduktion der energiebedingten Kohlendioxidemissionen um mindestens 90 % und damit den vollständigen Umbau des gesamten Energiesystems weltweit. Die Kosten für den Umbau des Energiesystems sind deshalb auch eine Investition zur Vermeidung langfristiger, höherer Kosten des Klimawandels: Eine ungebremste Fortsetzung des Klimawandels wird die globalen Lebensgrundlagen bedrohen und Schäden verursachen, deren Kosten zwar schwer zu quantifizieren sind. Es ist aber davon auszugehen, dass die Kosten der Energiewende lediglich einen Bruchteil der Kosten ausmachen, die ein ungebremster Klimawandel mit ökologischen, ökonomischen und sozialen Schäden verursachen wird. Angesichts enttäuschender Ergebnisse der internationalen Klimaschutzverhandlungen ist der von Deutschland eingeschlagene Weg der Energiesystemtransformation in seiner Bedeutung als internationales Vorbild kaum zu überschätzen. Die Vorreiterrolle birgt dabei auch das große Potenzial, durch Grundlagenforschung und angewandte Forschung Technologien und Märkte jetzt zu entwickeln, die langfristig ein Rückgrat unserer zukünftigen Industriegesellschaft bilden werden.
- Dabei werden die gesamtwirtschaftlichen Kosten für den Ausbau der erneuerbaren Energien bereits heute weitgehend durch Wertschöpfung in Deutschland kompensiert: Deutsche Unternehmen, die Anlagen für erneuerbare Energien herstellen, er-

<sup>1</sup> DLR, IWES, IfnE: Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland (BMU-Leitstudie), 2012.



wirtschafteten 2011 Umsätze von rund 25 Mrd. Euro. Kommunen profitieren vom dezentralen Betrieb dieser Anlagen, der in großem Umfang auch kommunale Wertschöpfung erzeugt. Viele private Kleinanlagen befinden sich in der Hand der Bürgerinnen und Bürger und machen dadurch die Energiewende zu einer sichtbaren gemeinschaftlichen Aufgabe. Die Investitionen in Strom- und Wärmeerzeugungsanlagen beliefen sich in 2011 auf rund 23 Mrd. Euro. Insgesamt hat die Branche der erneuerbaren Energien 380.000 Arbeitsplätze geschaffen. In Verbindung mit der o.g. Vermeidung fossiler Energieimporte stärkt der Ausbau der erneuerbaren Energien damit die deutsche Volkswirtschaft dauerhaft.

## Marktsystem für den Ausbau der Erneuerbaren Energien weiterentwickeln

Das EEG hat sich als Instrument bewährt, muss aber stetig den rasanten Entwicklungen auf der Marktseite aber auch den Entwicklungen und Erkenntnissen in Wissenschaft und Technik angepasst werden. Bewährt hat sich dabei die Planungssicherheit von Investoren, der Industrie und der Kunden und die Möglichkeit der gezielten Förderung des gesamten Technologieportfolios, das mittel- bis langfristig zur Ausgestaltung eines nachhaltigen Energiesystems erforderlich ist. Ein so genanntes Quotenmodell, bei dem der Anteil erneuerbaren Stroms politisch vorgegeben wird, erfüllt diese Voraussetzung nicht, wenn dabei keine technologische Differenzierung vorgenommen wird. Wenn dies aber geschehen würde, wäre das EEG zumindest ökonomisch effizienter. Erfahrungen mit dem Quotenmodell (z.B. in Großbritannien) zeigen, dass es gegenüber einem auf Einspeisetarifen basierenden Fördermodell mit gravierenden Nachteilen verbunden ist. Dazu zählen neben der Einpreisung der Marktrisiken insbesondere mangelnde Anreize für Forschung und Entwicklung, Einschränkung der technologischen Vielfalt sowie hohe Kosten durch Mitnahmeeffekte, Risikoaufschläge, Transaktionskosten und geringen preissenkenden Wettbewerbsdruck.

Aus Sicht des FVEE sollte der Umbau des Energiesystems daher auch zukünftig auf einem Fördermodell beruhen, das den Ausbau der erneuerbaren auf allen genannten Erzeugungsarten weiter vorantreibt, um die Kostensenkungspotenziale auf allen technologischen Ebenen auszuschöpfen. Ziel ist ein stabiler Energiemix, in dem sich verschiedene Erzeugungsarten ergänzen. Ein Modell, das nur die aktuell kostengünstigste Erzeugungsart fördert, kann das Energiesystem diesem Ziel nicht näher bringen.

## Steigende Kosten im fossilen Energiesystem – erneuerbare Energien verringern Rechnung für Energieimporte

Der Preis für Öl und Gas hat sich allein in den vergangenen 10 Jahren verdreifacht, der für Steinkohle hat sich verdoppelt. In der Summe haben sich die volkswirtschaftlichen Kosten der Energieimporte für die fossilen Energieträger Erdöl, Kohle und Gas in Deutschland seit 2000 mehr als verdoppelt und betragen im Jahr 2011 82 Mrd. Euro.<sup>2</sup> Diese Steigerung mit über 5 % pro Jahr lag deutlich über der Inflationsrate.<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Daten des Bundesamts für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle.

<sup>3</sup> Zum Vergleich: Die kumulierte Inflation lag im Zeitraum von 2000 bis 2011 bei insgesamt 18 %, d.h. ca. 1,6 % pro Jahr.

Die steigende globale Energienachfrage wirkt zusammen mit einer gegenwärtig bereits maximalen Auslastung der Förder- und Weiterverarbeitungskapazitäten sowie schrumpfenden Ressourcen. Es ist deshalb davon auszugehen, dass sich die Entwicklung steigender Preise für fossile Energien fortsetzt und voraussichtlich sogar verstärkt. Die Kosten für fossile Energieimporte werden daher selbst bei konstanter Nachfrageentwicklung in den nächsten Jahren tendenziell stark steigen.

Erneuerbare Energien wirken diesem Trend entgegen. Sie haben die Kosten für Energieimporte bereits im Jahr 2011 um 6 Mrd. Euro reduziert<sup>4</sup>. Der weitere Ausbau der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienztechnologien bietet die Chance, die Abhängigkeit und die volkswirtschaftlichen Kosten für fossile Energieimporte deutlich zu reduzieren.

## EEG-Umlage nur ein Faktor für Strompreissteigerungen

In der gegenwärtigen Strompreisdiskussion ist auch darauf hinzuweisen, dass der Haushaltsstrompreis bereits seit vielen Jahren stark gestiegen ist und nicht erst, sei die EEG-Umlage einen nennenswerten Anteil am Strompreis ausmacht. So stieg der durchschnittliche Haushaltsstrompreis zwischen 2000 und 2012 um rund 13 Cent, die EEG-Umlage erhöhte sich im gleichen Zeitraum aber nur um 3,4 Cent. Der größte Anteil des Preisanstiegs ist also auf andere Kostenelemente zurück zu führen. Dazu zählen v.a. gestiegene Kosten für die konventionelle Stromerzeugung respektive Beschaffung und Transport/Verteilung sowie Steuern und Abgaben. Die Strompreisentwicklung hat also verschiedene Einflussgrößen. Die erneuerbaren Energien haben bis dato einen vergleichsweise kleinen Anteil, reduzieren bereits heute die Abhängigkeit von erschöpflichen fossilen Ressourcen und tragen erheblich zum Klimaschutz bei.

## Informationen zum FVEE

Der ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (FVEE) ist eine bundesweite Kooperation von Forschungsinstituten. Die Mitglieder erforschen und entwickeln Techniken für erneuerbare Energien und deren Integration in Energiesysteme, für Energieeffizienz und für Energiespeicherung. Mit etwa 2.800 Mitarbeitenden repräsentiert der FVEE rund 80% der Forschungskapazität für erneuerbare in Deutschland und ist das größte koordinierte Forschungsnetzwerk für erneuerbare Energien in Europa.

## Ansprechpartner ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (FVEE)

Dr. Niklas Martin

Geschäftsführer des FVEE

Telefon: 030 8062-41338

E-Mail: [fvee@helmholtz-berlin.de](mailto:fvee@helmholtz-berlin.de)

---

<sup>4</sup> Fraunhofer ISI et.al.: Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien (ImpRES), 2012.