

# Erneuerbare Energie aus Sonne und Wind – Status quo und Entwicklungsperspektiven weltweit

Patrick Graichen, Lars Grotewold, Klaus Kordowski und Philipp Wesemann

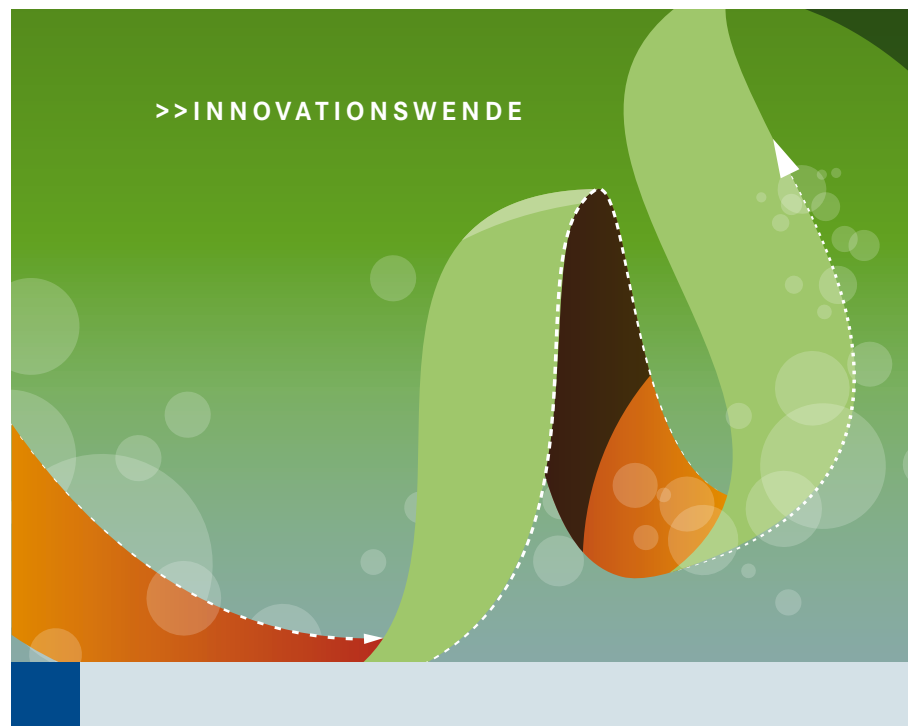
*Seit 2000 verzeichnet der weltweite Markt für erneuerbare Energietechnologien ein starkes Wachstum. Im Jahr 2013 wurden erstmals mehr erneuerbare-Energien-Stromerzeugungsanlagen installiert als Anlagen aus den Bereichen Kohle, Gas und Kernenergie zusammen. Wind- und Solaranlagen sind heute in immer mehr Gegenden der Welt die kostengünstigste Stromerzeugungsform. Mit dem Erreichen signifikanter Anteile werden erneuerbare Energien an vielen Punkten zunehmend systemrelevant – was zu zusätzlichem Investitionsbedarf führt und eine geänderte Regulierung erforderlich macht. Insbesondere die Spezifika von Wind- und Solaranlagen (hohe Kapitalintensität, geringe Grenzkosten, fluktuierende Stromerzeugung) führen dazu, dass es trotz der stark gesunkenen Kosten nach wie vor einer proaktiven Politik zugunsten erneuerbarer Energien bedarf.*

## Globale Stromproduktion aus Sonne und Wind: Status 2014

Erneuerbare Stromquellen haben weltweit ein rasantes Wachstum hinter sich – und erreichten 2013 mit insgesamt 1 560 Gigawatt (GW) Leistung einen Anteil von rd. 22 % an der globalen Stromproduktion. Der mit Abstand größte Teil (16,4 %) wird durch die Nutzung von Wasserkraft gewonnen, gefolgt von der Windkraft (2,9 %) und der Biomasseverstromung (1,8 %). Die Nutzung von Sonnenenergie über Photovoltaik (PV) steht mit 0,7 % (entspricht 139 GW Leistung) auf Platz 4 (siehe Abb. 1).

Während Wasserkraft und Biomasse traditionelle erneuerbare Energien sind, stammte der Zubau in den letzten Jahren zu immer stärkeren Teilen aus den neuen erneuerbaren Energien, Wind- und Solaranlagen. Die globalen Investitionen im Bereich der erneuerbaren Energien sind seit 2001 stetig gestiegen und haben in den Jahren 2011 bis 2013 ein Niveau von etwa 115-120 Mrd. US\$ erreicht. Dieser Zubau bestand zuletzt in etwa zu jeweils einem Drittel aus Wind, Photovoltaik und Wasserkraft (vgl. Abb. 2). Aufgrund der Technologieentwicklung im Bereich der Photovoltaik bedeutete dies, dass das absolute Investitionsvolumen (in Mrd. US\$) in erneuerbare Energien zuletzt leicht rückläufig war (s. u.), d. h. die gleiche Anzahl an Anlagen konnte 2013 zu geringeren Kosten errichtet werden als 2011.

Das Jahr 2013 markiert eine wichtige Wegmarke: Erstmals wurde weltweit mehr Stromerzeugungsleistung im Bereich der erneuerbaren Energien als im konventionel-



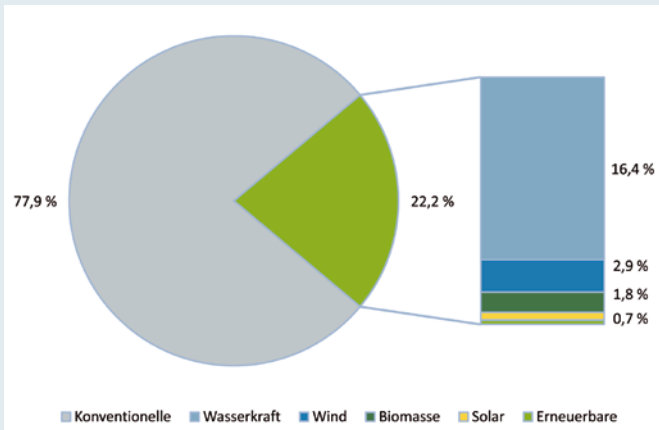
len Segment (Kohle, Öl, Gas und Kernenergie) installiert (vgl. Abb. 2). Dieser Trend gilt insbesondere auch für die drei großen Märkte USA, Europa und China.

### Photovoltaik: Aktuelle Marktentwicklung und Investitionen

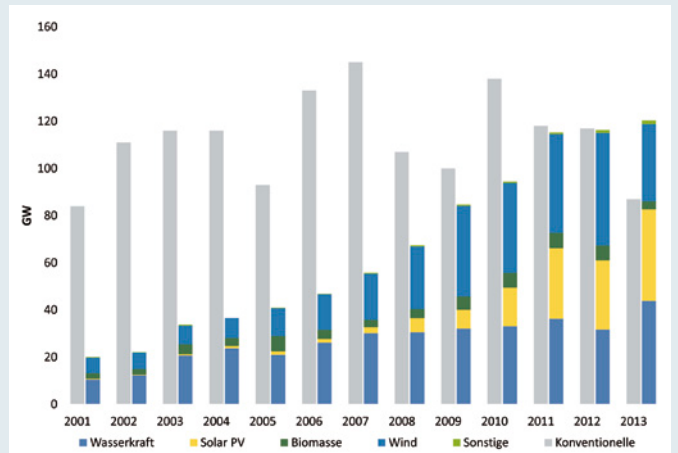
Die Nutzung der Sonnenenergie durch Photovoltaik war 2013 der größte Wachstumssektor und hat im Zubau der installierten Produktionsleistung erstmals die Windkraft überholt (PV +39 %, Wind +12 %). Damit hat sich die globale installierte PV-Leistung über die vergangenen 10 Jahre mehr als verfünffach und steht nun bei insgesamt

139 GW, wobei die Hälfte dieses Wachstums allein in den letzten zwei Jahren stattfand. Auch für 2014 wird ein großer Zubau erwartet. Bei der Ende 2013 installierten Leistung liegt Deutschland mit 36 GW im Länderranking nach wie vor auf Platz 1, China mit 20 GW dahinter auf Platz 2.

Der globale PV-Markt befindet sich jedoch in einer geographischen Wende. Die asiatischen Märkte haben, nicht nur bei der Produktion von Solarzellen, auch bei der eigenen Installation von Erzeugungsleistung, in ihrer Gesamtheit Europa als größten Markt hinter sich gelassen. Innerhalb Europas behält Deutschland als größter Markt die Vor-



**Abb. 1** Anteile erneuerbarer Energien an der globalen Stromproduktion Ende 2013  
Quelle: [1]



**Abb. 2** Jährlich neu installierte Stromerzeugungskapazitäten erneuerbarer Energien sowie Anteil der EE an den gesamten Neu-Installationen weltweit  
Quelle: [2]

machtstellung. Wegen des rasanten Wachstums dürfte China aber schon 2015 weltweit auf Platz 1 vorstoßen.

Insgesamt wurden im Jahr 2013 weltweit 94 Mrd. US\$ in Photovoltaik neu investiert. Damit ist erstmals über das letzte Jahrzehnt, nach den Spitzenjahren 2011/12 mit je 120 Mrd. US\$, ein Rückgang der Neuinvestitionen um -22 % eingetreten (Abb. 3). Dem gegenüber steht jedoch ein Zubau von PV-Leistung von +27 %, so dass der primäre Grund für den Investitionsrückgang in den weiter stetig fallenden Systempreisen für PV zu suchen ist.

Die Preisentwicklung der Photovoltaik folgt seit Beginn der 1980er Jahre einer sehr steilen Lernkurve, im Laufe derer sich die

durchschnittlichen Preise für PV-Module auf einen Bruchteil der ursprünglichen Kosten reduziert haben. Dies machte den Weg frei für eine Expansion des Marktes, welche wiederum zu einer Reduzierung der Technologiekosten führte. So ging über die vergangenen Jahre eine Verdoppelung der globalen installierten Leistung im Durchschnitt mit einer Reduktion der Kosten um 20 % einher. So liegt z. B. der Preis für PV-Leistung auf dem deutschen Markt aktuell um mehr als 70 % unter dem Niveau von 2008 und ist damit Teil einer globalen Tendenz (Abb. 4).

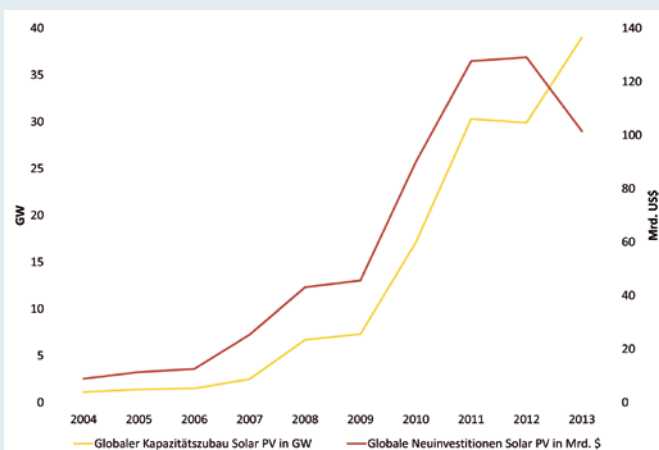
### Sonnenwärmenutzung

Neben der Photovoltaik ist die Stromproduktion über Solarwärmekraftwerke (CSP)

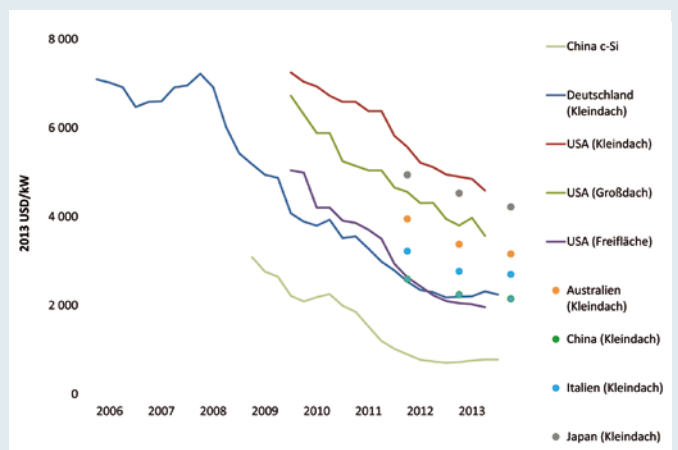
mit 3,4 GW installierter Leistung ein noch kleiner, aber deutlich wachsender Sektor, der jedoch auf klimatisch einstrahlungsbegünstigte Regionen beschränkt bleiben wird. Neben Spanien, wo der größte Teil der weltweiten Produktionsleistung installiert ist, hat sich die USA als zweitgrößter Wachstumsmarkt für diese Technologie etabliert. Aufgrund der Sonderstellung dieser Technologie wird diese hier nicht weiter vertieft.

### Strom aus Wind: Aktuelle Marktentwicklung und Investitionen

Auch der globale Markt für Windenergieanlagen hat über das letzte Jahrzehnt ein starkes Wachstum erlebt: Seit 2008 liegen die jährlichen Zuwachsraten bei durchschnitt-



**Abb. 3** Jährlicher Zubau an PV-Produktionsleistung sowie Neuinvestitionen in PV  
Quelle: [1] und Bloomberg New Energy Finance (2014)



**Abb. 4** Historische Entwicklung der Preise für PV-Anlagen in verschiedenen Regionen  
Quelle: [2]

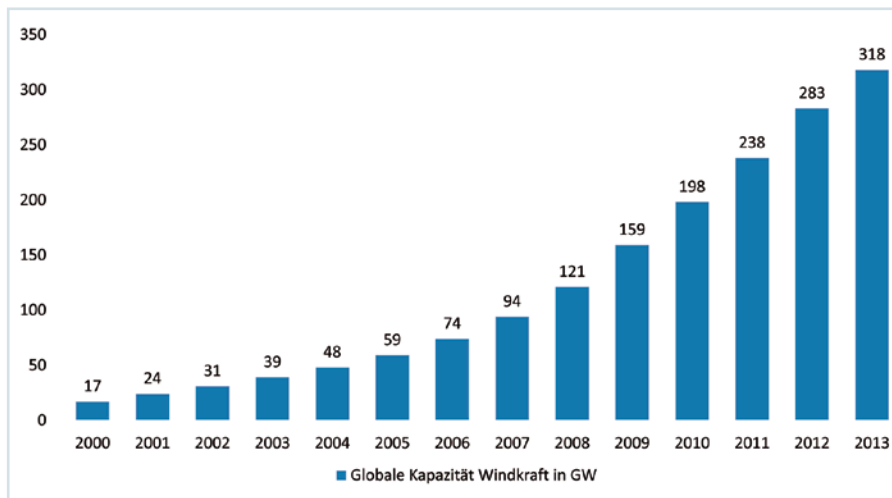


Abb. 5 Entwicklung der globalen Windkraft-Kapazitäten

Quelle: [2]

lich etwa 30 bis 45 GW (Abb. 5). Mit einer installierten Gesamtleistung von 318 GW ist die Windenergie hinter der Wasserkraft die zweitbedeutendste erneuerbare Stromquelle. Durch eine Dämpfung des Wachstums insbesondere auf dem amerikanischen Markt lag 2013 der Zubau bei rd. 35 GW, 10 GW weniger als im Vorjahr.

Obwohl der größte Teil der neu zugebauten Leistung 2013 in Asien installiert wurde, steht die Europäische Union mit 37 % der gesamten globalen Windkraftleistung immer noch vor den Ländern Asiens (36 % Anteil). Der europäische Zubau konzentrierte sich 2013 deutlich auf Deutschland und Großbritannien, über die Hälfte des Zubaus in der EU fand dort statt. Eine zweite Tendenz des Wachstums der Windkraft in Europa geht aktuell in Richtung Offshore-Erzeugung. Allerdings ist die Aussicht in diesem Sektor gedämpft, da aufgrund von Unsicherheiten in der Förderpolitik, aber auch aus Sicht des Umwelt- und Naturschutzes, aktuell mehrere in Planung befindliche Großprojekte neu bewertet werden.

Deutschland liegt mit 34 GW installierter Windkapazität weltweit an dritter Stelle. Für die kommenden Jahre wird ein Zubau von 2,5 GW p. a. angestrebt – netto, d. h. zuzüglich des Austauschs von Alt- durch Neuanlagen. Dieses sog. Windanlagen-Repowering machte 2013 in Deutschland bereits einen kleinen, aber signifikanten Anteil (0,2 GW) des Leistungszubaus (insgesamt 3,3 GW) aus.

Das dargestellte Wachstum führte zur heutigen Situation, in der der Anteil des Windstroms in den Netzen zunehmende Relevanz hat. Gemessen am gesamten Stromverbrauch der EU kamen 2013 fast 8 % des Stroms aus Windkraft. In den Ländern mit hoher Windstromproduktion liegt dieser Anteil erheblich höher: In der EU führend sind hier Dänemark (33 %) und Spanien (21 %). Deutschland liegt mit einem Anteil von knapp 9 % nur leicht oberhalb des europäischen Durchschnitts, wobei manche Regionen (wie etwa Nord- und Ostdeutschland) ebenfalls über 20 % liegen und der Zuwachs in den kommenden Jahren bei etwa einem Prozentpunkt p. a. liegen wird.

Herstellerseitig steht die Windkraftindustrie, ähnlich wie bei der Photovoltaik, in einer Phase der Konsolidierung. Unternehmen aus Dänemark (Vestas) und Deutschland (Enercon, Siemens) stehen neben Goldwin (China) zwar nach wie vor in der Marktführerschaft, jedoch führte starker Wettbewerbsdruck zu Veränderungen im Feld der Hersteller durch Insolvenzen (z. B. Fuhrländer, Deutschland) und deutlichem Personalabbau (z. B. Vestas). Veränderungen spiegeln sich auch in technologischen Weiterentwicklungen – ungebrochen ist der Trend zu höheren Anlagen und leistungsstärkeren Turbinen, aber auch zur Entwicklung von netzrelevanten Steuerungs- und Flexibilisierungslösungen.

Insgesamt betragen die Neuinvestitionen in der Windkraft 2013 weltweit 80 Mrd. US\$

und lagen damit etwa unverändert auf dem Level von 2012. Damit flossen 37 % der gesamten Investitionen in erneuerbare Energien in die Windkraft (Photovoltaik: 53 %).

### Zusammenfassung

- Die Investitionen in erneuerbare Energien sind über das letzte Jahrzehnt deutlich gestiegen.
- Im Jahr 2013 sind erstmals im Stromsektor mehr erneuerbare Energien – v. a. Sonne und Wind – neu installiert worden als konventionelle Kraftwerke (Kohle, Gas, Kernenergie).
- Europa ist nach wie vor weltweit führend bei der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien.
- Es findet ein schnelles Wachstum in außereuropäischen Märkten statt, in erster Linie in Asien, aber auch in Entwicklungs- und Schwellenländern in Afrika und Lateinamerika.
- Die Förderung von erneuerbaren Energien führte zu einer schnellen Technologieentwicklung und zu sinkenden Preisen. Dies wiederum machte den Weg für einen schnellen Leistungszubau möglich.

### Erneuerbare Energien und Förderpolitik: Eine globale Betrachtung

Politische Steuerungsinstrumente zur Förderung erneuerbarer Energien haben sich in den vergangenen Jahren deutlich ausgeweitet. Zu Beginn des Jahres 2014 verfügten mindestens 144 Staaten über Ausbauziele für erneuerbare Energien und 138 Staaten setzten Förderinstrumente ein. Besonders Entwicklungs- und Schwellenländer haben zu einer deutlichen Verbreitung von Fördermaßnahmen beigetragen. So haben aktuell etwa 95 Schwellen- und Entwicklungsländer Förderprogramme implementiert. Im Jahr 2005 waren es lediglich 15 Länder.

Vor allem im Jahr 2013 legten viele Länder den Fokus auf Revisionen von bestehenden Politikinstrumenten, etwa im Hinblick auf Effizienzsteigerungen von bestehenden Maßnahmen oder zur Eingrenzung der Wachstumsraten von erneuerbaren Energien. In vielen Ländern wurden Anpassungen durchgeführt, um sich verändernden Rahmenbedingungen wie sinkenden Technolo-

giekosten oder der allgemeinen Wirtschafts- und Haushaltssituation gerecht zu werden.

Insgesamt umfasst das Spektrum regulatorischer Maßnahmen, die zum Zweck des Anstiegs erneuerbarer Energieerzeugung oder dem Aufbau erneuerbarer Energiekapazitäten eingesetzt werden, eine große Vielfalt von unterschiedlichen Maßnahmen, die an den spezifischen inländischen Verhältnisse orientiert sind. Hierzu zählen u. a. Einspeisevergütungen, Quotenmodelle, Ausschreibungsverfahren, Net-Metering (d. h. Verrechnung von eingespeistem Strom mit der Stromrechnung), Steuerbefreiungen, Zuschüsse oder Krediterleichterungen.

Die eingesetzten Maßnahmen variieren im Hinblick auf ihr Ambitionsniveau und ihre Wirksamkeit, aber größtenteils nutzt jedes Land eine Vielzahl unterschiedlicher Politikmechanismen zur Förderung erneuerbarer Energieerzeugung. 2014 arbeiten etwa 70 % aller Länder mit Einspeisevergütungen (u. a. Deutschland, China, Frankreich), 55 % mit Ausschreibungsverfahren (u. a. Kanada, Italien, Portugal), 28 % mit Quotenmodellen (u. a. Teile der USA, Südkorea) und 43 % mit Net-Metering (u. a. Chile, Mexiko, Spanien).

Die unterschiedlichen Förderprogramme waren die Voraussetzung für die oben beschriebene Entwicklung der erneuerbaren Energien und haben den globalen Markt für diese Energiequellen zunächst getragen. In den vergangenen Jahren sind nun immer mehr Technologieanwendungen entstanden, in denen erneuerbare Energien ohne Investitionsunterstützung gegenüber konventioneller Energieerzeugung wettbewerbsfähig sind. So ist es bereits heute viel wirtschaftlicher, Strom mithilfe von Wind- und Solaranlagen statt durch Diesel-Generatoren herzustellen, wie dies immer noch in weiten Teilen der Dritten Welt oder auf kleineren Inseln geschieht (vgl. Abb. 6). Wind- und Solaranlagen sind in solchen Gegenden, kombiniert mit einer Speicherlösung oder einem Diesel-Backup-System für sonnen- und windarme Zeiten, bereits heute die kostengünstigste Art der Stromerzeugung.

Darüber hinaus mehren sich die Indizien, dass Wind- und Solarenergie nicht nur in Nischen, sondern weltweit an der Schwelle zum internationalen Durchbruch stehen.

Eine kleine Auswahl von Ereignissen Ende 2013/Anfang 2014 verdeutlicht den Stand der globalen Entwicklung:

■ Die Stadt Austin (Texas) hat im Mai 2014 einen 25 Jahre umfassenden Vertrag über die Lieferung von Solarstrom zu einem Preis von unter 5 US-ct/kWh unterzeichnet, um die Errichtung eines 150-MW-Solarparks zu ermöglichen.

■ In Brasilien dominiert Windenergie die jüngsten Stromauktionen des staatlichen Regulierers: Mehr als die Hälfte der im Juni 2014 versteigerten 550 MW Stromkapazität wurden Windanlagen zugeteilt, zu 5,6 US-ct/kWh.

■ Die dänische Regierung hat im Juli 2014 erklärt, Windenergie sei in Dänemark mit etwa 4 ct/kWh die billigste Stromerzeugungsform. Der Windanteil an der Stromversorgung soll von heute 33 % auf 50 % bis 2020 gesteigert werden.

■ In Südafrika hat die jüngste Auktion von erneuerbaren Stromerzeugungskapazitäten für Windkraft ca. 4,5 und für Solarenergie ca. 6,1 ct/kWh erzielt.

Diese Entwicklung bedeutet jedoch nicht, dass Wind- und Solaranlagen von nun an ohne staatliche Regulierung – quasi „von allein“ – errichtet würden. Schließlich sind es auch in den o. g. Fällen, in denen Wind- und Solarenergie die kostengünstigste Stromerzeugungsform darstellen, neben der

Frage der Sonnen- und Windverfügbarkeit staatliche Instanzen, die das Geschehen bestimmen. Es gibt mehrere Gründe, warum Wind- und Sonnenkraftwerke trotz der zunehmenden Kostenvorteile gegenüber neuen Kohle- und Gaskraftwerken weiterhin (und vermutlich noch eine ganze Weile) auf staatliche Regulierung angewiesen sind:

1. Wind- und Solarkraftanlagen sind in vielen Gegenden der Welt noch ungewohnte Technologien, d. h. das Zusammenspiel aus technischen Voraussetzungen, Energieinfrastruktur und Finanzierungsbedingungen funktioniert noch nicht reibungslos. Die hierdurch entstehenden Transaktionskosten können eine unüberwindbare Hürde darstellen, wenn es kein dauerhaftes und klares politisches Bekenntnis zu den neuen Technologien gibt – und es sich damit für Investoren lohnt, in den neuen Markt einzusteigen.

2. Neue Wind- und Solaranlagen konkurrieren in vielen Märkten mit abgeschriebenen Bestandskraftwerken auf Basis von Kohle oder Gas. Wenn der erneuerbare Energien-Anteil nicht nur im Bereich des Neubaus, sondern auch in Konkurrenz mit dem Bestand erhöht werden soll, ist eine staatliche Intervention unumgänglich.

3. Wind- und Solarkraftwerke sind dadurch gekennzeichnet, dass sie hohe Kapitalkosten und kaum Betriebskosten haben, d. h.

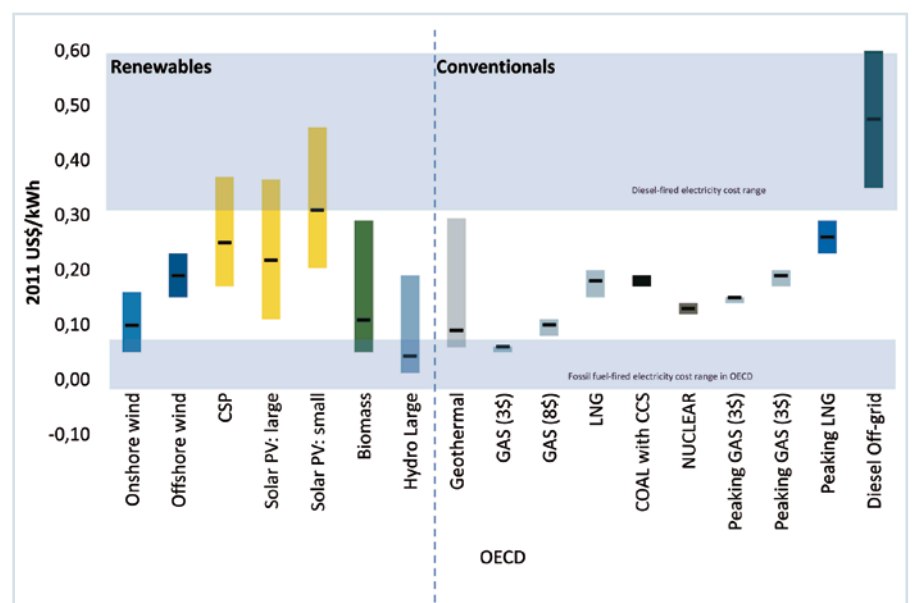


Abb. 6 Stromerzeugungskosten verschiedener erneuerbarer und konventioneller Energieträger im Vergleich  
Quelle: [2]

dass fast alle Kosten am Anfang in der Investitionsphase anfallen – und dann eine jahrelange „Erntephase“ beginnt. Diese hohe Kapitalintensität bedeutet, dass Wind und Solar eine gesicherte längerfristige Lieferbeziehung für den von ihnen produzierten Strom benötigen, um sich im Wettbewerb durchsetzen zu können – was dazu führt, dass die Förderregime für erneuerbare Energien in der Regel mindestens 10jährige Finanzierungs- oder Vergütungsregelungen haben (in Deutschland: 20 Jahre). Wäre der Stromabsatz in einem wettbewerblichen Kontext nur für die ersten Jahre gesichert, würde dies zu sehr hohen Risikoaufschlägen führen, mit dem Effekt, dass der Kostenvorteil wieder zunichte wäre.

4. Sobald Wind- und Sonnenenergie einen höheren Anteil im Stromsystem ausmachen, führt dies in wettbewerblich organisierten Strommärkten dazu, dass der Strompreis an der Strombörse in Situationen von viel Wind und/oder hoher Sonneneinstrahlung sehr niedrig wird oder sogar gegen Null tendiert (der sog. Merit-Order-Effekt). Im Ergebnis machen sich Wind- und Solarenergie an den bestehenden Strombörsen „ihren eigenen Preis kaputt“. Die paradoxe Folge ist, dass Wind- und Solaranlagen, selbst wenn ihre Stromgestehungskosten niedriger sind als die von konventionellen Kraftwerken, die notwendigen Preise zur Refinanzierung der Investition nicht erzielen können. Dies bedeutet, dass Wind- und Solarkraftwerke auch langfristig eine zusätzliche, garantierte Finanzierung neben den Einnahmen an den Strombörsen benötigen werden.

5. Wind- und Solarkraftwerke stellen aufgrund ihrer fluktuierenden Stromproduktion jenseits eines Anteils von ca. 10 % eine Herausforderung für das Betreiben und

Managen des Stromnetzes dar, zudem kann die Eigenerzeugung von Solarstrom die Finanzierungsbasis der Netze in Frage stellen. Dies führt dazu, dass die (in der Regel monopolistisch organisierten) Stromnetzbetreiber hohe Wind- und PV-Anteile oft ablehnen. So hat etwa in Hawaii der regionale Strommonopolist HECO Ende 2013 den Anschluss neuer PV-Dach-Anlagen aus Netzgründen abgelehnt – bis er dann im Mai 2014 durch die Regulierungskommission von Hawaii dazu gezwungen wurde, diese Praxis zu beenden und eine Pro-Solar-Strategie für Hawaii zu konzipieren.

### Erneuerbare in immer mehr Regionen die günstigste Option der Stromerzeugung

Strom aus Wind- und Solarenergie wird in immer mehr Regionen der Welt zur kostengünstigsten Option, Strom zu erzeugen. Diese Energien stehen damit vor dem globalen Durchbruch und werden die Stromsysteme weltweit maßgeblich prägen. Diese Entwicklung ist nicht mehr aufzuhalten, da die Lernkostenkurven für Wind- und Solaranlagen bei Weitem noch nicht an ihrem Ende angelangt und weitere Kostenreduktionen bereits jetzt absehbar sind.

Es kommt nun darauf an, diese technisch-ökonomischen Realität auch politisch-institutionell abzubilden. Denn Stromerzeugung ist überall auf der Welt aufs Engste mit der jeweiligen Regulierung und der politischen Situation verbunden – und dies gilt besonders für Wind- und Solaranlagen mit ihren spezifischen Eigenschaften (hohe Kapitalintensität, Grenzkosten nahe null, fluktuierende Stromerzeugung). Zudem stellen hohe Anteile von Wind- und Solaranlagen eine Herausforderung für die Stromnetze und die

bestehenden Marktstrukturen dar. Um zu hohen Anteilen von erneuerbaren Energien zu gelangen, ist daher überall eine entsprechende pro-aktive Regulierung notwendig.

### Globale Schaufenster der Energiesysteme der Zukunft

Zielführend in diesem Zusammenhang könnte es sein, Regionen mit hohen Wind- und Solaranteilen global zu Schaufenstern der Energiesysteme der Zukunft zu machen. So lag in der Regelzone von 50Hertz, einem der vier Übertragungsnetzbetreiber in Deutschland, der Anteil von Wind- und Solarenergie an der Stromerzeugung 2013 bereits bei 35 % – einem Anteil, den viele Ingenieure noch vor zehn Jahren für technisch unmöglich gehalten hätten. Die hieraus entwickelten Lösungen zur Systemintegration von Wind- und Solarenergie können daher ein wichtiger Baustein zur globalen Transformation des Energiesystems werden. Zu einer erfolgreichen Energiewende in Deutschland gehört insofern auch ein globales Energiewende-Wissensnetzwerk von Staaten und Regionen mit gleichfalls hoher und steigender Wind- und Solarstromproduktion.

### Literatur

- [1] Renewables 2014 Global Status Report, REN21 Secretariat, Paris, <http://www.ren21.net/gsr>
- [2] Rethinking Energy 2014, Towards a new Power System, IRENA Secretariat, Abu Dhabi, <http://www.irena.org/rethinking/>

*Dr. P. Graichen, Direktor Agora Energiewende, Berlin; Dr. L. Grotewold, Leiter Bereich Klimawandel, K. Kordowski, Philipp Wesemann, beide Projektmanager, Stiftung Mercator, Essen*  
[patrick.graichen@agora-energiewende.de](mailto:patrick.graichen@agora-energiewende.de)