

Signalwirkungen der Spotmarktpreise auf die Erzeugung erneuerbarer Energien

Kurz-Analyse von Einflüssen erneuerbarer Energien auf den Börsenstrompreis durch die 100 prozent erneuerbar stiftung

Hintergrund

Die Allokation zwischen der Erzeugung von Strom aus fluktuierenden erneuerbaren Energien (FEE) und dem Strombedarf ist eine entscheidende Herausforderung für das Gelingen der Energiewende. Offensichtlich leitet den Gesetzgeber die Hoffnung, dass diese Allokation durch eine Ausrichtung der Produktion an die Entwicklung der Spotmarktpreise erreicht wird. Jedenfalls basiert das Prinzip der Marktprämie, das in der aktuellen Fassung des Erneuerbaren-Energie-Gesetzes ausgeweitet wurde, auf dieser Idee.

Infrage gestellt werden muss allerdings, ob diese Allokation durch Preissignale, die vom Spotmarkt der Strombörse ausgehen, hergestellt werden kann. Dafür ist zu bestimmen, inwieweit die FEE einen Einfluss auf den Spotmarktpreis ausüben. Daher fragt die vorliegende Untersuchung nach der Beziehung zwischen der Erzeugung erneuerbarer, fluktuierender Energiequellen und dem Börsenstrompreis zu einem gegebenen Zeitpunkt und versucht, den möglichen Einfluss der FEE durch Korrelationskoeffizienten zu quantifizieren.

Der Preis an der Strombörse soll eine Reaktionswirkung entfalten, d.h. bei hohem Preis (also in Zeiten hoher Nachfrage) muss mehr produziert werden und umgekehrt, um das Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage herzustellen. Für die FEE gilt dieses Prinzip allerdings nicht zwangsläufig, da deren Einspeisung witterungsbedingt erfolgt und nur eingeschränkt kontrolliert werden kann.¹ Insofern steht zwar grundsätzlich infrage, inwieweit eine Allokationswirkung des Preises auf FEE erfolgen kann. Zuvor ist allerdings zu klären, ob durch den Preis überhaupt ein Allokationssignal ausgeht.

Dafür müsste die Höhe des Spotmarktpreises negativ mit dem Erzeugungsniveau erneuerbarer Energien korreliert sein. Zu Zeiten niedrigerer Spotmarktpreise bestünde dann ein entsprechend geringer Anreiz, FEE zu erzeugen. Eine hohe negative Korrelation zwischen FEE und Preis würde insofern dafür sprechen, dass der Spotmarktpreis ein Signal aussendet. Dies erscheint deswegen zweifelhaft, weil Analysen des Wind- und Sonnendargebots zeigen, dass die Erzeugung von Wind- und Sonnenstrom in hohem Maße von tages- und jahreszeitlichen Mustern geprägt sind (vgl. Mono und Glasstetter und Horn 2014). Für die vorliegende Fragestellung ist diese Abhängigkeit deswegen relevant, weil auch der Lastverlauf tages- und jahreszeitlichen Mustern folgt.

¹ Eine Abschaltung bei geringer Nachfrage ist denkbar, durch das Einspeiseprivileg und selten auftretende negative Residuallasten allerdings bisher fast nie nötig.

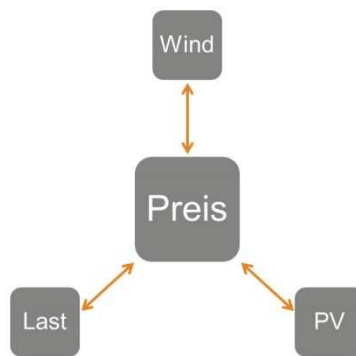
Daher liegt die folgende Frage nahe:

Hat die FEE-Erzeugung einen Einfluss auf den Spotmarktpreis, so dass von diesem ein Allokationssignal ausgeht? Nur wenn sich diese Frage positiv beantworten lässt, ist es überhaupt plausibel von einer Allokationswirkung des Spotmarktpreises auszugehen. Im negativen Fall müsste hingegen gelten: Wo kein Signal vorliegt, kann auch keine Wirkung erfolgen.

Vorgehen

In der Abbildung 1 ist das Wirkungsgeflecht zwischen den Parametern Windenergieerzeugung (Wind), Photovoltaikerzeugung (PV), Last und Spotmarktpreis (Preis) skizziert, deren einzelne Beziehungen zueinander sichtbar gemacht werden sollen. Es wurden dazu Korrelationskoeffizienten nach Pearson (Pearsons r) zwischen allen einzelnen Einflussgrößen berechnet. Die berechneten Zusammenhänge werden diskutiert und zum differenzierten Verständnis durch partielle Korrelationen, bei der der Einfluss einer Variable auf den Zusammenhang zwischen zwei anderen Variablen kontrolliert wird, ergänzt. Das Wirkungsschema kann dann um die kontrollierte Größe reduziert werden und vereinfacht sich. Die Rohdaten der Wind- und Solarerzeugung sowie der EPEX-Spotmarktpreise stammen aus den historischen Daten „Regenerative Energieerzeugung“ von www.e21.info. Es wurde ein typischer Mittwoch des Jahres 2013 mit stündlicher Auflösung erstellt. Die Lastdaten wurden von der Website des European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E) abgerufen.

Abbildung 1: Wirkungsgeflecht zur Preisentstehung



Wind und PV können zusammengefasst werden in der Größe FEE, die sich aus der Summe beider Erzeugungsarten ergibt. FEE und Last können wiederum zusammengefasst werden in einer Größe Residuallast, die sich aus der Differenz von Last und FEE ergibt. Zusätzlich werden für die Spotmarktpreise und die FEE-Erzeugung Standardabweichungen und Mittelwerte berechnet. Der Quotient aus beiden Größen stellt eine normierte Standardabweichung dar und kann miteinander verglichen werden, wobei höhere Werte höhere Schwankungen über die Zeitreihe abbilden.

Ergebnisse

Ein Vergleich der durch den Mittelwert normierten Standardabweichung ergibt erste Hinweise auf die mögliche Reaktion des Preises auf die FEE-Erzeugung. Die normierte Standardabweichung der FEE-Erzeugung erreicht mit 78 Prozent nahezu das Doppelte des Pendantes der Spotmarktpreise mit 44 Prozent². Der hohe Wert der FEE ist aufgrund der stark schwankenden Erzeugung der fluktuierenden Größen Wind und Sonne nicht ungewöhnlich. Die niedrige Varianz des Preises deutet jedoch ganz generell auf eine mangelnde Reaktionsfähigkeit des Preises auf die Schwankungen der Erzeugung hin. Zu Beurteilung, inwieweit die Größen Spotpreis und FEE-Erzeugung systematisch miteinander variieren und ob diese systematische Varianz gleich- oder gegeneinander gerichtet ist, ist freilich ein Blick auf die bivariaten Korrelationen notwendig.

Der Zusammenhang zwischen Residuallast und Preis ist mit $r = 0,80$ sehr hoch, wie ein Blick auf Tabelle 1 zeigt. Er spricht zunächst für eine mögliche Reaktion des Preises: Denn eine hohe Residuallast liegt dann vor, wenn wenig FEE erzeugt wird und die Last hoch ist. Die dann vorliegende Knappheit zeigt der Preis offenbar an. Ein genauerer Blick verrät allerdings: Die Wirkung erklärt sich vor allem durch den Einfluss der Last auf den Preis ($r = 0,72$). Der Zusammenhang zwischen FEE und Preis ist nur schwach negativ ausgeprägt ($r = -0,20$), so dass nur eine schwache Reaktionswirkung des Preises auf die Erzeugung von FEE vorliegt. Woran dies liegt, erklärt ein Blick auf die einzelnen bivariaten Zusammenhänge, die Tabelle 2 zusammenfasst.

Tabelle 1: Bivariate Korrelationen von FEE, Residuallast und Preis

	FEE	Residuallast	Preis
FEE	-	-0,43	-0,20
Residuallast	-0,43	-	0,80
Preis	-0,20	0,80	-

Tabelle 2: Bivariate Korrelationen von Wind, PV, Last und Preis

	Wind	PV	Last	Preis
Wind	-	-0,12	-0,02	-0,25
PV	-0,12	-	0,33	-0,02
Last	-0,02	0,33	-	0,72
Preis	-0,25	-0,02	0,72	-

Tabelle 2 zeigt zunächst einen schwachen negativen Zusammenhang zwischen Wind und Preis. Er spricht dafür, dass der Preis auf die Winderzeugung kaum reagiert. Der Effekt vergrößert sich etwas, wenn man in einer partiellen Korrelation den Einfluss der Last kontrolliert: Dann erhöht sich der Zusammenhang zwischen Wind und Preis auf $r = -0,33$ (vgl. Tabelle 3). Der Grund liegt auf der Hand: Wind und Last sind nicht korreliert, Last und Preis stehen hingegen in stark positivem Kontext zueinander, sodass sich der schwache negative Zusammenhang zwischen Wind und Preis leicht verstärkt, wenn der Einfluss der Last eliminiert wird.

² Die Prozentangaben sind so zu lesen: Die Standardabweichung des Spotmarktpreises beträgt 44 Prozent des Wertes des arithmetischen Mittels des Spotmarkts im betrachteten Zeitraum; die Standardabweichung der FEE-Erzeugung beträgt 77 Prozent des Wertes des arithmetischen Mittels der FEE-Erzeugung im betrachteten Zeitraum.

Weiterhin geht aus Tabelle 2 hervor, dass PV und Last positiv korreliert sind. Der positive Zusammenhang liegt im gleichzeitigen Auftreten der Erzeugungsspitze von PV und der höchsten Last zur Mittagszeit begründet. Im Winter ist die PV-Erzeugung deutlich geringer, und dazu steigt die Last, so dass sich der Korrelationseffekt wieder etwas aufhebt. PV und Preis korrelieren nicht miteinander, sodass der Preis hier keine Signalwirkung entfaltet. Dieser Zusammenhang ist tatsächlich alleine auf die lastgerechte Erzeugung von PV zurückzuführen. Kontrolliert man den Einfluss der Last in einer partiellen Korrelation, ergibt sich, wie Tabelle 3 offenbart, ein negativer Zusammenhang zwischen PV und Preis ($r = -0,40$). Mit anderen Worten: Wären PV und Wind nicht positiv bzw. schwach negativ mit der Last korreliert, würden sie, jeweils für sich betrachtet, eine ähnliche, mittelstarke Wirkung auf den Preis ausüben. Ob diese bivariaten Effekte kumulieren, zeigt Tabelle 3.

Tabelle 3: Partielle Korrelationen

	Korrelation zwischen	Und	Korrelationskoeffizient
Last	Wind	Preis	-0,33
Last	PV	Preis	-0,40
Last	FEE	Preis	-0,55

Insgesamt wird deutlich: Die Last zeigt sich mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,72$ nicht nur als dominanter Einflussfaktor. Zusätzlich überlagert sie die Effekte, die die FEE auf den Preis ausüben würden. Dies zeigt sich in aller Prägnanz in den partiellen Korrelationen, die in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zusammengefasst werden: Würde die Last nicht als intervenierende Variable zwischen den Einfluss des Windes bzw. der PV bzw. den FEE zusammengenommen auf den Preis auftreten, wären die Zusammenhänge zwischen der FEE-Erzeugung und dem Preis deutlich höher. Am sichtbarsten fällt dies tatsächlich bei der zusammengefassten Betrachtung der FEE und ihrer Wirkung auf den Preis aus. Wenn man in einer partiellen Korrelation den Einfluss der Last kontrolliert, steigt dieser von $r = -0,20$ auf $r = -0,55$.

Diese Reaktionen des Preises auf die FEE im Ganzen, aber auch auf die beiden Technologien im Einzelnen bei kontrollierter Last sind also rein virtuell. Praktisch reagiert der Preis aufgrund des überlagernden Einflusses der Last kaum auf die Erzeugung aus fluktuierenden erneuerbaren Quellen. Tatsächlich hängen Wind- und PV-Erzeugung sowie die Last von einer gemeinsamen externen Größe ab. Ihr Verständnis verspricht mehr Informationsgehalt als die Preissignale. Dieser übergeordnete Faktor ist der Einfluss der Tages- und Jahreszeit, der sowohl spezifische Lastprofile wie auch charakteristische Erzeugungsprofile prägt.

Die Effekte der Jahres- und Tageszeit auf Last und Erzeugung überlagern sich. Mal wirken sie einander entgegen (wie beim jahreszeitlichen Einfluss auf Photovoltaik und Last), mal sind sie gleichgerichtet (wie beim jahreszeitlichen Einfluss auf Windenergie und Last oder beim tageszeitlichen Einfluss auf Photovoltaik und Last). Für den Erzeuger gibt der Preis daher keine eindeutige Informationen, wie es sonst der Fall ist, wenn ein Signal durch den Preis transportiert wird. Die anfangs formulierte Frage muss also eher verneint werden. Die spezifische Wirkung der FEE-Erzeugung auf den Preis ist bestenfalls schwach. Zwar zeigt der Preis Knappheiten und Überflüsse an, wofür die ausgeprägte positive Korrelation zwischen Residuallast und Preis spricht. Doch kommt darin kaum das Produktionsniveau zum Ausdruck. Damit ist auch das vom Preis ausgehende Signal auf die Erzeugung geschwächt. Zu fragen ist damit auch, inwieweit der Preis seine Funktion, einen Ausgleich zwischen Angebot und Nachfrage herzustellen, überhaupt erfüllen kann. Denn der Preis wird ohnehin maßgeblich von der Last bestimmt und diese hängt in beträchtlichem Maße von einer Größe ab, die wiederum

ebenso das Niveau der FEE-Erzeugung prädeterminiert. Aus Sicht des Erzeugers ist vor diesem Hintergrund unter Umständen sinnvoller, die Tages- und Jahreszeit als Informationsquelle anzusehen, um zu bestimmen, welchen Wert der von ihm erzeugte Strom hat. Erste Hinweise bezüglich dieser Frage gibt das folgende Kapitel.

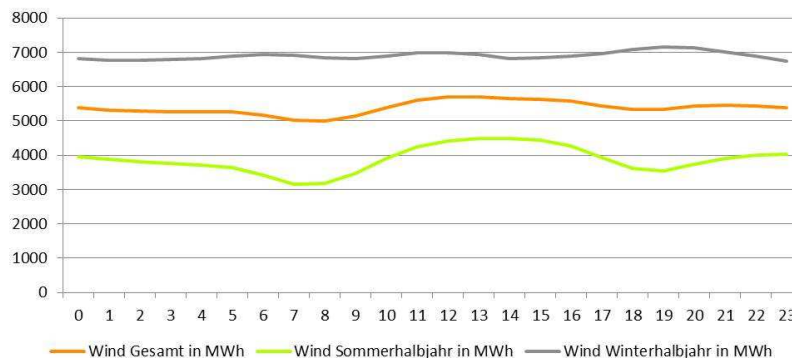
Tages- und Jahreszeiteinflüsse

Um die tages- und jahreszeitlichen Effekte auf die Wind- und PV-Erzeugung sowie die Last zu erfassen, wurden diese Zeiten zunächst grob kategorisiert. Das Sommerhalbjahr umfasst die Monate April bis September und das Winterhalbjahr entsprechend Oktober bis März. Um die unterschiedlichen Tageslängen zu berücksichtigen, wird zwischen Sommer- (5 bis 20 Uhr) und Wintertagen (7 bis 16 Uhr) respektive -nächten unterschieden.

Korreliert man die Tages- und Jahreszeiten mit der Wind- und PV-Erzeugung, zeigt sich, dass diese Technologien gegensätzliche Erzeugungsspeaks aufweisen. Für den Wind ist der Einfluss der Jahreszeit stärker, denn im Winter windet es deutlich mehr als im Sommer.

Zwar hat auch die Tageszeit einen gewissen Einfluss auf die Winderzeugung, wie Diagramm 1 veranschaulicht. Es stellt einen durchschnittlichen Windtagesgang dar. Der Einfluss der Tageszeit ist er vor allem im Winterhalbjahr sehr dezent, und tritt nur im Sommerhalbjahr deutlich auf.

Diagramm 1: Durchschnittlicher Wind-Tagesgang für das Gesamtjahr sowie Winter- und Sommerhalbjahr



5

Prägt also die Jahreszeit maßgeblich die Windenergieerzeugung, so ist die PV in hohem Maße sowohl von der Tages- als auch der Jahreszeit beeinflusst. Insgesamt überlagern sich die Effekte mehrmals, was im Ergebnis dazu führt, dass die FEE-Erzeugung durch tageszeitliche Einflüsse dominiert wird und sich die jahreszeitlichen Effekte gegenseitig aufheben.

Auch die Last ist von zeitlichen Faktoren abhängig und wurde deshalb ebenfalls durch Korrelationen untersucht. Tagsüber ist die Last deutlich höher, gleichzeitig besteht eine schwächere Tendenz zu höheren Lasten im Winter.

Zusammengefasst folgen Last und FEE-Erzeugung verstärkt tageszeitlichen Mustern und haben saisonal leicht gegensätzliche Profile. Daraus resultiert, dass auch die Residuallast, welche sich aus Erzeugung und Last ergibt, und der Preis, der stark von der Residuallast beeinflusst wird, von jahreszeitlichen Faktoren abhängen. Im Winter sind beide tendenziell höher. Gleichzeitig werden Preis und Residuallast leicht von der Tageszeit beeinflusst.

Tabelle 4 zeigt nun die Folge dieser multivariaten Zusammenhänge für die hier interessierende Frage nach dem Effekt der FEE-Erzeugung auf den Preis. Offenkundig liegt ein Interaktionseffekt vor. An Wintertagen gibt es den

deutlichsten negativen Zusammenhang zwischen der FEE-Erzeugung und dem Preis, der sonst schwächer ausgeprägt ist. Dieser überraschende Interaktionseffekt ist fast ausschließlich auf den Einfluss der Last zurückzuführen, zeigt sich aber erst bei einer Darstellung, die zwischen der Tages- und der Jahreszeit differenziert. Diese bietet Tabelle 5 an, in der der Einfluss der Last kontrolliert wird.

Tabelle 4: Bivariate Korrelationen zwischen FEE und Preis in Abhängigkeit von Tages- und Jahreszeit

Bivariate Korrelation	Tag	Nacht
Sommer	-0,34	-0,27
Winter	-0,48	-0,32

Tabelle 5: Partielle Korrelationen (bei kontrollierter Last) zwischen FEE und Preis in Abhängigkeit von Tages- und Jahreszeit

Partielle Korrelation	Tag	Nacht
Sommer	-0,66	-0,26
Winter	-0,54	-0,40

Es zeigt sich, dass der Preis auch an Winternächten und besonders an Sommertagen stark auf FEE reagieren würde, wenn die Last diesen Effekt nicht überlagern würde. In den Mittagsstunden des Sommers sind die höchsten Ausgleichspotenziale für räumliche Ausgleichseffekte der Erzeugung vorhanden (vgl. Mono und Glasstetter und Horn 2014, S. 25), sodass über das Jahr betrachtet die höchste Erzeugung zu erwarten ist und eine deutlichere Preisbeeinflussung möglich ist. Dies erklärt die theoretisch stärkste Signalwirkung des Preises an Sommertagen ($r = -0,66$). Zeitgleich findet auch die lastnächste Erzeugung statt, was die Korrelation zwischen FEE und Preis unter Lasteinfluss deutlich abschwächt ($r = -0,34$). In Sommernächten hat die Last keinen überlagernden Einfluss.

Der Grund für dieses komplexe Wirkungskonstrukt liegt in dem tages- und jahreszeitlich geprägten Profil von Wind und PV begründet, das die Tabellen 6a bis 6d darstellen.

Tabelle 6a bis d: Bivariate Korrelationen in Abhängigkeit der Tages- bzw. Jahreszeit

Sommer	Preis	Last
Wind	-0,24	-0,10
PV	0,05	0,57
FEE	-0,06	0,48

Winter	Preis	Last
Wind	-0,35	-0,10
PV	-0,01	0,26
FEE	-0,31	0,03

Tag	Preis	Last
Wind	-0,26	-0,05
PV	-0,27	0,12
FEE	-0,31	0,03

Nacht	Preis	Last
Wind	-0,21	0,08
PV	0,06	0,09
FEE	-0,21	0,08

Wenn man die jahreszeitlichen Einflüsse untersucht, fällt zunächst auf, dass der Preis im Sommer auf die FEE-Erzeugung nicht reagiert, da sie sehr lastverbunden ($r = 0,48$) auftritt und damit Schwankungen der Residuallast sowie des Preises in geringem Maße auftreten. Das zeigt sich auch darin, dass die Standardabweichung der Residuallast im Sommerhalbjahr knapp 25 Prozent unter dem Wert der Standardabweichung der Residuallast im Winterhalbjahr liegt ($SD_{\text{Sommer}} = 8.584 \text{ MW}$; $SD_{\text{Winter}} = 11.368 \text{ MW}$). Mit dieser geringeren Varianz der Residuallast geht plausiblerweise auch eine Reduzierung der Standardabweichung des Preises im Sommer im Vergleich zum Winter um 17 Prozent ($SD_{\text{Sommer}} = 14,79 \text{ EUR}$; $SD_{\text{Winter}} = 17,73 \text{ EUR}$) einher.

Die geringeren Schwankungen der Residuallast und des Preises werden im Wesentlichen durch die deutlich lastnähere PV-Erzeugung bewirkt. Die Winderzeugung ist zwar schwach negativ mit dem Preis korreliert ($r = -0,24$), hat aber den geringeren Einfluss.

Im Vergleich zum Sommer stellt sich den Wintermonaten eine sehr viel stärkere Reaktion des Preises auf die Gesamterzeugung ein, was in der Entkoppelung der Erzeugung von der Last begründet ist. Besonders die PV produziert im Gegensatz zum Sommer weniger lastgerecht, da weniger Strahlungsleistung umgesetzt wird und gleichzeitig der Energiebedarf größer ist, die Differenz zwischen erzeugter und benötigter Leistung also steigt. Durch die herabgesetzte Leistung von PV im Winter gewinnt die Winderzeugung an Einfluss, was sich an der ähnlich hohen Korrelation zwischen Wind und Preis ($r = -0,35$) sowie FEE und Preis ($r = -0,31$) ausmachen lässt. Das lastungebundene Auftreten der Winderzeugung fließt in die Entkopplung der FEE-Erzeugung von der Last ebenfalls mit ein.

Die Unterschiede zwischen Tag und Nacht sind fast ebenso deutlich wie die zwischen Sommer und Winter.

Tagsüber zeigt der Preis eine mittlere Reaktion auf die Erzeugung ($r = -0,40$), während nachts nur eine schwache Reaktion ($r = -0,21$) festzustellen ist. In beiden Fällen ist die Erzeugung der PV, des Windes und in Summe auch die der FEE lastunverbunden. Der Unterschied liegt klar an der PV, so dass sich hier Einfluss der Korrelation zwischen Wind und Preis (ebenfalls $r = -0,21$) wieder stärker in der Korrelation zwischen FEE und Preis bemerkbar macht. Am Tag hat der Preis sowohl auf die PV als auch auf Wind ein jeweils schwaches Reaktionsvermögen, das bei Betrachtung der FEE kumuliert.

Wenn man tages- und jahreszeitliche Einflüsse kombiniert betrachtet, erschließt sich die in Tabelle 4 dargestellte Erkenntnis, dass an Wintertagen der Preis am wahrscheinlichsten ein Signal bezüglich der Erzeugungshöhe der FEE transportieren würde.

Interpretation der Ergebnisse

Ein Erzeuger dargebotsabhängiger erneuerbarer Energien kann nicht ohne weiteres davon ausgehen, dass seine Produktion zu einer Veränderung des Preises führt. Im Umkehrschluss bedeutet dies: Eine Betrachtung des Preises ergibt für ihn wenig Informationen, ob eine Anpassung der Produktion an die Nachfrage ökonomisch angezeigt ist. Wichtiger als der Preis ist ein tiefgreifendes Verständnis der Wirkung von Jahres- und Tageszeit auf das Wind- und Sonnendargebot einerseits und auf die Last andererseits. Aufgrund der durch multiple Einflüsse gekennzeichneten Interaktionen zwischen FEE-Erzeugung und Last enthält der Preis demgegenüber einen vergleichsweise geringen Informationsgehalt. Insofern muss grundsätzlich infrage gestellt werden, ob der Preis überhaupt in der Lage ist, eine effiziente Allokation zwischen FEE-Erzeugung und Strombedarf herzustellen. Damit steht auch die Sinnhaftigkeit der Marktprämie, wie sie im Erneuerbaren-Energie-Gesetz angelegt ist, grundsätzlich infrage. Da der Gesetzgeber ohnehin vorhat, davon abzuweichen und im Rahmen von Ausschreibungen eine stärkere Steuerung der zuzubauenden Kapazitäten an Erneuerbaren Energien vorzunehmen, ist zu erörtern, inwieweit informationshaltigere Indikatoren für die bedarfsgerechte Erzeugung von Erneuerbaren Energien gefunden werden können. Dabei spielt insbesondere die Frage, wann (also zu welcher Tages- bzw. Jahreszeit) Strom aus fluktuierend erzeugenden erneuerbaren Energien erzeugt werden kann, eine große Rolle. Hier besteht ohne Frage weiterhin ein erheblicher Bedarf an weitergehender Forschung, dessen Ergebnisse der anstehenden Reform des Energiemarktdesigns zugrunde gelegt werden sollten.