

Wie erneuerbare Energien die (Preis-)Zukunft gestalten

Cyriel de Jong, Hans van Dijken und Emiliyan Enev

Ende letzten Jahres hatte die installierte Photovoltaikkapazität in Deutschland die 32 GW-Marke überschritten. Die Auswirkung auf die Marktpreise ist unverkennbar: Die Preise im Sommer sowie für Spitzenlast sinken, besonders mittags, und Gaskraftwerke haben große Schwierigkeiten, rentabel zu laufen. Im Folgenden wird genauer untersucht, wie dies auch in Zukunft das Preisniveau gestalten wird. Dabei wird das Hauptaugenmerk statt auf den Grundlast-/Spitzenlastmarkt auf detailliertere stündliche Preisunterschiede gelegt, die sich in Stundenterminpreis-Kurven (HPFC, Hourly Price Forward Curve) widerspiegeln. Es kann gezeigt werden, dass tagsüber durch einen Anstieg des Stromerzeugungsanteils aus erneuerbaren Energien um 10 % die Strompreise um 6,6 % reduziert werden können. Nachts ist der Einfluss erneuerbarer Energien sogar noch größer.

Photovoltaik und Windenergie sind derzeit die wichtigsten erneuerbaren Energiequellen für Deutschland. Sie haben keine oder sogar negative Grenzkosten: Unabhängig vom Strompreisniveau und Energiedargebot verdienen die Eigentümer ein garantiertes Einkommen (den Einspeisetarif). Dies bedeutet, dass die Flexibilität für das System von anderer Seite kommen muss, d. h. den „herkömmlichen“, konventionellen Quellen. Dabei handelt es sich meistens um Stromerzeugung aus Kohle und Gas. Die Grenzkosten für diese Kraftwerke variieren je nach Brennstoff- und Kohlenstoffpreisen sowie dem Wirkungsgrad der Kraftwerke zwischen etwa 10 und 100 €/MWh.

Der einfachste Weg, die Auswirkungen von erneuerbaren Energien auf das Preisniveau zu verstehen, ist die Analyse einer Angebots- und Nachfrage-Kurve. Die Angebotskurve (Merit Order) entsteht durch eine aufsteigende Staffelung der Stromerzeugungsanlagen von denen mit den geringsten hin zu jenen mit den höchsten Grenzkosten. Bei steigender Kapazität der erneuerbaren Energien und abhängig von den Witterungsbedingungen wandert die Angebotskurve weiter nach rechts. Dies verdrängt die konventionellen Quellen aus der Stromerzeugung und senkt somit das Preisniveau.

Sicherlich beziehen Marktteilnehmer den Boom der erneuerbaren Energien in ihr Preisniveau mit ein. Der Termin-Spread zwischen Spitzenlast und Grundlast lag vor 2009/2010 für gewöhnlich bei 43 %, hat sich jedoch in den letzten Jahren bei lediglich 20-25 % eingependelt. Das ist eine recht dramatische Entwicklung für Eigentümer von Gaskraftwerken. Selbst Betreiber von Pumpspeicherkraftwerken, die damit rechneten, von unvorhergesehenen Ange-



Die konsequente Implementierung erneuerbarer Energien in den Erstellungsprozess von Terminkurven ermöglicht Unternehmen eine präzise Preisgestaltung bei Verträgen und Assets
Foto: Getty Images

botsmustern zu profitieren, haben schwere Zeiten (Abb. 1).

Auswirkungen der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien

Um den steigenden Anteil der erneuerbaren Energien in die stündliche Gestaltung der Terminkurve mit einzubeziehen, werden präzisere Methoden als allein eine grafische Analyse benötigt. Tatsächlich ist es notwendig, die Auswirkungen anderer Entwicklungen auf den Verlauf der Kurve herauszufiltern. Bspw. hat sich während des Booms erneuerbarer Energien in Deutschland die Wirtschaft verlangsamt, zeitgleich schwankten die Brennstoffpreise nach oben und unten. Aus diesem Grund ist eine einfa-

che Zeitreihenanalyse zum absoluten Preisniveau nicht sehr genau. Es ist ratsam, sich stattdessen auf kürzere Zeitintervalle zu konzentrieren, damit der „wahre“ Effekt erneuerbarer Energien aus anderen allgemeinen Trends herausgefiltert werden kann. Statistisch ausgedrückt: Es ist am besten, erste Unterschiede zu berücksichtigen, damit die Zeitreihe stationär wird. Wir wenden diese Logik auf die stündlichen Preisdaten für jede Stunde (h) an, bestehend aus:

- P_h stündliche Strompreise in Deutschland, in €/MWh,
- S_h Stromerzeugung aus Solarenergie in Deutschland, in GWh,
- W_h Stromerzeugung aus Windenergie in Deutschland, in GWh,

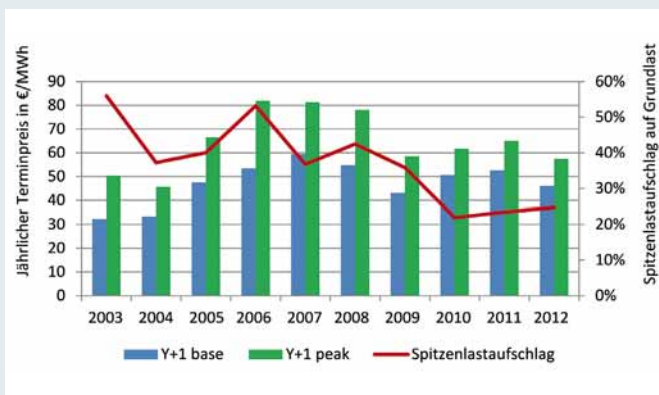


Abb. 1 Preisunterschiede auf dem deutschen Stromterminmarkt

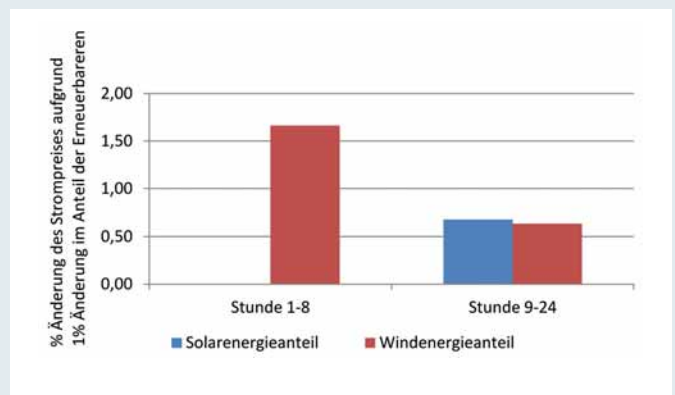


Abb. 2 Preissensibilität der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien

■ T_h gesamte Stromerzeugung in Deutschland, in GWh.

Die Strompreise stammen aus der täglichen EPEX-Auktion, wie an der EEX notiert, die Stromerzeugungsdaten aus mehreren Quellen. Mit diesen Variablen ist es möglich, verschiedene Gleichungen zu bestimmen, die eine mögliche Beziehung zwischen stündlichen Strompreisen und der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien erfassen. Nach einigen Tests und unter Berufung auf den gesunden Menschenverstand erweist sich folgende Gleichung als angemessen:

$$\Delta p_h = -\beta_1 \cdot p_{h-24} - \beta_2 \cdot \Delta s_h - \beta_3 \cdot \Delta w_h + \varepsilon_h$$

Im Folgenden soll die Gleichung schrittweise erläutert werden:

■ Wir nehmen 24 stündliche Zeitschritte, wobei eine jede Stunde mit ihrem Pendant in den Datensätzen der anderen Tage verglichen wird, bspw. Stunde 1 des Tages t_1 mit Stunde 2 des Tages t_2 usw. Dies macht die Analyse unempfindlich für die allgemeinen (stündlichen) Unterschiede im Tagesverlauf. Die 24-stündlichen Differenzen werden durch das Zeichen Δ angegeben.

■ Als primär abhängige Variable (links) enthält die Gleichung die Änderung im natürlichen Logarithmus des stündlichen Strompreises. Dies wird durch Δp_h angegeben. Dieser Preiswandel entspricht einer exponentiell verlaufenden Rangliste. Es ergaben sich außerdem bessere Ergebnisse als bei einer Regression nach absoluten Preisdifferenzen. Beachtenswert ist, dass

Preise unter 1 auf 1 gesetzt werden, da der natürliche Logarithmus sonst nicht ermittelt werden kann.

■ Als primäre erklärende Variablen (rechts) enthält die Gleichung die Änderung des Anteils erneuerbarer Energien am gesamten Stromerzeugungsmix (Δs_h und Δw_h). So werden die Daten normalisiert; es ergeben sich etwas bessere Ergebnisse als bei einer Ermittlung des absoluten Stromerzeugungsniveaus.

■ Eine wichtige Steuervariable ist das logarithmierte Preisniveau vom vorherigen Tag. Diese Steuervariable erfasst das Rückkehrverhalten von Strompreisen zum Mittelwert: An einem einzigen Tag kann ein Preis außerordentlich hoch sein, aber im Allgemeinen hinterher zu einem eher moderaten Niveau tendieren. Das ist Teil fast aller Spotpreisanalysen.

■ Als Steuervariablen enthält die Gleichung des Weiteren Platzhalter für Samstage und Sonntage (einschließlich gesetzlicher Feiertage). Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass Strompreise an diesen Tagen meist niedriger sind als an Werktagen. Zur Vereinfachung werden diese Platzhalter nicht in der Gleichung aufgeführt.

■ Die Regression für die ersten 8 Stunden des Tages wird separat von den übrigen 16 Stunden durchgeführt. Dies erfolgt aufgrund der Tatsache, dass die Auswirkungen der erneuerbaren Energien nachts stärker erscheinen als tagsüber – höchstwahrscheinlich aufgrund der geringeren Nachfrage.

■ Da die erwartete Auswirkung aller erklärenden Variablen negativ ist, enthält die Regression Minuszeichen.

Alle Parameter der Gleichung sind deutlich signifikant von Null verschieden, wobei die t-Werte alle über 20 liegen (Hinweis: 2 gibt eine Signifikanz bei 95 % an). Das hohe Bestimmtheitsmaß (R^2) von 20-23 % ist ein weiterer Indikator dafür, dass die Daten gut zu der Spezifikation passen. Die Parameter werden wie folgt interpretiert (vgl. schematische Darstellung in Abb. 2):

■ Nachts wird der Strompreis durch einen Anstieg des Stromerzeugungsanteils aus Windenergie um 10 % (z. B. von 15 auf 25 %) um 16,6 % verringert (z. B. von 30,00 auf 25,40 €/MWh).

■ Tagsüber oder abends wird der Strompreis durch einen Anstieg des Stromerzeugungsanteils aus Wind- oder Solarenergie von 10 % um 6,4-6,8 % verringert (z. B. von 60,00 auf 56,18 €/MWh).

Diese Informationen an sich sind ausgesprochen interessant und können Händlern helfen, bessere kurzfristige Preisprognosen abzugeben. Zusätzlich erhalten wir eine langfristige Sicht und können nun beurteilen, wie diese Abhängigkeit des Preises von den erneuerbaren Energien die Stundeterminpreis-Kurve (HPFC) beeinflusst.

Modellierung zukünftiger Entwicklungen

Die Erstellung von Terminkurven beinhaltet, dass die verfügbaren Terminmarktpreise in eine kontinuierliche und genaue Kurve umgewandelt werden. Bei Strom zeigt das Endergebnis für gewöhnlich eine Stun-

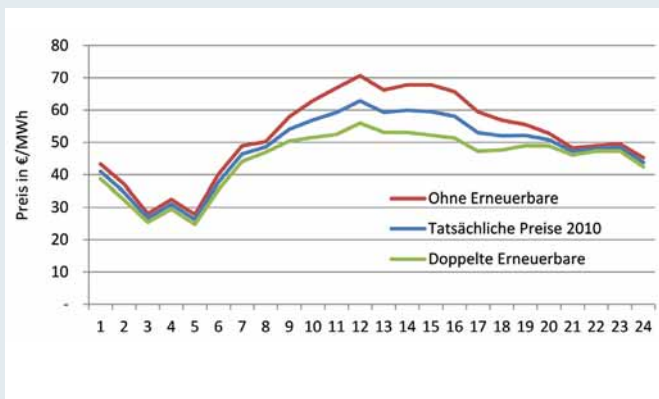


Abb. 3 Angepasste historische Strompreise, 19.7.2010

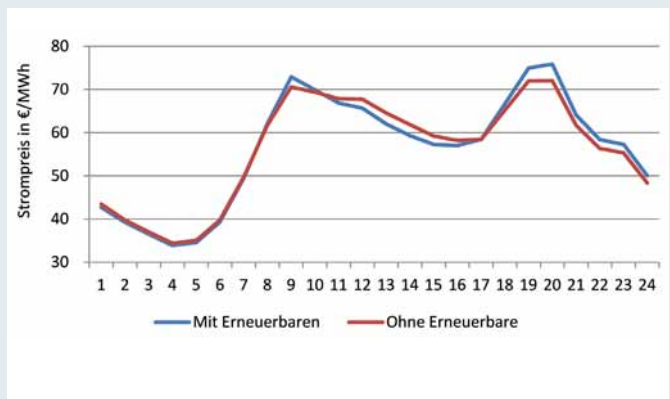


Abb. 4 Modelliertes Lastkurvenprofil eines durchschnittlichen Werktages 2018

denauflösung. Der stündliche Verlauf gibt wahrscheinliche Unterschiede zwischen einzelnen stündlichen Strompreisen in der Zukunft wieder. So sind z. B. die Preise in der Nacht zwischen 0:00 und 4:00 Uhr meist geringer als zwischen 04:00 und 08:00 Uhr, obwohl beide Blöcke in der Schwachlastzeit liegen. Gleichzeitig müssen die Kurven bezüglich der aktuellen Marktquote arbitragefrei bleiben: Der Durchschnitt der HPFC über Termin-Lieferzeiten entspricht den Preisen der Terminverträge.

Wären die Stromerzeugungskapazitäten aus erneuerbaren Energien konstant, wären historische Preismuster für die Zukunft repräsentativ. Doch der Stromerzeugungsanteil aus erneuerbaren Energien steigt, deshalb sind die typischen stündlichen Muster aus 2009 für die Gestaltungsprognosen für 2013 bereits relativ nutzlos. Die historischen Daten von 2012 zu nutzen wäre besser, doch wären sie als alleinige Datenbasis zu unergiebig und für spätere Jahre immer noch ziemlich falsch. Als Ausweg aus diesem Dilemma ist es möglich, „neue“ Entwicklungen historischer Preisdaten zu schaffen, die mit dem zukünftigen Maß der erneuerbaren Energien übereinstimmen.

Marktbeobachter erwarten, dass die Stromerzeugungskapazitäten aus erneuerbaren Energien 2015 etwa doppelt so hoch sein werden wie 2010. Diese Informationen können mit den Regressionsergebnissen kombiniert werden. Wir schaffen einen hypothetischen stündlichen Spotpreis, der 2010 hätte ermittelt werden können, wenn die Stromerzeugungskapazitäten von 2015

bereits angewendet worden wären. Die neuen hypothetischen Preise steigen stärker an und können zur Gestaltung des Terminpreises für 2015 genutzt werden. Auf Grundlage der Daten vom 19.7.2010, als mittags relativ viel Strom aus Solarenergie erzeugt wurde, wird die Anpassung in Abb. 3 beispielhaft dargestellt.

An einem Tag mit relativ hoher Stromerzeugung aus Solarenergie sind die Preise während der Mittagszeit (11:00-17:00 Uhr) meist niedriger. Dies führt zu verschiedenen Mustern in der Terminkurve. Insbesondere die Annahme, dass der allgemeine Trend des Anstiegs in der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in die Spitzen- und Grundlast-Terminpreise auf dem Markt einbezogen wird, erweist sich als realistisch. Eine arbitragefreie Terminkurve wird aus diesem Grund besonders geringere Preise während der Mittagszeit aufweisen, aber höhere Preise in den Morgenstunden (8:00-11:00 Uhr) und später am Nachmittag (17:00-20:00 Uhr). Da Wind über den Tag gleichmäßiger verteilt ist, hat mehr Windleistung einen relativ geringen Einfluss auf die Stundeterminpreis-Kurve. Wie sich dies letztendlich darauf auswirkt, wird in Abb. 4 gezeigt, die den durchschnittlichen Verlauf eines Arbeitstages von 2018 darstellt.

Hybrider Ansatz ermöglicht genauere Preiskalkulation

In diesem Artikel wurde ein hybrider Ansatz für die Gestaltung von Terminkurven vorgestellt: Die verwendete Methode

vereint grundlegende Informationen (zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien) mit statistischer Analyse. Die gezeigten Werte wurden mithilfe von etwa drei Jahren deutscher Marktdaten errechnet. Wir haben auch mit verschiedenen Zeitfenstern getestet, aber die Parameter waren bemerkenswert stabil. Dennoch ist es schwierig zu sagen, ob die Preisreaktion auf erneuerbare Energien generell zurückgehen oder zunehmen wird. Dies hängt nicht nur von einem Anstieg in der (nicht flexiblen) Stromerzeugungskapazität aus erneuerbaren Energien ab, sondern auch stark von politischen Entscheidungen, bei denen versucht wird, das Stromversorgungssystem genügend flexibel zu halten.

Stundeterminpreis-Kurven bilden die Grundlage bei der Preisfestlegung nicht standardisierter Profile. Dies können Kundenprofile oder auch bspw. die optimale Stromerzeugung eines Kraftwerks sein. Die konsequente Implementierung erneuerbarer Energien in den Erstellungsprozess von Terminkurven ermöglicht Unternehmen eine präzisere Preisgestaltung bei Verträgen und Assets. Natürlich ist die Einbeziehung erneuerbarer Energien in den Erstellungsprozess von Terminkurven nicht der einzige wichtige Aspekt, aber dennoch von großem Wert. Wir hoffen, an dieser Stelle einen Beitrag zur Realisierung zu leisten.

C. de Jong, H. van Dijken, Directors, E. Enev, Energiemarkt-Analyst, Kyos Energy Consulting, Haarlem (NL)
info@kyos.com