

Ungleichzeitigkeit und Effekte räumlicher Verteilung von Wind- und Solarenergie

Kurzfassung

Eine Untersuchung der 100 prozent erneuerbar stiftung

Nach den isolierten Betrachtungen des Wind- und Solarstrahlungsdargebotes in Deutschland in den vorangegangenen Veröffentlichungen legt die 100 prozent erneuerbar stiftung die erste Untersuchung vor, die den Effekt der räumlichen Kapazitätsverteilung auf die Erzeugung von Wind- und Solarenergie kombiniert betrachtet. Das Forschungsinteresse zielt dabei auf die Fragen nach der Gleichzeitigkeit der Erzeugung und nach dem Einfluss der räumlichen Verteilung von dargebotsabhängig erzeugenden Kapazitäten auf die Residuallast, die Länge und Häufigkeit von „Erzeugungstiefs“ und die Gradienten in den zwischenstündlichen Einspeisehöhen ab. Dank einer Forschungsförderung der Deutschen Asset & Wealth Management konnten hierzu ein aktualisierter Reanalysedatensatz zum Winddargebot (Windgeschwindigkeit und Luftdichte) und ein ergänzter Strahlungsdatensatz in stündlicher Auflösung für die Jahre 2008 bis 2012 erworben werden. Dieser umfasst 30 Onshore-Windenergie-Standorte, die um zwei Offshore-Standorte ergänzt wurden und denen jeweils die Strahlungswerte von (mindestens) einer benachbarten DWD-Messstation zugeordnet wurden. Aus den Daten zum natürlichen Dargebot wurden Erzeugungsdaten generiert. In der kombinierten Betrachtung werden ein benachbarter Wind- und ein PV-Standort als Energieregion aufgefasst.

1

Wie gleich- oder ungleichzeitig erzeugen Windenergie und Photovoltaik?

Das erste Erkenntnisinteresse nimmt sich dabei der Frage an, wie die Gleich- bzw. Ungleichzeitigkeit dargebotsabhängiger erneuerbarer Erzeugungsprofile in räumlicher Perspektive erfasst werden kann.

Zur Beantwortung dieser Frage werden zunächst unterschiedliche Faktoren vorgestellt, die Gleichzeitigkeit als Varianzmaß, als Anteil der tatsächlichen erzeugten Leistung an der empirisch auftretenden Maximalerzeugung und schließlich als Gütemaß des räumlichen Ausgleichseffekts verstehen.

Wie zu erwarten war, besitzt die Photovoltaik aufgrund der allgemein bekannten astronomisch-meteorologischen Voraussetzungen im Schnitt eine höhere räumliche Gleichzeitigkeit als die Windenergie. Allerdings zeigt sich generell für Photovoltaik als auch vor allem für Windenergie dass durchaus eine beträchtliche räumliche Varianz der Erzeugung vorliegt, die durch eine räumliche nicht konzentrierte Verteilung in erschlossen werden kann.

Bei Photovoltaik ist dieses Potenzial zunächst durch eine Auffälligkeit limitiert: Wenn viel Solarstrom erzeugt wird, geschieht dies mit einer hohen räumlichen Gleichzeitigkeit, und zwar vor allem in den Mittagsstunden

im Sommer. Im Falle der Windenergie ist dieser Zusammenhang nicht so deutlich ausgeprägt. Dies lässt schließen, dass der Effekt des räumlichen Ausgleichs bei Wind generell höher ist als im Fall der Photovoltaik. Bedeutet dies, dass der energiewirtschaftliche Wert von Photovoltaik gegenüber Windenergie geringer ist? Dieser Schluss wäre aus zwei Gründen falsch.

Zunächst berücksichtigt er nicht, dass Photovoltaik einen beträchtlichen Leistungskredit zu Höchstlastzeiten aufweist, der für die Windenergie nicht in Anspruch genommen werden kann. Anders als Wind fällt der Effekt des räumlichen Ausgleichs nie unter ein gewisses Niveau – natürlich gilt dies nur in den lichten Stunden des Tages. Der Effekt des räumlichen Ausgleichs ist besonders bedeutsam in den Mittagsstunden der Sommermonate. In dieser Zeit erbringt die räumliche Verteilung von Photovoltaik also immer einen Effekt.

Der energiewirtschaftliche Wert von Photovoltaik begründet sich zweitens in der hohen Kompatibilität zur Windenergie. Die Windenergieerzeugung ist auf beträchtlichem Niveau negativ korreliert mit Solarerzeugung. Mit anderen Worten das Ausgleichspotenzial zwischen Wind und Sonne ist erheblich. Das bereits von Gerlach und Breyer (2012)¹ für einen mitteldeutschen Standort erfasste Ausgleichspotenzial beider untersuchter Techniken wird in der vorliegenden Untersuchung auch grundsätzlich, also nicht nur auf das räumliche Ausgleichspotenzial bezogen, für alle Standorte bestätigt. Eine zeitgleiche maximale Einspeisung von Windenergie und Photovoltaik wurde für keine einzige Stunde im gesamten Untersuchungszeitraum festgestellt. Das anzustrebende Verhältnis zwischen Windenergie und Photovoltaik ist daher in weiteren Studien zu bestimmen und sollte insbesondere auf regionale Lastprofile zugeschnitten sein.

Für die Frage nach der Bedeutung der räumlichen Verteilung ist entscheidend, dass für die kombinierte Erzeugung Folgendes gilt: Der Effekt der räumlichen Verteilung von Wind- und Photovoltaikanlagen ist zu den lichten Stunden des Tages – also dann, wenn die Nachfrage nach Strom höher ist – stärker als nachts, frühmorgens und abends.

Weiterhin stellt sich die Frage, inwieweit der Ausgleich durch die räumliche Distanz der Erzeugungsorte bedingt ist und welche intraregionale Ausgleichseffekte sich durch die spezifischen Erzeugungsprofile von Wind- und Sonnenenergie ergeben.

Diesbezüglich zeigt die Untersuchung, dass der Effekt des räumlichen Ausgleiches eindeutig eine Funktion der Distanz zwischen den Erzeugungsorten ist. Je weitflächiger erneuerbare Energieanlagen im Raum verteilt werden, desto stärker ist der Effekt. Er beginnt aber, bereits bei geringen Distanzen von unter 200 km zu wirken.

Welche Auswirkung hat die räumliche Verteilung von Kapazitäten auf die Residuallast?

Der zweite Aspekt der Forschungsarbeit umfasst die Frage nach den Folgen der räumlichen Verteilung der Kapazitäten auf die Residuallast in einem Energiesystem mit hohen Anteilen an dargebotsabhängigen Erzeugern. Hierzu wurden drei Szenarien mit jeweils 80 GW Wind- und PV-Kapazitäten entwickelt. Betrachtet wurden ein Gleichverteilungs-, ein Projektions- und ein Ungleichverteilungsszenario. Das Gleichverteilungsszenario zeichnet sich der Begrifflichkeit gemäß durch eine gleichhohe Installation an Wind- und Photovoltaik-Kapazitäten je Standort aus. Dem Projektionsszenario liegen folgende Annahmen zugrunde: Die Windenergie wird zwar im Norden etwas stärker ausgebaut, aber auch im Süden der Republik

¹ GERLACH, A.-K. und C. BREYER (2012): PV und Windkraft: sich hervorragend ergänzende Energietechnologien am Beispiel Mitteldeutschlands. URL: http://www.reiner-lemoine-institut.de/sites/default/files/gerlach2012_paper_pv-wind_mitteldeutschland_12p_badstaffelstein_final_proc.pdf

werden beträchtliche Windenergie-Kapazitäten installiert. Die Verteilung der PV-Kapazitäten orientiert sich an der gegenwärtigen Verteilung der Ein- und Zweifamilienhäuser nach Bundesländern. Das dritte Szenario der Ungleichverteilung zeichnet sich, vereinfacht durch viel Windenergiekapazitäten und wenig Photovoltaik im Norden sowie wenig Windenergie und viel Photovoltaik im Süden aus. Im Osten und Westen Deutschlands liegen die jeweiligen Kapazitäten im mittleren Niveau.

Die Ergebnisse dieser Szenarienanalyse stützen die These, dass allein der Ausbau hin zu den besten Standorten nicht der bevorzugte Ausbaupfad sein sollte. Zwar werden höhere Energiebeiträge bei der gezielten Konzentration der Kapazitäten auf die jeweils besten Standregionen erwirtschaftet. Jedoch ist die verbleibende Residuallast bei einer ungleichen Verteilung der Erzeugungskapazitäten im Mittel höher. Dies gilt vor allem für die negative Residuallast (Erzeugungsüberschüsse). Die ungleiche Verteilung der Erzeugung erhöht die negative Residuallast erheblich. Außerdem treten extrem negative Residuallastwerte häufiger auf. Tabelle 1 zeigt die Unterschiede bei der negativen Residuallast.

Tabelle 1: Auswirkung der Verteilungsszenarien auf die negative Residuallast

Parameter	Gleichverteilung	Projektion	Ungleichverteilung
Median	-9.278 MW	-9.448 MW	-11.269 MW
1. Quartil	-15.897 MW	-16.135 MW	-18.531 MW
Summe durchschnittliche Überdeckung / Jahr	-19,9 TWh	-21,1 TWh	-29,0 TWh
Anzahl Stunden 2008 bis 2012	9.091	9.521	11.359

3

Die Tendenz, dass eine Ungleichverteilung zu mehr extremen Werten der Residuallast führt, gilt, wenngleich nicht in dieser Deutlichkeit, auch für die positive Residuallast, die sich ansonsten robuster gegenüber Veränderungen der räumlichen Verteilung von Erzeugungskapazitäten verhält. Die höhere negative Residuallast birgt zumindest die Gefahr volkswirtschaftlicher Wohlfahrtsverluste, die bei einer ungleichen, konzentrierten Verteilung der Erzeugungskapazitäten auftreten und bei einer gleichmäßigeren Verteilung der Kapazitäten, wenn nicht vermieden, so doch deutlich abgemildert werden können. Die Erschließung von Flexibilitätsoptionen und deren Umfang ist demnach für ein Szenario mit ungleicher Verteilung der Kapazitäten anspruchsvoller als für ein räumlich ausgeglichenes Szenario.

Wie wirkt sich die räumliche Verteilung auf Erzeugungstiefs aus?

Die Beantwortung dieser Frage beruht ebenfalls auf der oben vorgestellten Szenarienkonstruktion. Auf dieser Grundlage zeigt sich: Der Effekt der räumlichen Verteilung auf die Länge von Erzeugungstiefs, sogenannte „dunkle Flauten“ mit geringem Windaufkommen und geringer oder gar keiner Solarstrahlung, ist eher als gering einzuschätzen. Unter Umständen ist eine Verteilung, die die Vorteile einer auf die besten Standorte konzentrierten Erzeugung mit einer vollkommen gleichmäßigen Verteilung der Kapazitäten verbindet, in dieser Hinsicht am vorteilhaftesten (vgl. Tabelle 2). Dies müsste mittels einer erweiterten Standortauswahl empirisch überprüft werden. Zwischenzeitlich muss festgehalten werden: Das energiewirtschaftlich

beträchtliche Risiko von dunklen Flauten lässt sich durch die räumliche Verteilung von fluktuierend erzeugenden, dargebotsabhängigen Erzeugungsanlagen bestenfalls geringfügig beeinflussen.

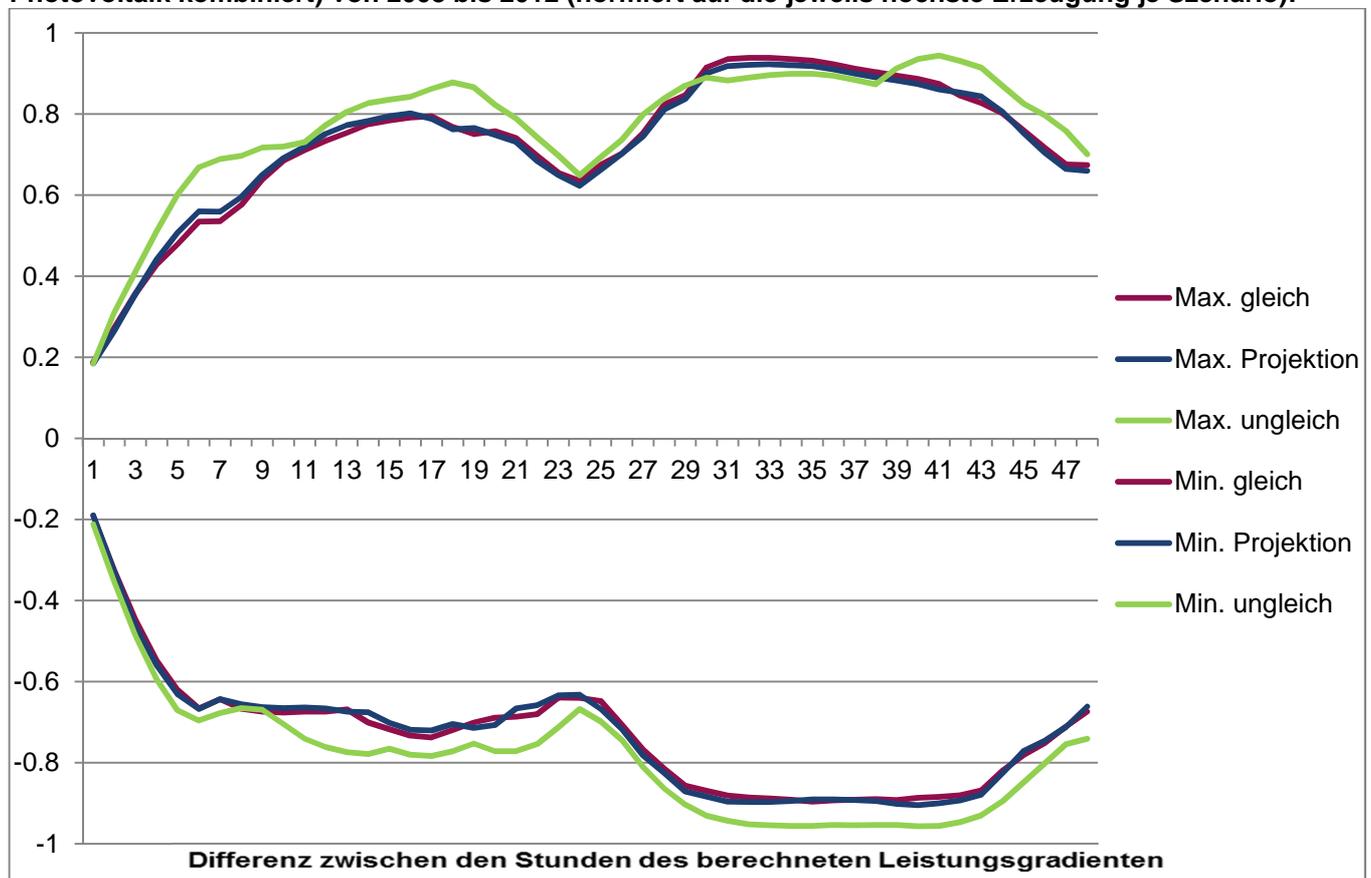
Tabelle 2: Anzahl der Stunden der Gesamterzeugungstiefs nach Verteilungsszenarien, 2008 bis 2012

Dauer	Gleichverteilung (Stunden summiert)	Projektion (Stunden summiert)	Ungleichverteilung (Stunden summiert)
Gesamt summiert in Stunden	4526	4373	4621
Anteil der Erzeugungstiefs an allen Stunden in Prozent	10,3 %	10,0 %	10,5 %

Veränderungen der Leistungsgradienten

Zwar verändern sich weder die Mittelwerte der positiven Leistungsgradienten noch die der negativen in Abhängigkeit zu der räumlichen Verteilung der Erzeugungskapazitäten in großem Umfang. Abbildung 1, bei der auf Abszisse die der Gradientenberechnung zugrunde liegenden Zeitintervalle – von einem 1-Stundenintervall bis zu einem 2-Tages-Intervall – abgetragen sind, zeigt jedoch: Die positiven und die negativen Extrema der Leistungsgradienten fallen fast durchgängig geringer aus, wenn die Erzeugungskapazitäten gleichmäßig im Raum verteilt sind. Dieser Befund dürfte für die Gesamtstabilität der Architektur eines auf regenerative Quellen beruhenden Energiesystems höchst relevant sein.

Abbildung 1: Positive und negative Extrema der simulierten Einspeisungsgradienten (Windenergie und Photovoltaik kombiniert) von 2008 bis 2012 (normiert auf die jeweils höchste Erzeugung je Szenario):



Schlussfolgerung

Insgesamt kann die Arbeit den energiewirtschaftlichen Wert einer räumlichen Verteilung von Windenergie- und Photovoltaikanlagen differenziert darstellen. Sie zeigt diesbezüglich die Leistungen der einzelnen Technologien auf und erkennt insbesondere der Photovoltaik - auch deshalb, weil sie die Windenergieerzeugung gut ergänzt - einen energiewirtschaftlichen Wert zu. Darüber hinaus kann aufgezeigt werden, dass die räumliche Verteilung von Windenergie- und Photovoltaikanlagen nicht unbedeutende Auswirkungen auf das Energiesystem als Ganzes hat. Viel spricht für die systemische Vorteilhaftigkeit einer möglichst gleichmäßigen Verteilung. Die Variante, die Erzeugung auf die ertragreichsten Standorte bzw. Regionen zu konzentrieren, führt insofern in die Irre, als dass auf diese Weise gemäß der vorgelegten Studienergebnisse keine in zeitlicher Perspektive gleichmäßigeren Erzeugungsprofile und damit auch keine höhere Systemstabilität erzielt werden können.