

Geographie der erneuerbaren Energien

Räumliche Grenzen eines nachhaltigen Energiesystems

Stephan Bosch

Der vorliegende Beitrag thematisiert die Bedeutung der Ressource Raum für die Umstellung unseres Energiesystems weg von fossilen sowie nuklearen Energieträgern hin zu erneuerbaren Energien und richtet den Fokus dabei zunächst auf die Grenzen der räumlichen Steuerungsmöglichkeiten des Ausbaus von Windenergie- und Photovoltaik-Freiflächenanlagen. Des Weiteren werden Konzepte vorgestellt, die eine ausgeklügelte Vernetzung dezentral angeordneter Technologien anvisieren und es so ermöglichen, der Anforderung einer verlässlichen Stromversorgung – trotz des überwiegenden Einsatzes intermittierender Energiequellen – entsprechen zu können. Das Untersuchungsgebiet bildet im ersten Abschnitt des Beitrages der Freistaat Bayern, da sich hier ein räumlich stark wirksamer und damit für die Geowissenschaften relevanter Paradigmenwechsel in der Windenergiepolitik vollzieht. Im zweiten Abschnitt wird der Blick auf das gesamte Bundesgebiet geweitet, um die z. T. erheblichen regionalen Disparitäten, mit denen sich die Protagonisten der Energiewende konfrontiert sehen, sichtbar machen zu können.

I. Problemstellung

Das ökonomische Wachstumspotenzial des ländlichen Raumes wird generell als gering eingestuft.¹ Standortvorteile wie große Flächen und niedrige Grundstückspreise hätten ihre einstige Bedeutung eingebüßt und würden in keiner Weise mehr ausreichen, Investitionsströme in die Peripherie zu lenken. Es wird jedoch übersehen, dass sich im Zuge der Liberalisierung der Strommärkte 1996 sowie ganz besonders mit der Einführung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes im Jahr 2000 die Situation maßgeblich verändert hat, denn die dezentrale Energiegewinnung mittels Photovoltaik, Windkraft und Biomasse benötigt erhebliche räumliche Ressourcen. Es wird nicht zuletzt von „energy from space“ gesprochen und auf den bei der Energiegewinnung weitaus größeren Flächenanspruch eines regenerativen gegenüber dem eines konventionellen Energiesystems verwiesen.² Immerhin werden für die Produktion von einer Gigawattstunde Endenergie mittels Photovoltaik-Freiflächenanlagen 4,4 ha, mittels Windkraftanlagen 5,7 ha und mittels Biogasanlagen sogar 102 ha benötigt.³ Ergiebige Ölfelder erreichen hingegen Hektarerträge von durchschnittlich 10.000-40.000 t.⁴ Die Energiedichte der erneuerbaren Energien ist damit vergleichsweise gering. Eine dezentrale Anordnung regenerativer Kraftwerke führt jedoch zu erheblich kürzeren und damit verlustärmeren Transportstrecken zwischen Stromeinspeisung und -entnahme, darüber hinaus müssen weniger Spannungsebenen überwunden werden.⁵ Davon zu unterscheiden ist ein zentral organisiertes Energiesystem, bestehend aus wenigen Großkraftwerken, die den Strom nicht in die lokalen und regionalen Verteilnetze, sondern in die leistungsstarken überregionalen Übertragungsnetze einspeisen. Die Raumwirksamkeit eines fossil-nuklearen Energiesystems ist während der Energieerzeugung sehr gering. Lagerstätten weisen hohe Energiedichten auf, sie sind jedoch ungleich über den Raum verteilt.⁶ Räumliche Kosten entste-

¹ Vgl. Henkel 2004, S. 222.

² Vgl. Brücher 2008, S. 4 f.; „energy from space“ als Gegenentwurf zu „energy for space“.

³ Vgl. Peters 2010, S. 17.

⁴ Vgl. Wikipedia 2012; es wurden bereits Hektarerträge von bis zu 300.000 t erzielt.

⁵ Vgl. Klagge/Brocke 2013, S. 12.

⁶ Vgl. Rempel 2008.

hen somit erst bei der globalen Verteilung des Rohöls oder der Kohle, weswegen dann von „energy for space“ gesprochen wird.⁷ Sicherlich sind die Übergänge zwischen dezentralem und zentralem Energiesystem fließend⁸, denn der Ausbau konzentrierender solarthermischer Kraftwerke in Nordafrika zur partiellen Stromversorgung europäischer Verbraucherzentren geht sowohl während der Energieproduktions- als auch im Zuge der Energieverteilungsphase – in diesem Falle mittels Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung – mit einer hohen Raumwirksamkeit einher.⁹

In jedem Falle führt die gesetzlich garantierte vorrangige Nutzung erneuerbarer Quellen in Deutschland nun dazu, dass die ursprünglich als unbedeutend eingestuften quantitativen Faktoren wie Flächenverfügbarkeit und niedrige Grundstückspreise eine sukzessive Aufwertung erfahren und v. a. strukturschwachen Kommunen zum Standortvorteil gereichen. Der dezentrale Charakter regenerativer Technologien bietet dabei die Gelegenheit, autarke Versorgungsstrukturen aufzubauen und regionale Wirtschaftskreisläufe anzukurbeln.¹⁰ Die Energieversorgungsanlagen müssen nicht nur installiert, sondern auch betrieben und gewartet werden. Daraus ergeben sich lukrative Aufträge für Unternehmen, Servicetechniker und Rohstoffzulieferer aus der Region.

Dieser ökonomische Gewinn für den ländlichen Raum kann jedoch nicht die sozialen und ökologischen Verwerfungen wettmachen, die aus einem überdimensionierten Ausbau von erneuerbaren Energien resultieren. Die Energiewende hat den Nutzungsdruck auf den ländlichen Raum

⁷ Vgl. Brücher 2008, S. 4 f.; im Rahmen von „energy for space“ kommt dem Raum allein bei der Verteilung der Energie, ausgehend von wenigen Großkraftwerken, Bedeutung zu; beim dezentralen Charakter von „energy from space“ entfällt dieser Aspekt aufgrund der Nähe von Energieproduktion und -verbrauch.

⁸ Vgl. Schmitt 2012, S. 253 ff.; der Autor argumentiert, dass im Rahmen von Desertec die regenerative – ursprünglich dezentrale – Energieproduktion wieder in ein zentrales Korsett gezwungen wird, bspw. auch von „economies of scale“ profitiert und deshalb eher als ein spätfordistisches Projekt zu begreifen ist.

⁹ Vgl. Walter/Bosch 2012; dieser Beitrag erläutert und visualisiert die Planung von Gleichstromtrassen zwischen Nordafrika und Zentraleuropa. Hierbei wird mittels Geographischer Informationssysteme (GIS) gearbeitet.

¹⁰ Vgl. Bund Naturschutz 2010; die Gemeinde Wildpoldsried (Oberallgäu) deckt bereits mehr als das Dreifache des eigenen Energiebedarfes mittels eines regenerativen Energiemixes. Vgl. zu regionalen und lokalen Ansätzen und Praktiken auch die Beiträge von Radtke und Schuster in diesem Band.

dramatisch erhöht und dabei die Erkenntnis mit sich gebracht, dass der energetische Nutzen die räumlichen Kosten nicht immer aufwiegen kann. Problematisch ist, dass der größte Teil des Ausbaus Deutschland noch bevorsteht. Ende 2012 deckten die erneuerbaren Energien erst 23 % des Stromverbrauchs.¹¹ Eine umfassende Energiewende scheint damit noch in weiter Ferne zu liegen. Es ist zumindest gelungen, die Bedeutung konventioneller Energieträger zu schmälern, die Dezentralisierung der Energieversorgung voranzutreiben und das bereits lang bestehende Angebotsoligopol aufzubrechen.¹² Um diesen Weg fortzusetzen ist es notwendig, die räumliche Integration der erneuerbaren Energien in den kommenden Jahren mit einer größeren Sensibilität voranzutreiben als dies bisher der Fall war. Dies ist beispielsweise durch einen raumverträglichen Ausbau zu erreichen, der sowohl die Wahl der Technologie als auch ihren quantitativen Einsatz an die jeweiligen räumlichen Voraussetzungen knüpft.¹³ Gelingt dies nicht, werden sich die Konflikte zwischen den zahlreichen regionalen Akteuren, die allesamt mit großen Flächennutzungsansprüchen aufwarten, weiter verstärken. Das ursprünglich gute Image der „grünen Technologien“ könnte hierdurch weiteren Schaden nehmen.¹⁴ Um dies zu vermeiden, bedarf es zunächst eines tieferen Einblickes in die räumlichen Dimensionen des Ausbaus von erneuerbaren Quellen.

II. Energiepolitischer Neubeginn – Bayern entdeckt die Windenergie

1. Großes Standortpotenzial

Seit dem Beschluss, die verbleibenden neun Atomkraftwerke Deutschlands bis spätestens 2022 abzuschalten, ist v. a. der mit mehr als 50 % von der Kernenergie abhängige Freistaat Bayern darum bemüht, den Ausbau der zuvor eher marginal genutzten Onshore-Windenergie voran-

¹¹ Vgl. BDEW 2012.

¹² Zu Letzterem auch der Beitrag von Hellige in diesem Band.

¹³ Vgl. Bosch 2012; die Arbeit offenbart einen raumverträglichen Einsatz regenerativer Technologien am Beispiel des Landkreises Landsberg a. Lech und ist in Anlehnung an Johann Heinrich von Thünen als energetische Landnutzungslehre zu verstehen.

¹⁴ Vgl. hierzu aus umweltsychologischer Perspektive auch den Beitrag von Hildebrand/Schütte/Fechner/Schweizer-Ries in diesem Band.

zutreiben.¹⁵ Eine Studie des Fraunhofer-Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik (Iwes) hat für Bayern ein theoretisches Flächenpotenzial der Windenergie von 17.000 km² ermittelt.¹⁶ Neben Flächen ohne Restriktionen wurden dabei auch prinzipiell nutzbare Wald- und Schutzgebiete miteinbezogen. Problematisch an dem Ansatz des Iwes ist, dass dieser sich nicht an den Raumpotenzialen für die gesamte Bandbreite an technologischen Optionen orientiert, sondern lediglich für den forcierten Ausbau der Windenergie eintritt. Es handelt sich folglich nicht um ein raumverträgliches Ausbaukonzept, das die regenerativen Technologien in den regionalen Kontext einbettet, vielmehr wird eine vorgegebene Technologie über unterschiedlich ausgeprägte Teilräume übergestülpt. Es ist davon auszugehen, dass Naturschutzverbände und Heimatpflegevereine Anstoß an einer derart einseitigen Studie nehmen werden, denn bereits vor Fukushima¹⁷ wurde die übermäßige Technisierung der Kulturlandschaft durch weithin sichtbare Windkraftanlagen kritisiert.¹⁸ Die Windbranche befürwortet den Ansatz des Iwes, da der Windenergie in Bayern noch zu wenig Flächen zur Verfügung stünden. Kritisiert werden diesbezüglich die regionalen Planungsverbände, die trotz ambitionierter Ausbauziele seitens der Bundesregierung der Windenergie zu wenig Raum verschaffen. Flächen, die sich für die Errichtung von Windkraftanlagen eignen, sollten deshalb aus den Landschaftsschutzgebieten herausgenommen und die Windkraft als Ziel im Landesplanungsgesetz verankert werden. Nicht zuletzt würden zwei Prozent der Landesfläche Bayerns ausreichen, um jährlich 80 TWh Windstrom zu erzeugen.¹⁹ Der Freistaat, der mit gerade einmal 500 errichteten Windkraftanlagen und einer Gesamtleistung von lediglich 684 MW (Stand 2011) noch zu den Schlusslichtern im Bereich Windenergie zu zählen ist, strebt bis zum Jahr 2021 zumindest eine Verfünffachung der für die Windenergie planungsrechtlich gesicherten Fläche an.²⁰ Laut Windenergieerlass geht dies mit einem Zubau von 1.500 Windkraftanlagen einher. Um dies zu erreichen, ist es notwendig, die zögerlich agierenden regionalen Planungsverbände

¹⁵ Vgl. Weinhold 2012.

¹⁶ Vgl. Iwes 2011.

¹⁷ Vgl. hierzu den Beitrag von Simonis in diesem Band.

¹⁸ Vgl. Bosch/Peyke 2011; Nohl 2001/2010.

¹⁹ Vgl. Zimmermann 2011a.

²⁰ Vgl. Einig et al. 2011.

zur Ausweisung von Vorbehalts- und Vorranggebieten für die Windenergie anzuhalten und dafür Fristen festzusetzen.²¹

2. Regionalplanung in der Pflicht

Die Vermutung, dass den Flächenansprüchen der Windenergiebranche seitens der bayerischen regionalen Planungsverbände nur in unzureichendem Maße Rechnung getragen werde, konnte eine Studie des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) bestätigen. Unter Zuhilfenahme des Raumordnungsplan-Monitors (ROPLAMO)²² – einer Datenbank, in der sämtliche Raumordnungsgebiete für die Windenergie erfasst werden – konnten Wissenschaftler aufzeigen, dass Anfang 2011 40 der 113 Planungsregionen Deutschlands keine Raumordnungsgebiete für die Windenergienutzung beinhalteten. Die in den Regionalplänen knapp 2.000 ausgewiesenen Raumordnungsgebiete nahmen gerade einmal eine Fläche von 131.679 ha ein (0,37 % der Fläche Deutschlands). Die regionalen Disparitäten sind dabei erheblich und belegen auch die unterschiedlichen Haltungen zum Technologiepfad Windenergie. So wurden in Schleswig-Holstein, das 2011 eine installierte Gesamtleistung von 3.271 MW aufweisen konnte, 0,87 % der Landesfläche als Raumordnungsgebiete für die Windenergie ausgewiesen. In Bayern waren es demgegenüber nur 0,05 %.²³ Diese Diskrepanz ist eben nicht allein darauf zurückzuführen, dass die natürlichen Standortvoraussetzungen für die Windenergie in Bayern wesentlich schlechter sind als jene in Schleswig-Holstein²⁴, denn die neueste Generation von hocheffizienten Schwachwindanlagen gewährt die Wirtschaftlichkeit der Windenergienutzung mittlerweile auch an bayerischen Standorten. Grundlegend für die immer noch bestehenden erheblichen räumlichen Disparitäten ist vielmehr, dass divergierende landesspezifische Präferenzen hinsichtlich der technologischen Ausrichtung im Bereich der regenerativen Stromerzeugung bestehen. Bayern hatte sein Augenmerk bislang auf die Technologierouten Photovoltaik und Biogas gerichtet und darüber die Option

²¹ Vgl. StMI et al. 2011.

²² Vgl. BBSR 2008.

²³ Vgl. Einig et al. 2011; Weinhold 2012.

²⁴ In diese Richtung etwa auch der Beitrag von Fornahl/Umlauf in diesem Band.

Windenergie vernachlässigt.²⁵ In räumlicher Perspektive äußert sich dies dahingehend, dass bis zum Jahr 2011 nur in sieben der 18 bayerischen Planungsregionen gebietsbezogene Nutzungsregelungen zur Windkraft vorlagen.²⁶ Folglich ist davon auszugehen, dass in Bayern regional noch erhebliche Flächenpotenziale für die Windenergienutzung vorliegen, deren Inwertsetzung durch die regionalen Planungsverbände zu steuern wäre. Bei der Ausweisung von neuen Vorranggebieten sollten die regionalen Planungsverbände jedoch darauf achten, dass der Betrieb von Altanlagen nicht durch neue Windparks gestört wird. Im Zuge der Errichtung von immer größeren Windkraftanlagen sowie der Verringerung von Abstandsflächen könnten ansonsten Probleme aus einer verstärkten Windabschattung sowie einer weiträumigen Bildung starker Turbulenzen in Hauptwindrichtung erwachsen. Diese als „Wake-Effekt“ bezeichnete Nachlaufströmung führt bei benachbarten Windkraftanlagen nicht nur zu einer Ertragsminderung von bis zu 30 %, vielmehr ist mit erhöhten Reparatur- und Wartungskosten zu rechnen. Die Ausweisung von neuen Flächen ist unter diesen Umständen als kontraproduktiv zu bezeichnen und muss daher mit Rücksicht auf bereits bestehende Windparks vollzogen werden, andernfalls wird sich die Flächenbeanspruchung durch die Windenergiebranche unverhältnismäßig erhöhen. Dies ist dadurch zu erklären, dass, aufgrund der Gefahr im Windschatten eines benachbarten Windparks zu liegen, Projektentwickler sich mittlerweile auch jene Flächen sichern, die an die eigenen Anlagenstandorte angrenzen.²⁷

Abgesehen von der Freisetzung neuer Flächenpotenziale stehen die regionalen Planungsverbände auch in der Verantwortung, Ausschlussgebiete für die Windenergie festzulegen. Hierzu zählen in Bayern Nationalparke, Naturschutzgebiete, Kernzonen von Biosphärenreservaten, geschützte Landschaftsbestandteile, flächenhafte Naturdenkmäler, europäische Vogelschutzgebiete sowie die Alpenplan Zone C. Prinzipiell möglich ist die Errichtung von Anlagen in Fauna-Flora-Habitat-Gebieten. Die Erhaltungsziele dieser Raumkategorie dürfen jedoch nicht gestört werden. Ein sensibler Ausbau ist darüber hinaus in Pflegezonen der Biosphärenreservate, Landschaftsschutzgebieten, Wäldern mit altem Baumbestand oder naturnaher Baumartenzusammensetzung sowie den Alpenplan

²⁵ Vgl. Bosch/Peyke 2009, S. 45.

²⁶ Vgl. Einig et al. 2011.

²⁷ Vgl. Zimmermann 2011b, S. 40.

Zonen A und B erforderlich. Des Weiteren gilt es, landschaftsästhetisch sowie kulturhistorisch bedeutsame und damit touristisch relevante Räume vor einer zu starken Technisierung zu bewahren.²⁸ Eine künftige Entlastung ländlicher Räume von einem überdimensionierten Ausbau der Windenergie rührt aus der Tatsache, dass sich der Flächenverbrauch je erzeugter Energiemenge verringern wird. Einerseits liegt dies am technischen Fortschritt, der sukzessive leistungsstärkere Anlagen hervorbringen und damit auch leistungsschwächere Anlagen ersetzen wird (Repowering). Andererseits ist zu erwarten, dass die Regionalplanungsträger bei der Ausweisung von Vorrang-, Eignungs- und Vorbehaltsflächen ihr Augenmerk stärker auf hochwertige Standorte legen und deren planerische Sicherung anstreben werden. Das BBSR geht folglich von einer durchschnittlichen Verringerung des Flächenbedarfes der Windenergie von 7 ha/MW auf 4,84 ha/MW aus.²⁹

3. Landschaftsästhetik

Diskussionen um die scheinbare Dichotomie von Kulturlandschaft und erneuerbaren Energien haben ihrerseits zu einer großen Skepsis gegenüber der regenerativen Energieproduktion beigetragen. Im Zentrum der Kritik stehen dabei die Windenergieanlagen, deren Größendimensionen i. d. R. zu einer starken Beeinträchtigung des Landschaftsbildes führen.³⁰ Dennoch gibt es auch Anhänger dieser Technologieroute. Nicht zuletzt wird im Zusammenhang mit dem Ausbau der Windenergie in Norddeutschland vom „Windenergiewunder“ und einer „Erfolgsstory“ gesprochen.³¹ Kritisiert wird hingegen der einseitige Pro-Windenergie-Diskurs, der v. a. von den im Bundestag vertretenen Parteien geführt wird und dadurch stärker in der Öffentlichkeit steht als die nicht wenigen kritischen Stimmen, die vor einer erheblichen Überformung der Kulturlandschaft durch immer größere Windenergieanlagen warnen.³² Der dabei

²⁸ Vgl. StMI et al. 2011.

²⁹ Vgl. Einig et al. 2011.

³⁰ Vgl. Nohl 2001.

³¹ Vgl. Boeing 2011, S. 30.

³² Vgl. Leibenath/Otto 2012, S. 128.

oftmals verwendete Ausdruck „Verspargelung der Kulturlandschaft“³³ ist jedoch in der Hinsicht als irreführend zu bezeichnen, wie er den Eindruck erweckt, als würden Windkraftanlagen flächendeckend den Raum beanspruchen und eine Beplanung durch alternative Nutzungen unmöglich machen. Zwar treten Windkraftanlagen mittlerweile in Form von großen sowie auffälligen technischen Anlagen überregional in Erscheinung und verändern hierdurch großräumig die ästhetischen Eigenschaften von Räumen, dennoch werden die Flächenansprüche der Windindustrie seitens der Regionalplanung oftmals zurückgewiesen, teilweise sogar nicht einmal in die Planungen miteinbezogen.³⁴ Der Zustand einer sog. Verspargelung ist damit raumordnungsrechtlich nicht zu erreichen, vielmehr kann dieser Vorwurf als ein Beleg für die unsachgemäße Diskussionskultur zwischen Windkraftgegnern und -befürwortern verstanden werden.

Es wird darauf hingewiesen, dass eine Ablehnung von Windkraftanlagen i. d. R. auf landschaftsästhetische Aspekte zurückzuführen ist.³⁵ Dies ist keineswegs verwunderlich, denn bislang hat die Raumordnung landschaftsästhetische Aspekte bei der Festlegung gebietsbezogener Nutzungsregelungen in keiner Weise berücksichtigt und damit dem Gesetzauftrag der Wiederherstellung bzw. Neugestaltung von Räumen nicht entsprochen. Mittels der sog. Negativplanung, die der Windenergie nur mehr restriktionsfreie und vorbelastete Gebiete – also Restflächen – zuweist, lässt sich kein Bezug zwischen der Technologie und der Landschaft, in die diese eingebettet werden soll, herstellen.³⁶ Aus der Perspektive der Landschaftsarchitektur wird verdeutlicht, dass die Windenergie nur dann als ästhetisch empfunden werden kann, wenn in ihr ein gelingendes Natur-Kultur-Verhältnis sichtbar wird. Vor dem Hintergrund der gegenwärtigen Planungskultur in Deutschland dürfte dies jedoch schwierig sein, da eine Windkraftanlage bislang nur als ein unvermeidbares Übel und nicht als ein neues, sinnstiftendes Kulturlandschaftselement angesehen wird, das auch einen wertvollen kulturellen Beitrag zu einer historisch gewachsenen Charakterlandschaft leisten kann. Es ist ohnehin fraglich, ob eine Regionalplanung, die zwischen vorbelasteten und hochwertigen Teilräumen unterscheidet, überhaupt noch ihrem Verfassungs-

³³ Vgl. Brücher 2008, S. 10; Nohl 2010, S. 4.

³⁴ Vgl. Bosch/Peyke 2011a/2011b/2011c/2011d; Einig et al. 2011.

³⁵ Vgl. Hasse 1999, S. 261.

³⁶ Vgl. Schöbel 2012, S. 21.

auftrag einer ausgewogenen Raumentwicklung nachkommt.³⁷ Hier muss die Frage gestellt werden, ob nicht auch Menschen in Regionen mit Vorlast ein Recht auf eine schöne Landschaft haben. Wenn dies so ist, dann kann dem Problem der Verunstaltung des Landschaftsbildes allein durch eine landschaftsgerechte Anordnung von Windkraftanlagen Rechnung getragen werden.

Landschaftsästhetische Aspekte werden in Planungsprozessen bislang dahingehend berücksichtigt, dass Ausgleichszahlungen zu tätigen sind, die vom Ausmaß des Eingriffes ins Landschaftsbild abhängen.³⁸ Die Festlegung des Grades der Verunstaltung wird dabei von der Qualität des Landschaftsausschnittes, der Reliefsituation sowie der Höhe der Windkraftanlage gesteuert.³⁹ Für den Fall der Errichtung einer 200 m hohen 3-MW-Anlage innerhalb eines hochwertigen Landschaftsraumes wurde bspw. eine Ausgleichszahlung von 240.000 € festgesetzt. Diese Zahlungen fließen an regionale Naturschutzverbände, die damit eigene Projekte vorantreiben können. Die Höhe des Ausgleiches ist zu kritisieren, denn die zahlreichen als hochwertig einzustufenden bayerischen Landschaftsräume könnten so einige, ursprünglich lukrative Windprojekte verhindern. Darüber hinaus wird angemerkt, dass eine finanzielle Kompensationsverpflichtung für eine Maßnahme, die im Grunde als ökologisch sinnvoll einzustufen ist, irritiert.⁴⁰ Im Übrigen ist zu erwähnen, dass es sich als schwierig herausstellen dürfte, die landschaftsästhetische Wirkung von Windkraftanlagen exakt zu quantifizieren.⁴¹ Die Rechtsprechung geht äußerst selten von einer Verunstaltung des Landschaftsbildes aus. Nur ein außergewöhnlicher, in hohem Maße schützenswerter Kulturlandschaftstyp, innerhalb dessen die Errichtung einer Windkraftanlage zu einer massiven Abwertung des Landschaftsausschnittes führen würde, ist von der Gefahr einer Verunstaltung betroffen. Das bloße Argument einer Beeinträchtigung und Abwertung des Landschaftsbildes aufgrund der markanten Erscheinung – dieser Vorwurf würde nicht zuletzt jede Anlage betreffen – ist nicht ausreichend, um ein im Außenbereich privilegiertes Vorhaben zu verhindern. Auch die optische Gewöhnungsbe-

³⁷ Vgl. Schöbel 2012, S. 22.

³⁸ Vgl. Zimmermann 2012, S. 25.

³⁹ Vgl. Knies 2010.

⁴⁰ Vgl. Schöbel 2012, S. 19.

⁴¹ Vgl. Karl 2006.

dürftigkeit, die im Grunde genommen jede neuartige Technologie mit landschaftsfremden Baumaterialien hervorruft, ist rechtlich von keiner Relevanz.⁴²

4. Minimierung von Flächennutzungskonflikten

Obwohl seit der Änderung des Baugesetzbuches im Jahr 1997 kein Bauleitplanungsverfahren mehr für die Genehmigung von Windkraftanlagen benötigt wird, können Gemeinden den Ausbau der Windenergie durch die Festlegung von Konzentrationszonen im Flächennutzungsplan steuern. Diese Gebiete werden im Rahmen von gemeindeinternen Abwägungsprozessen sowie der Vorlage eines schlüssigen Planungskonzeptes bestimmt. Dieses Vorgehen dient v. a. dazu, den Kommunen Gelegenheiten zur Mitgestaltung der Energiewende zu eröffnen. Darüber hinaus können dadurch lokale Besonderheiten besser in die Planungen mit einbezogen und ein ungeordneter Ausbau im Außenbereich von Gemeinden vermieden werden. Jedoch hat es das Bundesverwaltungsgericht lange Zeit versäumt, eine Mindestanzahl an Windkraftanlagen festzusetzen, die innerhalb einer Konzentrationszone zu realisieren ist. Deshalb wurden seitens einiger Kommunen sehr kleine Flächen ausgewiesen, um nicht etwaige Interessen potenzieller Projektentwickler am Gemeindestandort zu wecken.⁴³ Hierbei ist anzumerken, dass mit der Festlegung von Konzentrationszonen eine Ausschlusswirkung für die Windenergie im übrigen Gebiet der Gemeinde einherging. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich Investoren der Windbranche dann überhaupt noch für die entsprechenden Kommunen interessieren, konnte mittels dieser Taktik minimiert werden. Der Beschluss im Rahmen des bayerischen Windenergieerlasses, die innergebietliche Eignung nicht mehr an einen außergebietlichen Ausschluss zu knüpfen, hebt diesen Nachteil nun zu Gunsten der Windindustrie auf.⁴⁴

⁴² Vgl. Scheidler 2010, S. 527.

⁴³ Vgl. Brand/Pöhlmann 2010; es wird diesbezüglich von *Verhinderungsplanung* gesprochen.

⁴⁴ Vgl. StMI et al. 2001.

III. Neuorientierung der PV-Branche

1. Räumliche Zäsur durch EEG 2010

Im Gegensatz zur Windenergie wird die Photovoltaik nicht von den Privilegierungstatbeständen des § 35 Abs. 1 BauGB erfasst, die, solange keine öffentlichen Belange wie beispielsweise Denkmalschutz, Landschaftspflege oder Bodenschutz entgegenstehen, ein Bauen im Außenbereich als zulässig deklarieren.⁴⁵ Soll ein Solarpark dennoch als selbstständige Anlage im Außenbereich entwickelt werden, ist hierfür eine gemeindliche Bauleitplanung erforderlich. Vergütungspflicht seitens des Netzbetreibers besteht allein, wenn eine Photovoltaik-Freiflächenanlage im Geltungsbereich eines Bebauungsplanes errichtet wurde.⁴⁶ Diese grundlegende räumliche Sanktionierung der Solarbranche hatte sich mit der Novellierung des EEG 2010⁴⁷ noch erheblich verstärkt. Dabei handelt es sich jedoch nicht um gesetzgeberische Willkür, vielmehr rühren die einschränkenden Maßnahmen aus den vor 2010 stark gesunkenen Kosten für Solarstromerzeugung und der damit einhergehenden Überförderung der Branche. Zum Zeitpunkt der Novellierung hatte die Photovoltaik einen Anteil von nur 12 % am Ökostrommix, die Branche erhielt jedoch 40 % (1,5 ct/kWh) der gesamten EEG-Umlage.⁴⁸ Selbst der Bundesverband Solarwirtschaft erkannte im EEG eine Bevorteilung der Solarbranche und stimmte einer Nachbesserung im Grunde zu, da eine Entkopplung von Angebot und Nachfrage nicht zu leugnen war.⁴⁹

⁴⁵ Vgl. § 35 BauGB 2012 (Bauen im Außenbereich): Dieses Gesetz legitimiert die Entwicklung von Wind- und Wasserenergieprojekten im Außenbereich von Gemeinden, solange öffentliche Belange (z. B. Natur-, Boden- und Denkmalschutz) nicht entgegenstehen und eine ausreichende Erschließung sichergestellt werden kann.

⁴⁶ Vgl. StMI 2009.

⁴⁷ Vgl. Erstes Gesetz zur Änderung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes vom 11.8.2010 in der am 17.8.2010 im Bundesgesetzblatt (S. 1170) veröffentlichten Fassung. Die erhebliche Raumwirksamkeit dieses Gesetzes entspringt aus der Streichung des Vergütungsanspruches für Ackerstandorte sowie der Strategie, den Ausbau der Solarenergie auf sog. vorbelastete Standorte zu konzentrieren.

⁴⁸ Zur Entwicklung der EEG-Umlage siehe auch den Beitrag von Möst/Müller/Schubert in diesem Band; zum Fördermechanismus sowie den wichtigsten Regelungen des EEG siehe auch den Beitrag von Schlacke/Kröger in diesem Band.

⁴⁹ Vgl. Müller 2011.

In räumlicher Perspektive sind die Folgen der Novellierung beachtlich. Die Bepflanzung einer Grünfläche, die innerhalb der letzten drei Jahre als Ackerfläche genutzt wurde, ist im Rahmen des neuen Vergütungssystems nicht mehr förderwürdig. Einem massiven Flächenverbrauch sowie steigenden Pachtpreisen soll dadurch Einhalt geboten werden. Darüber hinaus gilt es, die räumlichen Grundlagen einer auf Nahrungs- und Futtermittelproduktion ausgerichteten Landwirtschaft zu bewahren. Die Novellierung verdeutlicht, dass die Nutzung der Sonnenenergie auf der Freifläche nicht mehr erwünscht ist. Für die Solarbranche erwächst daraus die Notwendigkeit, das Augenmerk nun verstärkt auf gebäudeintegrierte Lösungen zu richten.⁵⁰ Aus ökologischer Sicht ist der Wegfall von ehemaligen Ackerstandorten bedenkenswert, denn die Umwandlung von Acker- in Grünland schonte einerseits den zuvor landwirtschaftlich intensiv genutzten Boden, andererseits konnte sich auf diesen Standorten – aufgrund der anzulegenden ökologischen Ausgleichsflächen – eine hohe floristische sowie faunistische Biodiversität etablieren. Des Weiteren ist anzumerken, dass mit dem Ausschluss von Ackerflächen und der Empfehlung, Solarprojekte verstärkt auf vorbelasteten Standorten zu realisieren, zahlreichen Kommunen die Möglichkeit genommen wurde, verbrauchsnahe Solarparks zu errichten. Da große, vorbelastete Flächen v. a. in Ostdeutschland zu finden sind, wird der Schwerpunkt des künftigen Ausbaus von Freiflächenanlagen auch dort zu erwarten sein.⁵¹

Trotz der Präferenz gebäudeintegrierter Lösungen wurden im Rahmen des EEG 2010 den räumlichen Einschränkungen auf der Freifläche Standortalternativen gegenübergestellt. Der Fokus ist dabei auf jene Flächen gerichtet, die bereits eine erhebliche Vorbelastung aufweisen. An dieser Stelle sei nochmals auf die Tatsache hingewiesen, dass ein derartiges Vorgehen dem Auftrag des Raumordnungsgesetzes (ROG)⁵², gleichwertige Lebensbedingungen zu schaffen, zuwiderläuft, da in bereits vorbelasteten Regionen die räumlichen Eingriffe überproportional zunehmen werden. Dennoch wird die Errichtung einer Freiflächenanlage entlang

⁵⁰ Vgl. Schrödter/Kuras 2011.

⁵¹ Vgl. Heup 2011, S. 52 f.

⁵² Raumordnungsgesetz vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986), das zuletzt durch Artikel 9 des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585) geändert worden ist. In § 1 ROG wird eine ausgewogene Ordnung des Raumes unter der Prämisse gleichwertiger Lebensverhältnisse als Leitvorstellung der Raumordnung deklariert.

von Bandinfrastruktur mittlerweile als förderfähig eingestuft. Der beplanbare Korridor ist jedoch äußerst schmal. Es steht eine Breite von 110 m vom äußeren Rand des Schienenweges bzw. der Autobahn zur Verfügung.⁵³ Die von den Landesstraßenbaubehörden prinzipiell vorgegebenen straßenrechtlichen Anbaubeschränkungen im 100-Meter-Bereich sowie das Anbauverbot im 40-Meter-Bereich schließen die Errichtung von Freiflächenanlagen damit nicht mehr kategorisch aus. Voraussetzung für die Aufhebung des Anbauverbotes ist zum einen, dass der äußere Rand der Autobahn im Bebauungsplan exakt definiert wird, denn nur dadurch lassen sich die einzelnen Flächentypen eindeutig unterscheiden. Darüber hinaus gilt es, durch die Bestimmung der überbaubaren Grundstücksfläche zu überprüfen, ob die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs nicht beeinträchtigt wird. So ist sicherzustellen, dass von den Anlagen keine verkehrsfährdenden Blendeffekte ausgehen. Drittens ist es erforderlich, den Träger der Straßenbaulast an der Aufstellung des Bebauungsplanes zu beteiligen. Die Restriktionen im Bereich des 110-Meter-Streifens entlang von Schienenwegen sind wesentlich geringer, denn hier besteht prinzipiell kein Anbauverbot. Es gilt lediglich, schädliche Umwelteinwirkungen und etwaige Blendeffekte zu vermeiden.⁵⁴

Diese Flächen werden jedoch nicht ausreichen, um den erforderlichen Beitrag der Photovoltaik zur Energiewende auch nur annähernd leisten zu können. Daher wurde im Rahmen des EEG noch eine weitere Raumkategorie – die Konversionsfläche – aufgewertet und erweitert.⁵⁵ Ursprünglich wurden der Raumkategorie Konversionsfläche militärische oder wirtschaftliche Liegenschaften zugeordnet. Werden durch die Errichtung von Freiflächenanlagen neuerdings auch Konversionsflächen wohnungsbaulicher oder verkehrlicher Art überplant, so besteht gleichermaßen Anspruch auf Vergütung. Ein wesentlicher Beitrag der Solarenergie zum deutschen Energiemix ist jedoch vornehmlich auf militärischen Liegenschaften zu realisieren. Beispielfhaft stehen hierfür der ehemalige sowjeti-

⁵³ Vgl. Erstes Gesetz zur Änderung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes vom 11.08.2010 in der am 17.08.2010 im Bundesgesetzblatt (S. 1171) veröffentlichten Fassung.

⁵⁴ Vgl. Schrödter/Kuras 2011.

⁵⁵ Vgl. Erstes Gesetz zur Änderung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes vom 11.08.2010 in der am 17.08.2010 im Bundesgesetzblatt (S. 1171) veröffentlichten Fassung.

sche Truppenübungsplatz Lieberoser Heide (Brandenburg)⁵⁶, der ursprünglich von der Roten Armee okkupierte ehemalige deutsche Fliegerhorst Brandis-Waldpolenz (Sachsen)⁵⁷ sowie der ehemalige Militärflughäfen Eberswalde (Brandenburg)⁵⁸, auf denen sich großflächige Freiflächenanlagen mit einer Leistung von 53 MW (162 ha), 40 MW (110 ha) und 84,5 MW (185 ha) befinden. Bemerkenswert ist, dass die Errichtung des Solarparks Lieberose mit einer Bodensanierung einherging, da sich der Projektentwickler Juwi dazu verpflichtet hatte, die Fläche von Kampfmitteln sowie chemischen Altlasten zu befreien. Daraus folgt, dass die Kombination aus Solarpark und vorbelasteter Fläche einen positiven Beitrag für die Umwelt leisten kann und die Aufarbeitung schwerwiegender räumlicher Eingriffe aus der Vergangenheit als realistisch erscheinen lässt. In diesem Fall stellt die Novellierung des EEG 2010 keinen Widerspruch zum Auftrag des ROG⁵⁹ dar. Nicht zuletzt konnte anhand eines Monitorings festgestellt werden, dass sich die Lebensbedingungen für bedrohte Vogelarten in der Lieberoser Heidelandschaft sogar verbessert haben. Konfliktträchtig sind Vorhaben jedoch dann, wenn Flächen mit einem hohen Kohlenstoffbestand zerstört werden.⁶⁰ Dies gilt es im Sinne des Klimaschutzes zu vermeiden.

2. Photovoltaik nicht zu stoppen

Trotz der 2010 vorgenommenen Kürzungen und räumlichen Einschränkungen im Solarbereich, konnte das starke Wachstum der Branche nicht eingedämmt werden. Allein 2011 wurden in Deutschland zusätzlich 7.500 MW PV-Leistung installiert.⁶¹ Die Onshore-Windenergie verzeichnete im gleichen Zeitraum einen Zubau von nur 2.085 MW.⁶² Für das Jahr 2013 soll der Ausbau der Photovoltaik auf 2.500-3.500 MW be-

⁵⁶ Vgl. First Solar GmbH 2009.

⁵⁷ Vgl. SolarServer 2010.

⁵⁸ Vgl. Solarhybrid AG 2012.

⁵⁹ Vgl. Raumordnungsgesetz (ROG). „Raumordnungsgesetz vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986), das zuletzt durch Artikel 9 des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585) geändert worden ist“.

⁶⁰ Vgl. Heup 2011, S. 51 f.

⁶¹ Vgl. Nikionok-Ehrlich 2012, S. 21.

⁶² Vgl. Weinhold 2012, S. 35.

schränkt und in den darauffolgenden Jahren eine jährliche Absenkung von 400 MW eingeleitet werden. Hierzu legten das Bundeswirtschafts- und Bundesumweltministerium im Frühjahr 2012 weitere Sanktionen für die Solarbranche fest. Der Kompromiss besteht darin, die Vergütungssätze mittels einer Einmalsenkung zu reduzieren. Des Weiteren wurde die Verstetigung der Degressionen durch eine monatliche Absenkung der Vergütungssätze beschlossen. Darüber hinaus werden maximal 90 % des erzeugten Stromes zu einem garantierten Preis abgenommen, bei Kleinanlagen sind es nur mehr 85 %. Der verbleibende Strom muss in Eigenregie verbraucht oder vermarktet werden. Schließlich entfällt der Eigenverbrauchsbonus.⁶³ Diese Sanktionen wurden seitens der ostdeutschen Bundesländer vehement kritisiert, denn gerade dort sorgte die Solarbranche für die Entstehung zahlreicher Arbeitsplätze. Auch Bayern äußerte die Befürchtung, dass die Landwirtschaft, die mit ihren großen Scheunen und Ställen ein enormes Standortpotenzial für die Photovoltaik besitzt, eine alternative Einkommensquelle verlieren könnte.⁶⁴

Wissenschaftler vom Rheinisch-Westfälischen-Institut für Wirtschaftsforschung (RWI) verweisen vor dem Hintergrund der steigenden Kosten für die Energiewende aufgrund des massiven Ausbaus im Bereich Photovoltaik auf die Ineffizienz des planwirtschaftlich ausgerichteten EEG und werben für die Einführung eines marktorientierten Quotenmodells.⁶⁵ Diesem rein ökonomischen Ansatz, der sämtliche ökologischen und sozialen Aspekte ausklammert und damit die notwendige Systemperspektive verlässt, fehlt Weitsicht. Einerseits könnte das Quotenmodell keine Planungssicherheit gewährleisten, andererseits werden langfristige Kostenvorteile von Technologien aufgrund von Massenproduktion und Standardisierung nicht in die Überlegungen miteinbezogen. Überhaupt wird übersehen, dass sich die regenerativen Technologien in unterschiedlichen Phasen des Produktlebenszyklus befinden und dadurch ein Vergleich erschwert wird.

⁶³ Vgl. BMWi u. BMU 2012.

⁶⁴ Vgl. Nikionok-Ehrlich 2012.

⁶⁵ Vgl. Frondel et al. 2011. In diese Richtung diskutierend auch der Beitrag von Möst/Müller/Schubert in diesem Band.

IV. Stabilisierung von Stromnetzen

1. Energiesystemwechsel birgt Gefahren

Um einen sicheren Netzbetrieb gewährleisten und so einem Blackout vorbeugen zu können, ist es notwendig, Stromerzeugung und -verbrauch aufeinander abzustimmen. Indikator für ein stabiles Netz ist die Netzfrequenz, die um den Sollwert von 50 Hertz schwankt.⁶⁶ Wegen der Zuverlässigkeit fossiler und nuklearer Mittel- sowie Grundlastkraftwerke stellten Schwankungen in der Stromerzeugung bislang die Ausnahme dar. Allein Kraftwerksausfälle führten zu nicht absehbaren Fluktuationen im Netzbetrieb, die jedoch durch kompensierende Maßnahmen, wie den Einsatz flexibler, schnell reagierender Spitzenlastkraftwerke, leicht zu beherrschen waren. Dieser stabile Netzbetrieb ist mit dem Systemwechsel hin zu erneuerbaren Energien nicht mehr selbstverständlich.⁶⁷ Vielmehr noch wird sich mit jedem weiteren Ausbau von Windkraft- und Solaranlagen die Berechenbarkeit der Stromerzeugung verringern, da die zu erwartenden Strombeiträge aufgrund kurzfristiger (witterungsbedingt), mittelfristiger (saisonal bedingt) und langfristiger (klimatisch bedingt) Schwankungen eine hohe zeitliche sowie räumliche Variabilität aufweisen. Erschwert wird die Stabilisierung der Netze auch durch die Tatsache, dass sich ein regeneratives Energiesystem nicht aus wenigen, zentral gesteuerten, sondern unzähligen, dezentral verteilten Anbietern von Regenerativstrom zusammensetzt.

2. Kombikraftwerke

Es gibt aus geographischer Perspektive bereits vielversprechende Ansätze, um der Komplexität des Netzbetriebes im Falle einer Vollversorgung durch erneuerbare Energien beikommen zu können. Die Forschungsdisziplin Energiemetereologie hat sich beispielsweise der Aufgabe angenommen, den Übertragungsnetzbetreibern anwendungsspezifische, zeitlich und räumlich hoch aufgelöste meteorologische Informationen zur Verfügung zu stellen, um die zu erwartenden Strombeiträge in-

⁶⁶ Vgl. Hermann 2012.

⁶⁷ Vgl. hierzu auch die Beiträge von Möst/Müller/Schubert sowie von Gößling-Reisemann/Stühmann/Wachsmuth/Gleich in diesem Band.

termittierender Quellen besser vorhersagen zu können. Anhand statistischer Regressionen aus numerischen Wettervorhersagen lassen sich Leistungsvorhersagen für einzelne Wind- oder Solarparks im Bereich von 1-3 Tagen ableiten. Mittels der Auswertung von Satellitendaten und der anschließenden Extrapolation von Wolkenstrukturen ist es auch möglich, die Leistungsbereitstellung von Solaranlagen im Bereich von wenigen Stunden zu präzisieren.⁶⁸

Diese Hilfestellungen seitens der Energiemeteorologie könnten einen wesentlichen Beitrag zu einer intelligenten Kombination von erneuerbaren Energien in Form von Kombikraftwerken leisten. Dabei werden die spezifischen Talente einzelner Technologierouten dazu genutzt, die Nachteile der jeweils anderen auszugleichen.⁶⁹ Die räumliche Kombination von Wind- und Solarkraft bietet die Gelegenheit, Regenerativstrom sowohl unter Tief- als auch unter Hochdruckeinfluss produzieren zu können. Wird darüber hinaus der Raum, innerhalb dessen Wind- und Solarkraftwerke miteinander in Verbindung gebracht werden, erweitert, erhöht sich auch die Wahrscheinlichkeit, dass dem Netzbetrieb sowohl Wind- als auch Solarstrom zur Verfügung stehen. Vor dem Hintergrund eines europäischen Verbundnetzes könnten sich die spezifischen regionalen und nationalen Energiepotenziale so hervorragend ergänzen. Die zahlreichen regionalen und nationalen Witterungsphänomene würden sich gegenseitig ausgleichen und so die Netzstabilität vergrößern.⁷⁰ Probleme würden erst dann wieder entstehen, wenn beispielsweise aufgrund einer kontinentalen Windflaute während der Wintermonate weder Wind- noch Solarenergie in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen würde. Diese Stromlücke könnte jedoch von der grund- und spitzenlastfähigen Bioenergie geschlossen werden, denn Biogasanlagen eröffnen die Möglichkeit, sowohl das Rohbiogas als auch das durch weitere Aufbereitungsschritte zu gewinnende Biomethan zu speichern. Bioenergie lässt sich demnach räumlich und zeitlich versetzt bereitstellen.

Die Kombination von Biogas-, Windkraft- und Solaranlagen würde demnach die Möglichkeit bieten, große Mengen an Regenerativstrom witterungsunabhängig bereitstellen zu können. Ergänzt man das Kombikraftwerk noch durch ein Pumpspeicherkraftwerk, wäre sogar ein

⁶⁸ Vgl. Heinemann 2006; Luther 2006.

⁶⁹ Vgl. Bosch/Peyke 2010; Mackensen et al. 2008.

⁷⁰ Vgl. Popp 2010, S. 56.; Popp vertritt das Konzept des sog. Ringwallspeichers.

Stromüberschuss ausgleichbar.⁷¹ Problematisch ist jedoch, dass die Speicherkapazität jener Pumpspeicherkraftwerke, die derzeit Relevanz für den deutschen Strommarkt besitzen, nur 0,04 TWh beträgt und in Gebirgslandschaften kaum Ausbaupotenzial besteht.⁷² Auch unter Mitberücksichtigung der Druckluftspeicherung in unterirdischen Kavernen und Poren könnte die langfristig erforderliche Speicherkapazität von etwa 40 TWh nicht bereitgestellt werden.⁷³ Alternative Speicherkonzepte werden daher dringend benötigt, ansonsten erscheint es notwendig, die Anbindung an skandinavische Pumpspeicherkraftwerke zu forcieren.

3. Räumliche Synergien zwischen Wind- und Bioenergie

Mittlerweile werden große Hoffnungen in die sog. Power-to-Gas-Anlage gesetzt, wobei hiervon bislang nur Pilotanlagen existieren.⁷⁴ Diese Technologie soll es ermöglichen, überschüssigen Regenerativstrom speichern und in Form von positiver Regelenergie zeitlich sowie räumlich versetzt wieder bereitstellen zu können. Erreicht wird dies durch eine Kombination aus Elektrolyse, Methanisierung, Gasnetz und Blockheizkraftwerk. In einem ersten Schritt wird beispielsweise durch überschüssigen Windstrom Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff gespalten (Elektrolyse). Der Wasserstoff könnte bereits gespeichert und mittels Brennstoffzelle zeitversetzt wieder in Strom und Wärme umgewandelt werden. Darüber hinaus ist es möglich, den Wasserstoff ins Erdgasnetz einzuspeisen, wobei aufgrund empfindlicher Gasturbinen und anderer Endgeräte der Anteil laut Gesetz maximal 5 % betragen darf.⁷⁵ Eine bessere Ausnutzung der vorhandenen Erdgasnetzinfrastruktur stellt daher die Methanisierung überschüssigen Windstroms dar. Hierzu wird eine Reaktion zwischen dem Wasserstoff und Kohlendioxid eingeleitet (Sabatier-Reaktion). Dabei entsteht sog. erneuerbares Methan, ein Energiespeicher, der sich problemlos in die bestehenden Erdgasleitungen und Gasspeicher integrieren

⁷¹ Vgl. Mackensen et al. 2008; Wiedemann 2011a.

⁷² Vgl. Popp 2010, S. 57; Janzing 2010, S. 29.

⁷³ Vgl. Sedlacek 2009, S. 412.

⁷⁴ Vgl. Hüttenrauch/Müller-Syring 2010; Janzing 2011; Rieke 2011; Wächter 2012; Wiedemann 2011b; Petersen 2012.

⁷⁵ Vgl. Valentin/v. Bredow 2011, S. 102.

lässt. Nicht zuletzt liegt hier eine Speicherkapazität von 220 TWh vor. Genug, um Deutschland drei Monate lang mit Strom zu versorgen. Wegen der bidirektionalen Verknüpfung von Strom- und Gasnetz lässt sich das Biomethan bei Bedarf wieder rückverstromen. Hierzu wird lediglich ein Gasturbinen- oder Blockheizkraftwerk benötigt. Dem Vorteil einer zeitlichen sowie räumlichen Entkopplung von Energieproduktion und -verbrauch steht jedoch der Nachteil eines geringen Wirkungsgrades gegenüber. Erfolgt bei der Rückverstromung keine Kraft-Wärme-Kopplung, so verringert sich der Wirkungsgrad auf bis zu 35 %.⁷⁶ Aus diesem Grund sind weitere Optimierungen grundlegend für das Überleben dieser Technologieroute.

Eine räumliche Optimierung könnte sich aus der Nähe von Biogas- und Windstandorten ergeben, denn als Kohlendioxidquelle für die Sabatier-Reaktion könnten jene Biogasanlagen fungieren, die im Zuge der Biomethanaufbereitung Kohlendioxid vom Rohbiogas abscheiden. Immerhin würde das CO₂-Potenzial aus der Biogasproduktion ausreichen, um dem CO₂-Bedarf von erneuerbarem Methan im Falle einer umfassenden Versorgung mit erneuerbaren Energien entsprechen zu können.⁷⁷ Die Windkraftanlagen liefern also die benötigte Energie zum Betrieb der Elektrolyseure, anschließend reagiert der dabei entstehende Wasserstoff mit dem abgeschiedenen Kohlendioxid der Biogasanlagen. Da mit der Marktfähigkeit von erneuerbarem Methan jedoch nicht vor 2040 zu rechnen ist⁷⁸, sollten Projekte wie der Ausbau der Stromnetze nicht länger vernachlässigt werden.

4. Unklarheiten beim Netzausbau

Derzeit ist von einem Ausbaubedarf bei den Stromnetzen zwischen 1.700 und 3.600 km sowie der Modifizierung bestehender Leitungen auf einer Gesamtlänge von max. 5.700 km auszugehen.⁷⁹ Eklatant ist, dass von den geforderten 850 km Höchstspannungsleitungen bislang nur 100 km realisiert wurden. Engpässe im Stromnetz ergeben sich vorwiegend zwischen

⁷⁶ Vgl. Lubbadde/Honsel 2013, S. 70 f.

⁷⁷ Vgl. Trost/Jentsch/Holzhammer/Horn 2012, S. 172 ff.

⁷⁸ Vgl. Nitsch et al. 2010, S. 78.

⁷⁹ Vgl. dena 2012, S. 13; Petersen 2012; Wächter 2012.

West- und Ostdeutschland. Diese sind als ein Relikt aus der wirtschafts- politischen Abschottung während der Zeit des Kalten Krieges zu verstehen.⁸⁰ Der Ausbau von erneuerbaren Energien bietet daher die Gelegenheit, West- und Ostdeutschland noch besser miteinander zu vernetzen.

In den Diskussionen um den tatsächlichen Umfang des Ausbaubedarfs wird deutlich, dass die Meinungen bislang weit auseinander gehen. Dies ist dadurch zu erklären, dass noch nicht absehbar ist, ob das künftige regenerative Energiesystem eher einen dezentralen Charakter aufweist oder auf wenigen, zentral gesteuerten Großprojekten – beispielsweise Desertec⁸¹ oder der Offshore-Windenergie⁸² – basieren wird.⁸³ In jedem Fall ist zu berücksichtigen, dass beim Netzausbau nicht nur national sondern auch im Kontext eines europäischen Verbundnetzes gedacht werden muss. Hierzu wäre es angebracht, die Förderinstrumente sowie die Strompreise zu harmonisieren, denn allein dadurch wäre es möglich, beispielsweise einen deutschen Windpark auch an das holländische Netz anzuschließen. Staaten, die sich momentan mit hohen Strompreisen konfrontiert sehen, würde im Rahmen eines länderübergreifenden Netzausbaus der Zugang zu günstigerem Strom ermöglicht. Die norwegischen Verbraucher hingegen, die an niedrige Strompreise gewöhnt sind, müssten hingegen mit Preissteigerungen rechnen. Vor diesem Hintergrund ist es nachvollziehbar, dass sich der Bau der Stromleitungsstrasse NorGer zwischen Deutschland und Norwegen verzögert. Demgegenüber wird der Netzausbau zwischen Irland und Wales (Eir Grid Eastwest-Interconnector), zwischen Großbritannien und Belgien (Nemo), zwischen Schweden und Finnland (Fenno-Skan2), zwischen Estland und Finnland (Eastlink 2) sowie zwischen den Niederlanden und Dänemark (Cobra Cable) forciert.⁸⁴ Damit wächst Europa zumindest auf der Ebene des Strommarktes immer mehr zusammen.

⁸⁰ Vgl. Zimmermann/Weinhold 2011, S. 17 ff.

⁸¹ Vgl. Walter/Bosch 2012.

⁸² Vgl. Bosch/Peyke 2011a.

⁸³ Vgl. zur Entwicklung der (De-)Zentralität des Strommarktes auch den Beitrag von Hellige, zu Ausbaunotwendigkeiten den Beitrag von Kemfert in diesem Band.

⁸⁴ Vgl. Zimmermann/Weinhold 2011, S. 17 ff.

V. Systemperspektive der Geographie

Die Flächenakquise stellt in Deutschland zweifelsohne die Achillesferse der Energiewende dar, denn die erneuerbaren Energien müssen hier in einen Raum integriert werden, der bereits stark durch konkurrierende Flächennutzungen beansprucht wird. Des Weiteren wird es aufgrund des stetigen Bedeutungsgewinnes intermittierender Energiequellen immer schwieriger, die Stromnetze stabil zu halten. Der Beitrag hat diesbezüglich aufgezeigt, dass raumwissenschaftliche Perspektiven geeignet sind, neue Impulse für einen intelligenten Ausbau regenerativer Technologien zu geben. Die schwindende Akzeptanz dezentraler Energieerzeugung kann als Beleg dafür gedeutet werden, dass es unzureichend ist, den Ausbau erneuerbarer Energien allein den Wirtschafts- und Ingenieurwissenschaften zu überlassen und damit der Energiewende ein technokratisches Joch aufzuerlegen. Ohne die Einbeziehung der Ressource Raum wird die notwendige Systemperspektive, die speziell zur Minimierung der zahlreichen Flächennutzungskonflikte einzunehmen ist, aufgegeben. Die Geographie erfährt eben gerade durch die Rückkehr der Energieversorgung zu „energy from space“ eine erhebliche Aufwertung innerhalb der Gemengelage allgemeiner Energieforschung. Dieser Verantwortung kann sie jedoch nur gerecht werden, wenn sie sich auf ihre größte Stärke – die Systemperspektive – besinnt und als Mittler zwischen Ökonomen, Ingenieuren, Landschaftsarchitekten und Naturschützern auftritt. Geographen machen sich nicht nur Gedanken über den optimalen Standort eines regenerativen Kraftwerkes, vielmehr gilt ihr Interesse den über den Kraftwerksstandort hinausreichenden Wirkungen einer technologischen Einbettung. Der Ausbau von erneuerbaren Energien ist im Kontext variierender regionaler Voraussetzungen demnach immer wieder neu zu bewerten.

Literatur

- Bayerische Staatsministerien (StMI) (StMWFK) (StMF) (StWIVT) (StUG) (StELF) (2011): Hinweise zur Planung von Windkraftanlagen (WKA), München.
- Boeing, N. (2011): Mehr Watt, bitte!, Technology Review – Das M.I.T.-Magazin für Innovation (1), Spezialheft Energie, S. 30 f.

- Bosch, S. (2012): Erfassung und Bewertung des Einflusses der Ressource Raum im Rahmen der Förderung von Erneuerbaren Energien sowie Ableitung eines ganzheitlichen Ansatzes zur optimalen Integration von regenerativen Technologien in den ländlichen Raum, Augsburg.
- Bosch, S./Peyke, G. (2009): Energiewende durch GIS, GIS.Business (8), S. 44 ff.
- Bosch, S./Peyke, G. (2010): Raum und Erneuerbare Energien – Anforderungen eines regenerativen Energiesystems an die Standortplanung, Standort – Zeitschrift für Angewandte Geographie (1), S. 11 ff.
- Bosch, S./Peyke, G. (2011a): Erneuerbare Energien und Offshore-Standorte. Rückzug oder Zukunftsperspektive?, Geographische Rundschau (4), S. 51 ff.
- Bosch, S./Peyke, G. (2011b): Gegenwind für die Erneuerbaren – Räumliche Neuorientierung der Wind-, Solar- und Bioenergie vor dem Hintergrund einer verringerten Akzeptanz sowie zunehmender Flächennutzungskonflikte im ländlichen Raum, Raumforschung und Raumordnung (2), S. 105 ff.
- Bosch, S./Peyke, G. (2011c): Regionalplanerische Einstufung der Windenergie in Deutschland – Visualisierung konkurrierender Flächennutzungsansprüche an On- und Offshore-Standorten mittels GIS, in: Strobl, J./Blaschke, T./Griesebner, G. (Hg.), Angewandte Geoinformatik 2010 – Beiträge zum 23. AGIT-Symposium Salzburg, S. 450 ff.
- Bosch, S./Peyke, G. (2011d): Kein Raum für die Erneuerbaren? GIS hilft bei der Suche!, GIS.Business – Zeitschrift für Geoinformation (5), 34 ff.
- Brand, C./Pöhlmann, K. (2010): Konzentrationsplanung von Windkraftanlagen durch Flächennutzungsplan – Wo beginnt die Verhinderungsplanung? Zum Urteil des BVerwG v. 20.05.2010 – 4 C 7.09, Zeitschrift für Neues Energierecht (5), S. 476 ff.
- Brücher, W. (2008): Erneuerbare Energien in der globalen Versorgung aus historisch-geographischer Perspektive, Geographische Rundschau (1), S. 4 ff.
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (2008): Raumordnungsplan-Monitor, http://www.bbsr.bund.de/nn_21918/BBSR/DE/Raumentwicklung/RaumentwicklungDeutschland/LandesRegionalplanung/Projekte/Roplamo/roplamo.html (20.8.2012).
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2012): EU-Effizienzrichtlinie und Erneuerbare-Energien-Gesetz. Ergebnispapier, Berlin.
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW): Anteil der Erneuerbaren Energien steigt auf 23 Prozent – Pressemitteilung vom 18.12.2012, <http://www.bdew.de/internet.nsf/id/20121218-pi-anteil-der-erneuerbaren-energien-steigt-auf-23-prozent-de> (24.04.2013).

- Bund Naturschutz (2010): Kommunen als Klimaschützer gefragt – Vorbildhafte Energieversorgung in der Gemeinde Wildpoldsried, <http://www.bund-naturschutz.de/presse/pressemitteilungen/detail/artikel/1602/pm/77b7c4b7aff012ad8ea3f0fc6da95d5e.html> (26.9.2012).
- Deutsche Energie-Agentur (dena) (Hg.) (2010): dena-Netzstudie II. Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015-2010 mit Ausblick 2025, Berlin.
- Einig, K./Heilmann, J./Zaspel, B. (2011): Wie viel Platz die Windkraft braucht, *Neue Energie* (8), S. 34 ff.
- First Solar GmbH (2009): Größtes Solarkraftwerk in Deutschland errichtet, [http://www.solarpark-lieberose.de/\(27.9.2012\)](http://www.solarpark-lieberose.de/(27.9.2012)).
- Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) (2011) (Hg.): Studie zum Potenzial der Windenergienutzung an Land, Kassel.
- Frondel, M./Schmidt, C. M./aus dem Moore, N. (2011): Explodierende Kosten: Auswirkungen der Photovoltaikförderung in Deutschland, *BWK – Das Energie-Fachmagazin* (3), S. 136 ff.
- Hasse, J. (1999): Bildstörung – Windenergie und Landschaftsästhetik, Wahrnehmungsgographische Studien zur Regionalentwicklung, Oldenburg.
- Heinemann, D. (2006): Energiemeteorologie: Ein Überblick, in: Heinemann, D./Hoyer-Klick, C. (Hg.), *Energiemeteorologie, Workshop*, 2. November 2006, Berlin, S. 16 ff.
- Henkel, G. (2004): *Der Ländliche Raum – Gegenwart und Wandlungsprozesse seit dem 19. Jahrhundert in Deutschland*, Berlin, Stuttgart.
- Heup, J. (2011): Aufruhr auf der Freifläche, *Neue Energie* (12), S. 50 ff.
- Hüttenrauch, J./Müller-Syring, G. (2010): Zumischung von Wasserstoff zum Erdgas, *Energie | wasser-praxis* (10), S. 68 ff.
- Janzing, B. (2010): Kraft auf Vorrat, *Neue Energie* (7), S. 24 ff.
- Janzing, B. (2011): Windgas für jedermann, *Neue Energie* (7), S. 35 ff.
- Karl, F. (2006): Erneuerbare Energien als Gegenstand von Festlegungen in Raumordnungsplänen, in: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hg.), *Arbeitsmaterialien* 319, Hannover.
- Kluge, B./Brocke, T. (2013): Energiewende vor Ort. Dezentrale Stromerzeugung und die Rolle von Stadtwerken und Regionalversorgern, *Geographische Rundschau* (1), S. 12 ff.
- Knies, J. (2010): Windkraftanlagen in Schottland – Möglichkeiten von Sichtbarkeitsanalysen, in: Strobl, J./Blaschke, T./Griesebner, G. (Hg.), *Angewandte Geoinformatik 2010 – Beiträge zum 23. AGIT-Symposium Salzburg*, S. 514 ff.

- Leibenath, M./Otto, A. (2012): Diskursive Konstituierung von Kulturlandschaft am Beispiel politischer Windenergiegedenken in Deutschland, *Raumforschung und Raumordnung* (2), S. 119 ff.
- Lubbadeh, J/Honsel, G. (2013): Was spricht für, was gegen Windgas?, *Technology Review – Magazin für Innovation, Spezialheft Energie*, S. 70 f.
- Luther, J. (2006): Wege zu einer nachhaltigen Energieversorgung – die Bedeutung der Energiemeteorologie, in: Heinemann, D./Hoyer-Klick, C. (Hg.), *Energiemeteorologie, Workshop*, 2. November 2006, Berlin. S. 6 ff.
- Mackensen, R./Schlögl, F./Rohrig, K./Adzic, L./Saint-Drenan, Y. M. (2008): *Das regenerative Kombikraftwerk*, Kassel, http://www.iset.uni-kassel.de/abt/FB-I/publication/2008-001_Das_regenerative_Kombikraftwerk_Paper.pdf (18.5.2012).
- Müller, B. (2011): Verflüchtigt und zugepflastert, *Technology Review* (6), S. 62 ff.
- Nikionok-Ehrlich, A. (2012): Sein oder Nicht-Sein, *Neue Energie* (2), S. 20 ff.
- Nitsch, J./Pregger, T./Scholz, Y./Naegler, T./Sternner, M./Gerhardt, N./Oehsen, A. v./Pape, C./Saint-Drenan, Y. M./Wenzel, B. (2010): *Leitstudie 2010 – Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global*, Stuttgart.
- Nohl, W. (2001): Ästhetisches Erlebnis von Windkraftanlagen in der Landschaft, *Naturschutz und Landschaftsplanung* Bd. 33, (12), S. 365 ff.
- Nohl, W. (2010): Landschaftsästhetische Auswirkungen von Windkraftanlagen, in: Bayerischer Landesverein für Heimatpflege e.V. (Hg.), *Schönere Heimat – Erbe und Auftrag* (1), S. 3 ff.
- Petersen, N. H. (2012): Run auf den Speicher, *Erneuerbare Energien* (3), S. 16 ff.
- Peters, J. (2010): *Landschaft als Energieressource – Biomasseproduktion und die Auswirkungen auf die Kulturlandschaft*. Fachtagung „Raumplanung und die steigende Nutzung von Bioenergie“, am 28. September 2010 Wetzlar, <http://www.na-hessen.de/downloads/10n102biomassekulturlandschaft.pdf> (15.12.2011).
- Popp, M. (2010): Regenerativstrom im Ringwall speichern, *BWK – Das Energie-Fachmagazin* (12), S. 53 ff.
- Rempel, H. (2008): Globale Verfügbarkeit nicht-erneuerbarer Energierohstoffe, *Geographische Rundschau* (1), S. 22-31.
- Rieke, S. (2011): Windstrom wird in Methan gespeichert, *Biogas Journal* (1), S. 89 ff.
- Scheidler, A. (2010): Verunstaltung des Landschaftsbildes durch Windkraftanlagen, *Natur und Recht* (8), S. 525 ff.

- Schmitt, T. (2012): Postfordistische Energiepolitiken? Das Desertec-Konzept als Szenario zur Restrukturierung der Energieversorgung in der EUMENA-Region, *Zeitschrift für Wirtschaftsgeographie* (4), S. 244 ff.
- Schöbel, S. (2012): Windenergie und Landschaftsästhetik. Zur landschaftsgeordneten Anordnung von Windfarmen, Berlin.
- Schrödter, W./Kuras, M. (2011): Auswirkungen des EEG 2010 auf die Planung von Flächen für Photovoltaikanlagen, *Zeitschrift für Neues Energierecht* (2), S. 144 ff.
- Sedlacek, R. (2009): Untertage-Gasspeicherung in Deutschland, *Erdöl Ergas Kohle* (11), S. 412 ff.
- Solarhybrid AG (2012): FinowTower I+II, http://www.solarhybrid.ag/Die-Entstehung-des-groessten-Solarkraftwerks-Europas.ref_finowtowerii.0.html (27.9.2012).
- SolarServer (2010): Energiepark Waldpolenz ist größtes Solar-Kraftwerk der Welt, <http://www.solarserver.de/news/news-9035.html> (27.9.2012).
- Trost, T./Jentsch, M./Holzhammer, U./Horn, S. (2012): Die Biogasanlagen als zukünftige CO₂-Produzenten für die Herstellung von erneuerbarem Methan – Power-to-Gas als Langzeitspeicher und alternativer Kraftstoff, *gwf-Gas/Erdgas* (3), S. 172-179.
- Valentin, F./v. Bredow, H. (2011): Power-to-Gas: Rechtlicher Rahmen für Wasserstoff und synthetisches Gas aus erneuerbaren Energien, *Energie-wirtschaftliche Tagesfragen* (12), S. 99 ff.
- Wächter, F. (2012): Strom zu Erdgas, *Erneuerbare Energien* (3), S. 22 ff.
- Walter, K./Bosch, S. (2012): Energietransport – GIS-gestützte Identifikation optimaler Stromleitungstrassen zwischen Nordafrika und Europa, in: Strobl, J./Blaschke, T./Griesebner, G. (Hg.), *Angewandte Geoinformatik 2012 – Beiträge zum 24. AGIT-Symposium Salzburg*, S. 543 ff.
- Weinhold, N. (2012): Der Süden dreht auf, *Neue Energie* (2), S. 35 ff.
- Wiedemann, K. (2011a): Einspeisen auf Knopfdruck, *Neue Energie* (6), S. 58 ff.
- Wiedemann, K. (2011b): Der unsichtbare Speicher, *Neue Energie* (7), S. 30 ff.
- Wikipedia (2012): Eintrag „Ölfeld“, <http://de.wikipedia.org/wiki/%C3%96lfeld> (25.9.2012).
- Zimmermann, J.-R. (2011a): 50 Prozent plus – Strom aus Landwind, *Neue Energie* (4), S. 37 ff.
- Zimmermann, J.-R. (2011b): Im Windschatten, *Neue Energie* (10), S. 40 ff.
- Zimmermann, J.-R. (2012): Mehr Mühlen erbeten, *Neue Energie* (2), S. 24 f.
- Zimmermann, J.-R./Weinhold, N. (2011): Das Netz wächst zusammen, *Neue Energie* (12), S. 17 ff.