

Ein GIS-Planungstool für erneuerbare Energien – Integration sozialer Perspektiven

A GIS-planning Tool for Renewable Energies – Integration of Social Perspectives

Stephan Bosch, Lucas Schwarz

Institut für Geographie, Universität Augsburg · stephan.bosch@geo.uni-augsburg.de

Zusammenfassung: GIS-gestützte Ansätze zum Ausbau erneuerbarer Energien zeichnen sich durch eine starke Dominanz ingenieurwissenschaftlicher Perspektiven aus. Zwar ist mittlerweile anerkannt, dass es der Akzeptanz zuträglich sein kann, den technoökonomisch orientierten Standortanalysen auch soziale Perspektiven zur Seite zu stellen. Jedoch gelingt dies nur oberflächlich, da wesentliche theoretische Erkenntnisse aus den Sozial- und Wirtschaftswissenschaften übergangen und die Integration sozialer Parameter zu trivialen Annäherungsversuchen abgewertet werden. Diese Kritik an einer sozial unausgewogenen Energie-Planung mittels GIS wird im Rahmen der Studie detailliert ausgeführt. Darauf aufbauend werden komplexere Ansätze zur Integration sozialer Perspektiven in GIS-Planungstools erläutert.

Schlüsselwörter: Erneuerbare Energien, GIS-basierte Analysen, Energiewende, soziale Parameter

Abstract: *GIS-based approaches for the optimal expansion of renewable energies are characterized by a strong dominance of engineering-oriented perspectives. It is acknowledged that it can be beneficial for the acceptance, to combine techno-economic site analysis with social perspectives. However, this only succeeds superficially, because essential theoretical perceptions from social and economic sciences are often neglected and the integration of social parameters is degraded to trivial attempts of approach. This fundamental criticism of a techno-economic oriented and target deterministic energy planning by GIS are carried out in the framework of the study. Build on this, more complex approaches for the integration of social perspectives in GIS-planning tools are exemplified.*

Keywords: *Renewable energies, GIS-based analysis, energy transition, social aspects*

1 Problemstellung und Zielsetzung

1.1 Problemstellung

Da erneuerbare Energien aufgrund ihrer geringen Energiedichte sehr flächenintensiv sind, bedürfen sie einer gründlichen Abstimmung mit konkurrierenden Flächennutzungen (z. B. Naturschutz). Um dies effizient gestalten zu können, wurden der Energiewende von Beginn an GIS-gestützte Analysen zur Seite gestellt. Trotz einer analytisch-konzeptionellen Vielfalt dominieren hierbei ingenieurwissenschaftliche Perspektiven, die technoökonomische Aspekte stark in den Vordergrund rücken. Soziale Perspektiven werden nur insoweit integriert, wie hierdurch Blockaden einer zieldeterministisch ausgerichteten Energiepolitik gelöst werden können. Ein tatsächliches Verständnis für die sozialen Dimensionen von Energietransformationen ist dabei kaum zu erkennen. Die Akzeptanz erneuerbarer Energien hat darunter gelitten, weshalb es immer schwieriger wird, Energieprojekte überhaupt noch realisieren zu können. Zwar sickert dieses Erkenntnis allmählich ins Bewusstsein von Wissenschaft und Praxis und damit auch in die Konzeptionen GIS-gestützter Ansätze ein, es zeigt sich jedoch,

dass im Rahmen der Bemühungen um die Integration adäquater sozialer Parameter bedeutende theoretische Erkenntnisse der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften übergangen und triviale Ansätze zur Operationalisierung sozialer Parameter angeboten werden.

1.2 Zielsetzung

Ziel der Studie ist es zunächst aufzuzeigen, wie sehr die sozialen Dimensionen erneuerbarer Energien in den Hintergrund technoökonomischer GIS-Analysen gerückt sind. In einem zweiten Schritt gilt es zu analysieren, inwieweit die Erkenntnis des Sozialen im Kontext von Energiewende zur Integration entsprechender Parameter geführt hat und inwiefern diese tatsächlich dazu geeignet sind, räumlicher Planung eine größere soziale Sensibilität zu verleihen. In einem dritten Schritt wird die Konzeption eines GIS-Planungstools vorgestellt, das sich von den statischen, ökonomisch orientierten Potenzialanalysen löst und demonstriert, wie stark sich technologische Fortschritte auch auf die soziale und ökologische Eignung erneuerbarer Energien auswirken können und wie notwendig es daher erscheint, diese räumliche Dynamik auch zu begreifen und zu visualisieren. Schließlich wird aufgezeigt, durch welche konzeptionellen Anpassungen aus dem vorgestellten GIS-Planungstool ein mehr anwendungsorientiertes, für Planer und Projektentwickler geeignetes Werkzeug entstehen kann. Der Rückgriff auf die aktuellen wissenschaftstheoretischen Erkenntnisse der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften ist dabei von zentraler Bedeutung.

2 Stand der Forschung

2.1 Zieldeterminismus und Technokratie in der Energie-Planung

Meyer et al. (2016, p. 497) sehen Landnutzung nicht als etwas Starres an, sondern als ein dynamisches System, das durch regelmäßige Anpassungen an veränderte ökonomische, soziale und ökologische Rahmenbedingungen eine nachhaltige Entwicklung ermöglicht. Von dieser Perspektive ist die räumliche Planungspraxis weit entfernt. Zwar zeugen politische Bestrebungen, der Regionalplanung Mindestinstallationsziele für besonders windhöfliche Standorte vorzugeben, von großem planerischen Eifer (Einig & Zaspel-Heisters 2015, pp. 574 ff.), die langfristige soziale und ökologische Verträglichkeit der Flächenausweisungen ist damit jedoch keineswegs gesichert und technologisch auch nicht so eindeutig, wie es die kartographisch visualisierten Vorgaben zur Windenergie vermuten lassen. Dieser räumliche Zieldeterminismus kann zudem dazu führen, dass soziale und ökologische Aspekte von staatlicher Seite nur insofern berücksichtigt werden, wie sie die anvisierten Ausbauziele nicht beeinträchtigen. Cowell (2010, pp. 223 ff.) spricht hierbei vom Phänomen der *'foreshadowed search areas'*, die dadurch charakterisiert sind, dass weder die soziokulturellen Implikationen von räumlich-technischen Vorgaben, noch technologische Alternativen erörtert werden. In diesem Zusammenhang kritisiert der Autor speziell den unreflektierten Einsatz von GIS-Tools. Diese würden oftmals den Eindruck erwecken, dass soziale und ökologische Hemmnisse gewissenhaft erfasst werden. Tatsächlich werde die analytische Tiefe von Planung durch die politischen Rahmenbedingungen oftmals klar gedeckelt, mit dem Ziel, der Politik eine räumliche Steuerung aus der Distanz zu ermöglichen. Durch diese soziale und ökologische Generalisierung wird Planung sozial sowie ökologisch erst kalkulierbar (Murdoch 2000, p. 506).

Diese Form räumlich-technischer Planung, die die lokalen Kontexte entsprechend den politischen Vorgaben sowohl ignorieren, als auch einbinden kann, ist nach Demeritt (2001, p. 449) die Machtbasis übergeordneter Energieplanung. Visueller Ausdruck dieser Macht sind die dabei entstehenden Karten, die die Vorgaben der Energiepolitik in räumlich-administrative Formen gießen und die Heterogenität der Teilräume auf erfassbare Kategorien reduzieren. So anwenderfreundlich die dabei konzipierten GIS-Tools sind, so handelt es sich doch um einfache Beratungsinstrumente, die keine weiterführende Grundlagenforschung im Hinblick auf die sozialen Herausforderungen der Energietransformation erlauben. Derartige GIS-Tools werden entwickelt, um „*erhoffte Energiezukünfte zu legitimieren und entsprechende Strategien abzuleiten*“ (Venjakob 2012, p. 1). Auch Bulkeley et al. (2005, p. 14) bemerken, dass das Soziale je nach Interessenlage interpretiert wird. Dabei werden speziell die Sozialwissenschaften dazu instrumentalisiert, soziale Blockaden für energiepolitische Ambitionen zu lösen (Shove 1998, p. 1108). Daraus resultiert eine unzureichende akademische Reflexion quantitativer Vorgaben zum Ausbau erneuerbarer Energien, wodurch der Blick auf die tieferen Beweggründe lokaler Opposition verstellt wird. Wissenschaftliche Problemstellung und Zielsetzung würden sich nur mehr an der Frage orientieren, wie die quantitativen Vorgaben von Energiepolitik trotz verringerter Akzeptanz zu erreichen sind. Ellis et al. (2007, p. 536) bezeichnen dies als ideologisch aufgeladene Pro-Energie-Haltung, die alternativen Sichtweisen unterdrückt.

Für Blaschke et al. (2013, p. 9) ist diese Herangehensweise das Ergebnis der Dominanz ingenieurwissenschaftlicher Perspektiven in den Diskursen um eine sachgerechte Energiegewende. Zoellner et al. (2008, p. 4136) kritisieren ebenfalls, dass sich die Energieforschung zu lange einseitig auf technische Aspekte konzentriert hat und soziale Themen so aus dem Blickfeld geraten konnten. Dies hat vielerorts Proteste hervorgebracht, die die kleinräumigen Konkretisierungen übergeordneter Energiepolitik infrage stellen (Aitken 2010, p. 1838). Shove (1998, pp. 1106 f.) spricht vom Bruch zwischen Technischem und Sozialem, der sich in der Planung manifestieren sowie verdecken konnte, dass das Technische immer auch in einem sozialen Kontext steht. Zoellner et al. (2008, p. 4137) sind sogar der Auffassung, dass die technologischen Charakteristika erneuerbarer Energien unwesentlich sind und der planerische Fokus ausschließlich auf die übergeordneten, kontroversen Aushandlungsprozesse zwischen den verschiedenen Akteuren zu richten ist. Dessen ungeachtet wird in der Planungsrealität das Technische stets hervorgehoben und als rationaler, nicht zu hinterfragender Aspekt betrachtet (Bulkeley et al. 2005, p. 14).

Anhand der in Karten visualisierten Parameter wird der Primat des Technologischen sichtbar, denn hier werden überwiegend geophysikalische Eigenschaften, wie solare Einstrahlung, Wolkenbedeckung, Windhöufigkeit, Oberflächenrauigkeit, meteorologische Extremereignisse, Biomasseverfügbarkeit, Niederschlag, Bodentyp und Bodenart, erfasst (Sunak et al. 2015). Der Vorteil dieser Kategorisierungen besteht darin, dass standortspezifische Potenziale auf die Energiedichte, gemessen in W/m^2 , normiert werden können (Palmas et al. 2014, pp. 10 ff.). Doch selbst die ökonomisch orientierten Kategorisierungen sind unvollständig. So betont Cowell (2010, p. 228), dass Windunternehmen mehr Angaben zu '*small-scale constraints*', wie starke Hangneigungen, Zugang zu den Standorten sowie Eigentumsverhältnisse, benötigen würden. Blaschke et al. (2013, p. 4) kritisieren darüber hinaus, dass gerade Konzepte zur soziotechnischen Transformation von Energiesystemen oftmals überhaupt keine kartographischen Visualisierungen anbieten und hierdurch in abstrakt-theoretischen Diskursen steckenbleiben. Wenn kartographische Visualisierungen sinnvoll durchgeführt werden sollen, müssen in jedem Fall die relevanten Faktoren bekannt sein. Kühne & Weber (2016,

p. 207) kommen diesbezüglich zu dem Ergebnis, dass neben den relativ greifbaren Faktoren Naturschutz, Gesundheit, Tourismus, Grundstückswerte sowie Rücksicht auf lokale Bevölkerung auch emotionale Bezüge, wie Landschaftsästhetik, Heimatverbundenheit und NIMBY-Argumentationen, wichtige soziale und ökologische Beweggründe auf lokaler Ebene darstellen. Blaschke et al. (2013, p. 9) weisen aber auf die methodische Schwierigkeit hin, diese Beweggründe räumlich exakt zu erfassen, da sie nicht nur von der physisch messbaren Umwelt abhängen, sondern auch davon, wie Menschen Umwelt wahrnehmen. Auch die Frage, unter welchen Bedingungen Planungsprozesse gerecht ablaufen, kann aufgrund unterschiedlicher Wahrnehmungen nicht eindeutig beantwortet werden. Dennoch muss dem Aspekt der Gerechtigkeit beim Ausbau erneuerbarer Energien mehr Bedeutung beigemessen werden, da die Akzeptanz wesentlich davon bestimmt wird (Walter & Gutscher 2013). Gerechtigkeit, verstanden als Ausdruck von Chancen der Partizipation, könnte davon abhängen, welche Betreiberform lokal gewählt wird, inwieweit Anwohner über potenzielle und in Planung befindliche Projekte informiert werden, inwieweit sie in den Planungsprozess eingreifen, diesen mitgestalten können und inwiefern sie an der Wertschöpfung beteiligt sind.

2.2 Relationale Sichtweisen

Es kann bei GIS-gestützten Analysen nicht allein darum gehen herauszufinden, inwieweit bestimmte Räume mit Standortfaktoren ausgestattet sind und welche Distanzbeziehungen bestehen. Diese Vorgehensweise kann – entsprechend den Erkenntnissen relationaler Wirtschaftsgeographie (Bathelt & Glückler 2003) – das komplexe Verhalten von Anlagenbetreibern in räumlicher Perspektive nicht annähernd erfassen. Umso überraschender ist es, dass im Rahmen GIS-gestützter, die Projektentwicklung begleitenden Potenzialanalysen dieses unterkomplexe Analysieren das standardisierte Verfahren darstellt – vgl. Voivontas et al. (1998), Sørensen & Meibom (1999), Pokharel (2000), Amador & Domínguez (2006), Quinonez-Varela et al. (2007), Sunak et al. (2015) sowie Höfer et al. (2016). Zwar unternehmen die Studien den Versuch, die soziale Kompatibilität der Energiewende zu verbessern, jedoch kommen sie über simple Restriktionsanalysen sowie Abstandsberechnungen nicht hinaus. Selbst Studien, wie die von Höfer et al. (2016, p. 235), die nach eigener Einschätzung mit sehr großer Sensibilität für soziale Aspekte an die GIS-gestützte Planung erneuerbarer Energien herangehen, reduzieren die Standortpotenziale doch wieder nur auf vom Raum ausgehende Eigenschaften (z. B. Windpotenzial) sowie auf räumliche Distanzen (z. B. Distanz zum Straßennetz). In ihrem Verständnis wird eine große soziale Sensibilität von Planung dann erreicht, wenn über die offiziellen räumlichen Nutzungseinschränkungen hinaus noch größere Abstände zu sensiblen Orten eingenommen werden und zudem die Energiewende räumlich verlagert wird – weg von naturnahen, hin zu bereits vorbelasteten Räumen (z. B. industriell geprägte Gebiete) (Höfer et al. 2016, p. 232).

Diese übliche Strategie steht jedoch für die Weiterentwicklung einer veralteten Sichtweise, die von raumwirtschaftlichem Denken durchdrungen ist. Dies wird speziell in den Sensitivitätsanalysen offenbar, denn im Rahmen technoökonomischer Szenarien gehen Forscher immer wieder von gewinnmaximierendem Verhalten potenzieller Planer aus (Höfer et al. 2016, p. 239). Aus den verhaltenswissenschaftlichen Theorien ist jedoch bekannt, dass das Bild eines rational handelnden Menschen unrealistisch und durch Konzepte zu ersetzen ist, die auch den individuellen Fähigkeiten, Reflexen, Werten, Gewohnheiten und Informationen Relevanz beimessen (Simon 1976, p. 241). Nur durch das Einbeziehen dieser Betrachtungsebenen kann verstanden werden, was Sunak et al. (2015, p. 51) stellvertretend für viele weitere

GIS-gestützte Studien bei der Bewertung ihrer Ergebnisse irritiert, dass nämlich die tatsächlich existierenden erneuerbaren Energieanlagen kaum auf den Standorten zu finden sind, die nach den entsprechenden theoretischen Konzeptionen als optimal erscheinen. Dass beim Ausbau erneuerbarer Energien ein derart wissenschaftstheoretischer Rückstand vorliegt, ist angesichts der Größe und Bedeutung der Aufgabe fatal. Nicht zuletzt hat die geringe Akzeptanz von Maßnahmen zur Energiewende gezeigt, dass planerisches Handeln umfassender gedacht werden muss. Dieses Handeln ist von erheblichen soziokulturellen Konstruktionen durchdrungen und liegt damit auch jenseits von objektivierbaren standörtlichen Voraussetzungen und räumlichen Distanzen.

3 GIS-Planungstool – soziale und ökologische Auswirkungen von technologischem Fortschritt

3.1 Ausgangslage

Blaschke et al. (2013, pp. 4 f.) kritisieren, dass die Kategorie 'Energieräume' – die als räumliche, nicht als technologische Festlegung zu verstehen ist – in nahezu keinem der europäischen Länder Teil des grundlegenden Instrumentariums räumlicher Planung ist. Vielmehr dominieren gebietsbezogene Nutzungsregelungen, die bspw. über sog. Vorranggebiete dem Ausbau der Windenergie eine besondere Bedeutung beimessen (vgl. ROG § 7 Abs. 3 Nr. 1-3). Eine große technologische Offenheit wäre aber durchaus möglich, da an vielen Punkten der Erdoberfläche prinzipiell die Möglichkeit besteht, sowohl mittels Windkraft, als auch durch den Einsatz von Solar- oder Biomasseanlagen, regenerative Energie zu erzeugen. Angesichts des technologischen Fortschritts wirken nicht zuletzt immer weniger die technologiespezifischen, natürlichen Standortfaktoren raumdifferenzierend, als vielmehr die technologieübergreifenden sozialen Rahmenbedingungen (Bosch et al. 2016, p. 30). Es sollte folglich nicht darum gehen, nur das technische Potenzial einer ganz bestimmten Art der Energieerzeugung in den Fokus zu rücken und nur ihre Optimierung in Richtung Kostenreduktion, Emissionseinsparung oder Energieertrag voranzutreiben (Shove 1998, pp. 1106 ff.). Vielmehr ist es angebracht, das technische Potenzial der gesamten Bandbreite an Energieerzeugungsanlagen miteinzubeziehen, und dies stets vor dem Hintergrund des lokalen sozialen und ökologischen Kontextes, in dem sie ausgebaut werden sollen (Cowell 2010, p. 222). Die dynamischen technischen Potenziale erneuerbarer Energien führen so zu einem technologischen Wettbewerb um die beste räumliche Eignung (Palmas et al. 2014, p. 15). Diese Perspektive erlaube es, die wechselnden Eigenschaften von Technologien in Form möglicher 'geographischer Zukünfte' abzubilden und der Energiewende dadurch größtmögliche räumliche Effizienz sowie Akzeptanz zu verleihen. Nach Palmas et al. (2014, p. 16) müssten hierzu jene erneuerbaren Energien identifiziert werden, deren gegenwärtige technische Charakteristika zu den sozioökonomischen Voraussetzungen potenzieller Energieräume passen würden. Neue technologische Lösungen würden dann dazu führen, dass erneuerbare Energien besser mit den ökologischen und sozialen Bedürfnissen sensibler Räume vereinbar sind und so den Entscheidungsraum für einzelne Technologien vergrößern und andere ggf. verdrängen. Die methodische Schwierigkeit besteht jedoch darin, die kurzen Intervalle technologischen Fortschritts mit den langfristigen Rhythmen räumlicher Planungsanpassung zu verknüpfen. Die Erarbeitung räumlich-technologischer Szenarien, die neben ökonomischen auch soziale und

ökologische Parameter berücksichtigen, stellt dabei einen geeigneten Weg dar, wie nachfolgend am Beispiel eines innovativen GIS-Tools dargestellt wird.

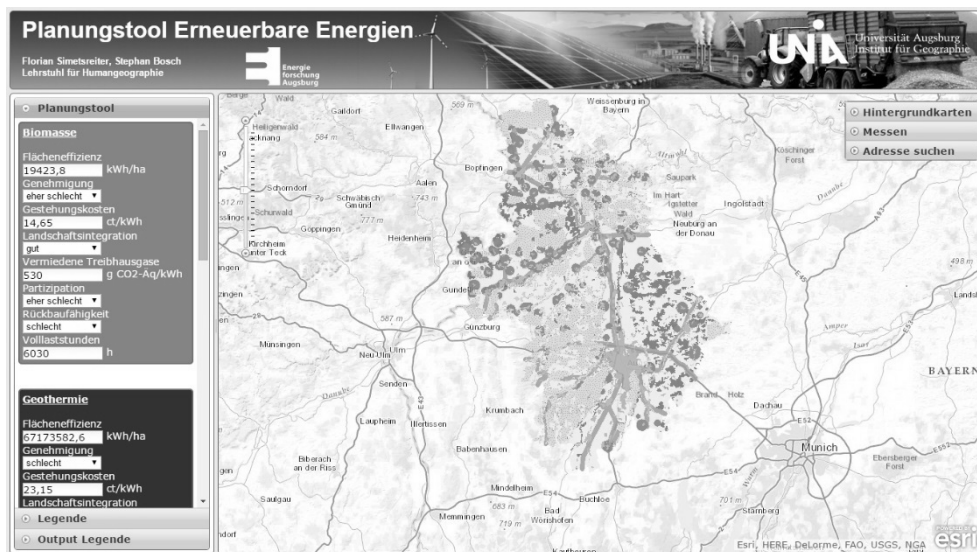


Abb. 1: Interaktive Web-Anwendung zur Planung von erneuerbaren Energien

3.2 Innovation und räumliche Kategorisierung

Das entwickelte GIS-Tool unterscheidet sich von den herkömmlichen Produkten dadurch, dass alle Formen von erneuerbaren Energien betrachtet und anhand zahlreicher Parameter in ihrer Standorteignung verglichen werden können. Dadurch wird der zu Beginn der Studie kritisierte technologische Zieldeterminismus durch ein ergebnisoffenes Auswahlverfahren abgelöst. Zudem werden den klassischen ökonomischen Parametern auch schwer quantifizierbare Parameter, wie Landschaftsästhetik und Partizipation, zur Seite gestellt. Diese Parameter haben in den nationalen Zielsetzungen bislang noch keinen Widerhall finden können. Zur Operationalisierung des Parameters Partizipation bspw. werden die regionalen Häufigkeiten von technologiespezifischen Betreiberformen erhoben und ständig aktualisiert, um daraus die Wahrscheinlichkeit einer kommunikativen oder finanziellen Teilhabe ableiten zu können. Die entscheidende Innovation des GIS-Tools besteht jedoch darin, dass es zum ersten Mal möglich ist, die Veränderung ökonomischer, ökologischer und sozialer Parameter erneuerbarer Energien räumlich schnell zu erfassen und zu visualisieren. Die Benutzeroberfläche enthält hierzu variable Eingabefelder zu den Technologievoraussetzungen (Gestehungskosten, Flächeneffizienz, Partizipation) aber auch zur Klassifizierung der Teilräume und ihrer Anforderungskataloge. Nach Bestätigung der Eingabe eines neuen Parameter-Wertes kann die Veränderung des Standortmusters erneuerbarer Energien zwischen t_0 und t_1 berechnet und unmittelbar visualisiert werden. Dadurch wird ersichtlich, welche Energieformen eine große Robustheit gegenüber Veränderung wirtschaftlicher, gesellschaftlicher und technologischer Art aufweisen und welche Energieformen schnell von konkurrierende Technologien verdrängt werden. Um die sozialen und ökologischen Auswirkungen technischen Fort-

schritts in räumlicher Perspektive beispielhaft erfassen zu können, wurde das GIS-Planungstool auf die bayerische Planungsregion 9 angewendet (Simetsreiter & Bosch, 2015). Diese Region umfasst die Landkreise Dillingen, Donau-Ries, Aichach- Friedberg und Augsburg sowie die kreisfreie Stadt Augsburg. Wasserflächen und bebaute Flächen stellten zu Beginn der Analysen die einzigen Restriktionsflächen dar und wurden deshalb aus den vorläufigen Modellberechnungen ausgeschlossen. Das bedeutet, dass die üblichen räumlichen Einschränkungen, die im Kontext von Regionalplanung berücksichtigt werden müssen – bspw. Schutzgebiete –, sowie die notwendigen Abstandsflächen zunächst ignoriert wurden, da sie Ausdruck einer inkrementalistischen Planungskultur sind und deshalb nicht bereits zu Beginn alle räumlich-technologischen Optionen ausschließen, sondern erst am Ende einer ausgeklügelten Planungsstrategie eingesetzt werden sollten. Um die variierenden räumlichen Voraussetzungen für erneuerbare Energien isolieren zu können, wurden des Weiteren fünf grundlegende Raumkategorien erstellt, die sich hinsichtlich ihrer Sensibilität gegenüber einer Technisierung durch erneuerbare Energien erheblich voneinander unterscheiden: Vorbelasteter Raum, (Bahnstrecken, Autobahnen und Konversionsflächen inkl. Puffer), Forstwirtschaftlicher Raum (Nadel- und Laubwälder), Landwirtschaftlicher Raum (Acker- und Grünland), Dienstleistungsraum (touristisch bedeutsame Kulturlandschaftselemente inkl. Puffer) und Verletzlicher Raum (Naturschutzgebiete, FFH-Gebiete etc.). Als Datengrundlage der Regionalisierung dienten ausschließlich Open Data, die von der Europäischen Umweltagentur, der Bayerischen Vermessungsverwaltung, dem Bayerischen Landesamt für Umwelt, den Landratsämtern der Landkreise und aus OpenStreetMap zur Verfügung gestellt wurden. Um Fehler in der Topologie zu vermeiden, wurden die Daten mithilfe unterschiedlicher Werkzeuge (z. B. Erase-Tool) mit dem ArcGIS Model Builder bearbeitet.

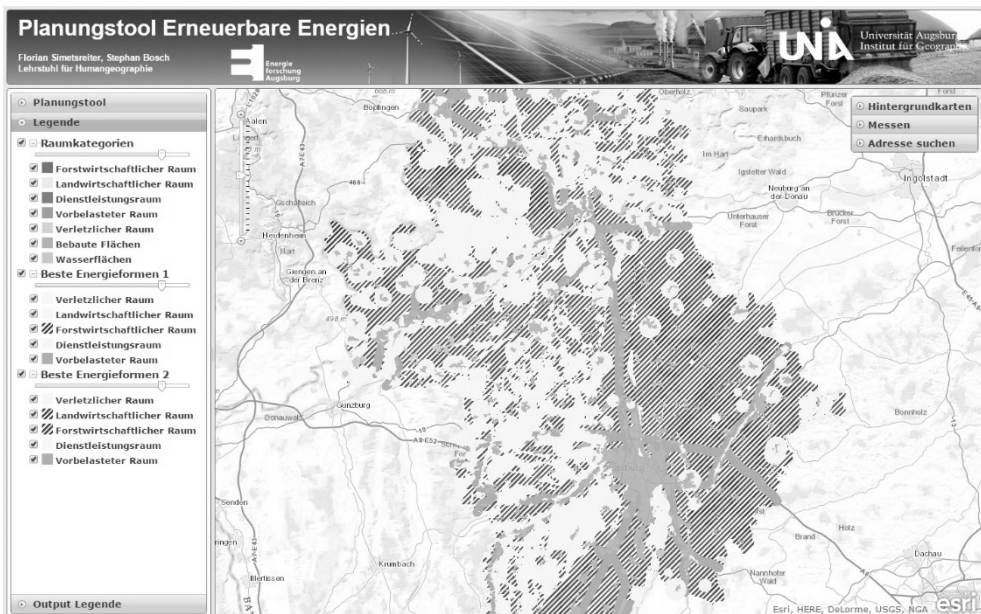


Abb. 2: Räumliche Simulationen und technologische Flächenpotenziale

3.3 Planungsmodell

Das Planungsmodell wurde mit dem ArcPy site package entwickelt und diente zur Überprüfung der Kompatibilität von Photovoltaik, Biomasse, Windenergie und Geothermie mit den oben definierten Teilräumen (Simetsreiter & Bosch 2015, p. 15). Hierfür wurden acht Parameter bestimmt, anhand derer analysiert wurde, inwieweit die technologischen Eigenschaften einer erneuerbaren Energie mit den Voraussetzungen eines Teilraumes übereinstimmen. Folgende Parameter wurden dabei operationalisiert: Gestehungskosten, Volllaststunden, Regelbarkeit, Flächeneffizienz, Genehmigung, Landschaftsintegration, Ökobilanz, Partizipation und Rückbaufähigkeit. Das Tool erlaubt es festzustellen, ob der Parameterwert einer spezifischen Energieform gleich oder höher dem korrespondierenden Parameterwert eines Teilraumes ist. Bei einem Modelldurchlauf wird dies für alle erneuerbaren Energien sowie für alle Teilräume durchgeführt. Diejenige Energieform, die am meisten Übereinstimmungen mit einem bestimmten Teilraum aufweist, wird schließlich zugeordnet. Da es mittels der Eingabemaske möglich ist, beliebige Werte im Hinblick auf die technologischen Voraussetzungen erneuerbarer Energien einzutragen, können technologische Fortschritte sowie die entsprechenden räumlichen Folgen beliebig simuliert werden. Publiziert wurde das ArcPy-Modell als Geoprocessing Service auf einem ArcGIS Server. Dabei wurde das Modell in einer mit der ArcGIS API for Javascript entwickelten Nutzeroberfläche eingebettet (Simetsreiter & Bosch 2015, p. 15). Im Rahmen dieser Web-Anwendung ist es Nutzern möglich, interaktiv die Parameterwerte für die erneuerbaren Energien zu variieren (Abb. 1). Der Anwender kann sich mit nur wenigen Klicks einen Überblick über die optimale räumliche Zuordnung von erneuerbaren Energien verschaffen. Indem die Kartendarstellungen vorheriger Modelldurchläufe in der Anwendung erhalten bleiben, bietet sich die Gelegenheit, unterschiedliche Szenarien auf Basis unterschiedlicher technologischer Voraussetzungen zu vergleichen (z. B. räumliche Implikationen verringerter Gestehungskosten) (Abb. 2).

4 Ausblick – ein anwendungsorientiertes GIS-Planungstool

Um einem GIS-Tool noch mehr Planungsrelevanz verleihen zu können, muss die Wirtschaftlichkeit von Standorten exakter darstellbar sein, als dies mittels des oben vorgestellten Tools möglich ist. Es erscheint daher angebracht, ausgeklügelte Ertrags- und Kosten-Potenziale erneuerbarer Energien auch zur Grundlage jener GIS-Tools zu machen, die einen sozial verträglichen Ausbau anstreben. Dies liegt daran, dass ein sozial geeigneter Standort niemals eine räumliche Option darstellen wird, solange dieser nicht auch wirtschaftlich ist. Deshalb ist es notwendig, den jeweiligen Untersuchungsraum anhand räumlicher Ertragspotenziale (Windhöufigkeit, Globalstrahlung, Biomasse) sowie standortindividueller Kosten (Pachtkosten, Netzanschlusskosten, Zuwegung) zu klassifizieren. Die ökonomischen Aspekte können dabei auf Energie pro Fläche (kWh/m^2) und standortspezifische Gestehungskosten (ct/kWh) normiert werden. Speziell im gesetzlichen Rahmen der technologieoffenen Ausschreibungen wird es dadurch möglich sein, die räumliche Konkurrenzsituation zwischen Wind- und Solarenergie zu simulieren. Ausgehend von den ökonomisch optimalen Lösungen gilt es dann, soziale und ökologische Parameter sowie parameterspezifische Gewichtungen einzuführen. Diese Parameter sollen dabei ein Abweichen vom ökonomisch optimalen Standort aufgrund sozialer oder ökologischer Bedenken erlauben, ohne dass damit die räumliche Gewinnzone verlassen wird. Bei der Operationalisierung der Parameter müssen jedoch die oben beschrie-

benen theoretischen Erkenntnisse aus den Sozial- und Wirtschaftswissenschaften berücksichtigt und die bislang vorherrschenden trivialen Annäherungen an soziale Phänomene überwunden werden. Geeigneter als das Erfassen von Standortfaktoren und räumlichen Distanzen ist vielmehr die GIS-gestützte Integration einer sozialen Distanz, die Devine-Wright (2005, p. 130) für entscheidend erachtet und die als Maß für Gerechtigkeit verstanden werden kann. Angesichts sozialer Distanzen (z. B. Partizipation) können räumliche Distanzen schnell an Aussagekraft verlieren. Potenzialanalysen müssen sich folglich den soziokulturellen sowie sozioökonomischen Feinheiten regionaler und lokaler Energiewenden stellen.

Literatur

- Aitken, M. (2010). Why we still don't understand the social aspects of wind power: A critique of key assumptions within the literature. *Energy Policy*, 38, 1834–1841.
- Amador, J., & Domínguez, J. (2006). Spatial analysis methodology applied to rural electrification. *Renewable Energy*, 31(10), 1505–1520.
- Bathelt, H., & Glückler, J. (2003). Toward a relational economic geography. *Journal of Economic Geography*, 3(2), 117–144.
- Blaschke, T., Biberacher, M., Gadocha, S., & Schardinger, I. (2013). “Energy landscapes”: Meeting energy demands and human aspirations. *Biomass and Bioenergy*, 55, 3–16.
- Bosch, S., Rathmann, J., & Simetsreiter, F. (2016). Raumverträglicher Ausbau von erneuerbaren Energien – ein alternativer Standortplanungsansatz für eine nachhaltige Energiewende. *Geographica Helvetica*, 71(1), 29–45.
- Bulkeley, H., Watson, M., Hudson, R., & Weaver, P. (2005). Governing municipal waste: towards a new analytical framework. *Journal of Environmental Policy and Planning*, 7(1), 1–24.
- Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (BMJV) (2017). *Raumordnungsgesetz. § 7 Allgemeine Vorschriften über Raumordnungspläne*. Retrieved Jan 18, 2018, from http://www.gesetze-im-internet.de/rog_2008/_7.html.
- Cowell, R. (2010). Wind power, landscape and strategic, spatial planning – The construction of 'acceptable locations' in Wales. *Land Use Policy*, 27, 222–232.
- Demeritt, D. (2001). Scientific forest conservation and the statistical picturing of nature's limits in the Progressive era United States. *Society and Space*, 19, 431–459.
- Einig, K., & Zaspel-Heisters, B. (2015). Eine Bilanz der Steuerung der Windenergienutzung durch die Raumordnung nach Fukushima. In: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Ed.), *Informationen zur Raumentwicklung*, (6), (pp. 571–589). Bonn.
- Ellis, G., Barry, J., & Robinson, C. (2007). Many ways to say 'no', different ways to say 'yes': applying Q-methodology to understand public acceptance of wind farm proposals. *Journal of Environmental Planning and Management*, 50(4), 517–551.
- Grassi, S., Chokani, N., & Abhari, R. S. (2012). Large scale technical and economical assessment of wind energy potential with a GIS tool: Case study Iowa. *Energy Policy*, 45, 73–85.
- Höfer, T., Sunak, Y., Siddique, H., & Madlener, R. (2016). Wind farm siting using a spatial Analytic Hierarchy Process approach: A case study of the Städteregion Aachen. *Applied Energy*, 163(1), 222–243.
- Kühne, O., & Weber, F. (2016). Zur sozialen Akzeptanz der Energiewende. *UmweltWirtschaftsForum*, 24(2-3), 207–213.

- Meyer, P., Demant, L., & Prinz, J. (2016). Landnutzung und biologische Vielfalt in Deutschland – Welchen Beitrag zur Nachhaltigkeit können Großschutzgebiete leisten? *Raumforschung und Raumordnung*, 74(6), 495–508.
- Murdoch, J. (2000). Space against time: competing rationalities in planning for housing. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 25(4), 503–519.
- Palmas, C., Siewert, A., & V. Haaren, C. (2014). Exploring the decision-space for renewable energy generation to enhance spatial efficiency. *Environmental Impact Assessment Review*, 52, 9–17.
- Pokharel, S. (2000). Spatial analysis of rural energy system. *International Journal of Geographical Information Science*, 14(8), 855–873.
- Quinonez-Varela, G., Cruden, A., Graham, C., Punton, B., Blair, L., & Thomson, J. (2007). A GIS/PSS planning tool for the initial grid connection assessment of renewable generation. *Renewable Energy*, 32(5), 727–737.
- Shove, E. (1998). Gaps, barriers and conceptual chasms: theories of technology transfer and energy in buildings. *Energy Policy*, 26(15), 1105–1112.
- Simetsreiter, F., & Bosch, S. (2015). Energiereource Raum. *arcAKTUELL – Über und unter der Erde: Umgang mit Ressourcen*, (3), 14–15.
- Simon, H. A. (1976). *Administrative Behavior. A Study of Decision – Making Processes in Administrative Organization*. Third Edition. London.
- Sørensen, B., & Meibom, P. (1999). GIS tools for renewable energy modelling. *Renewable Energy*, 16(1-4), 1262–1267.
- Sunak, Y., Höfer, T., Siddique, H., Madlener, R., & De Doncker, R. W. (2015). A GIS-based Decision Support System for the Optimal Siting of Wind Farm Projects. *E.ON Energy Research Center Series*, 7(2), 1–64.
- Venjakob, J. (2012). Das Thema „Energie“ in der wissenschaftlichen Zukunftsforschung – Mögliche Beiträge einer Geographischen Energieforschung. *Zeitschrift für Zukunftsforschung*, (1). Retrieved Jan 19, 2018, from <http://www.zeitschrift-zukunftsforschung.de/ausgaben/2012/1/3413>.
- Voivontas, D., Assimacopoulous, D., Mourelatos, A., & Corominas, J. (1998). Evaluation of Renewable Energy Potential Using GIS Decision Support System. *Renewable Energy*, 13(3), 333–344.
- Walter, G., & Gutscher, H. (2013). Generelle Befürwortung von Windkraftanlagen vor Ort vs. Befürwortung spezifischer Windkraftprojekte: Der Einfluss von Projekt- und Verfahrensparametern. *Umweltpsychologie*, 17(2), 124–144.
- Zaspel-Heisters, B. (2015). Welcher Raum bleibt für den Ausbau der Windenergie? Analyse des bundesweiten Flächenpotenzials in Deutschland. In: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Ed.), *Informationen zur Raumentwicklung*, (6), (pp. 543–569). Bonn.
- Zoellner, J., Schweizer-Ries, P., & Wemheuer, C. (2008). Public acceptance of renewable energies: Results from case studies in Germany. *Energy Policy*, 36(11), 4136–4141.