Universität Rostock; Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung

GIS-BASIERTE ERMITTLUNG DER FLÄCHENINANSPRUCHNAHME FÜR ENERGIEINFRASTRUKTUREN IN DEUTSCHLAND

Nils Koldrack, Ralf Bill, Ulrich Walz

Zusammenfassung: Die Energiewende in Deutschland ist in vollem Gange. Immer mehr Flächen werden für die erneuerbaren Energien benötigt und in der Folge verändert sich das Landschaftsbild der Bundesrepublik Deutschland. In der hier vorgestellten Arbeit (Koldrack 2013) wird versucht, die aktuelle Flächeninanspruchnahme für Anlagen zur Gewinnung regenerativer Energie zu ermitteln. Dabei wird überprüft, inwieweit aus vorhandenen Geodaten (z. B. ATKIS) die entsprechenden Informationen entnommen werden können und welche Datengrundlagen deutschlandweit zusätzlich herangezogen werden müssen. Im Ergebnis wird die aktuelle Flächeninanspruchnahme für Anlagen für erneuerbare Energien (Windenergieanlagen, Biomasseanlagen, Photovoltaik-Freiflächenanlagen, Wasserkraftwerke, Pumpspeicherkraftwerke und Geothermieanlagen) in Deutschland analysiert und dargestellt. Konkret wurde dabei eine aktuelle Flächeninanspruchnahme von insgesamt ca. 180 km² festgestellt (bis 2012). Dabei nehmen die Photovoltaik-Freiflächenanlagen mit 60,2 % den höchsten Flächenanteil ein. Wird jedoch die benötigte Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe für die Biomassenanlagen in die Rechnung einbezogen, so liegt der aktuelle Flächenbedarf bei insgesamt ca. 28.000 km². Dies entspricht etwa 7,8 % der Fläche der Bundesrepublik. Deutlich wurde in der Untersuchung aber auch, dass noch erhebliche Datenlücken bestehen. Die Flächeninanspruchnahme wird daher eher unterschätzt.

Schlüsselwörter: GIS, erneuerbare Energien, Flächeninanspruchnahme, ATKIS

GIS-BASED CALCULATION OF THE CURRENT LAND USE FOR RENEWABLE ENERGY IN GERMANY

Abstract: The change towards a sustainable energy policy in Germany is in progress. The characteristic landscape of Germany will change conspicuously and more and more areas are required for renewable energy. The master's thesis (Koldrack 2013) tries to acquire the current land use of the wind turbines, biogas plants, open space photovoltaic units, hydroelectric power stations and the technical infrastructure. Similarly it is investigating to which point the ATKIS data can be used for the relevant information and which alternative data bases are needed. The spatial distribution of the renewable energy systems is being visualized and analyzed. In concrete terms, a current land use of 180 km² was observed (up to 2012). Thereof the open space photovoltaic units take up 60.2 % and thus the most of the area. If the required cultivable acreage for renewable resources for biogas plants included, so the current total land requirement is about 28,000 km². This represents about 7.8 % of the area of the Federal Republic of Germany. During the investigation it became clear, that there are still significant gaps in the data. Therefore the results are underestimated. Further the master's thesis shows in which areas the systems were built and how the land use of the systems has been changed since 2006. Finally the separation of continuous open spaces by the high-voltage grid and large-scale structures of conglomerations of some of these systems was evaluated.

Keywords: GIS, renewable energy, land use, ATKIS

Autoren

Nils Koldrack
Universität Rostock
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät
Justus-von-Liebig-Weg 6
D-18059 Rostock
E: nils.koldrack@uni-rostock.de

Prof. Dr.-Ing. Ralf Bill
Universität Rostock
Professur für Geodäsie und Geoinformatik
Justus-von-Liebig-Weg 6
D-18051 Rostock
E: ralf.bill@uni-rostock.de

PD Dr. habil. Ulrich Walz
Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung
Weberplatz 1
D-01217 Dresden
E: u.walz@ioer.de

1 EINFÜHRUNG

Der Ausstieg aus der Kernenergienutzung bis spätestens Ende 2022 öffnet das Tor zum Einstieg in das Zeitalter der erneuerbaren Energien. Umweltfreundlich und sicher soll das Energiesystem der Zukunft sein. Wie viel und welche Flächen der dynamische Ausbau der erneuerbaren Energien in Anspruch nimmt und wie sehr die Modernisierung der Stromnetze das Landschaftsbild verändern wird, ist häufig noch unbekannt. Gerade die Flächeninanspruchnahme für erneuerbare Energien ist jedoch vermutlich eine der aktuell größten Triebkräfte für Landschaftsveränderungen. Für die Berechnung der Flächeninanspruchnahme spielt die Nutzung von Geo-Informationssystemen (GIS) und räumlichen Geodaten eine wichtige Rolle (Klärle 2012).

Im Rahmen einer am Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR) in Dresden erarbeiteten Masterarbeit (Koldrack 2013) wurde die Fläche, die durch die erneuerbaren Energien in Deutschland beansprucht wird, sowie deren vorherige Nutzung analysiert. Insbesondere wurden dabei Windenergieanlagen, PV-Freiflächenanlagen, Biomasseanlagen und Pumpspeicherkraftwerke untersucht. Anlagen der Geothermie und Laufwasserkraftwerke wurden ebenfalls betrachtet, spielen aber aufgrund der geringen Anlagenanzahl bzw. Flächeninanspruchnahme in der Gesamtfläche keine besondere Rolle. Solaranlagen auf Hausdächern wurden nicht einbezogen, da diese auf bereits versiegelter Fläche installiert sind. Ziel war es,

- die aktuelle Flächeninanspruchnahme für Anlagen zu erheben und auszuwerten,
- zu prüfen, welche Datengrundlagen für eine aktuelle Erhebung zur Verfügung stehen,
- Datenlücken herauszuarbeiten und
- Möglichkeiten der regelmäßigen Wiederholung (Monitoring) aufzuzeigen.

Hintergrund ist die Entwicklung neuer Indikatoren für den IÖR-Monitor zur Siedlungs- und Freiraumentwicklung (www.ioer-monitor.de). Dieses im Internet frei verfügbare System bietet räumliche Indikatoren für die ganze Bundesrepublik (Walz & Schumacher 2010, Meinel et al. 2013).

Bei der Recherche nach vorhandenen Analysen und Methoden zur Berechnung der Flächeninanspruchnahme verschiedener Sparten der erneuerbaren Energien zeigte sich, dass es bisher keine Informationen zu den unterschiedlichen Anlagen der Gewinnung von erneuerbaren Energien insgesamt für die Bundesrepublik gibt, die räumlich detaillierte (georeferenzierte) Aussagen zu den jeweiligen Anlagenarten machen. In den vorhandenen sektoralen Studien weichen die Angaben zur Flächenbeanspruchung zudem recht weit vonein-

Datenquelle	Attribut	Vollständigkeit	Räumliche Verortung	Regelmäßige Fortführung
Windkraft				
ATKIS Basis-DLM	„AX_BauwerkeOderAnlageFuerIndustrieUndGewerbe"; Wert „1220" „HHO" für die Objekthöhe	gut	ja	ja
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie	Unterteilung in: genehmigt, in Betrieb, beantragt, im Bau	sehr gut	ja	ja
Fraunhofer Institut für Windenergie & Energiesystemtechnik (IWES)	Anzahl, Nennleistung, Größenentwicklung	gut	nein	ja
EEG	Datum-Inbetriebnahme, Nennleistung	gut	nur PLZ	ja
Photovoltaik-Freiflächenanlagen				
ATKIS Basis-DLM	„AX_IndustrieUndGewerbefläche"; Wert „PEG = 3000"	gering	ja	ja
EEG-Daten	Datum-Inbetriebnahme, Nennleistung	gut	nur PLZ	ja
Digitale Raumordnungskataster der Länder	Sehr unterschiedliche Ausweisung, Aktualität und Detailgenauigkeit	schlecht, unvollständig	ja	ja
Wasserkraft-, Geothermie- und Biomasseanlagen				
ATKIS Basis-DLM	„AX_IndustrieUndGewerbefläche"; Wert „PEG = 1000; 6000; 7300	gering, lückenhaft	ja	ja
EEG-Daten	Datum-Inbetriebnahme, Nennleistung	gut	ja	ja

Tabelle 1: Geodaten für die räumliche Verortung von Anlagen zur regenerativen Energiegewinnung

ander ab und haben auch keinen konkreten Zeitbezug.

Im Fall der Freiflächen-Solaranlagen gibt beispielsweise die Potenzialanalyse der Firma EuPD Research an, dass 2012 in Deutschland auf einer Fläche von 10.300 ha solche Anlagen installiert waren (EuPD 2012). Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit hingegen schätzt, dass Ende 2011 ca. 12.100 ha dafür beansprucht wurden (OKFN 2012). Auf eine höhere Flächenangabe kommt die Agentur für Erneuerbare Energien, die ca. 14.000 ha benennt (AEE 2010).

Für die Biomasseanlagen veröffentlicht das Deutsche Biomasseforschungszentrum seit 2001 zwar einen jährlichen Überblick über den Anlagenbestand für jedes Bundesland, es gibt aber keine Angaben zur direkten Flächeninanspruchnahme durch die Anlagen (DBFZ 2012). Die Schätzungen der für Biomasseanlagen genutzten landwirtschaftlichen Flächen gehen ebenfalls relativ weit auseinander. Die Akademie für Raumforschung und Landesplanung gibt beispielsweise an, dass im Jahr 2011 auf ca. 2,3 Mio. ha landwirtschaftlicher Nutzfläche nachwachsende Rohstoffe zur Energiegewinnung angebaut wurden (ARL 2012). Die Agentur für Erneuerbare Energien schätzte hingegen, dass eine Fläche von 4,2 Mio. ha beansprucht wurde (AEE 2010).

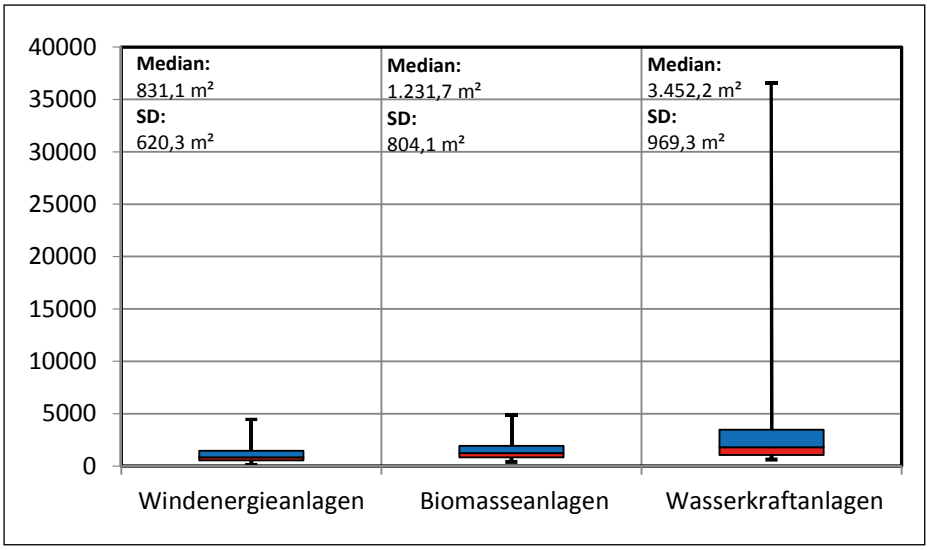

Abbildung 1: Boxplot, Flächengrößen der erneuerbaren Energieanlagen in ATKIS 2012

2 GEODATEN ZUR VERORTUNG DER FLÄCHENINANSPRUCHNAHME

Für ein regelmäßiges Monitoring der Flächeninanspruchnahme durch Anlagen zur Gewinnung regenerativer Energien ist eine Datengrundlage notwendig, die möglichst regelmäßig und mit hoher Detailgenauigkeit erhoben wird. Dazu bietet sich als deutschlandweit verfügbare Geodatenquelle das Basis-DLM (ATKIS) der Landesvermessungsverwaltungen an. Das Hauptaugenmerk der Untersuchung liegt daher auf den ATKIS-Daten. Es soll insbesondere aufgezeigt werden, inwieweit ATKIS solche Informationen von seiner Datenstruktur her abbilden kann bzw. dies tatsächlich tut. Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl weiterer Datenquellen, die solche Informationen anbieten (Tabelle 1). Dabei ist zu fragen, inwieweit diese räumlich verortet sind, bzw. Flächenbezug besitzen und ob eine regelmäßige Fortführung gesichert ist.

Es zeigte sich schnell, dass aus den EEG-Daten ein relativ guter Überblick zur Verteilung der einzelnen Anlagen gewonnen werden kann. Allerdings sind diese Daten nur über die Postleitzahl verortet und in manchen Bereichen (z. B. Biogasanlagen) ebenfalls unvollständig. Die ATKIS-Daten beinhalten im AAA-Modell nach von der Definition der vorgesehenen zu erfassenden Elemente und der Attributierung die allermeisten Anlagen für die Gewinnung erneuerbarer Energien, sind aber sehr unvollständig, was die tatsächlichen Inhalte angeht.

Bei den anderen Datengrundlagen handelt es sich meist entweder um einmalige Untersuchungen oder diese sind nur sektoral angelegt bzw. nicht auf das gesamte Bundesgebiet bezogen. Außerdem sind oftmals die zugrunde liegenden Geodaten nicht zugänglich.

Für die Windenergieanlagen auf dem Festland bietet bisher nur ATKIS eine gute Datengrundlage. Unter der Objektart „AX_BauwerkeOderAnlageFuerIndustrieUndGewerbe" mit dem Wert „1220" wurden in den Daten aus dem Jahr 2012 insgesamt 21.137 Anlagen als punktförmige Objekte geführt. Durch den rasanten Anlagenzubau in ganz Deutschland ist es jedoch fast unmöglich, eine genaue Anzahl an Windenergieanlagen zu nennen. Das Fraunhofer Institut für Windenergie & Energiesystemtechnik (IWES) gab am 01.12.2012 an, dass in der Bundesrepublik 23.043 Anlagen installiert wurden (IWES 2012). Der Deutsche WindGuard hingegen schätzte die Anzahl am 15.07.2012 auf 22.664 (DWG 2012). Im AAA-Modell von ATKIS wird für knapp 40 % der Windenergieanlagen unter der Kennung „HHO" die Objekthöhe (Durchschnittshöhe 103,4 m) geführt. Der Freistaat Sachsen ist dabei das einzige Bundesland, das jeder seiner Anlagen eine Höhe zugeordnet hat. Thüringen ist wiederum das einzige Bundesland, welches zu den Windkraftanlagen eine Fläche angibt. Etwa 87 % der Anlagen in Thüringen ist eine „Primärenergie-Fläche" zugeordnet. Die Durchschnittsgröße beträgt dabei 1.044 m². Das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung schätzt die Flächeninanspruchnahme je Anlage ähnlich ein. Es gibt an, dass für eine Windenergieanlage eine Fläche von 0,1 ha benötigt wird. Anhand dieser Angaben konnte eine flächenmäßige Hochrechnung erfolgen.

Das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie sammelt und stellt Daten für die **Offshore-Windenergieanlagen** der Nord- und Ostsee bereit. Im Gegensatz zu den Daten der Onshore-Anlagen liegen die Daten der Offshore-Anlagen als flächenhafte Objekte vor. Im deutschen Ostseeraum werden momentan 7 km² durch Offshore-Anlagen genutzt, in der Nordsee sind es lediglich 3,9 km² (BSH 2012).

Die **Photovoltaik-Freiflächenanlagen** sind zwar eindeutig im ATKIS-Objektartenkatalog in der Objektart „AX_IndustrieUndGewerbefläche" unter der Kennung „PEG 3000" geführt, jedoch werden sie von den Ländern bisher nur unvollständig dokumentiert. Für das Jahr 2012 sind ingesamt 713 PV-Freiflächenanlagen in den ATKIS-

Daten geführt. Die Daten des Erneuerbare-Energien-Gesetzes vom 04.06.2013 besagen hingegen, dass 3.288 Freiflächen in der Bundesrepublik Deutschland verteilt sind. Da die Anlagenbetreiber gemäß §§ 45 und 46 EEG verpflichtet sind, Daten wie Standort, Leistung und Datum der Inbetriebnahme zu melden, kann von einer sehr guten Aktualität der EEG-Daten ausgegangen werden. Weil die Anlageninformationen der EEG-Daten jedoch nicht georeferenziert sind, sondern nur die jeweilige Postleitzahl, den Ort und bestenfalls noch die Straße beinhalten, wurde über die Hinzunahme anderer Datenquellen (z. B. Geoportale Baden-Württemberg und Brandenburg, Raumplanungsinformationssystem Sachsen) ein Großteil der PV-Freiflächenanlagen mithilfe der Digitalen Orthophotos (DOP) des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie (BKG) manuell erfasst. Aufgrund der mangelnden Aktualität der Luftbilder konnten jedoch die neueren Anlagen nicht dokumentiert werden. Das Internetportal „Energie-Atlas Bayern 2.0" vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz beinhaltet georeferenzierte PV-Freiflächenanlagen für den Freistaat Bayern und stellt die Daten als Download zur Verfügung. Insgesamt werden 1.984 Freiflächenanlagen geführt (StMUG 2013). Da die Anlagen jedoch nicht als Flächendaten vorliegen, sondern nur als Punkte georeferenziert wurden, wurde ebenso wie bei den EEG-Daten versucht, die Freiflächenanlagen mittels der DOP der BKG zu erfassen. Insgesamt konnten Flächendaten für 1.470 PV-Freiflächenanlagen gesammelt werden.

Die **Wasserkraft-, Geothermie- und Biomasseanlagen** sind zwar ebenso eindeutig wie die PV-Freiflächenanlagen im ATKIS-Objektartenkatalog in der Objektart „AX_IndustrieUndGewerbefläche" definiert, jedoch ebenfalls nur lückenhaft geführt. Der ATKIS-Datensatz von 2012 führt insgesamt 1.319 Wasserkraftanlagen mit einer Durchschnittsfläche von 3.452,2 m²/Anlage. Die EEG-Daten besagen hingegen, dass es insgesamt 7.449 Anlagen zur Strombereitstellung aus Wasserkraft in Deutschland gibt. Sieben Geothermieanlagen zur Stromproduktion sind in den EEG-Daten dokumentiert, während ATKIS dagegen Informationen zu 15 Anlagen führt, die zur Strom- und Wärmegewinnung dienen (mit Ø 8.286,1 m² Fläche). Laut EEG-Daten verteilen sich im Juli 2013 14.348 Biomasseanlagen auf die Fläche der Bundesrepublik Deutschland. In den ATKIS-Daten sind es hingegen nur 1.397 Anlagen (mit Ø 1.325,6 m² Flächeninanspruchnahme). Da in den EEG-Daten für die Anlagen auch die Nennleistung angegeben wird, wurde im Rahmen der Untersuchung eine Methode zur näherungsweisen Berechnung der Flächeninanspruchnahme der benötigten Biomassefläche entwickelt. Um die Frage zu beantworten, wie viel Fläche zur Erzeugung von 1 MWh/a benötigt wird, musste der Substratverbrauch von Biomasseanlagen ermittelt werden. Hierfür wurden Informationen von Betreiberumfragen des DBFZ aus dem Jahr 2012 herangezogen (DBFZ 2012). Anhand von Durchschnittskenngrößen (Beispiel: um 1 MWh/a zu generieren, wird eine Fläche von 125 m² mit Energiepflanzen benötigt) wurde die Flächeninanspruchnahme berechnet. Für alle Substrate zusammengefasst gilt, dass durchschnittlich 726,7 m²

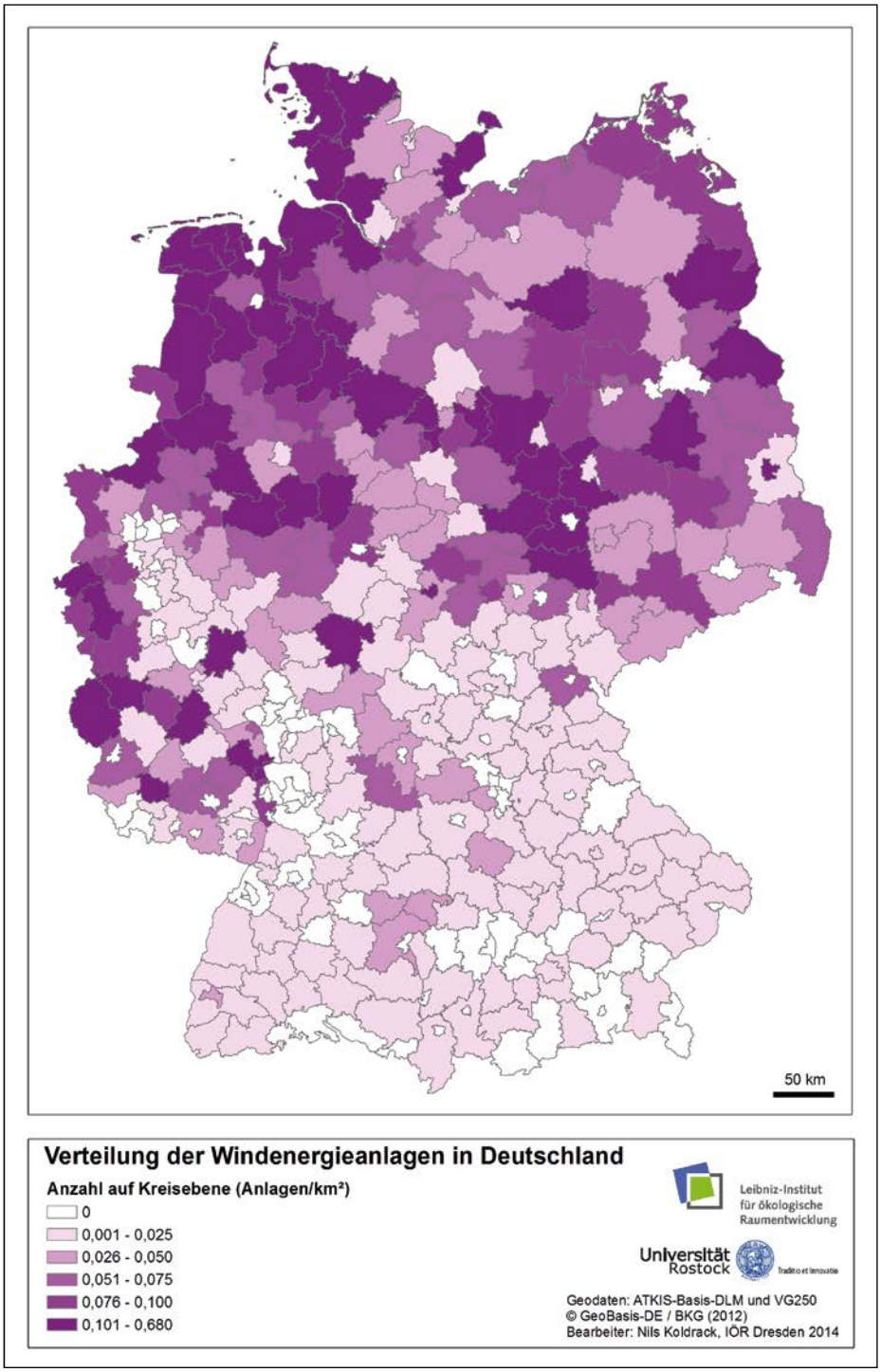

Abbildung 2: Verteilung der Windenergieanlagen in Deutschland

erforderlich sind, um 1 MWh/a zu erzeugen. Bei einer Stromproduktion der Biomasseanlagen von 36.427.461 MWh/a wird demnach eine mit Substraten bebaute Fläche von ca. 2,6 Mio. ha benötigt, d. h. in etwa die Fläche Mecklenburg-Vorpommerns. Bei dieser näherungsweisen Schätzung ist allerdings zu berücksichtigen, dass Substrate auch aus benachbarten Staaten der Bundesrepublik Deutschland importiert werden.

3 AUSWERTUNGEN FÜR AUSGEWÄHLTE ERNEUERBARE ENERGIEARTEN

In den nachfolgenden Abschnitten sind ausgewählte Ergebnisse aus Koldrack (2013) dargestellt.

3.1 WINDENERGIEANLAGEN

Knapp ein Viertel der 21.137 Windenergieanlagen in Deutschland sind in Niedersachsen (einschließlich Bremen) installiert worden (5.129), gefolgt von Nordrhein-Westfalen (2.809). Im Zeitraum von 2006 bis 2012 hatte Niedersachsen einen Anlagenzuwachs von 38,8 %, was im Hinblick auf die bereits hohe Anzahl von Windkraftanlagen im Jahr 2006 (3.695) immens ist. Das Land Brandenburg (inkl. Berlin), das in Bezug auf die Anlagenzahl auf Platz 3 liegt, besitzt mit 79,6 % die zweithöchste Zuwachsrate. Nur das Saarland hat mit 188,5 % eine größere Zuwachsrate, jedoch wies dieses kleinste der Flächenländer im Jahr 2012 nur 75 Windkraftanlagen auf. Bei der Betrachtung der Verteilung der Windkraftanlagen je km² auf Kreisebene (Abbildung 2) fällt wie erwartet auf, dass Norddeutschland über weite Bereiche deutlich höhere Werte aufweist als Süddeutschland. Entlang der Nord- und Ostsee gibt es besonders viele Landkreise, in denen der Wert über 0,11 WEA/km² liegt. In den meisten Landkreisen Baden-Württembergs und Bayerns hingegen liegt der Wert überwiegend unter 0,025 WEA/km². Die beiden an der Nordseeküste in Niedersachsen liegenden Landkreise Emden und Dithmarschen haben mit 0,68 WEA/km² bzw. 0,51 WEA/km² die höchsten Werte. Wie die o. g. Werte für den Zuwachs zeigen, findet jedoch derzeit gerade im Binnenland ein starker Ausbau statt.

Bei einer Hochrechnung der durchschnittlichen Flächeninanspruchnahme der Windenergieanlagen von 1.044 m² (Abbildung 1) auf den genannten Anlagenbestand der Bundesrepublik Deutschland würde je nach Datenquelle (Fraunhofer Institut für Windenergie & Energiesystemtechnik (IWES) bzw. ATKIS) eine Flächeninanspruchnahme zwischen 22,1 km² bis 24,1 km² resultieren.

Über die Berechnung der direkten Flächeninanspruchnahme hinaus wurde eine weitere Methode angewandt, um die Beanspruchung des Raums aus planerischer Sicht beurteilen zu können. Um jede Windenergieanlage wurde ein Puffer von 155 m (Durchschnittshöhe der Windenergieanlagen 2012) erstellt. Die beanspruchte Fläche ergibt sich aus der gemeinsamen Kippabstandsfläche der Windenergieanlagen, da sich diese überdeckte Fläche anderen baulichen Nutzungen entzieht. Nach dieser Methode beanspruchen die Windenergieanlagen in der gesamten Bundesrepublik eine Fläche von 794,9 km².

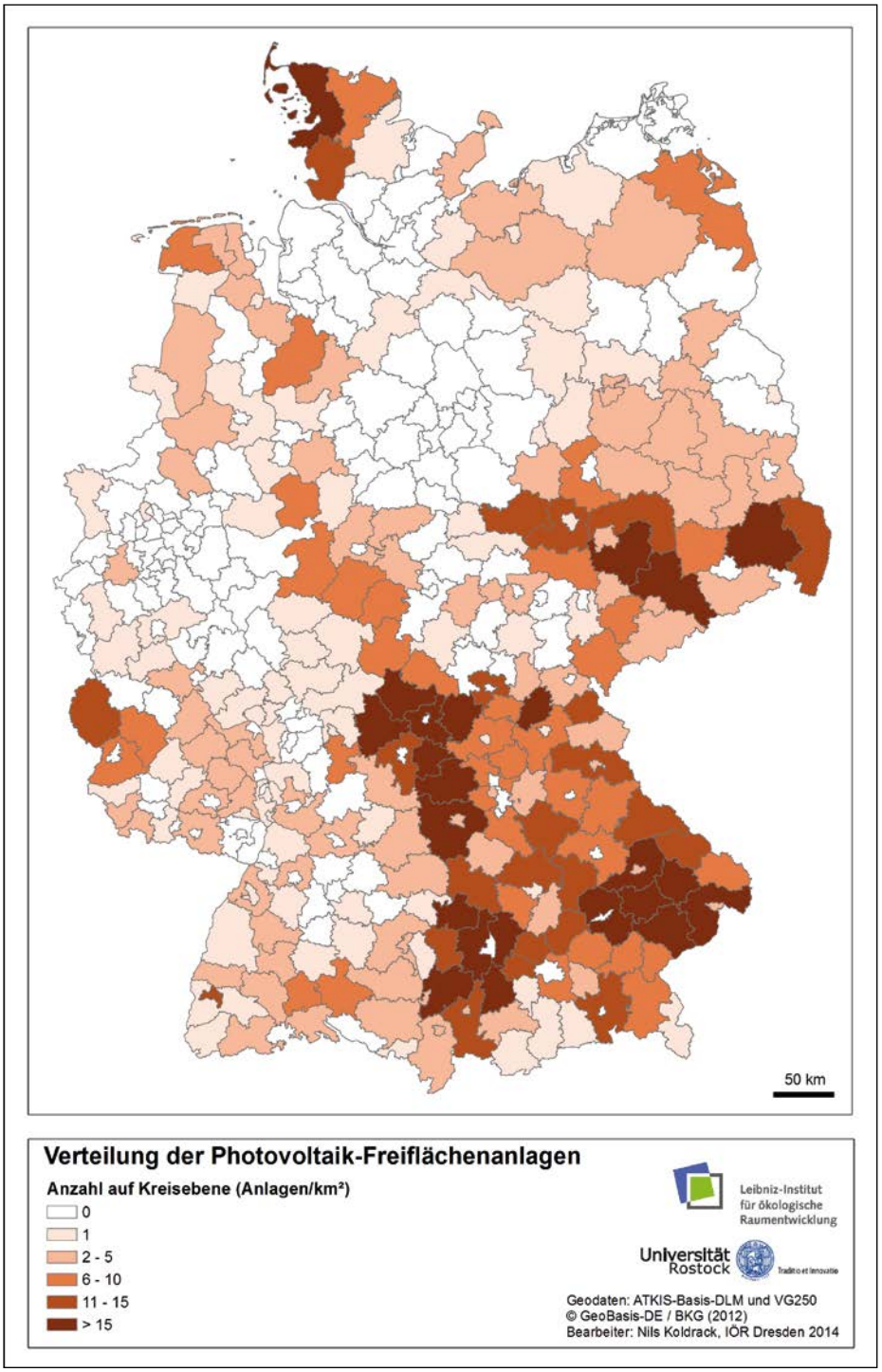

Abbildung 3: Flächenverteilung der Photovoltaik-Freiflächenanlagen

Eine Standortanalyse aller Windenergieanlagen des ATKIS-Datenbestands zeigte, dass 94 % aller Anlagen auf ehemaligen Vegetationsflächen (81 % Ackerflächen, 16 % Grünlandflächen, 4 % Wald- und Forstflächen, 1 % Heideflächen und 1 % Gehölzflächen) stehen. 4 % befinden sich auf ehemals baulich geprägter Fläche und 2 % auf Siedlungsfreiflächen.

3.2 PV-FREIFLÄCHENANLAGEN

Bei der Verteilung der Photovoltaik-Freiflächen auf Kreisebene (Abbildung 3) ist auffällig, dass vor allem im Süden und Osten Deutschlands die meisten der 1.470 Anlagen installiert wurden. Bayern sticht hierbei besonders hervor. Der Freistaat hat mit 873 die meisten Freiflächenanlagen, mit großem Abstand gefolgt von Sachsen mit 145 Anlagen. Der Landkreis Passau an der Grenze zu Österreich hat mit 59 installierten Anlagen die meisten Solarflächen, gefolgt vom Landkreis Straubing-Bogen mit 33.

Grund für die vielen aneinanderliegenden Landkreise in Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein, in denen keine PV-Freiflächenanlagen installiert wurden, kann sowohl das geringe Solarpotenzial in den Regionen, aber auch die lückenhafte Datengrundlage sein.

Bundesweit wurden 1.470 Anlagen erfasst, die eine Gesamtfläche von 112,8 km² einnehmen. In Korrelation zu der großen Anlagenzahl wurde in Bayern mit 45,9 km² die größte Fläche mit Photovoltaik-Freiflächenanlagen bebaut, gefolgt von Brandenburg (18,2 km²). Dies ist bemerkenswert, da in Brandenburg im Vergleich zu den anderen Bundesländern relativ wenige Anlagen installiert wurden (30). Im Landkreis Potsdam-Mittelmark wurden auf einer Fläche von ca. 5,5 km² Freiflächenanlagen installiert. Er ist damit der Landkreis mit der höchsten Flächeninanspruchnahme von PV-Freiflächenanlagen, gefolgt vom Landkreis Elbe-Elster mit rund 4,4 km².

Eine Standortanalyse am Beispiel des Freistaats Sachsen zeigte, dass 26,8 % der neu installierten PV-Freiflächenanlagen auf ehemaligen Wald- und Forstflächen installiert wurden, gefolgt von Grünlandflächen (25,2 %) und Ackerflächen (18,5 %). Bei den Wald- und Forstflächen ergaben Stichproben, dass es sich vermutlich meist um Flächen wie ehemalige Deponien und Abbauflächen, ehemalige Kasernen oder militärische Übungsplätze handelt.

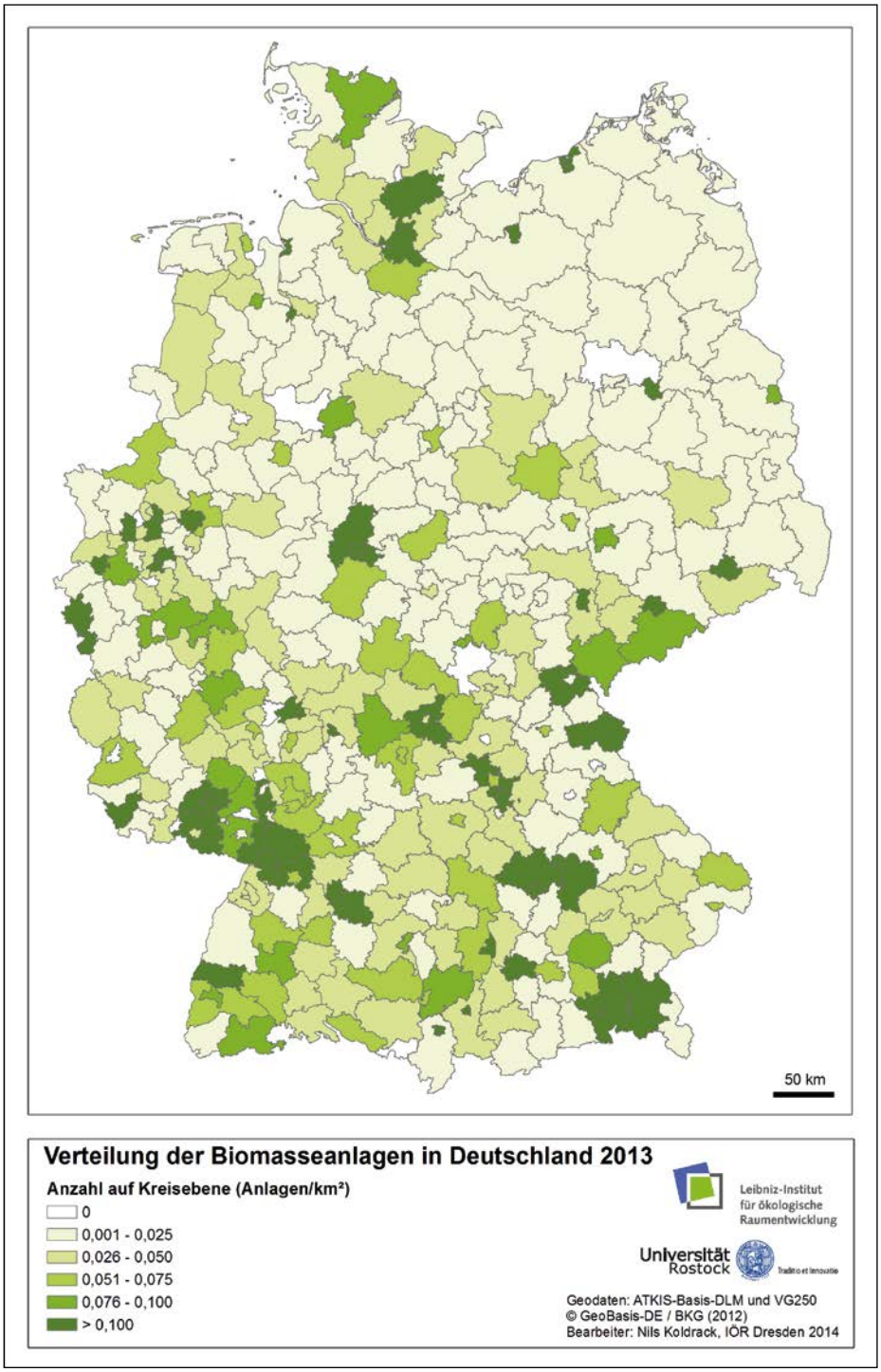

Abbildung 4: Verteilung der Biomasseanlagen in Deutschland 2013

3.3 BIOMASSEANLAGEN

Im Juni 2013 verteilten sich 14.348 Biomasseanlagen auf die Fläche der Bundesrepublik Deutschland (DGS 2013). Der Freistaat Bayern weist vor Niedersachsen (2.708) mit Abstand die meisten Anlagen auf (4.061). Wird die Verteilung der Biomasseanlagenanzahl auf Basis der Kreisebene betrachtet (Abbildung 4), wird deutlich, dass die Anlagen relativ gleichmäßig in der Bundesrepublik verteilt sind. Lediglich in Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und im Norden von Sachsen-Anhalt gibt es nur wenige Anlagen pro km². Die höchsten Werte an Anlagen je km² haben die kreisfreien Städte Essen (0,57 Anlagen/km²) und Kempten (0,52 Anlagen/km²).

Wird die im Kapitel 2 genannte durchschnittliche Flächeninanspruchnahme von 1.325,6 m² (Abbildung 1) auf den gesamten Anlagenbestand hochgerechnet, würde eine Fläche von 18,5 km² resultieren.

Bei Anwendung der in Kapitel 2 beschriebenen Methode zur Biomasseflä-

chenberechnung hat Niedersachen mit 5.653,2 km² die höchste Flächennutzung durch Biomasseanlagen, obwohl in Niedersachsen 1.353 Anlagen weniger installiert sind als in Bayern. Ähnlich wie bei der Verteilung der Anzahl der Biomasseanlagen ist bei der Verteilung der genutzten Fläche auffällig, dass diese genutzten Flächen relativ gleichmäßig verteilt sind. In den östlichen Bundesländern wird im Vergleich zu den anderen Bundesländern jedoch nicht so viel Fläche beansprucht. Die meisten Kreise besitzen einen Anteil an Biomassefläche von 0,1 – 5,0 %. Der Landkreis Bad Dürkheim weist mit 41,8 % den größten Wert auf, gefolgt vom Enzkreis (40,5 %). Der Durchschnittswert für die gesamte Bundesrepublik liegt bei 7,4 %.

3.4 WASSERKRAFTANLAGEN

7.449 Lauf- und Speicherwasserkraftwerke mit einer Gesamtleistung von ca. 36.427 GWh/a arbeiten momentan in Deutschland. Mehr als 70 % der Wasserkraftanlagen befinden sich in den beiden südlichen Bundesländern. Davon liegen die meisten Anlagen in Bayern (3.659), in Baden-Württemberg sind nur knapp halb so viele Anlagen installiert (Abbildung 5). Die Durchschnittsflächengröße der Wasserkraftanlagen aus den ATKIS-Daten von 2012 liegt bei 3.452,2 m² (Abbildung 1). Auffällig ist, dass das Maximum der Wasserkraftanlagenflächen weit über dem oberen Quartil liegt und es wenige große Anlagen gibt, jedoch sehr viele kleine. Wird die Durchschnittsfläche der Wasserkraftanlagen, ebenso wie bei den Windenergie- und Biomasseanlagen, auf die Anlagenanzahl aus den EEG-Daten hochgerechnet, ergibt sich eine Flächeninanspruchnahme der Wasserkraftanlagen in Deutschland von ca. 25,7 km².

Pumpspeicherkraftwerke, die in den ATKIS-Daten nicht vorhanden sind, wurden manuell erfasst. Dabei wurden die Flächen der Kraftwerkgebäude und Speicherseen, die speziell für das Pumpspeicherkraftwerk angelegt wurden, erhoben. Baden-Württemberg und Bayern besitzen mit jeweils acht Anlagen die meisten Kraftwerke. Allein im Süden des Schwarzwalds befinden sich fünf Kraftwerke. Bei der Erfassung der Pumpspeicherkraftwerke Deutschlands wurde eine Gesamtfläche von ca. 8,1 km² ermittelt. Die größte Fläche beansprucht das Kraftwerk Goldisthal (Thüringen), gefolgt von der in Sachsen gelegenen Anlage Markersbach.

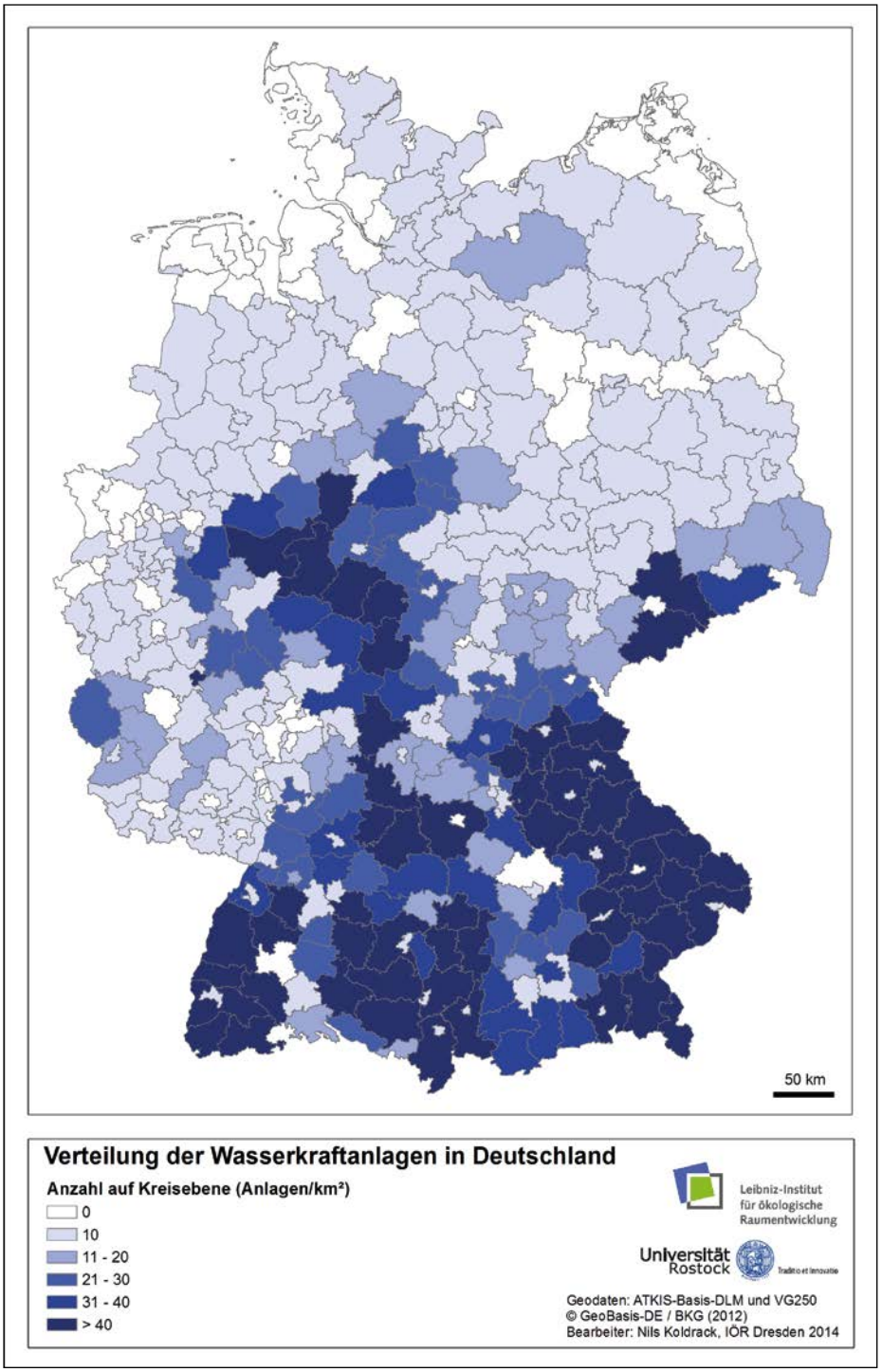

Abbildung 5: Verteilung der Wasserkraftanlagen in Deutschland

4 GIS-TECHNISCHE UMSETZUNG UND PERFORMANZASPEKTE

Für die im Folgenden dargestellten Standortanalysen, die in der Regel das gesamte Bundesgebiet umfassen, wurde der ModelBuilder von ArcMap verwendet. Die Daten aus den Jahren 2006 – 2013 stammen aus dem Datenbestand des IÖR, welches die ATKIS-Daten des BKG bundesweit prüft, bereinigt und für den IÖR-Monitor auswertet. Daneben fanden eigene umfangreiche Datenerhebungen statt, um eine hohe Aktualität und Vollständigkeit zu erreichen. Für ein periodisches Monitoring wäre es ratsam, aufgrund des rasanten Ausbaus in allen Sparten der erneuerbaren Energien, die Analysen mindestens jährlich zu wiederholen. Stehen Daten, die oft aktualisiert werden, zur Verfügung, wäre es angebracht, die Analysen in jedem Quartal durchzuführen.

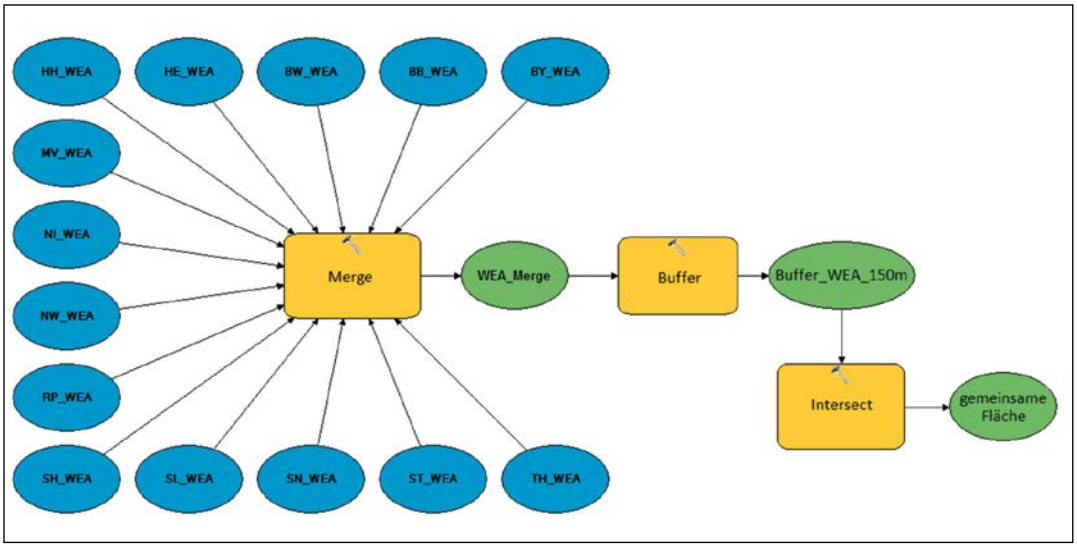

Abbildung 6: ModelBuilder-Prozess, Ermittlung der gemeinsamen Kippabstandsfläche

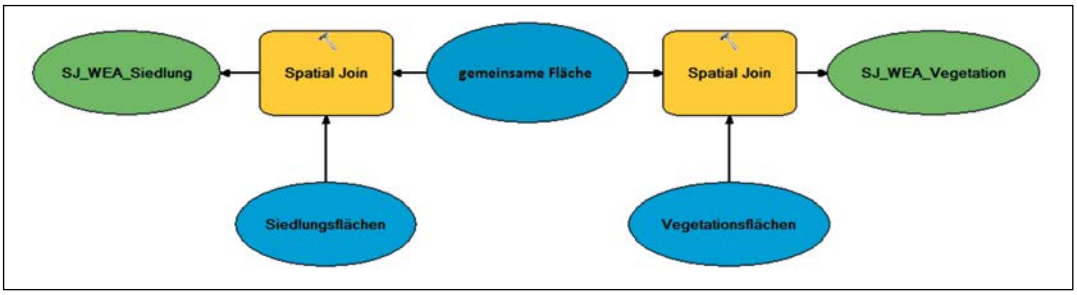

Abbildung 7: ModelBuilder-Prozess, Verknüpfung der gemeinsamen Kippabstandsfläche mit Vegetations- und Siedlungsflächen

In der Abbildung 6 ist der Prozess zur Ermittlung der gemeinsamen Kippabstandsfläche der Windenergieanlagen (s. 3.1) dargestellt. Für den abgebildeten Prozess benötigte das System (Intel® Core™ i5 CPU @ 3.20 GHz, 3 GB RAM) ca. 20 min. Wird analysiert, welche und wie viel Vegetations- (5,6 GB) und Siedlungsflächen (2,4 GB) die gemeinsamen Kippabstandsflächen einnehmen, so werden rund 40 Stunden in Anspruch genommen (Abbildung 7).

5 ERGEBNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Insgesamt konnten Informationen zu knapp 43.000 Anlagen gesammelt werden (Koldrack 2013). Bei der Analyse der direkten Flächeninanspruchnahme durch Anlagen für erneuerbare Energien wurde eine Fläche von insgesamt 179,2 km² ermittelt. In den verwendeten Geodaten waren die Flächendaten zumeist unzureichend bzw. lückenhaft dokumentiert. Daher wurden für die Flächenberechnung der Windenergie-, Biomasse-, Wasserkraft- und Geothermieanlagen Durchschnittswerte verwendet. Es muss darum eine gewisse Spannweite der Flächeninanspruchnahme berücksichtigt werden. Mittels eines Konfidenzintervalls von 95 % resultiert eine Spannweite der direkten Flächeninanspruchnahme von 175,8 km² bis 188,1 km².

Bei der Verteilung der direkten Flächeninanspruchnahme durch die Anlagen für die erneuerbaren Energien nehmen die PV-Freiflächenanlagen den größten Anteil ein, gefolgt von den Wasserkraftwerken (Abbildung 8). Bezieht man die Biomasseanbaufläche ein, so würde diese 99,3 % der Flächen zur Erzeugung erneuerbarer Energien einnehmen.

Was die Aktualität angeht, lässt sich feststellen, dass in den aktuellen ATKIS-Daten die Anlagen der erneuerbaren Energien nur lückenhaft erfasst sind. Eine Ausnah-

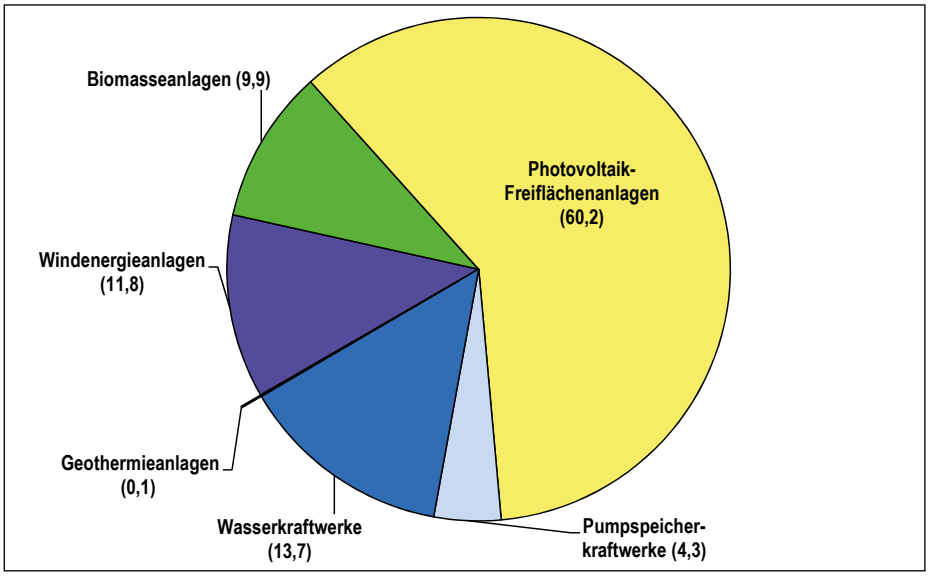

Abbildung 8: Anteilverteilung der Flächen für Anlagen für erneuerbare Energie in den jeweiligen Sparten in Prozent. Eigene Auswertung auf Basis der Datengrundlagen: ATKIS Basis-DLM © GeoBasis-DE / BKG (2012), DGS (2013), RAPIS (2013), AROK (2013), GDI-BE/BB (2013).

me stellen die Windenergieanlagen dar. Die Grundlagen zur Erfassung der Anlagen zur regenerativen Energieerzeugung sind im ATKIS-Objektartenkatalog des Basis-DLM gegeben, sie werden jedoch von den Bundesländern derzeit noch nicht ausreichend genutzt. Auch die Raumordnungskataster der einzelnen Bundesländer haben sich noch nicht auf die digitale Erfassung oder den Nachweis der Anlagen zu den erneuerbaren Energien eingestellt. Wünschenswert wäre es, dass die Länder Geoinformationen zur derzeitigen Nutzung oder zum geplanten Bau solcher Anlagen auf allen Ebenen bereitstellen, so wie es beispielsweise im Raumplanungsinformationssystem Sachsen (RAPIS) bereits geschieht. Eine Möglichkeit, um eine flächendeckende Grundaktualität der Anlagen in den jeweiligen Institutionen gewährleisten zu können, wäre, dass die Ämter die EEG-Daten einbeziehen würden. Durch die Meldepflicht der Betreiber von Anlagen zur regenerativen Stromerzeugung ist es darüber hinaus möglich, die aktuelle Anlagenzahl festzustellen und die Verteilung der Anlagenzahl und Stromerzeugung darzustellen. Würde dies umgesetzt werden, könnte eine Flächenberechnung mit Durchschnittswerten vermieden und eine genaue Berechnung zur Flächeninanspruchnahme der erneuerbaren Energie-Anlagen durchgeführt werden. Im Hinblick auf die Bedeutung der Energiewende sollte eine aktuelle amtliche Datenquelle die Anlagen und deren Flächenverbräuche nachweisen. ATKIS bietet sich hierfür an, zumal auf diese Weise auch ein kontinuierliches Monitoring ermöglicht würde.

Die Auswertungen zeigen den erheblichen Flächenbedarf für die Erzeugung von erneuerbaren Energien. Insbesondere der Biomasseanbau belegt den weitaus größten Flächenanteil. Windkraftanlagen und Solarfelder nehmen zwar deutlich weniger Fläche ein, überprägen jedoch die Landschaft durch ihren technischen Charakter. Die erarbeiteten, flächenscharfen Informationen zu den Standorten und der Flächeninanspruchnahme können für weitere Analysen, beispielsweise zu den Auswirkungen auf Natur und Umwelt, genutzt werden. Insgesamt sollte der im Hinblick auf den Klimawandel dringend notwendige Umbau der Energiequellen auf nachhaltige, regenerative Energien mit einer geeigneten bundesweit verfügbaren Datengrundlage untersetzt werden, um ein besseres Management zu ermöglichen und damit die Auswirkungen auf Natur und Umwelt zu minimieren.

Literatur

AEE – Agentur für Erneuerbare Energien (2010): Solarparks – Chancen für die Biodiversität. http://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/146.45_Renews_Spezial_Biodiverstitaet-in-Solarparks_online.pdf, Zugriff 06/2013.

ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung (2012): Photovoltaik und Biomasse – Status Quo, Standortsteuerung und Perspektiven flächenintensiver Energiegewinnung aus der Sicht von Landesplanung und -entwicklung. http://www.arl-net.de/sites/default/files/wagner_photovoltaik_biomasse_120706_0.pdf, Zugriff 06/2013.

BSH – Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (2013): CONTIS-Informationssystem. http://www.bsh.de/de/Meeresnutzung/Wirtschaft/CONTIS-Informationssystem/, Zugriff 07/2013.

DBFZ – Deutsches Biomasseforschungszentrum (2012): Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. http://www.dbfz.de/web/fileadmin/user_upload/Berichte_Projektdatenbank/3330002_Stromerzeugung_aus_Biomasse_Endbericht_Ver%C3%B6ffentlichung_FINAL_FASSUNG.pdf, Zugriff 07/2013.

DGS (2013): EnergyMap. http://www.energymap.info/download.html, Zugriff 12/2013.

DWG – Deutsche WindGuard (2012): Status des Windenergieausbaus in Deutschland. http://www.wind-energie.de/sites/default/files/attachments/page/statistiken/fact-sheet-statistik-we-2012-12-31.pdf, Zugriff 06/2013.

EuPD Research (2012): Die Zukunft des PV-Freiflächensegments in Deutschland – Eine Potenzialanalyse bis 2017. Bonn, 35 S. (im Auftrag der Wattner AG, Köln). http://www.wattner.de/fileadmin/download/2012-03%20Wattner%20-%20Studie%20EuPD%20Research%20-%20Die%20Zukunft%20des%20PV-Freiflaechensegments%20in%20Deutschland%20bis%202017.pdf, Zugriff 06/2013.

IWES – Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (2012): Windenergie Report Deutschland 2011. http://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/forschungsthemen/energie/Windreport-2011-de.pdf

Klärle, M. (2012): Erneuerbare Energien unterstützt durch GIS und Landmanagement. Wichmann Verlag, Berlin/Offenbach.

Koldrack, N. (2013): Flächeninanspruchnahme für Energieinfrastruktur. Masterarbeit, Universität Rostock.

Meinel, G.; Krüger, T.; Schumacher, U.; Hennersdorf, J.; Förster, J.; Köhler, C.; Walz, U.; Stein, C. (2013): Flächennutzungsmonitoring – aktuelle Ergebnisse und Entwicklungen im IÖR-Monitor. In: Meinel, G.; Behnisch, M.; Schumacher, U. (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring V. Methodik – Analyseergebnisse – Flächenmanagement. IÖR-Schriften, 61, S. 117-129. Rhombos-Verlag, Berlin.

OKFN – Open Knowledge Foundation Deutschland (2012): Frag den Staat: https://fragdenstaat.de/files/foi/9057/17-11906.pdf, Zugriff 06/2013.

StMUG – Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2013): Energie-Atlas Bayern 2.0. http://geoportal.bayern.de/energieatlas-karten/;jsessionid=AA8D0882050EF3D03A37E50AD9AE3E06?0, Zugriff 06/2013.

Walz, U.; Schumacher, U. (2010): Indikatoren zur Freiraumstruktur sowie zum Landschafts- und Naturschutz. Ausgewählte Ergebnisse des IÖR-Monitors. In: Meinel, G.; Schumacher, U. (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring II. Konzepte – Indikatoren – Statistik. IÖR-Schriften, 52, S. 201-215. Rhombos-Verlag, Berlin.