

Chancen und Grenzen des energetischen Stadt- und Landschaftsumbaus – wieviel Steuerung ist nötig und möglich?

Ariane Ruff

(Ariane Ruff, Universität Liechtenstein, Fürst-Franz-Josef-Strasse, 9490 Vaduz, ariane.ruff@uni.li)

1 ABSTRACT

Der Klimawandel und die umzusetzende Energiewende stellen die Gesellschaft vor große Herausforderungen. Insbesondere der Ausbau der erneuerbaren Energien hat einen enormen räumlichen Impact und prägt schon heute das Stadt- und Landschaftsbild in großem Maße. Umfassende Literaturrecherchen sowie Analysen der ambitionierten Ausbauziele zeigen, dass große Konfliktpotenziale in der Konkurrenz zu anderen Raumnutzungen sowie in der Akzeptanz durch die Bevölkerung bestehen. Die Gestaltung des raumverträglichen Ausbaus der erneuerbaren Energien ist somit von zentraler Bedeutung. Es besteht Forschungsbedarf zur Entwicklung und Implementierung von standardisierten Bewertungskriterien und -methoden zur Abschätzung der Raumwirksamkeit und Raumverträglichkeit des Ausbaus der erneuerbaren Energien. Ziel des vorgestellten Promotionsvorhabens ist es, ein GIS-gestütztes integriertes Raumbewertungssystem zu entwickeln, das alle raumrelevanten Informationen zum Ausbau der erneuerbaren Energien zusammenfasst und aufbereitet, so dass Handlungsempfehlungen zur nachhaltigen energetischen Raumplanung abgeleitet werden können. Im Ergebnis soll das entwickelte Raumbewertungssystem auf der Basis von qualitativen und quantitativen Bewertungskriterien die Raumsprüche des energetischen Umbaus aufzeigen und damit einen Beitrag zum Verständnis und zur Akzeptanz notwendiger Raumveränderungen leisten.

2 ENERGETISCHER STADT- UND LANDSCHAFTSUMBAU AM BEISPIEL DES MODELLRAUMES NORDTHÜRINGEN

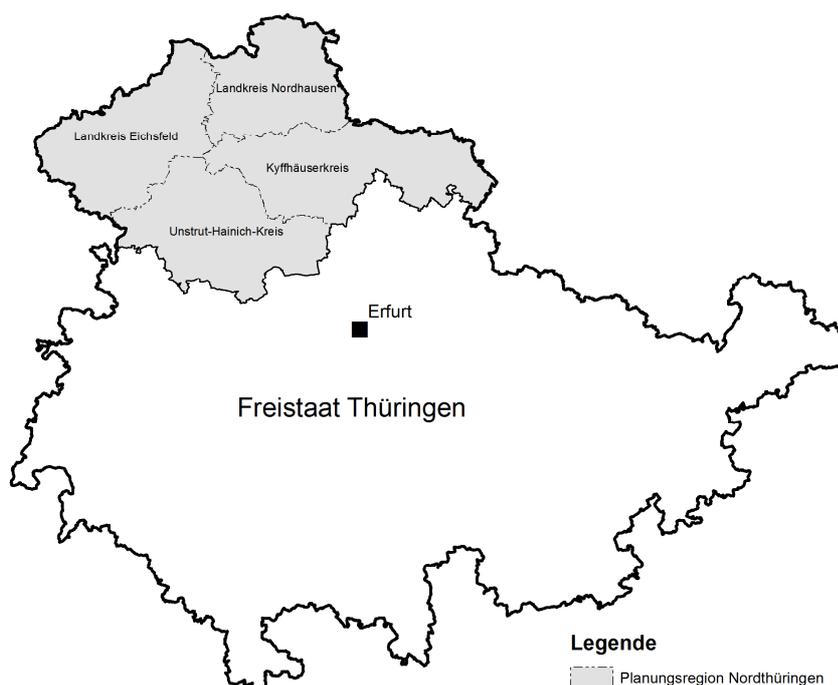
2.1 Nachhaltige Energielandschaften

Mit dem Fortschreiten der Energiewende hat sich der Begriff Energielandschaft in den letzten Jahren etabliert, wenngleich er unterschiedlich definiert und interpretiert wird. Aktuell werden mit diesem Begriff Landschaftsveränderungen beschrieben, die durch den Ausbau der erneuerbaren Energien entstehen (vgl. JOHANN 2010, S. 54). Historisch gesehen hat jedes „Energiezeitalter“ zu mehr oder weniger starken Veränderungen der Landschaftsräume beigetragen. Bereits im Mittelalter führte die intensive Brennholznutzung zur Devastierung der Wälder und zur Entstehung von Heidelandschaften. Fossile und nukleare Energielandschaften sind vor allem durch große Kraftwerke mit ihren riesigen Kühltürmen, Erdöl- oder Erdgasbohrtürmen, Tanklager sowie Gas-, Öl- und Stromleitungen geprägt. Insbesondere der Abbau fossiler Brennstoffe hat seit dem 20. Jahrhundert zum Totalverlust von ganzen (Kultur)Landschaftsräumen geführt (vgl. PETERS 2013, S. 150 f). Beispiele dafür sind die ausgeräumten Bergbaufolgelandschaften in der Lausitz und im Ruhrgebiet. STREMKER definiert nachhaltige Energielandschaften als „Teil der physischen Umgebung, in welcher der Energiebedarf durch lokal verfügbare erneuerbare Quellen gedeckt werden kann“, ohne negative Folgen für die Bevölkerung, die Biodiversität und die Landschaftsqualität (STREMKER 2010, 193). Er plädiert für die Entwicklung von langfristigen, regionalen Visionen und die schrittweise, planerische Umsetzung auf der Basis von allgemeingültigen, energiebewussten Entwurfsprinzipien (ebenda, S. 194 ff). Der Ausbau der erneuerbaren Energien ist sehr raumextensiv und deshalb stark landschaftsprägend und für die Bevölkerung sichtbar (GAILING 2013, S. 209). Die Wahrnehmung der Landschaft durch die Menschen beruht auf den reflektierten Erfahrungen. Veränderungen müssen sich erst im Bewusstsein verankern. Wichtig ist die Entwicklung neuer Raumbilder, die die regionalen Identitäten aufgreifen und helfen, die Chancen der Veränderungen zu kommunizieren (KOST 2013, S. 133-135).

Modellraum für die im Rahmen der Promotion durchzuführenden Untersuchungen ist die Planungsregion Nordthüringen (siehe Karte 1). Die Planungsregion Nordthüringen ist im Wesentlichen durch ländliche, dezentrale Siedlungsstrukturen und wenige Räume mit Verdichtungsansätzen sowie eine geringe Bevölkerungsdichte gekennzeichnet. Sie gehört im Freistaat Thüringen zu den strukturschwachen Regionen mit einem sehr geringen Anteil an Industriebeschäftigten, jedoch gibt es beträchtliche regionale Unterschiede in der wirtschaftlichen Entwicklung. Die nördlichen und westlichen Regionsteile sind nach dem

Landesentwicklungsplan (LEP) 2015 „Räume mit günstigen Entwicklungsvoraussetzungen“ mit einer demographisch und wirtschaftlich weitgehend stabilen Entwicklung. Der mittlere und östliche Teil der Region wird der Kategorie „Räume mit besonderen Entwicklungsaufgaben“ mit besonderen wirtschaftlichen und demographischen Anpassungsbedarfen zugeordnet. Der südliche Teil der Region gehört zu den „Räumen mit ausgeglichenen Entwicklungspotenzialen“ und ist durch eine weitgehend stabile demographische Entwicklung mit wirtschaftlichen Handlungsbedarfen gekennzeichnet. Nordthüringen verfügt über eine sehr vielfältige Naturlandschaft mit einer Vielzahl von sensiblen, ökologisch und touristisch sehr wertvollen Landschaftsbereichen. Im Gegensatz dazu sind weite Landschaftsteile aufgrund der intensiv betriebenen Land-, Forst- und Wasserwirtschaft sowie der Rohstoffgewinnung durch einen starken Rückgang der Struktur- und Artenvielfalt gekennzeichnet. Zentrale Aufgaben für die Zukunft liegen

- im weiteren Aufbau wettbewerbsfähiger Wirtschaftsstrukturen unter Nutzung der verbesserten Standortfaktoren und der Schaffung von weiteren Industriearbeitsplätzen,
- in der Sicherung und dem funktionsgerechten Ausbau der Verkehrsinfrastruktur zur Sicherstellung der Erreichbarkeit der zentralen Orte,
- dem Ausbau und der Modernisierung des Stromnetzes zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit und des Ausbaus der Nutzung regenerativer Energieträger,
- in der verträglichen Gestaltung der infrastrukturellen Ausdünnung im ländlichen Raum,
- in der generationenübergreifenden Vernetzung der familiennahen Sozial- und Dienstleistungen zur Abfederung der Folgen des demographischen Wandels,
- in der Bewahrung der unterschiedlichen Natur- und Kulturlandschaftsräume Nordthüringens sowie einer stärkeren touristischen Entwicklung und Vermarktung der vorhandenen Kultur- und Baudenkmale sowie wertvollen Naturräume,
- in der Verbesserung des vorsorgenden Hochwasserschutzes in überschwemmungsgefährdeten Gebieten,
- in der Erhaltung und Stabilisierung der Landwirtschaft als tragende Säule für die Stabilität der Ländlichen Räume,
- im Erhalt und der Entwicklung nachhaltiger Waldbestände im (im Vergleich zum Landesdurchschnitt) insgesamt waldarmen Nordthüringen,
- der Sicherstellung einer räumlich ausgewogenen Rohstoffgewinnung. (Regionale Planungsgemeinschaft Nordthüringen 2008)



Karte 1: Modellraum Planungsregion Nordthüringen.

Auch in Nordthüringen beruhte bis zum Beginn des fossilen Energiezeitalters die Energieversorgung auf den Energieträgern Wind, Wasser und Biomasse in Form von Holz. Davon zeugen heute noch erhaltene Wassermühlen entlang der Flussläufe Helme, Zorge, Wipper und Unstrut sowie historische Windmühlen auf exponierten Standorten der Nordthüringer Höhenzüge. Ab Mitte des 19. Jahrhunderts hat sich in der Region auch der Bergbau stärker entwickelt. Der Eisenerz-, Kupferschiefer- und Kohlebergbau hatte immer nur eine lokale Bedeutung, hingegen erlebte der Kalibergbau im 20. Jahrhundert in Nordthüringen eine Blütezeit mit überregionaler Bedeutung, die abrupt mit der Vereinigung Deutschlands und dem Eintritt in den internationalen Wettbewerb endete. Im Ergebnis ist das Landschaftsbild heute durch große Abraumbalden geprägt, deren Sicherung und Rekultivierung ein langfristiger Prozess ist, der auch noch die kommenden Generationen beschäftigen wird. Angestoßen durch ein studentisches Projekt der Hochschule Nordhausen wurde das Thema Rekultivierung mit der Aufgabe der Erneuerbaren Energiegewinnung kombiniert, das im Ergebnis zur Installation einer 1 MWp-PV-Freiflächenanlage auf der Kalihalde Bleicherode führte.



PV-Freiflächenanlage auf der Kalihalde Bleicherode (Foto: Steffi Gross, 2011).

Seit Ende der 90er Jahre wurden in der Planungsregion Nordthüringen eine Vielzahl von erneuerbaren Energieanlagen errichtet, im Wesentlichen Windkraftanlagen, Biogasanlagen und PV-Anlagen. Da die Region stark ländlich strukturiert ist, hat auch der Energiepflanzenanbau stark zugenommen. Bereits mit der Novellierung des EEG 2012 ist der Neubau von Biogasanlagen in Thüringen jedoch stark eingebrochen. 2012 wurden lediglich 12 Anlagen neu errichtet, 2013 nur noch 8 Anlagen (im Vergleich 2009-2012 im Durchschnitt 32 Anlagen) (Reinhold 2014). Ein spezielles Phänomen, das insbesondere in den neuen Bundesländern zu verzeichnen ist, ist der starke Zubau von PV-Freiflächenanlagen in Gewerbegebieten. Diese wurden zahlreich nach 1990 entwickelt, stehen jedoch oft leer oder sind unterbelegt. Diese Entwicklung wird inzwischen überwiegend sehr kritisch gesehen und kann durch die Planungsträger nur durch eine Änderung der Bebauungspläne, die den Bau von Photovoltaik-Anlagen explizit ausschließen, verhindert werden.

2.2 Ausbauziele der Erneuerbaren Energien

Die Energiewende basiert auf einem veränderten Umweltbewusstsein und der Umsetzung des gesellschaftlichen und politischen Willens in Form von Strategiepapieren, Richtlinien, Energiekonzepten und Gesetzen (z.B. EEG) auf nahezu allen politischen und planerischen Ebenen. In Tabelle 1 sind die Ausbauziele der Erneuerbaren Energien für die EU, Deutschland, das Bundesland Thüringen sowie die Planungsregion Nordthüringen, die als Modellregion für die Entwicklung des Bewertungsverfahrens gewählt wurde, zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 1 zeigt, dass die Ausbauziele der erneuerbaren Energien auf allen politischen und räumlichen Ebenen ambitioniert sind und nur mit auch zukünftig hohen Ausbauraten insbesondere im Bereich der Windkraftnutzung zu erreichen sind. Zugleich nimmt die Akzeptanz durch die Bevölkerung in vielen Kommunen ab, was zahlreiche Bürgerinitiativen gegen den Neubau von Windparks und Biogasanlagen deutlich zeigen. Es wird sich zeigen, wie sich die Neuausrichtung des EEG auswirkt und ob der Zubau wie beabsichtigt harmonisiert bzw. optimiert wird. Insbesondere für den Ausbau der Biomasse und die Errichtung von PV-Freiflächenanlagen haben sich die finanziellen Rahmenbedingungen durch das novellierte EEG deutlich verschlechtert.

	Grundlagen	Ziel-jahr	Ausbauziele Erneuerbare Energien (EE)
EU	EU-Richtlinie 2009/28/EG v. 23.04.2009	2020	<u>Gesamtziel</u> Anteil von 20% EE am Brutto-Endenergieverbrauch Nationales Ziel Deutschland Anteil von 18% EE am Brutto-Endenergieverbrauch
Deutsch-land	Erneuerbare-Energie-Gesetz (EEG), letzte Änderung vom 01.08.2014	2025 2035 2050	Anteil von 40 - 45% EE am Brutto-Stromverbrauch Anteil von 55 - 65% EE am Brutto-Stromverbrauch Anteil von mindestens 80% EE am Brutto-Stromverbrauch
	Erneuerbare Energien-Wärme-gesetz (EEWärmeG) v. 07.08.2008	2020	Anteil von 14% EE am Endenergieverbrauch für Wärme
Thüringen	Eckpunktepapier "Neue Energie für Thüringen" 2011 Positionspapier zum 2. Thüringer Energiegipfel 2013	2020	Anteil von 45% EE am Nettostromverbrauch Anteil von 33% EE an der Wärmebereitstellung Anteil von 30 % EE am Endenergieverbrauch Anteil von 10% EE am Treibstoffbedarf
	Koalitionsvertrag zwischen den Parteien DIE LINKE, SPD und BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN v. 4.12.2014	2020 2040	Anteil von 35% EE am Endenergieverbrauch Anteil von 100% EE am Endenergieverbrauch
Nord-thüringen	Regionales Energie- und Klima-schutzkonzept Nordthüringen (2011)	2050	Anteil von 100% EE am Endenergieverbrauch
	Landesentwicklungsprogramm Thüringen 2025 „Thüringen im Wandel“	2020	<u>Gesamtziel Nordthüringen</u> Anteil von 1.800 GWh Strom aus EE an der Thüringer Stromproduktion Der Anteil der EE an der Wärmebereitstellung ist im LEP Thüringen 2025 nicht auf Planungsregionsebene dargestellt.
	Thüringer Bestands- und Potenzialatlas (2011)	2020	<u>Ausbaupfad Nordthüringen (Strom - Referenzszenario)</u> Photovoltaik: 195 GWh/a (2010: 57 GWh/a) Windkraft: 1.162 GWh (2010: 488 GWh/a) Wasserkraft: 2 GWh (2010: 2 GWh/a) Biomasse: 369 GWh (2010: 255 GWh/a) Deponiegas: 28 GWh (2010: 4 GWh/a) Gesamt: 1.755 GWh (2010: 806 GWh/a) <u>Ausbaupfad Nordthüringen (Wärme - Referenzszenario)</u> Solarthermie: 55 GWh (2010: 17 GWh/a) Erdwärme: 56 GWh (2010: 12 GWh/a) Biomasse: 1.037 GWh (2010: 936 GWh/a) Deponiegas: 16 GWh (2010: 4 GWh/a) Gesamt: 1.164 GWh (2010: 969 GWh/a)

Tabelle 1: Übersicht über die Ausbauziele der Erneuerbaren Energien in der EU, Deutschland, Thüringen und Nordthüringen.

Die im LEP Thüringen 2025 festgelegten Ausbauziele für erneuerbare Energien bedeuten für die Planungsregion Nordthüringen bis 2020 eine Verdopplung der regenerativen Stromerzeugung und eine Steigerung der regenerativen Wärmeerzeugung um 20%. Das größte Ausbaupotenzial im Strombereich hat die Windkraft mit dem Ausbau auf des 2,5-fache gegenüber 2010 (entspricht ca. 140 3-MW-Windkraftanlagen [Bestand 2010: 194 Windkraftanlagen]), gefolgt von der Photovoltaik mit einer Verdreifachung der Erträge bis 2020 (Ausbau nur auf Dächern und Fassaden und auf baulich bzw. durch Infrastrukturanlagen vorbelasteten Flächen) und einer Erhöhung der Stromerzeugung aus Biomasse um ca. 45% (Anm. d. Verf.: auf eine Flächenbedarfsangabe/-berechnung wird aufgrund der Komplexität der Berechnungen im Bereich Biomasse hier verzichtet). Neben dem Zu- bzw. Neubau von Windkraftanlagen wird das Repowering in den nächsten Jahren eine zunehmende Bedeutung haben. Aufgrund der Steigerung der Anlagenhöhe und der Rotordurchmesser bei neuen Anlagen können ggf. vorhandene Höhenbeschränkungen und Abstandsregelungen nicht eingehalten werden. Zur Lösung dieser Problemstellungen müssen planerische Lösungen erarbeitet werden. Im Bereich der regenerativen Wärmebereitstellung liegen die größten Ausbaupotenziale in einer Verdreifachung der Solarthermienutzung und einer Verfünfachung der Nutzung von Erd- und Umweltwärme, die im Wesentlichen im Gebäudebestand erfolgen werden und damit nur in geringem Maße raumwirksam bzw. im planerischen Sinn raumbedeutsam sind. Der Ausbau der Wärmebereitstellung aus Biomasse beträgt aufgrund der bereits sehr hohen Ausbaugrade lediglich ca. 10%. Mit dem Ausbau der erneuerbaren Energieerzeugung ist eine Anpassung, ggf. auch eine Erweiterung der bestehenden Leistungsnetze notwendig, der ebenfalls Flächen beansprucht und Nutzungskonflikte verursacht.

2.3 Raumwirksamkeit und Raumverträglichkeit des Ausbaus der Erneuerbaren Energien

Mit den wachsenden Nutzungsansprüchen an den Raum steigt einerseits die Belastung der natürlichen Ressourcen, andererseits wachsen die Nutzungskonflikte. Der Paragraph 15 des deutschen Raumordnungsgesetzes regelt die Prüfung der Raumverträglichkeit von raumbedeutsamen Maßnahmen im Rahmen der Durchführung von Raumordnungsverfahren. Gemeint ist die Prüfung von „raumbedeutsamen Auswirkungen der Planung oder Maßnahme unter überörtlichen Gesichtspunkten ... insbesondere ... die Übereinstimmung mit den Erfordernissen der Raumordnung und die Abstimmung mit anderen raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen“ (D ROG, Stand: 31.7.2009, § 15, Absatz 1). Die Begriffe Raumverträglichkeit und Raumwirkung sind also eng miteinander verbunden, wobei die Beurteilung der Raumverträglichkeit immer in Abhängigkeit von den Raumordnungszielen erfolgt. SCHOLLES versteht unter dem Begriff Raumwirkung bzw. Raumwirksamkeit die Beurteilung von gesellschaftlichen Aktivitäten und Verhaltensweisen, die raumprägend oder raumverändernd wirken. Er ist aufgrund der notwendigen Beurteilung der Auswirkungen auf Natur, Mensch und Landschaft eng mit dem Begriff der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) verknüpft, der Anfang der 70er Jahre Einzug in die deutsche Planungspraxis gehalten hat. Die UVP „ist ein Prüfinstrument zur systematisch-analytischen Ermittlung, Beschreibung und Bewertung von Auswirkungen von Maßnahmen auf die Umwelt im Hinblick auf eine wirksame Umweltvorsorge“ (SCHOLLES 2008, S. 110). Somit beinhaltet die Raumverträglichkeitsprüfung immer auch eine Prüfung auf Umweltverträglichkeit, untersucht jedoch auch darüber hinaus gehende Aspekte, wie z.B. wirtschaftliche und soziale Auswirkungen.

Ein immer wichtiger werdender Aspekt im Rahmen der Bewertung der Raum- und Umweltverträglichkeit von Vorhaben ist die Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten. Die Operationalisierung der Nachhaltigkeitsziele sowie die praktische Umsetzung dieser auf allen Entscheidungsebenen in der Raumplanung ist aufgrund der Komplexität und Interdisziplinarität eine äußerst anspruchsvolle Aufgabe. Zur Reduzierung dieser Komplexität werden häufig Indikatoren eingesetzt. Richtungweisend ist die vom Schweizer Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) entwickelte Methodik zur Integration von Zielen der nachhaltigen Entwicklung in die Landschaftsbewertung und -entwicklung. Das entwickelte Indikatorenset ermöglicht eine räumlich-quantitative Analyse und Bewertung des aktuellen Zustands und der Entwicklungstendenzen der Landschaft insbesondere unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten (STREMLOW et al. 2003). Auch STREMKE und VAN DOBBELSTEEN weisen darauf hin, dass zur Entwicklung von nachhaltigen Energielandschaften verstärkt Nachhaltigkeitskriterien und -indikatoren entwickelt werden müssen, erste Ansätze und Methoden werden in ihrem Buch „Sustainable Energy Landscapes: Designing, Planning, and Development“ vorgestellt (STREMKE & VAN DOBBELSTEEN 2013, S. 494-495).

3 CHANCEN UND GRENZEN DER RÄUMLICHEN STEUERUNG

Die durch den Ausbau der Erneuerbaren Energien verursachten räumlichen Nutzungsansprüche und Nutzungskonkurrenzen müssen im Rahmen der räumlichen Planung koordiniert und gesteuert werden. Dazu gehören die Analyse und Bewertung der aktuellen Nutzungen, von bestehenden Nutzungskonkurrenzen und Nutzungspotenzialen sowie die Festlegung von Zielvorgaben (vgl. BMVBS 2011a; ÖROK 2009; SARTORIS et al. 2012).

3.1 Konfliktpotenziale des Ausbaus der Erneuerbaren Energien in der Konkurrenz zu anderen Raumnutzungen

Beim Ausbau der erneuerbaren Energien können vielfältige Raumnutzungskonflikte auftreten, die in Tabelle 2 zusammenfassend dargestellt sind. Es werden nur die raumplanerisch bedeutsamen Erneuerbaren Energieoptionen Wind (nur onshore), Photovoltaik-Freiflächenanlagen und Biomasse näher betrachtet und bewertet. Auf der Basis der zusammengestellten Wirkfaktoren wurde eine Beurteilung des Konfliktpotenzials in 5 Stufen vorgenommen. Es wird deutlich, dass insbesondere der Ausbau der Windkraft aufgrund der starken Beeinflussung bzw. Beeinträchtigung des Landschaftsbildes und der erheblichen Wirkungen insbesondere auf die Avifauna die größten Konfliktpotenziale in Bezug auf die anderen Raumnutzungen hat. Der Ausbau von Photovoltaik- und Solarthermie-Freianlagen erzeugt vor allem in der Nähe Wohn- und Naherholungsgebieten Konflikte, die jedoch durch Abpflanzungen etc. minimiert werden können und insgesamt auf einem mittleren Niveau einzustufen sind. Problematisch sind die Einzäunungen

der Freiflächenanlagen, die Barrieren für Mensch und Tier darstellen. Bei der Nutzung von Biomasse müssen einerseits die Anlagen zur Verwertung bzw. Umwandlung der Biomasse in Energie als auch die Auswirkungen des Biomasseanbaus betrachtet werden. Die Biomasseanlagen erzeugen im Siedlungs- und Landschaftsraum nur geringe Nutzungskonflikte mit anderen Nutzungsansprüchen. Weitaus problematischer ist der Energiepflanzenanbau zu bewerten, der insbesondere zur Homogenisierung des Landschaftsbildes beiträgt und damit das Bild historisch gewachsener Kulturlandschaften tiefgreifend verändert und beeinträchtigt. Aus Naturschutzsicht ist insbesondere das Umbrechen von Grünlandbereichen als besonders problematisch zu bewerten. Generell ist anzumerken, dass viele der potenziellen Beeinträchtigungen durch den Energiepflanzenanbau nicht nur für diesen spezifisch sind, sondern generell den Folgen einer intensiven Landwirtschaft entsprechen (vgl. MENGEL et al. 2010, S. 40).

	Wirkfaktoren¹ / Konfliktpotenzial (5-sehr hoch, 4-hoch, 3-mittel, 2-niedrig, 1-sehr niedrig, 0-kein Konflikt)²			
	Windkraftanlagen	PV/ST-Freianlagen	Biomasse-Anlagen	Energiepflanzenanbau
Wohnen und Naherholung	visuelle Beeinträchtigungen durch die Anlagen und zusätzliche Stromleitungen, Schattenwurf, Reflexionen, Befuerung); Schallemissionen, Eiswurf	visuelle Beeinträchtigungen durch die Anlagen und zusätzliche Stromleitungen; Verlust von Naherholungsräumen inklusiver möglicher Zerschneidungswirkungen	Geruchsbelästigungen; Beeinflussung des Landschaftsbildes (Fermenter, Silos); zusätzliche Verkehrsbelastungen durch An- und Ablieferung (Inputstoffe, Gär-reste)	Geruchsbelästigungen (Gärrestaufbringung); visuelle Beeinträchtigungen aufgrund optischer Barrierewirkungen durch hochwüchsige Energiepflanzen, Homogenisierung von Landschaften
	5	3	2	2
Land- und Forstwirtschaft	Bodenverdichtung bzw. -versiegelung durch Zuwegungen und Stellflächen (Verlust an landwirtschaftlicher Fläche und von Waldflächen)	Bodenverdichtung bzw. -versiegelung durch Zuwegungen und Fundamente (Verlust an landwirtschaftlicher Fläche)	Schließung von Stoffkreisläufen durch die Nutzung von biogenen Reststoffen	hoher Flächenbedarf; erhöhter Düngemittel- und Pestizideinsatz, erhöhte Erosion u. Bodenverdichtung beim Anbau von einjährigen Monokulturen; Nährstoffanreicherung durch Rückführung der Gärreste
	2	2	0	2
Natur- und Landschaftsschutz	Verlust und Beeinträchtigung von Lebensräumen (Scheubzw. Verdrängungswirkung, Barrierewirkungen, Gefahr von Kollisionen, Lärm- und Licht-emissionen, Erschütterungen); Erhöhung der Windwurfdisposition und des lokalen Waldklimas	Verminderung der Grundwasserneubildung durch erhöhten Abfluss; lokalklimatische Veränderungen und Verschattungswirkungen; Erhöhung von Barrierewirkungen (durch Einzäunungen); Scheuchwirkungen auf Vogelarten des Offenlandes; z.T. Aufwertung der Lebensraumfunktionen für Flora und Fauna (Umwandlung von Ackerland in Grünland)	Beeinträchtigung des Landschaftsbildes in dörflich geprägten Landschaften (technische Überprägungswirkung insbesondere bei größeren Anlagen)	Umbruch von Grünland; Intensivierung der Grünlandbewirtschaftung; Zunahme von Schlaggrößen, Verlust an landschaftsstrukturierenden Elementen und Lebensräumen; Auswaschung von Nährstoffen und Pestiziden ins Grund- und Oberflächenwasser; Erhöhung des Anteils invasiver Arten (Topinambur); Verringerung der Artenvielfalt; Chancen zur Offenhaltung von Landschaften (Nutzung Landschaftspflegematerial)
	5	3	1	4
Kulturerbe Tourismus	visuelle Beeinträchtigungen durch die Anlagen und zusätzliche Stromleitungen, (Schattenwurf, Reflexionen, Befuerung); Schallemissionen, Eiswurf	visuelle Beeinträchtigungen durch die Anlagen und zusätzliche Stromleitungen insbesondere in sichtexponierten Lagen und in qualitativ hochwertigen Landschaftsräumen	Geruchsbelästigungen; Beeinflussung des Landschaftsbildes (Fermenter, Silos); zusätzliche Verkehrsbelastungen durch An- und Ablieferung (Inputstoffe, Gär-reste)	visuelle Beeinträchtigungen aufgrund der Homogenisierung von Landschaften durch die großflächigen Monokulturen im Energiepflanzenanbau
	4	2	2	3

¹ nach (ARGE MONITORING VON PV-ANLAGEN 2007, BMU 2007, HILDEBRANDT 2009, MENGEL et al. 2010, REINHARDT & SCHEURLÉN 2004, SRU 2007, RODE et al. 2005); ² eigene Einschätzung.

Tabelle 2: Übersicht über Wirkfaktoren und Konfliktpotenziale des Ausbaus der Erneuerbaren Energien in der Konkurrenz zu anderen Raumnutzungen.

Im Modellaum Nordthüringen sind die räumlichen Voraussetzungen zur Nutzung der Windkraft, der Solarenergie und der Biomasse aufgrund der naturräumlichen und siedlungsstrukturellen Voraussetzungen sehr gut. Dementsprechend hoch ist der bereits heute aus Wind und Biomasse bereitgestellte Strom pro Einwohner im Vergleich zum Landes- und Bundesdurchschnitt (vgl. GENSKE et al. 2011). Die in Abschnitt

2.2 dargestellten Ausbauziele fokussieren insbesondere auf den Ausbau der Windkraft und der Biomassenutzung, so dass speziell in diesen Bereichen sowie im Bereich des Ausbaus der benötigten Leitungsinfrastruktur zukünftig größere Konfliktpotenziale mit den anderen Raumnutzungen zu erwarten sind. In Anbetracht der in den letzten Jahren umgesetzten größeren Infrastrukturmaßnahmen (z.B. Autobahnbau A 38 und A 71), der vor allem mit einem Verlust von landwirtschaftlichen Flächen verbunden war, ist der weitere Ausbau des Energiepflanzenanbaus im Konflikt mit der Erzeugung von Nahrungsmitteln problematisch. Der Ausbau von Photovoltaik- und Solarthermieanlagen soll aufgrund der Vorgaben im Landesentwicklungsprogramm 2025 hauptsächlich auf Dach- und Fassaden sowie auf baulich bzw. durch Infrastrukturanlagen vorbelasteten Flächen erfolgen, so dass keine größeren Konflikte beim Ausbau der Potenziale in diesem Bereich zu erwarten sind. Anzumerken ist, dass keine zusätzlichen Konflikte in Bezug auf die Siedlungsentwicklung zu erwarten sind, da aufgrund der demographischen Entwicklung nur ein geringer Bedarf für weitere Flächenausweisungen besteht.

3.2 Chancen

Die Entwicklung der erneuerbaren Energien bietet auch Chancen. Insbesondere in ländlichen Regionen kann mit einem Ausbau der erneuerbaren Energien negativen Entwicklungen, z.B. dem demographischen Wandel und Schrumpfungsprozessen, entgegengewirkt werden. In Abhängigkeit von lokalen Spezifika können durch die Etablierung integrierter Energieanlagen neue Kulturlandschaften entwickelt werden. Die Treiberfunktion der erneuerbaren Energien kann in strukturschwachen Regionen genutzt werden, um langfristig und nachhaltig einen Strukturwandel zu initiieren und neuartige Kulturlandschaften zu entwickeln (Johann 2010, S. 55-56). Gute Beispiele sind u.a. die inzwischen zahlreich entwickelten Bioenergiedörfer, die in der Regel neben der Bioenergie weitere Erneuerbare Energien nutzen. Die Nutzung regionaler Energiepotenziale führt zu lokalen Wertschöpfungseffekten in Form von zusätzlicher Beschäftigung und erhöhter Kaufkraft und trägt insbesondere zur Steigerung der Ortsidentität der Dorfbewohner sowie zur Stärkung der Dorfgemeinschaften bei.

3.3 Instrumente zur planerischen Steuerung des Ausbaus der EE

Generell lassen sich verschiedene Instrumente zur Steuerung des Ausbaus der Erneuerbaren Energien unterscheiden in Instrumente, die sich aus dem jeweilig betroffenen Fachrecht, z.B. dem Forst- und Naturschutzrecht, dem Bodenschutzrecht, dem Bauleitplanungs- und Raumordnungsrecht und dem Immissionsschutzrecht, ergeben und Instrumente, die sich aus dem Förderungsrecht, z.B. dem EEG oder Regelungen des Cross Compliance, ergeben. Zusätzlich lassen sich formelle und informelle Instrumente unterscheiden.

Im Folgenden wird auf die Steuerungsmöglichkeiten im Bereich der Räumlichen Planung näher eingegangen.

3.3.1 Planungsinstrumente zur Steuerung der Windkraftnutzung

Zentrale Steuerungselemente im Bereich der Errichtung von Windkraftanlagen sind das Raumordnungs- und Bauleitplanungsrecht sowie das Naturschutzrecht. Der Bau von Windkraftanlagen unterliegt der Genehmigungspflicht nach Bundes-Immissionsschutzgesetz. Im Genehmigungsverfahren werden immissionsschutzrechtliche, bauleitplanungs- und raumordnungsrechtliche sowie naturschutzrechtliche Anforderungen geprüft. Windkraftanlagen sind vom Gesetzgeber durch Privilegierung explizit in den Außenbereich verwiesen worden, aber nicht an jeder beliebigen Stelle im Landschaftsraum zulässig. Auch für sie gilt der Grundsatz der größtmöglichen Schonung des Außenbereiches und es ist eine Abwägung mit anderen öffentlichen Belangen notwendig. Die Träger der Bauleit- und Regionalplanung haben zudem das Recht durch die Ausweisung von Vorrang-, Eignungs- oder Vorbehaltsgebieten Windenergie in bestimmten Bereichen zu konzentrieren oder auszuschließen und damit den Ausbau räumlich zu steuern. In Form von Windenergieerlassen oder Handlungsempfehlungen zur Ausweisung von Konzentrationszonen werden den Planungsträgern methodische Empfehlungen und Konzepte zur Ermittlung und Ausweisung von geeigneten Windeignungs- bzw. Vorranggebieten an die Hand gegeben. Nach aktueller Rechtsprechung ist die Unterscheidung von sogenannten harten und weichen Tabuzonen inklusive der Dokumentation der Überlegungen zur Auswahl der weichen Tabukriterien zwingend erforderlich. Anschließend hat im Rahmen von Einzelfallprüfungen auf den verbleibenden Potenzialflächen die Prüfung und Abwägung der Eignung als Windvorranggebiet zu erfolgen. Der Artenschutz und das Landschaftsbild spielen im Rahmen der Planungs-

und Genehmigungsverfahren eine besondere Rolle, da sie die wichtigsten Konfliktfelder abbilden. Generell kann man feststellen, dass oft unzureichende Daten zu den Artenvorkommen und Populationsgrößen sowie unzureichende Erkenntnisse zu den Wirkungen der Windkraftanlagen auf die Avifauna vorliegen und somit die Vorgaben des Artenschutzrechtes nur schwer in die konzeptionelle Ermittlung von geeigneten Vorrangflächen einbezogen werden können. Liegen avifaunistische Daten flächendeckend in ausreichender Qualität vor können artenschutzrechtliche Belange über die Erstellung von Konzentrationsflächenkarten bereits frühzeitig in den Planungen berücksichtigt werden. Eine weitere schwierige Aufgabe ist die Berücksichtigung der Auswirkungen auf das Landschaftsbild. Hierzu gibt es eine Vielzahl von interessanten, kontrovers diskutierten methodischen Ansätzen, auf die an dieser Stelle nicht näher eingegangen wird (siehe ROTH 2012).

3.3.2 Planungsinstrumente zur Steuerung der Biomassenutzung

Im Bereich der Steuerung der Biomassenutzung ist generell zwischen der Steuerung des Biomasseanbaus und der Steuerung der Biomasseanlagen zu unterscheiden. Der Anbau von Biomasse unterliegt allein der Verantwortung der Landwirte, die entsprechend der Guten fachlichen Praxis wirtschaften und keinen Unterschied zwischen Nahrungsmittel-, Futtermittel- oder Energiepflanzenanbau machen. Somit gibt es keine Steuerungsmöglichkeit in Bezug auf den mengenmäßigen Anteil der Anbauflächen für den Energiepflanzenanbau und die Art der Energiepflanzen über die landwirtschaftliche Bodennutzung. Eine formelle räumliche Steuerung des Biomasseanbaus ist mit dem vorhandenen Instrumentarium nicht möglich. Einen raumplanerischen Steuerungsbeitrag können Regionale Energiekonzepte (REK), die sich explizit mit dem Thema Bio-massenutzung auseinandersetzen, als informelle Planungsinstrumente leisten.

Auch Biomasseanlagen bedürfen einer Baugenehmigung nach den jeweiligen Landesbauordnungen, wobei kleine Anlagen bis 500 kW im Außenbereich privilegiert sind. Diese Anlagen sind über die Regelungen der Privilegierung direkt an den landwirtschaftlichen Betriebsstandort gekoppelt, so dass eine zusätzliche Zersiedelung des ländlichen Raumes als auch eine räumliche Konzentration von Anlagen verhindert wird. In Abhängigkeit von der Anlagengröße bzw. Leistungsklasse ist zusätzlich eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung notwendig. Zur Errichtung von nicht privilegierten Anlagen im Außenbereich sind die Aufstellung eines Bebauungsplans und die Änderung des Flächennutzungsplanes notwendig (Darstellung als Sondergebiet Biomasseanlage). Auf der Ebene der Regionalplanung ist eine angebotsorientierte Steuerung in Form der Ausweisung von Vorrang- oder Vorbehaltsgebieten „Bioenergienutzung“ möglich.

3.3.3 Planungsinstrumente zur Steuerung von PV-Freiflächenanlagen

Photovoltaik-Freianlagen sind nach den Vorgaben des Baugesetzbuches im Außenbereich nicht privilegiert und bedürfen einer Baugenehmigung nach den jeweiligen Landesbauordnungen. Ist eine Errichtung im Außenbereich beabsichtigt muss ein Bebauungsplan aufgestellt werden. Parallel ist die Änderung des Flächennutzungsplanes (Darstellung als Sondergebiet Solaranlage) notwendig. Ein wichtiges Instrument zur Ermittlung von geeigneten Flächen mit möglichst geringem Konfliktpotenzial ist der Landschaftsrahmenplan. Die direkte Steuerung kann über die Bauleitplanung erfolgen, z.B. über restriktive Festlegungen in Form von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten. Rückbauverpflichtungen sollten über städtebauliche Verträge rechtssicher verankert werden. Auf der Ebene der Regionalplanung ist eine angebotsorientierte Steuerung in Form der Ausweisung von Vorrang- oder Vorbehaltsgebieten „großflächige Solaranlagen“ möglich.

3.3.4 Übergeordnete Planungsinstrumente zur Steuerung des Ausbau der Erneuerbaren Energien

Die Ebene der Regionalplanung ist als Umsetzungsebene für die Steuerung des Ausbaus der Erneuerbaren Energien als Bindeglied zwischen Landes- und Kommunalebene besonders geeignet. Es stehen informelle (strategische Energie- und Klimaschutzkonzepte) und formelle Instrumente (Ausweisung von Vorrang-, Vorbehalts- und Eignungsgebieten sowie Vorgaben für die Leitungsnetzplanung in den Regionalplänen, siehe Abschnitte 3.3.2 und 3.3.3) zur Verfügung.

Regionale Energiekonzepte können in die Abwägung zwischen regionalen Ausbauzielen zum Ausbau der erneuerbaren Energien und konkurrierenden Raumnutzungsansprüchen einbezogen werden. Sie dienen der Ermittlung raumverträglicher EE-Potenzialflächen und dem Aufzeigen von möglichen Ausbauszenarien unter Beachtung demographischer, wirtschaftlicher und raumstruktureller Entwicklungen und sind somit eine wichtige Basis für die planerische Steuerung des Ausbaus der Erneuerbaren Energien auf regionaler Ebene,

wenn gleich sie keine rechtlich bindende Steuerungswirkung haben (siehe Abb. 1) (BAUMGART & KÖTTER 2013, S. 59-61).

Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) empfiehlt in seiner Studie „Strategische Einbindung Regenerativer Energien in Regionale Energiekonzepte“ die Entwicklung von standardisierten Kriterienkatalogen zur Beurteilung der Raumverträglichkeit als planerische Grundlage auf regionaler Ebene sowie die Entwicklung von Standards für Art und Umfang der Datengrundlagen in Abhängigkeit der jeweiligen erneuerbaren Energieoptionen. Die Studie hat gezeigt, dass Bewertungsgrundlagen und -verfahren zur Beurteilung von:

- Flächennutzungsstrukturen unter dem Aspekt der Flächenverfügbarkeit und tatsächlichen quantitativen Flächeninanspruchnahme durch Erneuerbare Energieanlagen,
- potenziellen Flächennutzungskonkurrenzen,
- räumlichen Auswirkungen auf andere Landschaftsfunktionen und
- Immissionen und Infrastrukturveränderungen

erarbeitet werden müssen (BMVBS 2011b, S. 177 f.).

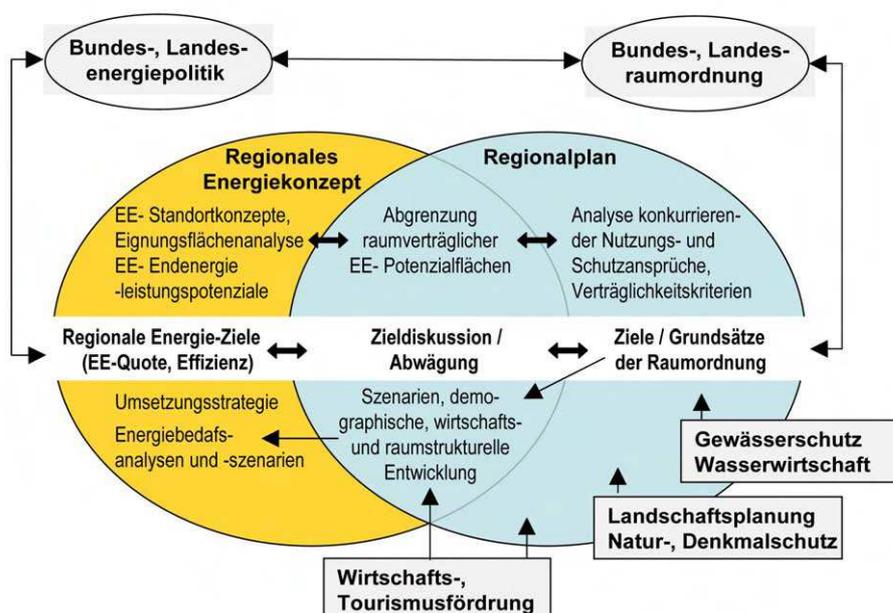


Abb. 1: Schematische Darstellung der Schnittmengen zwischen Regionalem Energiekonzept und Regionalplan (BMVBS 2011b, S. 141).

Aufbauend auf diese Studie hat das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) das Forschungsvorhaben „Räumlich differenzierte Flächenpotenziale für erneuerbare Energien in Deutschland“ in Auftrag gegeben. Ziel des Projektes war die Entwicklung eines Berechnungsmodells zur Ermittlung regionaler, raum- und umweltverträglicher erneuerbarer Energiepotenziale in Abhängigkeit von naturräumlichen, politischen, rechtlichen, planerischen, technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Das entwickelte Modell gestattet die Verschneidung der grundlegenden Raumsprüche und Raumwirkungen der einzelnen erneuerbaren Energieoptionen mit den realen Voraussetzungen und planerischen Zielen im Untersuchungsraum. Auf der Basis der Zuordnung von Konfliktrisiken und Nutzungsrestriktionen zu den Einzelflächen können optimierte Flächenpotenziale ermittelt werden, die konkurrierende Nutzungs- und Schutzaspekte in die Flächenermittlung einfließen lassen. Im Ergebnis wurde festgestellt, dass die Methoden und Werkzeuge zur Ermittlung von Nutzungsrestriktionen für Flächen bzw. Flächenkategorien sowie zur Beurteilung der Raumverträglichkeit des Netzausbaus insbesondere auf der Ebene der Regionalplanung weiterentwickelt und verbessert werden müssen (BBSR 2015; Anm. d. Verf.: Die Veröffentlichung des ausführlichen Abschlussberichtes ist nach Auskunft des BBSR derzeit in Bearbeitung und steht zeitnah zur Verfügung.).

3.4 Hemmnisse

Die Steuerungsmöglichkeiten des Ausbaus der Erneuerbaren Energien sind auf der Ebene der Regionalplanung an die Raumbedeutsamkeit des jeweiligen Vorhabens gebunden. Dazu gehören der Bau von Windkraftanlagen, die Nutzung von Solarenergie auf Freiflächen, nicht privilegierte Vorhaben zur Biomassenutzung, ggf. auch größere Vorhaben zur Wasserkraft- und Geothermienutzung sowie der Energiepflanzenanbau. Weiterhin müssen die Zulässigkeit und die Erforderlichkeit einer raumordnerischen Steuerung gegeben sein. Dies trifft uneingeschränkt nur auf die Windkraft zu. Zur Steuerung der Photovoltaik-Freiflächen-nutzungen können im Regionalplan Vorbehalts- oder Vorranggebiete ausgewiesen werden, Ausschlussregelungen sind aufgrund der fehlenden Privilegierung umstritten. Eine positiv-planerische Steuerung ist der kommunalen Bauleitplanung vorbehalten. Besonders problematisch ist die Steuerung der Bioenergienutzung. Weder der Energiepflanzenanbau noch die Anzahl der Biomasseanlagen sind formell durch die Regionalplanung steuerbar. Für die Umsetzung regionaler Ausbauziele der erneuerbaren Energien müssen weitere Instrumentarien entwickelt und eingesetzt werden (BMVBS 2011b, S. 5- 6).

Ein Hindernis bei der Erarbeitung und Umsetzung von Regionalen Energiekonzepten ist die Datenverfügbarkeit und -aktualität. In der Regel ist es sehr schwierig, aktuelle regionalisierte Energiebilanzen, Zahlen zum Stand der Nutzung erneuerbarer Energien sowie geeignete Datengrundlagen für Potenzialstudien (z.B. zur Windhöflichkeit in Narbenhöhen moderner Windkraftanlagen etc.) zu erhalten. Diese sind jedoch wichtig, um räumlich differenzierte Ausbauziele abzuleiten. Das gleiche gilt für die Abschätzung der Auslastung bzw. Leistungsfähigkeit der vorhandenen Leitungsnetze. Ein weiteres Problem sind Unsicherheiten für die Planungsträger bei der Ausweisung von Windvorranggebieten, die sich aus der aktuellen Rechtsprechung ergeben. In der jüngeren Vergangenheit wurden viele Regionalpläne zumindest für den Teilbereich Windenergie für rechtsunwirksam erklärt. Auch die schnelle Weiterentwicklung der EE-Technologien und die damit verbundenen veränderten Standortanforderungen, z.B. im Bereich der Windkraft, bedingen eine stetige Anpassung der verbindlichen Raumordnungspläne, die manchmal schneller erfolgen müsste als die „normalen“ Fortschreibungszyklen leisten. In diesem Zusammenhang spielen ebenfalls die finanziellen Rahmenbedingungen eine wichtige Rolle. Durch die in relativ kurzen Zeitabständen durchgeführten Novellierungen des EEG verändern sich auch planerische Rahmenbedingungen und Standortkriterien, die einen wesentlichen Einfluss auf die Ausbauraten in den einzelnen erneuerbaren Energiesparten haben. Nicht zuletzt sei auf die knappen Personalressourcen in den Planungs- und Genehmigungsbehörden hingewiesen, die aufgrund der schnellen wissenschaftlich-technischen Entwicklungen, der veränderten Rechtsprechung, neuen Gesetzen, Verordnungen und Richtlinien auf Bundes- und EU-Ebene einen hohen Weiterbildungsbedarf haben, der jedoch oftmals aufgrund von Zeit- und Finanzknappheit nicht gedeckt wird.

3.5 Anpassung und Weiterentwicklung von Planungsinstrumenten

Es steht ein umfangreiches Planungsinstrumentarium zum Ausbau der erneuerbaren Energien zur Verfügung, das generell gut geeignet ist, den Ausbau der erneuerbaren Energien raumverträglich zu steuern. Für die näher betrachteten raumbedeutsamen Energieoptionen ist die Steuerungswirkung unterschiedlich stark ausgeprägt (vgl. Abschnitt 3.2).

Im Windenergiebereich ist eine räumliche und mengenmäßige Steuerung des Ausbaus mit den vorhandenen Instrumenten möglich. Eine große Herausforderung ist die Ermittlung von geeigneten, möglichst konfliktfreien Standorten für die Windenergienutzung. Aktuell arbeiten die zuständigen Planungsbehörden in den einzelnen Bundesländern mit unterschiedlichen Kriterien und Katalogen, die einerseits die aktuelle Rechtsprechung andererseits die jeweiligen landespolitischen Vorgaben berücksichtigen müssen. Die vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) durchgeführte Begleitforschung zum EEG empfiehlt die Erarbeitung von bundesweit einheitlichen, flexibel gestalteten Kriterien und Standards zur Ermittlung von geeigneten Standorten der Windenergienutzung sowie die Berücksichtigung relevanter artenschutzrechtlicher Vorgaben bereits in der Phase der Ausweisung geeigneter Vorranggebiete. Zu besseren Vergleichbarkeit sollten standardisierte, avifaunistische Datenerfassungsmethoden entwickelt und eingesetzt werden, zugleich muss das Wirkungswissen durch die Auswertung von Monitoringergebnissen verbessert werden (vgl. PETERS & DIJKS 2013, S. 8-9). Ein wichtiger, erster Schritt wäre die flächendeckende Analyse, Bewertung und Fortschreibung von verfügbaren

planungsrelevanten Daten, die sich z.B. aus der Auswertung von Gutachten aus Zulassungsverfahren sowie aus Monitoring-Maßnahmen ergeben.

Die räumliche Steuerung insbesondere des Biomasseanbaus gestaltet sich wesentlich schwieriger als bei der Windkraft. Der größte Steuerungsspielraum besteht im EEG und im Fachrecht. Eine zusätzliche, planerische Steuerungsmöglichkeit besteht in der Erarbeitung von regionalen Konzepten zur naturverträglichen Biomassenutzung. Diese können als Basis für das Gesamtenergiekonzept und zur koordinierten Standortsuche dienen. Zudem bilden sie eine gute Grundlage für Beratungsangebote zur nachhaltigen Biomassenutzung und zur Eruiierung von alternativen Substraten und verfügbaren Reststoffen (PETERS & DIJKS 2013, S. 7-8).

Die planerische Steuerung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen erfolgt über die Bauleitplanung oder die informelle Angebotsplanung auf regionaler Ebene. Aufgrund des wachsenden Einvernehmens darüber, dass die Nutzung der Solarenergie prioritär gebäudegestützt oder auf baulich oder infrastrukturell vorbelasteten Flächen erfolgen soll, wird der Umfang des Ausbaus von Photovoltaik-Freianlagen in Zukunft wahrscheinlich abnehmen. Generell ist bei Bedarf über die Entwicklung und Umsetzung von Ausschlusskriterien die Schaffung einer Grundlage zur formalen Steuerung auf regionaler Ebene möglich. Eine Weiterentwicklung der planerischen Steuerungsinstrumente hat derzeit eine untergeordnete Bedeutung.

Den Regionalen Energiekonzepten kommt aufgrund der dynamischen Entwicklungen und der verlangsamten Reaktionsmöglichkeit formeller Instrumente eine wachsende Bedeutung zu. Besondere Vorteile liegen in der gesamtheitlichen Betrachtung aller relevanten Energieoptionen. Der auch in diesem Bereich erforderliche Anpassungs- bzw. Weiterentwicklungsbedarf wird im Folgenden zusammenfassend dargestellt:

(1) Die Regionalen Energiekonzepte müssen aufgrund der relativ schnellen Änderungen der Rahmenbedingungen vor allem im technischen und finanziellen Bereich ständig aktualisiert und fortgeschrieben werden. Zudem ist es wichtig, dass alle Akteure einen Zugriff auf die Datenbasis haben, um eine größtmögliche Transparenz insbesondere zur Verbesserung der Akzeptanz herzustellen.

(2) Die Datenbasis muss ständig erweitert und verbessert werden. Dazu ist es notwendig, Daten aus den Genehmigungsverfahren der EE-Anlagen, aus den laufenden Monitoringmaßnahmen sowie aus sonstigen relevanten Planungsverfahren zu erfassen und aufzubereiten, so dass sie für die Fortschreibung der Regionalen Energiekonzepte genutzt werden können.

(3) Die Regionalen Energiekonzepte als informelle Planungsinstrumente müssen weiter qualifiziert werden, so dass die Ergebnisse möglichst einfach in die vorhandenen formalen Planungen einfließen und die Steuerung des Ausbaus der erneuerbaren Energie insgesamt optimiert werden kann. Eine Möglichkeit ist die Entwicklung und der Einsatz von multikriteriellen, GIS-gestützten Bewertungsverfahren, die Nachhaltigkeitsaspekte einbeziehen und Wege zum raumverträglichen Ausbau der Erneuerbaren Energien aufzeigen.

(4) Die Entwicklung und Anwendung von (bundes)einheitlichen Kriterien und Standards zur Erstellung von Regionalen Energiekonzepten insbesondere bei der Ermittlung von räumlich differenzierten erneuerbaren Energiepotenzialen ist eine zwingende Voraussetzung zur Verbesserung der Vergleichbarkeit der ermittelten Potenziale und zum Abgleich von überregionalen bzw. landesweiten Differenzen auf Energieerzeugungs- und Verbraucherebene. Darauf aufbauend könnten zur länderübergreifenden Synchronisation von Erzeugung und Nutzung der Erneuerbaren Energien Netzausbaubedarfe als Basis für die Erarbeitung von Netzausbauplänen ermittelt werden.

4 ENTWICKLUNG EINES GIS-GESTÜTZTEN INTEGRIERTEN RAUMBEWERTUNGSSYSTEMS

4.1 Vorarbeiten

Das Energiemodell STEM (Space Type Energy Model) ist ein GIS-gestütztes Expertensystem, das auf der Basis von Siedlungs- und Landschaftsraumtypen den aktuellen und zukünftigen Energiebedarf und die erneuerbaren Energiepotenziale ermittelt. Die Grundidee zur Methodik bzw. zum Modell entstand im Rahmen des Forschungsprojektes "Nutzung städtischer Freiflächen für erneuerbare Energien" für das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn (BBR/BBSR & BMVBS 2009). STEM wurde in zahlreichen Modellräumen, u.a. Hamburg (GENSKE et al. 2010), Basel (BERGER et al. 2011),

Villach/Kärnten (GENSKE et al. 2012), Freistaat Thüringen (TMWAT 2011), Fürstentum Liechtenstein (DROEGE et al. 2012) sowie der Planungsregion Nordthüringen (GENSKE et al. 2011) angewendet und wird ständig weiter entwickelt. Das Modell verfolgt einen gesamtheitlichen räumlichen Ansatz, in dem alle (zurzeit bereits marktfähigen) erneuerbaren Energieoptionen, alle Energieparteien und alle nachgefragten Energieformen (Strom, Wärme, Treibstoffe) berücksichtigt werden. Die Projektion des zukünftigen Energiebedarfs im Strom- und Wärmebereich sowie dessen Deckung mittels erneuerbarer Energien erfolgt szenarienbasiert. Die Szenarien bilden mögliche gesellschaftliche, politische und technologische Entwicklungen ab, die als quantifizierbare Größen in die Berechnungen Eingang finden.

Die mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien verbundenen Raumannsprüche und die daraus resultierenden Raumnutzungskonkurrenzen wurden im STEM-Modell bislang nicht explizit betrachtet.

4.2 Zielstellung

Ziel der Arbeit ist es, ein GIS-gestütztes integriertes Raumbewertungssystem zu entwickeln, das alle raumrelevanten Informationen zum Ausbau der erneuerbaren Energien zusammenfasst und aufbereitet, so dass Handlungsempfehlungen zur nachhaltigen energetischen Raumplanung abgeleitet werden können.

Im Rahmen des Promotionsvorhabens soll untersucht werden:

- wie sich der Ausbau erneuerbarer Energiepotenziale räumlich auswirkt,
- welche Synergien, aber auch Konflikte mit anderen Raumnutzungen bestehen,
- welche standardisierten Parameter und Bewertungskriterien als Basis eines integrierten Raumbewertungssystems eingesetzt werden können und
- wie der Ausbau der Erneuerbaren Energien raumverträglich gesteuert werden kann.

4.3 Methoden

Es steht ein umfangreiches Repertoire an Methoden zur Verfügung, die zur Durchführung des Vorhabens eingesetzt werden. Dieses umfasst klassische Literaturrecherche- und Auswertungsmethoden, spezielle Raumanalyse und -bewertungsverfahren sowie qualitative Methoden der empirischen Sozialforschung (Experteninterviews). Das im Rahmen der Promotion zu entwickelnde Modell der energetischen Raumbewertung ist als Raumbewertungs- und Simulationsmodell angelegt, das zur Beschreibung bzw. Darstellung der bestehenden Raumwirksamkeit bzw. Raumbelastung durch den Ausbau der erneuerbaren Energien sowie zur Simulation alternativer Ausbaupfade eingesetzt werden soll. Der Schwerpunkt der Arbeit liegt in der Analyse und Bewertung von Raumwirkungen des Ausbaus der Erneuerbaren Energien. Dazu ist der Einsatz eines Methodenmixes notwendig, der Analyse-, Prognose- und Bewertungsverfahren umfasst. Zu den Analysemethoden zählen u.a. Verfahren zur Definition von Indikatoren, Verfahren der Kartenüberlagerung sowie ökologische Wirkungsanalysen. Klassische Bewertungsverfahren sind die Raumempfindlichkeitsuntersuchung und die ökologische Risikoanalyse, die insbesondere im Bereich der Umweltverträglichkeitsprüfung eingesetzt wird. Prognoseverfahren dienen der Simulation von möglichen Raumwirkungen und zukünftiger Strukturen und Prozesse und können im Rahmen von Leitbilddiskussionen eingesetzt werden. Die Auswahl geeigneter Methoden und Verfahren hängt von verschiedenen Faktoren ab, insbesondere jedoch von der Datenverfügbarkeit und -qualität, den gewählten Zielstellungen und den angestrebten Ergebnissen.

4.4 Forschungsplan

Im Folgenden wird der geplante Forschungsablauf (siehe Abbildung 1) vorgestellt. Die Untersuchungen gliedern sich in die im Folgenden beschriebenen Hauptabschnitte.

4.4.1 Grundlagenstudien

Zunächst erfolgt eine detaillierte Analyse der Raumannsprüche bzw. der Raumwirkungen der betrachteten erneuerbaren Energieoptionen (Arbeitsschritt 1). Ein weiterer wichtiger Grundlagenbaustein ist die Ermittlung und Beschreibung von Indikatoren der nachhaltigen Raumnutzung, die bei der Ermittlung von Raumbelastungsgraden beim Ausbau der erneuerbaren Energien Berücksichtigung finden sollen. Ein Schlüsselindikator zur Beurteilung der nachhaltigen Raumnutzung in Bezug auf das Handlungsziel Ausbau der erneuerbaren Energieerzeugung ist z.B. die Zunahme der Flächeninanspruchnahme durch den Bau von

Anlagen zur erneuerbaren Energieerzeugung bzw. der dazugehörigen Infrastruktur. (Arbeitsschritt 2). Weitere Indikatoren sind z.B. Freiflächenanteil und -qualität, Zerschneidungsgrad und Nutzungspotenzial. Basierend auf den Ergebnissen aus Arbeitsschritt 1 und 2 werden geeignete Bewertungskriterien bzw. Indikatoren ausgewählt. Auswahlkriterien sind z.B. die Verständlichkeit, Objektivität, die Datenverfügbarkeit sowie die Eignung zur Analyse von Wechselwirkungen mit anderen Nutzungen (Arbeitsschritt 3).

Meilenstein 1: Darstellung der Raumwirkungen / Indikatoren nachhaltiger Landnutzung

Im Mittelpunkt des nächsten Arbeitspaketes steht die Analyse, Beschreibung und Bewertung von Wechselwirkungen des Ausbaus der Erneuerbaren Energien mit anderen Raumnutzungen, mit dem Ziel, bestehende Synergien sowie Nutzungskonkurrenzen bzw. -konflikte mit Hilfe von zuvor definierten Bewertungskriterien und Indikatoren zu beschreiben. Im Ergebnis sollen Raumverträglichkeits- bzw. Raumbelastungsgrade für die untersuchten erneuerbaren Energieoptionen in Abhängigkeit von definierten Nachhaltigkeitsaspekten abgeleitet und in Abhängigkeit von den regionalen Rahmenbedingungen für den Modellraum dargestellt werden (Arbeitsschritt 4).

Meilenstein 2: Bestimmung von Raumverträglichkeits- bzw. Raumbelastungsgraden

4.4.2 Entwicklungsphase

Aufbauend auf den Ergebnissen aus den Grundlagenstudien wird für jede untersuchte Erneuerbare Energieoption eine Raumbewertungsmatrix abgeleitet, die den Grad der Raumverträglichkeit in Abhängigkeit von den bestehenden Potenzialen, dem aktuellen Ausbaugrad und Nachhaltigkeitsaspekten darstellt (Arbeitsschritt 5).

Voraussetzung für die Integration der Bewertungskriterien in ein Raumbewertungssystem ist die Operationalisierung. Diese beinhaltet Festlegungen, mit welchen Indikatoren die Gesamtraumbelastungs- bzw. Raumverträglichkeit gemessen bzw. abgebildet werden soll und mit welchen GIS-basierten Erhebungs- und Analyseverfahren diese ermittelt werden können. Aufbauend auf der Analyse von Wechselwirkungen und Zielkonflikten zwischen den einzelnen Indikatoren erfolgt eine Kategorisierung der Bewertungskriterien in indifferent (im Sinne von unabhängig, beziehungslos), komplementär (sich ergänzend) und konfliktär. Zunächst werden konfliktäre Bewertungsaspekte betrachtet, um sogenannte KO-Kriterien zu bestimmen, die bestimmte Nutzungen (hier Erzeugung Erneuerbarer Energie) ausschließen. Alle anderen Kriterien werden priorisiert oder gewichtet in die Gesamtbewertung einbezogen. Diese so kategorisierten, priorisierten und gewichteten Bewertungskriterien werden schließlich in einem integrierten Raumbewertungssystem zusammengefasst (Arbeitsschritt 6).

Mit Hilfe von leitfadengestützten Experteninterviews wird das entwickelte Indikatorenset sowie das Bewertungssystem verifiziert und angepasst. (Arbeitsschritt 7)

Meilenstein 3: Entwicklung und Verifizierung des integrierten Raumbewertungssystems

4.4.3 Erprobung/Auswertung

Das Raumbewertungssystem wird im Modellraum getestet. Es werden raumverträglich nutzbare Flächenpotenziale ermittelt und regionale Ausbauziele definiert. Es können verschiedene Ausbauszenarien analysiert und ausgewertet werden. (Arbeitsschritt 8).

In der letzten Phase des Vorhabens erfolgt eine beispielhafte Erprobung bzw. Anwendung des entwickelten Raumbewertungssystems in der Praxis im Rahmen eines Planspiels. Ziel ist es, die Eignung als informelles Planungsinstrument zu testen. (Arbeitsschritt 9)

Meilenstein 4: Beispielhafte Erprobung des Raumbewertungssystems im Modellraum

Aufbauend auf einer Analyse bestehender Planungsinstrumente sollen Empfehlungen für die Anpassung bestehender bzw. Entwicklung neuer Instrumente zur Steuerung des raumverträglichen Ausbaus der erneuerbaren Energie abgeleitet werden (Arbeitsschritt 10).

Meilenstein 5: Ableitung von Empfehlungen für den praktischen Einsatz

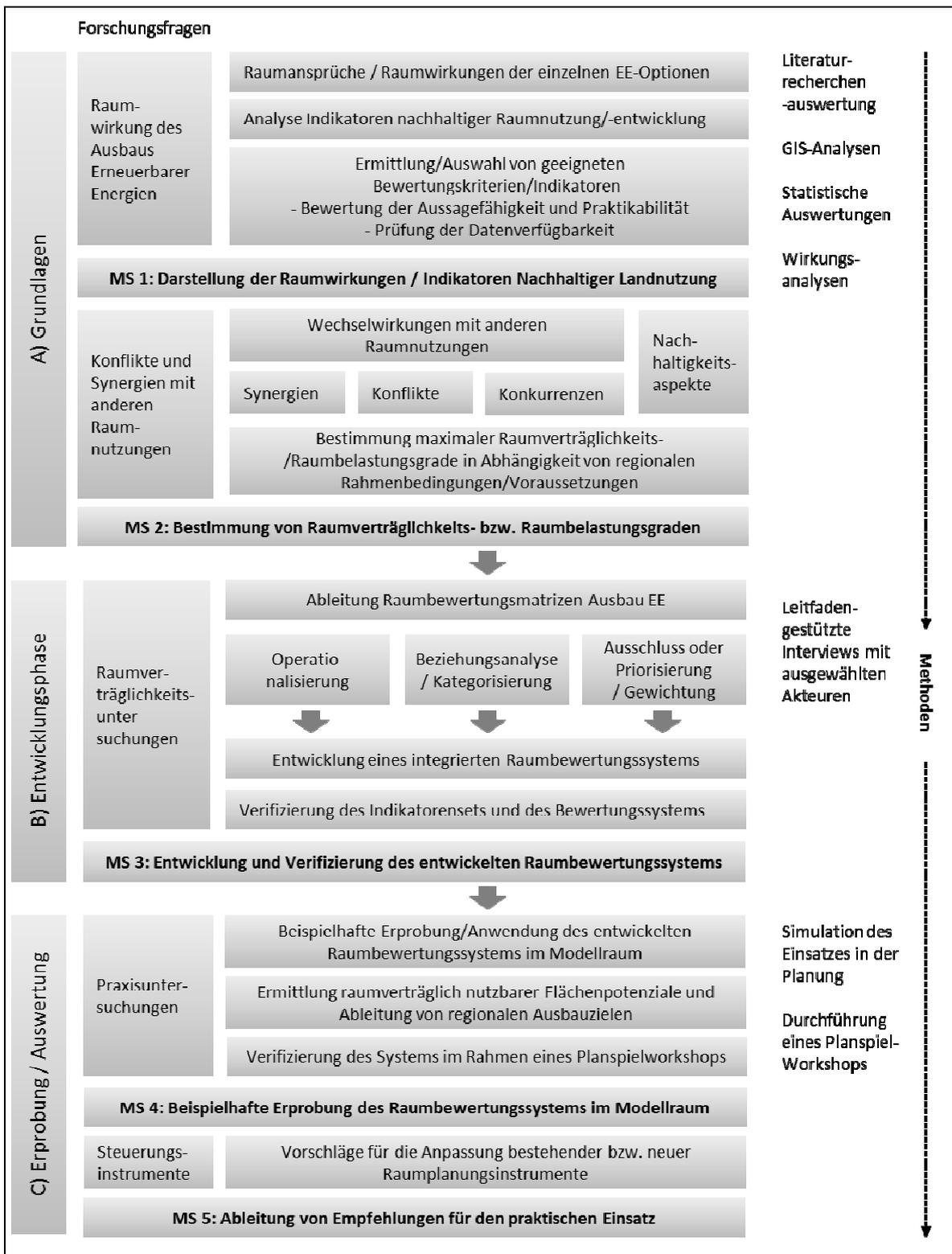


Abb. 2: Forschungsprozess und eingesetzte Methoden.

5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die in den vorausgegangenen Abschnitten durchgeführten Betrachtungen als auch die Diskussionen in der Öffentlichkeit und der Fachwelt verdeutlichen die Komplexität der Energiewende, die Fragen einer stabilen, bezahlbaren, regenerativen Energieversorgung vor dem Hintergrund des Klimawandels und anderer konkurrierende Raumnutzungen mit der überordneten Frage nach der Gesamtnachhaltigkeit der Landschaftsraumnutzung durch den Menschen verbindet. Die Entwicklung von nachhaltigen Energielandschaften basiert auf dem schrittweisen, raumverträglichen Ausbau dezentraler erneuerbarer Energieanlagen. Die anvisierten Ausbauziele sind ambitioniert und erzeugen eine Reihe von

Nutzungskonflikten mit konkurrierenden Raumnutzungen. Es ist Aufgabe der Raumplanung, die durch den Ausbau der Erneuerbaren Energien verursachten räumlichen Nutzungsansprüche und Nutzungskonkurrenzen im Rahmen der räumlichen Planung zu koordinieren und zu steuern. Dazu steht ein umfangreiches Repertoire an Planungsinstrumenten zur Verfügung, das kurz vorgestellt und bezüglich seiner Steuerungswirkung und bestehender Hemmnisse bewertet wurde. Die vorhandenen Planungsinstrumente müssen aufgrund der dynamischen Entwicklungen im technischen Anlagenbereich als auch der finanziellen Rahmenbedingungen stetig angepasst und weiterentwickelt werden. Eine wachsende Bedeutung als informelle Planungsinstrumente zur Steuerung des raumverträglichen Ausbaus der erneuerbaren Energien haben die Regionalen Energiekonzepte. Es ist notwendig, für die Erstellung dieser Konzepte einheitliche Kriterien und Methoden zur Ermittlung von raumverträglichen erneuerbaren Energiepotenzialen zu entwickeln, die auch in anderen Modellräumen angewendet werden können. Somit könnten die Ergebnisse der Potenzialanalysen in den Regionen einerseits verglichen werden, viel wichtiger jedoch, auch miteinander verschnitten werden. Anhand einer überregionalen, auf der gleichen methodischen Basis ermittelten Übersicht über räumlich differenzierte Erzeugungspotenziale und Verbrauchsschwerpunkte könnten Netzausbaubedarfe abgeschätzt und Netzausbaupläne entwickelt werden. Dieser Aufgabe stellt sich das vorgestellte Promotionsvorhaben. Anhand von standardisierten Bewertungskriterien und -methoden sollen die Raumansprüche und vorhandenen Nutzungskonflikte des energetischen Umbaus aufgezeigt und auf der Basis eines GIS-gestützten Bewertungssystems raumverträgliche Flächen- bzw. Energiepotenziale zum Ausbau der erneuerbaren Energien für den Modellraum Nordthüringen ermittelt werden. Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeit, auf den im Rahmen dieses Beitrags nicht näher eingegangen wurde, liegt in der Entwicklung von Nachhaltigkeitskriterien, die in die Ermittlung der raumverträglichen Ausbaupotenziale der erneuerbaren Energien einbezogen werden sollen.

6 LITERATUR

- ARGE Monitoring von PV-Anlagen (Hg.): Leitfaden zur Berücksichtigung von Umweltbelangen bei der Planung von PV-Freiflächenanlagen. Stand: 28.11.2007. Hannover, 2007.
- BAUMGART, S., Kötter, K.: Klimaschutz und erneuerbare Energien. In: Baumgart, S., Terfrüchte, T. (Hg.): Zukunft der Regionalplanung in Nordrhein-Westfalen. Hannover (Arbeitsberichte der ARL, 6), S. 53–66, 2013.
- BBR/BBSR: Nutzung städtischer Freiflächen für erneuerbare Energien. Bearbeitung: D. D. Genske, A. Ruff, T. Joedecke, Redaktion: L. Porsche, D. Lorenz. Bonn, Berlin, 2009.
- BBSR: Räumlich differenzierte Flächenpotenziale für erneuerbare Energien in Deutschland. Ergebnisse. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung. Bonn, 2015.
- BERGER, T., Genske, D. D., Hüsler, L.; Joedecke, T., Menn, A., Ruff, A.: Basel auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft (Broschüre zum Forschungsbericht). Hg. v. Amt für Umwelt und Energie (AUE) Basel, 2011.
- BMU: Erfahrungsbericht 2007 zum Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG-Erfahrungsbericht). Beschlossen vom Bundeskabinett am 7. November 2007, 2007.
- BMVBS (2011a): Erneuerbare Energien: Zukunftsaufgabe der Regionalplanung. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin, 2011.
- BMVBS (2011b): Strategische Einbindung regenerativer Energien in Regionale Energiekonzepte - Folgen und Handlungsempfehlungen aus Sicht der Raumordnung. (BMVBS-Online-Publikation, 23/2011). Berlin, 2011.
- DROEGE, P., Genske D.D, Joedecke, T., Roos, M., Ruff, A.: Erneuerbares Liechtenstein. Universität Liechtenstein. Vaduz, 2012.
- GAILING, L.: Die Landschaften der Energiewende - Themen und Konsequenzen für die sozialwissenschaftliche Landschaftsforschung. In: Gailing, L., Leibenath, M. (Hg.): Neue Energielandschaften - Neue Perspektiven der Landschaftsforschung. Wiesbaden: Springer VS, S. 207–215, 2013.
- GENSKE, D. D., Joedecke, T., Ruff, A., Schwarze, M.: Regionales Energie- und Klimaschutzkonzept Nordthüringen. Hg. v. Regionale Planungsgemeinschaft Nordthüringen. Sondershausen, 2011.
- GENSKE, D. D., Henning-Jacob, J., Joedecke, T., Oliva, R.; Riener, I., Ruff, A.: 3E – Erneuerbare Energie für Städte. Europäischer Fond für Regionale Entwicklung (EFRE), Stadt Villach, FH Nordhausen, Ingenieurbüro Henning-Jacob. Nordhausen, 2012.
- GENSKE, D. D.; Henning-Jacob, J.; Joedecke, T.; Ruff, A. (2010): Methodik und Strategieentwicklung / Zukunftsszenarien für Wilhelmsburg. IBA-Hamburg. In: Energieatlas. Zukunftskonzept erneuerbares Wilhelmsburg. Unter Mitarbeit von Caroli-ne Fafflok. Berlin: Jovis (Metropole, Sonderbd.), S. 43-66, 79-119.
- HILDEBRANDT, Claudia: Folgen der energetischen Biomassenutzung für die Landschaft. Energetische Biomassenutzung in M-V - Folgen für die Landschaft und alternative Nutzungskonzepte. Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (LUNG) Mecklenburg-Vorpommern. Güstrow, 2009.
- JOHANN, R.: Energielandschaften. Erneuerbare Energien als Treiber für die Raumentwicklung. In: Polis: Magazin für Urban Development 2010 (17), S. 54–56, 2010.
- KOST, S.: Transformation von Landschaft durch (regenerative) Energieträger. Zur Bedeutung der Bewohnersicht. In: Gailing, L., Leibenath, M. (Hg.): Neue Energielandschaften - Neue Perspektiven der Landschaftsforschung. Wiesbaden: Springer VS, S. 121–136, 2013.
- MENGEL, A., Reiss, A., Thömmes, A., Hahne, U., Kampen, S. v., Klement, M.: Steuerungspotenziale im Kontext naturschutzrelevanter Auswirkungen erneuerbarer Energien Abschlussbericht des F+E-Vorhabens (FKZ 806 82 110) "Naturschutzre-

- levanz raumbedeutsamer Auswirkungen der Energiewende". Bonn - Bad Godesberg: BfN-Schriftenvertrieb im Landwirtschaftsverlag (Naturschutz und Biologische Vielfalt, 97, 2010).
- ÖROK: Energie und Raumentwicklung. Räumliche Potenziale erneuerbarer Energieträger. Hg. v. Österreichische Raumordnungskonferenz. Wien (Schriftenreihe, 178), 2009.
- PETERS, J: Landschaftsveränderungen im Spiegel der Geschichte - Wie gravierend ist die Transformation von Energielandschaften? In: Demuth, B., Heiland, St., Wiersbinski, N., Ammermann, K. (Hg.): Energielandschaften - Kulturlandschaften der Zukunft? "Energiewende - Fluch oder Segen für unsere Landschaften?". Bonn-Bad Godesberg (BfN-Skripten), S. 138–157, 2013.
- PETERS, W., Dijks, S.: Vernetzung der Forschung zu den Auswirkungen von Erneuerbaren Energien auf Natur und Landschaft im Hinblick auf den EEG-Erfahrungsbericht. Abschlussbericht. Hg. v. Bundesamt für Naturschutz (BfN). Bosch & Partner GmbH. Berlin, 2013.
- REGIONALE PLANUNGSGEMEINSCHAFT NORDTHÜRINGEN: Rahmenbedingungen und Leitbilder. Anhörung/öffentliche Auslegung des überarbeiteten Entwurfes zum Regionalplan Nordthüringen. PV-Beschluss 19/04/2008 vom 11.11.2008. Informeller Bestandteil der Planunterlagen. Sondershausen, 2008.
- REINHOLD, G.: Perspektiven von Biogas in Thüringen. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. 2. Fachtagung Biogas 2014 "Aktueller Stand der EEG-Reform 2014". Bösleben, 01.07.2014.
- REINHARDT, G.; Scheurlen, K. F + E-Vorhaben: Naturschutzaspekte bei der Nutzung erneuerbarer Energien. FKZ 801 02 160, Heidelberg, Potsdam, 2004.
- RODE, M, Schneider, C., Ketelhake, G., Reißhauer, D.: Naturschutzverträgliche Erzeugung und Nutzung von Biomasse zur Wärme- und Stromgewinnung. Hg. v. Bundesamt für Naturschutz. Bonn-Bad Godesberg (BfN-Skripten, 136), 2005.
- ROTH, M.: Landschaftsbildbewertung in der Landschaftsplanung. Entwicklung und Anwendung einer Methode zur Validierung von Verfahren zur Bewertung des Landschaftsbildes durch internetgestützte Nutzerbefragungen. Berlin: Rhombos-Verl (IÖR-Schriften, Bd. 59), 2012.
- SARTORIS, A., Fuhrer, J., Abegg, B., Reynard, E.: (2012): Lösungsansätze für die Schweiz im Konfliktfeld erneuerbare Energien und Raumnutzung. Hg. v. Akademien der Wissenschaften Schweiz. Bern, 2012.
- SCHOLLES, F.: Das System der Projektzulassung in Deutschland. In: Dietrich Fürst (Hg.): Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung. 3. Aufl. Dortmund: Rohn, S. 100–132, 2008.
- SRU: Klimaschutz durch Biomasse. Sondergutachten. Berlin: Erich Schmidt Verlag, 2007.
- STREMKE, S., van Dobbelsteen, A.: Conclusion. In: Stremke, S., van Dobbelsteen, A. (Hg.): Sustainable energy landscapes. Designing, planning, and development. Boca Raton, FL: Taylor & Francis (Applied ecology and environmental management), S. 491–495, 2013.
- STREMLOW, M., Maibach, M., Gehrig, S., Kienast, F., Paschedag, I., Iselin, G., Kläy, P.: Landschaft 2020. Analysen und Trends. Grundlagen zum Leitbild des BUWAL für Natur und Landschaft. Hg. v. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern (Schriftenreihe Umwelt, 352), 2003.
- STREMKE, S.: Designing Sustainable Energy Landscapes. Concepts Principles and Procedures. Doctoral Thesis. Wageningen University, Wageningen, 2010.
- TMWAT: Neue Energie für Thüringen. Ergebnisse der Potenzialanalyse. Langfassung. Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Technologie (TMWAT). Erfurt, 2011.