

Henning Rhoden



Umweltauswirkungen erneuerbarer Energien

GIS-gestützte Analyse kumulativer Wirkungen

Quellen der Titelfotos

- Windenergie: EIGENE AUFNAHME 2015
- Solar: DECK 2015: [www](#)
- Weltkugel: EIGENE DARSTELLUNG 2015
- Mais: SPELSBERG 2015: [WWW](#)

Umweltauswirkungen erneuerbarer Energien

GIS-gestützte Analyse kumulativer Wirkungen

Diplomarbeit am Institut für Umweltplanung

Fakultät für Architektur und Landschaft

Leibniz Universität Hannover

Bearbeiter: Henning Rhoden

Betreuung: Prof. Dr. Christina von Haaren

Dr. Christian Albert

Bearbeitung: Hannover, 17. Dezember 2012 – 25. April 2013

Überarbeitung: Hannover, April 2015

„In zunehmendem Maße werden kumulative Auswirkungen der erneuerbaren Energien auf Natur und Landschaft eine Rolle spielen.“
(JESSEL & MOORFELD 2012: 548)

Danksagung

Zunächst möchte ich mich ganz herzlich bei Prof. Dr. Christina von Haaren und Dr. Christian Albert vom Institut für Umweltplanung für die Betreuung meiner Diplomarbeit bedanken. Sie haben sich ad hoc dazu bereit erklärt und mir viel Mut für die Bearbeitung zugesprochen. Herzlichen Dank.

Mark Herrmann und dem Dezernat Umwelt, Planung und Bauen der Region Hannover danke ich für die Bereitstellung der GIS-Daten zu den Vorranggebieten zur Windenergiegewinnung.

Für ihre fachliche und emotionale Unterstützung bedanke ich mich herzlich bei Christian Kohl, Lina Kunze und Brigitte Schmidt, sowie bei Urs Leyhe für die Möglichkeit, meine Arbeitszeit zu reduzieren.

Ein großes Dankeschön geht an Ilka Appel und Sonja de Vries für alles, doch vor allem für ihre unglaubliche Geduld.

Nicht zuletzt danke ich meinen Eltern für ihren steten Rückhalt nicht nur während dieser Arbeit.

Hannover, 25. April 2013
Henning Rhoden

Zusammenfassung

Die Energiewende und damit die Abkehr von fossilen und atomaren Energiequellen beruht auf einem verstärkten Ausbau der erneuerbaren Energien. Dieser Ausbau findet vorwiegend in Natur und Landschaft statt, wobei Konflikte mit den Zielen des BNatSchG z.B. hinsichtlich Landschaftsbild oder den Folgen von Monokultur beim Energiepflanzenanbau bereits gegeben sind. Was jedoch passiert, wenn mehrere Arten erneuerbarer Energien in einer Landschaft komprimiert auftreten, wird in dieser Arbeit untersucht. Ergeben sich aus kumulierten Wirkungen erweiterte Konflikte mit den Zielen des BNatSchG oder sind möglicherweise positive Effekte zu erkennen?

Eine „kumulative Wirkung“ ist definiert als additiv-synergistische Gesamtwirkung sämtlicher ein Schutzgut betreffender Wirkfaktoren. Diese entstehen aus einem oder mehreren Projekten/Plänen und prägen sich auf unterschiedliche Weise aus: So können die gleichen Wirkräume zur gleichen Zeit betroffen sein oder es kann zu einer räumlichen und/oder zeitlichen Verdichtung kommen. Dies kann zu einer einfachen Summierung von Wirkungen führen, die eine exponentielle Wirkungssteigerung nach sich ziehen. Des Weiteren sind auch positive Wirkungen möglich, die innerhalb einer kumulativen Wirkung eine Beeinträchtigung abschwächen können.

Bei der Energiebereitstellung durch erneuerbare Energien kommt es zu einer Vielzahl von Wirkfaktoren mit unterschiedlichen Wirkungen auf die einzelnen Schutzgüter. Inwieweit sich diese Wirkungen zueinander verhalten, wenn Photovoltaik, Geothermie, Biogas und Windenergie in einer Region zusammen auftreten, ist Inhalt dieser Arbeit. Die Erstellung einer Gesamtmatrix mit den Wirkungen aus den o. g. Anlagen ermöglicht die Ableitung potenzieller kumulativer Wirkungen über ein entsprechendes Prüfschema. Dabei zeigt sich, dass z. B. aus einer Veränderung oder Beseitigung von Vegetation auch in Kombination mit anderen Wirkfaktoren wie Scheuchwirkung oder Lärmemission eine kumulative Wirkung auf das Schutzgut Tiere resultieren kann. Diese kann sich in einer Beeinträchtigung der Lebensräume widerspiegeln oder den Biotopverbund betreffen. Unter bestimmten Voraussetzungen ist es jedoch auch möglich, dass sich positive Effekte ergeben wie z. B. eine Aufwertung von Ackerstandorten durch Photovoltaik-Freiflächenanlagen. Mögliche Wirkungen werden in einem konstruierten Fallbeispiel am Schutzgut Tiere dargestellt, indem beispielhaft die kumulative Wirkung auf den Schwarzstorch ermittelt und bewertet wird. Dazu werden zunächst die den Schwarzstorch betreffenden Wirkfaktoren abgeleitet: Diese ergeben sich aus der visuellen Wahrnehmung und der Überdeckung von Boden durch Photovoltaik-Freiflächenanlagen, aus der baubedingten Lärmwirkung einer Geothermieanlage, aus der Veränderung der Vegetation durch den Maisanbau für eine Biogasanlage sowie aus der Unterbrechung der Flugkorridore durch ein Vorranggebiet zur Windenergiegewinnung. In einem zweiten Schritt werden die Wirkräume der Wirkfaktoren mithilfe eines Geografischen Informationssystems (GIS) ermittelt, woraus deutlich wird, dass es zu Habitatverlusten für den Schwarzstorch kommt. Im anschließenden Bewertungsschritt wird die kumulative Wirkung anhand einer Methode zur FFH-Verträglichkeitsprüfung auf ihrer Erheblichkeit geprüft. Dabei stellt sich im Zusammenwirken der verschiedenen Anlagen eine Überschreitung der für den Schwarzstorch definierten Erheblichkeitsschwelle

heraus, womit festgehalten werden kann, dass im Fallbeispiel aus den erneuerbaren Energien eine erhebliche kumulative Wirkung hervorgeht.

So wird deutlich, dass durch kumulative Wirkungen erneuerbarer Energien erweiterte Konflikte in Hinblick auf die Ziele des BNatSchG entstehen können. Um diesen Konflikten vorzubeugen, sind Maßnahmen und Regelungen im Rahmen räumlicher Planungen notwendig, die eine Fokussierung räumlicher Planung hinsichtlich eines umweltverträglichen Ausbaus erneuerbarer Energien ermöglichen.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	V
Zusammenfassung	VII
Inhaltsverzeichnis	IX
Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis	XII
Kartenverzeichnis	XII
1 Einleitung	1
1.1 Zielsetzung	2
1.2 Vorgehen	3
2 Kumulative Wirkungen	5
2.1 Entstehung	5
2.2 Wirkungsweisen.....	8
3 Erneuerbare Energien	17
3.1 Windenergie (Onshore).....	17
3.1.1 Energiebereitstellung.....	17
3.1.2 Wirkfaktoren.....	19
3.2 Photovoltaik.....	25
3.2.1 Energiebereitstellung.....	25
3.2.2 Wirkfaktoren.....	27
3.3 Biogas.....	30
3.3.1 Energiebereitstellung.....	30
3.3.2 Wirkfaktoren.....	33
3.4 Geothermie.....	47
3.4.1 Energiebereitstellung.....	47
3.4.2 Wirkfaktoren.....	50
4 Ermittlung potenzieller kumulativer Wirkungen	57
4.1 Vorgehen	57
4.2 Darstellung der potenziellen kumulativen Wirkungen	60
4.2.1 Potenzielle kumulative Wirkungen auf das Schutzgut Tiere	68
4.2.2 Potenzielle kumulative Wirkungen auf das Schutzgut Landschaftsbild	69

5	Ermittlung und Bewertung der kumulativen Wirkung auf den Schwarzstorch (<i>Ciconia nigra</i>) anhand eines Fallbeispiels	71
5.1	Beschreibung des Fallbeispiels.....	71
5.1.1	Anlagen erneuerbarer Energien.....	71
5.1.2	Schwarzstorch.....	73
5.2	Vorgehen	75
5.3	Ermittlung der kumulativen Wirkung und der Wirkräume ihrer Wirkfaktoren	79
5.3.1	Ableitung der potenziellen kumulativen Wirkung	79
5.3.2	Wirkraum Photovoltaik-FFA	80
5.3.3	Wirkraum Geothermie	82
5.3.4	Wirkraum Biogas	84
5.3.5	Wirkraum Windenergie	86
5.4	Bewertung der kumulativen Wirkung	88
6	Fazit.....	91
	Quellenverzeichnis	95
	Anhang	106

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Idealtypische Entstehung kumulativer Wirkungen	7
Abb. 2: Unterscheidung additiver und synergistischer Wirkungen	9
Abb. 3: Typisierung kumulativer Wirkungen nach ihrer Wirkungsweise	11
Abb. 4: Windkraftanlage	17
Abb. 5: Photovoltaik-Freiflächenanlage mit nachführbaren Solarmodulen	25
Abb. 6: Photovoltaik-Freiflächenanlage mit starr in Reihe montierten Solarmodulen	25
Abb. 7: Einzäunung PV-FFA	26
Abb. 8: Biogasanlage mit Fermenter, Nachgärbehälter und Maissilage	31
Abb. 9: Wildschaden im Mais	34
Abb. 10: Elektro-Einzäunung von Mais zur Wildschadensabwehr	34
Abb. 11: Beispiele für verschiedene geothermische Nutzungstypen	48
Abb. 12: Ablagerungen des Tiefenwassers an Bauteilen zur Nutzung der tiefen Geothermie	51
Abb. 13: Gebäudeschäden in Stufen i. Br. nach Bohrungen zur oberflächennahen geothermischen Nutzung	51
Abb. 14: Prüfschema zur Ermittlung kumulativer Wirkungen	59
Abb. 15: Schwarzstorch	73
Abb. 16: Schwarzstörche bei der Nahrungssuche	75
Abb. 17: Steigung des kumulativen Flächenverlustes für den Schwarzstorch.....	89

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Vorgehen.....	4
Tab. 2: Wirkfaktoren im Zusammenhang mit der Windenergienutzung (Onshore).....	22
Tab. 3: Wirkfaktoren im Zusammenhang mit Photovoltaik-Freiflächenanlagen.....	28
Tab. 4: Wirkfaktoren im Zusammenhang mit Anlagen zur Biogaserzeugung.....	36
Tab. 5: Wirkfaktoren im Zusammenhang mit der Bereitstellung von Biomasse aus Mais.....	39
Tab. 6: Wirkfaktoren im Zusammenhang mit der Bereitstellung von Biomasse aus KUP am Beispiel der Pappel.....	44
Tab. 7: Wirkfaktoren im Zusammenhang mit hydrothermalen Anlagen der tiefen Geothermie.....	53
Tab. 8: Gesamtmatrix zur Ableitung potenzieller kumulativer Wirkungen.....	60
Tab. 9: Erheblichkeitsschwellen für Lärmwirkungen auf Vögel.....	82

Kartenverzeichnis

Karte 1: Untersuchungsgebiet und Verortung der untersuchten Anlagen erneuerbarer Energien.....	74
Karte 2: Wirkraum der Photovoltaik-Freiflächenanlage und dessen Überlagerung mit Nahrungshabitaten des Schwarzstorches.....	81
Karte 3: Wirkraum der baubedingten Schallemission aus der Geothermieanlage bis zur Erheblichkeitsschwelle für Vögel.....	83
Karte 4: Wirkraum der Biogasanlage und dessen Überlagerung mit Nahrungshabitaten des Schwarzstorches.....	85
Karte 5: Vorranggebiet zur Windenergiegewinnung und dessen Wirkung auf die Flugkorridore und die Nahrungshabitate des Schwarzstorches.....	87
Karte 6: Kumulative Wirkung auf den Schwarzstorch durch Habitatverluste.....	90

1 Einleitung

Vergegenwärtigt man sich aktuelle Themen der Umweltpolitik wie knapper werdende Ressourcen, Klimawandel und biologische Vielfalt, ergibt sich ein Bild, das die gesellschaftliche, wirtschaftliche und ökologische Tragweite dieser Themen widerspiegelt (BMU 2010: 10).

Die globale Durchschnittstemperatur auf der Erdoberfläche hängt mit dem anthropogen verursachten Ausstoß von Treibhausgasen (insbesondere Kohlendioxid (CO₂)) durch die Nutzung fossiler Brennstoffe zusammen und hat bereits heute nachweisbare Folgen, die bei weiterer Erwärmung die Anpassungsfähigkeit natürlicher, bewirtschafteter und sozialer Systeme zur Anpassung überschreiten wird. Dieses Bewusstsein hat zu internationalen Zielvereinbarungen wie dem Kyoto-Protokoll geführt (vgl. BMU 2012c: www; BMU 2011b: 9). Darin verpflichten sich die Teilnehmerländer zu einer selbstaufgelegten Reduktion ihrer Treibhausgasemissionen. Deutschland hat sein Ziel von 21 % Reduktion im Jahr 2012 (bezogen auf das Basisjahr 1990) bereits 2008 erreicht (BMU 2010: 44) und hat in der zweiten Verpflichtungsperiode sein Ziel auf 40 % für 2020 erweitert, bis in mehreren Schritten im Jahr 2050 schließlich eine Reduktion von 80-95 % gegeben sein soll (vgl. BMU 2012c: www).

Das Erreichen dieser Ziele bedeutet die Abkehr von der bisherigen Energiepolitik, die von der Nutzung fossiler Brennstoffe geprägt ist. Neue Impulse erhält die Energiepolitik zusätzlich durch den Ausstieg aus der Kernenergie: Das Risiko der Gefährdung durch radioaktive Strahlung und speziell das Reaktorunglück des Kernkraftwerks in Fukushima im Jahr 2011, bei dem diese Risiken zur realen Katastrophe führten, haben – unter hohem gesellschaftlichen Druck – zum Beschluss des Ausstiegs aus den Kernenergiegewinnung bis Ende 2022 geführt (vgl. BMU 2012b: 8; DENKLER 2011: www).

Die neue Energiepolitik manifestiert sich v. a. im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), dessen Ziel es ist, „im Interesse des Klima- und Umweltschutzes eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zu ermöglichen (...) und die Weiterentwicklung von Technologien zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien zu fördern“ (§ 1 Abs. 1 EEG). Als maßgebliches Instrument zur Förderung erneuerbarer Energien schafft das EEG seit seiner Erlassung im Jahr 2000 und seinen Novellierungen 2004 und 2009 mit den Vorgaben zur Vergütung von Strom bedeutende Anreize für den Ausbau erneuerbarer Energien (vgl. DBFZ 2011: 8; §§ 16-33 EEG). Gleichzeitig nimmt es mit den Vorgaben Einfluss auf technische und raumplanerische Belange (vgl. §§ 16-33 EEG).

Der Ausbau erneuerbarer Energien führte in Deutschland 2011 zu einer Energiebereitstellung von 12,5 % am gesamten Endenergieverbrauch (BMU 2012b: 16). Der Anteil der Strombereitstellung erneuerbarer Energien am gesamten Bruttostromverbrauch beträgt 20,3 % (BMU 2012b: 17). Im EEG ist das Ziel verankert, diesen Anteil bis zum Jahr 2020 auf mindestens 35 % zu bringen und danach kontinuierlich weiter zu erhöhen (BMU 2012b: 11; § 1 Abs. 2 EEG). Laut einem Leitszenario von NITSCH (2008: 6f) kann bis 2020 eine Minderung der CO₂-Emission von 36 % erreicht werden, wenn die erneuerbaren Energien kontinuierlich weiter ausgebaut werden; er sieht in

den Sparten Biomasse, Windenergie, Photovoltaik und Geothermie starke Zuwächse der Energiebereitstellung.

Die Reduzierung der CO₂-Emissionen ist einer der Kernpunkte der Energiepolitik und der Ausbau erneuerbarer Energien auch im Naturschutz weithin unstrittig (JESSEL & MOORFELD: 2012: 548). Doch erneuerbare Energien benötigen Fläche und es kann zu Konflikten mit den Zielen des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG) kommen, denn „die einzelnen Energieträger [der erneuerbaren Energien] können die Schutzgüter des Naturschutzes in unterschiedlicher Weise beeinträchtigen“ (ebd.). Um die Ziele der Energiewende zu erreichen, wird der Ausbau der verschiedenen Arten erneuerbarer Energien zunehmen und es wird zwangsläufig zu Verdichtungen innerhalb von Landschaftsräumen kommen. Dann stellt sich die Frage, wie deren Wirkungen auf Natur und Landschaft sich zueinander verhalten. Gibt es ähnliche negative Effekte, die sich eventuell verstärken? Oder sind Wirkungen zu erkennen, die sich gegenseitig aufheben und gar positive Effekte hervorbringen können? Diese kumulativen Wirkungen müssen verstärkt in den Blick genommen werden (JESSEL & MOORFELD 2012: 549).

In der vorliegenden Arbeit wird diesen kumulativen Wirkungen nachgegangen, wobei der Fokus auf folgenden Arten erneuerbarer Energien liegt: Windenergie an Land (Onshore), Photovoltaik, Biogas und Geothermie.

1.1 Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit zielt darauf ab, zu ermitteln, ob es bei dem Ausbau erneuerbarer Energien zu kumulativen Wirkungen auf Natur und Landschaft kommt. Es werden potenzielle kumulative Wirkungen identifiziert und an einem Fallbeispiel geprüft, inwieweit es durch eine kumulative Wirkung zu Beeinträchtigungen oder positiven Effekten auf ein Schutzgut kommt und ob dadurch Konflikte oder Synergieeffekte zwischen den Zielen des BNatSchG und dem Ausbau der erneuerbaren Energien entstehen. Daraufhin werden Schlussfolgerungen abgeleitet, wie eventuelle Konflikte vermindert bzw. vermieden werden können und wie eventuelle Synergieeffekte bei dem weiteren Ausbau erneuerbarer Energien genutzt werden können.

Vor diesem Hintergrund werden folgende konkrete Fragestellungen behandelt:

- Was beinhaltet der Begriff der „kumulativen Wirkungen?“ Wie können kumulative Wirkungen entstehen und auf welche Weise wirken sie auf die Umwelt?
- Welche Wirkfaktoren auf die Umwelt entstehen bei der Energiebereitstellung durch die verschiedenen Arten erneuerbarer Energien?
- Welche generellen kumulativen Wirkungen gehen von den Wirkfaktoren aus? Welche Beeinträchtigungspotenziale haben diese oder sind möglicherweise positive Effekte zu verzeichnen?
- Wie wirkt sich eine kumulative Wirkung – exemplarisch dargestellt an einem fiktiven Fallbeispiel – auf ein Schutzgut aus?

- Ergeben sich in dem Fallbeispiel Konflikte mit den Zielen des BNatSchG oder sind positive Effekte auf Natur und Landschaft zu erkennen?
- Welche Schlussfolgerungen lassen sich aus den Ergebnissen des Fallbeispiels auf allgemeine kumulative Wirkungen bzw. den Ausbau erneuerbarer Energien übertragen?

1.2 Vorgehen

Aufbau und Vorgehen dieser Arbeit sind in Tab. 1 dargestellt. Im Folgenden findet sich eine kurze Erläuterung dazu, bevor in den jeweiligen Kapiteln näher darauf eingegangen wird.

Entstehung und Wirkungsweise kumulativer Wirkungen werden zunächst in einem theoretischen Teil (Kapitel 2) auf Basis einer Literaturrecherche detailliert analysiert. Die hieraus resultierenden Erkenntnisse bilden die Grundlage für die Herangehensweise im Verlauf der weiteren Untersuchung.

Für die in dieser Arbeit betrachteten Arten erneuerbarer Energien – Windenergie, Photovoltaik, Biogas und Geothermie – werden sämtliche potenziellen Wirkfaktoren ermittelt, die später zur Ableitung kumulativer Wirkungen herangezogen werden. Dafür wird in einem ersten Schritt (Kapitel 3) die Energiebereitstellung aus den verschiedenen Arten erneuerbarer Energien beschrieben, woraus die potenziellen Wirkfaktoren in Anlehnung an die Literatur und aus eigenen Schlussfolgerungen abgeleitet werden. Im gleichen Schritt werden den Wirkfaktoren potenzielle Wirkungen auf entsprechende Schutzgüter zugeordnet, wobei die Darstellung tabellarisch in Form einer Empfindlichkeitsmatrix erfolgt (vgl. SCHOLLES 2008a: 339). Im Grundlagenteil kann die Zusammenstellung von Informationen in der Regel am besten unter Bezugnahme auf die einzelnen Naturgüter erfolgen (VON HAAREN 2004b: 84). Zur besseren Nachvollziehbarkeit orientiert sich die Zuordnung der Wirkungen daher an den Schutzgütern des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (§ 2 Abs. 1 UVPG).

Zur Ermittlung potenzieller kumulativer Wirkungen werden die Empfindlichkeitsmatrizen zu einer Gesamtmatrix verknüpft. Das für diese Arbeit entwickelte Prüfschema dient der Ableitung kumulativer Wirkungen aus der Gesamtmatrix (Kapitel 4). Die Ableitung erfolgt in zunächst allgemeingültiger Betrachtungsweise bezogen auf einzelne Schutzgüter. Im darauffolgenden Kapitel 5 wird eine kumulative Wirkung anhand eines konstruierten Fallbeispiels ermittelt und bewertet. In diesem Fallbeispiel werden Anlagen zur Photovoltaik, Windenergie, Biogas und Geothermie verortet und eine kumulative Wirkung auf das Schutzgut Tiere – beispielhaft dargestellt am Schwarzstorch (*Ciconia nigra*) – untersucht. Die Zuhilfenahme eines Geografischen Informationssystems (GIS) ermöglicht die Ermittlung und kartografische Darstellung der einzelnen Wirkräume der verorteten Anlagen. Eine Bewertung dessen, wie die einzelnen Wirkungen kumulativ wirksam werden, welche Belastung sie für den Schwarzstorch darstellen und ob positive Effekte zu verzeichnen sind, wird in Kapitel 5.4 dargestellt. Im abschließenden Fazit (Kapitel 6) werden die Ergebnisse diskutiert und Handlungsempfehlungen gegeben.

Tab. 1: Vorgehen (EIGENE DARSTELLUNG)

Fragestellung	Vorgehen/Methode	Darstellungsform	Hauptquellen
Wie entstehen kumulative Wirkungen und auf welche Weise wirken sie?	Recherche in Fachliteratur, Fachzeitschriften, Internet, Gesetzen, Forschungsergebnissen, etc.	textlich mit Abbildungen	SIEDENTOP 2002; HEILAND et al. 2006a
Welche Wirkfaktoren entstehen bei der Energiebereitstellung durch erneuerbare Energien?	Recherche in Fachliteratur, Fachzeitschriften, Internet, Forschungsergebnissen, etc. Eigene Schlussfolgerungen	Tabellen in Form einer Empfindlichkeitsmatrix	REINHARDT et al. 2004; HERDEN et al. 2009; ARGE 2007
Welche potenziellen kumulativen Wirkungen gehen aus den Wirkfaktoren hervor? Wie sind ihre Beeinträchtigungspotenziale oder gibt es positive Effekte?	Entwicklung eines Prüfschemas auf Basis der Entstehung und Wirkungsweise kumulativer Wirkungen Verknüpfen der Empfindlichkeitsmatrizen zu einer Gesamtmatrix verbal-argumentative Ableitung aus Gesamtmatrix in Anlehnung an Prüfschema	Abbildung des Prüfschemas tabellarische Gesamtmatrix textliche Darstellung der generellen kumulativen Wirkungen	
Wie wirkt sich eine kumulative Wirkung in einem exemplarischen Fallbeispiel auf das Schutzgut Tiere (Schwarzstorch) aus?	Konstruktion des Fallbeispiels in Anlehnung an reale Bedingungen Analyse der Wirkräume im GIS Bewertung über Fachkonventionen zur FFH-VP (LAMBRECHT et al. 2007) unter Hilfe eines GIS	kartografisch und textlich	GIS-Daten NIMU 2010: wertvolle Bereiche Brutvögel REGION HANNOVER 2005: Vorranggebiete Windenergie LGLN 2012: TK 100 LAMBRECHT et al. 2004; LAMBRECHT et al. 2007;
Existieren Maßnahmen um Beeinträchtigungspotenziale zu verringern oder zu verhindern, bzw. um Synergieeffekte zu nutzen?	eigene Schlussfolgerungen	textlich	

2 Kumulative Wirkungen

Um kumulative Wirkungen identifizieren und bewerten zu können, ist eine detaillierte Auseinandersetzung mit ihrem Wesen notwendig. Dazu wird im Folgenden die Begrifflichkeit der kumulativen Wirkungen näher definiert, indem ihre Entstehungspfade und ihre Wirkungsweisen beschrieben werden.

2.1 Entstehung

Bei der Recherche wurde deutlich, dass über den Begriff und das Wesen kumulativer Wirkungen unterschiedliche Auffassungen herrschen. Allgemein anerkannte Konventionen zur Definition, Abgrenzung und Behandlung kumulativer Wirkungen in der Umweltprüfung existieren erst in Ansätzen (vgl. SIEDENTOP 2005: 2; WALKER et al. 1999: ii; HEGMANN et al. 1999: 3). „Die Vielfalt verwendeter Begriffe bei weitgehender Abwesenheit von begrifflich-theoretischer Auseinandersetzung zeigt, dass die Problematisierung kumulativer Wirkungen in Deutschland bislang nicht in eine breitere konzeptionelle Diskussion einmündete“ (SIEDENTOP 2002: 22). Auch PIETSCH et al. (1998: 12) verweisen auf die Vielschichtigkeit dieses „Sammelbegriffs“. Zudem wird im UVP-Recht der EU wie auch in der Praxis der Umweltprüfung den kumulativen Umweltwirkungen bislang nur eine vergleichsweise geringe Aufmerksamkeit zuteil (SIEDENTOP 2005: 1). Selbst unter UVP-Fachleuten ist der Begriff nicht hinlänglich bekannt (vgl. SIEDENTOP 2005: 3). Eine Legaldefinition existiert bisher nicht (SIEDENTOP 2005: 4).

Nähern wir uns einer Definition der kumulativen Wirkungen schrittweise:

kumulativ: [an]häufend (DUDENREDAKTION 2001: 558; Stichwort kumulativ)

Wirkungen gelten als „Veränderung eines Sachverhaltes durch die Veränderung eines anderen“ (SCHARPF 1982: 92). Spezieller definiert VON HAAREN (2004b: 84):

„*Wirkung*: Veränderung eines Schutzgutes/des Landschaftshaushaltes, ausgelöst durch Wirkfaktor (z. B. Veränderung der Wasserqualität)“

„*Wirkfaktor*: Menschlicher Einfluss, der potenziell Veränderungen in der Umwelt hervorrufen kann (z. B. Emission)“ (ebd.).

„*Belastung*: Potenziell negativ auf die Landschaftsfunktionen wirkender Wirkfaktor“ (ebd.).

„*Beeinträchtigung*: Negativ zu bewertende Veränderung der Landschaftsfunktion (z. B. Abnahme der Artendiversität, Einschränkung der Bodenfruchtbarkeit)“ (ebd.).

Nach diesen Definitionen ist eine Wirkung die Veränderung der Umwelt, die durch einen anthropogen verursachten Wirkfaktor entsteht. Eine kumulative, also angehäufte Wirkung ist demnach eine angehäufte Veränderung der Umwelt, die durch mehrere Wirkfaktoren entsteht. Bezieht man in diese Definition einen negativen Bewertungsfaktor ein, resultiert aus einer kumulativen Wirkung eine verstärkte Beeinträchtigung der Umwelt. So werden kumulative Umweltbelastungen als eine Häu-

fung von Wirkungen begriffen, die im Einzelfall nicht erkannt, nicht erfasst oder gar vernachlässigt werden, im Zusammenwirken jedoch signifikante Schäden verursachen können (PIETSCH et al. 1998: 1). Ähnlich sieht das auch SIEDENTOP (2005: 11), der darin Wirkungen auf ein Schutzgut sieht, die durch eine Mehrzahl unterscheidbarer anthropogener Belastungsbeiträge bzw. Belastungsfaktoren verursacht werden (der Belastungsfaktor entspricht hier dem Wirkfaktor). Nach dieser Definition können mehrere Wirkfaktoren, die auf ein Schutzgut Einfluss nehmen, als kumulative Wirkung bezeichnet werden. Beispiel: Der Bau einer Straße führt u. a. zu einer Flächeninanspruchnahme (Wirkfaktor 1) und zu einer Lärmemission durch aufkommenden Verkehr (Wirkfaktor 2). Beide Wirkfaktoren wirken auf das Schutzgut Tiere (Lebensraumverlust und Störung durch Lärm). Dieses Beispiel zeigt, dass Wirkfaktoren, die zu kumulativen Wirkungen führen, aus einem einzelnen Vorhaben hervorgehen können (SIEDENTOP 2002: 28; COOPER 2004: 2).

Wirkfaktoren die zu kumulativen Wirkungen führen, können aber auch aus mehreren Vorhaben eines oder mehrerer Akteure hervorgehen (SIEDENTOP 2002: 30; COOPER 2004: 2). So verstehen BALLA et al. (2010: IV) unter kumulativen Wirkungen die räumliche Überlagerung von Umweltauswirkungen mehrerer Planfeststellungen bezogen auf ein Schutzgut (z. B. Landschaftsbild, Luftqualität oder Lärmsituation eines Teilraumes). Auch GNEST (2008: 624) bezeichnet kumulative Wirkungen als solche, die aus der Häufung mehrerer Vorhaben entstehen. Überlagern sich demnach von verschiedenen Planungen ausgehende und das gleiche Schutzgut betreffende Wirkfaktoren in einem Raum, so überlagern sich deren Wirkräume und man kann von kumulativen Wirkungen auf das betroffene Schutzgut sprechen. Ähnlich ist dieser Sachverhalt auch in dem kanadischen Leitfaden „Cumulative Effects Assessment Practitioners Guide“ beschrieben: Hier werden kumulative Wirkungen als Veränderungen der Umwelt definiert, die aus einer Handlung in Kombination mit anderen, bereits zurückliegenden, aktuellen oder zukünftigen Handlungen resultieren (HEGMANN et al. 1999: 3). Sind demnach mehrere Projekte/Planfestlegungen in einer Region geplant, können die Wirkfaktoren, die davon ausgehen, gemeinsam auf ein Schutzgut wirken und damit kumulativ wirksam sein. So können auch Planfestlegungen mit geringen Wirkungen durch die Kumulierung mit anderen Planungen im gleichen Bezugsraum insgesamt zu einer erheblichen Gesamtplanwirkung führen (BALLA et al. 2010: IV). Sind z. B. in einer Region zwei Straßenbaumaßnahmen geplant, so geht von beiden Maßnahmen der Wirkfaktor Flächeninanspruchnahme aus und kann parallel auf das Schutzgut Landschaftsbild wirken. Diese kumulative Wirkung kann in einem derartigen Fall zu einer stärkeren Beeinträchtigung führen als eine der beiden Maßnahmen alleine verursachen würde. Deshalb ist bei der Erfassung und Bewertung kumulativer Wirkungen das Zusammenwirken sämtlicher räumlich konkreter Festlegungen eines Plans untereinander zu betrachten (HEILAND et al. 2006a: 124).

Darüber hinaus sind nachrichtliche Übernahmen sowie weitere Inhalte anderer, den gleichen Raum betreffender Pläne, Programme und Projekte sowie Vorbelastungen zu berücksichtigen (ebd).

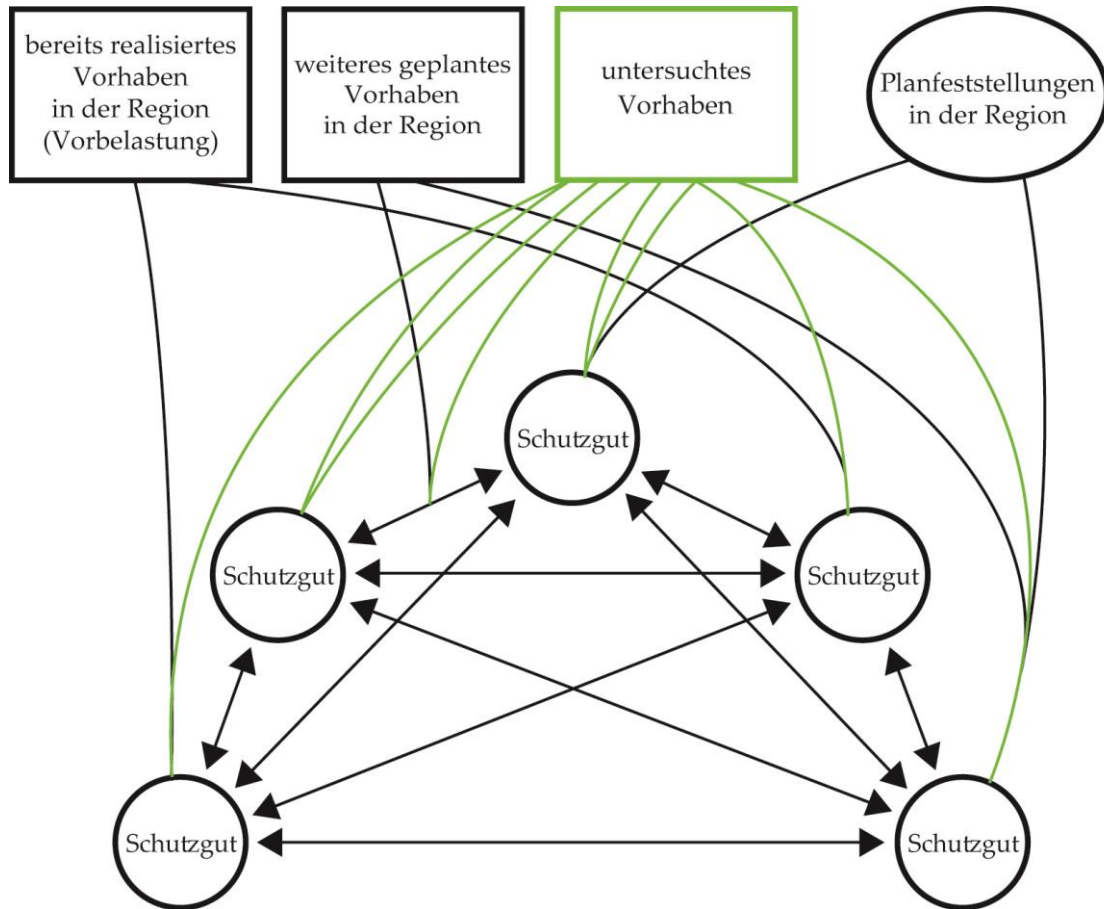


Abb. 1: Idealtypische Entstehung kumulativer Wirkungen (EIGENE DARSTELLUNG)

Weiterhin ist festzustellen, dass die zu Kumulationseffekten führenden Handlungen sowohl monotypisch als auch multitypisch sein können (SIEDENTOP 2005: 12). Als *monotypisch* werden hier gleichartige Projekttypen, als *multitypisch* verschiedenartige Projekttypen angesehen. So resultiert die Zerschneidung eines Habitats durch den Bau mehrerer Straßen aus dem Zusammentreffen monotypischer Handlungen (SIEDENTOP 2002: 30). Die Entwertung eines Erholungsgebietes durch Verkehrslärm und landwirtschaftliche Geruchsbelästigung wäre demgegenüber ein Beispiel für die Wirkung von multitypischen Handlungen (ebd.). Bei einer multiplen Verursachung sind die Anzahl, die Art und Intensität, die räumliche Anordnung sowie die zeitliche Abfolge der mitursächlichen Handlungen wesentliche Faktoren der Wirkungsentstehung und -ausprägung (ebd.). Die Folgen multitypischer Handlungen sind demnach besonders schwierig einzuschätzen (ebd.). Die Spannweite denkbarer Verursacherkonstellationen reicht dabei von nur wenigen, in engem räumlichen und zeitlichen Zusammenhang auftretenden Einzelhandlungen, deren spezifischer Beitrag zur Entstehung eines Umweltschadens noch individuell zurechenbar ist, bis hin zu einer diffusen Verursacherstruktur mit einer unbekanntem Zahl räumlich und zeitlich gestreuter Handlungen bei weitgehend ungeklärtem Ursache-Wirkungs-Zusammenhang (SIEDENTOP 2005: 12). Diese Spannweite an Entstehungsmöglichkeiten äußert sich vor allem darin, dass kumulative Wirkungen sowohl aus einer geografischen und zeitlichen Verdichtung resultieren können (CEQ 1997: 8), sich aber

auch im zeitlichen und räumlichen Abstand ereignen können (vgl. HEGMANN et al. 1999: 3) (vgl. Kapitel 2.2). Als Beispiel für den räumlichen Abstand sei hier auf die atmosphärische Verfrachtung von Luftschadstoffen hingewiesen (vgl. SIEDENTOP 2002: 25). Die Wirkung im zeitlichen Abstand wird bspw. bei der langfristigen Wirkung von Radioaktivität deutlich (CEQ 1997: 8).

Diese umfassenden Ansätze ermöglichen die Abschätzung der Umweltfolgen eines Vorhabens auch im Zusammenspiel mit anderen Vorhaben oder Planfestlegungen sowie vergangenen, aktuellen, vernünftigerweise vorhersehbaren, zukünftigen Handlungen (ebd.), denn damit werden eventuell signifikante Wirkungen erkannt, die bei Nichtbeachtung der kumulativen Wirkungen unberücksichtigt bleiben würden (Abb. 1).

Deutlich wird bei allen Definitionen, dass das konstitutive Merkmal kumulativer Wirkungen darin liegt, dass sie durch den Einfluss mehrerer anthropogen entstandener Wirkfaktoren auf ein Schutzgut ausgelöst werden (SIEDENTOP 2005: 10). Dies macht deutlich, dass kumulative Wirkungen stets auf ein Schutzgut bezogen zu untersuchen und zu bewerten sind (HEILAND et al. 2006a: 123; vgl. CEQ 1997: 8).

Diese Auslegungen kumulativer Wirkungen lassen sich zunächst zu folgender Definition zusammenfassen (vgl. Definition auf Seite 15):

Als kumulative Wirkung wird die gemeinsame Wirkung sämtlicher ein Schutzgut betreffender Wirkfaktoren verstanden (HEILAND et al. 2006a: 123; vgl. SIEDENTOP 2005: 11; CEQ 1997: 8).

In welcher Form sich diese gemeinsame Wirkung herausbildet und wie sie letztlich auf die Umwelt bzw. auf ein Schutzgut wirkt, verdeutlicht die genauere Betrachtung der Wirkungsweisen kumulativer Wirkungen.

2.2 Wirkungsweisen

Kumulative Wirkungen resultieren aus mehreren Wirkfaktoren, die aus einem einzelnen oder mehreren Vorhaben, Projekten oder Plänen hervorgehen können. Um sie jedoch in einer Untersuchung analysieren zu können, bedarf es einer weiteren Typisierung (vgl. PIETSCH et al.: 1998: 12). Ein umfangreiches Detailwissen ermöglicht dabei, kumulative Wirkungen umfassend zu ermitteln und zu bewerten. Eine intensive Auseinandersetzung zum genauen Verständnis hat in Deutschland bislang jedoch nur in geringem Umfang stattgefunden (SIEDENTOP 2005: 4f). Eine Diskussion über verschiedene Wirkungstypen sowie die konzeptionellen und methodischen Konsequenzen einer um kumulative Wirkungen erweiterten Prüfpflicht im Rahmen von Umweltprüfungen wurde nicht geführt (SIEDENTOP 2005: 7). Die folgenden Ausführungen stellen dar, wie kumulative Wirkungen bestimmten Wirktypen und Wirkungsweisen zugeordnet werden können.

Nahezu alle Typologien unterscheiden in additive und synergistische¹ Wirkungspfade (SIEDENTOP 2002: 24 & 2005: 10; vgl. GNEST 2008: 624; HEILAND et al. 2006a: 124; Jacoby 2000: 187; CEQ 1997: 8). Unter additiven Wirkungen ist eine Anhäufung gleichartiger Wirkungen auf ein Schutzgut zu verstehen, während synergistische Wirkungen die Kombinationswirkung verschiedener Wirkfaktoren bezeichnen (HEILAND et al. 2006a: 124; vgl. SIEDENTOP 2002: 28) (Abb. 2). „Kumulativ“ bezieht sich als Sammelbegriff auf beide Wirkungstypen (HEILAND et al. 2006a: 124).

Wirkungstyp	Beschreibung	Beispiel
Additiv	Identische Wirkfaktoren aufgrund mehrerer Handlungen (Festlegungen bzw. Eingriffe) führen zu sich verstärkenden Wirkungen	Mehrere Gewerbegebietsausweisungen in benachbarten Gemeinden (Handlungen): Die Flächeninanspruchnahme für die Gewerbegebiete verringert im Zusammenwirken den Lebensraum einer Tierart, so dass dessen Mindestarealgröße unterschritten wird. Die Population erlischt.
Synergistisch	Unterschiedliche Wirkfaktoren aufgrund einer oder mehrerer Handlungen (Festlegungen, Eingriffe) führen zu sich verstärkenden Wirkungen	Ausweisung eines Gewerbegebietes sowie eines Standortes einer Windenergieanlage in einer Gemeinde (Handlungen): Naherholungseignung der betroffenen Gebiets wird durch Flächeninanspruchnahme, Lärm- und Schadstoffimmissionen sowie visuelle Veränderungen beeinträchtigt.

Abb. 2: Unterscheidung additiver und synergistischer Wirkungen (verändert nach STRATMANN et al. 2007: 145, dort verändert nach HEILAND et al. 2006b: 25)

Additive Wirkungen resultieren aus dem Zusammenwirken gleichartiger Wirkfaktoren (GASSNER et al. 2005: 273). Diese können von gleichartigen Handlungen ausgehen (z. B. der Lärm mehrerer Straßen (GNEST 2008: 624)), aber auch aus multitypischen Projekten entstehen (z. B. eine Nitratbelastung in Böden, die sowohl aus landwirtschaftlichem Kunstdüngereinsatz als auch aus der Energiewirtschaft und dem Verkehrssektor stammen kann (PIETSCH et al. 1998: 126)). Die additive Wirkung kann sich in verschiedenen Intensitäten ausprägen. So können sich die Einzelbelastungen in einfacher Addition zu einer Gesamtbelastung summieren (GASSNER et al. 2005: 273), woraus sich eine linear-additive Steigerung von kumulativen Wirkungen ergibt. Dies ist eine eher theoretische Form der Ausprägung (vgl. SIEDENTOP 2002: 39f). Eine drastischere Form eines additiven Wirkungspfades besteht in der inkrementalen Addition von Einzelbelastungen, die immer größere Wirkung erzeugt als vorhergehende Additionen (Wirkungen) erzeugt haben (SONNTAG et al. 1987: 6). Jede Einzelbelastung führt dabei zu einer immer intensiveren Belastung des Schutzgutes. Daraus ergibt sich eine exponentielle Steigung der kumulativen Wirkung (ebd.).

¹ Für den Begriff der synergistischen Wirkungen wird in der Literatur der Begriff synergetische Wirkungen synonym verwendet.

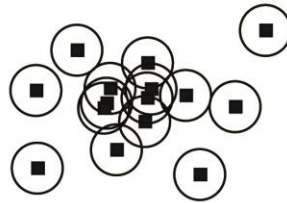
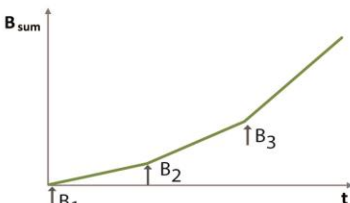
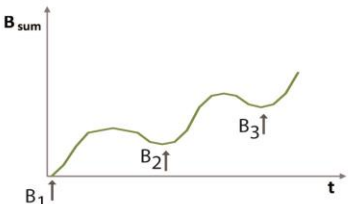
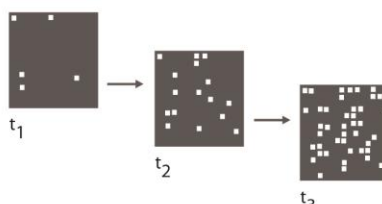
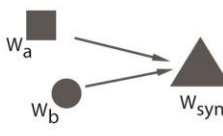
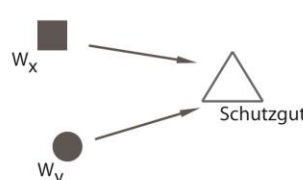
SIEDENTOP (2002: 33f) führt hierfür als Beispiel die Bestandsdezimierung eines nicht regenerationsfähigen Biotoptyps an: Einzelne Belastungen (z. B. Flächeninanspruchnahme) sind hier jeweils für eine geringfügige Dezimierung des Gesamtbestandes verantwortlich. Im zeitlichen Verlauf führen weitere Flächeninanspruchnahmen zu einer prozentual immer stärkeren Bestandsdezimierung, die eine vollständige Auslöschung des Biotoptyps zur Folge hat (vgl. Abb. 3, Typ 2).

Hierbei addieren sich additive Wirkungen soweit, dass eine Schwelle erreicht wird, nach deren Überschreitung die Funktion eines Ökosystems bzw. eines Schutzgutes nicht mehr gewährleistet ist und einen Zusammenbruch desselbigen zur Folge haben kann (SIEDENTOP 2002: 34). Weitaus komplexer stellen sich Wirkungspfade dar, wenn z. B. die Umweltwirksamkeit von Belastungen im Zeitverlauf abklingt, z. B. der Zerfall eines Schadstoffes in harmlose Endprodukte oder wenn auf Seiten der Schutzgüter Anpassungsfähigkeiten gegenüber Wirkungen bestehen, bspw. eine Anpassungsfähigkeit von Tieren gegenüber Lärm (ebd.).

Entscheidend ist auch die Tatsache, in welchem zeitlichen und räumlichen Zusammenhang Wirkfaktoren auf die jeweiligen Schutzgüter treffen. Dabei kann eine räumliche Verdichtung von Einzelwirkungen (space-crowding) zu kumulativen Umweltwirkungen führen, wenn die Distanz zwischen den Eingriffs- und Einwirkungsorten zu gering ist, um eine wirkungsneutrale bzw. wirkungsarme räumliche Streuung zu gewährleisten (SIEDENTOP 2002: 34). Das räumliche Überlappen (geographical crowding) der jeweiligen Wirkungsbereiche begünstigt die Herausbildung noch stärker (SIEDENTOP 2002: 34f) (vgl. Abb. 3, Typ 1). Entscheidend ist hier sowohl die Lokalisation als auch die Intensität der jeweiligen Eingriffe: Einwirkungen mit geringen Wirkungsradien verursachen nur bei hoher räumlicher Konzentration signifikante Wirkungen; Einwirkungen mit hohem Fernwirkungspotenzial wirken auch bei größerer räumlicher Distanz (SIEDENTOP 2002: 35).

Eine zeitliche Verdichtung von Einzelbelastungen (time-crowding) kann schadensverursachend sein, wenn das Intervall zwischen mehreren aufeinanderfolgenden Umwelteinwirkungen so kurz ist, dass die Anpassungs- und Regenerationskräfte des betroffenen Schutzgutes überfordert sind (SIEDENTOP 2002: 34) (vgl. Abb. 3, Typ 3). Selbst wenn die Quelle der Wirkung bereits vergangen ist, können die Wirkungen in bestimmten Fällen noch länger andauern (z. B. radioaktive Belastungen) (CEQ 1997: 8). Auch zeitliche Überlagerungen von Einzelbelastungen (temporal overlap) können schadenserklärend sein (SIEDENTOP 2002: 34). SIEDENTOP (ebd.) führt hier als Beispiel die saisonbedingte Ruhestörung in einem Nationalpark durch Besucheraufkommen an, die sich in den Sommermonaten stark erhöht.

Schadensverursachend können auch Wirkfaktoren sein, die durch nicht sofort wahrnehmbares Zusammenwirken allmählich eine schleichende Veränderung der Umwelt (nibbling) hervorrufen (SIEDENTOP 2002: 37; vgl. HEGMANN et al.1999: 6) (vgl. Abb. 3, Typ 4). Es kann z. B. durch immer weitere Straßenbauvorhaben eine immer stärker werdende Zerschneidung der Landschaft hervorgerufen werden. Dies macht deutlich, dass bei Bewertungen auf den Zusammenhang mit Vorbelastungen zu achten ist.

Typ	Wirkungsweise	Prinzip
1	Räumliche Verdichtung von Einzelwirkungen (space crowding), bzw. geographische Überlagerung der Wirkräume (geographical crowding)	
2	„Anhäufende“ Wirkungssummierung irreversibler Einzelbelastungen (exponentiell steigende Wirkung)	
3	Zeitliche Verdichtung von Belastungen mit potenziell reversiblen Wirkungen (time crowding) (bei Überlappung temporal overlap)	
4	Inkrementale „schleichende“ Umweltveränderungen (nibbling)	
5	Synergistisches Entstehen neuer Wirkfaktoren	
6	Synergistisches Zusammenwirken unterschiedlicher Wirkfaktoren (accumulations of impacts)	

W = Wirkfaktor B = Belastung t = Zeit

Abb. 3: Typisierung kumulativer Wirkungen nach ihrer Wirkungsweise (verändert nach SIEDENTOP 2002: 38)

Synergistische Wirkungen resultieren aus der Kombinationswirkung verschiedenartiger Wirkfaktoren auf ein Schutzgut (GASSNER et al. 2005: 273; vgl. SIEDENTOP 2005: 10). Diese Wirkfaktoren können aus einem oder mehreren (mono- oder multi-typischen) Vorhaben hervorgehen (HEILAND et al. 2006b: 25). Beispielsweise können die Wirkfaktoren Lärmemission und Flächeninanspruchnahme aus einer Straßenbaumaßnahme synergistisch auf das Habitat einer Vogelart wirken. Kommt im gleichen Raum ein weiteres Vorhaben wie der Bau einer Windkraftanlage hinzu, kann das Kollisionsrisiko, das davon ausgeht, als weitere synergistische Wirkung angesehen werden. Ähnlich wie bei einer exponentiellen Anhäufung additiver Belastungen (vgl. Abb. 3, Typ 2) ergibt sich daraus, dass bei synergistischen Belastungen die Gesamtwirkung größer als die Summe der zusammen auftretenden Einzelwirkungen sein kann, da es zu sich ergänzenden Prozessen kommt (GASSNER et al. 2005: 273). So wirken Lärmemissionen und die Flächeninanspruchnahme aus der Straßenbaumaßnahme sowie das Kollisionsrisiko aus der Windkraftanlage in synergistischer Kombination (accumulation of impacts) stärker als ein Wirkfaktor separat (vgl. Abb. 3, Typ 6). Die unterschiedlichen Wirkfaktoren können aber auch zu neuartigen belastenden Wirkfaktoren führen, die dann für eine verstärkte Wirkung verantwortlich sind (ebd.) (vgl. Abb. 3, Typ 5). Dies ist vielfach im Bereich stofflicher Belastungen nachgewiesen, bei denen aus an sich relativ unkritischen Stoffen durch chemische Reaktion neuartige Stoffe entstehen, die sich dann negativ auf die Schutzgüter auswirken können (ebd.).

Neben der Typisierung, die zum besseren Verständnis darüber dient, wie kumulative Wirkungen in Erscheinung treten können, ist für die Bewertung eines geplanten Vorhabens weiterhin bedeutsam, ob dieses in Interdependenzen mit anderen (geplanten) Handlungen steht (SIEDENTOP 2002: 31). Dies ist beispielsweise der Fall, wenn eine Handlung

- eine oder mehrere Folgehandlungen nach sich zieht,
- die vorherige Durchführung eines weiteren Umwelteingriffs voraussetzt oder
- als Präzedenzfall für die Genehmigungsfähigkeit weiterer Planungen angesehen wird (ebd.).

Genau wie die Berücksichtigung anderer, den gleichen Raum betreffender Planungen ist dies bedeutsam, weil diese Interdependenzen weitere Wirkungen nach sich ziehen können, die damit auch die Umweltverträglichkeit des Ursprungsprojektes beeinflussen.

Abgrenzung von Wechselwirkungen

Schließlich ist darauf hinzuweisen, dass in Teilen der Fachliteratur kein übereinstimmender Umgang mit den Begriffen kumulative Wirkung und Wechselwirkung zu erkennen ist (vgl. SIEDENTOP 2002: 27). So werden kumulative Wirkungen z. T. unter den in § 2 Abs. 1 UVPG enthaltenen Begriff der Wechselwirkungen subsumiert (SIEDENTOP 2005: 5; vgl. KÖPPEL et al. 2004: 219; vgl. § 2 Abs. 1 UVPG). Auch im Vergleich zu internationalen Untersuchungen zeigt sich, dass über die Begrifflichkeiten und Wirkungsweisen ein differenziertes Verständnis herrscht. So bezeichnen WALKER et al. (1999: 7f) die Entstehung einer neuartigen Wirkung (impact) aus zwei

ursprünglichen, unterscheidbaren Wirkungen als Wechselwirkung (interaction) (vgl. RASSMUS et al. 2000: 68). Denselben Sachverhalt ordnen GASSNER et al. (2005: 273) den synergistischen und damit den kumulativen Wirkungen zu. Dieselbe Gegebenheit wird hier also mit anderen Begriffen umschrieben. Da keine allgemeingebräuchliche Abgrenzung zwischen kumulativen Wirkungen und Wechselwirkungen existiert (RASSMUS et al. 2000: 122), wird im Folgenden der Unterschied zwischen beiden Sachverhalten verdeutlicht.

Der Begriff der *Wechselwirkungen* wird im Zuge der Schutzgüterbenennung im UVPG genannt: Die Umweltverträglichkeitsprüfung umfasst die Ermittlung, Beschreibung und Bewertung der unmittelbaren und mittelbaren Wirkungen eines Vorhabens auf Menschen, einschließlich der menschlichen Gesundheit, Tiere, Pflanzen und die biologische Vielfalt, Boden, Wasser, Luft, Klima und Landschaft, Kulturgüter und sonstige Sachgüter sowie die Wechselwirkung zwischen den vorgenannten Schutzgütern (§ 2 Abs. 1 UVPG). BUNGE (1994: 40) betont diese Nennung der Wechselwirkungen im Rahmen der Aufzählung der Schutzgüter und auch RASSMUS et al. (2000: 79) nehmen darauf Bezug: „Wechselwirkungen im Sinne des § 2 UVPG sind die in der Umwelt ablaufenden Prozesse. Die Gesamtheit der Prozesse – das Prozeßgefüge [sic] – ist Ursache des Zustandes der Umwelt wie auch ihrer weiteren Entwicklung. Die Prozesse unterliegen einer Regulation durch innere Steuerungsmechanismen (Rückkopplungen) und äußere Einflußfaktoren [sic].“ Auch GASSNER et al. (2005: 270) verstehen unter Wechselwirkungen alle Wirkungsbeziehungen zwischen den verschiedenen Schutzgütern bzw. Umweltmedien. Sie charakterisieren in ihrer Gesamtheit das Wirkungs- und Prozessgefüge der Umwelt (ebd.). Aus beiden Definitionen geht hervor, dass die Wechselwirkungen als Prozessgefüge ein Bestandteil der Umwelt sind und nicht als spezielle Form von Wirkungen eines Projektes aufgefasst werden (RASSMUS et al. 2000: 79). Auch BUNGE (1994: 40) betont, dass es sich bei Wechselwirkungen i. S. des UVPG nicht um Summationseffekte verschiedener synergistischer Wirkungen handelt. Es ist zwischen Wechselwirkungen und kumulativen Wirkungen zu unterscheiden (SIEDENTOP 2005: 6; vgl. JACOBY 2000: 187).

Ein Beispiel für eine Wechselwirkung geben KÖPPEL et al. (2004: 229f) für einen Erlen-Birken-Bruchwald, einen Biotoptyp, der stark vom Grundwasserstand abhängig ist. In diesem Fall besteht eine Wechselwirkung zwischen den Schutzgütern Wasser und Tiere/Pflanzen. Wenn durch eine Baumaßnahme der Grundwasserspiegel abgesenkt wird, kann als Folgewirkung die Vegetation des Erlen-Birken-Bruchwalds beeinträchtigt werden. In dessen Folgewirkung wiederum kann auch die dem Bruchwaldbiotoptyp angepasste Tierwelt Schaden nehmen (ebd.). Die Wechselwirkung äußert sich hier in einer Abhängigkeit der Schutzgüter untereinander. Auch RASSMUS et al. (2000: 54) geben als Beispiel für Wechselwirkungen den Boden als Lebensraum für Tiere und Pflanzen an; auch eine Konkurrenz zwischen Tieren oder Pflanzen sowie das Regulationsvermögen des Bodens für das Grundwasser gelten hier als Wechselwirkungen. RASSMUS et al. (ebd.) bezeichnen diese Beispiele als indirekte Wirkungen. Demnach beschreiben indirekte Wirkungen eine Wirkung, die nicht direkt auf das untersuchte Vorhaben zurückzuführen ist, jedoch eine Folgewirkung (in der Praxis auch Sekundärwirkung (vgl. ØVERLAND et al. 2007: 16 – 14)) dessen ist (WALKER et al. 1999: 6; vgl. SCHOLLES 2008a: 335). Somit ist die Wirkung ‚Flächenin-

anspruchnahme' auf das Schutzgut Boden eine direkte Wirkung, die daraus resultierende Wirkung auf die Wechselwirkung ‚Lebensraumbereitstellung‘ und damit auf das Schutzgut ‚Tiere‘ eine indirekte Wirkung. Daraus wird deutlich, dass Wirkfaktoren auch auf Wechselwirkungen einwirken können; eben dies berücksichtigt § 2 Abs. 1 UVPG, in dem die Ermittlung, Beschreibung und Bewertung der Wirkungen eines Vorhabens auch auf die Wechselwirkung vorgeschrieben ist. Auch nach RASMUS et al. (2000: 79) sind Auswirkungen auf Wechselwirkungen, die durch ein Vorhaben verursachten Veränderungen des Prozessgefüges. Demnach müsste es in der Theorie auch Wirkungen geben, die – wie auf die anderen Schutzgüter auch – kumulativ auf Wechselwirkungen Einfluss nehmen. So resultieren aus den Wechselwirkungen zwischen den Schutzgütern ggf. spezifische kumulative Wirkungen, die in den schutzgutspezifischen Betrachtungen bislang ausgeklammert wurden (GASSNER et al. 2005: 273). Allerdings weisen GASSNER et al. (2005: 271) auch auf die Schwierigkeiten bei der Erfassung der Wechselwirkungen hin, da eine vollständige Bestandsaufnahme z. B. des ökosystemaren Wirkungsgefüges schlicht nicht möglich ist. Das macht deutlich, dass auch bei einer Untersuchung kumulativer Wirkungen auf Wechselwirkungen Schwierigkeiten in der Ermittlung und Bewertung bestehen. So werden in der Praxis der UVP die Wechselwirkungen auch meist nicht explizit berücksichtigt, sondern im Zuge der „normalen“ Schutzgutbearbeitung implizit mitbearbeitet (GASSNER et al. 2005: 270). Zwar wird von Genehmigungsbehörden und Verwaltungsgerichten zunehmend gefordert, Wechselwirkungen explizit zu thematisieren (ebd.), im Rahmen dieser Arbeit wird aufgrund der zunehmenden Komplexität darauf verzichtet und die Wechselwirkungen unter den Wirkungen auf die Schutzgüter subsumiert.

Zwischenfazit

Die Zusammenstellung unterschiedlicher Wirkungstypen macht deutlich, dass die Bezeichnung „kumulativer Wirkungen“ nur als Sammelbegriff ganz unterschiedlicher und auch nicht trennscharf voneinander abgrenzbarer Wirkungsformen aufgefasst werden kann (SIEDENTOP 2005: 17f). Insbesondere komplexe Kumulationseffekte werden sich regelmäßig als nicht messbar oder modellierbar erweisen (SIEDENTOP 2002: 38f) und beobachtete ökologische Degenerationsphänomene werden häufig sowohl auf additives als auch synergistisches Zusammenwirken anthropogener Umweltbelastungen zurückzuführen sein, so dass eine präzise Unterscheidung oftmals nicht möglich ist (SIEDENTOP 2002: 33).

Ob es zu kumulativen Wirkungen kommt, ist von zahlreichen Faktoren abhängig (ebd.). Auf der Belastungsseite sind – wie oben ausgeführt – ihre räumliche und zeitliche Wirksamkeit sowie die Art und das Ausmaß der beteiligten Einzelbelastungen bedeutsam (ebd.). Auf der Seite der betroffenen Umwelt hingegen sind die Reaktions- und Anpassungseigenschaften der den Wirkfaktoren ausgesetzten Schutzgüter mitentscheidend, ob und in welcher Intensität es zu kumulativen Wirkungen kommen kann (ebd.). Inwieweit durch kumulative Wirkungen tatsächlich Belastungen ausgelöst werden, wird sich aufgrund der häufig komplexen ökosystemaren Prozessabläufe jedoch oft nicht exakt klären oder nachweisen lassen (SIEDENTOP 2002: 38).

Die Gesamtheit an unterschiedlichen Entstehungsmöglichkeiten und komplexen Wirkungsweisen macht deutlich, dass die wirkungssächliche Perspektive bei der Durchführung von Umweltverträglichkeitsprüfungen entsprechend breit angelegt sein sollte (SIEDENTOP 2002: 38).

Die Typisierung kumulativer Wirkungen unterliegt z. T. einer negativen Betrachtungsweise, d. h. die Wirkungsweise wird als negative Wirkung (Belastung) auf ein Schutzgut verstanden, z. B. bei der exponentiellen Addition von Einzelbelastungen zu einer Gesamtbelastung. Für diese Arbeit wird im Weiteren jedoch angenommen, dass Wirkungen laut o. a. Definition (s. S. 5) nur als ‚Veränderung‘ eines Schutzgutes angesehen werden, der Begriff enthält keine Wertung. Somit können Wirkungen sowohl negativ als auch positiv auf ein Schutzgut wirken. Im letzteren Fall ergibt sich bei der Betrachtung der Wirkungsweisen ein differenziertes Bild, so folgt aus einer einfachen Addition positiv und negativ wirkender Wirkfaktoren keine exponentielle Steigerung von Belastungen: In der Theorie können positive Wirkungen vielmehr die Gesamtwirkung kompensieren und je nach Bewertung zu einer positiven Veränderung des Schutzgutes führen und damit Synergieeffekte auslösen. Diese theoretische Annahme ist stark einzelfallabhängig, sollte jedoch in Angesicht einer neutralen Herangehensweise berücksichtigt werden.

Aufgrund der Typisierung kumulativer Wirkungen ergibt sich für diese Arbeit folgende erweiterte Definition:

Als kumulative Wirkung wird die additiv-synergistische Gesamtwirkung sämtlicher ein Schutzgut betreffender Wirkfaktoren verstanden.

3 Erneuerbare Energien

3.1 Windenergie (Onshore)

3.1.1 Energiebereitstellung

Eine Windenergieanlage nutzt die im Wind enthaltene Leistung und wandelt diese in elektrische Energie um (BWE o. J.: www).

Die Beherrschung des Windes hat die Menschheit seit Jahrtausenden fasziniert (HEIER 2009: 4). Mit der technischen Nutzung des Windes zu Wasser und zu Land konnten Potenziale erschlossen und Arbeiten verrichtet werden, die zuvor bekannte Möglichkeiten weit übertrafen (ebd.). In Mitteleuropa begann die Windenergienutzung im Mittelalter im großen Stil vor allem in England und den Niederlanden in Form von Windmühlen in Holzbauweise (ebd.). Hauptsächliche Einsatzgebiete waren das Mahlen von Getreide und die Nutzung als Wasserpumpe (ebd.). Diese lange Entwicklung macht deutlich, dass die Nutzung des Windes in der Kulturgeschichte fest verankert ist. Erste Versuche zur Stromerzeugung aus Windenergie wurden vor gut einem halben Jahrhundert unternommen (ebd.). In den letzten Jahrzehnten hat sich die technische Entwicklung rasant gestaltet (BWE o. J.: www) und die Windenergie zum Haupterzeuger von Strom aus erneuerbaren Energien werden lassen (BMU 2012b: 20).



Abb. 4: Windkraftanlage
(EIGENE AUFNAHME)

Hauptkomponenten einer Windkraftanlage moderner Bauform sind der Turm, der Rotor und das Maschinenhaus bzw. die Gondel, mit den mechanischen Übertragungselementen und dem Generator sowie bei Horizontalachsenanlagen einem Windrichtungsnachführungssystem (HEIER 2009: 1). Die Horizontalachsenanlagen sind Anlagen, bei denen der Rotor an einer vertikalen Achse aufgehängt ist (Abb. 4). Der Horizontalachsen-Schnellläufer mit zwei oder drei Rotorblättern hat sich inzwischen weitgehend durchgesetzt; er ist das wirtschaftlichste System zur Wandlung von Windenergie in elektrische Energie (JOACHIM HERZ STIFTUNG 2013: www). Derartige Windenergieanlagen mit einer horizontalen Achse müssen dabei mittels Windnachführungssystemen, z. B. über hydraulische Motoren, nach der Windrichtung ausgerichtet werden, um durch eine senkrechte Anströmung des Windes auf die Rotorebene die Windkraft optimal nutzen zu können (BWE o. J.: www). Der Wind erzeugt

durch das aerodynamische Profil der Rotorblätter auf der einen Seite einen Überdruck und auf der anderen Seite einen Unterdruck (BMU 2011b: 76; STADTVERWALTUNG ERFURT & LANDRATSAMT ILM-KREIS o. J.: www). Damit wird nach dem sogenannten Auftriebsprinzip die Energie des Windes auf die Rotorblätter übertragen, der Rotor dreht sich und überträgt die mechanische Rotationsenergie über eine Antriebswelle auf den Generator im Maschinenhaus (BWE o. J.: www; STADTVERWALTUNG ERFURT & LANDRATSAMT ILM-KREIS o. J.: www). Aus dieser übertragenen Energie erzeugt der Generator – ähnlich der Funktionsweise eines Dynamos – mittels eines Magnetfeldes Strom, der dann ins Stromnetz eingespeist werden kann (WIV GMBH, 2011; www; BWE O. J: www). Grundsätzlich gilt: Je stärker der Wind weht, desto schneller drehen sich auch die Rotoren und es wird mehr Energie erzeugt (WIV GMBH 2011: www). Dafür ist es notwendig, einen Standort mit hohem Windaufkommen zu wählen (ebd.). Windgeschwindigkeiten zwischen 11 und 15 m/s gelten als optimal zur Erreichung der installierten Leistung (ebd.). Daneben sind für die Windenergieausbeute auch der Rotordurchmesser (Länge der Flügel) sowie die Höhe des Turmes (Nabenhöhe) entscheidend. Die Flügel sind bei großen Anlagen über 60 m lang (BMU 2011b: 76), woraus sich ein Rotordurchmesser von mehr als 120 m ergibt.

Die Turmhöhe ist vor allem standortabhängig: Bei Standorten mit einer hohen Bodenrauigkeit (Wald, Wohngebäude) kommen höhere Türme zum Einsatz, da die Windgeschwindigkeit in höheren Luftschichten zunimmt und gleichzeitig die Turbulenzen abnehmen (BWE O. J: www). An Küstenstandorten oder anderen Starkwindstandorten hingegen sind kleinere Türme ausreichend, da dort bereits in einer geringen Höhe große Windgeschwindigkeiten herrschen und ein relativ homogenes Windprofil vorzufinden ist (ebd.; AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN E. V. 2010a: 10). Für die Windenergieausbeute gilt dabei folgende Faustregel: „Mit jedem Meter höherer Nabe steigt der Ertrag der Windanlage um ein Prozent“ (BMU 2011b: 78). „Die heute in Deutschland gängige Windenergieanlage hat eine Nennleistung von 2,5 MW und eine Turmhöhe je nach Standort zwischen 80 und 130 Metern“ (BWE o. J.: www). Zusammen mit dem Rotor ergeben sich daraus Gesamthöhen von bis zu 200 m (BMU 2011b: 78). Die Leistung dieser Anlagen kann bis 7,5 MW betragen (BMU 2011b: 76). Zur Konstruktion des Turmes werden meist konische Stahlrohrtürme eingesetzt (STADTVERWALTUNG ERFURT & LANDRATSAMT ILM-KREIS o. J.: www), doch es kommen auch Betontürme zum Einsatz, die aufgrund dämpfender Eigenschaften die Schallemissionen mindern (BMU 2011b: 78), sowie Hybridtürme mit Betonunterteil und Stahlloberteil (BWE o. J.: www). Die Türme sind konisch, um sie einerseits widerstandsfähiger zu machen und um andererseits Material zu sparen (STADTVERWALTUNG ERFURT & LANDRATSAMT ILM-KREIS o. J.: www). Aufgrund ihrer Größe ist bei Anlagen ab 100 m Höhe eine Kennzeichnung für die Flugverkehrssicherheit vorgeschrieben (NMU 2012: 16f). Dazu dienen tagsüber farbige Markierungen an den Rotorblättern, für nachts werden rot blinkende Befeuerungen angebracht (NATURWERK 2013: www). Für den Bau und die Statik der Türme ist ein Fundament notwendig, dies erfolgt als Flachfundament bei tragfähigem Baugrund bzw. als Tiefgründung (oder Pfahlfundament) bei nicht ausreichend tragfähigem Baugrund (STADTVERWALTUNG ERFURT & LANDRATSAMT ILM-KREIS o. J.: www; BWE o. J: www).

Ungeachtet der Fernwirkung durch die vertikale Anlagenstruktur und einem notwendigen Abstand zwischen mehreren Windenergieanlagen zur optimalen Windnutzung – dieser liegt bei ca. 7 ha pro MW (Stand: 2008) (AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN E. V. 2010b: 2) – resultieren aus dem Bau von Windenergieanlagen dauerhafte Flächeninanspruchnahmen für das Fundament, für die Kranstellfläche und die Zuwegung. Die Angaben über diese versiegelte bzw. teilversiegelte Fläche schwanken in der Literatur: Sie reichen von 500 m² bis hin zu 6.000 m² pro Anlage (PETERS 2010: 77; SCHILLING o. J.: 11; ZAUSIG 2012: 17; NATURWERK 2013: www). Die AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN E. V. gibt einen jährlichen Ertrag von 24 Mio. kWh pro Hektar Fundamentsfläche an (2010b: 3). Legt man die notwendige Abstandsfläche zu Grunde, ergibt sich ein jährlicher Ertrag von 240.000 kWh pro Hektar (AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN 2010b: 2).

Das Raumordnungsgesetz des Bundes (ROG) ermöglicht eine raumplanerische Steuerung bei der Errichtung von Windparks (DRL 2006: 31). Dabei kommt der Ausweisung bestimmter Gebiete als Vorrangstandorte (bestimmte raumbedeutsame Funktionen oder Nutzungen haben Vorrang) für Windenergie eine wichtige Rolle zu (ebd.). Die Ausweisung unterliegt den Ländern und beruht u. a. auf bestimmten Abständen zu empfindlichen Gebieten (Bebauung, Naturschutzgebiete, etc.) (ebd.; NATURWERK 2013: www).

Im Jahr 2011 lag die Stromerzeugung aus Windenergie (Onshore) in Deutschland bei 48.315 GWh (BMU 2012b: 14). Das entspricht einem Anteil von 8 % am Bruttostromverbrauch (ebd.). Der Anteil der Stromerzeugung aus Windenergie an der Gesamtstromerzeugung aus erneuerbaren Energien lag 2011 bei 39,7 % (Anteil des Stroms aus erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch: 20,3 %) (BMU 2012b: 17). Für die weitere Entwicklung der Stromproduktion durch Windkraft werden weitere Potenziale gesehen und eine Steigerung der Produktionsmenge prognostiziert (NITSCH 2008: 10). Der DRL weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass geeignete Standorte für Windkraftanlagen an Land weitgehend erschlossen sind (DRL 2006: 9). Wobei sich unter bestimmten Voraussetzungen neue Standorte im bewaldeten Gebieten ergeben könnten (vgl. CALLIES et al. 2012). In den nächsten Jahren wird jedoch das sogenannte Repowering im Vordergrund stehen (DRL 2006: 9). Dabei werden bereits existierende Windparks optimiert, indem Anlagen der ersten Generation durch größere, leistungsfähigere ersetzt werden (MEEDDM 2010: 19).

3.1.2 Wirkfaktoren

Die Wirkfaktoren lassen sich aus der Funktionsweise der Strombereitstellung durch Windkraftanlagen ableiten. Sie ergeben sich aus den bau-, anlagen- und betriebsbedingten Faktoren der Anlagen.

Die Darstellung der Wirkfaktoren (Tab. 2) erfolgt in Anlehnung an REINHARDT et al. 2004, deren Herleitung dort entnommen werden kann. Zusätzlich werden im Folgenden weitere Wirkfaktoren aus eigenen Schlussfolgerungen abgeleitet. Aufgrund fehlender Felddaten erfolgt dies im Rahmen dieser Arbeit nicht nach empirisch angelegten Methoden, sondern verbal-argumentativ (vgl. SCHOLLES 2008b: 503).

Zusätzliche Wirkfaktoren:

- In der Liste der Wirkfaktoren war als betriebsbedingter Wirkfaktor der sogenannte „Diskoeffekt“ zu finden. Dieser Effekt bezeichnet Lichtreflexionen durch die Rotorblätter und hat mittlerweile aufgrund der Verwendung von nicht reflektierender Farbe keine Auswirkungen mehr (DRL 2006: 31) und wurde daher nicht übernommen. Demgegenüber kann es aber zu Wirkungen durch den Schattenwurf der sich drehenden Rotorblätter kommen, der als optische Beeinträchtigung auf das Wohlbefinden des Menschen angesehen wird und bei bestimmten neurologischen Vorerkrankungen zur Auslösung von Anfällen führen kann (DRL 2006: 30f). Der betriebsbedingte Wirkfaktor ‚Schattenwurf‘ durch drehende Rotorblätter wird daher in die Liste aufgenommen. Ebenso resultiert aus nicht beweglichen Bauelementen aufgrund der vertikalen Bauweise ein anlagenbedingter ‚Schattenwurf‘.
- Aus der vorgeschriebenen Befeuerung von Anlagen mit einer Höhe ab 100 m ergibt sich der Wirkfaktor ‚visuelle Wirkung durch Licht‘ auf die Schutzgüter Menschen, Tiere und Landschaftsbild.
- Neben der Geräuschemission von in Betrieb befindlichen Windkraftanlagen wird auch der Infraschall (niederfrequente Schwingungen) als mögliche Belastung diskutiert, allerdings liegen über die möglichen Wirkungen noch keine ausreichenden Forschungsergebnisse vor (DRL 2006: 30). Daher wird der Infraschall im Sinne der kumulativen Wirkungen als potenzielle Wirkung zwar in die Liste der Wirkfaktoren aufgenommen, es werden allerdings keine Wirkungen auf Schutzgüter zugeteilt.
- Je nach Standort kann es bei kalter und zugleich feuchter Wetterlage zu Eisbildung an den Rotorblättern kommen, von denen beim einsetzenden Betrieb durch Abwurf eine Gefahr für Menschen und Tiere ausgeht (ROTHAARWIND o. J.: www). Insbesondere sehr große Anlagen in höheren Lagen können für Eisbildung empfänglich sein, wobei die Gefahr des Eiswurfs durch automatisches Abschalten oder Rotorblattheizungen verhindert werden kann (ebd.). Die Gefahr, die aus einer Vereisung hervorgeht, tritt zwar nur in Einzelfällen auf, wird dennoch als Wirkfaktor ‚Eiswurf‘ bei betriebsbedingten Wirkungen herangezogen. Eine Gefährdung besteht im Prinzip auch durch senkrecht herabstürzendes Eis von starren Bauelementen (ebd.). Sie ist analog zu den Gefahren zu sehen, die von herabfallenden Eiszapfen bei Wohngebäuden ausgeht (ebd.). Allerdings wird diese Gefahr bei Windkraftanlagen als sehr gering eingestuft und daher nicht als gesonderter Wirkfaktor herangezogen.
- Ausgehend von der Größe der Anlagen kann es neben dem direktem Kollisionsrisiko auch zu einer Scheuchwirkung gegenüber Tieren kommen. Das trifft insbesondere auf bestimmte Vogelarten (u. a. Gänse, Tauben, Stelzvögel, Wasservögel) zu (MEEDDM 2010: 67; vgl. HÖTKER 2006). Zwar kann davon ausgegangen werden, dass durch Meidung von Windkraftanlagen das Kollisionsrisiko abnimmt, doch kann es durch das Ausweichverhalten zu Habitatverlusten für die betreffenden Arten führen (DRL 2006: 27; MEEDDM 2010: 67). Daher wird der Wirkfaktor ‚Scheuchwirkung‘ aufgenommen.

Nachfolgend werden alle potenziellen Wirkfaktoren, die aus der Strombereitstellung durch Windkraftnutzung hervorgehen, in einer Empfindlichkeitsmatrix mit ihren potenziellen Wirkungen auf die Schutzgüter in Tab. 2 dargestellt. Da es sich um eine allgemeine Darstellung handelt, erfolgt die Zuordnung nach temporärer oder dauerhafter Wirkung.

Alle eigenen Ableitungen und Ergänzungen sind zur besseren Nachvollziehbarkeit in der Tabelle farblich gekennzeichnet und in den Anmerkungen erläutert.

Die Tabelle ist als umfassende Darstellung sämtlicher potenzieller Wirkfaktoren zu verstehen. Die Intensität der Wirkungen wird dabei nicht berücksichtigt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass durch Windenergienutzung bestimmte Wirkfaktoren eine überproportionale Wirkung erzeugen: ‚Visuelle Wahrnehmbarkeit‘ (der Anlagen), ‚Schattenwurf‘ und ‚Licht durch Flugsicherheitsbefeuerung‘ erzeugen augenscheinlich eine hohe Präsenz in der Wirkung auf die Schutzgüter Landschaftsbild und Mensch. Bei der anlagenbedingten ‚Scheuch-‘ und ‚Barrierewirkung‘ sowie dem betriebsbedingten ‚Kollisionsrisiko‘ ist vor allem von einer starken Wirkung für Vogelarten auszugehen.

Tab. 2: Wirkfaktoren im Zusammenhang mit der Windenergienutzung (Onshore)
(verändert nach REINHARDT et al. 2004)

Windenergienutzung an Land (Onshore)	Wirkfaktor	Wirkfaktor										Erläuterung					
		Kultur- u. Sachgüter	Mensch	Grundwasser	Oberflächenwasser	Boden	Pflanzen/Biotope	Tiere	Klima/Luft	Landschaftsbild	lokal		regional	überregional			
Prozess bzw. technische Anlage	Wirkfaktor	Schutzgüter										Wirkraum					
		vorgelagerte Prozesse (evtl. anderer Wirkraum)															
Herstellung	Emissionen bei der Herstellung				t	t	t					t			x		
	Naturraumbeanspruchung				d	d	d									x	
baubedingte Wirkfaktoren																	
Baustelleneinrichtung Baubetrieb	Flächenbelegung						t	t	t						t	x	
	Stoffliche Emissionen				t	t	t					t			x		
	Schallemissionen											t			x		
	Licht											t			x		
	Erschütterungen											t			x		
anlagenbedingte Wirkfaktoren																	
Oberirdische Bauwerke (Fundamente, Windkonverter)	Versiegelung								d							x	
	Bodenverdichtung, -abtrag, -umlagerung									d						x	
	Veränderung und Beseitigung von Vegetation										d				d	x	
	visuelle Wahrnehmbarkeit														d	x	x
	Licht durch Flugsicherheitsbeleuchtung														d	x	x
textl. Erläuterung s.o.																	

t = temporäre Wirkung d = dauerhafte Wirkung x = trifft zu
eigene Ergänzungen farblich hervorgehoben

3.2 Photovoltaik

3.2.1 Energiebereitstellung

Solarzellen wandeln Sonnenlicht direkt in elektrische Energie um (DRL 2006: 11).

Der Effekt, dass Licht einen Elektrizitätsfluss zur Folge haben kann, wurde bereits im 18. Jahrhundert entdeckt, doch die Geschichte der Nutzung von Solarenergie begann erst mit der Erfindung der Silizium-Solarzelle im Jahr 1953 durch G. Pearson, D. Chapin und C. Fuller (WAGNER 2010: 1ff). „Bei bestimmten übereinander angeordneten Halbleiterschichten entstehen unter dem Einfluss von Licht (Photonen) freie Ladungen, die als Elektronen über einen elektrischen Leiter abfließen können“ (BMU 2011b: 84). Es entsteht Gleichstrom, der über einen Wechselrichter in Wechselstrom umgewandelt und dann in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden kann (ebd.). Neben dem heutigen Standard-Material Silizium wird eine Vielzahl weiterer Stoffe und Materialkombinationen eingesetzt (BMU 2011b: 86). Auf den Solarzellen befindet sich eine Antireflexionsschicht, die bewirkt, dass möglichst wenig Licht an der Oberfläche reflektiert wird (ARGE 2007: 5). Die Herstellung der Solarzellen ist energieintensiv: Sie brauchen zwischen 1,5 und vier Jahre, um dieselbe Menge Energie zu produzieren, die für ihre Herstellung benötigt wurde (energetische Amortisationszeit) (BMU 2011b: 88).



Abb. 6: Photovoltaik-Freiflächenanlage mit starr in Reihe montierten Solarmodulen
(BUCHER 2006: *www*)



Abb. 5: Photovoltaik-Freiflächenanlage mit nachführbaren Solarmodulen
(SOLON SE 2010: *www*)

Zur Installation werden mehrere Solarzellen elektrisch verschaltet und zu einem Solarmodul zusammengefügt (ARGE 2007: 6). Diese werden neben einer Nutzung auf Gebäuden auch zu großen Solarfeldern – Photovoltaik-Freiflächenanlagen (PV-FFA) – zusammengeschaltet (BMU 2011b: 84). Die Vergütung von Strom aus PV-FFA unterliegt den Vorgaben des § 32 EEG. Danach besteht eine Vergütungspflicht nur bei Anlagen, die im Geltungsbereich eines Bebauungsplanes liegen und auf

- bereits versiegelten Flächen oder
- wirtschaftlichen oder militärischen Konversionsflächen oder
- Grünflächen, die vor dem Bauleitplanverfahren Ackerland waren, sowie

- Anlagen die entlang von Autobahnen oder Schienenwegen

installiert werden (§ 32 Abs. 3 EEG). Diese Vorgaben sollen eine naturschutzbezogene Steuerung von PV-FFA ermöglichen, um möglichen Umweltbeeinträchtigungen entgegenzuwirken (ARGE 2007: 1).

Bei der Installation von Solarmodulen in PV-FFA werden die Module auf Trägergestelle montiert (ARGE 2007: 6). Hinsichtlich der Beweglichkeit der Gestelle wird dabei zwischen nachgeführten (Abb. 5) und starren Anlagen (Abb. 6) unterschieden (ebd.). Nachgeführte Anlagen können durch bewegliche Unterkonstruktionen – meist bestehend aus verzinktem Stahl – dem Sonnenstand nachgeführt werden (ebd.). Starre Modelle hingegen werden auf feste Gestelle aus verzinktem Stahl, Aluminium oder Holz (Robinie) montiert (ARGE 2007: 7). Bewegliche Modelle benötigen je nach Baugrund als Gründung ein Betonfundament oder Schraubanker; starre Gestelle hingegen werden mit Schraubankern oder Ramppfählen verankert (ARGE 2007: 7f).

Die Höhe der Anlagen erreicht je nach Anlagenform bis zu 6 m über Gelände (ARGE 2007: 7). Sie ergibt sich aus der Modulgröße, dem Anstellwinkel zur Sonne (ca. 30°) und dem Bodenabstand, um Verschattung durch Aufwuchs zu verhindern (ARGE 2007: 6f). Zur Verkabelung der Anlagen muss mit einem baubedingten Eingriff in den Boden gerechnet werden (HERDEN et al. 2009: 12).

PV-FFA können durch ihre Größe bei der Energieproduktion in den Megawatt-Bereich vordringen (BMU 2011b: 84). Die mögliche Leistung eines Solarmoduls wird in Watt peak (Wp) angegeben (ARGE 2007: 6). Durchschnittlich benötigen Solarmodule pro MWp Leistung rechnerisch 4,1 ha (Stand: 2007) (ARGE 2007: 11). Der tatsächliche Ertrag ist neben der angewandten Herstellungstechnik und den verwendeten Materialien u. a. abhängig von der Sonneneinstrahlung und dem Einfallswinkel der Strahlung (vgl. WAGNER 2010: 5ff). So ergeben sich für südlichere Länder zwar höhere Sonneneinstrahlungen, doch da Solarzellen auch den diffusen Anteil der Strahlung energetisch umsetzen, lohnt sich Photovoltaik auch in Deutschland (BMU 2011b: 85). Bei Anlagen die im Jahr 2006 in Betrieb genommen wurden, lag die durchschnittliche Flächengröße bei 10 ha (ARGE 2007: 12). Mittlerweile sind Anlagen mit einer Flächengröße von über 100 ha aber durchaus gängig (vgl. PESCHEL 2010: 8). Der Flächenenertrag ist hoch: Er liegt bei 300.000 kWh pro Jahr und Hektar (AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN E. V. 2010b: 5).



Abb. 7: Einzäunung PV-FFA (ROTEC 2008: *www*) (HERDEN et al. 2009: 80).

Der Flächenbedarf ergibt sich neben den Solarmodulen auch aus anderen technischen und betrieblichen Einrichtungen (z. B. Wechselrichter, Gebäude, Zuwegung), wobei dieser Flächenverbrauch im Vergleich zur Gesamtfläche eher unbedeutend ist (ARGE 2007: 11; HERDEN et al. 2009: 9ff). Als weitere bauliche Einrichtung ist die Einzäunung von PV-FFA zu nennen (Abb. 7) die meist aus versicherungsrechtlichen Gründen erforderlich ist

Der Anteil der Strombereitstellung aus Photovoltaik lag für 2011 in Deutschland gemessen am Bruttostromverbrauch bei 3,2 %, gemessen an der Strombereitstellung aller erneuerbaren Energien bei 15,7 % (BMU 2012b: 14ff). Der weitere Ausbau wird sich voraussichtlich etwas abschwächen, doch bis 2030 ist ein stetiges Wachstum für den Bereich der Photovoltaik prognostiziert (NITSCH 2008: 10).

Des Weiteren gibt es Solaranlagen zur Erwärmung von Trinkwasser und zur Heißwassergewinnung für Heizungsanlagen, sogenannte Solarthermieanlagen (vgl. BMU 2011b: 95; REMMERS et al. 2001: 6ff). Zwar ist davon auszugehen, dass sich bei diesen, zumeist auf Dachflächen installierten Anlagen Wirkungen auf die Schutzgüter, speziell auf das Landschaftsbild ergeben, doch sind erhebliche kumulative Wirkungen im Zusammenhang mit anderen Arten erneuerbarer Energien aufgrund der Lokalisation der Anlagen nicht zu erwarten. Daher werden Anlagen zur Solarthermie im Folgenden nicht weiter betrachtet. Auch solarthermische Kraftwerke werden im Rahmen dieser Arbeit nicht behandelt, da ein Ausbau in Deutschland aufgrund der zu geringen Sonnenstrahlung nicht zu erwarten ist (BMU 2011b: 90).

3.2.2 Wirkfaktoren

Nachfolgend werden alle potenziellen Wirkfaktoren, die aus PV-FFA hervorgehen, in einer Empfindlichkeitsmatrix mit potenziellen Wirkungen auf die Schutzgüter in Tab. 3 dargestellt. Da es sich um eine allgemeine Darstellung handelt, erfolgt eine Zuordnung nach temporärer oder dauerhafter Wirkung.

Die Wirkfaktoren lassen sich aus der Funktionsweise der Strombereitstellung durch PV-FFA ableiten. Sie ergeben sich aus den bau-, anlagen- und betriebsbedingten Faktoren der Anlagen.

Die Darstellung der Wirkfaktoren erfolgt in Anlehnung an REINHARDT et al. 2004; HERDEN et al. 2009 & ARGE 2007, deren Herleitung dort entnommen werden kann.

Die Tabelle ist als umfassende Darstellung sämtlicher potenzieller Wirkfaktoren zu verstehen. Die Intensität der Wirkungen wird dabei nicht berücksichtigt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass durch Photovoltaik-Freiflächenanlagen bestimmte Wirkfaktoren eine überproportionale Wirkung erzeugen: Die ‚visuelle Wahrnehmbarkeit‘ (auch durch Lichtreflexionen) steigt mit der Größe der Anlagen und kann als Wirkung auf das Schutzgut Landschaftsbild erhebliche Veränderungen hervorrufen. Die ‚Überdeckung von Boden‘ verändert in den überbauten Bereichen die Biotopstruktur und verändert damit die Lebensgrundlagen der Schutzgüter Tiere und Pflanzen. Die Einzäunung der Anlagen kann in empfindlichen Gebieten erheblich dazu beitragen, eine ‚Barriere für wandernde Tierarten‘ zu schaffen.

Tab. 3: Wirkfaktoren im Zusammenhang mit Photovoltaik-Freiflächenanlagen
(verändert nach REINHARDT et al. 2004; HERDEN et al. 2009 & ARGE 2007)

Prozess bzw. technische Anlage	Wirkfaktor	Schutzgüter										Wirkraum				Erläuterung
		Kultur- u. Sachgüter	Mensch	Grundwasser	Oberflächenwasser	Boden	Pflanzen/Biotope	Tiere	Klima/Luft	Landschaftsbild	lokal	regional	überregional			
vorgelagerte Prozesse (evtl. anderer Wirkraum)																
Herstellung	Energiebedarf und Emissionen bei der Herstellung	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	x			
	Naturraumbearbeitung	t		d	d	d	d	d	d	d	d	d	x			
baubedingte Wirkfaktoren																
Baustelleneinrichtung	Flächenbelegung	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	x			
	Baubetrieb		t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	x	x		
	Schallemissionen		t									t	x			
	Licht		t									t	x			baubedingte Beleuchtung
	Erschütterungen		t									t	x			
anlagebedingte Wirkfaktoren																
Solarmodule, Zufahrtswege, technische Einrichtungen, Einzäunung	Versiegelung			d						d	d	d	d	x		
	Bodenverdichtung, -abtrag, -umlagerung	d								d	d	d		x		
	Veränderung/Beseitigung von Vegetation		d								d	d	d	x		
	Überdeckung von Boden										d	d	d	x		
	Veränderung des Bodenwasserhaushaltes										d	d	d	x		
	visuelle Wahrnehmbarkeit; Licht (Reflexionen)		d										d	x	x	

t = temporäre Wirkung d = dauerhafte Wirkung x = trifft zu
eigene Ergänzungen farblich hervorgehoben

Fortsetzung Tab. 3: Wirkfaktoren im Zusammenhang mit PV-FFA

Prozess bzw. technische Anlage	Wirkfaktor	Schutzgüter										Wirkraum			Erläuterung				
		Kultur- u. Sachgüter	Mensch	Grundwasser	Oberflächenwasser	Boden	Pflanzen/Biotope	Tiere	Klima/Luft	Landschaftsbild	lokal	regional	überregional						
mit Photovoltaik-Freiflächenanlagen	Solarmodule, Zufahrtswege, technische Einrichtungen, Einzäunung	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	x						
	Stoffliche Emissionen																		
	Schallemissionen	t												x					
	Barriere für wandernde Tierarten																x		
	betriebsbedingte Wirkfaktoren																		
Solarmodule	Licht (Reflexionen) durch nachgeführte Module		d											d	d		x		
elektrische Leitungen	Elektromagnetische Felder																x		
	nachgelagerte Prozesse (evtl. anderer Wirkraum)																		
Anbindung an bestehendes Stromnetz	Flächennanspruchnahme, Versiegelung, Erdarbeiten (unterirdische Leitungen , Masten, Trafos, Umspannwerke)																x		bei unterirdischen Leitungen ergeben sich baubedingte Wirkungen auf den Boden
	Barriere für wandernde Vogelarten durch oberirdische Stromleitungen																x	x	
	visuelle Wahrnehmbarkeit																x		
	Elektromagnetische Felder																x		
Entsorgung	Emissionen bei der Entsorgung der Bauteile																t	t	

t = temporäre Wirkung d = dauerhafte Wirkung x = trifft zu
eigene Ergänzungen farblich hervorgehoben

3.3 Biogas

3.3.1 Energiebereitstellung

„Biogas ist ein Stoffwechselprodukt von Bakterien, das entsteht, wenn sie organische Substanz abbauen“ (EDER et al. 2007: 19). Angewendet wird es in der Strom- und Wärmeproduktion nach Aufbereitung als Kraftstoff oder zur Einspeisung in Erdgasnetze (DBFZ 2012: 78).

Die ersten Untersuchungen zu „Sumpfgasen“ gab es bereits um 1770 durch Alessandro Volta (EDER et al. 2007: 9). Die Nutzung von Biogas begann jedoch erst Ende des 19., Anfang des 20. Jahrhunderts mit Gasen aus Kläranlagen (EDER et al. 2007: 10). In der Nachkriegszeit wurde der in der Landwirtschaft anfallende Mist als Lieferant für Biogas entdeckt und genutzt (ebd.). Mit der Einführung des EEG im Jahre 2000 sowie mit dessen Novellierung im Jahr 2004 stieg der Einsatz extra angebauter Pflanzen als Lieferant für Biogas, da die Nutzung dieser nachwachsenden Rohstoffe (NaWaRo) gesondert vergütet wurde (DBFZ 2011: 15; EDER et al. 2007: 14).

Die zur Biogasgewinnung eingesetzte Biomasse aus NaWaRo kann aus unterschiedlichen Pflanzen und Pflanzenbestandteilen bestehen (z. B. Baum- und Strauchkulturen unterschiedlicher Art, Ackerfrüchte, darunter Getreide, verschiedene Grasarten und Futterpflanzen sowie Öl-, Stärke- und Faserpflanzen) (DRL 2006: 7). Ferner werden auch Abfälle und Nebenprodukte pflanzlicher und tierischer Herkunft, wie Altholz, Schnittgut aus der Landschaftspflege oder Gülle eingesetzt (ebd.). Der massebezogene Substrateinsatz in Biogasanlagen liegt für NaWaRo und Exkrememente ungefähr gleich bei 41 bzw. 43 % (DBFZ 2010: 52). Energiebezogen liegt der Anteil NaWaRo allerdings bei 73 %, der Anteil von Mais an den in Biogasanlagen verwendeten NaWaRo bei 78 % (DBFZ 2010: 53f). 2009 werden in Deutschland 76% des Energiepflanzenanbaus für Biogas durch Mais abgedeckt (DBFZ 2010: 66). Dieser hohe Anteil zeigt deutlich, dass Landwirte zurzeit vornehmlich auf den Maisanbau setzen (DRL 2006: 13). Gründe dafür liegen in der Silierfähigkeit (Konservierung) und dem damit gewährleisteten ganzjährigen Einsatz in der Anlage sowie in hohen Biogaserträgen, die mit gängigen Anbauverfahren erzielt werden können (ebd.). An dieser Stelle sei jedoch in Anbetracht des Ziels einer CO₂-Reduktion kritisch auf die Energiebilanz von Biogas aus Mais hingewiesen, dessen Erzeugung selbst mit einem hohen CO₂-Ausstoß verbunden ist (vgl. SCHMIDT 2012: 59).

Die größten Auswirkungen auf Natur und Landschaft sind bei der Energiebereitstellung durch Biogas in der Produktion der Energiepflanzen zu erwarten (WOLF et al. 2010: 7). Diese umfasst:

- Bodenvorbereitung,
- Aussaat,
- Einsatz von Pflanzenschutz- und Düngemitteln,
- mechanische Pflege der Kulturen sowie
- Ernte der Pflanzen (ebd.; PEYKER et al 2007: 9).

Reststoffe wie Exkrememente oder pflanzliche Abfälle und Nebenprodukte werden daher im Folgenden nicht weiter betrachtet.

Nach der Ernte folgen Transport, Lagerung und Aufbereitung der Energiepflanzen (FNR 2006: 54). Die Lagerung erfolgt bei Mais als Silierung (unter Einsatz von Silierhilfsmitteln) zur Konservierung der Pflanzen und dient dem Ausgleich der Schwankungen bei der Bereitstellung der Substrate (ebd.; PEYKER et al 2007: 13). Als übliche Lagerstätten in der Landwirtschaft dienen Fahrsilos, wobei die Lagerung von Silomais zuweilen einen hohen Flächenbedarf verursacht (EDER et al. 2007: 41; FNR 2006: 46).

Neben dem Einsatz von Mais als Substrat sei auch auf die Nutzung von Kurzumtriebshölzern (aus sogenannten Kurzumtriebsplantagen – KUP) hingewiesen (DRL 2006: 26). Hierbei werden in mehrjährigen Kulturen schnellwachsende Laubholzarten wie Weiden, Aspen- und vor allem Pappelsorten verwendet (DRL 2006: 26). Hinsichtlich des Anbaus ergeben sich hier differenzierte Anbaumethoden (vgl. ebd.).

Vor der Beschickung der Anlagen erfolgt je nach Substrat eine Sortierung und Störstoffabtrennung, eine energieintensive phyto- bzw. seuchenhygienische Aufbereitung sowie eine Zerkleinerung der Pflanzen (FNR 2006: 46). Daraufhin erfolgt die Vergärung der Substrate in Fermentern, in denen letztlich Biogas entsteht (FNR 2006: 59). Die Dauer der Vergärung richtet sich nach dem eingesetzten Substrat sowie dem Konzept der Anlage und liegt zwischen zehn und hundert Tagen (BMU 2011b: 109). Bei kontrollierten Temperaturen um 40 °C (je nach Art der Anlage) bauen verschiedene Bakteriengruppen unter anaeroben Bedingungen die organische Substanz ab; dabei fällt letztlich als Stoffwechselprodukt das Biogas an (FNR 2006: 25f; vgl. EDER et al. 2007: 19ff). Dieses Gasgemisch besteht zu ca. zwei Dritteln aus Methan und ca. einem Drittel aus Kohlendioxid (FNR 2006: 25). Zusätzlich befinden sich im Biogas noch geringe Mengen an Wasserstoff, Schwefelwasserstoff, Ammoniak und anderen Spurengasen (ebd.). Der Fermenter ist inklusive dazugehöriger Peripherie das eigentliche Kernstück der Biogasanlage (FNR 2006: 59). Dies wird auch aus der Größe der Fermenter deutlich, deren Volumen bis zu 800 m³ betragen kann (FNR 2006: 60). Eingesetzte Baumaterialien für die Behälter sind Beton, Stahl und Folienhauben zur Abdeckung sowie als Dämmstoff Mineralwolle oder Kunstschaumstoffe (EDER et al. 2007: 79, 83f & 86). Weitere bauliche Bestandteile von Biogasanlagen sind Gasspeicher, Gärrestlagerbehälter und Blockheizkraftwerk (FNR 2006: 44) (Abb. 8). Gasspeicher dienen zur Aufrechterhaltung einer konstanten Nutzungsmenge, da es bei der Produktion zu Schwankungen kommen kann (FNR 2006: 74). Bei neuen Anlagen werden sie als Kombination mit Gärrestlagern errichtet und dienen als Nachgärbehälter (FNR 2006: 74). Gärrestlager sind notwendig, um das vergorene Substrat aus dem Fermenter abzukühlen und bis zur Verwertung zu lagern (ebd.). Die Verwertung erfolgt als Düngemittel auf land-



Abb. 8: Biogasanlage mit Fermenter, Nachgärbehälter und Silagelager (EIGENE AUFNAHME)

Gärrestlagern errichtet und dienen als Nachgärbehälter (FNR 2006: 74). Gärrestlager sind notwendig, um das vergorene Substrat aus dem Fermenter abzukühlen und bis zur Verwertung zu lagern (ebd.). Die Verwertung erfolgt als Düngemittel auf land-

wirtschaftlich genutzten Flächen und geht damit in den Nährstoffkreislauf zurück (WOLF et al. 2010: 9).

Das entstandene Biogas wird in der Strom- und Wärmeproduktion, als Kraftstoff oder zur Einspeisung in Erdgasnetze genutzt (DBFZ 2012: 78). Um das Biogas über Erdgasnetze zu verteilen und dort zu nutzen, wo es gebraucht wird, ist eine Aufbereitung des Biogases in mehreren Stufen (Reinigung, Methananreicherung) notwendig (EDER et al. 2007: 128f). Eine Aufbereitung erfolgt auch bei einem Einsatz als Treibstoff in erdgastauglichen Motoren (EDER et al. 2007: 129). Meist findet eine Verwendung des Biogases allerdings im Rahmen der Kraft-Wärme-Kopplung zur Erzeugung von Strom bei gleichzeitiger Wärmeproduktion statt (EDER et al. 2007: 131; FNR 2006: 45). Dafür wird in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) das Biogas als Kraftstoff für einen Verbrennungsmotor eingesetzt, der wiederum einen Generator antreibt und Strom erzeugt (ebd.). Zur Stromabgabe muss eine sinnvolle Anbindung an bestehende Stromnetze gegeben sein (EDER et al. 2007: 137). Die Abwärmennutzung erfolgt vor Ort durch das Beheizen des Fermenters sowie über eine Nahwärmeversorgung u. a. von Wohnhäusern oder Schwimmbädern, wofür im Rahmen des EEG ein Bonus gezahlt wird (EDER et al. 2007: 137f; DRL 2006: 8). Häufig findet jedoch auch eine „Entsorgung“ der Abwärme über Kühlaggregate statt (EDER et al. 2007: 138).

In Deutschland waren 2011 5.796 Biogasanlagen in Betrieb (DBFZ 2010: 17). Die durchschnittliche installierte Leistung lag dabei in den Jahren 2009 und 2010 gemittelt bei 335 kW (DBFZ 2010: 19). Ein Großteil der Anlagen ist in landwirtschaftliche Betriebe integriert; als neuer Betriebszweig wird damit eine zusätzliche Einkommensquelle erschlossen (BMU 2011b: 105; DBFZ 2010: 20; EDER et al. 2007: 5). Ein weiterer positiver Nebeneffekt ist die geminderte Geruchsbelästigung: Zwar entstehen bei der Vergärung auch Gerüche, allerdings ist die Geruchsbelästigung beim Ausbringen der Gärreste geringer als z. B. beim direkten Ausbringen von Gülle (EDER et al. 2007: 180).

Die Anbaufläche in Deutschland für Energiepflanzen zur Biogasproduktion lag 2011 bei 900.000 ha (FNR 2012a: www). Das Strompotenzial aus Mais liegt bei 17.257 kWh je Hektar und Jahr (FNR 2012b: 39). Wird eine Biogasanlage geplant, muss mit den zur Verfügung stehenden Substraten kalkuliert werden (eigene Herstellung, Zukauf) (EDER et al. 2007: 16ff). Am Beispiel Mais ergibt sich dabei für den Betrieb einer Biogasanlage ein Flächenbedarf von 0,5 ha je kW installierter elektrischer Leistung (HARTMANN 2008: www).

Ein Vorteil der Energiebereitstellung aus Biogas liegt in der Unabhängigkeit der Energieart von Wind und Sonne; Biogas ist permanent verfügbar und somit grundlastfähig (BADENOVA 2012: www). Der Anteil am Bruttostromverbrauch von Strom aus Biomasse lag in Deutschland 2011 bei 2,9 % (BMU 2012b: 14), gemessen am Strom aus erneuerbaren Energien bei 14,2 % (BMU 2012b: 17). Der Anteil der Wärmeerzeugung aus Biogas am Endenergieverbrauch für Wärme betrug 2011 1,3 % (BMU 2012b: 14); gemessen an der Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien waren es 12,8 % (BMU 2012b: 17). Für den weiteren Ausbau wird bis 2020 eine Verdoppelung der Stromerzeugung aus Biomasse gegenüber 2007 angenommen, bei der Wärmebereitstellung sogar eine Verdreifachung der Nutzung aus Biomasse gewonnener

Wärme (NITSCH 2008: 10). Die Steigerung der Energiebereitstellung durch Biogas erfordert eine weitere Erhöhung des Energiepflanzenanbaus; bis 2050 wird eine Biomasseproduktion bis zu einer Fläche von 1,85 Mio. ha für die stationäre Strom- und Wärmeerzeugung erwartet (ebd.).

Neben der Produktion von Biogas dient eine breite Palette von Energiepflanzen (Ölpflanzen, Getreide, Zuckerrüben, Zuckerrohr, speziellen Energiepflanzen, Wald- und Restholz sowie Holz aus Schnellwuchsplantagen) auch zur Produktion von weiteren Biokraftstoffen (FNR o. J.: www). Zu diesen zählt man Biodiesel, Rapsöl, Ethanol sowie die in der Entwicklung befindlichen Synthese- oder BTL-Kraftstoffe (vom Englischen: biomass-to-liquid) (ebd.). Die Umweltwirkungen aus dem Herstellungsprozess dieser Kraftstoffe können sich von den Wirkungen der Energieerzeugung aus Biomasse unterscheiden und werden im Verlauf der vorliegenden Arbeit nicht weiter behandelt. Der Anbau von NaWaRo für Biokraftstoffe erfolgt jedoch nach ähnlichen landwirtschaftlichen Verfahren wie der Anbau von Energiepflanzen zur Biogasgewinnung, dadurch kann es zu ähnlichen Wirkfaktoren kommen.

3.3.2 Wirkfaktoren

Die Wirkfaktoren lassen sich aus der Funktionsweise der Biogasbereitstellung und -nutzung ableiten. Sie ergeben sich aus den verschiedenen Formen des Energiepflanzenanbaus sowie aus den bau-, anlagen- und betriebsbedingten Faktoren der technischen Anlagen zur Biogasgewinnung. Die Darstellung erfolgt getrennt nach

- Wirkfaktoren im Zusammenhang mit Anlagen zur Biogaserzeugung (Tab. 4),
- Wirkfaktoren im Zusammenhang mit der Bereitstellung von Biomasse aus Mais (Tab. 5) sowie
- Wirkfaktoren im Zusammenhang mit der Bereitstellung von Biomasse aus KUP am Beispiel der Pappel (Tab. 6).

Die Darlegung der Wirkfaktoren erfolgt in Anlehnung an REINHARDT et al. 2004, deren Herleitung dort entnommen werden kann. Einigen dieser Wirkfaktoren wurden weitere Wirkungen auf andere Schutzgüter zugeordnet. So wurde bspw. dem Wirkfaktor ‚Veränderung des Blühaspekts‘ beim Anbau von einjährigen Energiepflanzen zusätzlich eine Wirkung auf das Landschaftsbild zugeteilt. Der mechanischen Begleitwuchsregulierung wiederum wurde der Wirkfaktor ‚Bodenverdichtung‘ zugeordnet, der sich durch einen Maschineneinsatz ergibt.

Zusätzlich werden im Folgenden weitere Wirkfaktoren aus eigenen Schlussfolgerungen abgeleitet. Aufgrund fehlender Felddaten erfolgt dies im Rahmen dieser Arbeit nicht nach empirisch angelegten Methoden, sondern verbal-argumentativ (vgl. SCHOLLES 2008b: 503).

Zusätzliche Wirkfaktoren:

- Durch das Ausbringen der Gärreste ist aufgrund des Maschineneinsatzes davon auszugehen, dass die Wirkfaktoren ‚Bodenverdichtungen‘, ‚Stoffliche Emissionen‘, und ‚Geräuschemissionen‘ auftreten. Aus den Gärresten selber ergeben sich ‚Stoffliche Emissionen‘ sowie ‚olfaktorische Emissionen‘.

- Die gestiegene Anbaufläche von Energiemais wird häufig als Auslöser für die starke Bestandserhöhung von Schwarzwild (*Sus scrofa*) gesehen (BMELV o. J.: www; LEPPMANN et al. 2012: 6). Dieses profitiert von dem erhöhten Deckungs- und Nahrungsangebot, so dass in günstigen Jahren Populationszuwächse von 200-300 % möglich sind (BMELV o. J.: www; LEPPMANN et al. 2012: 6). Einen direkten Zusammenhang zwischen dem gestiegenen Maisanbau und erhöhter Schwarzwildpopulation konnten SODEIKAT & GETHÖFFER zwar nicht nachweisen, sie verweisen jedoch auf weitere nötige Untersuchungen (2011: 219). Daher wird im Sinne des Vorsorgeprinzips die ‚steigende Schwarzwildpopulation‘ als Wirkfaktor herangezogen und potenzielle Wirkungen auf die Schutzgüter abgeleitet:
- Eine ‚steigende Schwarzwildpopulation‘ birgt die Gefahr einer verstärkten Ausbreitung der Schweinepest (PROPLANTA 2010: www; vgl. FRIEDRICH-LOEFFLER-INSTITUT, 2005, 2005). Da diese Gefahr das Schwarzwild selbst betrifft, wird eine Wirkung auf das Schutzgut Tiere zugeteilt. Aus der Übertragbarkeit auf Hausschweine ergibt sich eine potenzielle Wirkung auf Sachgüter.
- Die Nutzung von Mais durch Schwarzwild als Deckungs- und Nahrungsfläche kann, wie in Abb. 9 deutlich wird, zu erheblichen Wildschäden (Fraß- und Lagerschäden) führen (LEPPMANN et al. 2012: 20). Auch andere Kulturarten (Weizen, Grünland etc.) können davon betroffen sein. Daher wird – obwohl es z. T. den auslösenden Faktor, nämlich die Kultur selbst betrifft – als weitere Wirkung auf Sachgüter angesehen.



Abb. 9: Wildschaden im Mais (LEPPMANN et al. 2012: 17)



Abb. 10: Elektro-Einzäunung von Mais zur Wildschadensabwehr (LEPPMANN et al. 2012: 7)

- Die Problematik der Wildschäden kann aufgrund der gestiegenen Populationsdichten weiter zunehmen. Maßnahmen, die dagegen unternommen werden, sind u. a. eine verstärkte Bejagung sowie das Einzäunen von Maisschlägen mit Elektrozäunen (LEPPMANN et al. 2012: 9) (Abb. 10). Aus der Einzäunung könnte eine Wirkung auf den Biotopverbund, speziell für größere Säugtiere, resultieren. Die ‚Barriere für wandernde Tierarten‘ wird daher als Wirkfaktor herangezogen.
- Zusätzlich kann eine ‚steigende Schwarzwildpopulation‘ zu einer Erhöhung von Verkehrsunfällen (Wildunfällen) führen (DJZ 2007: www). Daher wird eine Wirkung auf das Schutzgut Mensch zugeschrieben.

- Das Ausschöpfen des Potenzials von Biomasse hat in den letzten Jahren zu einem gesteigerten Energiepflanzenanbau geführt. Dieser Flächenanteil wird auch weiterhin steigen, sowohl um weitere Potenziale der Energiebereitstellung zu nutzen, als auch zur Erweiterung und Sicherung von Einkommensquellen im landwirtschaftlichen Sektor. In diesem Zusammenhang sei auf einen eventuellen zukünftigen Einsatz gentechnisch veränderter Organismen (GVO) zur potenziellen Ertragssteigerung von Biomasse hingewiesen. Zwar spielt der Anbau zur Zeit aufgrund eines Anbauverbots des BMELV (Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) in Bezug auf die Freisetzungsrichtlinie 2001/18/EG keine Rolle (BMELV 2009: www), doch auch der DRL weist in diesem Zusammenhang auf das Übertreten der Schwelle zum Anbau von GMO hin. Denn wenn Kulturpflanzen nicht mehr der menschlichen Ernährung, sondern „lediglich“ der Energieerzeugung dienen, könnte diese Schwelle wegfallen (2006: 25).

Auf mögliche Wirkungen von GMO auf die Umwelt kann an dieser Stelle nicht detailliert eingegangen werden, es sei jedoch auf weiterführende Literatur verwiesen: z. B. ZARZER 2006 oder BEER & DROSTE 2006. Im Zuge der Umweltprüfung eines untersuchten Vorhabens lassen sich aufgrund des Anbauverbots zwar keine konkreten Wirkungen heranziehen, doch da der potenzielle Anbau von GMO als Interdependenz zu eventuellen Folgehandlungen zu sehen ist, sollte dieser Punkt im Sinne von kumulativen Wirkungen bei Entscheidungen und Empfehlungen der räumlichen Planung/Landschaftsplanung bezüglich des Energiepflanzenanbaus Berücksichtigung finden, um den ganzheitlichen Bewertungsansatz von kumulativen Wirkungen gerecht zu werden. Daher wird der Wirkfaktor ‚Freisetzung von GMO‘ in die Liste der Wirkfaktoren einbezogen, es werden ihm jedoch keine Wirkungen zugeschrieben.

Nachfolgend werden alle potenziellen Wirkfaktoren, die aus der Biogasproduktion hervorgehen, in einer Empfindlichkeitsmatrix mit ihren potenziellen Wirkungen auf die Schutzgüter in Tab. 4, Tab. 5 und Tab. 6 dargestellt. Da es sich um eine allgemeine Darstellung handelt, erfolgt die Zuordnung nach ihrem Wirkungspotenzial bzw. nach temporärer oder dauerhafter Wirkung.

Alle eigenen Ableitungen und Ergänzungen sind zur besseren Nachvollziehbarkeit in der Tabelle farblich gekennzeichnet und in den Anmerkungen erläutert.

Die Tabelle ist als umfassende Darstellung sämtlicher potenzieller Wirkfaktoren zu verstehen. Die Intensität der Wirkungen wird dabei nicht berücksichtigt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass durch Biogasproduktion bestimmte Wirkfaktoren eine überproportionale Wirkung erzeugen. Ausgehend von dem hohen Flächenbedarf bei der Bereitstellung von Biomasse haben die Wirkfaktoren ‚Landschaftsstrukturveränderung‘ und ‚Vegetationsstrukturveränderung‘ einen hohen Einfluss auf die Schutzgüter Tiere, Pflanzen und Landschaftsbild. Der prozessbedingte Einsatz von Herbiziden und Düngemitteln und die damit verbundenen ‚stofflichen Emissionen‘ lassen auf eine intensivere Wirkung auf die Schutzgüter Boden, Tier, Pflanzen und Grundwasser/Oberflächenwasser schließen.

Tab. 4: Wirkfaktoren im Zusammenhang mit Anlagen zur Biogasferzeugung (verändert nach REINHARDT et al. 2004)

Prozess bzw. technische Anlage	Wirkfaktor	Schutzgüter										Wirkraum			Erläuterung		
		Kultur- u. Sachgüter	Mensch	Grundwasser	Oberflächenwasser	Boden	Pflanzen/Biotope	Tiere	Klima/Luft	Landschaftsbild	lokal	regional	überregional				
vorgelagerte Prozesse (evtl. anderer Wirkraum)																	
Herstellung der Bauteile	Emissionen bei der Herstellung der Bauteile													x			
	Naturraumbearbeitung			d	d	d	d	d							x		
baubedingte Wirkfaktoren																	
Baustelleneinrichtung Baustelleneinrichtung	Flächenbelegung					t	t	t							x		
	Stoffliche Emissionen			t	t	t									x		
	Geräuschemissionen			t											x		
	Licht			t											x		
	Erschütterungen														x		
	Grundwasserhaltung														x		
anlagenbedingte Wirkfaktoren																	
Fermenter, Lagerplätze, technische Einrichtungen	Versiegelung			d		d	d	d							x		
	Bodenverdichtungen					d	d	d							x		
	Bodenabtrag						d	d							x		
	Bodenumlagerung							d	d						x		
	Veränderung und Beseitigung von Vegetation									d	d				x		
	visuelle Wahrnehmbarkeit der Anlagen																d

t = temporäre Wirkung d = dauerhafte Wirkung x = trifft zu
eigene Ergänzungen farblich hervorgehoben

Fortsetzung der Tab. 4: Wirkfaktoren im Zusammenhang mit Anlagen zur Biogasferzeugung

Wirkfaktoren im Zusammenhang mit Anlagen zur Biogasferzeugung	Prozess bzw. technische Anlage	Wirkfaktor	Schutzgüter										Wirkraum				Erläuterung				
			Kultur- u. Sachgüter	Mensch	Grundwasser	Oberflächenwasser	Boden	Pflanzen/Biotope	Tiere	Klima/Luft	Landschaftsbild	lokal	regional	überregional							
Zufahrtswege		Versiegelung			d			d	d	d					x						
		Bodenverdichtungen					d	d	d							x					
		Bodenauftrag						d	d	d						x					
		Bodenumlagerung						d	d	d						x					
		Veränderung und Beseitigung von Vegetation							d	d					d	x					
		Veränderung des Landschaftsbildes													d	x					
		Barriere für wandernde Tierarten															x				
		betriebsbedingte Wirkfaktoren																			
Anlagen zur Biogasgewinnung und Stromerzeugung (Fermenter, Blockheizkraftwerk, etc.)		Stoffliche Emissionen														x					
		Geräuschemissionen															x				
		olfaktorische Emissionen																			
		Elektromagnetische Felder																			

t = temporäre Wirkung d = dauerhafte Wirkung x = trifft zu
eigene Ergänzungen farblich hervorgehoben

Tab. 5: Wirkfaktoren im Zusammenhang mit der Bereitstellung von Biomasse aus Mais (verändert nach REINHARDT et al. 2004)

Produktionsphase bzw. Bezugsmerkmal	Prozess bzw. technische Anlage	Wirkfaktor	Schutzgüter										Wirkraum			Erläuterung				
			Kultur- u. Sachgüter	Mensch	Grundwasser	Oberflächenwasser	Boden	Pflanzen/Biotope	Tiere	Klima/Luft	Landschaftsbild	lokal	regional	überregional						
der Bereitstellung von Biomasse aus Mais	Standortvorbereitung	Zerstörung der Begleitflora					r	r							x					
		Lockerung des Pflughorizonts					r								x					
		Belüftung des Pflughorizonts					r		w						x					
		Zerstörung des Kapillargefüges					r								x					
		Zerstörung von Lebensräumen							w						x					
		Verlust von Bodenlebewesen								r					x					
		Bodenverdichtungen in Fahrspuren										w			x					
		Geräuschemission									w				x				Geräuschemission durch Maschineneinsatz wirkt auch auf den Menschen; tritt auch bei der chemischen Begleitwuchsregulierung und Düngung auf	
		Stoffliche Emissionen										w				x				
		Einsatz von Vorlaufherbiziden							w	w	w	w	w			x				
Düngung							w	w	w	w	w			x				Durch veränderte Nährstoffverhältnisse ist eine Wirkung auf die Begleitflora zu vermuten		

r = hohes Wirkungspotenzial w = geringes, aber vorhandenes Wirkungspotenzial x = trifft zu
eigene Ergänzungen farblich hervorgehoben

Fortsetzung der Tab. 5: Wirkfaktoren im Zusammenhang mit der Bereitstellung von Biomasse aus Mais

Produktionsphase bzw. Bezugsmerkmal		Prozess bzw. technische Anlage	Wirkfaktor	Schutzgüter										Wirkraum			Erläuterung	
				Kultur- u. Sachgüter	Mensch	Grundwasser	Oberflächenwasser	Boden	Pflanzen/Biotope	Tiere	Klima/Luft	Landschaftsbild	lokal	regional	überregional			
Kulturbe- gründung	Sä- oder Pflanzma- schineneinsatz	Bodenverdichtung						w						x				
		Geräuschemission	w						w					x	x			Geräuschemission durch Maschineneinsatz wirkt auch auf den Menschen
Kulturfläche	Schlaggröße, Einzäunung	Stoffliche Emissionen		w						w				x				
		Flächenbedarf										w		x				
		Landschaftsstrukturveränderung											r		x			
		Mikroklimatische Veränderung												r	x			
Pflanz-/ Bestandsdichte	Pflanz-/ Bestandsdichte	Änderung des Wasserverbrauchs (Transpiration)		r											x			
		Barriere für wandernde Tierarten													x	x		textl. Erläuterung s.o.
		Änderung physikalischer und chemischer Bodenparameter		w				r							x			
		Änderung des Reihenabstands						r						x				
		Mikroklimatische Veränderungen							r	r	r	r		x	x			mikroklimatische Ände- rungen können auf das lokale Kleinklima wirken

r = hohes Wirkungspotenzial w = geringes, aber vorhandenes Wirkungspotenzial x = trifft zu
eigene Ergänzungen farblich hervorgehoben

Fortsetzung Tab. 5: Wirkfaktoren im Zusammenhang mit der Bereitstellung von Biomasse aus Mais

Wirkfaktoren im Zusammenhang mit der Bereitstellung von Biomasse aus Mais	Produktionsphase bzw. Bezugsmerkmal	Prozess bzw. technische Anlage	Wirkfaktor	Schutzgüter										Wirkraum			Erläuterung		
				Kultur- u. Sachgüter	Mensch	Grundwasser	Oberflächenwasser	Boden	Pflanzen/Biotope	Tiere	Klima/Luft	Landschaftsbild	lokal	regional	überregional				
	Kulturfläche	Kulturart	Änderung der Bestandshöhe									r			x				
			Änderung der Vegetationsstruktur						r			r			x				
			Änderung des Blühaspekts							w		r			x				durch Veränderungen des Blühaspekts sind lokale Änderungen des Landschaftsbildes zu erwarten
			Veränderte Wurzeleigenschaften					r							x				
			Änderung der Streuschicht					r							x				
			steigende Schwarzwildpopulation	r	w										x	x			textl. Erläuterung s.o.
			Freisetzung von GVO																auf Grund von Anbauverbot keine Wirkungen; weitere Erläuterung s.o.

r = hohes Wirkungspotenzial w = geringes, aber vorhandenes Wirkungspotenzial x = trifft zu
eigene Ergänzungen farblich hervorgehoben

Fortsetzung der Tab. 5: Wirkfaktoren im Zusammenhang mit der Bereitstellung von Biomasse aus Mais

Wirkfaktoren im Zusammenhang mit der Bereitstellung von Biomasse aus Mais	Produktionsphase bzw. Bezugsmerkmal	Prozess bzw. technische Anlage	Wirkfaktor	Schutzgüter										Wirkraum			Erläuterung				
				Kultur- u. Sachgüter	Mensch	Grundwasser	Oberflächenwasser	Boden	Pflanzen/Biotope	Tiere	Klima/Luft	Landschaftsbild	lokal	regional	überregional						
Kulturpflege	Mechanische Begleitwuchsregulierung (StriegeIn, Hacken)		Zerstörung der Begleitflora						r	r					x						
			Auflockerung des Oberbodens				r									x					
			Zerstörung des Kapillargefüges				r										x				
			Bodenverdichtungen				w										x				tritt ebenfalls bei der chemischen Begleitwuchsregulierung und Düngung auf
			Stoffliche Emissionen		w										x						
			Geräuschemission	w						w						x	x				Geräuschemission durch Maschineneinsatz wirkt ebenfalls auf den Menschen; tritt auch bei der chemischen Begleitwuchsregulierung und Düngung auf
		Chemische Begleitwuchsregulierung	Stoffliche Emissionen		w				r	w					x						

r = hohes Wirkungspotenzial w = geringes, aber vorhandenes Wirkungspotenzial x = trifft zu
eigene Ergänzungen farblich hervorgehoben

Fortsetzung der Tab. 5: Wirkfaktoren im Zusammenhang mit der Bereitstellung von Biomasse aus Mais

Produktionsphase bzw. Bezugsmerkmal	Prozess bzw. technische Anlage	Wirkfaktor	Schutzgüter										Wirkraum			Erläuterung			
			Kultur- u. Sachgüter	Mensch	Grundwasser	Oberflächenwasser	Boden	Pflanzen/Biotope	Tiere	Klima/Luft	Landschaftsbild	lokal	regional	überregional					
Wirkfaktoren im Zusammenhang mit der Bereitstellung von Biomasse aus Mais	Kulturpflege	Stoffliche Emissionen			r	w	w	w	r					x					
			Insektizidbehandlung	Stoffliche Emissionen			r	w	w	r					x				
					Düngung	Stoffliche Emissionen		w	w	r							x		
	Ernte	Bodenverdichtungen					w								x				
			Mähen, Häckseln, Sammeln	Geräuschemission	w					r					x	x			
	Reststoffverwertung	Stoffliche Emissionen					w	w	w						x				
			Ausbringen der Gärreste	Verlust von Tieren						w					x				
	Ausbringen der Gärreste	Bodenverdichtung						w							x				
			Ausbringen der Gärreste	Stoffliche Emissionen			w	w	w						x				
	Ausbringen der Gärreste	olfaktorische Emissionen				w									x				
Ausbringen der Gärreste			Geräuschemission		w					w				x	x				textl. Erläuterung s.o.

r = hohes Wirkungspotenzial w = geringes, aber vorhandenes Wirkungspotenzial x = trifft zu eigene Ergänzungen farblich hervorgehoben

Tab. 6: Wirkfaktoren im Zusammenhang mit der Bereitstellung von Biomasse aus KUP am Beispiel der Pappel (verändert nach REINHARDT et al. 2004)

Produktionsphase bzw. Bezugsmerkmal		Prozess bzw. technische Anlage	Wirkfaktor	Schutzgüter										Wirkraum			Erläuterung					
				Kultur- u. Sachgüter	Mensch	Grundwasser	Oberflächenwasser	Boden	Pflanzen/Biotope	Tiere	Klima/Luft	Landschaftsbild	lokal	regional	überregional							
Wirkfaktoren im Zusammenhang m. d. Bereitstellung von Biomasse aus KUP am Bsp. der Pappel				Standortvorbereitung	Mechanische Bodenbearbeitung	Zerstörung der Begleitflora				r	r						x					
						Lockerung des Pflughorizonts				r											x	
						Belüftung des Pflughorizonts					r				w						x	
						Zerstörung des Kapillargefüges					r										x	
						Zerstörung von Lebensräumen									w						x	
						Verlust von Bodenlebewesen										r					x	
						Bodenverdichtungen in Fahrspuren								w							x	
						Geräuschemission				w						w					x	
						Stoffliche Emissionen					w	w					w				x	
						Stoffliche Emissionen		Einsatz von Vorlaufherbiziden			w	w					w				x	
				Kulturbe-gründung	Düngung manuelles Pflanzen Pflanzmaschineneinsatz	Stoffliche Emissionen			w											x		
						Scheuchwirkung								w						x		
						Bodenverdichtung							w							x		
															x							
															x							
															x							
															x							
															x							

r = hohes Wirkungspotenzial w = geringes, aber vorhandenes Wirkungspotenzial x = trifft zu
 eigene Ergänzungen farblich hervorgehoben

Fortsetzung der Tab. 6: Wirkfaktoren im Zusammenhang mit der Bereitstellung von Biomasse aus KUP am Beispiel der Pappel

Wirkfaktoren im Zusammenhang m. d. Bereitstellung von Biomasse aus KUP am Bsp. der Pappel	Produktionsphase bzw. Bezugsmerkmal	Prozess bzw. technische Anlage	Wirkfaktor	Schutzgüter										Erläuterung						
				Kultur- u. Sachgüter	Mensch	Grundwasser	Oberflächenwasser	Boden	Pflanzen/Biotope	Tiere	Klima/Luft	Landschaftsbild	lokal		regional	überregional				
von Biomasse aus KUP am Bsp. der Pappel	Ernte	Vollernteverfahren (Fällen, Sammeln, Zerkleinern und Bergung in einem Arbeitsgang)	Bodenverdichtungen				w							x						
			Geräuschemission	w				w							x				Geräuschemission durch Maschineneinsatz wirkt auch auf den Menschen	
			Stoffliche Emissionen		w			w		w					x					
			Verlust von Tieren						w						x					
	Reststoffverwertung	Ausbringen der Gärreste	Bodenverdichtung				w								x				textl. Erläuterung s.o.	
			Stoffliche Emissionen		w			w		w					x				textl. Erläuterung s.o.	
			olfaktorische Emissionen			w									x				textl. Erläuterung s.o.	
			Geräuschemission		w						w				x				textl. Erläuterung s.o.	

r = hohes Wirkungspotenzial w = geringes, aber vorhandenes Wirkungspotenzial x = trifft zu
 eigene Ergänzungen farblich hervorgehoben

3.4 Geothermie

3.4.1 Energiebereitstellung

„Geothermische Energie ist die in Form von Wärme gespeicherte Energie unterhalb der Oberfläche der festen Erde (VDI-Richtlinie 4640)“ (BMU 2011a: 7). Sie wird zur Wärme- und Stromproduktion eingesetzt (BMU 2011a: 9). Synonym verwendet wird auch der Begriff Erdwärme (BMU 2011a: 7).

Die Entstehung von Erdwärme resultiert aus der Entstehungsgeschichte der Erde sowie aus dem radioaktiven Zerfall von Uran-, Thorium- und Kaliumisotopen in der Erdkruste (BMU 2011a: 7). Dabei ist Geothermie im eigentlichen Wortsinne keine „erneuerbare Energie“, sondern nach menschlichen Maßstäben als „unerschöpflich“ zu bezeichnen (NEUMANN & SCHÖNAUER 2007: 3). Je nach Tiefe der Bohrung unterscheidet man zwei Arten der Geothermie: oberflächennahe Geothermie und tiefe Geothermie mit jeweils verschiedenen Nutzungstypen (GTV 2013: www) (Abb. 11).

Bei der *oberflächennahen Geothermie* wird die geothermische Energie dem oberflächennahen Bereich der Erde entzogen (BMU 2011a: 8). Dies erfolgt je nach Anlagentyp in der Regel ab ca. 1 m Tiefe (je nach Lage der Frostgrenze) bis zu einer Tiefe von max. 400 m (ebd.; UM 2008: 6) und erreicht Horizonte mit Temperaturen bis zu 25°C (GTV 2013: www). Dabei wird die Wärme dem Erdreich, dem oberflächennahen Gestein oder dem Grundwasser entnommen (ebd.). Die energetische Nutzung ist bei der oberflächennahen Geothermie nur über eine Wärmepumpe zur Wärmenutzung möglich: D. h. die Energie wird zum Beheizen von Gebäuden, technischen Anlagen oder Infrastruktureinrichtungen eingesetzt (BMU 2011a: 8; GTV 2013: www). Dazu muss die geothermische Wärme vorher mittels technischer Arbeit über einen Wärmetauscher (IWR o. J.: www) und unter Zufuhr von weiterer Energie (i. d. R. Strom) auf ein höheres Temperaturniveau gebracht werden (BMU 2011a: 8; GTV 2013: www; IWR o. J.: www). In diesem Zusammenhang ist aufgrund der nötigen Zufuhr von Strom die Energiebilanz von Wärmepumpen als kritisch einzustufen (vgl. NEUMANN & SCHÖNAUER 2007: 5f). Zur Gewinnung der Wärme werden sogenannte Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden, Grundwasserbohrungen oder Energiepfähle eingesetzt (BMU 2011a: 8). Erdwärmekollektoren, die bis in einer Tiefe von 3 m eingebaut werden, nutzen nicht nur die Energie aus dem Erdinneren, sondern vor allem die solare Einstrahlung auf den Erdboden – der Begriff ‚Erdwärme‘ ist hier etwas irreführend. Für die Verlegung der Erdwärmekollektoren sind je nach Art der Anlage umfangreiche Erdarbeiten notwendig (LLUR 2011: 13): Z. T. muss der Boden für den Einbau über die gesamte Fläche kurzfristig ausgehoben werden; die wiederaufgefüllte Fläche darf dann nicht überbaut oder versiegelt werden (STMUGV 2005: 5). Der benötigte Flächenbedarf ist bei diesen Systemen recht hoch und beträgt ca. 15-30 m² pro kW Wärmeleistung (ebd.). Für andere Gewinnungsarten (flache Erdwärmesonden oder Brunnensysteme zur Nutzung der Wärme aus dem Grundwasser) ergeben sich differenzierte Flächenbedarfe, da hauptsächlich mit vertikalen Erdeinbauten gearbeitet wird (STMUGV 2005: 7). Systeme zur Nutzung der oberflächennahen Geothermie werden hauptsächlich im Privat- oder Gewerbebereich eingesetzt und meist direkt am zu beheizenden Objekt eingebaut (STMUGV 2005: 2).

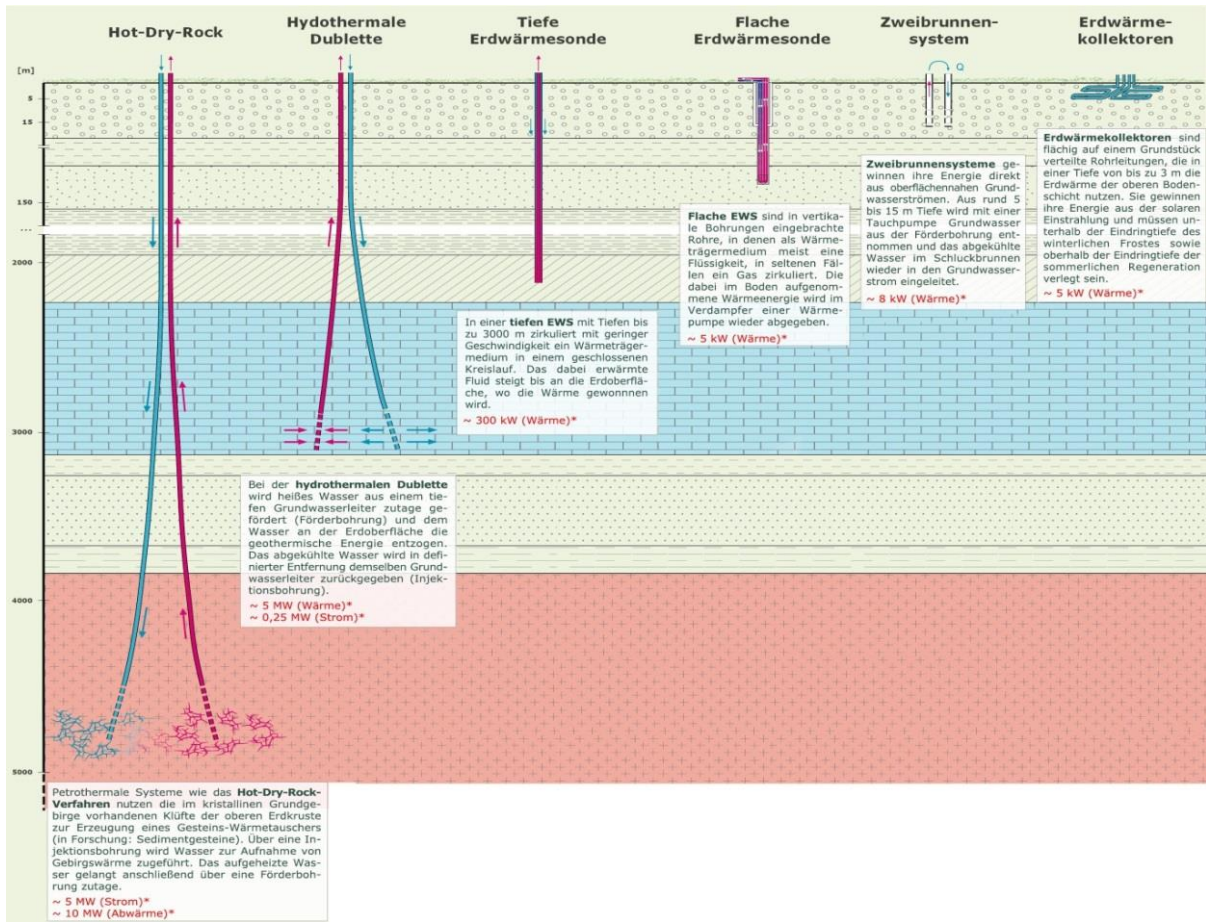


Abb. 11: Beispiele für verschiedene geothermische Nutzungstypen (verändert nach JODOCY & STOBBER o. J.: www)

Die *tiefe Geothermie* nutzt die Wärmeenergie, die in Bodenhorizonten von 400 m bis etwa 6.000 m Tiefe vorkommt (GTV 2013: www). Diese geothermische Energie kann nur über Tiefbohrungen erschlossen werden und sowohl zur Wärme- als auch zur Stromgewinnung eingesetzt werden (BMU 2011a: 9). Bei der tiefen Geothermie sind zwei Systeme zu unterscheiden: hydrothermale und petrothermale Systeme. *Hydrothermale Systeme* bezeichnen Verfahren, die im Untergrund verfügbare heißwasserführende Schichten nutzen (GTV 2013: www): Über eine erste Tiefenbohrung wird das heiße Wasser nach oben befördert, dort energetisch genutzt und als kühleres Wasser über eine mehrere Kilometer entfernte Injektionsbohrung (die Distanz wird durch schräge Bohrungen im Untergrund erreicht) wieder in den Untergrund zurückgeführt (ebd.; BMU 2011a: 9). Der Abstand der beiden Bohrungen ist erforderlich, damit sich das abgekühlte Wasser in der Erde wieder aufwärmen kann, bevor es wieder in die Nähe der Förderbohrung kommt (GTV 2013: www). Dieses Verfahren wird zur Warmegewinnung (s. o.) und bei Wassertemperaturen ab ca. 100°C auch zur Stromproduktion eingesetzt (BMU 2011a: 9). *Petrothermale Systeme* (oder auch Enhanced Geothermal Systems – EGS) nutzen die Energie heißer, trockener Gesteine (BMU 2011b: 137). Neben dem System der tiefen Erdwärmesonde (vertikaler, geschlossener Wärmetauscher zur Warmegewinnung (vgl. BMU 2011a: 30)) sei hier besonders auf das Hot-Dry-Rock-Verfahren zur Stromgewinnung hingewiesen: Damit werden heiße Gesteinsschichten in Tiefen zwischen 2.200 und 5.000 m genutzt und

Temperaturen bis zu 270°C erreicht (BMU 2011b: 137; IWR o. J.: www). Dafür ist es in einem ersten Schritt erforderlich, diese Gesteine unterirdisch künstlich aufzulockern. Dafür werden über eine erste Tiefenbohrung große Wassermengen unter sehr hohem Druck in das Gestein gepresst, um natürlich vorhandene Risse und Spalten aufzuweiten und weitere Risse entstehen zu lassen („Wasserfrac“ oder „hydraulische Stimulation“) (BMU 2011b: 137; GTV 2013: www). Diese hydraulische Stimulation erhöht die Durchlässigkeit des heißen Gesteins, in das nun kaltes Wasser eingeleitet wird und dessen Wärme aufnimmt, um schließlich über eine weitere Bohrung wieder an die Oberfläche gefördert und genutzt zu werden (BMU 2011b: 137; GTV 2013: www; IWR o. J.: www). Anschließend wird es wieder in den Untergrund eingeleitet. Die Stromgewinnung an der Oberfläche erfolgt dadurch, dass die aus dem Erdinneren gewonnene Wärme ein Arbeitsmittel (Flüssigkeit mit einer niedrigen Verdampfungstemperatur, z. B. organische Flüssigkeit oder Ammoniak-Wasser-Mischung) verdampft² und damit eine Turbine antreibt, deren Bewegungsenergie in einem Generator in elektrische Energie umgewandelt wird (GTV 2013: www; BMU 2011a: 16). Bei dieser Art der Stromgewinnung fallen große Mengen an Abwärme an, die genutzt werden können, sofern vorhandene Nah- oder Fernwärmenetze zur Verfügung stehen, andernfalls ist eine Kühlung der Anlagen, z. B. über Kühlwasserentnahme aus Flüssen oder dem Grundwasser erforderlich (BMU 2011b: 137; NEUMANN & SCHÖNAUER 2007: 9).

Der Flächenbedarf von Geothermie ist gering und maßgeblich von den obertägigen Anlagenkomponenten (u. a. Kraftwerksgebäude, Kühlsystem) abhängig, die von der Anlagenkonzeption und -auslegung bestimmt werden (AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN E. V. 2010b: 7; FRICK & KALTSCHMITT 2008: 9).

Die Strombereitstellung aus Geothermie in 2011 betrug 18,8 GWh bzw. 0,01 TWh (BMU 2012b: 14), gemessen am Bruttostromverbrauch in Deutschland waren dies 0,003 % (ebd.). Der Anteil von Strom aus Geothermie gemessen am Strom aus erneuerbaren Energien ist damit ebenfalls sehr gering (BMU 2012b: 17). NITSCH (2008: 10) sieht in der Stromerzeugung aus Geothermie jedoch große Wachstumsraten: Für 2030 prognostiziert er eine Erzeugung von 6 TWh/a, für 2050 bereits 35,7 TWh/a. Für die Wärmeerzeugung aus Geothermie ergibt sich ein ähnliches Bild: Der Anteil am Endenergieverbrauch für Wärme war 2011 mit ca. 0,5 % ähnlich gering wie bei der Stromerzeugung, doch auch hier sind gleichsam hohe Wachstumsraten in Aussicht (NITSCH 2008: 14). Der Anteil von Geothermie (Strom und Wärme) an der Endenergiebereitstellung aus erneuerbaren Energien lag 2011 bei 2,1 % (BMU 2012b: 16). Die hohen Wachstumsprognosen lassen auf einen verstärkten Ausbau der Geothermie in den kommenden Jahrzehnten schließen. Des Weiteren liegt in der konstanten Verfügbarkeit von geothermischer Energie ein attraktives Kriterium für den weiteren Ausbau, da eine Energieproduktion (insbesondere Stromerzeugung) unabhängig von nicht beeinflussbaren Faktoren wie Wind oder Sonne möglich ist (DRL 2006: 12).

² sogenannte ORC-Verfahren (Organic Rankine Cycle) oder Kalina-Verfahren

3.4.2 Wirkfaktoren

Die Wirkfaktoren lassen sich aus der Funktionsweise der Energiebereitstellung aus Geothermie ableiten. Sie ergeben sich aus den bau-, anlagen- und betriebsbedingten Faktoren der verschiedenen Systeme. Die Darstellung erfolgt getrennt nach

- Wirkfaktoren im Zusammenhang mit hydrothermalen Anlagen der tiefen Geothermie (Tab. 7),
- Wirkfaktoren im Zusammenhang mit oberflächennaher Geothermie (Anhang 1) sowie
- Wirkfaktoren im Zusammenhang mit dem Hot-Dry-Rock-Verfahren tiefer Geothermie (Anhang 2).

Die Darlegung der Wirkfaktoren erfolgt in Anlehnung an REINHARDT et al. 2004, deren Herleitung dort entnommen werden kann. Zusätzlich werden im Folgenden weitere Wirkfaktoren aus eigenen Schlussfolgerungen abgeleitet. Aufgrund fehlender Felddaten erfolgt dies im Rahmen dieser Arbeit nicht nach empirisch angelegten Methoden, sondern verbal-argumentativ (vgl. SCHOLLES 2008b: 503).

Zusätzliche Wirkfaktoren:

- Bei nicht vorhandener Abwärmenutzung der tiefen Geothermie kann die Kühlwassernutzung von Oberflächen- oder Grundwasser speziell im Sommer erhebliche ökologische Probleme hervorrufen (NEUMANN & SCHÖNAUER 2007: 9). Hier sind die Erwärmung des Wassers und eine potenzielle Verschlechterung der Wasserqualität zu nennen (ebd.). Des Weiteren kann die Entnahme von Kühlwasser eine Grundwasserabsenkung zur Folge haben, die das Feuchtigkeitsniveau von bestimmten Biotopen verändert, aber auch Schäden an Gebäuden verursachen kann (ebd.). Daher werden die ‚Kühlung der Abwärme mittels Oberflächenwasser‘ sowie die ‚Kühlung der Abwärme mittels Grundwasserentnahme‘ als Wirkfaktoren der tiefen Geothermie aufgenommen.
- Die im Grundwasser ablaufenden biologischen Stoffwechselprozesse sind von großer Bedeutung für den ökologischen Zustand und damit auch die Qualität des Grundwassers (NEUMANN & SCHÖNAUER 2007: 9). Außer Bakterien beeinflussen in wechselseitiger Beziehung ein- und mehrzellige Tierarten die Beschaffenheit des Grundwassers (ebd.). Diese können durch die Grundwassernutzung ebenfalls beeinflusst werden, daher wird den o. g. Wirkfaktoren eine potenzielle Wirkung auf Tiere zugeschrieben.
- In der Bauphase sind der Lärm und die Emissionen von Schadstoffen nicht zu vernachlässigen (NEUMANN & SCHÖNAUER 2007: 10). Sie können bei flachen Erdwärmesonden einige Tage bis Wochen dauern, bei tiefergehenden Bohrungen bis zu zwölf Monate in Anspruch nehmen (ebd.). Die Liste der Wirkfaktoren wird um die ‚Geräuschemissionen‘ bei Anlagen der oberflächennahen Geothermie (Erdwärmesonden und Brunnensysteme) ergänzt; bei Anlagen der tiefen Geothermie sind sie bereits vorhanden.

- Bei Anlagen der tiefen Geothermie die nach dem Hot-Dry-Rock-Verfahren arbeiten, wird beim Hochpumpen des im Untergrund erhitzten Wassers auch ein Teil des vorhandenen Tiefenwassers mit hochbefördert (IWR o. J.: www). Dabei kann es je nach geologischer Gegebenheit dazu kommen, dass im Tiefengestein natürlich vorkommende Radionuklide an die Oberfläche gelangen (DEGERING & KÖHLER 2009: 5). Wie auf Abb. 12 zu erkennen, können sich diese auf den Oberflächen



Abb. 12: Ablagerungen des Tiefenwassers an Bauteilen zur Nutzung der tiefen Geothermie (DEGERING & KÖHLER 2009: 6)

der Bauteile ablagern und sammeln (DEGERING & KÖHLER 2009: 6f). Daher sollten während des Betriebes der Anlage und bei der Entsorgung der anfallenden Rückstände die Bestimmungen des Strahlenschutzes berücksichtigt werden (DEGERING & KÖHLER 2009: 1). Dies ist angebracht, da die Ablagerungen zu einer Strahlenexposition der Beschäftigten der Geothermieanlage und der Bevölkerung führen können (vgl. DEGERING & KÖHLER 2009: 8). Aufgrund dieser Gegebenheiten wird die ‚Freisetzung von Radioaktivität‘ im Störfall als potenzieller Wirkfaktor in die Liste für das Hot-Dry-Rock-Verfahren aufgenommen.

- In der Literatur zu den Wirkfaktoren findet sich bereits die ‚geomechanische Beeinflussung des Untergrundes‘ als Wirkfaktor bei Anlagen zur tiefen Geothermie. Dabei kann es durch die Bohrungen, durch die hydraulische Stimulation oder durch die Wasserentnahme bzw. -rückführung zu Bewegungen an der Erdoberfläche kommen (GTV o.J.: www). In den meisten Fällen liegen diese unterhalb der Wahrnehmungsschwelle des Menschen, doch je nach geologischen



Abb. 13: Gebäudeschäden in Staufen i. Br. nach Bohrungen zur oberflächennahen geothermischen Nutzung (HODEIGE 2009: www)

Gegebenheiten kann es dabei zu größeren Erdstößen kommen, die auch an der Erdoberfläche wahrgenommen werden (FRICK & KALTSCHMITT 2008: 6f; GTV o.J.: www). So wurden Anfang 2007 in direkter Nähe eines Bohrloches der Geothermieanlage „Deep Heat Mining“ in Basel kleinere Erdstöße registriert, deren Erschütterungen an der Erdoberfläche deutlich zu spüren waren (NEUMANN & SCHÖNAUER 2007: 10). Doch auch bei Anlagen, die der

oberflächennahen Geothermie zuzuordnen sind, werden Erschütterungen festgestellt und diskutiert (HODEIGE 2011: www): In Leonberg bei Stuttgart wurden nach einer Bohrung bis in 80 m Tiefe Schäden an Gebäuden registriert (ebd.) und in Staufen i. Br. werden erhebliche Gebäudeschäden in Zusammenhang mit Bohrungen bis 140 m Tiefe gebracht (vgl. LGRB 2010) (Abb. 13). Aus diesen Wirkungen lässt sich der Wirkfaktor ‚geomechanische Beeinflussung des Untergrundes‘ auch der oberflächennahen Geothermie (flache Erdwärmesonden) zuordnen.

Nachfolgend werden alle potenziellen Wirkfaktoren, die aus der Geothermienutzung hervorgehen, in einer Empfindlichkeitsmatrix mit potenziellen Wirkungen auf die Schutzgüter in Tab. 7 sowie in Anhang 1 und Anhang 2 dargestellt. Da es sich um eine allgemeine Darstellung handelt, erfolgt die Zuordnung nach temporärer oder dauerhafter Wirkung.

Alle eigenen Ableitungen und Ergänzungen sind zur besseren Nachvollziehbarkeit in der Tabelle farblich gekennzeichnet und in den Anmerkungen erläutert.

Die Tabelle ist als umfassende Darstellung sämtlicher potenzieller Wirkfaktoren zu verstehen. Die Intensität der Wirkungen wird dabei nicht berücksichtigt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass durch die Nutzung der Geothermie bestimmte Wirkfaktoren eine überproportionale Wirkung erzeugen: Durch Erschütterungen nach einer ‚geomechanischen Beeinflussung des Untergrundes‘, sowohl durch Bohrungen als auch Wasserentnahmen, ist es zu erheblichen Schäden an Gebäuden gekommen. Baubedingt kann es durch die Bohrungen zusätzlich zu einer erheblichen ‚Geräuschemission‘ kommen, die sowohl auf das Schutzgut Mensch als auch Tiere wirkt. Bei bestimmten Anlagen kann durch die ‚Kühlung der Abwärme mittels Oberflächen- oder Grundwassers‘ zu starken Veränderungen eben dieser Schutzgüter kommen. Auch sind stärkere Wirkungen durch ‚stoffliche Emissionen‘ nicht auszuschließen.

Tab. 7: Wirkfaktoren im Zusammenhang mit hydrothermalen Anlagen der tiefen Geothermie (verändert nach REINHARDT et al. 2004)

Prozess bzw. technische Anlage	Wirkfaktor	Erläuterung											
		Kultur- u. Sachgüter	Mensch	Grundwasser	Oberflächenwasser	Boden	Pflanzen/Biotope	Tiere	Klima/Luft	Landschaftsbild	lokal	regional	überregional
		Wirkraum											
vorgelagerte Prozesse (evtl. anderer Wirkraum)													
Herstellung der Bauteile	Emissionen bei der Herstellung der Bauteile		t	t	t	t		t			x		
	Naturraumbeanspruchung		d	d	d	d					x		
baubedingte Wirkfaktoren													
Baustelleneinrichtung Baubetrieb	Flächenbelegung					t	t	t	t	t	x		
	stoffliche Emissionen		t	t	t			t		x			
	Geräuschemissionen							t	t	x			
	Erschütterungen							t	t	x			
Bohrungsaufschluss, -komplettierung	Licht							t	t	x			
	Stoffliche Emissionen (Spülungszusätze, Öl- und Schmiermittel des Bohrers)		t	t	t	t				x			
	Schallemissionen							t	t	x			
	Geomechanische Beeinflussung des Untergrundes		d			d				x			
anlagebedingte Wirkfaktoren													
oberirdische Anlagenteile (Geothermische Heizzentrale, Zufahrtswege)	Versiegelung					d	d	d	d		x		
	Bodenverdichtung, -abtrag, -umlagerung						d	d	d		x		

t = temporäre Wirkung d = dauerhafte Wirkung x = trifft zu
eigene Ergänzungen farblich hervorgehoben

Fortsetzung der Tab. 7: Wirkfaktoren im Zusammenhang mit hydrothermalen Anlagen der tiefen Geothermie

Wirkfaktoren im Zusammenhang mit hydrothermalen Anlagen der tiefen Geothermie	Prozess bzw. technische Anlage	Wirkfaktor	Wirkung										Erläuterung					
			Kultur- u. Sachgüter	Mensch	Grundwasser	Oberflächenwasser	Boden	Pflanzen/Biotope	Tiere	Klima/Luft	Landschaftsbild	lokal		regional	überregional			
oberirdische Anlage (Geothermische Heizzentrale, Zufahrtswege)		Veränderung und Beseitigung von Vegetation visuelle Wahrnehmbarkeit Barriere für wandernde Tierarten						d	d		d		x					
betriebsbedingte Wirkfaktoren																		
oberirdischer Anlagenteil		stoffliche Emissionen					d	d				d		x				
		Geräuschemissionen										d		x				
		Elektromagnetische Felder										d		x				
		Abwärme							d					x				
		Auskühlung des Untergrundes							d					x				
unterirdische Anlagenteil		Lösung von Salzen und Mineralien					d	d					x					
		Veränderung der Tiefenwasserfröhrichtung												x				
		Verbindung mehrerer Grundwasserstockwerke durch die Bohrung													x		da es sich um eine Wirkung im Störfall handelt, der wahrscheinlich nicht reparabel ist, ist eine dauerhafte Wirkung zugeteilt	

t = temporäre Wirkung d = dauerhafte Wirkung x = trifft zu
eigene Ergänzungen farblich hervorgehoben

4 Ermittlung potenzieller kumulativer Wirkungen

4.1 Vorgehen

Ob durch Wirkungen positive Veränderungen oder Belastungen entstehen, ist stark von örtlichen Gegebenheiten, vom Wirkungsbereich und der Wirkintensität der Wirkfaktoren sowie den Empfindlichkeiten der Schutzgüter abhängig. Eine konkrete Bewertung kann nur über den Einzelfall erfolgen. Die Ermittlung potenzieller kumulativer Wirkungen, die sich aus erneuerbaren Energien ergeben, beruht jedoch zunächst auf einer allgemeingültigen Herangehensweise.

Gesamtmatrix

Zur Ermittlung der kumulativen Wirkungen wird die Empfindlichkeitsmatrix eines untersuchten Vorhabens mit den Empfindlichkeitsmatrizen anderer im Zusammenhang stehender Pläne und/oder Projekte verknüpft. Dies können Pläne/Projekte sein, die im räumlichen oder zeitlichen Zusammenhang mit dem untersuchten Vorhaben auftreten oder aufgetreten sind (Vorbelastung), aber erwartungsgemäß potenziell Wirkungen auf das gleiche Schutzgut hervorrufen. Mit dieser Verknüpfung der ursächlichen Wirkfaktoren wird einer breiten wirkungssächlichen Perspektive bei der Entstehung kumulativer Wirkungen Genüge getan. Es werden im Sinne einer Checkliste alle tendenziell relevanten Elemente, die zu kumulativen Wirkungen führen können, miteinander in Beziehung gesetzt (vgl. SCHOLLES 2008a: 337).

Um allgemeine, potenzielle kumulative Wirkungen beim Zusammentreffen mehrerer erneuerbarer Energien ermitteln zu können, werden im Rahmen dieser Arbeit folgende Empfindlichkeitsmatrizen (Wirkfaktoren) aus Kapitel 3 zur Gesamtmatrix (Tab. 8) zusammengefügt:

- Wirkfaktoren im Zusammenhang mit Photovoltaik-Freiflächenanlagen,
- Wirkfaktoren von Anlagen zur Biogaserzeugung,
- Wirkfaktoren im Zusammenhang mit der Bereitstellung von Biomasse aus Mais,
- Wirkfaktoren im Zusammenhang mit der Bereitstellung von Biomasse aus KUP am Beispiel der Pappel,
- Wirkfaktoren im Zusammenhang mit hydrothermalen Anlagen der tiefen Geothermie sowie
- Wirkfaktoren im Zusammenhang mit Windenergienutzung (Onshore).

Wirkfaktoren im Zusammenhang mit dem Hot-Dry-Rock-Verfahren tiefer Geothermie und Anlagen der oberflächennahen Geothermie werden nicht herangezogen, da die Wahrscheinlichkeit des parallelen Vorkommens aller geothermischen Nutzungsarten als gering eingestuft wird und damit potenziell keine kumulativen Wirkungen zu erwarten sind. Wirkfaktoren, die aus vor- und nachgelagerten Prozessen (Produktion und Entsorgung von Bauteilen) hervorgehen, werden bei der Betrachtung außer Acht gelassen, da sie meist einen anderen Wirkraum aufweisen und angenommen wird, dass die Entfernung zwischen Produktionsort und Anlagenstandort groß genug ist, um nicht zu einer räumlichen Verdichtungen von Einzelbelastungen zu füh-

ren. Lediglich bei nachgelagerten Prozessen treten Wirkfaktoren aus dem tungs- bzw. Netzausbau auf, die den gleichen Wirkraum betreffen. Da im Zuge dieser Arbeit der Netzausbau jedoch nicht berücksichtigt wird, werden auch diese Wirkfaktoren nicht in die Gesamtmatrix aufgenommen.

Prüfschema

Anhand der Gesamtmatrix wird in einem zweiten Schritt über ein Prüfschema (Abb. 14) ermittelt, ob es durch die Konzentration der verschiedenen Arten erneuerbarer Energien potenziell zu kumulativen Wirkungen bezogen auf ein Schutzgut kommt. Das Prüfschema wurde aus den Ausführungen zu kumulativen Wirkungen (vgl. Kapitel 2) entwickelt und deckt deren Entstehungs- und Wirkungspfade ab. Eine Prüfung über das Schema ermöglicht daher, die breit angelegte Perspektive bei der Ermittlung kumulativer Wirkungen weiterzuführen.

Auf Grundlage der Definition kumulativer Wirkungen als additiv-synergistische Gesamtwirkung sämtlicher ein Schutzgut betreffender Wirkfaktoren kann die Gesamtmatrix zu einer immensen Ansammlung von Wirkfaktoren bzw. potenziellen Wirkungen auf ein Schutzgut führen. Dies hat zur Folge, dass hinsichtlich des Umfangs der Ermittlung, aber auch bei einer späteren Bewertung im Sinne von Umweltprüfungen, ein enormer Arbeitsaufwand entsteht. Daher ist anzuraten – und so wird auch in dieser Arbeit verfahren –, sämtliche potenziellen Wirkungen im Rahmen einer Verknüpfung der Wirkfaktoren zu einer Gesamtmatrix abzubilden und damit auf breiter Ebene zu erfassen, bei der Ableitung der kumulativen Wirkungen über das Prüfschema jedoch auf Basis eines fachlich fundierten Wissenstandes in erster Linie die Wirkungen zu berücksichtigen, aus denen sich potenziell erhebliche kumulative Wirkungen ergeben können. Liegen für ein zu bewertendes Vorhaben bereits hinsichtlich ihrer Intensität bewertete Wirkfaktoren vor, z. B. im Rahmen einer ökologischen Risikoanalyse (vgl. BACHFISCHER 1978), könnten diese Bewertungen eine Grundlage zur Ableitung potenziell erheblicher kumulativer Wirkungen bilden. Die Spalten zum Wirkraum (lokal, regional und überregional) stellen Tendenzen über die Größe des Wirkraums dar und können zur Ableitung herangezogen werden.

Bei der Ableitung kann es bei bestimmten Schritten im Prüfschema sinnvoll sein, dass neben einer verbal-argumentativen Ableitung Hilfsmittel wie Geografische Informationssysteme (GIS) eingesetzt werden. So kann z. B. eine räumliche Verdichtung von Einzelwirkungen (z. B. hinsichtlich kumulativ betroffener Lebensräume von Tier- oder Pflanzenarten) kartografisch besser erfasst werden, als es eine rein verbale Beschreibung ermöglicht. Auch bei der Überlagerung von Wirkräumen der Wirkfaktoren ist der Einsatz eines GIS zu überlegen, da eine Überlagerung von Karten (map-overlay) möglich ist (PIETSCH et al. 1998: 31).

Da im Rahmen dieser Arbeit nicht für alle Schutzgüter potenzielle kumulative Wirkungen abgeleitet werden können, beschränkt sich die Ableitung auf

- potenzielle kumulative Wirkungen auf das Schutzgut Tiere sowie
- potenzielle kumulative Wirkungen auf das Schutzgut Landschaftsbild.

4.2 Darstellung der potenziellen kumulativen Wirkungen

Tab. 8: Gesamtmatrix zur Ableitung potenzieller kumulativer Wirkungen

Prozess bzw. technische Anlage bzw. Bezugsgröße	Wirkfaktor	Schutzgüter										Wirkraum			
		Kultur- u. Sachgüter	Mensch	Grundwasser	Oberflächenwasser	Boden	Pflanzen/Biotop	Tiere	Klima/Luft	Landschaftsbild	lokal	regional	überregional		
		baubedingte Wirkfaktoren													
Bauteleinrichtung Baubetrieb	Flächenbelegung	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	x		
	Stoffliche Emissionen		t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	x	x	
	Schallemissionen		t										t	x	
	Licht		t										x		
	Erschütterungen		t										x		
		anlagebedingte Wirkfaktoren													
Solarmodule, Zufahrtswege, technische Einrichtungen, Einzäunung	Versiegelung			d		d	d	d	d	d	d	d	x		
	Bodenverdichtung, -abtrag, -umlagerung	d				d	d	d	d	d	d	x			
	Veränderung/Beseitigung von Vegetation		d									d	x		
	Überdeckung von Boden											d	x		
	Veränderung des Bodenwasserhaushaltes					d	d	d	d	d	d	x			
	visuelle Wahrnehmbarkeit, Licht (Reflexionen)		d									d	x	x	
	Stoffliche Emissionen		t	t	t	t	t	t	t	t	t	x			
	Schallemissionen		t									x			
	Barriere für wandernde Tierarten											d	x	x	
													x		
		betriebsbedingte Wirkfaktoren													
Solarmodule elektrische Leitungen	Licht (Reflexionen) durch nachgeführte Module		d									d	d	x	x
	Elektromagnetische Felder											d		x	

Fortsetzung der Tab. 8: Gesamtmatrix zur Ableitung potenzieller kumulativer Wirkungen

Wirkfaktoren im Zusammenhang mit der Bereitstellung von Biomasse aus Mais	Prozess bzw. technische Anlage bzw. Bezugsgröße	Wirkfaktor	Schutzgüter										Wirkraum																	
			Kultur- u. Sachgüter	Mensch	Grundwasser	Oberflächenwasser	Boden	Pflanzen/Biotope	Tiere	Klima/Luft	Landschaftsbild	lokal	regional	überregional																
Kulturart		Änderung der Bestandshöhe										r	x	x																
			Änderung der Vegetationsstruktur											r	x	x														
				Änderung des Blühaspekts											r	x	x													
					Veränderte Wurzeleigenschaften																									
						Änderung der Streuschicht																								
							steigende Schwarzwildpopulation																							
								Freisetzung von GVO																						
									Zerstörung der Begleitflora																					
										Auflockerung des Oberbodens																				
											Zerstörung des Kapillargefüges																			
												Bodenverdichtungen																		
													Stoffliche Emissionen																	
														Geräuschemission																
															Stoffliche Emissionen															
																Stoffliche Emissionen														
Stoffliche Emissionen																														
	Bodenverdichtungen																													
		Geräuschemission																												
			Stoffliche Emissionen																											
				Verlust von Tieren																										

Fortsetzung der Tab. 8: Gesamtmatrix zur Ableitung potenzieller kumulativer Wirkungen

Wirkfaktoren im Zusammenhang m. d. Bereitstellung von Biomasse aus KUP am Bsp. der Pappel	Prozess bzw. technische Anlage bzw. Bezugsgröße	Wirkfaktor	Schutzgüter										Wirkraum								
			Kultur- u. Sachgüter	Mensch	Grundwasser	Oberflächenwasser	Boden	Pflanzen/Biotope	Tiere	Klima/Luft	Landschaftsbild	lokal	regional	überregional							
Wirkfaktoren im Zusammenhang m. d. Bereitstellung von Biomasse aus KUP am Bsp. der Pappel	Einzündung (Verbissschutz) Mechanische Begleitwuchsregulierung Auflockerung des Oberbodens Zerstörung des Kapillargefüges Bodenverdichtungen Stoffliche Emissionen Geräuschemission Stoffliche Emissionen Stoffliche Emissionen Düngung Absätzliche Verfahren: - teilmanuelles Fällen - mechanisiertes Fällen - Sammeln, Transport - Zerkleinern Vollernteverfahren (Fällen, Sammeln, Zerkleinern und Bergung in einem Arbeitsgang) Ausbringen der Gärreste	Barriere für wandernde Tierarten Zerstörung der Begleitflora Auflockerung des Oberbodens Zerstörung des Kapillargefüges Bodenverdichtungen Stoffliche Emissionen Geräuschemission Stoffliche Emissionen Stoffliche Emissionen Geräuschemission Stoffliche Emissionen Stoffliche Emissionen Geräuschemission Stoffliche Emissionen Stoffliche Emissionen Geräuschemission											r			x					
								r										x			
							r												x		
								r											x		
								w											x		
							w												x		
							w												x		
							w												x		
							w												x		
							w												x		
							w												x		
							w												x		
							w												x		

Fortsetzung der Tab. 8: Gesamtmatrix zur Ableitung potenzieller kumulativer Wirkungen

Wirkfaktoren im Zusammenhang mit Windenergienutzung an Land (Onshore)		baubedingte Wirkfaktoren												
Bauteileinrichtung Baubetrieb	Flächenbelegung							t	t	t	t	t	x	x
	Stoffliche Emissionen							t	t			t	x	x
	Schallemissionen										t	t	x	
	Licht										t	t	x	
	Erschütterungen										t	t	x	
		anlagenbedingte Wirkfaktoren												
Oberirdische Bauwerke (Fundamente, Windkonverter)	Versiegelung						d		d	d	d		x	
	Bodenverdichtung, -abtrag, -umlagerung								d	d	d		x	
	Veränderung und Beseitigung von Vegetation										d	d	x	
	visuelle Wahrnehmbarkeit												d	x
	Licht durch Flugsicherheitsbefeuerung						d					d	x	x
	Barriere zwischen Teilebensräumen (Brut-, Rast-, Nahrungsreviere)											d	x	x
	Barriere für wandernde Tierarten										d		x	x
	Schattenwurf durch starre Bauelemente						d					d	x	
	Versiegelung							d		d	d		x	
	Bodenverdichtung, -abtrag, -umlagerung									d	d	d	x	
Zufahrtswegen	Veränderung und Beseitigung von Vegetation										d	d	x	
	visuelle Wahrnehmbarkeit												d	x
	Zerschneidung von Lebensräumen											d	x	x
			betriebsbedingte Wirkfaktoren											
elektrische Leitungen Flügelrotation	Elektromagnetische Felder											d	x	
	Lärmemissionen										d		x	
	InfraSchall													
	Schattenwurf										d		x	
	Barriere Wirkung/Zerschneidung von											d	x	x
	Vogelwandertrouten													
	Kollisionen											d	x	
	Schneidwirkung												d	x
	Eiswurf							d				d	x	

t = temporäre Wirkung d = dauerhafte Wirkung r = hohes Wirkungspotenzial w = geringes, aber vorhandenes Wirkungspotenzial x = trifft zu

4.2.1 Potenzielle kumulative Wirkungen auf das Schutzgut Tiere

Bezogen auf das Schutzgut Tiere kommt es zu einer Anhäufung additiver und synergistischer Wirkfaktoren. Ein synergistisches Entstehen neuer Wirkfaktoren konnte im Rahmen dieser Ableitung nicht ermittelt werden, hierfür bedarf es sicherlich einer näheren Betrachtung v. a. der ‚stofflichen Emissionen‘.

Eine auffällige Häufung findet sich bei den Wirkfaktoren, aus denen eine Barrierewirkung resultiert:

- ‚Barriere zwischen Teillebensräumen‘ durch Windkraftanlagen, betrifft in erster Linie Vogelarten, die auf hohe vertikale Strukturen in der Landschaft reagieren (NLT 2011: 6),
- ‚Zerschneidung von Lebensräumen‘ durch die Anlage von Zufahrtswegen zu Windenergieanlagen,
- ‚Barriere für wandernde Tierarten‘ resultierend aus einer möglichen Einzäunung von Mais- und Pappelanbauflächen sowie
- ‚Barriere für wandernde Tierarten‘ resultierend aus der Einzäunung von PV-FFA.

Die Barrierewirkung durch Windkraftanlagen wirkt allein auf Vogelarten, was bei den anderen Wirkungen, deren Wirkraum sich in Bodennähe befindet, keine wesentliche Rolle spielt. Daher kommt es hier voraussichtlich zu keiner additiven Wirkungssummierung, wie es bei den übrigen Faktoren unter Voraussetzung einer räumlichen Verdichtung und eines Wirkraums auf für den Biotopverbund entscheidende Lebensräume der Fall wäre. Hier kann eine kumulative Wirkung bspw. auf solche Gebiete entstehen, die als FFH-Gebiet oder Europäisches Vogelschutzgebiet zum kohärenten Netz der Natura 2000-Gebiete beitragen (vgl. ARGE 2007: 39). Diese kumulative Wirkung wirkt demnach auf Arten, die auf einen intakten Biotopverbund angewiesen sind. Zusätzlich kann sie, wie auch die ‚Barrierewirkung‘ von Windenergieanlagen, in synergistischer Weise zu einer kumulativen Wirkung beitragen, die sich aus anderen Wirkfaktoren ergibt.

Hier spielt als potenziell erhebliche kumulative Wirkung der Wirkfaktor ‚Veränderung oder Beseitigung von Vegetation‘ eine Rolle, der aus folgenden Prozessen bzw. Anlagen hervorgeht:

- PV-FFA,
- Maisanbau,
- KUP sowie
- Zufahrtswege zu Windkraftanlagen.

Die Wirkräume können sich z. B. bei einem flächenmäßig intensiven Maisanbau verdichten und eine additive Beeinträchtigung hinsichtlich der Qualität der Lebensräume hervorrufen. Unter bestimmten Voraussetzungen bezüglich der Ausstattungsmerkmale einer Region kann es hingegen durch den Anbau von Pappeln in KUP auch zu einer Verbesserung der Struktur einer Landschaft und damit der Lebensräume kommen (vgl. BURGER 2006). Hier kann die additive Wirkungssummierung beim Maisanbau abgeschwächt werden, wenn dieser durch KUP reduziert würde. Ebenso ist – je nach Ausgangslage – eine positive Veränderung bei PV-FFA möglich:

„Es kann durch Umnutzung von beispielsweise intensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen oder Konversionsflächen eine unter Umständen erhebliche ökologische Aufwertung erreicht werden“ (PESCHEL 2010: 7). Auch die ‚Veränderung oder Beseitigung von Vegetation‘ bei der Anlage der Zufahrtswegen zu Windkraftanlagen, die zwar als ‚Barriere für wandernde Tierarten‘ bereits genannt wurde, kann in einer strukturarmen Landschaft je nach Ausgestaltung dazu beitragen, die Strukturvielfalt zu erhöhen. So können bei Windenergieanlagen auf großen Maisschlägen bspw. durch einen Wegebau mit wassergebundener Wegedecke zusätzliche Saumstreifen entstehen, die als Ruderalflur die Grenzliniendichte erhöhen und damit zu einer Verbesserung der Struktur der Landschaft und deren Lebensräume beitragen (vgl. LANG & BLASCHKE 2007; SCHILLING o. J.: 10). Ob diese Art der Lebensraumverbesserung allerdings für bestimmte Arten (z. B. Greifvögel) als Leitlinie zu Windenergieanlagen fungiert und so Folgeeffekte mit dem Wirkfaktor ‚Kollisionsrisiko‘ auftreten, ist für den Einzelfall (in Bezug auf kollisionsgefährdete Arten) zu prüfen. Die Wirkungen aus der ‚Veränderung oder Beseitigung von Vegetation‘ können auch hinsichtlich der Kohärenz von Natura 2000-Gebieten relevant sein, sofern je nach Erhaltungsziel bestimmte Biotope betroffen sind.

Aus dem Bau von hydrothermalen Anlagen zur Nutzung geothermischer Energie resultiert der Wirkfaktor ‚Erschütterungen‘, der z. B. Fledermausquartiere betreffen und Einfluss auf die Fitness und Überlebenswahrscheinlichkeit von Individuen sowie die Qualität der Quartiere selbst nehmen kann (LAMBRECHT et al. 2004: 184). In synergistischer Weise kann hier der Wirkfaktor ‚Kollisionsrisiko‘ der Windenergie die Wirkung auf die betroffenen Fledermäuse verstärken, wenn der Wirkraum diese Arten betrifft (vgl. BRINKMANN et al. 2011).

Für andere Arten ist eine Konstellation aus dem Verlust von Lebensräumen durch ‚Versiegelung‘ und ‚Veränderung oder Beseitigung von Vegetation‘ verschiedener Anlagen und der ‚Scheuchwirkung‘ von Windkraftanlagen denkbar.

Auffällig ist zudem die Häufung von Wirkungen der v. a. baubedingten ‚Geräuschemissionen‘. Kommt es hier zu einer zeitlichen Verdichtung, ist eine additive Wirkung möglich. Auch in synergistischer Weise ist eine Konstellation mit anderen Wirkungen, die z. B. Individuen direkt betreffen und zur Meidung von Habitaten veranlassen, denkbar.

4.2.2 Potenzielle kumulative Wirkungen auf das Schutzgut Landschaftsbild

Es kommt zu einer Anhäufung additiver und synergistischer Wirkfaktoren auf das Schutzgut Landschaftsbild. Ein synergistisches Entstehen neuer Wirkfaktoren konnte im Rahmen dieser Ableitung nicht ermittelt werden.

Eine potenzielle kumulative Wirkung kann aus den in der Gesamtmatrix häufig auftretenden Wirkfaktoren ‚Veränderung und Beseitigung von Vegetation‘, ‚Landschaftsstrukturveränderung‘ und ‚Veränderung der Bestandshöhe‘ resultieren: Treten diese Wirkungen in einer Landschaft in räumlicher Verdichtung auf, kann sich eine additive Wirkungssummierung ergeben, wie es z. B. in Regionen mit einem flä-

chenmäßig intensivem Maisanbau gegeben ist. Bei bestimmten Arten erneuerbaren Energien können sich unter bestimmten Voraussetzungen positive Veränderungen ergeben, z. B. treten durch PV-FFA auf Ackerstandorten durchaus Blühaspekte auf, die zu einer Aufwertung des Standortes führen (vgl. PESCHEL 2010: 25). Auch die Wirkungen verschiedener Energiepflanzen können je nach Landschaftsstruktur unterschiedlich ausgeprägt sein, bspw. können KUP durchaus einen positiven Beitrag für das Landschaftsbild leisten (PETERS 2010: 75).

Demgegenüber steht die ‚visuelle Wahrnehmbarkeit‘ der technischen Anlagen, die nicht nur bei PV-FFA, sondern auch bei Windenergie und Biogasanlagen auftritt. Die eventuell über weite Entfernungen sichtbaren Windenergieanlagen können mit PV-FFA, aber auch mit den technischen Anlagen der Biogasgewinnung das Bild der Landschaft technisch überprägen. Ein solcher Effekt kann eventuell durch Sichtschutzpflanzungen mit KUP gemäß den Wirkfaktoren ‚Veränderung der Vegetation‘ bzw. ‚Veränderung der ‚Bestandshöhe‘ kompensiert werden und damit das synergistische Zusammenwirken in einem Wirkraum abschwächen. Diese Maßnahme kann außerdem dazu beitragen, dass die ‚Lichtreflexionen‘, die von Solaranlagen ausgehen, abgemildert werden.

Für den Wirkfaktor ‚Licht durch Flugsicherheitsbefeuerung‘ ist zwar die zeitliche Überlagerung z. B. mit anderen ‚visuellen Wahrnehmbarkeiten‘ nicht gegeben, jedoch kommt es zu einer zeitlichen Verdichtung: Die ‚visuelle Wahrnehmbarkeit‘ der technischen Anlagen ist sozusagen ab Eintritt der Dunkelheit reversibel, doch tritt mit der ‚Befeuerung‘ eine Wirkung ein, die zu einer synergistischen Wirkungssumierung beiträgt.

Bei einer zeitlichen Überlagerung ist neben den dauerhaften anlagebedingten Wirkungen insbesondere die Häufung der ‚Schall- bzw. Geräuschemissionen‘ aus den baubedingten Wirkungen zu nennen. Kommt es hier zu einer Überlagerung der Wirkräume oder räumlichen Verdichtung und einer zeitlichen Überlagerung kann potenziell eine Beeinträchtigung daraus resultieren.

5 Ermittlung und Bewertung der kumulativen Wirkung auf den Schwarzstorch (*Ciconia nigra*) anhand eines Fallbeispiels

In diesem Kapitel wird die Fragestellung behandelt, ob es in einem konkreten Fallbeispiel durch erneuerbare Energien zu einer kumulativen Wirkung auf das Schutzgut Tiere – dargestellt am Beispiel des Schwarzstorches (*Ciconia nigra*) – kommt und ob dadurch eine Beeinträchtigung in Bezug auf die Ziele des § 1 BNatSchG oder Art. 3 Vogelschutzrichtlinie (VRL) (RICHTLINIE (79/409/EWG)), insbesondere der Erhaltung einer ausreichenden Flächengröße des Lebensraumes vorliegt. Bei der Betrachtung wird zudem darauf geachtet, ob positive Effekte zu verzeichnen sind. Die Untersuchung wird unter Anwendung eines Geographischen Informationssystems (GIS) durchgeführt.

5.1 Beschreibung des Fallbeispiels

Für die Untersuchung wird ein fiktives Fallbeispiel konstruiert, das sich jedoch an reale Bedingungen anlehnt. Beschränkt wurde die Auswahl des Untersuchungsgebietes durch den vorhandenen Datenbestand. Insbesondere Daten zu Biotoptypen und vorkommenden Tierarten waren hierbei entscheidend, da diese als Grundlage für eine Bewertung herangezogen werden. Diese Daten standen im Rahmen des Forschungsverbundes „Smart Nord“ bzw. des davon am Institut für Umweltplanung der Leibniz Universität Hannover bearbeiteten Teilprojekts 6 "Smart Spatial" (vgl. FORSCHUNGSVERBUND SMART NORD 2013) für die Region Hannover zur Verfügung.

Entscheidend für die Bewertung ist, dass das Fallbeispiel so konstruiert wird, dass ein Entstehen einer kumulativen Wirkung mit hoher Wahrscheinlichkeit möglich ist. Daher wurde ein Raum mit möglichst hoher struktureller Vielfalt gewählt, um ein breites Spektrum gemäß den Wirkweisen abbilden zu können. In diesem Gebiet werden alle untersuchten Arten erneuerbarer Energien verortet.

5.1.1 Anlagen erneuerbarer Energien

Die Berücksichtigung der verschiedenen Arten erneuerbarer Energien orientierte sich an der Entstehung kumulativer Wirkungen aus verschiedenen Vorhaben/Plänen (vgl. Abb. 1). Die Untersuchung bezieht sich im Sinne einer theoretisch realen Umweltprüfung auf die konkrete Planung eines Vorhabens, bei dessen Prüfung die kumulativen Wirkungen im Zusammenhang mit anderen Arten erneuerbaren Energien untersucht werden. Dabei wird als ‚zu untersuchendes Vorhaben‘ die Planung einer PV-FFA angenommen. Als ‚weiteres geplantes Vorhaben‘ in der Region wird eine Anlage zur Nutzung der tiefen Geothermie (hydrothermale Anlage) herangezogen. Als ‚bereits realisiertes Vorhaben (Vorbelastung)‘ wird eine bestehende Biogasanlage in das Fallbeispiel integriert und für die Entstehung von Wirkungen aus ‚Planfeststellungen‘ werden die realen Vorrangstandorte für Windenergie herangezogen.

Photovoltaik-FFA

Im Fallbeispiel wird davon ausgegangen, dass der Bau einer PV-FFA geplant ist. Die Verortung der Anlage unterlag hierbei keinerlei Restriktionen, sondern wurde frei gewählt und auf einer Ackerfläche positioniert (Karte 1). Dieses Vorgehen erscheint legitim, da auch in der Praxis potenziell jeder Flächeneigentümer einen Antrag auf Genehmigung stellen kann. Die Vergütungsfähigkeit der Anlage aufgrund der Vorgaben des EEG wurde dabei außer Acht gelassen. Eine konkrete Potenzialanalyse konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt werden. Da bezüglich der Globalstrahlung (Sonnenstrahlung inkl. diffuser Strahlung) jedoch potenziell viele Flächen für PV-FFA in Betracht kommen, wird in Annäherung an einen realistischen Standort bei der Verortung nur die Exposition der geplanten Anlage berücksichtigt. Die Größe der verorteten Anlage beträgt ca. 12 ha und entspricht damit einer gängigen Ausdehnung aktueller Anlagen (vgl. Kapitel 3.2.1).

Geothermie

Als mögliche Entstehung kumulativer Wirkungen aus weiteren geplanten Vorhaben in der Region wird ein Projekt der tiefen Geothermie (hydrothermale Anlage) herangezogen (Karte 1). Dabei konnten im Rahmen dieser Arbeit konkrete Ertragsprognosen oder Grundlagen zur Genehmigungsfähigkeit nicht berücksichtigt werden. Die Verortung der Anlage orientierte sich jedoch an Karten der potenziellen geothermischen Exploitation (SCHULZ et al. 2007: www).

Bei den für die Untersuchung benötigten Angaben hinsichtlich Bohrtiefe, Bohrdauer und Lärmemission werden Eigenschaften einer realen Anlage zu Grunde gelegt. Sie werden von einer hydrothermalen Anlage in Kirchweidach übernommen, bei der über den Zeitraum von einem Jahr Bohrungen bis in eine Tiefe von 3.500 m durchgeführt wurden (GEOENERGIE BAYERN GMBH o. J.: www). Dabei wurde in einem Gutachten eine Lärmemissionen von 111 dB(A) (Schallleistungspegel) an der Bohranlage dargestellt (GOLDEMUND et al. 2011: 20).

Anlagen zur Nutzung der tiefen Geothermie unterliegen grundsätzlich den Verwaltungsvorschriften zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (ERDWERK GmbH 2013: www; vgl. TA-LÄRM 1998). Bei Bauarbeiten ist zudem die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm (AVWV BAULÄRM) zu berücksichtigen. Beide Vorschriften geben Werte für eine max. Lärmbelastung für bewohnte, gewerblich bzw. industriell genutzte Gebiete an. Da die Anlage im Fallbeispiel im unbebauten Bereich verortet ist, wird im Folgenden angenommen, dass keine Maßnahmen zur Verminderung von Lärm ergriffen werden. Der Wert von 111 dB(A) wird daher als Grundlage übernommen.

Biogasanlage

Als bereits realisiertes Vorhaben (Vorbelastung) wird eine Biogasanlage in das Fallbeispiel integriert (Karte 1). Die Anlage wurde neben einer landwirtschaftlichen Gebäudefläche verortet. Hierbei wurde ein durchschnittlicher Anlagentyp der Jahre 2009 und 2010 angenommen, der eine Leistung von 335 kW aufweist und einen ener-

giebezogenen Substrateinsatz von 73 % NaWaRo hat (vgl. Kapitel 3.3.1). Dabei wird angenommen, dass als NaWaRo ausschließlich Mais eingesetzt wird.

Windenergie

Als mögliche Entstehung kumulativer Wirkungen aus Planfeststellungen wird die Windenergie herangezogen (Karte 1). Die Verortung dieser Planfeststellung orientiert sich dabei an den Vorrangstandorten für Windenergie aus dem Regionalen Raumordnungsprogramm 2005 der Region Hannover. Die Vorrangstandorte wurden vom Dezernat Umwelt, Planung und Bauen der Region Hannover als Shapefile für GIS zur Verfügung gestellt (vgl. REGION HANNOVER 2005). Die Größe von möglichen Anlagen wurde in diesem Beispiel nicht berücksichtigt.

5.1.2 Schwarzstorch

Zielart

Die Auswahl der Zielart erfolgte anhand folgender Kriterien:

- Vorkommen im Untersuchungsgebiet,
- potenzielle Wirkung auf Individuen oder deren Habitate durch erneuerbarer Energien möglich sowie
- Datengrundlage für die Bewertung von Beeinträchtigung vorhanden.

Schwarzstorch (*Ciconia nigra*)

Der Schwarzstorch (Abb. 15) ist ein lokaler, seltener Brut- und Sommervogel (BAUER 2005: 272), der auf Brutplätze in naturnahen Laub- und Mischwäldern mit Feuchtwiesen und Sümpfen zur Nahrungssuche angewiesen ist (Abb. 16) (DIERSCHKE 2007: 165). Seine Nahrung besteht hauptsächlich aus Wasserinsekten, Fischen, Fröschen, Mäusen und Reptilien (BAUER 2005: 273).

Der Schwarzstorch wird im Anhang I VRL als Art mit besonderem Schutz gelistet (vgl. RICHTLINIE (79/409/EWG). Gefährdungsursachen liegen vor allem in einer intensiven Waldwirtschaft und Landnutzung (BAUER 2005: 273). Der Schwund intakter Nahrungshabitate ergibt sich aus der Intensivierung der Landwirtschaft sowie der Verschmutzung und Begradigung von Gewässern.

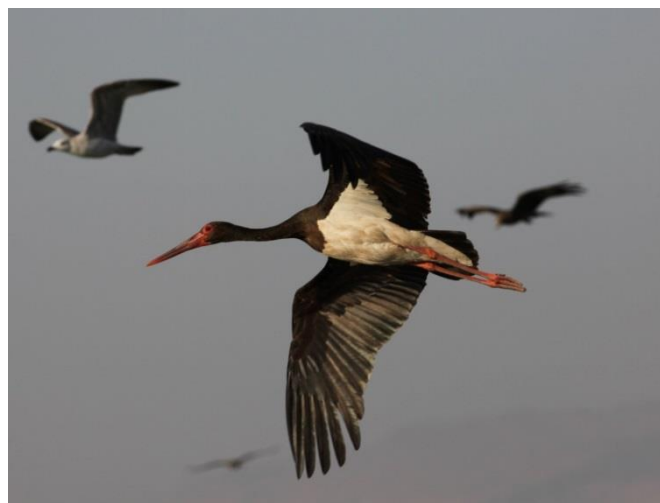
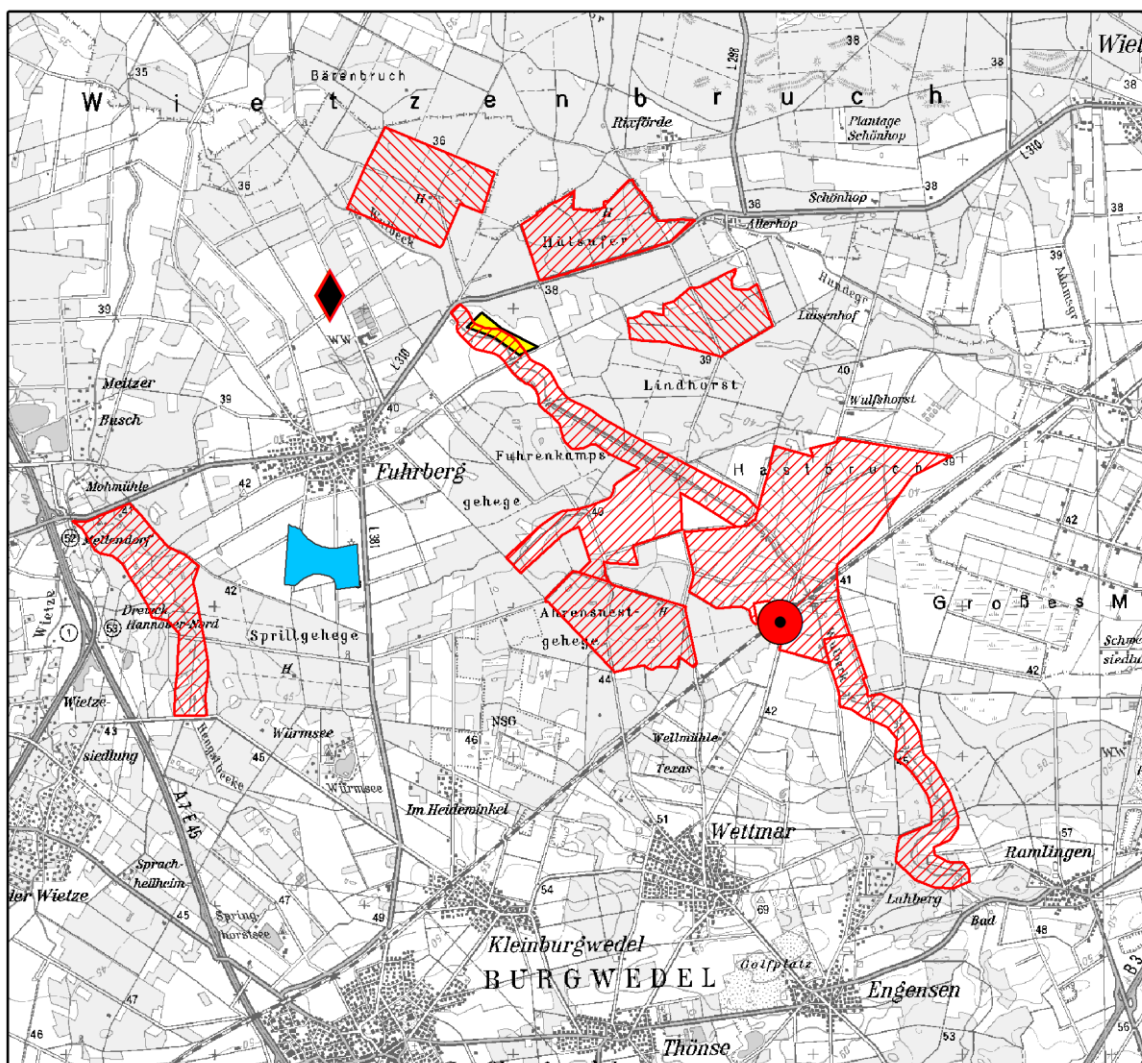


Abb. 15: Schwarzstorch (ROHDE 2009: www)

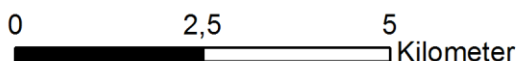


Untersuchungsgebiet und Verortung der untersuchten Anlagen erneuerbarer Energien

Legende

- Brut- und Nahrungshabitat Schwarzstorch
- Nahrungshabitat Schwarzstorch
- Photovoltaik-FFA
- Vorranggebiet Windenergiegewinnung
- geothermische Anlage
- Biogasanlage

Kartengrundlage:
 LGLN 2012: TK 100©
 NMU 2010: ‚Fuer die Brutvoegel_wertvolle_Bereiche_2010‘
 Region Hannover 2005: Vorranggebiete für
 Windenergiegewinnung (RROP) ©



Bearbeitung: Henning Rhoden, Diplomarbeit am
 Institut für Umweltplanung – Leibniz Universität Hannover

Karte 1: Untersuchungsgebiet und Verortung der untersuchten Anlagen erneuerbarer Energien

Erhebliche Brutverluste treten durch Störungen an Horstplätzen auf (Forstbetrieb mit Maschinenlärm, Freizeitnutzung) (ebd.). Schutzmaßnahmen bestehen in der Erhaltung der naturnahen Wald- und Feuchtgrünlandgebiete und im Schutz vor Störungen während der Brutzeit sowie in der Schaffung eines Netzwerkes geeigneter Brut- und Nahrungshabitate mit strengem Schutz vor Störungen (ebd.).



Abb. 16: Schwarzstörche bei der Nahrungssuche
(WELLINGHOFF 2007: *www*)

Im Fallbeispiel sind folgende Teilhabitate des Schwarzstorches vorhanden (vgl. Karte 1):

- Gebiete die sowohl Brut- und Nahrungshabitat sind und
- Gebiete die nur als Nahrungshabitat genutzt werden.

5.2 Vorgehen

Ermittlung der kumulativen Wirkung

Aus den im Fallbeispiel betrachteten Anlagen erneuerbarer Energien wird auf Basis der verknüpften Wirkmatrizen (Tab. 8) und in Anlehnung an das Prüfschema (Abb. 14) zunächst eine potenzielle kumulative Wirkung auf den Schwarzstorch abgeleitet. D.h. es werden die Wirkfaktoren herausgestellt, die eine Wirkung auf den Schwarzstorch haben. Deren Wirkräume werden mit den Habitaten, bzw. deren zeitliche Überlagerung mit dem jahreszeitlichen Vorkommen des Schwarzstorches verglichen (Karten 2-5). Treten hier Überschneidungen bei mehreren Wirkfaktoren auf, ist eine kumulative Wirkung gegeben.

Bewertung der kumulativen Wirkung

Die Bewertung der kumulativen Wirkung auf den Schwarzstorch erfolgt auf Grundlage des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens (FuE-Vorhaben) „Ermittlung von erheblichen Beeinträchtigungen im Rahmen der FFH-Verträglichkeitsuntersuchung“ (LAMBRECHT et al. 2004) sowie auf dessen Weiterentwicklung im Rahmen eines zweiten FuE-Vorhabens „Fachinformationssystem und Fachkonventionen zur Bestimmung der Erheblichkeit im Rahmen der FFH-VP“ (LAMBRECHT et al. 2007).

Diese Fachkonventionen stellen einen Bewertungsrahmen dar, der es bei einer Einzelfallbeurteilung ermöglicht, fachliche Kriterien und Bedingungen für die Bewertung der Erheblichkeit auch im Zusammenwirken mit anderen Vorhaben heranzuzuziehen (LAMBRECHT et al. 2007: 30 & 43). Dieser Ansatz der Bewertung im Zusammenwirken mit anderen Vorhaben kann als Hauptkriterium der Methodenwahl angesehen werden.

Die Konventionen beziehen sich dabei im Rahmen einer Wirkungsprognose auf die Erheblichkeit von Beeinträchtigungen im Sinne des § 34 Abs. 2 BNatSchG bei direktem Flächenentzug in Lebensraumtypen nach Anhang I FFH-RL bzw. in Habitaten von Tierarten nach Anhang I sowie Art. 4 Abs. 2 VRL in Europäischen Vogelschutzgebieten (LAMBRECHT et al. 2007: 20 & 25). Der direkte Flächenentzug durch verschiedene Vorhaben berücksichtigt additive Wirkfaktoren. Allerdings werden auch synergistische Wirkfaktoren erfasst, da die Prüfung in einem späteren Schritt explizit ‚andere Wirkfaktoren‘ berücksichtigt (s.u.).

Im vorliegenden Fallbeispiel handelt es sich nicht um ein FFH-Gebiet oder Europäisches Vogelschutzgebiet. Da es sich bei dem Schwarzstorch jedoch um eine Art nach Anhang I VRL handelt (vgl. RICHTLINIE (79/409/EWG)), stellen die Fachkonventionsvorschläge eine adäquate Methode dar, die Erheblichkeit der kumulativen Wirkung auch abseits von FFH-Gebieten oder Europäischen Vogelschutzgebiete zu bewerten. Unterstützt wird diese Behauptung dadurch, dass laut LAMBRECHT et al. (2007: 47) in bestimmten Fällen „auch Flächenverluste außerhalb der Schutzgebietskulisse in die Bilanzierung einzubeziehen (...) [sind].“

Bei der Anwendung der Konventionsvorschläge wird ausgehend von einer Grundannahme (Flächenverlust) anhand bestimmter Kriterien geprüft, ob durch ein geplantes Vorhaben im Zusammenwirken mit anderen Vorhaben diese Grundannahme und damit eine erhebliche Beeinträchtigung eintritt. Dazu wird ein Orientierungswert für einen absoluten Flächenverlust hinzugezogen, der einen Schwellenwert für die Erheblichkeit darstellt. Der Orientierungswert wurde im Rahmen der Fachkonvention „auf der Grundlage einer umfangreichen Literaturrecherche und Befragung von Fachkollegen zu den Flächenansprüchen je Art im Hinblick auf Mindestgrößen einer jeweils überlebensfähigen Population bzw. Flächenansprüchen von Individuen entwickelt“ (LAMBRECHT et al. 2007: 45).

Im Einzelnen stellt sich das Vorgehen wie folgt dar:

Grundannahme:

„Die direkte und dauerhafte Inanspruchnahme eines (Teil-)Habitats einer Art des Anhangs II FFH-RL oder einer Art nach Anhang I bzw. Art. 4 Abs. 2 VRL, das in einem FFH-Gebiet bzw. in einem Europäischem Vogelschutzgebiet nach den gebiets-spezifischen Erhaltungszielen zu bewahren oder zu entwickeln ist, ist im Regelfall eine erhebliche Beeinträchtigung“ (LAMBRECHT et al. 2007: 43).

Abweichung von der Grundannahme (Erfüllen von Bedingungen):

Im Einzelfall kann die Beeinträchtigung als nicht erheblich eingestuft werden, wenn kumulativ folgende Bedingungen erfüllt werden:

A) Qualitativ-funktionale Besonderheiten

Die in Anspruch genommene Fläche ist kein für die Art essentieller bzw. obligater Bestandteil des Habitats. D. h. es sind keine Habitatteile betroffen, die für die Tiere von zentraler Bedeutung sind, da sie an anderer Stelle fehlen bzw. qualitativ oder quantitativ nur unzureichend oder deutlich schlechter vorhanden sind; und

B) Orientierungswert „quantitativ-absoluter Flächenverlust“

Der Umfang der direkten Flächeninanspruchnahme überschreitet die für die jeweilige Art dargestellten Orientierungswerte, soweit diese für das betroffene Teilhabitat anwendbar sind, nicht; und

C) Ergänzender Orientierungswert „quantitativ-relativer Flächenverlust“ (1%-Kriterium)

Der Umfang der direkten Flächeninanspruchnahme ist nicht größer als 1% der Gesamtfläche des jeweiligen Lebensraums bzw. der Habitatfläche der Art in einem definierten Teilgebiet; und

D) Kumulation „Flächenentzug durch andere Pläne/Projekte“

Auch nach Einbeziehung etwaiger Flächenverluste durch kumulativ zu berücksichtigende Pläne und Projekte werden die Orientierungswerte (B und C) nicht überschritten; und

E) Kumulation mit „anderen Wirkfaktoren“

Auch durch andere Wirkfaktoren des Projektes oder Plans (einzeln oder im Zusammenwirken mit anderen Plänen oder Projekten) werden keine erheblichen Beeinträchtigungen verursacht (LAMBRECHT et al. 2007: 43).

Für die einzelnen Bedingungen werden folgende Kriterien herangezogen:

Grundannahme:

Die direkte und dauerhafte Inanspruchnahme eines (Teil-)Habitats des Schwarzstorches (*Ciconia nigra*) als Art des Anhangs I der VRL ist eine erhebliche Beeinträchtigung.

A) Qualitativ-funktionale Besonderheiten

Beim Schwarzstorch sind durch Störungen an Horstplätzen (z. B. Forstbetrieb, Freizeitnutzung) erhebliche Brutverluste möglich (BAUER et al. 2005: 273). Zudem gilt der anhaltende Schwund von Nahrungshabitaten als Gefährdungsursache des Schwarzstorches. So können Nahrungshabitats limitierter vorhanden sein als die Bruthabitats (BAUER et al. 2005: 273; LAMBRECHT et al. 2007: 60). Begründet durch diese Gefährdungsursachen werden im Untersuchungsraum Gebiete, die sowohl als Brut- als auch Nahrungshabitats genutzt werden, als essentielle Gebiete der Art eingestuft.

B) Orientierungswert „quantitativ-absoluter Flächenverlust“

Der Orientierungswert und damit die Schwelle für eine erhebliche Beeinträchtigung für den Schwarzstorch hinsichtlich eines absoluten Flächenverlustes liegt nach LAMBRECHT et al. (2007: 158) bei 10 ha. Die Orientierungswerte beziehen sich grundsätzlich auf die Nahrungshabitats, für den Schwarzstorch beziehen sie sich zusätzlich auch auf Brutgebiete (vgl. LAMBRECHT et al. 2007: 60). Da diese im Untersuchungsgebiet bereits unter A) als essentielle Gebiete berücksichtigt werden, werden in diesem Fall die Orientierungswerte auf die restlichen Nahrungshabitats angewendet.

C) Ergänzender Orientierungswert „quantitativ-relativer Flächenverlust“ (1 % -Kriterium)

Als Bezugsgröße dient hier i. d. R. die Gesamtfläche des jeweiligen Lebensraumes oder Habitats der Art im Gebiet oder in einem definierten Teilgebiet. Da im Rahmen dieser Arbeit nur Daten über Brut- und Nahrungshabitats innerhalb der Region Hannover vorliegen und diese Gebiete direkt an der Grenze der Region liegen, können keine konkreten Angaben über die Gesamtfläche getroffen werden: Es ist anzunehmen, dass weitere Habitats außerhalb der Region liegen. Daher wird zur Ermittlung einer Bezugsgröße die Flächenklasse der untersuchten Art als typischerweise ausreichend große Habitatfläche herangezogen (vgl. LAMBRECHT et al. 2007: 127). Die Flächenklasse liegt für den Schwarzstorch bei 10 km² (LAMBRECHT et al. 2007: 158 & 78f). Diese wird mit der Gesamtfläche der Teilhabitats im Untersuchungsgebiet verglichen, um zu prüfen, ob diese eventuell der Flächenklasse entsprechen. Ist dies der Fall, kann davon ausgegangen werden, dass die Vorkommen der Habitats im Untersuchungsgebiet die Haupthabitats ausmachen und als Bezugsgröße geeignet sind. Die Ermittlung ergab eine Gesamthabitatsfläche von 17,58 km².

Diese liegt damit deutlich über der Flächenklasse und wird einer Bezugsgröße als Gesamtlebensraum gerecht.

D) Kumulation „Flächenentzug durch andere Pläne/Projekte“

Für den absoluten Flächenverlust durch andere Pläne/Projekte ergeben sich die gleichen Bezugsgrößen wie unter B) und C).

E) Kumulation mit „anderen Wirkfaktoren“

Hierunter sind graduelle Funktionsverluste von Habitaten durch andere Wirkfaktoren zu beachten, die nicht als direkter Flächenverlust gewertet werden können (LAMBRECHT et al. 2007: 83). Sie müssen als prozentualer Funktionsverlust über eine Skalierung der Wirkintensität des Wirkfaktors in die Betrachtung miteinbezogen werden (ebd.). Über diesen prozentualen Funktionsverlust ist anhand einer Formel ein Äquivalenzwert zu berechnen, der mit den Orientierungswerten zum absoluten Flächenverlust verglichen werden kann (vgl. LAMBRECHT et al. 2007: 83). Dabei liegt folgende Formel zu Grunde:

$$\text{Flächendimension der Habitatbeeinträchtigung (m}^2\text{)} \times \frac{\text{Funktionsverlust durch projektbedingten Wirkfaktor in \%}}{100} = \text{Äquivalenzwert}$$

(LAMBRECHT et al. 2007: 83).

5.3 Ermittlung der kumulativen Wirkung und der Wirkräume ihrer Wirkfaktoren

5.3.1 Ableitung der potenziellen kumulativen Wirkung

Aus den verknüpften Wirkmatrizen (Tab. 8) der im Fallbeispiel untersuchten Anlagen erneuerbarer Energien ergibt sich sowohl durch synergistische und additive Wirkungen als auch durch eine räumliche Verdichtung von Einzelwirkungen eine potenzielle kumulative Wirkung auf den Schwarzstorch:

- Mit der geplanten PV-FFA ergeben sich potenziell erhebliche Wirkungen durch ‚Versiegelung‘, ‚Veränderung/Beseitigung von Vegetation‘ sowie ‚Überdeckung von Boden‘ und ‚visuelle Wahrnehmbarkeit‘. Die Versiegelung von Flächen für technische Einrichtungen und Zufahrtswege kann als direkter Lebensraumverlust für den Schwarzstorch angesehen werden. Durch die Veränderung der Vegetation kann es bei Umwandlung von Ackerflächen in Dauergrünland durch Verbesserung der Lebensbedingungen zu positiven Effekten

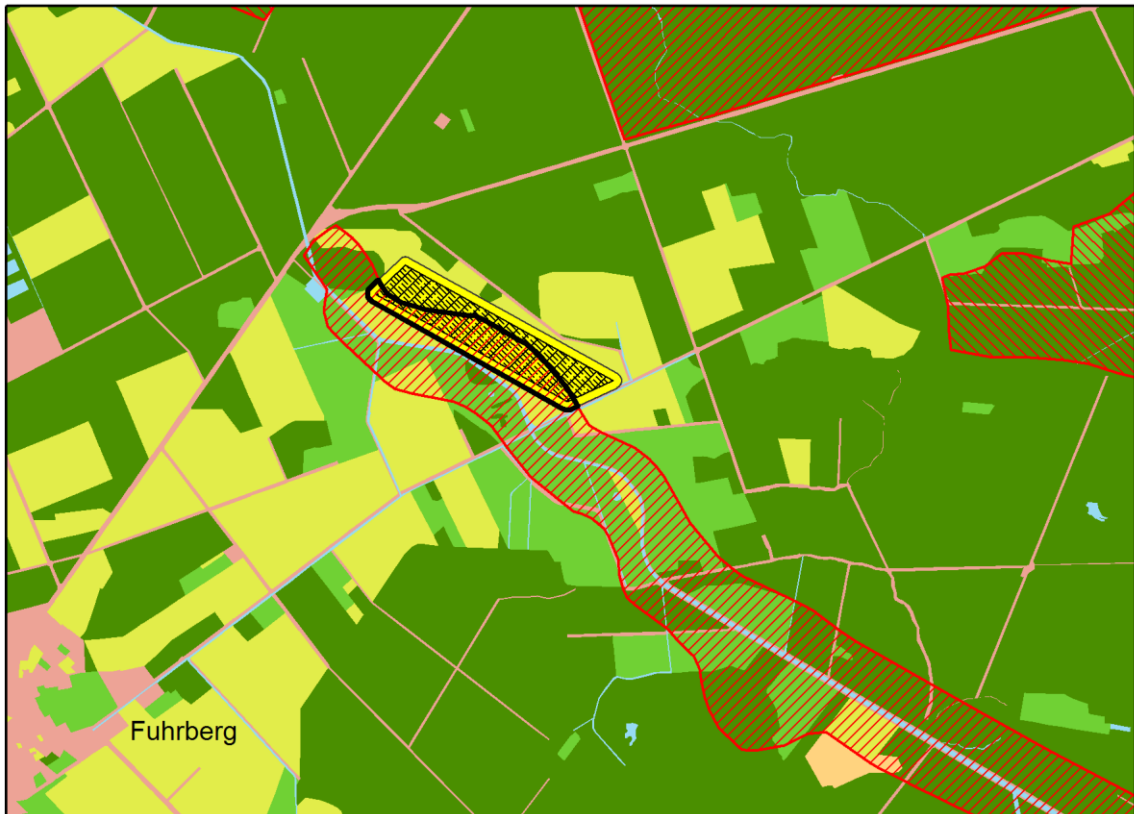
für betroffene Arten kommen (ARGE 2007: 28). Demgegenüber steht die ‚Bedeckung von Boden‘ und die ‚visuelle Wahrnehmbarkeit‘: Es ist davon auszugehen, dass der Aufstellbereich der Module und dessen Umfeld als Rast- oder Nisthabitat für besonders empfindliche Arten im Wert gemindert wird (HERDEN et al. 2009: 125).

- Aus dem Bau der geothermischen Anlage wird in dem Wirkfaktor ‚Schallemissionen‘ durch die Bohrungen eine potenziell erhebliche Beeinträchtigung auf den störungsempfindlichen Schwarzstorch vermutet, denn Lärm beeinträchtigt empfindliche Tierarten unmittelbar und kann damit zur Gefährdung der Artenvielfalt beitragen bzw. besonders schutzbedürftige Arten gefährden (RECK et al. 2001a: 125).
- Aus der Bereitstellung von Biomasse aus dem Anbau von Mais resultiert der Wirkfaktor ‚Änderung der Vegetationsstruktur‘. Er äußert sich im Fallbeispiel durch die Ausprägung des Biotoptyps Acker. Hierdurch werden potenziell erhebliche Auswirkungen auf die Habitate des Schwarzstorches erwartet, da der Biotoptyp Acker aufgrund der Lebensraumansprüche nicht als Brut- oder Nahrungshabitat genutzt werden kann.
- Aus den Vorrangstandorten zur Windenergiegewinnung werden durch die Wirkfaktoren ‚Scheuchwirkung‘, ‚Zerschneidung von Lebensräumen‘ und ‚Kollisionsrisiko‘ potenziell erhebliche Beeinträchtigungen der Habitate bzw. eine erhöhtes Mortalitätsrisiko des Schwarzstorches vermutet. Viele Vogelarten meiden hohe vertikale Strukturen und insoweit auch die Nähe zu Windkraftanlagen (NLT 2011: 6). So führt deren Errichtung in bedeutenden Vogel Lebensräumen häufig zu einer schwerwiegenden Entwertung dieser Lebensräume (NLT 2011: 6). Vermutungen auf ein erhebliches Kollisionsrisiko können für den Schwarzstorch hingegen nicht bekräftigt werden (vgl. NABU 2011: 10).

Die Wirkungen mit tendenziell hoher Intensität müssen hinsichtlich ihres konkreten Wirkraums auf ihre tatsächliche Relevanz überprüft werden. Anhand des dargestellten Wirkraums lassen sich dann Überschneidungen mit den Habitaten ermitteln. Bei der temporären baubedingten Wirkung ‚Schallimmission‘ ist zusätzlich die zeitliche Überlagerung zu prüfen.

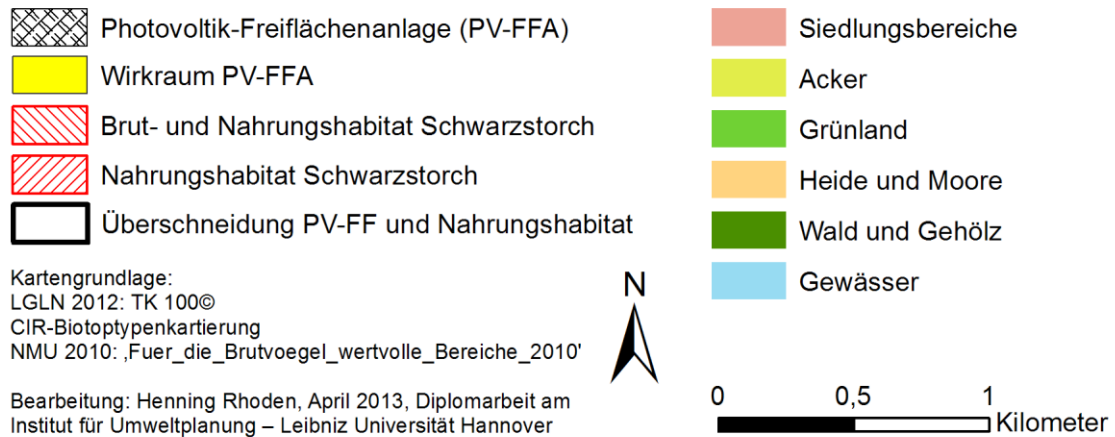
5.3.2 Wirkraum Photovoltaik-FFA

Die Festlegung des Wirkraums erfolgt in Bezug auf den Schwarzstorch sowohl auf die Stellfläche der Module als auch auf deren direkte Umgebung (hier wird als direkte Umgebung ein Abstand von 30 m um die PV-FFA berücksichtigt). Die ermittelte Fläche wird im GIS abgebildet und ist der Karte 2 zu entnehmen. Daraus wird erkenntlich, dass es auf einer Fläche von 8,8 ha zu Überschneidungen und damit zu Verlusten von Nahrungshabitaten des Schwarzstorches kommt. Die Intensität dieser Wirkung im Zusammenhang mit anderen Wirkfaktoren ist im nächsten Schritt zu überprüfen.



Wirkraum der Photovoltaik-Freiflächenanlage und dessen Überschneidung mit Nahrungshabitaten des Schwarzstorches

Legende



Karte 2: Wirkraum der Photovoltaik-Freiflächenanlage und dessen Überlagerung mit Nahrungshabitaten des Schwarzstorches

5.3.3 Wirkraum Geothermie

Die Bauzeit bzw. Dauer der Bohrung bei der Geothermieanlage ist mit einem Jahr angegeben. Damit dehnt sich die Dauer der Schallemission zumindest über eine Brutsaison aus und es tritt eine zeitliche Überlagerung mit den anderen für die kumulative Wirkung relevanten Wirkfaktoren ein.

Um den Wirkraum und damit die potenzielle Schallimmission in den Brut- und Nahrungshabitaten, den sogenannten Schalldruckpegel, zu ermitteln, muss die Entfernung zwischen Schallemission und Schallimmission berücksichtigt werden, da der Schall von der Quelle bis zum Einwirkungsort abnimmt (DIETZE o. J.: www). Der Schalldruckpegel wird über die Lautstärke an der Quelle – dem Schalleistungspegel – in dB(A) und die Entfernung zum Immissionsort berechnet (ebd.). Zur konkreten Bestimmung des Schalldruckpegels sind weitreichende Parameter hinsichtlich der Schalldämpfung und der Schallreflexion in die Berechnung einzubeziehen (vgl. TA-LÄRM 1998). Da diese im Rahmen dieser Arbeit nicht detailliert berücksichtigt werden können, sind die folgenden Werte als Annäherungswerte zu betrachten. Sie wurden auf Basis der „überschlägigen Schallausbreitungsrechnung“ der TA-LÄRM (1998: 14) und unter Berücksichtigung einer halbkugelförmigen Abstrahlung des Schalls unter Anwendung folgender Formel berechnet:

$$L_p = L_w - 20 \log(r) - 8 \text{ dB}$$

L_p = Schalldruckpegel

L_w = Schalleistungspegel

r = (Radius) Entfernung (TA-LÄRM 1998: 14; DIETZE o. J.: www).

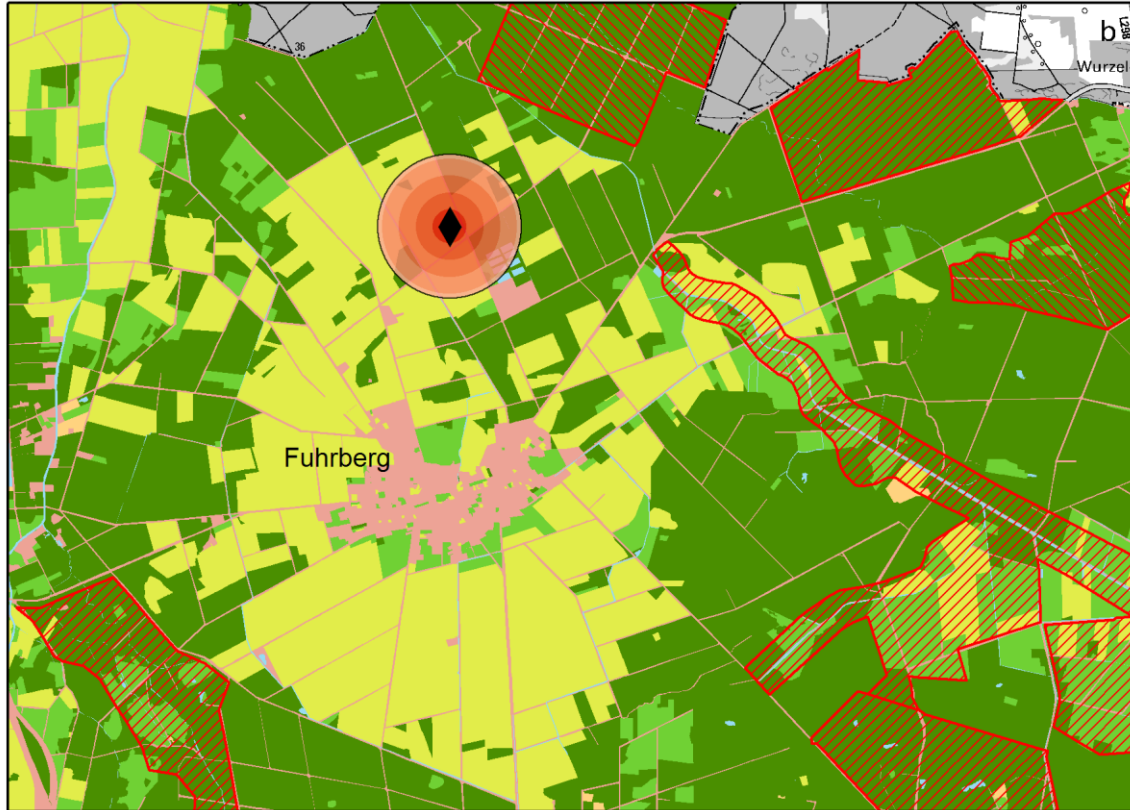
Um den Wirkraum der Schallimmission bestimmen zu können, werden Erheblichkeitsschwellen für Lärmwirkungen auf Vögel nach RECK et al. (2001b: 157) herangezogen. Danach kann als Erheblichkeitsschwelle ein Pegel von 47 dB(A) angenommen werden. Oberhalb dieses Pegels ist eine Minderung der Lebensraumeignung zu erwarten; oberhalb von 90 dB(A) sind physiologische Schäden und ein völliger Lebensraumverlust zu erwarten (RECK et al. 2001b: 157; vgl. Tab. 9).

Tab. 9: Erheblichkeitsschwellen für Lärmwirkungen auf Vögel (verändert nach RECK et al. 2001b: 157)

Immissionsgebiet	Eckwert: Minderung der Lebensraumeignung
> 90 dB(A)	100% Lebensraumverlust
90-70 dB(A)	85% Lebensraumverlust
70-59 dB(A)	55% Lebensraumverlust
59-54 dB(A)	40% Lebensraumverlust
54-47 dB(A)	25% Lebensraumverlust











Der Wirkungsbereich für den Schalldruckpegel von ≥ 47 dB(A) deckt einen Bereich von 570 m um die Geothermieanlage ab und reicht damit nicht bis ins Brut- und Nahrungshabitat des Schwarzstorches hinein, das sich 1.150 m von der Anlage entfernt befindet (Karte 3). Im Habitat ergeben sich daher Schalldruckpegel < 47 dB(A),

wodurch im Fallbeispiel eine Wirkung durch Schallemissionen aus dem Bau der Geothermieanlage auf den Lebensraum des Schwarzstorches ausgeschlossen werden kann.



Wirkraum der baubedingten Schallemission aus der Geothermieanlage bis zur Erheblichkeitsschwelle für Vögel

Legende

- | | |
|---|--|
|  geothermische Anlage |  Siedlungsbereiche |
|  Lärmbereich (>47dB(A)) |  Acker |
|  Brut- und Nahrungshabitat Schwarzstorch |  Grünland |
|  Nahrungshabitat Schwarzstorch |  Heide und Moore |
| |  Wald und Gehölz |
| |  Gewässer |

Kartengrundlage:
LGLN 2012: TK 100©
CIR-Biotoptypenkartierung
NMU 2010: „Fuer_die_Brutvoegel_wertvolle_Bereiche_2010“

Bearbeitung: Henning Rhoden, April 2013, Diplomarbeit am Institut für Umweltplanung – Leibniz Universität Hannover



0 1 2
Kilometer

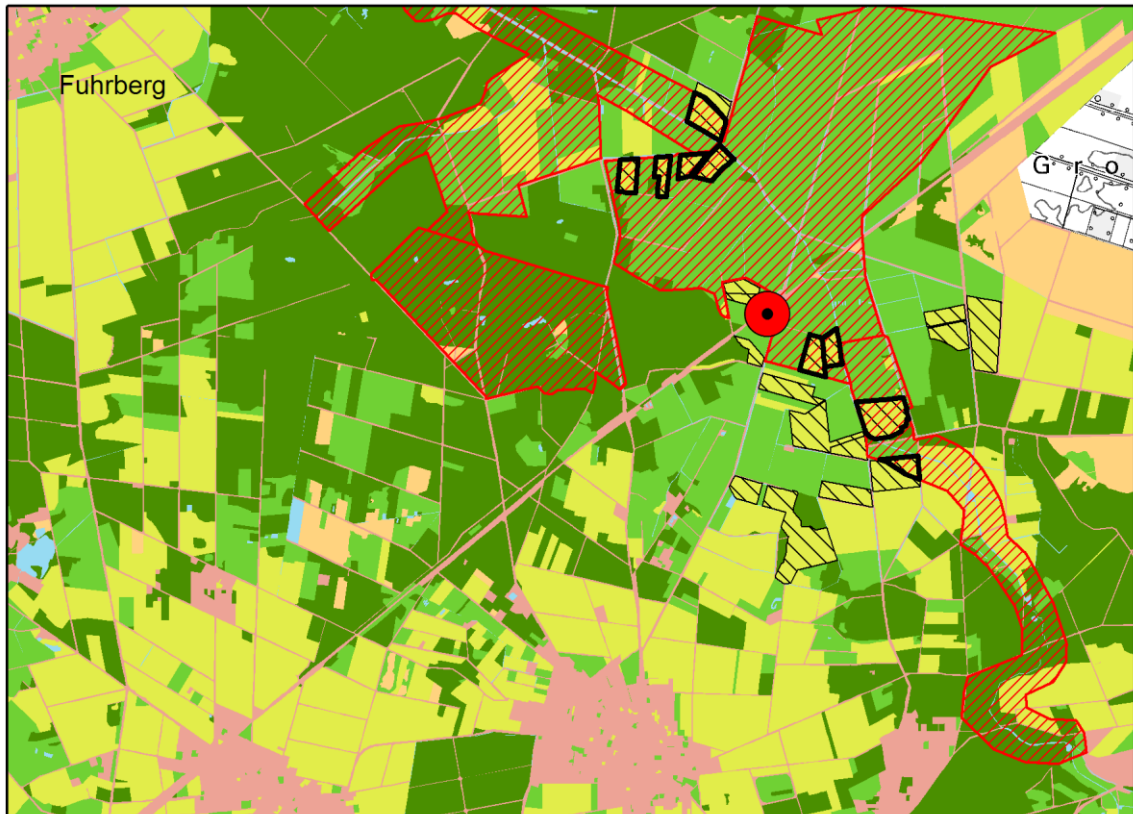
Karte 3: Wirkraum der baubedingten Schallemission aus der Geothermieanlage bis zur Erheblichkeitsschwelle für Vögel

5.3.4 Wirkraum Biogas

Um den Wirkungsbereich der Biogasanlage bestimmen zu können, müssen die Größe und das eingesetzte Substrat der Anlage berücksichtigt werden. Bei einer vorliegenden Anlagengröße von 335 kW und einem energiebezogenen Substrateinsatz von 73 % Mais bedeutet dies, dass 244 kW der installierten Leistung der Anlage über den Einsatz von Mais bedient werden. Dies entspricht bei einem Flächenbedarf von 0,5 ha je installiertem kW (vgl. Kapitel 3.3.1) einer Fläche von 122 ha Maisanbau.

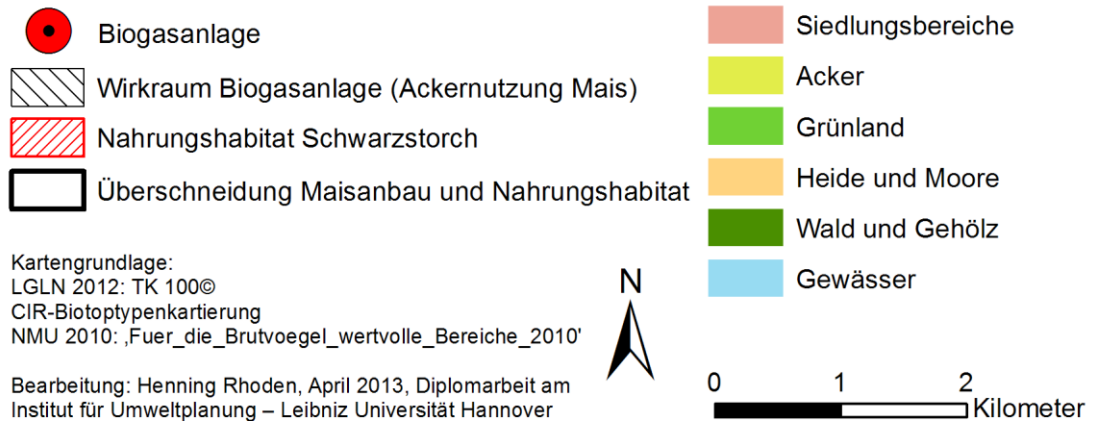
Bei der Verortung dieser Fläche werden auf Basis der Biotoptypenkartierung die der Anlage am nächsten liegenden Ackerschläge bis zur Erreichung der Gesamtfläche berücksichtigt. Dabei werden Flächen mit einer Größe von unter 1 ha außen vor gelassen, da hier eine ackerbauliche Nutzung nicht realistisch erscheint und so eventuelle Fehldaten der vorliegenden Digitalisierung der Biotoptypen (zu kleine Flächen) umgangen werden.

Die räumliche Ausprägung der Gesamtfläche der ackerbaulichen Nutzung aufgrund des Anbaus von Mais für die Biogasanlage ist in Karte 4 abgebildet. Es kommt auf einer Fläche von 41 ha zu Überschneidungen mit den Nahrungshabitaten des Schwarzstorches, die aufgrund der ‚Veränderung von Vegetation‘ nicht mehr als Nahrungsflächen geeignet sind. Die Intensität dieser Wirkung im Zusammenhang mit anderen Wirkfaktoren ist im nächsten Schritt zu überprüfen.



Wirkraum der Biogasanlage und dessen Überlagerung mit Nahrungshabitaten des Schwarzstorches

Legende

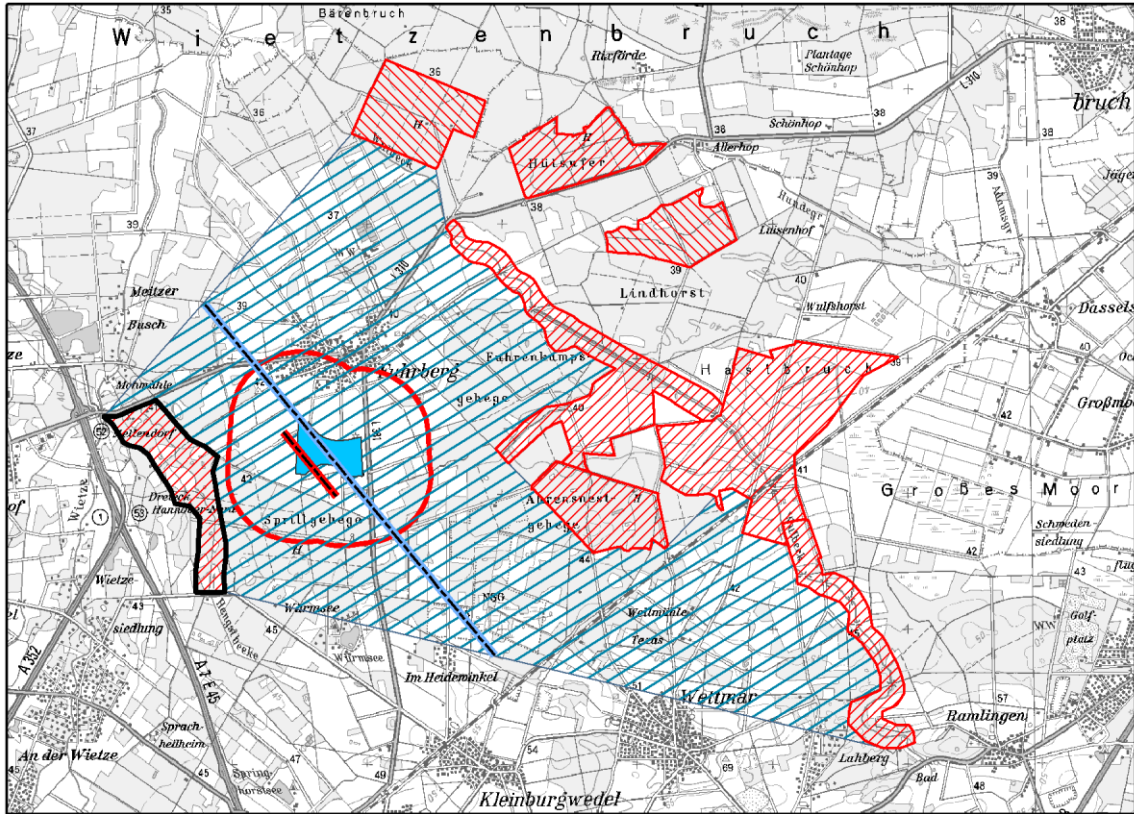


Karte 4: Wirkraum der Biogasanlage und dessen Überlagerung mit Nahrungshabitaten des Schwarzstorches

5.3.5 Wirkraum Windenergie




Hinsichtlich der Errichtung von Windkraftanlagen und der ‚Scheuchwirkung‘ werden Abstandsempfehlungen zu bekannten Vorkommen des Schwarzstorchs gegeben: Für Brutplätze liegt der erforderliche Mindestabstand bei 3.000 m (NLT 2011: 24). Für Nahrungshabitate gilt, dass diese im Radius von 10.000 m einschließlich der Flugwege dorthin freigehalten werden sollen (ebd.). Diese Abstände werden als Basis für die Untersuchung herangezogen und im GIS überprüft. Aus Karte 5 lässt sich entnehmen, dass im Untersuchungsgebiet bei o. g. Abständen kein Brut- oder Nahrungshabitat direkt betroffen ist. Allerdings befindet sich das Vorranggebiet zur Windenergiegewinnung direkt zwischen einem exponiert gelegenen Nahrungshabitat und weiteren Nahrungs- sowie Bruthabitaten. Das heißt, dass über den Wirkfaktor ‚Zerschneidung von Lebensräumen‘, begründet durch die Meidung vertikaler Strukturen durch den Schwarzstorch, eine Wirkung auf die Flugwege bzw. auf dieses exponierte Nahrungshabitat besteht.

Um die Wirkung in diesem Habitat zu ermitteln, wird ein gradueller Funktionsverlust berechnet. Dies erfolgt über die Berechnung der anteiligen Unterbrechung des Flugkorridors zum Habitat: Mittels der äußeren Punkte des gesamten Flugkorridorgebietes wird eine Mittelparallele gebildet und über die breiteste Ausdehnung des Vorranggebietes gelegt, diese dient nun als Bezugslinie für die anteilige Unterbrechung (vgl. Karte 5). Bei einer Bezugslinie von 6.820 m ist eine Unterbrechung von 1.233 m gegeben: Der prozentuale Anteil der Unterbrechung beträgt daher 18 %. Dieser wird als prozentualer Funktionsverlust des Habitats angesehen und im nächsten Schritt im Zusammenwirken mit anderen Wirkfaktoren bewertet.



Vorranggebiet zur Windenergiegewinnung und dessen Wirkung auf die Flugkorridore und die Nahrungshabitate des Schwarzstorches

Legende

- | | | | |
|---|---|---|---|
|  | Vorranggebiet Windenergiegewinnung |  | Flugkorridor |
|  | Brut- und Nahrungshabitat Schwarzstorch |  | Flugkorridor zwischen exponierten Habitaten |
|  | Nahrungshabitat Schwarzstorch |  | Bezugslinie für anteilige Unterbrechung |
|  | Abstandsempfehlung zu Bruthabitaten |  | anteilige Unterbrechung 18 % |
|  | Wirkraum Windenergie | | |

Kartengrundlage:
 LGLN 2012: TK 100©
 Region Hannover 2005: Vorranggebiete zur
 Windenergiegewinnung (RROP) ©
 NMU 2010: 'Fuer die Brutvoegel_wertvolle_Bereiche_2010'

Bearbeitung: Henning Rhoden, April 2013, Diplomarbeit am
 Institut für Umweltplanung – Leibniz Universität Hannover

Karte 5: Vorranggebiet zur Windenergiegewinnung und dessen Wirkung auf die Flugkorridore und die Nahrungshabitate des Schwarzstorches

5.4 Bewertung der kumulativen Wirkung

Die vorhandene kumulative Wirkung wird mittels der Fachkonventionen dahingehend bewertet, ob eine Beeinträchtigung für den Schwarzstorch vorliegt.

Durch das untersuchte Vorhaben „Bau einer PV-FFA“ ergeben sich folgende Ergebnisse:

A) **Qualitativ-funktionale Besonderheiten**

Die als besonders essentiell eingestuften Habitate (Brut- und Nahrungsgebiet) sind durch den Wirkraum der PV-FFA nicht betroffen → Bedingung erfüllt.

B) **Orientierungswert „quantitativ-absoluter Flächenverlust“**

Der Flächenverlust durch den Wirkraum der PV-FFA beträgt im Fallbeispiel 8,8 ha. Dieser liegt unter dem Orientierungswert von 10 ha. → Bedingung erfüllt.

C) **Ergänzender Orientierungswert „quantitativ relativer Flächenverlust“ (1 % Kriterium)**

Der Flächenverlust von 8,8 ha hat bezogen auf das Gesamthabitat (17,58 km²) einen Anteil von 0,5 % und liegt damit unter dem 1 %-Kriterium → Bedingung erfüllt.

Aus dem Bau der PV-FFA resultiert separat betrachtet keine erhebliche Beeinträchtigung für den Schwarzstorch.

D) **Kumulation „Flächenentzug durch andere Pläne/Projekte“**

Durch den Anbau von Mais für die Biomasseproduktion ergeben sich durch ‚Veränderung der Vegetation‘ Flächenverluste von 41 ha.

A) Qualitativ-funktionale Besonderheiten, wie das Brut- und Nahrungshabitat sind durch den Maisanbau nicht betroffen → Bedingung erfüllt.

B) Orientierungswert „quantitativ-absoluter Flächenverlust“: Der additive Flächenverlust durch die PV-FFA und den Maisanbau liegt mit 49,8 ha deutlich über dem Orientierungswert von 10 ha → Bedingung nicht erfüllt.

C) Ergänzender Orientierungswert „quantitativ relativer Flächenverlust“ (1 % Kriterium): Der quantitativ-relative Flächenverlust aufgrund des additiven Flächenverlustes durch die PV-FFA und den Maisanbau (49,8 ha) beträgt in Bezug auf das Gesamthabitat (17,58 km²) 2,83 % und liegt damit über dem 1 %-Kriterium → Bedingung nicht erfüllt.

Der zusätzliche Flächenverlust durch den Anbau von Mais ergibt im Sinne einer additiven Wirkungssummierung für den Schwarzstorch eine erhebliche Beeinträchtigung.

E) **Kumulation mit „anderen Wirkfaktoren“**

Durch den Bau der geothermischen Anlage resultiert die ‚Lärmwirkung‘, die ohne Wirkung auf den Schwarzstorch hier nicht weiter betrachtet werden muss.

Aus der Windenergie geht der anlagenbedingte Wirkfaktor ‚Zerschneidung von Lebensräumen‘ mit einem prozentualen Funktionsverlust von 18 % auf ein Teilhabitat mit einer Größe von 174 ha hervor.

A) Qualitativ-funktionale Besonderheiten wie das Brut- und Nahrungshabitat sind durch das Vorranggebiet nicht betroffen → Bedingung erfüllt.

B) Orientierungswert „quantitativ-absoluter Flächenverlust“: Der prozentuale Funktionsverlustes des betroffenen Gebietes beträgt 18 %. Daraus ergibt sich ein Äquivalenzwert von 31,32 ha Flächenverlust, additiv mit den anderen untersuchten Projekten steigt dieser mit 81,12 ha weiter über den Orientierungswert von 10 ha und damit über die Erheblichkeitsschwelle hinaus → Bedingung nicht erfüllt.

C) Ergänzender Orientierungswert „quantitativ relativer Flächenverlust“ (1 % Kriterium): Der quantitativ-relative Flächenverlust aufgrund der ‚Zerschneidung von Lebensräumen‘ in additiver Wirkung mit den anderen Projekten (81,12 ha) beträgt in Bezug auf das Gesamthabitat (17,58 km²) 4,61 % und liegt damit über dem 1 %-Kriterium → Bedingung nicht erfüllt.

Das Vorranggebiet zur Windenergiegewinnung trägt mit dem Wirkfaktor ‚Zerschneidung von Lebensräumen‘ synergistisch zu der erheblichen Beeinträchtigung bei.

Erfüllte Grundannahme

Die Grundannahme, „die direkte und dauerhafte Inanspruchnahme eines (Teil-)Habitats des Schwarzstorches (*Ciconia nigra*) als Art des Anhangs I der VRL ist eine erhebliche Beeinträchtigung“, ist aufgrund der nicht erfüllten Bedingungen E) und D) bestätigt. Aus den Anlagen im Fallbeispiel ergibt sich ein kumulativer Flächenverlust, zusammenfassend dargestellt in Karte 6, aus dem eine erhebliche Beeinträchtigung resultiert. Der kumulative Flächenverlust äußert sich in einer Steigung, bei der der Schwellenwert zur Erheblichkeit durch die PV-FFA erst im Zusammenwirken mit anderen Projekten/Plänen überschritten wird (vgl. Abb. 17).

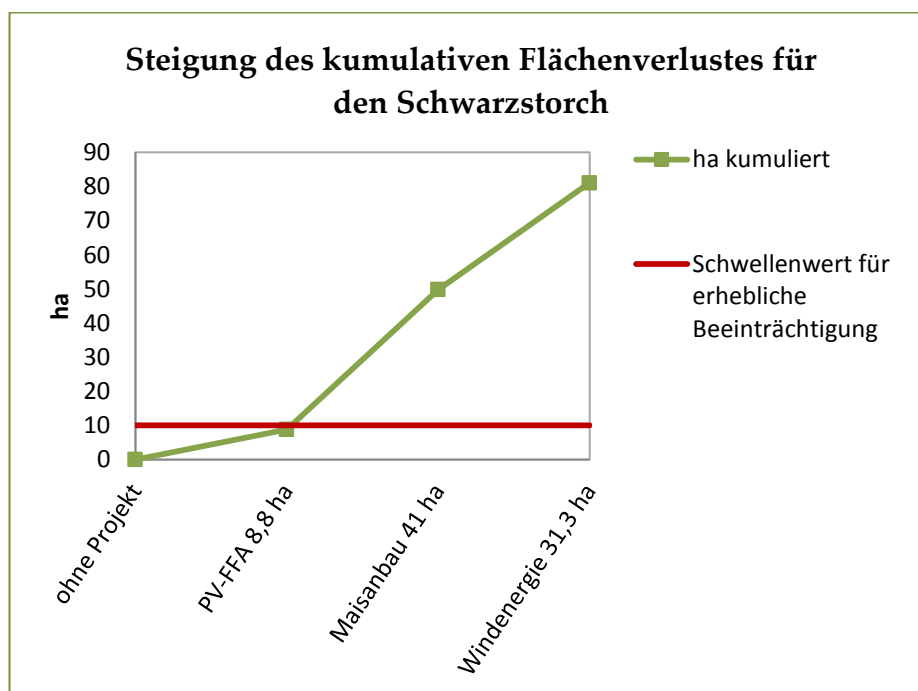
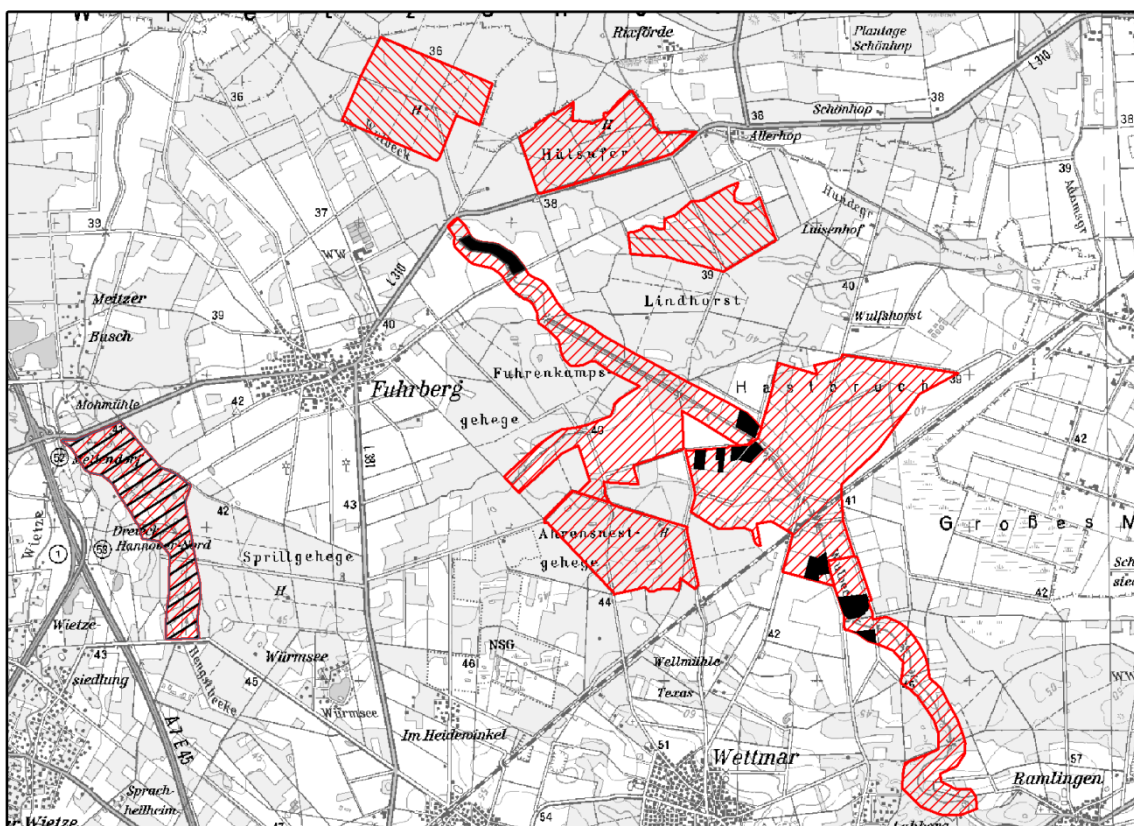


Abb. 17: Steigung des kumulativen Flächenverlustes für den Schwarzstorch (EIGENE DARSTELLUNG)



Kumulative Wirkung auf den Schwarzstorch durch Habitatverluste

Legende

- Brut- und Nahrungshabitat Schwarzstorch
- Nahrungshabitat Schwarzstorch
- absolute Habitatverluste
- graduelle Habitatverluste von 18 %

0 1 2
Kilometer



Kartengrundlage:
LGLN 2012: TK 100©
NMU 2010: „Fuer die Brutvoegel_wertvolle_Bereiche_2010“

Bearbeitung: Henning Rhoden, April 2013, Diplomarbeit am
Institut für Umweltplanung – Leibniz Universität Hannover

Karte 6: Kumulative Wirkung auf den Schwarzstorch durch Habitatverluste

Die Ergebnisse zeigen, dass es in dem Fallbeispiel zu Konflikten mit den Zielen des § 1 BNatSchG sowie Art. 3 der Vogelschutzrichtlinie (VRL) kommt: Die Erheblichkeit des kumulativen Flächenentzugs durch die Anlagen widerspricht den Zielvorgaben der Erhaltung einer ausreichenden Flächengröße des Lebensraumes.

Positive Synergieeffekte konnten in dem Fallbeispiel hingegen nicht erkannt werden.

6 Fazit

Ergebnisse

Der Ausbau erneuerbarer Energien im Zuge der Energiewende zieht eine Reihe von Wirkfaktoren nach sich, die in Konkurrenz zu den Zielen des BNatSchG stehen können. Es ist deutlich geworden, dass diese Wirkfaktoren auch kumulativ wirksam werden, wenn verschiedene Arten erneuerbarer Energien aufeinandertreffen.

Die Entstehung und Wirkungsweise kumulativer Wirkungen basiert auf einem komplexen Zusammenspiel einzelner Wirkfaktoren, die sich in additiver und synergistischer Art ergänzen. Derartige Wirkfaktoren sind gegeben, wenn sich Anlagen zur Bereitstellung erneuerbarer Energie in einer Region konzentrieren. Betrachtet man diese unter der kumulativen Prämisse, können sich, je nach Ausgangslage der betroffenen Umwelt, verschiedenste kumulative Wirkungen auf Natur und Landschaft ergeben, die mit den Zielen des BNatSchG stärker in Konkurrenz stehen, als es bestimmte Wirkfaktoren separat tun.

Besonders in Hinblick auf den Flächenbedarf erneuerbarer Energien und die damit verbundene ‚Veränderung oder Beseitigung von Vegetation‘ sowie entstehende ‚Barrierewirkungen‘ ist die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten kumulativer Wirkungen – die sowohl negativ als auch positiv ausgeprägt sein können – hoch. Für das Schutzgut Tiere spielen auch technische Anlagen, aus denen Beeinträchtigungen wie ‚Scheuchwirkungen‘, ‚Kollisionsrisiken‘ und ‚Geräuschemissionen‘ resultieren können, eine entscheidende Rolle, da sie in synergistischer Wirkungssummierung mit den flächenbezogenen Wirkungen stehen können und sich die Wirkung dementsprechend verstärken kann. Für das Landschaftsbild ist zudem die ‚visuelle Wahrnehmbarkeit‘ verschiedener Anlagen für die Entstehung kumulativer Wirkungen relevant.

Die Bewertung der kumulativen Wirkung auf den Schwarzstorch anhand der Fachkonventionen zur FFH-Verträglichkeitsprüfung hat deutlich gemacht, dass aus einer additiv-synergistischen Gesamtwirkung von Wirkfaktoren erneuerbarer Energien eine erheblichere Beeinträchtigung resultieren kann, als aus einzeln auftretenden Wirkungen. Es zeigt sich, dass der Schwellenwert für eine erhebliche Beeinträchtigung der Habitate und damit des Schwarzstorches in dem Fallbeispiel durch die kumulative Wirkung deutlich überschritten wird.

Positive Effekte konnten in diesem Fallbeispiel nicht nachgewiesen werden. Doch die Darstellung der potenziellen kumulativen Wirkungen zeigt, dass es bei bestimmten Konstellationen zu positiven Veränderungen kommen und innerhalb einer kumulativen Wirkung zur Abschwächung einer Beeinträchtigung beitragen kann, z.B. bei einer Aufwertung der Vegetation von Ackerstandorten durch den Bau einer PV-FFA. An dieser Stelle wäre eine Fortführung des Ansatzes konstruierter Fallbeispiele wünschenswert, um positive Effekte innerhalb kumulativer Wirkungen erkennen, bewerten und nutzbar machen zu können.

Nun stellt sich die Frage, wie mit einem solchen Ergebnis umgegangen werden muss. Würde es sich bei dem Fallbeispiel um eine reale FFH-Verträglichkeitsprüfung handeln, wäre als Ergebnis die PV-FFA nicht FFH-verträglich. Allerdings hätten die

Wirkungen der Vorranggebiete für Windenergiegewinnung und der Maisanbau für die Biogasanlage separat bereits eine Erheblichkeit hervorgerufen. Dies unterstreicht, dass die Wirkungen erneuerbarer Energien in Konkurrenz zu den Zielen des BNatSchG stehen können, und zeigt die Notwendigkeit die Wirkungen kumulativ zu bewerten, da nur so reale Auskünfte darüber gewonnen werden, ob diese Ziele eingehalten werden.

Für das vorliegende Fallbeispiel könnte eine veränderte Ausgestaltung der erneuerbaren Energien die erhebliche Beeinträchtigung abschwächen. So könnte der Anbau anderer Energiepflanzen als Substrat für die Biogasanlage, z. B. Gras (Grassilage), die Wirkung auf die Nahrungshabitate erheblich verbessern, da Grünland weiterhin als Nahrungshabitat vom Schwarzstorch genutzt werden kann. Bei dem Vorranggebiet zur Windenergiegewinnung sollte die Anordnung der Anlagen so festgeschrieben werden, dass eine Ausrichtung parallel zu den Flugbahnen erfolgt. Dies kann die anteilige Unterbrechung des Flugkorridors und damit den graduellen Funktionsverlust des Nahrungshabitates auf ein Minimum reduzieren.

Diskussion und Ausblick

Die Fachkonventionen zur FFH-Verträglichkeitsprüfung bieten durch ihre breit angelegte Ermittlung der Orientierungswerte und die stufenweise aufgebauten Kriterien einen entsprechenden Rahmen, um den Flächenverlust für Arten hinsichtlich der kumulativen Wirkung aus mehrerer Projekten/Plänen bewerten zu können. Speziell die Einbeziehung von Wirkfaktoren, die keinen direkten Flächenentzug zur Folge haben (z. B. ‚Scheuchwirkung‘ oder ‚Geräuschemission‘), steht im Sinne der Entstehung und Wirkungsweise kumulativer Wirkungen, da so eine Berücksichtigung synergistischer Wirkungsweisen ermöglicht wird und über den graduellen Funktionsverlust auch vergleichbare Ergebnisse möglich sind. Dazu ist es jedoch notwendig, dass die Wirkfaktoren in Hinblick auf das untersuchte Schutzgut skalierbar sind. Für ‚Lärmwirkungen‘ liegen Erkenntnisse darüber vor, wie der Funktionsverlust eines Lebensraumes bei bestimmten Lärmpegeln zu bemessen ist. Für den Wirkfaktor ‚Zerschneidung von Lebensräumen‘ wird im Fallbeispiel mit der anteiligen Unterbrechung des Flugkorridors gearbeitet; unberücksichtigt bleiben dabei die Entfernung zwischen Unterbrechung und betroffenem Habitat sowie eventuelle Konditionsverluste von Individuen durch die Ausweitung von Flugbahnen. Hier besteht sicherlich weiterer Forschungsbedarf, um im Rahmen von Wirkungsprognosen angemessene und vergleichbare Bewertungsgrundlagen für betroffene Arten zu erhalten. Dies gilt ebenso für die Wirkung, die von PV-FFA ausgeht: Im Fallbeispiel wird der Wirkraum auf das direkte Umfeld der Anlage bezogen und ein Radius von 30 m angenommen. Konkrete Angaben für einzelne Arten über die Meidung aufgrund der ‚visuellen Wahrnehmung‘ liegen nicht vor. Auch für bestimmte Wirkfaktoren der Geothermie, speziell für Wirkungen, die aus ‚Erschütterungen‘ resultieren, liegen keine Angaben für deren Berücksichtigung in der Landschaftsplanung vor. Für die Schaffung von Bewertungsgrundlagen ist hier eine interdisziplinäre Zusammenarbeit mit anderen Fachgebieten wie der Geologie sinnvoll.

Bei einer Bewertung der kumulativen Wirkung auf das Landschaftsbild lassen sich die Fachkonventionen nicht anwenden. Da hier nicht die Wirkung auf der Fläche an erster Stelle der Bewertung steht, muss auf andere Methoden zurückgegriffen werden, die je nach vorliegendem Einzelfall auszuwählen sind. Inwieweit diese jedoch kumulative Wirkungen berücksichtigen, kann in dieser Arbeit nicht beantwortet werden.

Zudem stellt sich die Frage, inwieweit bei einer Bewertung kumulativer Wirkungen auf die in der Landschaftsplanung betrachteten Landschaftsfunktionen zurückgegriffen werden kann. Diese Arbeit verfolgt den Ansatz über die Schutzgüter in Anlehnung an das UVPG, doch die Frage, wie sich die Ermittlung und Bewertung kumulativer Wirkungen in bestehende Bewertungskonzepte der Landschaftsplanung integrieren lassen, wäre ein entscheidender Schritt, deren Berücksichtigung stärker zu fördern.

Die Ermittlung und Bewertung kumulativer Wirkungen ermöglicht angesichts ihrer breit angelegten Entstehungs- und Wirkungspfade eine umfassende Betrachtung von Umweltwirkungen. Das Ergebnis des Fallbeispiels zeigt, dass eine Beachtung der kumulativen Wirkung notwendig ist, um die Wirkungen erneuerbarer Energien auf die Schutzgüter in ihrem tatsächlichen Umfang bewerten zu können. Nur dann können Maßnahmen ergriffen werden, um die Wirkungen auf Natur und Landschaft zu optimieren. So wäre eine stärkere Steuerung über das EEG und seinen Vorgaben zur Vergütungsfähigkeit denkbar, um im Sinne der räumlichen Planung den Ausbau erneuerbarer Energien stärker zu lenken und damit einer Erheblichkeit kumulativer Wirkungen vorzubeugen. Hier ließen sich auch Interdependenzen zu eventuellen Folgehandlungen, wie dem Anbau von GVO als Energiepflanzen, berücksichtigen. Doch speziell die flächenbezogenen Wirkungen, die einen Habitatverlust und so eine additive Wirkungssummierung verursachen, sollten dabei unter Berücksichtigung positiver Wirkungen im Vordergrund stehen. Auch synergistische Wirkungen werden durch räumliche Planung bereits teilweise gelenkt, z. B. über Abstandsregelungen von Windenergieanlagen zu empfindlichen Gebieten, doch kombinierte Vorgaben hinsichtlich kumulativer Wirkungen (z. B. in Form von Wenn-Dann-Beziehungen) wären auch hier sinnvoll. Unter Berücksichtigung bisheriger Forschungsergebnisse und weiteren Forschungen sollten diese Vorgaben ausgedehnt und Regelungen verfasst werden, die eine stärkere Fokussierung der Gesetzgebung und räumlichen Planung ermöglichen, damit das Potenzial der erneuerbaren Energien unter Einhaltung der Ziele des BNatSchG voll ausgeschöpft werden kann.

Quellenverzeichnis

Literatur

- AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN E. V. (Hrsg.), 2010b: Erneuerbare Energien in der Fläche. Hintergrundinformation. 10 S., Stand: 14.03.2013, http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/Hintergrundinfo_Erneuerbare_Energien_in_der_Flaeche_jan2010.pdf
- AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN E.V. (Hrsg.), 2010a: Erneuerbare Energien 2020. Potenzialatlas Deutschland. Sonderausgabe Bioenergie. 63 S. Stand: 30.01.2013, <http://www.unendlich-viel-energie.de/fileadmin/content/Potenzialatlas%20%20Auflage%20Online.pdf>
- ARGE (ARGE Monitoring PV-Anlagen), 2007: Leitfaden zur Berücksichtigung von Umweltbelangen bei der Planung von PV-Freiflächenanlagen. 126 S., Hannover. Stand 15.01.2013, http://www.erneuerbare-energien.de/fileadmin/ee-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/pv_leitfaden.pdf
- BACHFISCHER, R., 1978: Die ökologische Risikoanalyse eine Methode zur Integration natürlicher Umweltfaktoren in die Raumplanung. Dissertation, 298 S., Technische Universität München.
- BADENOVA (BADENOVA AG & Co. KG), 2012: Biogas: Energie aus Biomasse. Stand 20.02.2013, <https://www.badenova.de/web/de/umweltundregion/erneuerbareenergienanlagen/biogas/Biogas-Anlagen.html>
- BALLA, S., PETERS, H.-J., WULFERT, K., RICHTER, M. & FROBEN, M., 2010: Leitfaden zur Strategischen Umweltprüfung (Langfassung) Forschungsvorhaben 206 13 100. Stand: 21.01.2013, http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/sup_leitfaden_lang_bf.pdf
- BAUER, H.-G., BEZZEL, E. & FIEDLER, W. (Hrsg.), 2005: Das Kompendium der Vögel Mitteleuropas. Alles über Biologie, Gefährdung und Schutz. Nonpasseriformes – Nichtsperrlingsvögel. 2. Aufl., 808 S., Wiebelsheim.
- BEER, W. & DROSTE, E., 2006: Biopolitik im Diskurs. Argumente Fragen Perspektiven. 212 S., Bonn.
- BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) o. J.: Schwarzwildbejagung in Energiepflanzenbeständen. Stand 05.03.2013, <http://www.bmelv.de/SharedDocs/Standardartikel/Landwirtschaft/Wald-Jagd/Jagd/Schwarzwildbejagung.html>
- BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz), 2009: Pressemitteilung Nr. 063 vom 14.04.09. Aigner verbietet den Anbau von MON810. Stand: 05.03.2013, <http://www.bmelv.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/2009/063-AI-Mon810.html>
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (Hrsg.), 2010: Umweltbericht 2010. Umweltpolitik ist Zukunftspolitik. 207 S., Berlin.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (Hrsg.), 2011a: Tiefe Geothermie. Nutzungsmöglichkeiten in Deutschland. 83 S., Berlin.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (Hrsg.), 2011b: Erneuerbare Energien. Innovationen für eine nachhaltige Energiezukunft. 151 S., Berlin.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (Hrsg.), 2012a: Erneuerbare Energien. Fragen und Antworten. 187 S., Berlin.

- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (Hrsg.), 2012b: Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung. 134 S., Berlin.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit), 2012c: Internationale Klimapolitik. Stand: 14.04.2013, <http://www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/internationale-klimapolitik/>
- BRINKMANN, R., BEHR, O., NIERMANN, I. & REICH, M., 2011: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. S., Göttingen.
- BUCHER, M., 2006: Solarpark Pocking. Stand: 14.04.2013, <http://www.martin-bucher.de/mb/37-0-pressebilder.html>
- BUNGE, T., 1994: Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG). Kommentar. In: STORM, P.-C. & BUNGE, T. (Hrsg.): Handbuch der Umweltverträglichkeitsprüfung. Band 1, Abschnitt 0600 (§2), Berlin.
- BURGER, F., 2006: Zur Ökologie von Energiewäldern. In: DRL (DEUTSCHER RAT FÜR LANDESPFLEGE E.V.) (Hrsg.), 2006: Die Auswirkungen erneuerbarer Energien auf Natur und Landschaft. Gutachtliche Stellungnahme und Ergebnisse des gleichnamigen Symposiums vom 19./20. Oktober 2005 in Berlin. 74-80, Meckenheim: (Schriftenreihe des Deutschen Rates für Landschaftspflege 79). Stand: 17.02.2013, http://www.landespflege.de/schriften/DRL_SR79.pdf
- BWE (BUNDESVERBAND WINDENERGIE E.V.) O. J.: Technik. Stand: 03.03.2013, <http://www.wind-energie.de/infocenter/technik>
- CALLIES, D., KLAAS, T., KHADIRI-YAZAMI, Z. & HAGEMANN, S., 2012: Windenergienutzung im Binnenland. Erschließung neuer Potenziale im bewaldeten Mittelgebirge. Abschlussbericht. 74 S. Stand: 03.03.2013, <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb13/735482098.pdf>
- CEQ (Council on Environmental Quality) (Hrsg.), 1997: Considering Cumulative Effects. Under the National Environmental Policy Act. 122 S., ohne Ort. Stand: 04.02.2013, http://energy.gov/sites/prod/files/nepapub/nepa_documents/RedDont/G-CEQ-ConsidCumulEffects.pdf
- CHOUDHURY, K., DZIEDZIOCH, C., HÄUSLER, A. & PLOETZ, C., 2004: Zusammenstellung und Auswertung von geeigneten Kriterien, Indikatoren, UVP und dergleichen für die notwendige Berücksichtigung von Biodiversitätsaspekten bei Maßnahmen des Klimaschutzes, insbesondere bei Landnutzungsänderungen. 215 S., Berlin.
- COOPER, L. M., 2004: Guidelines for Cumulative Effects Assessment in SEA of Plans. 46 S., London. Stand: 06.02.2013, <http://www3.imperial.ac.uk/pls/portallive/docs/1/21559696.PDF>
- DBFZ (DEUTSCHES BIOMASSE FORSCHUNGSZENTRUM GMBH) 2010: Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. Zwischenbericht. 90 S., Berlin. Stand: 24.02.2013, http://www.dbfz.de/web/fileadmin/user_upload/3330002_Stromerzeugung_aus_Biomasse_3_Zwischenbericht_.pdf
- DBFZ (DEUTSCHES BIOMASSE FORSCHUNGSZENTRUM GMBH) 2011: Nachhaltige Biogaserzeugung in Deutschland – Bewertung der Wirkungen des EEG. Endbericht. 232 S., Leipzig.
- DBFZ (DEUTSCHES BIOMASSEFORSCHUNGSZENTRUM GMBH) (Hrsg.), 2012: Nachhaltige Europäische Biomethanstrategie. Endbericht. 307 S., Leipzig.

- DECK, U., 2015: Wind- und Solarparks. Fotograf: U. Deck. Stand: 10.05.2015, <https://www.enbw.com/unternehmen/presse/downloads-medien/energieerzeugung/wind-und-solarparks/index.html>
- DEGERING, D. & KÖHLER, M., 2009: Natürliche Radionuklide in Anlagen der tiefen Geothermie. 11 S., Bochum. Stand: 06.03.2013; http://www.geothermie-dialog.de/uploads/pdfs/TF15_Degering.pdf
- DENKLER, T., 2011: Bundesverdienstkreuz für die Castor-Gegner! Kommentar. Stand: 14.04.2013, <http://www.sueddeutsche.de/politik/anti-atom-proteste-bundesverdienstkreuz-fuer-die-castor-gegner-1.1218511>
- DIERSCHKE, V., 2007: Die neuen Kosmos-Naturführer. Welcher Vogel ist das? 256 S., Stuttgart.
- DIETZE, U., o. J.: Schallausbreitung im Freien. Studienarbeit zum Thema Maschinenakustik am Institut für Maschinenwesen, Technische Universität Clausthal. Stand: 05.04.2013, <http://www3.imw.tu-clausthal.de/forschung/projekte/EQUIP/studiarbeit/ausbreitung.html>
- DJZ (Deutsche Jagdzeitung), 2007: Nordrhein-Westfalen: Herforder Jäger fürchten Besiedlung durch Schwarzwild. Stand: 05.03.2013, http://www.djz.de/cgi-bin/r30msvccms_seiten_ansicht.pl?&var_hauptpfad=../r30/vc_content/&var_fa1_select=var_fa1_select|447|&var_seiten_nummer_uebergabe=1339&var_suchbegriff=Mais
- DRL (DEUTSCHER RAT FÜR LANDESPFLEGE E.V.) (Hrsg.), 2006: Die Auswirkungen erneuerbarer Energien auf Natur und Landschaft. Gutachtliche Stellungnahme und Ergebnisse des gleichnamigen Symposiums vom 19./20. Oktober 2005 in Berlin. 134 S., Meckenheim: (Schriftenreihe des Deutschen Rates für Landschaftspflege 79). Stand: 17.02.2013, http://www.landespflege.de/schriften/DRL_SR79.pdf
- DUDENREDAKTION, 2001: Duden. Band 5. Fremdwörterbuch. 7. Aufl., 1056 S., Mannheim.
- EDER, B., SCHULZ, H., KRIEG, A., MITTERLEITNER, H., GRAF, W., WELLINGER, A. & STOCKER, K. H., 2007: Biogas-Praxis. Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiel, Wirtschaftlichkeit. 4. Aufl., 238 S., Staufen.
- ERDWERK GmbH, 2013: Häufig gestellte Fragen. Stand 05.04.2013, <http://www.erdwerk.com/hintergrund/FAQ/>
- FNR (FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V.) (Hrsg.), 2006: Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung. 3. Aufl. 232 S., Gülzow. Stand 20.02.2013, http://www.big-east.eu/downloads/FNR_HR_Biogas.pdf
- FNR (FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V.) (Hrsg.), 2012b: Basisdaten Bioenergie Deutschland August 2012. Festbrennstoffe, Biokraftstoffe, Biogas. 51 S., Gülzow-Prüzen. Stand: 24.02.2013, http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Bioenergie-NachwachsendeRohstoffe/FNR-Basisdaten-Bioenergie-2012.pdf?__blob=publicationFile
- FNR (FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V.), 2012a: Tabelle der Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe 2012. Stand: 24.02.2013, <http://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/anbauflaeche-fur-nachwachsende-rohstoffe-2012-tabelle.html>
- FNR (FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V.), o. J.: Einführung. Biokraftstoff: Was ist das eigentlich? Stand: 05.03.2013, <http://www.biokraftstoffe.info/kraftstoffe/einfuehrung/>
- FORSCHUNGSVERBUND SMART NORD, 2013: TP 6 – Smart Spatial. Stand: 14.03.2013, bzw. <http://smartnord.de/projekt/tp6/>, siehe auch: http://www.umwelt.uni-hannover.de/219.html?&tx_tkforschungsberichte_pi1

- FRICK, S. & KALTSCHMITT, M., 2008: Ökologische Aspekte der tiefen Erdwärmenutzung – Analyse und Bewertung lokaler Umwelteffekte. 13 S., Potsdam. Stand: 20.02.2013, http://www.geothermie-dialog.de/uploads/pdfs/Frick_Kaltschmitt_2008.pdf
- FRIEDRICH-LOEFFLER-INSTITUT, 2005: Die Klassische Schweinepest (KSP) und Afrikanische Schweinepest (ASP). Faltblatt, Greifswald. Stand: 05.03.2013, http://www.fli.bund.de/fileadmin/dam_uploads/IVD/Flyer_KSP.pdf
- FÜRST, D. & SCHOLLES, F. (Hrsg.): Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung. 3. Aufl., 656 S., Dortmund.
- GASSNER, E., WINKELBRANDT, A. & BERNOTAT, D., 2005: UVP. Rechtliche und fachliche Anleitung für die Umweltverträglichkeitsprüfung. 4. Aufl., 476 S., Heidelberg.
- GEOENERGIE BAYERN GMBH, o. J.: Kirchweidach - Strom- und Heizkraftwerk. Stand: 04.04.2013, http://www.geoenergie-bayern.com/cms/front_content.php?idcat=50
- GNEST, H., 2008: Monitoring. In: FÜRST, D. & SCHOLLES, F. (Hrsg.): Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung. 3. Aufl., 617-628, Dortmund.
- GOLDEMUND, K., STROBL, A. & KRINES, D., 2011: Schalltechnische Untersuchungen im Auftrag der Gemeinde Utting am Ammersee. 24 S., Greifenberg. Stand: 04.04.2013, http://www.utting.de/uploads/media/Schalltechnische_Untersuchung.pdf
- GTV (Bundesverband Geothermie e.V.) o. J.: Risiken. Stand: 28.02.2013, <http://www.geothermie.de/wissenswelt/geothermie/einstieg-in-die-geothermie/risiken.html>
- GTV (Bundesverband Geothermie e.V.), 2013: Geothermie. Stand: 28.02.2013, http://www.geothermie-dialog.de/index.php?option=com_content&view=article&id=33:tiefe-geothermie&catid=1:was-ist-geothermie&Itemid=18
- HAAREN, C. VON (Hrsg.), 2004a: Landschaftsplanung. 527 S., Stuttgart.
- HAAREN, C. VON, 2004b: Planungstheoretische Grundlagen. Gegenstand von Erfassung und Bewertung. In: HAAREN, C. VON (Hrsg.), 2004a: Landschaftsplanung. 79-85, Stuttgart.
- HARTMANN, A., 2008: Wie viel Fläche wird für Biogas benötigt? Stand: 05.03.2013, <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/Veroeffentl/Monatshefte/essay.asp?xYear=2008&xMonth=07&eNr=08>
- HEGMANN, G., COCKLIN, C., CREASEY, R., DUPUIS, S., KENNEDY, A., KINGSLEY, L., ROSS, W., SPALING, H. & STALKER, D., (AXYS Environmental Consulting Ltd. and the CEA Working Group for the Canadian Environmental Assessment Agency (Hrsg.)), 1999: Cumulative Effects Assessment Practitioners Guide. Prepared by 134 S., Hull, Quebec. Stand: 04.02.2013, http://www.ceaa.gc.ca/43952694-0363-4B1E-B2B3-47365FAF1ED7/Cumulative_Effects_Assessment_Practitioners_Guide.pdf
- HEILAND, S., MOORFELD, M. & REGENER, M., 2006b: Entwicklung eines anwendungsbezogenen Ziel- und Indikatorenkatalogs für Umweltprüfung und Monitoring im Rahmen der Fortschreibung des Regionalplanes der Region Stuttgart. Endbericht. Stand 06.02.2013, http://www2.ioer.de/recherche/pdf/2006_heiland_endber_p186.pdf
- HEILAND, S., REGENER, M., STRATMANN, L., HAUFF, M. & WEIDENBACHER, S., 2006a: Kumulative Auswirkungen in der Strategischen Umweltprüfung. Stand 13.01.2013, http://www.landschaft.tu-berlin.de/fileadmin/fg218/Publikationen/2006_Heiland_et_al_KumulativeWirkungenSUP_UVPrep.pdf
- HERDEN, C., GHARADJEDAGHI, B., RASSMUS, J., GÖDDERZ, S., GEIGER, S. & JANSEN, S., 2009: Naturschutzfachliche Bewertungsmethoden von Freilandphotovoltaikanlagen. Endbericht. 186 S., Bonn: (BfN – Skripten 247). Stand: 15.01.2013 <http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/skript247.pdf>

- HODEIGE, C. H. (Hrsg.), 2011: Hausrisse rücken Erdwärme-Bohrung ins Zwielight. Stand: 05.03.2013, <http://www.badische-zeitung.de/suedwest-1/hausrisse-ruecken-erdwaerme-bohrung-ins-zwielight--48321312.html>
- HODEIGE, C., 2009: Risse in Staufen: 41 Millionen Schaden – Tendenz steigend. Fotograf: Markus Donner, Stand: 20.03.2013, <http://www.badische-zeitung.de/staufen/risse-in-staufen-41-millionen-schaden-tendenz-steigend--17241473.html>
- HÖTKER, H., 2006: Auswirkungen des "Repowering" von Windkraftanlagen auf Vögel und Fledermäuse. 40 S., Bergenhusen. Stand: 06.03.2013, http://bergenhusen.nabu.de/imperia/md/images/bergenhusen/windkraft_endbericht.pdf
- IWR (Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien) o. J.: Geothermische Systeme. Stand: 28.03.2013, http://www.iwr.de/geo/technik_recht/index.html
- JACOBY, C., 2000: Die Strategische Umweltprüfung (SUP) in der Raumplanung. Instrumente, Methoden und Rechtsgrundlagen für die Bewertung von Standortalternativen in der Stadt- und Regionalplanung. 649 S., Berlin.
- JESSEL, B. & MOORFELD, M., 2012: Zukünftiger Ausbau erneuerbarer Energien, der Netze und Speicher – Aufgaben und Handlungserfordernisse aus Naturschutzsicht. *Natur und Landschaft* 12 (87): 548-552.
- JOACHIM HERZ STIFTUNG: Moderne Windräder. Stand: 03.03.2013, http://www.leifiphysik.de/web_ph09/umwelt_technik/06wind/windkonverter.htm
- JODOCY, M. & STOBER, I., o. J.: Geothermische Nutzungssysteme. Stand: 06.03.2013, <http://www.geotis.de/homepage/Ergebnisse/geoEnergia/Geothermische%20Nutzungssysteme%2020081030.jpg>
- KÖPPEL, J., PETERS, W. & WENDE, W., 2004: Eingriffsregelung Umweltverträglichkeitsprüfung FFH-Verträglichkeitsprüfung. 367 S., Stuttgart.
- LAMBRECHT, H., TRAUTNER, J., KAULE, G., GASSNER, E., RAHDE, M., BRÄUNICKE, M., BRINKMANN, R., COLLING, M., HERMANN, G., KOCKELKE, K., KRAMER, M., MAYER, J. & STEINER, R., 2004: Ermittlung von erheblichen Beeinträchtigungen im Rahmen der FFH-Verträglichkeitsuntersuchung. Endbericht. FuE-Vorhaben im Rahmen des Umweltforschungsplanes des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. 316 S., Hannover. Stand: 10.02.2013, http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/images/themen/ingriffsregelung/BfN-FuE-Vorhaben_FFH-VU_Endbericht_April-2004.pdf
- LAMBRECHT, H., TRAUTNER, J., KOCKELKE, K., STEINER, R., BRINKMANN, R., BERNOTAT, D., GASSNER, E. & KAULE, G., 2007: Fachinformationssystem und Fachkonventionen zur Bestimmung der Erheblichkeit im Rahmen der FFH-VP – Endbericht zum Teil Fachkonventionen. FuE-Vorhaben im Rahmen des Umweltforschungsplanes des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. 239 S., Hannover. Stand: 10.02.2013, http://www.mugv.brandenburg.de/sixcms/media.php/4055/fue_ffh.pdf
- LANG, S. & BLASCHKE, T., 2007: Landschaftsanalyse mit GIS. 404 S., Stuttgart.
- LEPPMANN, A., HOFMANN, J., GARBE, I. & MÜCK, J., 2012: Schwarzwildbewirtschaftung in der Agrarlandschaft – Probleme und Maßnahmen. Ein Leitfaden für Landwirte und Jäger. 40 S., Berlin. Stand 05.03.2013, http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Schwarzwildbewirtschaftung.pdf?__blob=publicationFile

- LGRB (Regierungspräsidium Freiburg – Abteilung 9, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau) (Hrsg.), 2010: Geologische Untersuchungen von Baugrundhebungen im Bereich des Erdwärmesondenfeldes beim Rathaus in der historischen Altstadt von Staufen i. Br. 304 S., Freiburg i. Br. Stand: 05.03.2013, http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/pdf_pool/bericht_staufen_lgrb.pdf
- LLUR (Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein) (Hrsg.) 2011: Leitfaden zur geothermischen Nutzung des oberflächennahen Untergrundes. Erdwärmekollektoren – Erdwärmesonden. Empfehlungen für Planer, Ingenieure und Bauherren. 54 S., Flintbek: (LLUR SH – Geologie und Boden 18). Stand: 21.02.2013, http://www.umweltdaten.landsh.de/nuis/upool/gesamt/geologie/geothermie_2011.pdf
- MEEDDM (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer) (Hrsg.), 2010: Handbuch für die Umweltverträglichkeitsprüfung von Windparks. 231 S., La Défense. Stand: 20.02.2013, http://enr-ee.com/fileadmin/user_upload/Downloads/Mensch_und_Umwelt/oekologische_begleitforschung/Guide_etude_impact_eolien_2010_DT.pdf
- MENGEL, A., REIß, A., THÖMMES, A., HAHNE, U., KAMPEN, S. VON & KLEMENT, M., 2010: Steuerungspotenziale im Kontext naturschutzfachlicher Auswirkungen erneuerbarer Energien. Abschlussbericht des F+E-Vorhabens (FKZ 806 82 110) „Naturschutzrelevanz raumbedeutsamer Auswirkungen der Energiewende“. 367 S., Bonn: (Naturschutz und Biologische Vielfalt 97).
- NABU (Naturschutzbund Deutschland e.V.) (Hrsg.) 2011: Hintergrund. Naturverträglicher Ausbau der Windenergie. Handlungsbedarf und Leitlinien für die weitere Entwicklung in Deutschland. 18 S., Berlin. Stand: 23.04.2013, http://www.nabu-aachen.de/files/2011/17032011_NABU-Hintergrund_Windenergie.pdf
- NATURWERK (NATURWERK – erneuerbare Energien GmbH), 2013: ABC der Windenergie. Stand 03.03.2013, <http://www.naturwerk-energien.de/kontakt/ansprechpartner/12-kontakt/32-ABC%20der%20Windenergie.html>
- NEUMANN, W. & SCHÖNAUER, S., 2007: Strom und Wärmezeugung aus Geothermie. Anforderungen an die Produktionskette aus ökologischer Sicht. BUND (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e. V.) (Hrsg.), 11 S., Berlin. Stand: 07.01.2013, http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/energie/20070300_energie_geothermie_position.pdf
- NITSCH, J., 2008: Leitstudie 2008. Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas. Zusammenfassung der Ergebnisse. 26 S., Stuttgart. Stand: 18.01.2013, http://www.erneuerbare-energien.de/fileadmin/ee-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitstudie2008_zusf.pdf
- NLT (Niedersächsischer Landtagkreis) (Hrsg.), 2011: Arbeitshilfe. Naturschutz und Windenergie. Hinweise zur Berücksichtigung des Naturschutzes und der Landschaftspflege sowie zur Durchführung der Umweltprüfung und Umweltverträglichkeitsprüfung bei Standortplanung und Zulassung von Windenergieanlagen. 35 S., Hannover. Stand: 23.03.2013, http://www.nlt.de/pics/medien/1_1320062111/Arbeitshilfe.pdf
- NMU (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz) (Hrsg.), 2012: Das Energiekonzept des Landes Niedersachsen. 77 S., Hannover. Stand: 20.02.2012, <http://www.erneuerbare-energien-niedersachsen.de/downloads/20120131-energiekonzept--broschuere.pdf>

- ØVERLAND, H., KRÜGER, G.-M., LÜST, B. & STÜRZER, H., 2007: Flughafen München. Planfeststellungsverfahren. 3. Start- und Landebahn. Umweltverträglichkeitsstudie UVS 16 Wechselwirkungen. Eching am Ammersee. 34 S. Stand: 25.01.2013, http://www.muc-ausbau.de/media/downloads/pfv/UVS_16_Wechselwirkgen.pdf
- PESCHEL, T., 2010: Solarparks – Chancen für die Biodiversität. Erfahrungsbericht zur biologischen Vielfalt in und um Photovoltaik-Freiflächenanlagen. 35 S., Berlin (Renews Special 45). Stand: 05.04.2013, http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/45_Renews_Spezial_Biodiversitaet-in-Solarparks_online_01.pdf
- PETERS, J., 2010: Erneuerbare Energien – Flächenbedarfe und Landschaftswirkungen. In: DEMUTH, B., HEILAND, S., WOJTKIEWICZ, W., WIERSBINSKI, N. & FINCK, P.: Landschaften in Deutschland 2030 – Der große Wandel. 71-84 S., Bonn: BfN-Skripten 284. Stand: 28.01.2013, <http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/images/service/skripten/Skript284.pdf>
- PEYKER, W., DEGNER, J., REINHOLD, G., ZORN, W., GÖßNER, K. & FARACK, M., 2007: Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Silomais zur Fütterung und Nutzung als Gärsubstrat in Biogasanlagen. 18 S., Jena. Stand: 23.02.2013, <http://www.tll.de/ainfo/pdf/sima0807.pdf>
- PIETSCH, J., RUNGE, K., STEGEN, U., GRÜTZNER, E. & KORDT, B., 1998: Vorsorge vor kumulativen Umweltbelastungen durch räumliche Planung. Evaluation und Entwicklung konzeptioneller Grundlagen. Endbericht. 175 S., Hamburg.
- PROPLANTA (Proplanta GmbH & Co. KG), 2010: Immer mehr Wildschweine im Münsterland - Fachleute in Sorge. Stand 05.03.2013, http://www.proplanta.de/Agrar-Nachrichten/Wald-Forst/Immer-mehr-Wildschweine-im-Muensterland-Fachleute-in-Sorge_article1281962729.html
- RASSMUS, J., BRÜNING, H., KLEINSCHMIDT, V., RECK, H., DIERßEN, K. & BONK, A., 2000: Entwicklung einer Arbeitsanleitung zur Berücksichtigung der Wechselwirkungen in der Umweltverträglichkeitsprüfung. 135 S., Kiel.
- RECK, H., HERDEN, C., RASSMUS, J. & WALTER, R., 2001a: Die Beurteilung von Lärmwirkungen auf frei lebende Tierarten und die Qualität ihrer Lebensräume – Grundlagen und Konventionsvorschläge für die Regelung von Eingriffen nach § 8 BNatSchG. In: BfN (Bundesamt für Naturschutz) (Hrsg.): Lärm und Landschaft. Referate der Tagung „Auswirkungen von Lärm und Planungsinstrumente des Naturschutzes“ in Schloss Salzau bei Kiel am 2. und 3. März 2000, 125-151, Bonn: (Angewandte Landschaftsökologie 44).
- RECK, H., RASSMUS, J., KLUMP, G. M., BÖTTCHER, M., BRÜNING, H., GUTSMIEDL, I., HERDEN, C., LUTZ, K., MEHL, U., PENN-BRESSEL, G., ROWECK, H., TRAUTNER, J., WENDE, W., WINKELMANN, C. & ZSCHALICH, A., 2001b: Tagungsergebnis: Empfehlungen zur Berücksichtigung von Lärmwirkungen in der Planung (UVP, FFH-VU, § 8 BNatSchG, § 20c BNatSchG). In: BfN (Bundesamt für Naturschutz) (Hrsg.): Lärm und Landschaft. Referate der Tagung „Auswirkungen von Lärm und Planungsinstrumente des Naturschutzes“ in Schloss Salzau bei Kiel am 2. und 3. März 2000, 153-160, Bonn: (Angewandte Landschaftsökologie 44).
- REINHARDT, G., SCHEURLEN, K., BEMMANN, A., KELLER, T., RODE, M., SCHMIDT, C., THIELE, M., WERNER, A. & WETTSTEIN, C., 2004: F + E-Vorhaben: Naturschutzaspekte bei der Nutzung erneuerbarer Energien FKZ 801 02 160. 128 S., Potsdam. Stand: 20.02.2013, http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/naturschutzaspekte_ee.pdf
- REMMERS, K.-H., ANTONY, F., FISCHBACH, M. & LUCHTERHAND, J., 2001: Große Solaranlagen. Einstieg in Planung und Praxis. 2. Aufl., 471 S., Berlin.

- ROHDE, C., 2009: Schwarzstorch (Steckbrief). Fotograf: C. Rohde. Stand: 14.04.2013, <http://schwarzstorchberingung.de/attachments/Image/BS%282001%29.jpg>
- ROTEC (rotec GmbH), 2008: Stromzaun Zaunanlagen, Stand: 14.04.2013, http://rotec-berlin.de/r_frames.htm?zaun/stromzaun/stromzaun_gelaendesicherung.html
- ROTHAARWIND (Rothaarwind GmbH & Co. KG), o. J.: Mensch & Umwelt. Eisabwurf ist selten und vermeidbar. Stand: 06.03.2013, http://www.rothaarwind.de/windenergie/mod_content_page/seite/Rotorblaetter_Eiswurf/index.html?sid=da0d66c6b8dce495f61297a32dde0ce1
- SCHARPF, H., 1982: Die ökologische Risikoanalyse als Beitrag zur Umweltverträglichkeitsprüfung in der Landwirtschaft. Dissertation, Hannover. Zitiert in: SCHOLLES, F., 2008: Ökologische Wirkungsanalysen. In: FÜRST, D. & SCHOLLES, F. (Hrsg.): Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung. 3. Aufl., 334-347, Dortmund.
- SCHILLING, M., o. J.: Erfahrungen der Regionalplanung im planerischen Umgang mit Anlagen zur Nutzung der Erneuerbaren Energien am Beispiel der Windenergie. Stand: 03.03.2013, http://www.arl-net.de/system/files/euregia_schilling.pdf
- SCHMIDT, H.-P., 2012: Klimabilanz für Biogas aus Maismonokulturen. Ithaka-Journal 1/2012: 57-60. Stand: 06.03.2013, <http://www.ithaka-journal.net/druckversionen/082012-klimabilanz.pdf>
- SCHOLLES, F., 2008a: Ökologische Wirkungsanalysen. In: FÜRST, D. & SCHOLLES, F. (Hrsg.): Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung. 3. Aufl., 334-347, Dortmund.
- SCHOLLES, F., 2008b: Bewertungsmethoden – Die verbal-argumentative Bewertung. In: FÜRST, D. & SCHOLLES, F. (Hrsg.): Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung. 3. Aufl., 503-515, Dortmund.
- SIEDENTOP, S., 2002: Kumulative Wirkungen in der Umweltverträglichkeitsprüfung. Grundlagen, Methoden, Fallbeispiele. 278 S., Dortmund: (Dortmunder Beiträge zur Raumplanung 108).
- SIEDENTOP, S., 2005: Kumulative Umweltauswirkungen in der Strategischen Umweltprüfung. In: STORM, P.-C. & BUNGE, T. (Hrsg.): Handbuch der Umweltverträglichkeitsprüfung. Band 1, Abschnitt 5030, Berlin.
- SODEIKAT, G. & GETHÖFFER, F., 2011: Zuwachsleistung und Populationsanstieg von Wildschweinen in Niedersachsen unter den Gegebenheiten verstärkten Anbaues nachwachsender Rohstoffe. In: REICH, M. & RÜTER, S. (Hrsg.): Auswirkungen des großflächigen Anbaus von Energiepflanzen auf die Tierwelt der Agrarlandschaft, 207-224, Göttingen: (Umwelt und Raum 2).
- SOLON SE, 2010: Solon baut Photovoltaik-Kraftwerk in Cornwall. Stand: 14.04.2013, <http://www.photovoltaik.eu/typo3temp/pics/f107b641d5.jpg>
- SONNTAG, H., EVERITT, R., RATTIE, L., COLNETT, D., WOF, C., TRUETT, J., DORCEY, A. & HOLLING, C., 1987: Cumulative Effects Assessment: A Context for Further Research and Development. Hull. Zitiert in: PIETSCH, J., RUNGE, K., STEGEN, U., GRÜTZNER, E. & KORDT, B., 1998: Vorsorge vor kumulativen Umweltbelastungen durch räumliche Planung. Evaluation und Entwicklung konzeptioneller Grundlagen. Endbericht. 175 S., Hamburg.
- SPELSBERG, G., 2015: Biologische Sicherheitsforschung. Fotograf: Gerd Spelsberg. Stand: 10.05.2015, <http://www.biosicherheit.de/mediathek/404.maispflanze.html>

- STADTVERWALTUNG ERFURT & LANDRATSAMT ILM-KREIS o. J.: Aufbau einer Windenergieanlage. Stand: 03.03.2013, <http://www.energieoute.de/wind/wind2.php>
- STMUGV (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz) (Hrsg.), 2005: Oberflächennahe Geothermie. Heizen und Kühlen mit Energie aus dem Untergrund. Ein Überblick für Bauherren, Planer und Fachhandwerker in Bayern. 16 S., München. Stand: 20.02.2013, <http://www.stmwivt.bayern.de/uploads/media/Geothermie.pdf>
- STRATMANN, L., HEILAND, S., REINKE, M., HAUFF, M., BÖLITZ, D., HELBRON, H. & SCHMIDT, M., 2007: Strategische Umweltprüfung für die Regionalplanung – Entwicklung eines transnationalen Prüf- und Verfahrenskonzeptes für Sachsen, Polen und Tschechien. Endbericht. Stand 09.01.2013, http://www.ioer.de/fileadmin/internet/Downloads/forsch/transSEA_Endbericht_Maerz-2007.pdf
- UM (Umweltministerium Baden-Württemberg) (Hrsg.), 2008: Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmekollektoren. 21 S., Stuttgart. Stand 05.03.2013, http://www2.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/9077/Leitfaden_Erdwaermekollektoren.pdf
- WAGNER, A., 2010: Photovoltaik Engineering. Handbuch für Planung, Entwicklung und Anwendung. 3. Aufl., 441 S., Berlin.
- WALKER, L. J., JOHNSTON, J., NAPIER, H. & CLARK, D., 1999: Guidelines for the Assessment of Indirect and Cumulative Impacts as well as Impact Interactions. 172 S., Luxemburg. <http://ec.europa.eu/environment/eia/eia-studies-and-reports/guidel.pdf>
- WELLINGHOFF, A., 2007: Schwarzstorch - Black Stork. Fotograf: A. Wellinghoff. Stand: 14.04.2013, <http://www.marburger-vogelwelt.de/html/schwarzstorch.html>
- WIV GMBH, 2011: Alles über die Funktion eine Windkraftanlage. Stand: 03.03.2013, <http://www.windkraftanlage.de/ratgeber/onshore/funktion-windkraftanlage/>
- WOLF, U., BUHR, N., WIEHE, J., RODE, M. & KANNING, H., 2010: Untersuchungsrahmen. In: RODE, M. & KANNING, H. (Hrsg.), 2010: Natur- und raumverträglicher Ausbau energetischer Biomassepfade. 5-20, Stuttgart.
- ZARZER, B., 2006: Einfach GEN:ial. Die grüne Gentechnik: Chancen, Risiken und Profite. 176 S., Hannover.
- ZAUSIG, J., 2012: Bau und Betrieb von Windkraftanlagen – Auswirkungen auf Boden und Grundwasser. Stand: 03.03.2013, <http://www.lfu.bayern.de/boden/bodenschutztag/doc/15.pdf>

Gesetze, Richtlinien etc.

- AVWV BAULÄRM – Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Geräuschimmissionen – vom 19. August 1970 (Beil. zum BAnz. Nr. 160). Stand 05.04.2013, <http://www.umweltbundesamt.de/laermprobleme/publikationen/baulaerm.pdf>
- BNATSCHG (Bundesnaturschutzgesetz) – Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege i.d.F. vom 29.07.2009. Bundesgesetzblatt I S. 2542.
- EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) – Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien vom 25. Oktober 2008. Bundesgesetzblatt I S. 2074.
- RICHTLINIE (2001/18/EG) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. März 2001 über die absichtliche Freisetzung genetisch veränderter Organismen in die Umwelt und zur Aufhebung der Richtlinie 90/220/EWG des Rates. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 106, 38 S. Stand: 05.03.2013, http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/rl_2001_18de.pdf
- RICHTLINIE (2001/42/EG) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Juni 2001 über die Prüfung der Umweltauswirkungen bestimmter Pläne und Programme. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 197, 8 S. Stand: 06.02.2013, <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2001:197:0030:0037:DE:PDF>
- RICHTLINIE (79/409/EWG) des Rates vom 2. April 1979 über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten. Amtsblatt Nr. L 103 S. 1.
- RICHTLINIE (85/337/EWG) des Rates vom 27. Juni 1985 über die Umweltverträglichkeitsprüfung bei bestimmten öffentlichen und privaten Projekten. Amtsblatt L 175 vom 5.7.1985, S. 40. Stand: 06.02.2013, <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1985L0337:20090625:DE:PDF>
- TA-LÄRM – Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm. Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz vom 26. August 1998 (GMBI Nr. 26/1998 S. 503). Stand 05.04.2013, <http://www.umweltbundesamt.de/laermprobleme/publikationen/talaerm.pdf>
- UVPG (Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz): Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung i.d.F. vom 24.02.2010. Bundesgesetzblatt I S. 94.
- UVPVwV – Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ausführung des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung i.d.F. vom 18. September 1995. Stand: 06.02.2013, http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/vv_uvpvwv.pdf
- VDI-Richtlinie 4640, Blatt 1, (Verband Deutscher Ingenieure) vom Dezember 2000 – Thermische Nutzung des Untergrundes – Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte. Berlin. Zitiert in: BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (Hrsg.), 2011a: Tiefe Geothermie. Nutzungsmöglichkeiten in Deutschland. 83 S., Berlin.

Karten

- LGLN (Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Niedersachsen), 2012;
TK 100. Auszug aus den Geobasisdaten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung© Stand: 23.03.2013, http://www.umweltkarten-niedersachsen.de/arcgis/services/Basisdaten_wms/MapServer/WMServer?
- NMU (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz) 2010:
'Fuer_die_Brutvoegel_wertvolle_Bereiche_2010'. Stand: 23.03.2013,
http://www.umweltkarten-niedersachsen.de/arcgis/services/Natur_wms/MapServer/WMServer?
- REGION HANNOVER, 2005: Karte der Vorrangstandorte für Windenergiegewinnung aus dem Regionalen Raumordnungsprogramm©.
- SCHULZ, R., AGEMAR, T., ALTEN, A.-J., KÜHNE, K., MAUL, A.-A., PESTER, S. & WIRTH, W. (2007):
Aufbau eines geothermischen Informationssystems für Deutschland. - Erdöl Erdgas Kohle 123, 2: 76-81; Hamburg. Stand: 10.03.2013,
<http://www.geotis.de/geotis/templates/geotis.php>

Anhang

Anhang 1: Wirkfaktoren im Zusammenhang mit oberflächennaher Geothermie	i
Anhang 2: Wirkfaktoren im Zusammenhang mit dem Hot-Dry-Rock-Verfahren der tiefen Geothermie	iii

Anhang 1: Wirkfaktoren im Zusammenhang mit oberflächennaher Geothermie (verändert nach REINHARDT et al. 2004)

Prozess bzw. technische Anlage	Wirkfaktor	Schutzgüter										Wirkraum				Erläuterung											
		Kultur- u. Sachgüter	Mensch	Grundwasser	Oberflächenwasser	Boden	Pflanzen/Biotope	Tiere	Klima/Luft	Landschaftsbild	lokal	regional	überregional														
vorgelegte Prozesse (evtl. anderer Wirkraum)																											
Herstellung der Bauteile	Emissionen und Energiebedarf bei der Herstellung		t	t	t	t	t	t	t					x													
	Naturraumbeanspruchung		d	d	d	d	d	d	d					x													
baubedingte Wirkfaktoren																											
Bauteileeinrichtung	Flächenbelegung					t	t	t	t					t													
	Baubetrieb			t	t	t	t	t	t					x	x												
Bodenarbeiten bei Erdwärmekollektoren	Bodenaushub					t	t	t	t					x				baubedingte Beleuchtung									
	Geräuschemissionen		t											x													
Bohrungen bei flachen Erdwärmesonden und Brunnensystemen	Erschütterungen		t											x													
	Stoffliche Emissionen (Spülmittelzusätze, Öl- und Schmiermittel des Bohrers)			t		t	t	t	t					x													
	Schallemissionen		t															textl. Erläuterung s.o.									
	geomechanische Beeinflussung des Untergrundes		d						d									textl. Erläuterung s.o.									
anlagenbedingte Wirkfaktoren																											
Erdkollektoren/Erdsonden	Bodenumlagerung der Horizonte																										
						d								x													

Anhang 2: Wirkfaktoren im Zusammenhang mit dem Hot-Dry-Rock-Verfahren der tiefen Geothermie (verändert nach REINHARDT et al. 2004)

Prozess bzw. technische Anlage	Wirkfaktor	Schutzgüter										Wirkraum				Erläuterung
		Kultur- u. Sachgüter	Mensch	Grundwasser	Oberflächenwasser	Boden	Pflanzen/Biotope	Tiere	Klima/Luft	Landschaftsbild	lokal	regional	überregional			
vorgelagerte Prozesse (evtl. anderer Wirkraum)																
Herstellung der Bauteile	Emissionen bei der Herstellung der Bauteile			t	t	t	t	t	t				x			
	Naturraumbeanspruchung			d	d	d	d	d					x			
baubedingte Wirkfaktoren																
Baustelleneinrichtung Baubetrieb	Flächenbelegung				t	t	t	t	t			t	t	x		
	Stoffliche Emissionen			t	t	t					t		x	x		
	Geräuschemissionen		t								t		x			
	Erschütterungen		t								t		x			
	Licht		t								t		x			
Bohrungsaufschluss, -komplettierung	Stoffliche Emissionen (Spülmittelzusätze, Öl- und Schmiermittel des Bohrers)			t	t	t								x		
	Schallemissionen		t											x		
	Geomechanische Beeinflussung des Untergrundes		d			d								x		
anlagebedingte Wirkfaktoren																
oberirdische Anlagenteile (Geothermische Heizzentrale, Zufahrtswege)	Versiegelung			d		d	d	d	d					x		
	Bodenverdichtung, -abtrag, -umlagerung					d	d	d	d					x		

Fortsetzung Anhang 2: Wirkfaktoren im Zusammenhang mit dem Hot-Dry-Rock-Verfahren der tiefen Geothermie

Prozess bzw. technische Anlage	Wirkfaktor	Kultur- u. Sachgüter										Wirkraum			Erläuterung			
		Kultur- u. Sachgüter	Mensch	Grundwasser	Oberflächenwasser	Boden	Pflanzen/Biotope	Tiere	Klima/Luft	Landschaftsbild	lokal	regional	überregional					
oberirdische Anlage (Geothermische Heizzentrale, Zufahrtswege)	Veränderung und Beseitigung von Vegetation						d	d		d		x						
	visuelle Wahrnehmung									d		x						
	Barriere für wandernde Tierarten										d		x					
	betriebsbedingte Wirkfaktoren																	
oberirdische Anlage teile	stoffliche Emissionen						d	d	d									
	Geräuschemission									d		x						
	Elektromagnetische Felder									d		x						
	Kühlung der Abwärme mittels Oberflächenwasser						d			d		x						textl. Erläuterung s.o.
	Kühlung der Abwärme mittels Grundwasserentnahme	d					d			d		x						
unterirdische Anlage teile	Auskühlung des Untergrundes						d			d		x						
	Lösung von Salzen und Mineralien						d			d		x						
	Freisetzung gelöster Gase/ Veränderung des Boden-Gas- Gemisches	d								d	d	x						

t = temporäre Wirkung d = dauerhafte Wirkung x = trifft zu
eigene Ergänzungen farblich hervorgehoben

Fortsetzung Anhang 2: Wirkfaktoren im Zusammenhang mit dem Hot-Dry-Rock-Verfahren der tiefen Geothermie

Prozess bzw. technische Anlage	Wirkfaktor	Schutzgüter										Wirkraum			Erläuterung		
		Kultur- u. Sachgüter	Mensch	Grundwasser	Oberflächenwasser	Boden	Pflanzen/Biotope	Tiere	Klima/Luft	Landschaftsbild	lokal	regional	überregional				
Störfall	Freisetzung von Radioaktivität	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	x	x		da es sich um eine Wirkung im Störfall handelt, der wahrscheinlich nicht behoben werden kann, wird eine dauerhafte Wirkung		
	Verbindung mehrerer Grundwasserstockwerke durch die Bohrung			d								x	x				
	Einsickern von Oberflächenwasser durch das Bohrloch											x				da es sich um eine Wirkung im Störfall handelt, der behoben werden kann, wird eine temporäre Wirkung zugeordnet	
	Austritt des Wärmeträgermediums an die Erdoberfläche				t												
nachgelagerte Prozesse (evtl. anderer Wirkraum)																	
Anbindung an bestehendes Stromnetz	Flächeninanspruchnahme/ Versiegelung (Masten, Trafos, Umspannwerke)				d												
	Barriere für wandernde Vogelarten durch oberirdische Stromleitungen																
	visuelle Wahrnehmbarkeit																
	Elektromagnetische Felder																
Entsorgung	Emissionen bei der Entsorgung der Bauteile																
					t												

t = temporäre Wirkung d = dauerhafte Wirkung x = trifft zu
 eigene Ergänzungen farblich hervorgehoben

