

# Naturschutzfachliches Monitoring des Ausbaus der erneuerbaren Energien im Strombereich und Entwicklung von Instrumenten zur Verminderung der Beeinträchtigung von Natur und Landschaft („EE-Monitor“)



**Naturschutzfachliches Monitoring des Ausbaus  
der erneuerbaren Energien im Strombereich und  
Entwicklung von Instrumenten zur Verminderung  
der Beeinträchtigung von Natur und Landschaft  
(„EE-Monitor“)**

**Daniela Thrän  
Katja Bunzel  
Jana Bovet  
Marcus Eichhorn  
Christiane Hennig  
Rita Keuneke  
Pascal Kinast  
Reinhard Klenke  
Barbara Koblenz  
Christian Lorenz  
Stefan Majer  
David Manske  
Edith Massmann  
Gunnar Oehmichen  
Wolfgang Peters  
Matthias Reichmuth  
Magdalena Sophia Sachs  
Mattes Scheftelowitz  
Björn Schinkel  
Alexander Schiffler  
Miron Thylman**

**Titelbild:** Vogelschwarm vor Windrädern und Häusern (André Künzelmann, UFZ)

**Adressen der Autorinnen und der Autoren:**

Daniela Thrän (Projektleitung) Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ GmbH  
Katja Bunzel Permoserstraße 15, 04318 Leipzig  
Jana Bovet E-Mail: daniela.thraen@ufz.de, katja.bunzel@ufz.de

Marcus Eichhorn  
Reinhard Klenke  
David Manske  
Gunnar Oehmichen  
Magdalena Sophia Sachs  
Björn Schinkel

Stefan Majer Deutsches Biomasseforschungszentrum – DBFZ gGmbH  
Christiane Hennig Torgauer Str. 116, 04347 Leipzig  
Barbara Koblenz E-Mail: stefan.majer@dbfz.de  
Mattes Scheftelowitz

Rita Keuneke Ingenieurbüro Floecksmühle GmbH  
Edith Massmann Bachstr. 62-64, 52066 Aachen  
E-Mail: rita.keuneke@floecksmuehle-fwf.de

Christian Lorenz Leipziger Institut für Energie GmbH  
Matthias Reichmuth Lessingstraße 2, 04109 Leipzig  
Alexander Schiffler E-Mail: Christian.Lorenz@ie-leipzig.com

Pascal Kinast Bosch & Partner GmbH  
Wolfgang Peters Kantstr. 63a, 10627 Berlin  
Miron Thylmann E-Mail: p.kinast@boschpartner.de, w.peters@boschpartner.de

**Fachbetreuung im BfN:**

Jens Ponitka Fachgebiet II 4.3 „Erneuerbare Energien und Naturschutz“

Gefördert durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN) mit Mitteln des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (FKZ: 3515 82 2700).

Weitere Informationen gibt es auf der Projekt-Homepage <https://www.ufz.de/ee-monitor-app/>.

Diese Veröffentlichung wird aufgenommen in die Literaturdatenbank „DNL-online“ ([www.dnl-online.de](http://www.dnl-online.de)).

BfN-Skripten sind nicht im Buchhandel erhältlich. Eine pdf-Version dieser Ausgabe kann unter <http://www.bfn.de/skripten.html> heruntergeladen werden.

Institutioneller Herausgeber: Bundesamt für Naturschutz  
Konstantinstr. 110  
53179 Bonn  
URL: [www.bfn.de](http://www.bfn.de)

Der institutionelle Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des institutionellen Herausgebers übereinstimmen.



Diese Schriftenreihe wird unter den Bedingungen der Creative Commons Lizenz Namensnennung – keine Bearbeitung 4.0 International (CC BY - ND 4.0) zur Verfügung gestellt (<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/deed.de>).

Druck: Druckerei des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU).

Gedruckt auf 100% Altpapier

ISBN 978-3-89624-304-1

DOI 10.19217/skr562

Bonn - Bad Godesberg 2020

# Inhaltsverzeichnis

<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>8</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>10</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>15</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>17</b>
1.1 Hintergrund und Zielstellung des Forschungsvorhabens .....	17
1.2 Beschreibung des Monitoringkonzeptes.....	19
1.3 Elemente des Monitoringkonzeptes .....	20
1.3.1 Zielsystem-Monitoring .....	20
1.3.2 Konflikte und räumliche Entwicklung .....	20
1.3.3 Governance-Monitoring .....	21
1.4 Gliederung des Endberichts .....	21
1.5 Veröffentlichungen des Forschungsvorhabens .....	23
<b>2 Technologien und Daten</b> .....	<b>24</b>
2.1 Einleitung.....	24
2.2 Windenergieanlagen.....	25
2.2.1 Technologiesteckbrief.....	25
2.2.1.1 Bisherige technologische Entwicklung .....	25
2.2.1.2 Absehbare technologische Entwicklung .....	28
2.2.1.3 Räumliche Steuerung, Stromgestehungskosten und CO <sub>2</sub> - Emissionen.....	29
2.2.2 Datensatz .....	30
2.2.2.1 Datenquelle .....	30
2.2.2.2 Aufbau des Datensatzes .....	32
2.2.2.3 Ergebnisse.....	33
2.2.2.4 Fortführung des Datensatzes für Windenergieanlagen an Land .....	33
2.3 Photovoltaik-Freiflächenanlagen .....	34
2.3.1 Technologiesteckbrief.....	34
2.3.1.1 Bisherige technologische Entwicklung .....	34
2.3.1.2 Absehbare technologische Entwicklung .....	35
2.3.1.3 Räumliche Steuerung, Stromgestehungskosten und CO <sub>2</sub> - Emissionen.....	36
2.3.2 Datensatz .....	37
2.3.2.1 Datenquelle .....	37
2.3.2.2 Aufbau eines Datensatzes.....	37
2.3.2.3 Ergebnisse.....	39

2.3.2.4	Fortführung des Datensatzes für PV-Freiflächenanlagen.....	40
2.4	Bioenergieanlagen.....	41
2.4.1	Technologiesteckbrief.....	41
2.4.1.1	Bisherige technologische Entwicklung.....	41
2.4.1.2	Absehbare technologische Entwicklung .....	43
2.4.1.3	Räumliche Steuerung, Stromgestehungskosten und CO <sub>2</sub> - Emissionen .....	44
2.4.2	Datensatz.....	45
2.4.2.1	Datenquelle.....	45
2.4.2.2	Aufbau eines Datensatzes.....	45
2.4.2.3	Ergebnisse.....	46
2.4.2.4	Fortführung des Datensatzes für Bioenergieanlagen .....	46
2.5	Wasserkraftanlagen.....	47
2.5.1	Technologiesteckbrief.....	47
2.5.1.1	Bisherige technologische Entwicklung.....	47
2.5.1.2	Absehbare technologische Entwicklung .....	49
2.5.1.3	Räumliche Steuerung, Stromgestehungskosten und CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	50
2.5.2	Datensatz.....	51
2.5.2.1	Datenquelle.....	51
2.5.2.2	Aufbau eines Datensatzes.....	52
2.5.2.3	Ergebnisse.....	53
2.5.2.4	Fortführung des Datensatzes für Wasserkraft .....	54
2.6	Freileitungen und Erdkabel.....	54
2.6.1	Technologiesteckbrief.....	54
2.6.1.1	Bisherige technologische Entwicklung.....	54
2.6.1.2	Absehbare technologische Entwicklung .....	66
2.6.1.3	Räumliche Steuerung, Stromgestehungskosten und CO <sub>2</sub> - Emissionen .....	72
2.6.2	Datensatz.....	73
2.6.2.1	Datenquelle.....	73
2.6.2.2	Aufbau eines Datensatzes.....	73
2.6.2.3	Ergebnisse.....	75
2.6.2.4	Fortführung des Datensatzes für Freileitung und Erdkabel .....	77
2.7	Speichertechnologien .....	77
2.7.1	Technologiesteckbrief.....	77
2.7.1.1	Bisherige technologische Entwicklung.....	77
2.7.1.2	Absehbare technologische Entwicklung .....	78
2.7.1.3	Absehbare Marktdurchdringung .....	79
2.7.2	Datensatz.....	80

2.8	Fazit.....	81
<b>3</b>	<b>Identifikation der Konflikte .....</b>	<b>83</b>
3.1	Einleitung.....	83
3.2	Methodik.....	83
3.2.1	Konfliktableitung aus dem gesetzlichen Anforderungsrahmen.....	83
3.2.2	Konfliktableitung aus den Wirkungszusammenhängen auf Ökosysteme.....	85
3.3	Ergebnisse.....	87
<b>4</b>	<b>Zielsystem-Monitoring .....</b>	<b>90</b>
4.1	Zielsystem-Indikatoren einer naturverträglichen Energiewende.....	90
4.1.1	Effiziente Energienutzung.....	90
4.1.2	Erneuerbaren Energien an Gebäuden .....	91
4.1.3	Schonender und standortoptimierter Ausbau der Windenergie an Land.....	91
4.1.4	Bioenergie aus Rest- und Abfallstoffen .....	92
4.1.5	Naturverträglicher Ausbau der Wasserkraft .....	93
4.2	Zielsystem-Indikatoren im Überblick.....	94
4.3	Fazit.....	94
<b>5</b>	<b>Konflikt-Monitoring .....</b>	<b>95</b>
5.1	Einleitung.....	95
5.2	Auswahl der zu bearbeitenden Konflikte .....	97
5.2.1	Methodik.....	97
5.2.2	Ergebnis .....	98
5.2.3	Exkurs: Literaturrecherche zur Häufigkeit der Konflikte in der wissenschaftlichen Literatur .....	100
5.3	Langtexte zur Indikatorherleitung .....	104
5.3.1	Methodik.....	104
5.3.1.1	DPSIR-Ansatz .....	104
5.3.1.2	Indikatorherleitung.....	106
5.3.2	Ergebnisse.....	107
5.3.2.1	Individuenverluste von Fledermäusen an WEA durch Kollision mit den sich drehenden Rotorblättern und weiterer durch den Betrieb der Anlagen bedingter Ursachen .....	110
5.3.2.2	Individuenverluste von Vögeln durch Kollision mit der Windenergieanlage (vor allem mit den sich drehenden Rotorblättern) .....	125
5.3.2.3	Verlust von Biodiversität und Agrobiodiversität durch Verengung der Fruchtfolgen im Energiepflanzenanbau, Monokulturbildung und weitere Effekte .....	139
5.3.2.4	Verlust von Lebensräumen durch Grünlandintensivierung und -umbruch .....	160

5.3.2.5	Verlust von Brachflächen durch den Energiepflanzenanbau .....	175
5.3.2.6	Belastung von Oberflächengewässern und des Grundwassers durch Oberflächenabfluss (Silagesickersäfte, Gülle, Gärreste usw.) .....	188
5.3.2.7	Vogelkollision mit Freileitungen insbesondere mit den Blitzschutzseilen .....	195
5.3.2.8	Landschaftsbildbeeinträchtigung durch Masten und Leiterseile von Freileitungen .....	212
5.3.2.9	Beeinträchtigung der Durchgängigkeit für die Aquafauna bei der gerichteten Wanderung .....	218
5.3.2.10	Verlust spezifischer aquatischer Fließgewässerlebensräume durch Aufstau.....	229
5.3.2.11	Verlust von Lebensräumen und Beeinträchtigung von Arten durch Anlage der PV-Module.....	236
5.3.3	Bewertung der Datenverfügbarkeit und Aussagekraft der Indikatoren .....	245
<b>6</b>	<b>Raum-Monitoring .....</b>	<b>248</b>
6.1	Erfassung des räumlichen und strukturellen Ausbaus der erneuerbaren Energien .....	248
6.2	Technologiespezifische Messgrößen .....	248
6.2.1	Windenergie.....	250
6.2.2	Photovoltaik-Freiflächen .....	250
6.2.3	Bioenergie.....	251
6.2.4	Wasserkraft.....	252
6.2.5	Freileitungen .....	253
6.3	Technologieübergreifende Betrachtung und Möglichkeiten der Auswertung..	254
6.4	Webanwendung Web-GIS .....	256
6.5	Fazit .....	258
<b>7</b>	<b>Governance-Monitoring .....</b>	<b>259</b>
7.1	Die Berücksichtigung von Standortfragen und Naturschutzaspekten im EEG .....	259
7.1.1	Windenergie.....	260
7.1.2	Photovoltaik .....	261
7.1.3	Biomasseanlagen .....	262
7.1.4	Wasserkraft.....	263
7.1.5	Zwischenfazit .....	264
7.2	Die Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte im EEG-Monitoringbericht und im EEG-Erfahrungsbericht.....	264
7.2.1	Das EEG Monitoring nach § 98 EEG (EEG-Monitoringbericht).....	265
7.2.2	Der Erfahrungsbericht nach § 97 EEG (EEG-Erfahrungsbericht).....	266
7.3	Ausblick .....	266

<b>8</b>	<b>Diskussion Abschlussworkshop .....</b>	<b>268</b>
8.1	Abschlussworkshop Forschungsvorhaben EE-Monitor .....	268
8.2	Ergebnisse der Diskussion .....	269
8.2.1	Station 1: Konflikt-Monitoring.....	269
8.2.2	Station 2: Raum-Monitoring.....	271
8.2.3	Station 3: Governance-Monitoring.....	273
<b>9</b>	<b>Empfehlungen für die Implementierung eines naturschutzfachlichen Monitorings des Ausbaus der erneuerbaren Energien im Strombereich .....</b>	<b>275</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>279</b>



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Technologieentwicklung der Windenergie an Land nach Inbetriebnahmejahr.....	29
Tabelle 2:	Datenquellen der Windenergieanlagen nach Bundesländern. ....	30
Tabelle 3:	Technologieentwicklung der Photovoltaik auf Basis kristallinen Siliziums. ....	36
Tabelle 4:	Entwicklung der Jahresarbeit Wasserkraft mit und ohne Direktvermarktung .....	48
Tabelle 5:	Stromkreislängen (km) je Spannungsebene in den Jahren 2007-2016 .....	56
Tabelle 6:	Durchschnittswerte für die Abmessungen von Standard-Masttypen für 380-kV-Leitungen.....	62
Tabelle 7:	Verkabelungsgrad je Spannungsebene .....	64
Tabelle 8:	Arbeitsschritte bei der Kabelanlage in offener Bauweise. ....	65
Tabelle 9:	Beispielwerte für Graben-, Schutzstreifen- und Baurassenbreite von HDÜ- und HGÜ-Erdkabeltrassen .....	66
Tabelle 10:	Unterirdisch geplante Leitungsvorhaben in Gleichstromtechnik aus dem BBPIG.....	67
Tabelle 11:	Maßnahmen des Netzausbaus und der Netzverstärkung im Übertragungsnetz gem. BBPIG und EnLAG sowie ermittelter Bedarf des Netzausbaus auf Verteilnetzebene .....	70
Tabelle 12:	Vergleich der Daten für die Leitungslängen (km) des BDEW, der BNetzA und des OSM. ....	74
Tabelle 13:	Attribute des aus OSM generierten Geodatensatzes zur Abbildung des Stromnetzes in Deutschland.....	75
Tabelle 14:	Freileitungskilometer auf der Hoch- und Höchstspannungsebene in km. ....	75
Tabelle 15:	Physikalisch-energetische Einteilung von Stromspeichern. ....	77
Tabelle 16:	Technologie-Reifegrad (TRL) ausgewählter Stromspeicher .....	77
Tabelle 17:	Aktueller Stand und erwartete technische und ökonomische Entwicklung von Blei-Säure-Batterien. ....	78
Tabelle 18:	Aktueller Stand und erwartete technische und ökonomische Entwicklung von Lithium-Ionen-Batterien. ....	78
Tabelle 19:	Aktueller Stand und erwartete technische und ökonomische Entwicklung von Redox-Flow-Batterien.....	79
Tabelle 20:	Aktueller Stand und erwartete technische und ökonomische Entwicklung von Pumpspeicherkraftwerken .....	79
Tabelle 21:	EE-Anlagedaten im Vergleich zur Erneuerbaren-Energien-Statistik. ....	82
Tabelle 22:	Identifizierte Konflikte zwischen dem Ausbau der EE und Natur und Landschaft. ....	87
Tabelle 23:	Zusammenfassende Darstellung der Zielsystem-Indikatoren. ....	94

Tabelle 24:	Post Hoc Vergleiche der Konfliktrelevanz zwischen den Technologien.....	99
Tabelle 25:	Rangfolge der zehn relevantesten Konflikte und des relevantesten Photovoltaik-Freiflächenanlagenkonflikt. ....	99
Tabelle 26:	Anzahlen der als relevant eingeordneten Studien pro Technologie mit und ohne Dopplungen durch die Zuordnung zu mindestens zwei Konflikten sowie dem Zeitrahmen der Veröffentlichungen .....	101
Tabelle 27:	Anzahlen der als relevant eingeordneten Studien pro naturschutzfachlichen Konflikt und Vergleich der Ergebnisse aus Literaturrecherche und expertenbasierter Priorisierung. ....	103
Tabelle 28:	Felder im Indikatorsteckbrief und deren Bedeutung. ....	107
Tabelle 29:	Kollisionsempfindliche Fledermausarten und deren Anteil an Schlagopfern .....	110
Tabelle 30:	Radius um Fledermausjagdgebiete in denen der Hauptteil der Aktivität zur Wochenstubezeit stattfindet für kollisionsgefährdete Fledermausarten. Basierend auf der Entfernung der Jagdgebiete zu Wochenstuben und der Jagdgebietsgröße. ....	116
Tabelle 31:	Regressionsfunktion und Parameter für die abhängigen Variablen x in der Erklärung der Variable y – Indikator Artenvielfalt und Landschaftsqualität in der Agrarlandschaft .....	153
Tabelle 32:	Druck-Indikator Gewässerverschmutzung durch JGS im Zeitraum 2011 bis 2016. ....	190
Tabelle 33:	Indikator Wirksamkeit Umwallung nach AwSV deutschlandweit und auf Bundeslandebene im Zeitraum 2011 bis 2016.....	194
Tabelle 34:	Habitatstörungspotenziale und potenziell beeinflusste Populationsanteile.....	207
Tabelle 35:	Freileitungsquerungen und Überspannungen von Vogelschutzgebieten unter Berücksichtigung der freileitungsspezifischen Mortalitätsgefährdung .....	210
Tabelle 36:	Übersicht über die technologiespezifischen Messgrößen des Raum-Monitorings.....	249
Tabelle 37:	Verwendete Webtechnologien. ....	257

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Entwicklung der Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien. ....	17
Abbildung 2:	Schematische Darstellung des Monitoringkonzepts.....	19
Abbildung 3:	Schematische Darstellung des Monitoringelements „Konflikte“ .....	20
Abbildung 4:	Entwicklung der Windenergieanlagen an Land von 1990 bis 2017.....	25
Abbildung 5:	Entwicklung des durchschnittlichen Rotordurchmessers, Nabhöhe, Nennleistung sowie der Zubau der Anlagen von 1990 bis 2017.....	26
Abbildung 6:	Entwicklung der EEG-Förderung und mögliche Szenarien basierend auf den verschiedenen Revisionen des EEG. ....	27
Abbildung 7:	Entwicklung der Gebots- und Zuschlagswerte in den verschiedenen Ausschreibungsrunden für die Windenergieanlagen an Land.....	27
Abbildung 8:	Vollständigkeit des Datensatzes für Windenergieanlagen an Land.....	32
Abbildung 9:	Standorte der Windenergieanlagen im Jahr 2015.....	33
Abbildung 10:	Entwicklung der installierten Photovoltaik-Leistung von 2000 bis 2017.....	34
Abbildung 11:	Durchschnittlicher Flächenbedarf pro Megawatt installierte Leistung für PV-Freiflächenanlagen. ....	35
Abbildung 12:	EEG-Vergütung für Strom aus PV-Freiflächenanlagen nach dem Datum der Inbetriebnahme sowie mittlere Vergütung gemäß Ausschreibungsrunden der BNetzA. ....	35
Abbildung 13:	Standorte der Photovoltaik-Freiflächenanlagen im Jahr 2015.....	40
Abbildung 14:	Entwicklung des Biogasanlagenbestandes in Deutschland vor der energiepolitischen Förderung 1991.....	43
Abbildung 15:	Umsetzung von Maßnahmen zur Effizienzsteigerung von Biogasanlagen.....	44
Abbildung 16:	Standorte der Bioenergieanlagen im Jahr 2015.....	46
Abbildung 17:	Aufbau einer Wasserkraftanlage.. ..	47
Abbildung 18:	Jahresarbeit und installierte Leistung aller Wasserkraftanlagen. ...	48
Abbildung 19:	Standorte der Wasserkraftanlagen im Jahr 2015. ....	53
Abbildung 20:	Investitionen der Netzbetreiber in den Jahren 1991-2015.....	55
Abbildung 21:	Entwicklung der Stromkreislängen der öffentlichen Versorgung in Deutschland 1950-2000.....	56
Abbildung 22:	Entwicklung eingespeister Jahresarbeit in prozentualen Anteilen (Gesamteinspeisung der EE = 100 %) von EEG-vergütungsfähigen Anlagen je Spannungsebene.....	58
Abbildung 23:	Installierte EE-Leistung nach Spannungsebenen zum 31.12.2015.....	59

Abbildung 24:	Auslegung und Bemessung einer Freileitungstrasse für die Hoch- und Höchstspannungsebene.....	60
Abbildung 25:	Übliche Bauformen der Masten im deutschen Stromnetz.....	61
Abbildung 26:	Einer von zwei Arbeitsstreifen in Raesfeld.....	65
Abbildung 27:	Regelgrabenprofil eines 380-kV-Kabelgrabens. ....	66
Abbildung 28:	Vergleich von Donaumasts und Freileitungskonzept compactLine.	68
Abbildung 29:	Einebenen-Anordnung der Leiterseilbündel mit zwei Tragseilen ....	69
Abbildung 30:	Stand des Ausbaus von Leitungsvorhaben nach dem Energieleitungsausbaugesetz und dem Bundesbedarfsplangesetz zum dritten Quartal 2016. ....	71
Abbildung 31:	Freileitungen der Hoch- und Höchstspannungsebene und deren räumliche Verteilung in 2016. ....	76
Abbildung 32:	Marktreife verschiedener Speichertechnologien .....	80
Abbildung 33:	Übersichtskarte der bestehenden und geplanten Pumpspeicherkraftwerke in Deutschland.....	81
Abbildung 34:	Entwicklung der installierten Leistung der erneuerbaren Energien des im Rahmen des Forschungsvorhabens aufgebauten Datenbestands. ....	82
Abbildung 35:	Übersicht über die Beziehungen zwischen infrastrukturellen Einrichtungen und Störungen und deren Auswirkungen auf die Lebensraumfunktion für Tiere. ....	86
Abbildung 36:	Boxplots der Konfliktrelevanz gruppiert nach der Technologie. n ist die Anzahl der Konflikt-Teilnehmenden Kombinationen pro Technologie. ....	98
Abbildung 37:	Boxplots der Konfliktrelevanz.....	100
Abbildung 38:	Anzahl der Veröffentlichungen empirischer Studien pro Technologie und Jahr.....	102
Abbildung 39:	Anzahl empirischer Studien pro Journal ab einem Schwellenwert von 6. ....	103
Abbildung 40:	Beziehungen der Autoren zueinander.....	104
Abbildung 41:	Das DPSIR-Schema für das Berichtswesen über Umweltprobleme. ....	105
Abbildung 42:	Potenziell beeinflusster Populationsanteil und Habitatstörungspotenzial für ganz Deutschland der Vogelarten aus dem Helgoländer Papier.....	138
Abbildung 43:	EEG-Biogasanlagen in Deutschland (2016 auf der Basis vorläufiger Zahlen; 2014 bis 2016 ohne Größenklassierung). ....	147
Abbildung 44:	Standorte der in Betrieb befindlichen Biogasanlagen (Vor-Ort-Verstromung) in Deutschland. ....	148
Abbildung 45:	Anteil der Maisfläche an der landwirtschaftlich genutzten Fläche 2010 in einem Raster mit 5 km Weite.....	148
Abbildung 46:	Indikator "Artenvielfalt und Landschaftsqualität": Teilindikator "Agrarland". ....	150

Abbildung 47:	Landwirtschaftlich genutzte Fläche mit Brache und konjunktureller Stilllegung sowie Dauergrünland.....	151
Abbildung 48:	Zeitlicher Verlauf der Werte des Quotienten $Q_{SR BD}$ im Vergleich mit dem empfohlenen Zielwert (blau). .....	152
Abbildung 49:	Regression zwischen dem Quotienten $Q_{SR BD}$ und dem Teilindikator Agrarlandschaft des Nachhaltigkeitsindikators „Artenvielfalt und Landschaftsqualität“ (Abbildung 46). .....	153
Abbildung 50:	Prozentuale Änderung des Energiepflanzenanbau-zu-Extensivflächen-Quotient $\Delta Q_{SR BD}$ .....	156
Abbildung 51:	Mögliche Entwicklung der installierten elektrischen Anlagenleistung von Biogas-Vor-Ort-Verstromung bei Stilllegung der Anlagen nach Auslauf der Förderzeitraumes. ....	159
Abbildung 52:	Stickstoffhaushalt der Wiesentypen und Gesellschaftswandel infolge der Stickstoffdüngung, mit Angabe von Arten, welche für die verschiedenen Assoziationstypen sind.....	162
Abbildung 53:	Schema eines Modells zur Flächenbedarfsabschätzung .....	163
Abbildung 54:	Flächenentwicklung des Dauergrünlands in Deutschland und sein prozentualer Anteil an der landwirtschaftlich genutzten Gesamtfläche .....	165
Abbildung 55:	Flächendifferenz zwischen dem Mittel der Jahre 1995-99 und dem Jahr 2013 für die landwirtschaftlich genutzten Gesamtfläche, die Ackerfläche, die Silomais-/Grünmaisfläche und die Dauergrünlandfläche der Bundesländer. ....	166
Abbildung 56:	Entwicklung der Anbauflächen von Silo- und Grünmais in der BRD. ....	166
Abbildung 57:	Teilindikator „Agrarland“ des Indikators „Artenvielfalt und Landschaftsqualität“. Arten des Teilindikators: Rotmilan, Kiebitz, Uferschnepfe, Steinkauz, Neuntöter, Heidelerche, Feldlerche, Braunkehlchen, Grauammer, Goldammer .....	168
Abbildung 58:	Habitatpräferenzen bei der Nahrungssuche von Agrarvögeln während der Brutzeit in Deutschland.....	169
Abbildung 59:	Zusammenfassung der Bestandstrends 1991 bis 2010 der 30 häufigsten sowie von zwei ausgewählten sehr seltenen, typischen Arten der Agrarlandschaft, geordnet nach grundsätzlichem Kurvenverlauf. ....	170
Abbildung 60:	Regression zwischen den Quotienten $Q_{SR BR}$ und dem Teilindikator Agrarlandschaft des Nachhaltigkeitsindikators „Artenvielfalt und Landschaftsqualität“. .....	171
Abbildung 61:	Mittlere Siedlungsdichte der Brutvögel aller Projektflächen. ....	176
Abbildung 62:	Veränderungen der Vegetationsdecke und Anzahl acht Jahre nach Aufgabe der Ackernutzung. ....	177
Abbildung 63:	Überwinterung verschiedener Arthropodengruppen an vier naturnahen Flächen und jeweils vier angrenzenden Ackerflächen.....	177

Abbildung 64:	Entwicklung der Stilllegungsflächen und Anbauflächen nachwachsender Rohstoffe (ha) in Deutschland .....	178
Abbildung 65:	Entwicklung der Anbauflächen nachwachsender Rohstoffe (in 1.000 ha) in Deutschland. ....	179
Abbildung 66:	Entwicklung der Anbaufläche für Mais (in 1.000 ha) in Deutschland. ....	180
Abbildung 67:	Schema eines Modells zur Flächenbedarfsabschätzung. ....	181
Abbildung 68:	Stillgelegte landwirtschaftliche Fläche/Brache in Deutschland 2004 bis 2017.....	182
Abbildung 69:	Teilindikator „Agrarland“ des Indikators „Artenvielfalt und Landschaftsqualität“ .....	184
Abbildung 70:	Habitatpräferenzen bei der Nahrungssuche von Agrarvögeln während der Brutzeit in Deutschland .....	185
Abbildung 71:	Darstellung unterschiedlicher Beispiele von Naturschutzbrachen	186
Abbildung 72:	Bundesweite Unfallmenge gesamt der Stoffart JGS sowie nicht wiedergewonnene Menge in Abhängigkeit der Anzahl der Unfälle im Zeitraum 2011 bis 2016. ....	190
Abbildung 73:	Ökologischer Zustand der Gewässerkategorien in Deutschland (UBA 2017b). ....	192
Abbildung 74:	Schema zur Ableitung der vorhabentypspezifischen Mortalitätsgefährdung. ....	199
Abbildung 75:	Vorgehensweise für die Ermittlung des Habitatstörungspotenzials in potenziellen Brutzeitlebensräumen durch Windkraftanlagen. ....	201
Abbildung 76:	Mittleres Habitatstörungspotenzial in potenziellen Brutzeitlebensräumen mortalitätsgefährdeter Vogelarten durch Freileitung. ....	209
Abbildung 77:	Freileitungsquerungen der Hoch- und Höchstspannungsebene in Vogelschutzgebieten, differenziert nach dem vorhabensspezifischen Mortalitätsindex. ....	211
Abbildung 78:	Wirkfaktor „Rauminanspruchnahme oberirdisch (Mast)“.....	212
Abbildung 79:	Wirkfaktor „Oberirdische Rauminanspruchnahme“ über Wald mit ökologischen Trassenmanagement. ....	213
Abbildung 80:	Bauwerksstandort mit Ausleitungskraftwerk. ....	220
Abbildung 81:	Gesamtüberlebensrate p abwandernder Fische in vielfach gestauten Gewässern. ....	222
Abbildung 82:	Stand der Klassifikation der hydromorphologischen Qualitätskomponenten Morphologie, Wasserhaushalt und Durchgängigkeit in Fließgewässerstrecken Deutschlands.....	224
Abbildung 83:	Ökologischer Zustand/Potenzial - Fische.....	226
Abbildung 84:	Parameter des Berechnungsmodells zur Abbildung des Lebenszyklus des Atlantischen Lachses.....	227
Abbildung 85:	Staubereich einer Wasserkraftanlage .....	231

Abbildung 86:	Ökologischer Zustand der biologischen Qualitätskomponenten in den natürlichen Fließgewässern Deutschlands. ....	233
Abbildung 87:	Datenverfügbarkeit der ermittelten Indikatoren. ....	245
Abbildung 88:	Aussagekraft der ermittelten Indikatoren.....	246

## Zusammenfassung

Seit Inkrafttreten des Stromeinspeisegesetzes im Jahr 1991 und des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2000 entwickeln sich die erneuerbaren Energien (EE) insbesondere im Strombereich rasant. Wurden im Jahr 1990 nur ca. 19 TWh Strom aus EE erzeugt, waren es im Jahr 2017 schon ca. 216 TWh. EE nehmen nach Braun- und Steinkohle damit den zweiten Rang im deutschen Strommix ein. Ihr Anteil am Bruttostromverbrauch lag im Jahr 2017 bereits bei ca. 36 %. Ein weiterer kräftiger Ausbau ist notwendig, um bis zum Jahr 2050 den Zielwert von 80 % Anteil am Bruttostromverbrauch zu erreichen.

Die Notwendigkeit des Umbaus des Energiesystems sowie die positiven Effekte der EE für die Reduktion von Treibhausgasemissionen sind unstrittig. Klimaschutz ist eine wichtige Voraussetzung für den Erhalt von Natur und Landschaft und trägt dazu bei, das Überleben von Arten langfristig zu sichern. Galten EE lange Zeit als per se umweltfreundlich, so treten mit zunehmendem Ausbau Auswirkungen auf Natur und Umwelt deutlicher zu Tage, die zu zunehmenden Konflikten mit den Zielen des Naturschutzes führen können. Eine bundesweite, systematische und wiederkehrende Beschreibung, die die durch die Errichtung und den Betrieb von Anlagen zur Erzeugung und Übertragung von Strom aus EE verursachten Beeinträchtigungen von Natur und Umwelt bündelt, gibt es derzeit noch nicht. Ein solches Monitoring-System könnte unter anderem sowohl die nationale Berichterstattung zum Ausbau der EE um die Auswirkungen auf Natur und Landschaft erweitern als auch mittelfristig das Wirkungswissen schrittweise verbessern. Problematische Entwicklungen könnten damit frühzeitig erkannt und vermieden werden. Ziel des Forschungsvorhabens „Naturschutzfachliches Monitoring des Ausbaus der erneuerbaren Energien im Strombereich und Entwicklung von Instrumenten zur Verminderung der Beeinträchtigung von Natur und Landschaft“ war daher eine möglichst systematische Erfassung und Darstellung (Monitoring) der Entwicklungen und daraus folgenden Auswirkungen der EE zur Stromerzeugung (Windenergie, Photovoltaik, Bioenergie und Wasserkraft) sowie des zum Energietransport benötigten Stromnetzes insbesondere auf die Schutzgegenstände des Bundesnaturschutzgesetzes.

Im Forschungsvorhaben wurde ein systematisches, mehrteiliges Monitoringkonzept entwickelt, das es erstmals ermöglicht, deutschlandweit bestimmte Auswirkungen des EE-Ausbaus auf Natur und Landschaft abzubilden. Das Monitoringkonzept besteht aus den folgenden drei Elementen: Zielsystem-Monitoring, Konflikt- und Raum-Monitoring und Governance-Monitoring.

Im **Zielsystem-Monitoring** wurden die auf politischer Ebene definierten fünf zentralen Elemente für eine naturverträgliche Energiewende 2050 mit quantifizierbaren Zielsystem-Indikatoren hinterlegt und Zielen für das Jahr 2050 gegenübergestellt. Zeigen die Zielsystem-Indikatoren eine gegensätzliche Entwicklung zu den Zielen auf, sollte geprüft werden, ob Anpassungen in den Rahmenbedingungen zur EE-Stromerzeugung notwendig sind. Aussagen zur Betroffenheit von Natur und Landschaft durch den EE-Ausbau können allein anhand der Zielsystem-Indikatoren jedoch nicht abgeleitet werden. Hierzu bedarf es weiterer Monitoringelemente wie dem Konflikt- oder Raum-Monitoring.

Im Forschungsvorhaben erfolgte eine umfassende Zusammenstellung der Konflikte, welche sich zwischen dem EE-Ausbau und dem Naturschutz ergeben. Die 55 identifizierten Konflikte wurden einerseits aus dem gesetzlichen Anforderungsrahmen und andererseits aus den Wirkungszusammenhängen auf Ökosysteme abgeleitet. Über eine Befragung der Mitglieder der für das Forschungsvorhaben eingerichteten projektbegleitenden Arbeitsgruppe wurde eine Priorisierung der Konflikte anhand der Konfliktrelevanz vorgenommen. Im Rahmen des **Kon-**



**flikt-Monitorings** erfolgte dann die weitere Indikatorherleitung und vertiefte Bearbeitung zunächst für elf als am relevantesten identifizierte Konflikte. Mit Hilfe des DPSIR Ansatzes der Europäischen Umweltagentur wurde die gesamte kausale Kette (Driving force - Treiber, Pressure - Druck, State - Zustand, Impact – Auswirkung, Response - Reaktion) in der Beschreibung und Messung der Konflikte zwischen dem EE-Ausbau und dem Naturschutz berücksichtigt.

Aus den Ergebnissen der Indikatorherleitung ist ersichtlich, dass der Großteil der Indikatoren, welche den „Treiber“ (EEG-Ausbauziele) und den „Zustand“ der belasteten Schutzgegenstände beschreiben, mit Daten hinterlegt werden können bzw. die Daten mit geringem Aufwand öffentlich verfügbaren Quellen entnommen werden können. Jedoch entfalten diese Indikatorbereiche in Bezug auf die naturschutzbezogenen Auswirkungen nur eine geringe bis mittlere Aussagekraft. Insbesondere die Entwicklung des Zustandes unterliegt meistens vielen weiteren Einflüssen. Den Indikatoren für die Bereiche „Druck“, „Auswirkung“ und „Reaktion“ wird eine höhere Aussagekraft zugeschrieben, jedoch können diese derzeit nur teilweise direkt berechnet werden, da die dafür notwendigen Daten entweder nicht vorliegen oder nicht öffentlich zugänglich sind. Insbesondere die „Auswirkungs“-Indikatoren sind unabdingbar für eine Quantifizierung der Auswirkungen, erfordern jedoch teilweise aufwendige Erhebungen und Berechnungen bzw. Modellierungen. Sie sind in ihrer Komplexität und unter der Berücksichtigung statistischer Unsicherheiten nur bedingt für die politische Kommunikation oder Ableitung von Maßnahmen geeignet.

Im Bereich der „Druck“-Indikatoren bieten räumliche Analysen und Messgrößen die Möglichkeit, die potenziellen Belastungen auf die verschiedenen Schutzgegenstände zu beschreiben und damit auf Basis möglichst vollständiger Technologie-Datenbanken flächendeckende Informationen zum räumlichen und strukturellen Ausbau der EE und deren Stromnetzes im Zeitverlauf bereitzustellen. Dies wurde im Forschungsvorhaben im Rahmen des **Raum-Monitoring** umgesetzt. Die entwickelten Messgrößen ermitteln anhand von transparenten und reproduzierbaren Methoden u. a. wo die EE-Anlagen stehen, welchen Abstand sie z. B. zu Schutzgebieten einnehmen (Entfernungen) und wie viele Anlagen in einem Bezugsraum errichtet wurden. Die Messgrößen stehen zwar nicht in einem unmittelbar kausalen Zusammenhang mit den Auswirkungen, generieren dennoch wichtiges Grundwissen zur Entwicklung der EE im Raum, was über die reine Berichterstattung von Anlagenbestandzahlen hinausgeht. Eine wesentliche Voraussetzung für die Bestimmung der Messgrößen bilden im Forschungsvorhaben erstellte konsistente, räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Datensätze zu EE-Anlagen (Wind, Photovoltaik, Biomasse, Wasserkraft) sowie zu Freileitungen und Erdkabeln in Deutschland. Die Datensätze wurden in zwei Datenartikeln veröffentlicht und somit der Forschung und einer interessierten Öffentlichkeit frei zugänglich gemacht.

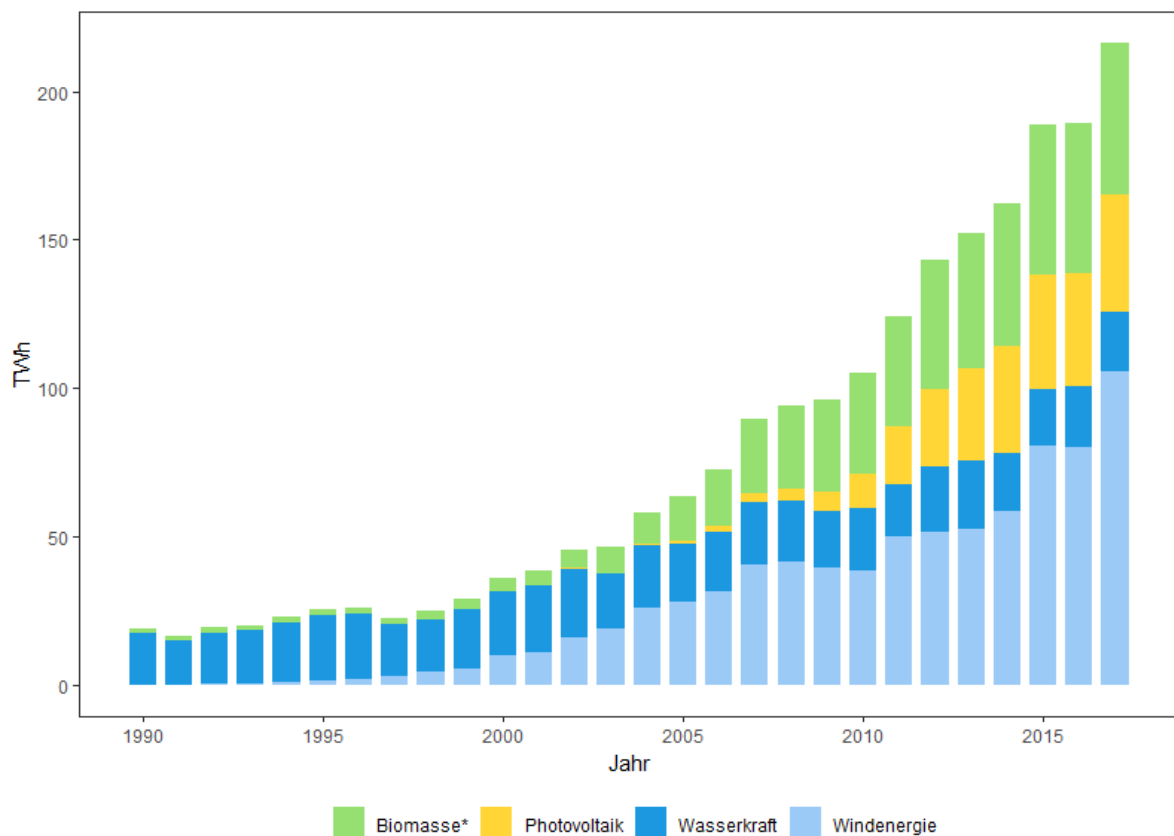
Die Schnittstelle zwischen der politisch-administrativen Steuerung des EE-Ausbau und der tatsächlichen Realisierung der Anlagen im Raum bildet das **Governance-Monitoring**. Im Rahmen dieses Monitoringelementes sollte kontinuierlich überprüft werden, ob und wenn ja, wie eine räumliche Steuerung der EE durch das EEG erfolgt und wie die Interessen des Naturschutzes dabei Berücksichtigung finden. Im Hinblick auf das DPSIR Schema adressiert das Governance-Monitoring damit in Teilen den „Reaktions“-Indikator.

Das hier vorgeschlagene Monitoringsystem ist als ein „lernendes System“ zu begreifen und nicht als starres abgeschlossenes Berichtssystem. Für den Fall der Etablierung des Monitorings ist eine regelmäßige Überprüfung in Hinblick auf die Indikatoreauswahl und –passfähigkeit sowie die notwendige Datenbasis unerlässlich. Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens werden auf einer Webseite ([www.ufz.de/ee-monitor/](http://www.ufz.de/ee-monitor/)) veröffentlicht.

# 1 Einleitung

## 1.1 Hintergrund und Zielstellung des Forschungsvorhabens

Der Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland kann mittlerweile auf eine fast 30jährige Historie zurückblicken. Startpunkt war dabei das Inkrafttreten des Stromeinspeisegesetzes (StromEinspG) zum 01.01.1991, welches erstmals Elektrizitätsversorgungsunternehmen verpflichtete Strom aus erneuerbaren Quellen abzunehmen und zu vergüten. Im Jahr 2000 wurde das StromEinspG dann vom Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) abgelöst, welches nicht nur die bevorzugte Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien regelte, sondern zudem auch feste Einspeisevergütungen garantierte. Seitdem entwickeln sich die erneuerbaren Energien insbesondere im Strombereich rasant (Abbildung 1). Wurden im Jahr 1990 nur ca. 19 TWh Strom aus erneuerbaren Energien erzeugt, waren es im Jahr 2017 schon ca. 216 TWh. Erneuerbare Energien nehmen nach Braun- und Steinkohle damit den zweiten Rang im deutschen Strommix ein (BMWi 2018c). Ihr Anteil am Bruttostromverbrauch lag im Jahr 2017 bereits bei ca. 36 %. Ein weiterer kräftiger Ausbau ist notwendig, um bis zum Jahr 2050 den Zielwert von 80 % Anteil am Bruttostromverbrauch zu erreichen (EEG 2017).



\*feste und flüssige Biomasse, Biogas, Biomethan, Deponie- und Klärgas, Klärschlamm, biogener Anteil des Abfalls

Abbildung 1: Entwicklung der Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien. Eigene Darstellung nach BMWi (2019).

Die Notwendigkeit des Umbaus des Energiesystems sowie die positiven Effekte der erneuerbaren Energien für die Reduktion von Treibhausgasemissionen sind unstrittig. Klimaschutz ist eine wichtige Voraussetzung für den Erhalt von Natur und Landschaft und trägt dazu bei, das Überleben von Arten langfristig zu sichern. Galten erneuerbare Energien (EE) lange Zeit per se als umweltfreundlich, so treten mit zunehmendem Ausbau Auswirkungen auf Natur

und Umwelt deutlicher zu Tage, die zu zunehmenden Konflikten mit den Zielen des Naturschutzes führen können. So zeigte bereits im Jahr 2005 eine Literaturstudie des NABU die beobachteten und weiterhin zu erwartenden Auswirkungen des Ausbaus der EE, insbesondere der Windenergie, auf Vögel und Fledermäuse (Hötker et al. 2005). Die Quellen der EE sind durch eine geringere Energiedichte als fossile Energieträger gekennzeichnet. Der Ausbau der Nutzung der EE geht daher insgesamt mit einem deutlich höheren Flächenbedarf sowie einer breiter gestreuten und weit in den Raum hineinreichenden Wirkung (z. B. Landschaftsbildveränderung) einher.

Während die energiewirtschaftlichen Implikationen des Ausbaus der EE in Deutschland detailliert berichtet werden (Monitoring-Prozess "Energie der Zukunft"), beachtet man die Effekte auf Natur und Landschaft zwar bei Planung und Betrieb der einzelnen Anlage bzw. eines einzelnen Windparks, die summierten Auswirkungen auf Bundesebene werden jedoch bisher nicht regelmäßig und systematisch erfasst. Vielfältiges Wissen um den Rückgang der Artenvielfalt (Sudfeldt et al. 2013) sowie den Zustand und die Veränderung der Lebensräume (BfN 2015) ist vorhanden. Ebenso besteht ein gutes Wissen über die Wirkzusammenhänge der EE Technologien auf einzelne Schutzgegenstände. Dies basiert aber bisher zumeist auf einzelnen, zeitlich begrenzten Forschungsprojekten. So ist zum Beispiel die Kollision von Fledermäusen und Greifvögeln an Windenergieanlagen in systematischen Studien untersucht (Brinkmann et al. 2011b; Behr et al. 2015; Grünkorn et al. 2016). Die Ergebnisse lassen jedoch keinen Rückschluss über die tatsächlichen Auswirkungen auf die Populationen der betroffenen Arten oder regionale Konfliktschwerpunkte zu. Ebenso eingeschränkt sind Informationen zur Agrarlandentwicklung: Seit 1990 sind in Deutschland ca. 15 % der Grünlandflächen umgewidmet worden, die Hälfte davon für den Maisanbau (Flessa et al. 2012). Ein Zusammenhang mit dem Verlust der Agrobiodiversität, besonders auf Maisanbauflächen, wird vermutet (Jerrentrup et al. 2017). Zahlen, in welchem Umfang dies durch Biogasanlagen ausgelöst wurde, liegen nicht vor. Die Auswirkungen zu verstehen und zu überwachen ist wichtig, insbesondere da Deutschland in internationalen Vereinbarungen Verantwortung für den Erhalt der biologischen Vielfalt übernommen hat (BMU 2007).

Eine systematische und wiederkehrende Beschreibung, welche die durch die Errichtung und den Betrieb von Anlagen zur Erzeugung und Übertragung von Strom aus erneuerbaren Energien verursachten Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft bündelt, gibt es derzeit noch nicht. Ein solches Monitoringsystem könnte unter anderem sowohl die nationale Berichterstattung zum Ausbau der EE um die Auswirkungen auf Natur und Landschaft erweitern als auch mittelfristig das Wirkungswissen schrittweise verbessern. Problematische Entwicklungen könnten damit frühzeitig erkannt und vermieden werden. Diese Lücke wurde vom Bundesamt für Naturschutz identifiziert und durch das Forschungsvorhaben „Naturschutzfachliches Monitoring des Ausbaus der erneuerbaren Energien im Strombereich und Entwicklung von Instrumenten zur Verminderung der Beeinträchtigung von Natur und Landschaft“ (Kurztitel: EE-Monitor) adressiert.

Ziel dieses Forschungsvorhabens war eine möglichst systematische Erfassung und Darstellung (Monitoring) der Entwicklungen und daraus folgenden Auswirkungen der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung (Windenergie, Photovoltaik, Bioenergie und Wasserkraft) sowie des zum Energietransport benötigten Stromnetzes insbesondere auf die Schutzgegenstände des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG).

## 1.2 Beschreibung des Monitoringkonzeptes

Ein Monitoringsystem, das die naturschutzfachlichen Auswirkungen der Errichtung und des Betriebes von EE Anlagen sowie deren Stromnetzes beschreibt, sollte eine ganzheitliche Betrachtung anstreben. Das bedeutet, dass hier, soweit möglich, der gesamte Zusammenhang aus

- Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen
- Ausbau erneuerbarer Energien
- räumlicher und zeitlicher Entwicklung des Ausbaus der verschiedenen Technologien
- Beeinträchtigung von Natur und Landschaft und
- Reaktion von Politik und Gesellschaft

betrachtet werden sollte (Abbildung 2). Die Elemente Energieverbrauch, (erneuerbare) Energieerzeugung und anlagen- bzw. betriebsbedingte Konflikte stehen dabei in einem kausalen Zusammenhang. Ihre Entwicklungen müssen kontinuierlich beobachtet werden, um negative Trends frühzeitig zu identifizieren und Strategien zu entwickeln, die auch ein politisches Gegensteuern ermöglichen können. Vor diesem Hintergrund wurde im Forschungsvorhaben ein mehrteiliges Monitoringkonzept entwickelt: Zielsystem – Konflikte – Governance (Abbildung 2). Die einzelnen Komponenten des Konzeptes werden im Folgenden kurz vorgestellt.

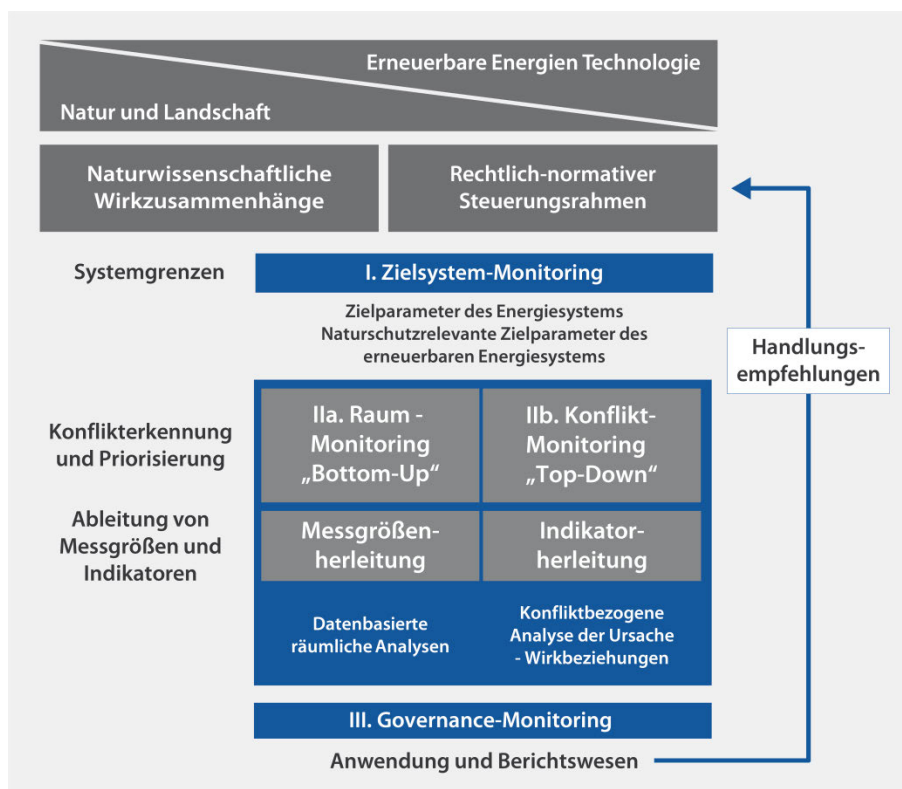


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Monitoringkonzeptes. Eigene Darstellung.

## 1.3 Elemente des Monitoringkonzeptes

### 1.3.1 Zielsystem-Monitoring

Eine naturverträgliche Energiewende ist, neben den direkten Interaktionen zwischen Anlagen zur Erzeugung und Übertragung von Strom aus erneuerbaren Energien und den betroffenen Schutzgegenständen, auch von energiesystemischen Rahmenbedingungen abhängig. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit hat 2017 auf der Grundlage von Forschungsergebnissen des Bundesamtes für Naturschutz zu „Naturschutz und Erneuerbare Energien“ fünf Leitlinien formuliert, die Anhaltspunkte für eine naturverträgliche Energiewende 2050 bieten. Diese Leitlinien werden im Kontext des Zielsystem-Monitorings aufgegriffen, weitergedacht und als Zielsystem-Indikatoren abgebildet (Kapitel 4). Die Darstellung der Indikatoren erfolgt als quantitative Größe, die einem Zieltrend oder -wert für das Jahr 2050 gegenübergestellt wird.

### 1.3.2 Konflikte und räumliche Entwicklung

Im zweiten Teil „Konflikte“ wurden zwei gegenläufige Ansätze verfolgt (Abbildung 3). Zum einen die „Top-down“ Sicht (Monitoring wesentlicher Konflikte zwischen einzelnen Teilzielen des Naturschutzes sowie bisher bekannter spezifischer Auswirkungen der verschiedenen EE-Technologien, die den Zielen zuwiderlaufen, kurz: „Konflikt-Monitoring“), bei der die methodisch-strukturelle Entwicklung eines hinsichtlich der inhaltlichen Aussage konsistenten und in Bezug auf die Abdeckung verschiedener Aspekte möglichst umfassenden Indikatorsystems im Vordergrund steht (Kapitel 5). Zum anderen die „Bottom-up“ Sicht („Raum-Monitoring“), bei der von den aktuellen Gegebenheiten, insbesondere der Datenverfügbarkeit, ausgegangen wird und grundlegende Informationen zusammengestellt werden, wie die EE-Anlagen im Zeitverlauf im Raum verteilt sind. Zudem wird geprüft, welche Daten und Analysen zur Verfügung stehen bzw. generiert werden können, die in einer inhaltlichen Nähe zu den im Monitoring adressierten Konflikten stehen, um die methodisch konsistente Indikatorherleitung zu unterstützen (Kapitel 6).

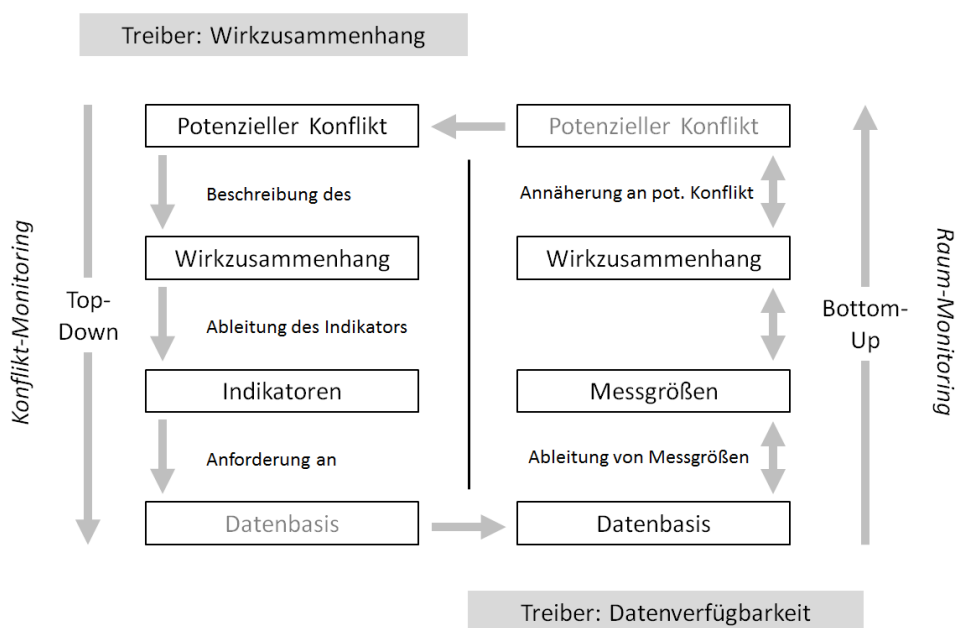


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Monitoringelements „Konflikte“. Eigene Darstellung.

## „Top-Down“-Ansatz – Konflikt-Monitoring

Ziel dieses Ansatzes ist es, ein möglichst umfassendes und, bezogen auf die kausalen Wirkzusammenhänge, konsistentes Indikatorsystem aufzubauen. Den methodischen Rahmen bildet dabei der für Umweltmonitoring in Europa weithin verwendete Diving forces-Pressures-States-Impacts-Responses (DPSIR) Ansatz (siehe hierzu Abschnitt 5.3.1.1). Die zu den jeweiligen Kategorien (Treiber, Druck, Zustand, Auswirkung, Reaktion) gehörigen Indikatoren werden dabei spezifisch für den jeweiligen potenziellen naturschutzfachlichen Konflikt abgeleitet. Das bedeutet, dass die Indikatoren so gestaltet werden, dass diese den Wirkzusammenhang, im Hinblick auf die für die jeweilige Kategorie relevanten Aspekte, mit möglichst hoher Aussagekraft abbilden können. Die aktuelle Datenverfügbarkeit spielt bei diesem Vorgehen zunächst eine untergeordnete Rolle. Es wird aufgezeigt, welche Daten zur Quantifizierung potenzieller Indikatoren in den fünf Kategorien benötigt werden. Davon ausgehend lassen sich Schussfolgerungen bezüglich ggf. notwendiger Datenerhebungen oder weitergehender Forschungsbedarfe ziehen.

## „Bottom-Up“-Ansatz – Raum-Monitoring

Das Raum-Monitoring beschreibt die Lage bzw. Lageänderung der EE in der Landschaft im Zeitverlauf. Prinzipiell werden damit die von der Errichtung erneuerbarer Energien ausgehenden, generellen Belastungen (Druck, in Anlehnung an das DPSIR Schema) auf Natur und Landschaft dargestellt. Dabei wird zunächst geschaut, wie die technischen Infrastrukturen der EE sich im Raum verteilen. Dabei kommt es, mit Ausnahme der Bioenergie, zumeist erstmals zu einer räumlichen Überlagerung zweier Landnutzungsformen. Wo und auf welchen Landnutzungsformen stehen die Anlagen also und wie verhalten sie sich räumlich zu den verschiedenen Schutzgegenständen (z. B. Vorkommen von seltenen Arten) und Instrumenten des Naturschutzes (z. B. Lage zu oder in Schutzgebieten verschiedener Kategorien)? Diese deskriptiven Auswertungen nutzen die aktuell zur Verfügung stehenden Daten und beschreiben allgemeine Aspekte des Systems. Auch hier bilden die potenziellen Konflikte mit dem Naturschutz den Rahmen für die Analysen. Die hier generierten Messgrößen erlauben die Beschreibung von Lagebeziehungen und deren Änderungen. Ihre Aussagen sind aber in der Regel nicht konfliktspezifisch bzw. ihre Aussagetiefe ist begrenzt, da die spezifischen Wirkzusammenhänge hier nicht oder nur zum Teil berücksichtigt werden können (Abbildung 3).

### 1.3.3 Governance-Monitoring

Im Rahmen des Monitoringkonzeptes bildet das Governance-Monitoring die Schnittstelle zwischen der politisch-administrativen Steuerung des EE-Ausbau und der tatsächlichen Realisierung der Anlagen im Raum. Im Zentrum der hier vorgenommenen Analyse steht exemplarisch die Frage, ob und wenn ja, wie eine räumliche Steuerung der EE durch das EEG erfolgt und wie die Interessen des Naturschutzes dabei Berücksichtigung finden. Dazu werden das EEG-Förderinstrumentarium sowie die im EEG geregelten Monitoringansätze (EEG-Monitoringbericht und EEG-Erfahrungsbericht) analysiert. Das Governance-Monitoring wird auf das EEG fokussiert, denn dieses wurde als der zentrale Treiber identifiziert. Im Hinblick auf das DPSIR Schema adressiert das Governance-Monitoring damit in Teilen den Reaktionsindikator.

## 1.4 Gliederung des Endberichts

Dieser Endbericht besteht aus neun Kapiteln. In **Kapitel 1** werden das Forschungsvorhaben

insgesamt, das entwickelte Monitoringkonzept sowie die Veröffentlichungen des Forschungsvorhabens vorgestellt.

In **Kapitel 2** werden zunächst die im Forschungsvorhaben untersuchten Technologien (Windenergie, Photovoltaik-Freiflächen, Bioenergie, Wasserkraft, Freileitungen und Erdkabel, Speichertechnologien) kurz vorgestellt sowie deren bisherige technologische Entwicklung analysiert und zukünftige technologische Weiterentwicklungen abgeschätzt. Zudem werden die Technologien im Zusammenhang mit planerischen, ökonomischen und klimarelevanten Faktoren betrachtet und diskutiert. Anschließend wird für jede Technologie die Erstellung eines räumlich expliziten Anlagen-Datensatzes beschrieben. Die Datensätze enthalten neben den im Raum verorteten Anlagestandorten auch Angaben zu z. B. Inbetriebnahmehjahr und installierter Anlagenleistung sowie technologiespezifische Angaben wie etwa die Nabenhöhe für Windenergieanlagen oder den Typ der Bioenergieanlage.

Die Herleitung der Konflikte zwischen Naturschutz und dem Ausbau der EE aus zwei unterschiedlichen Perspektiven (aus dem gesetzlichen Anforderungsrahmen, aus den Wirkungszusammenhängen auf Ökosysteme) wird in **Kapitel 3** beschrieben.

In **Kapitel 4** wird aufgezeigt, wie die fünf Leitlinien für eine naturverträgliche Energiewende 2050 im Kontext des Zielsystem-Monitorings aufgegriffen, weitergedacht und als Zielsystem-Indikatoren abgebildet wurden. Dabei wurde für jeden Zielsystem-Indikator ein Steckbrief erstellt, der kurz den Indikator beschreibt, die Berechnungsmethodik und Datengrundlage erläutert sowie die Berechnungsergebnisse in tabellarischer oder grafischer Form präsentiert. Die Steckbriefe zum Zielsystem-Monitoring befinden sich im Materialband zum Endbericht.

**Kapitel 5** ist der umfangreichste Teil des Endberichtes. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens konnte nicht für alle 55 identifizierten Konflikte eine nachvollziehbare Indikatorherleitung erfolgen. Daher wurden mit Hilfe einer Befragung der projektbegleitenden Arbeitsgruppe elf als „besonders relevant“ eingestufte Konflikte für die weitere Indikatorherleitung ausgewählt. Nach einer Erläuterung des DPSIR-Ansatzes erfolgt konfliktsspezifisch in Langtexten die fachliche Begründung der Indikatorherleitung für alle elf vertieft bearbeiteten Konflikte. Für zukünftige AnwenderInnen des Monitorings werden die ausführlichen Diskussionen in den Langtexten außerdem in Indikatorsteckbriefen verknüpft dargestellt. Diese finden sich im Materialband zum Endbericht.

In **Kapitel 6** wird erläutert, wie das Raum-Monitoring die räumliche und zeitliche Entwicklung der Anlagen zur Erzeugung und Übertragung von Strom aus erneuerbaren Energien quantitativ auf Grundlage der in Kapitel 2 beschriebenen Datensätze durch Messgrößen abbildet. Die technologiespezifischen Messgrößen sowie eine technologieübergreifende Betrachtung werden vorgestellt. Für jede Messgröße des Raum-Monitorings wurde ein Steckbrief erstellt, der neben einer Kurzbeschreibung der Messgröße, auch Angaben über die Berechnungsmethodik, die verwendeten Daten sowie Berechnungsergebnisse enthält. Die Steckbriefe zum Raum-Monitoring sind im Materialband zum Endbericht zusammengestellt.

Im Rahmen des Monitoringkonzeptes bildet das Governance-Monitoring die Schnittstelle zwischen der politisch-administrativen Steuerung des EE-Ausbaus und der tatsächlichen Realisierung der Anlagen im Raum. Im Zentrum der Analysen in **Kapitel 7** steht die Frage, ob und wenn ja, wie eine räumliche Steuerung der EE durch das EEG erfolgt und wie die Interessen des Naturschutzes dabei Berücksichtigung finden.

Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens wurden am 22. November 2018 im Rahmen des Abschlussworkshop mit über 25 ExpertInnen aus dem Bereich Naturschutz, erneuerbare Energien, Forschung, Planung und Politik diskutiert. Die Diskussion wird in **Kapitel 8** zusammengefasst.

In **Kapitel 9** werden Empfehlungen für die Implementierung des hier entwickelten natur-schutzfachlichen Monitoringsystems für den Ausbau der erneuerbaren Energien im Strom-bereich abgeleitet.

## 1.5 Veröffentlichungen des Forschungsvorhabens

Als wesentliche Veröffentlichungen des Forschungsvorhabens lassen sich identifizieren:

- Räumlich explizite und öffentlich frei zugängliche Datensätze zu den im Forschungsvorhaben untersuchten Technologien (Windenergie, Photovoltaik-Freiflächen, Bioenergie, Wasserkraft, Freileitungen und Erdkabel):

Eichhorn, Marcus; Thylmann, Miron; Peters, Wolfgang; Kinast, Pascal; Thrän, Daniela; Bauschmann, Martin; Seitz, Stefanie; Ponitka, Jens (2018): Spatial Distribution of Overhead Power Lines and Underground Cables in Germany in 2016. In: Data 3 (3), 34. <https://doi.org/10.3390/data3030034>

Eichhorn, Marcus; Scheffelowitz, Mattes; Reichmuth, Matthias; Lorenz, Christian; Louca, Kyriakos; Schiffler, Alexander; Keuneke, Rita; Bauschmann, Martin; Ponitka, Jens; Manske, David; Thrän, Daniela (2019): Spatial Distribution of Wind Turbines, Photovoltaic Field Systems, Bioenergy, and River Hydro Power Plants in Germany. In: Data 4 (1), 29. <https://doi.org/10.3390/data4010029>. Download Datensatz unter <https://www.ufz.de/record/dmp/archive/5467/de/>

- Wissenschaftliche Publikationen:

Becker, Raik; Thrän, Daniela (2017): Completion of wind turbine data sets for wind integration studies applying random forests and k-nearest neighbors. Applied Energy 208, 252-262

Scheffelowitz, Mattes; Becker, Raik; Thrän, Daniela, (2018): Improved power provision from biomass: A retrospective on the impacts of German energy policy. Biomass and Bioenergy 111, 1-12

Bunzel, Katja; Bovet, Jana; Thrän, Daniela; Eichhorn, Marcus (2019): Hidden outlaws in the forest? A legal and spatial analysis of onshore wind energy in Germany. Energy Research & Social Science 55, 14-25

- Endbericht zum Forschungsvorhaben
- Materialband zum Endbericht des Forschungsvorhabens (veröffentlicht unter [www.ufz.de/ee-monitor/](http://www.ufz.de/ee-monitor/))
- Webseite zum Forschungsvorhaben ([www.ufz.de/ee-monitor/](http://www.ufz.de/ee-monitor/)): Die Webseite ging am 17.06.2019 online. Kernstück der Webseite ist eine interaktive Web-GIS-Anwendung. Diese ermöglicht den interessierten Nutzern aus Planung, Politik, Wirtschaft und Gesellschaft einen direkten und kostenfreien Zugang zu der wissenschaftlich aufbereiteten Datenbasis von Erneuerbaren Energien Anlagen. Auf unkomplizierte Art und Weise kann so jeder den Ausbau der erneuerbaren Energien zu Stromerzeugung in einer bestimmten Region oder einem Bundesland in Erfahrung zu bringen.



## 2 Technologien und Daten

*Katja Bunzel, Christiane Hennig, Rita Keuneke, Pascal Kinast, Christian Lorenz, Karsten Lüdorf, David Manske, Edith Massmann, Wolfgang Peters, Matthias Reichmuth, Magdalena Sophia Sachs, Miron Thylmann*

### 2.1 Einleitung

Im EE-Monitor Forschungsvorhaben wurde die räumliche Verteilung erneuerbarer Stromerzeugung und Strominfrastruktur über einen zeitlichen Verlauf hinweg untersucht und damit in Zusammenhang stehende umweltspezifische und soziotechnologische Folgen und Konflikte identifiziert und abgebildet. Eine wesentliche Voraussetzung für diese Analysen, insbesondere im Rahmen des Raum-Monitorings, war die konkrete Kenntnis der Standorte sowie der technologischen Eigenschaften von Anlagen im Bereich der EE. Kernfragen der Analyse waren dabei unter anderem die Entwicklung der Anlagengrößen und der Konfigurationen, der Nenn- und der installierten Leistungen, der Wirkungsgrade und der spezifischen Umweltwirkungen im Sinne des Bundesnaturschutzgesetzes. Dabei lag der technologische und zeitliche Schwerpunkt auf der Ermittlung und der Bereitstellung räumlich expliziter Anlagenstandorte (Hoch- und Rechtswert und/oder Anlagenfläche) für Onshore Windenergieanlagen (Abschnitt 2.2), Photovoltaik-Freiflächenanlagen (Abschnitt 2.3), Bioenergieanlagen (Abschnitt 2.4), Wasserkraftanlagen (Abschnitt 2.5), Freileitungen und Erdkabel (Abschnitt 2.6), die überwiegend ab 1990 bis 2015 in Deutschland errichtet wurden. Diesem zeitlich gesetzten Rahmen liegt vor allem der verstärkte Netzausbau mit Inkrafttreten des deutschen Stromeinspeisegesetzes zugrunde.

Zunächst wird im technologiespezifischen Steckbrief die bisherige technologische Entwicklung ab 1990 analysiert und bestehende Trends beschrieben. Ausgehend von dieser retrospektiven Betrachtung werden zukünftige technologische Weiterentwicklungen abgeschätzt. Anschließend werden die erneuerbaren Energieträger im Zusammenhang mit planerischen (Räumliche Steuerung), ökonomischen (Stromgestehungskosten) und klimarelevanten (CO<sub>2</sub>-Emissionen) Faktoren betrachtet und diskutiert. Im zweiten Teil des Steckbriefes werden technologiespezifisch die Datenerhebung und -quellen beschrieben sowie eine Einschätzung zur Verfügbarkeit aktueller, vollständiger als auch lagegetreuer Anlagendaten gegeben. Darauf folgen Erläuterungen zu Datenverarbeitung und -generierung, zum resultierenden Datensatz und gewählten Validierungsprozess sowie zur Möglichkeit der Fortführung des Datensatzes.

Die im EE-Monitor Forschungsvorhaben zusammengetragenen Daten wurden in zwei Datenartikeln veröffentlicht:

1. Eichhorn, Marcus; Thylmann, Miron; Peters, Wolfgang; Kinast, Pascal; Thrän, Daniela; Bauschmann, Martin; Seitz, Stefanie; Ponitka, Jens (2018): Spatial Distribution of Overhead Power Lines and Underground Cables in Germany in 2016. In: Data 3 (3), 34. <https://doi.org/10.3390/data3030034>
2. Eichhorn, Marcus; Scheffelowitz, Mattes; Reichmuth, Matthias; Lorenz, Christian; Louca, Kyriakos; Schiffler, Alexander; Keuneke, Rita; Bauschmann, Martin; Ponitka, Jens; Manske, David; Thrän, Daniela (2019): Spatial Distribution of Wind Turbines, Photovoltaic Field Systems, Bioenergy, and River Hydro Power Plants in Germany. In: Data 4 (1), 29. <https://doi.org/10.3390/data4010029>. Download Datensatz unter <https://www.ufz.de/record/dmp/archive/5467/de/>

## 2.2 Windenergieanlagen

### 2.2.1 Technologiesteckbrief

#### 2.2.1.1 Bisherige technologische Entwicklung

Seit 1990 hat die installierte Leistung von Windenergieanlagen stetig zugenommen. In Abbildung 4 ist die installierte Leistung von Windenergieanlagen an Land in Deutschland von 1990 bis 2017 dargestellt. Demnach stieg die Leistung von 55 MW im Jahr 1990 auf über 50.000 MW im Jahr 2017 (BMW i 2019). In den Jahren 2002, 2014 und 2017 wurden mit 2.246, 1.764 und 1.792 überdurchschnittlich viele Anlagen zugebaut (Abbildung 5).

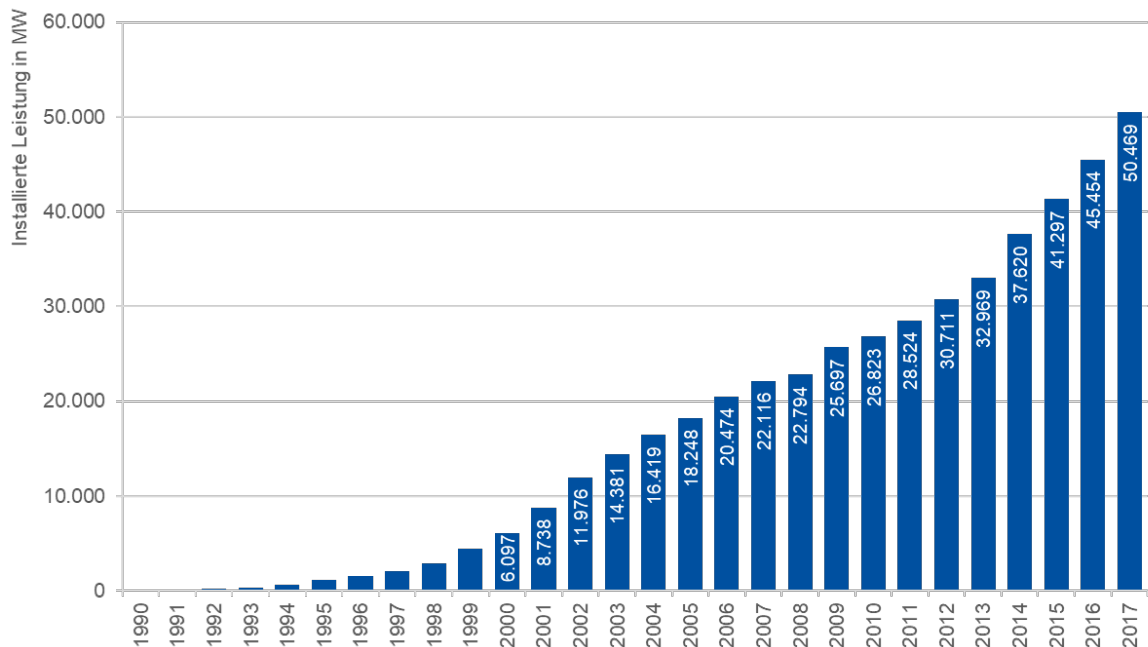


Abbildung 4: Entwicklung der Windenergieanlagen an Land von 1990 bis 2017 nach BMW i (2019). Darstellung IE Leipzig.

In Abbildung 5 wird die Entwicklung der Anlagengröße von 1990 bis 2017 deutlich. Die durchschnittliche Leistung der 2017 installierten Windenergieanlagen lag bei 2,98 MW. Mit einer durchschnittlichen Nabenhöhe von 128 m sind die heutigen Anlagen etwa viermal so hoch wie im Jahr 1990. Der Rotordurchmesser ist mit 113 m etwa fünfmal so groß wie Anfang der 1990er Jahre. Die Bestandsanlagen erreichten in 2017 durchschnittlich etwa 1.760 Volllaststunden. Für die in 2017 neu zugebauten Windenergieanlagen werden im langjährigen Mittel dagegen 2.738 Volllaststunden erwartet (Durstewitz et al. 2018).

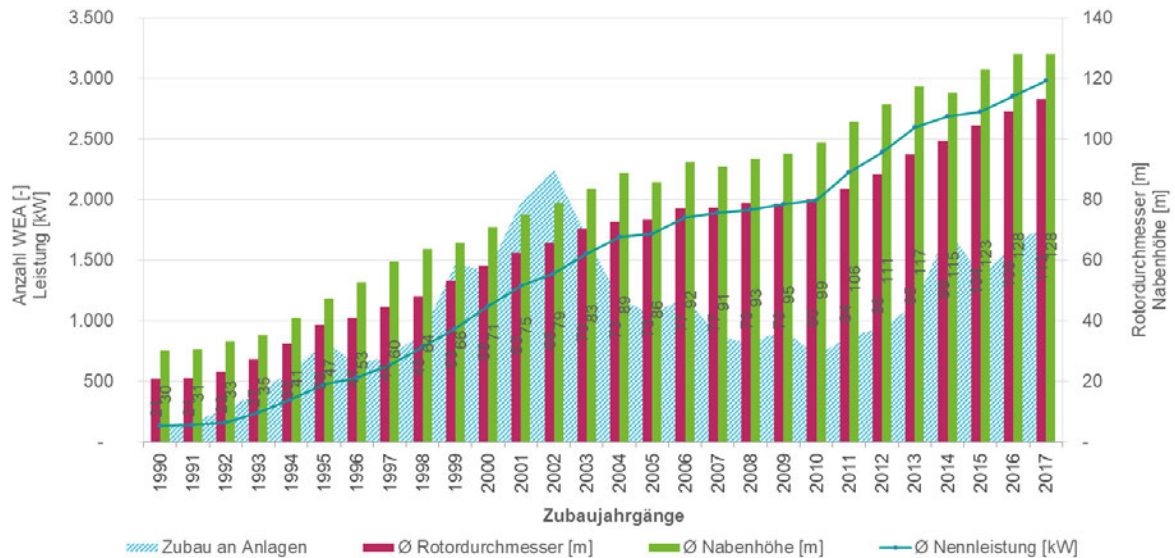


Abbildung 5: Entwicklung des durchschnittlichen Rotordurchmessers, Nabhöhe, Nennleistung sowie der Zubau der Anlagen von 1990 bis 2017 (Keiler 2016), 2016 und 2017 (DWG 2017); Darstellung IE Leipzig.

Beim **Flächenbedarf** von Windenergieanlagen ist zum einen die direkte Flächeninanspruchnahme durch Fundamente, Lager- und Stellflächen sowie Zuwegung und zum anderen der Flächenbedarf des Windparks zu unterscheiden. Die direkte Flächeninanspruchnahme wird in der Literatur mit Werten von 0,1 bis 0,4 ha je Windenergieanlage angegeben (Walz et al. 2014). Das vom Umweltbundesamt initiierte Forschungsprojekt „Flächenrucksäcke von Gütern und Dienstleistungen“ (FKZ: 3717311050) geht näherungsweise von einem Flächenbedarf von im Mittel 0,28 ha im Offenland und von etwa 0,5 ha im Wald für eine im Jahr 2016 erbaute Windenergieanlage aus. Für einen Windpark ergibt sich ein durchschnittlicher Flächenbedarf von ca. 5 ha pro MW (Peters et al. 2015). Der notwendige Flächenbedarf ergibt sich aus dem Parklayout, welches durch das Gelände und die Windverhältnisse vor Ort beeinflusst wird. Der Flächenbedarf ergibt sich zudem aus den notwendigen Abstandsflächen aufgrund von Abschattungen und Turbulenzen zwischen einzelnen Windenergieanlagen des Windparks.

Für neue Windenergieanlagen, die nicht am Ausschreibungsverfahren teilnahmen, galt bis Ende 2018 das zweistufige Modell aus Anfangs- und Grundvergütung. Die Dauer der erhöhten Anfangsvergütung wurde dabei über das Referenzertragsmodell nach EEG 2014 bestimmt. In Abbildung 6 ist die Entwicklung der **Vergütungshöhen** in den vergangenen Jahren sowie die Entwicklung bis zum Jahr 2019 dargestellt. Seit der EGG-Reform 2014 kann die Grund- und Anfangsvergütung für Neuanlagen nicht mehr durch zusätzliche Bonuszahlungen, wie Systemdienstleistungs-Bonus (SDL-Bonus) und Managementprämie, ergänzt werden. Betreiber von Windenergieanlagen erhielten den SDL-Bonus, wenn sie bestimmte technische Anforderungen zur Verbesserung der Netzintegration entsprechend der Systemdienstleistungsverordnung (SDLWindV) erfüllten. Auch die Möglichkeit einer zusätzlichen Vergütung für das Anlagenrepowering (Repowering-Bonus) ist mit dem Inkrafttreten des EEG 2014 entfallen. Ergänzend ist die Höhe der einstufigen Vergütung nach EEG 2019 für Windenergieanlagen, die nicht am Ausschreibungsverfahren teilnehmen müssen, Pilotanlagen und Windenergieanlagen bis 750 kW, dargestellt. Die Festlegung der dann einstufigen Vergütungssätze erfolgt auf Basis der Zuschläge aus den Ausschreibungen des Vorvorjahres.

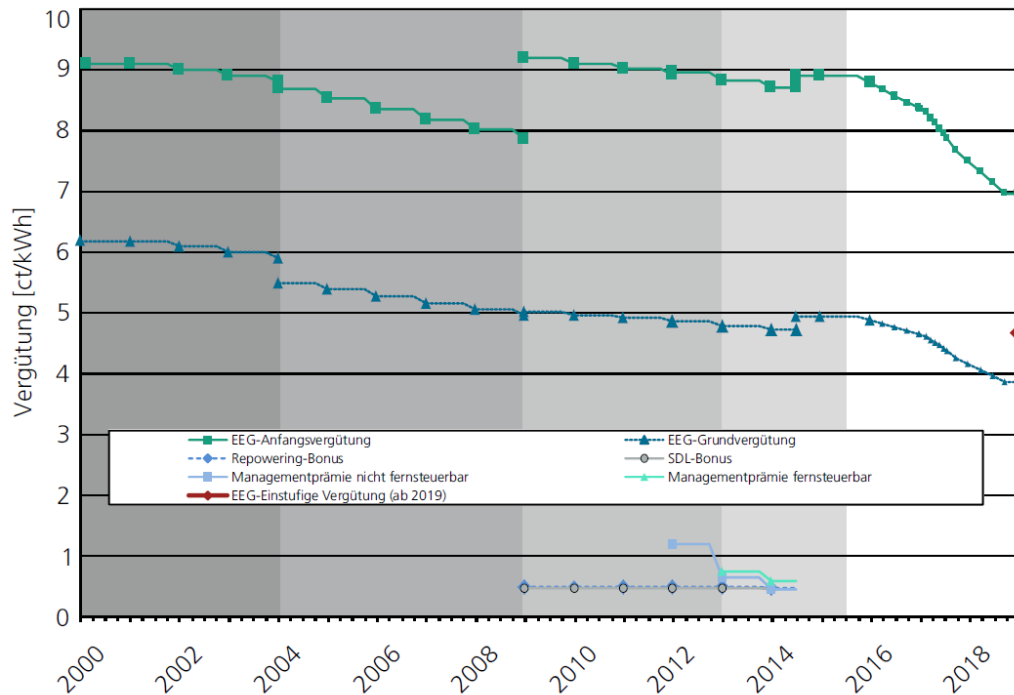


Abbildung 6: Entwicklung der EEG-Förderung und mögliche Szenarien basierend auf den verschiedenen Revisionen des EEG mit letztem Stand EEG 2017 (Durstewitz et al. 2018).

Für Windenergieanlagen mit einer Leistung von mehr als 750 kW ist nach EEG 2017 die Teilnahme an Ausschreibungen verpflichtend. In Abbildung 7 sind die bisherigen **Ausschreibungsergebnisse** für Windenergie an Land dargestellt. Die Ergebnisse der fünften Ausschreibungsrunde vom 1. Mai 2018 zeigen, dass das niedrigste Gebot bei 4,65 ct/kWh lag, während der höchste Zuschlagswert 6,28 ct/kWh betrug. Der mengengewichtete Zuschlagswert stieg auf 5,73 ct/kWh, während er in der Vorrunde bei 4,73 ct/kWh lag (BNetzA 2018a).

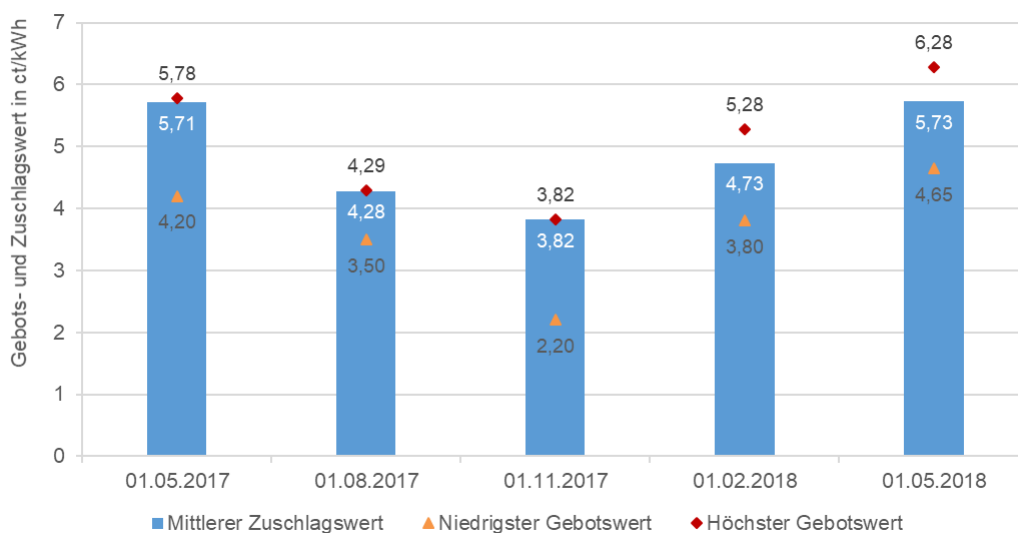


Abbildung 7: Entwicklung der Gebots- und Zuschlagswerte in den Ausschreibungsrunden für die Windenergieanlagen an Land (BNetzA 2018). Darstellung IE Leipzig.

Der Ausbau der Windenergie hat Auswirkungen auf Flora und Fauna. Damit die Auswirkungen möglichst vermindert werden können, wurden technologische Erweiterungen zur Konfliktminderung entwickelt. Zu den technologischen **Konfliktminderungsmaßnahmen** für Flora und Fauna gehören:

- bedarfsgerechte Nachtkennzeichnung (BNK) – noch nicht flächendeckend installiert, ist aber mittlerweile gesetzlich verankert.
- Abschaltalgorithmen (Fledermaus- und Vogelschlaggefahr) – in betroffenen Gebieten bereits Standard:
  1. Fledermausabschaltalgorithmen zur Vermeidung von Fledermausschlag sind bereits eine weit verbreitete Maßnahme. Die hinterlegten Abschaltzeiten werden in der Anfangszeit des Betriebes der WEA im „Gondelmonitoring“ ausgewertet.
  2. Abschaltungen zur Vermeidung von Vogelschlag finden zum Beispiel während und nach landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen statt. Die Standorte sind während dieser Zeit beispielsweise für Greifvögel attraktiver. Während Vogelzugereignissen beispielsweise von Kranichen werden die WEA ebenfalls kurzzeitig abgeschaltet, um eine Kollision gerade auch bei schlechten Sichtverhältnissen zu vermeiden.
  3. Für die Abschaltalgorithmen sind entsprechende Hinweise in den einzelnen Länderleitfäden enthalten.
- schalloptimierte Rotorblattdesigns, Radar und optische Sensoren (Forschungsvorhaben wie B<sup>2</sup> Monitor (<http://b2monitor.de/>), FLEDERWIND (<https://www.haw-hamburg.de/cc4e/x-energy/flederwind.html>), SafeWind (<http://fokus-oekologie.de/safe-wind>) – noch nicht flächendeckend, einzelne Pilotprojekte mit dem Ziel der bedarfsgerechten Betriebssteuerung der WEA bei Vogel- und Fledermausflug in der Nähe der Anlagen.

### **2.2.1.2 Absehbare technologische Entwicklung**

Bei der technologischen Entwicklung von Windenergieanlagen an Land sind derzeit zwei Trends zu erkennen. Zum einen wird die bisherige Entwicklung hin zu größerer Anlagenleistung inklusive größeren Rotordurchmessern und Nabenhöhen (Starkwindanlagen) fortgeführt. Zum anderen geht ein entgegengesetzter Trend hin zu größeren Rotoren bei gleicher oder geringerer Generatorleistung. Solche Anlagen liefern höhere Volllaststunden und können bei geringeren Windgeschwindigkeiten höhere Leistungen erreichen. Mit steigender Nabenhöhe können zunehmend windschwache Standorte im Binnenland erschlossen werden. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Technologieentwicklung der Windenergieanlagen an Land.

Um wettbewerbsfähig zu bleiben, muss die deutsche Windindustrie die Anlagentechnik kontinuierlich weiterentwickeln. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Generatorleistung weiter erhöhen wird. Diese könnte in den nächsten Jahren durchschnittlich 3 bis 4 MW betragen. Außerdem werden Anlagen mit Nabenhöhen von 160 bis 180 m erwartet (Enercon 2015; FWT 2015). Der Rotordurchmesser von neuen Anlagentypen könnte bei etwa 140 m liegen. Durchschnittlich steigen die Volllaststunden bis zum Jahr 2050 auf etwa 3.700 h. Neben höheren Anlagenleistungen werden auch die Zuverlässigkeit und eine längere Lebensdauer der Anlagenkomponenten immer wichtiger.

Der technische Standard von Windenergieanlagen an Land ist bereits sehr hoch. Dennoch ist Forschungsbedarf bei den Komponenten wie Generator, Getriebe, Turmbaukonzepte

usw. vorhanden. Im Bereich der Rotorblätter gibt es mehrere Forschungsprojekte und technologische Weiterentwicklungen. Beispielsweise entwickeln und prüfen Forscherinnen und Forscher des Forschungsverbundes Windenergie (FVWE) im Projekt „SmartBlades“ neue Ideen für intelligente Rotorblätter, die sich dem Wind anpassen können. Durch flexiblere Rotorblätter sollen die Stromerträge zukünftiger Windenergieanlagen weiter erhöht werden. Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl von Forschungsprojekten im Bereich Windenergie. Da eine präzise Auflistung im Rahmen dieses Projektes nicht zweckmäßig erscheint, wird auf die Veröffentlichungen des Bundesverbandes WindEnergie e.V. verwiesen ([www.wind-energie.de/tags/forschung](http://www.wind-energie.de/tags/forschung)). Hier finden sich aktuell laufende Projekte zu Windenergieanlagen.

Weiterhin wird davon ausgegangen, dass sich der direkte Flächenbedarf durch das Fundament der Windenergieanlagen nicht verändern wird. Der Flächenbedarf im Windpark sollte durch die größeren Rotoren bei gleichzeitiger Erhöhung der Turbinenleistung in etwa gleichbleiben.

In Bezug auf die Konfliktminderungsmaßnahmen ist derzeit nicht abschätzbar, wie diese flächendeckend in Zukunft installiert bzw. nachgerüstet werden.

Tabelle 1: Technologieentwicklung der Windenergie an Land nach Inbetriebnahmejahr (Durstewitz et al. 2018; Kost et al. 2018; Wietschel et al. 2015).

	Einheit	Heute	2030 (2035)	2050
Ø Nabhöhe	m	128	130 – 140	150
Ø Rotordurchmesser	m	110	125	130 – 140
Ø Nennleistung	MW	3	3 – 4	4 – 5
Volllaststunden	h	2.760	3.000 – 3.400	3.000 – 3.700
Lebensdauer	a	20	> 20	> 20
Stromgestehungskosten	ct/kWh	3,99 - 8,23	(3,49 - 7,09)	k. A.
Installierte Leistung von Windenergie (onshore) in Deutschland	GW <sub>p</sub>	51	68 - 75	97 - 102

### 2.2.1.3 Räumliche Steuerung, Stromgestehungskosten und CO<sub>2</sub>- Emissionen

**Umwelt- und Naturschutzaspekte** spielen bei der Ausschreibung für Strom aus Windenergie keine direkte Rolle, da die Ausschreibung nicht die örtlichen Gegebenheiten, wie Vogelschutzgebiete usw. im Detail berücksichtigt. Vielmehr entscheiden hierüber die regionalen Planungsträger und die Kommunen bei der Festlegung von Windvorrangflächen oder Wind eignungsgebieten. Zur Ausschreibung sind nur Anlagen zugelassen, die über eine BlmSchG Genehmigung verfügen. Im BlmSchG Genehmigungsprozess sind Naturschutzfragen bereits berücksichtigt. Das Netzausbaugebiet hatte in der letzten Ausschreibung wieder keine Auswirkung für eine Berücksichtigung beim Zuschlag (BNetzA 2018a).

Bei der Ausweisung von Standorten für Windenergieanlagen werden soweit vorgelagert möglich Natur- und Artenschutzbelange in die Planung einbezogen. Ziel der Regionalplanungsverbände ist es, die Ausweisung von neuen Gebieten räumlich zu steuern und Konflikte mit anderen Nutzungen und Belangen zu vermindern.

Bei der räumlichen Anordnung der Windenergieanlagen, dem Micrositing (kleinräumige Optimierung des Standorts aufgrund artenschutzrechtlicher Belange), können mögliche Kollisionen eingeschränkt werden, indem Flug- oder Zugkorridore von Vögeln prinzipiell freigehalten werden.

Die **Stromgestehungskosten** von Windenergieanlagen an Land liegen an küstennahen Starkwindstandorten mit 3.200 Volllaststunden zwischen 3,99 und 4,85 ct/kWh. Standorte mit einem schwächeren Windangebot und nur 1.800 Volllaststunden erzielen Stromgestehungskosten von 6,72 bis 8,23 ct/kWh. Für 2035 werden Stromgestehungskosten zwischen 3,49 und 7,09 ct/kWh erwartet (Kost et al. 2018).

Der direkte Betrieb von Windenergieanlagen zur Stromerzeugung ist emissionsfrei. Andererseits müssen jedoch für Herstellung (aus den Vorketten), Transport und Errichtung der Anlage Energiemengen aufgewendet werden, die in der CO<sub>2</sub>- bzw. Treibhausgas-Bilanz entsprechend zu berücksichtigen sind. Die **CO<sub>2</sub>-Emissionen** von Windenergie an Land wird mit 9,81 g CO<sub>2</sub>/kWh erzeugter Energie angegeben, das **CO<sub>2</sub>-Äquivalent** beträgt 10,69 g CO<sub>2äq</sub>/kWh (UBA 2017a).

## 2.2.2 Datensatz

### 2.2.2.1 Datenquelle

Der Datensatz der Windenergie an Land basiert auf Daten, die durch die zuständigen Ämter bereitgestellt oder über die entsprechenden Geoportale der Bundesländer bezogen wurden (Tabelle 2). Sie enthalten Informationen zum genauen Standort (Ort, Straße/Flurstück) sowie zur Anlagenspezifikation (Leistung, Anlagenhöhe, Inbetriebnahmezeitpunkt). Des Weiteren enthalten sie herstellereigenschaften Attribute wie die Modellbezeichnung oder den Anlagenstatus. Die Basisdaten der Bundesländer unterscheiden sich in ihrer Datenstruktur und in ihrer Vollständigkeit.

Tabelle 2: Datenquellen der Windenergieanlagen nach Bundesländern.

Bundesland	Quelle	Anmerkungen   Verweis
Baden-Württemberg	Landesanstalt für Umwelt	<a href="http://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/pages/home/welcome.xhtml">http://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/pages/home/welcome.xhtml</a>
Bayern	Energieatlas Bayern	<a href="http://geoportal.bayern.de/energieatlas-karten/?wicket-crypt=ZS6RSNnuWcA&amp;theme=61">http://geoportal.bayern.de/energieatlas-karten/?wicket-crypt=ZS6RSNnuWcA&amp;theme=61</a>
Brandenburg	Landesamt für Umwelt Brandenburg	<a href="http://www.metaver.de/trefferanzeige?cmd=doShow-Document&amp;docuuid=45C506E5-3E9D-4DE2-9073-C3DB636CE7CF&amp;plugid=/ingrid-group:dsc-BB">http://www.metaver.de/trefferanzeige?cmd=doShow-Document&amp;docuuid=45C506E5-3E9D-4DE2-9073-C3DB636CE7CF&amp;plugid=/ingrid-group:dsc-BB</a>
Hessen	Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie	<a href="http://atlas.umwelt.hessen.de/atlas/">http://atlas.umwelt.hessen.de/atlas/</a>
Mecklenburg-Vorpommern	Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie	<a href="http://www.umweltkarten.mv-regierung.de/atlas/script/index.php">http://www.umweltkarten.mv-regierung.de/atlas/script/index.php</a>
Niedersachsen	Energieatlas Niedersachsen	<a href="http://www.energieatlas.niedersachsen.de/startseite/daten/daten-135073.html">http://www.energieatlas.niedersachsen.de/startseite/daten/daten-135073.html</a>
Nordrhein-Westfalen	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz	Die Daten wurden von der Koordinierungsstelle Klimaschutz und Klimawandel auf Anfrage zur Verfügung gestellt.
Rheinland-Pfalz	Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung	Die Daten wurden vom Referat für Energie und Verkehrsinfrastruktur, Geoinformation auf Anfrage zur Verfügung gestellt.

Saarland	Landesamt für Umwelt und Arbeitsschutz	Die Daten wurden vom Geschäftsbereich 3 „Natur und Umweltschutz“ Fachbereich 3.5 „Kreislaufwirtschaft“ auf Anfrage zur Verfügung gestellt.
Sachsen	Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie	Die Daten wurden vom Referat für anlagenbezogenen Immissionsschutz und Lärm auf Anfrage zur Verfügung gestellt.
Sachsen-Anhalt	Ministerium für Landesentwicklung und Verkehr	Die Daten wurden vom Referat für Sicherung der Landesentwicklung, Raumbewertung und Raumordnungskataster auf Anfrage zur Verfügung gestellt.
Schleswig-Holstein	Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume	Die Daten wurden vom Dezernat für Fachinformationssystem und Berichtswesen auf Anfrage zur Verfügung gestellt.
Thüringen	Landesverwaltungsamt	Die Daten wurden vom Referat für Planungsgrundlagen und Raumbewertung auf Anfrage zur Verfügung gestellt.
Berlin, Hamburg, Bremen		Für die Stadtstaaten liegen keine Angaben vor. Da hier nur in Ausnahmefällen Windenergieanlagen zugebaut werden, wurde die Datenlage dort nicht vertieft untersucht.



### 2.2.2.2 Aufbau des Datensatzes

Die bundeslandbezogenen Datensätze der Windenergie (Tabelle 2) wurden zunächst um unechte Einträge korrigiert und im Anschluss zusammengeführt. So wurden beispielsweise nicht plausible Angaben zum Inbetriebnahmedatum wie z. B. „30.12.1899“ gelöscht oder Falschangaben zur Gesamthöhe einer Windenergieanlage korrigiert. Die Gesamthöhe einer Windenergieanlage ergibt sich dabei rechnerisch aus der Nabenhöhe und der Hälfte des Rotordurchmessers. Die Standortangaben zu den Windenergieanlagen lagen je nach Bundesland in unterschiedlichen Koordinatenbezugssystemen vor (UTM Zone 32, UTM Zone 33, Gauß-Krüger Zone 4 usw.). Mit Hilfe des Online-Tools „Koordinatentransformation 4.4“ des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie (BKG) (<http://sgs.geodaten-zentrum.de/coord-trans/>) wurden diese in ein einheitliches Koordinatensystem (WGS84) überführt. Dadurch wird die Implementierung in übliche Geodaten-Viewer, wie beispielsweise Google-Earth, vereinfacht.

Der Datensatz fasste ursprünglich insgesamt 26.119 Einträge (Datenstand Ende 2016 bis 2017). Abbildung 8 zeigt eine Übersicht über die Vollständigkeit der Datensätze nach Bundesländern. Es wird deutlich, dass die Daten je nach Bundesland verschiedene Lücken aufweisen. Beispielsweise lagen für Mecklenburg-Vorpommern keine Angaben zum Rotordurchmesser und zur Nabenhöhe vor. In Rheinland-Pfalz war der Anlagentyp nicht dokumentiert und in Bayern wie auch in Thüringen wurde zwar das Inbetriebnahmejahr, nicht aber das genaue Inbetriebnahmedatum erfasst.

Bundesland	Stand	Anzahl WEA	Leistung	Inbet.-Datum	Inbet.-Jahr	Gesamthöhe	Rotordurchmesser	Nabenhöhe	Anlagentyp	Koordinaten
Baden-Württemberg	03/2017	573	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Bayern	01/2017	1.231	97,3%	0,0%	97,4%	82,5%	83,7%	82,5%	83,6%	100,0%
Brandenburg	03/2017	3.558	100,0%	91,0%	91,0%	99,7%	99,9%	99,7%	99,9%	100,0%
Hessen	03/2017	944	100,0%	100,0%	100,0%	96,7%	96,7%	96,7%	76,3%	100,0%
Mecklenburg-Vorp.	k.A.	1.620	100,0%	45,3%	45,3%	0,0%	0,0%	0,0%	43,3%	100,0%
Niedersachsen	01/2017	5.804	99,3%	28,5%	79,5%	79,0%	75,5%	82,6%	78,2%	100,0%
Nordrhein-Westfalen	12/2016	3.272	99,4%	91,4%	98,9%	75,6%	86,0%	76,1%	89,9%	100,0%
Rheinland-Pfalz	03/2017	1.498	100,0%	97,4%	97,4%	100,0%	100,0%	100,0%	8,9%	100,0%
Saarland	03/2016	127	100,0%	97,6%	97,6%	97,6%	97,6%	100,0%	100,0%	100,0%
Sachsen	03/2017	860	97,6%	78,0%	78,0%	78,4%	78,8%	78,4%	51,7%	100,0%
Sachsen-Anhalt	01/2017	2.672	98,5%	94,7%	94,7%	96,1%	96,1%	96,2%	98,1%	99,9%
Schleswig-Holstein	03/2017	3.176	99,6%	93,4%	93,4%	90,8%	90,8%	91,1%	89,0%	100,0%
Thüringen	12/2016	784	100,0%	0,0%	100,0%	99,7%	100,0%	99,7%	99,0%	100,0%
<b>Deutschland</b>		<b>26.119</b>	<b>99,4%</b>	<b>68,5%</b>	<b>88,3%</b>	<b>82,8%</b>	<b>83,5%</b>	<b>83,8%</b>	<b>80,4%</b>	<b>100,0%</b>

Bayern: Es sind nur Anlagenhersteller erfasst. Rheinland-Pfalz: Nicht erfasst sind Anlagen mit einer Nabenhöhe < 50 Meter.  
Mecklenburg-Vorpommern: Das Inbetriebnahmedatum ist nur bis zum Jahr 2012 dokumentiert.

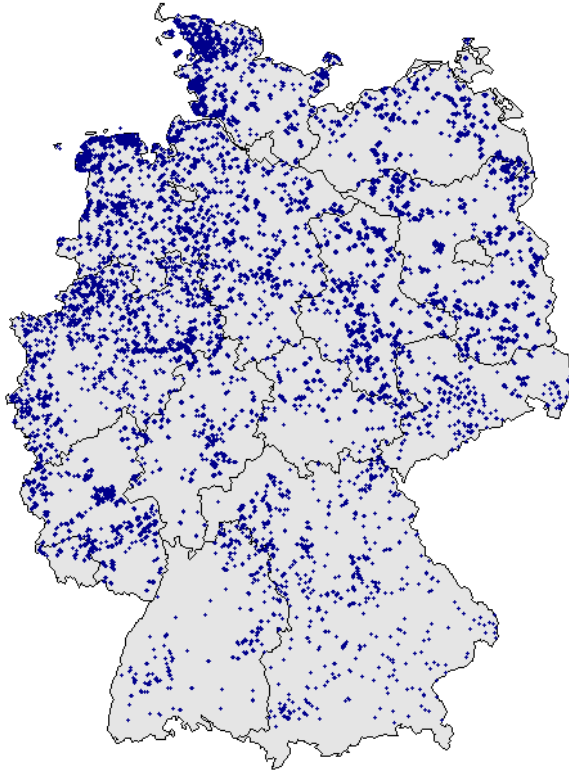
Abbildung 8: Vollständigkeit des Datensatzes für Windenergieanlagen an Land. Eigene Darstellung.

Abweichungen der Anlagenanzahl zu anderen Veröffentlichungen, wie zum Beispiel der Statistik des Bundesverbandes für Windenergie (BWE-Statistik) sind unter anderem auf die unterschiedlichen Datenstände der Veröffentlichung zurückzuführen. Weiterhin wurden in dem Datensatz zum Teil Windenergieanlagen mit einer Nabenhöhe von < 50 m nicht erfasst.

Ein Teil der Lücken im Datensatz konnte mit Hilfe eines statistischen Modells gefüllt werden. Die Methodik ist detailliert in Becker und Thrän (2017) beschrieben. Datensätze, in denen die Werte für mehrere Parameter fehlten, konnten nicht mit genügender Sicherheit ergänzt werden und wurden daher aus dem Datensatz entfernt.

### 2.2.2.3 Ergebnisse

Der finale Datensatz, der im Rahmen des Forschungsvorhabens verwendet wurde, umfasst 24.475 Einträge mit einer gesamten installierten Leistung von 39.297 MW für das Jahr 2015. Abbildung 9 zeigt die deutschlandweite Verteilung der Windenergieanlagen für das Jahr 2015.



© GeoBasis-DE / BKG (2019)

Abbildung 9: Standorte der Windenergieanlagen im Jahr 2015. Eigene Darstellung.

### 2.2.2.4 Fortführung des Datensatzes für Windenergieanlagen an Land

Die Fortführung des Datensatzes für Windenergieanlagen an Land kann über die frei zugänglichen Daten des Anlagenregisters der Bundesnetzagentur (BNetzA) erfolgen. Seit dem 1. August 2014 müssen Anlagenbetreiber neue Windenergieanlagen im Anlagenregister registrieren. Erfasst werden dabei unter anderem Daten wie installierte Leistung, Inbetriebnahme, Stilllegungsdatum, Straße bzw. Flurstück, Ort bzw. Gemarkung sowie Koordinaten zur Georeferenzierung.

Seit dem 31. Januar 2019 können Betreiber ihre Erzeugungs- sowie Verbrauchsanlagen (Strom und Gas) im Webportal Marktstammdatenregister (MaStR) der BNetzA registrieren. Da die BNetzA auch ihren alten Datenbestand in das System transferiert hat, beträgt die Zahl der insgesamt erfassten Anlagen etwa 1,9 Mio. Diese Daten weisen aber noch Lücken auf und müssen daher noch von den Betreibern der Anlagen ergänzt werden. Die BNetzA rechnet pro Jahr mit 100.000 bis 150.000 Neu- und Ummeldungen sowie mit der Anmeldung von insgesamt zwei Mio. Altanlagen. Das MaStR soll für alle Marktteilnehmenden zugänglich sein.

Perspektivisch kann das MaStR der BNetzA den Windenergieanlagen-Datensatz ablösen.

## 2.3 Photovoltaik-Freiflächenanlagen

### 2.3.1 Technologiesteckbrief

#### 2.3.1.1 Bisherige technologische Entwicklung

Seit Einführung des EEG im Jahr 2000 hat die Photovoltaik (PV) eine rasante technologische Entwicklung durchlaufen und insbesondere eine breite Markteinführung erlebt. So hat sich beispielsweise seit Ende 2010 die installierte PV-Leistung von 18,0 GW auf 42,4 GW mehr als verdoppelt. Mit jeweils über 7 GW war der Zubau in den Jahren 2010, 2011 und 2012 besonders stark. In den Folgejahren ist der Ausbau hingegen deutlich zurückgegangen. In Abbildung 10 ist die Entwicklung der installierten Leistung der Photovoltaik von 2000 bis 2017 dargestellt. Der Anteil von PV-Freiflächenanlagen an der installierten PV-Gesamtleistung ist in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen und lag im Jahr 2017 mit 27,7 % in etwa auf dem Vorjahresniveau.

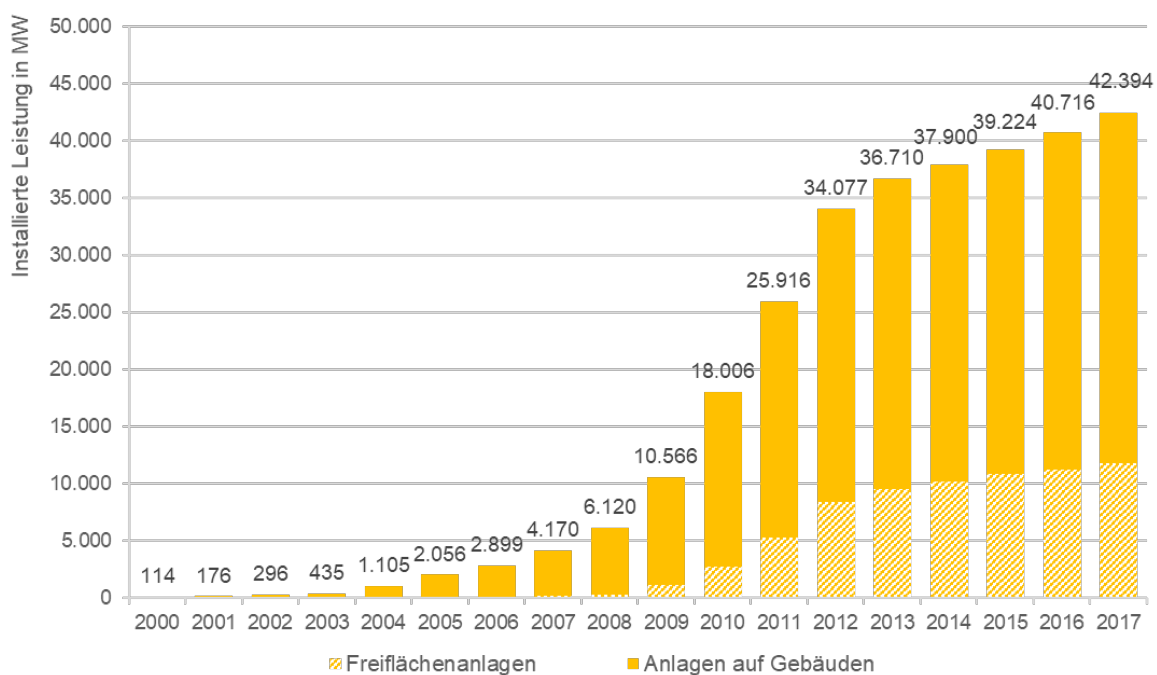


Abbildung 10: Entwicklung der installierten Photovoltaik-Leistung von 2000 bis 2017 (BMWi 2018c; r2b energy consulting GmbH 2017; BNetzA 2018b). Darstellung IE Leipzig.

Bei den PV-Freiflächenanlagen kann ein deutlich positiver Trend zu höherer Effizienz der Flächennutzung festgestellt werden. Laut einer Studie von Bosch & Partner und ZSW (2016) sank der durchschnittliche Flächenbedarf pro Megawatt (MW) installierte Leistung für Freiflächenanlagen von 4,11 ha/MW im Jahr 2002 auf 1,6 ha/MW in 2015 (Abbildung 11) (BNetzA 2016a). Diese Entwicklung ist auf die Steigerung der Wirkungsgrade neuer Solarmodule zurückzuführen und wird sich in den kommenden Jahren fortsetzen, so dass die Flächeninanspruchnahme pro installierter Leistung insgesamt weiter zurückgehen wird (BNetzA 2016a).

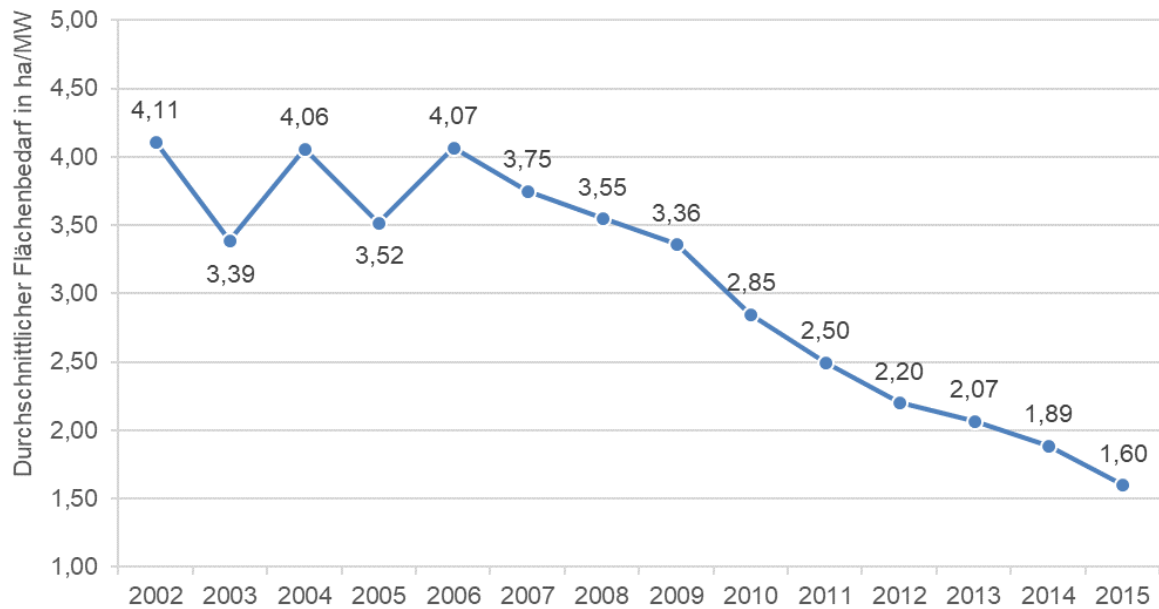


Abbildung 11: Durchschnittlicher Flächenbedarf pro Megawatt installierte Leistung für PV-Freiflächenanlagen (BNetzA 2016a). Darstellung IE Leipzig.

Für Photovoltaik-Anlagen mittlerer Größe von 750 kW bis 10 MW wird die Einspeisevergütung über Ausschreibungen festgesetzt. Die Ausschreibungsrunde der BNetzA zum Gebots-termin 1. Juni 2018 hat einen mittleren Zuschlagswert von 4,59 ct/kWh ermittelt. In Abbildung 12 ist die Entwicklung der Kostendegression für PV-Freiflächenanlagen (Neuanlagen) am Beispiel der EEG-Einspeisevergütung und der Vergütung gemäß Ausschreibung der BNetzA dargestellt.

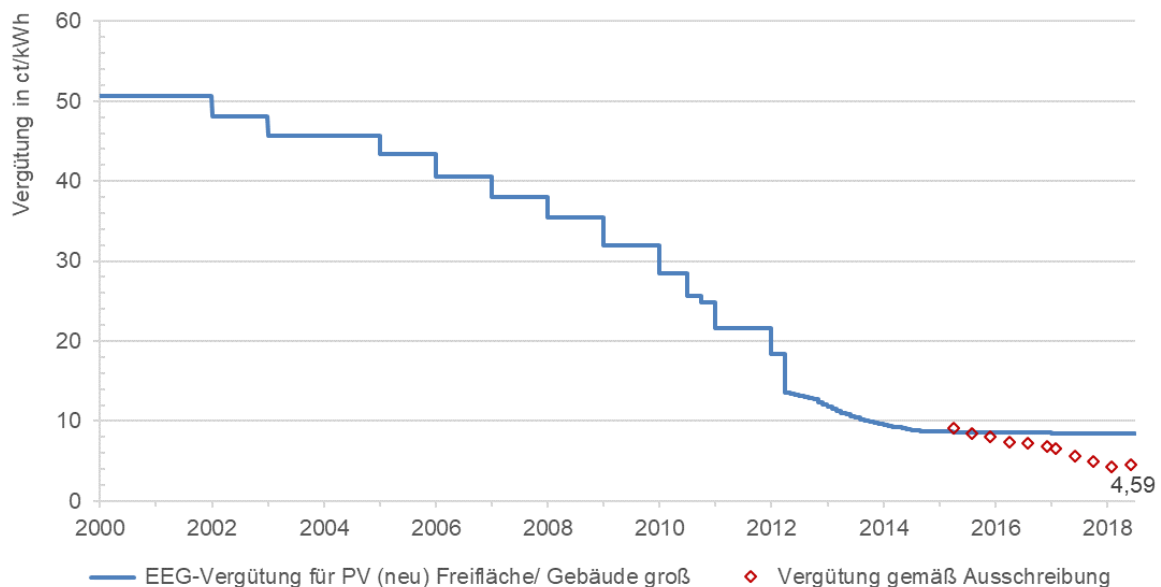


Abbildung 12: EEG-Vergütung für Strom aus PV-Freiflächenanlagen nach dem Datum der Inbetriebnahme sowie mittlere Vergütung gemäß Ausschreibungsrunden der BNetzA (BNetzA 2018a). Darstellung IE Leipzig.

### 2.3.1.2 Absehbare technologische Entwicklung

In Tabelle 3 sind einige wichtige technische Kenndaten der Photovoltaik nach derzeitigem

und zukünftigem Stand aufgeführt. Dabei wurde nur die kristalline Silizium-Technologie (c-Si) aufgenommen, da sie derzeit die führende Technologie darstellt. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass insbesondere die Dünnschichttechnologie CIGS (Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid) auch eine wichtige Rolle für die deutsche Photovoltaik-Industrie spielt. CIGS-Module werden im Unterschied zur Wafer-basierten kristallinen Siliziumtechnologie ganzflächig auf Glas oder flexible Substrate abgeschieden. Die maßgeschneiderten Module eignen sich zum Beispiel zur direkten Gebäudeintegration. Sie besitzen einen niedrigen Temperaturkoeffizienten, gutes Schwachlichtverhalten und kurze Energierücklaufzeiten. Obwohl bereits mehrere Gigawatt an CIGS-Modulen weltweit installiert wurden, wird die Technologie erst am Beginn der Lernkurve gesehen. Somit besteht noch ein deutliches Kostensenkungspotenzial (Philipps et al. 2017).

Tabelle 3: Technologieentwicklung der Photovoltaik auf Basis kristallinen Siliziums (BMWi 2018c; Philipps et al. 2017; Gerbert et al. 2018).

	Einheit	Heute	2025	2030	2040	2050
Solarzellengröße	mm <sup>2</sup>	156 x 156	156 x 156	156 x 156	156 x 156	156 x 156
Waferdicke	µm	160 - 180	140 - 160	120 - 140	110 - 130	100 - 120
Zellwirkungsgrad Labor (Pure c-Si / Mehrfachzelle auf Si)	%	26 / 30	27 / 35	27 / 40	27,5 / 43	28 / 45
Modulfläche: typisch	qm	1,7				individualisierte Größen
Modulwirkungsgrad Industrie (Pure c-Si / Mehrfachzelle auf Si)	%	15 - 22	17 - 23	19 - 23/30	22 - 24/34	24 / 37
Modullebensdauer	a	> 20	> 25	> 30		> 35
Stromgestehungskosten in D	ct/kWh	8 - 12	5,1 - 8,3	4,5 - 7,2	3,5 - 6,5	2,4 - 5,8
Installierte PV-Leistung in D	GW <sub>p</sub>	42	62 - 66	73 - 82	86 - 105	105 - 130

### 2.3.1.3 Räumliche Steuerung, Stromgestehungskosten und CO<sub>2</sub>- Emissionen

Im EEG 2017 wird der Ausbau von PV-Freiflächenanlagen über Flächenkriterien **räumlich gesteuert** (§ 37 Abs. 1 Nr. 3 EEG 2017). Demnach können Freiflächenanlagen nur am Ausschreibungsverfahren teilnehmen, wenn sie

- auf Seitenrandstreifen (110 m entlang von Autobahnen und Schienenwegen),
- auf Konversionsflächen,
- auf versiegelten Flächen,
- in landwirtschaftlich benachteiligten Gebieten bzw.
- auf Flächen der Bundesanstalt für Immobilienaufgaben (BImA)

errichtet werden. Nach EEG 2017 sind Flächen in Naturschutzgebieten und Nationalparks von der Beteiligung an der Ausschreibung ausgeschlossen (§ 38a Abs. 1 Nr. 5 EEG 2017). Durch diese Flächenkriterien sollen die Auswirkungen von Freiflächenanlagen auf Natur und Landschaft minimiert werden.

In Süddeutschland betragen die **Stromgestehungskosten** für PV-Freiflächenanlagen an

Standorten mit horizontaler Globalstrahlung von 1.300 kWh/(m<sup>2</sup>a) zwischen 3,71 und 4,95 ct/kWh und bei einer Einstrahlung von 950 kWh/(m<sup>2</sup>a) in Norddeutschland zwischen 5,08 bis 6,77 ct/kWh (Kost et al. 2018). Die günstigsten Anlagen haben spezifische Investitionskosten von 600 €/kW oder 800 €/kW erreicht (Kost et al. 2018). Für 2035 werden Stromgestehungskosten zwischen 2,16 ct/kWh und 3,94 ct/kWh prognostiziert (Kost et al. 2018).

Der direkte Betrieb von PV-Anlagen zur Stromerzeugung verursacht keine Emissionen. Allerdings müssen jedoch für Herstellung (aus den Vorketten), Transport und Errichtung der Anlage Energiemengen aufgewendet werden, die in der CO<sub>2</sub>- bzw. Treibhausgas-Bilanz entsprechend zu berücksichtigen sind. Für PV-Strom ergibt sich eine Umweltbelastung von 63,3 g CO<sub>2</sub>/kWh bzw. von 67,81 g CO<sub>2äq</sub>/kWh (UBA 2017a).

## **2.3.2 Datensatz**

### **2.3.2.1 Datenquelle**

Die allgemeine Datengrundlage zur Standortidentifikation von PV-Freiflächenanlagen setzt sich aus folgenden Datensätzen zusammen:

1. Energymap-Register
2. PV-relevante Openstreetmap-Daten
3. Anlagenregister der BNetzA

1. Diese Daten beinhalten Informationen über vorhandene EEG-Anlagen in Deutschland und werden von der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS) über eine Homepage zur Verfügung gestellt ([www.energymap.info](http://www.energymap.info)). Der Datensatz besteht aus anlagenspezifischen Informationen, wie dem Inbetriebnahmedatum, dem Energieträger, dem Anlagenschlüssel, der Nennleistung usw. Die enthaltenen Angaben zur Anlagenadresse sowie zu den GPS-Koordinaten der Freiflächenanlagen sind mit einer gewissen Unschärfe verbunden und dienen lediglich als grobe Orientierung.

2. Die frei verfügbaren Openstreetmap (OSM)-Geodaten beinhalten unter anderem Datensätze zu PV-Anlagen, welche anhand des Online-Tools (<http://overpass-turbo.eu/>) unter folgenden Tags abrufbar sind: `generator:source=solar` und `generator:method=photovoltaic`. Diese georeferenzierten Daten beziehen sich sowohl auf PV-Freiflächenanlagen als auch auf PV-Dachanlagen. Vereinzelt sind in den Daten Zusatzinformationen, wie Nennleistung oder der Name des Solarparks, hinterlegt. Eine grundsätzliche Unterscheidung in Dach- und Freiflächenanlagen existiert jedoch nicht.

3. Diese Daten bilden die Grundlage für Anlagen, die ab dem 1. August 2014 in Betrieb gingen. Im Anlagenregister der BNetzA werden alle Anlagen (außer PV-Anlagen, die auf, an oder in einem Gebäude oder einer sonstigen baulichen Anlage angebracht sind) zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien registriert. Das Anlagenregister enthält anlagenspezifische Informationen, wie Inbetriebnahmedatum, Energieträger, Anlagenschlüssel, Nennleistung, Koordinaten usw.

### **2.3.2.2 Aufbau eines Datensatzes**

#### **Schritt 1: Aufbereitung der OSM-Daten**

Zur Identifikation der PV-Freiflächenanlagen aus den OSM-Daten, wurde die Grundannahme getroffen, dass es sich bei PV-Anlagen in urbanen Siedlungsräumen um Dachanlagen handelt. Zur Identifikation dieser Dachanlagen wurde auf folgende Geo-Datensätze zurückgegriffen, welche Informationen zu Siedlungsgebieten beinhalten:

- „Corine Landcover (CLC)“ Datensatz der European Environmental Agency (EEA) von 2012
- OSM-Datensatz „buildings“
- OSM-Siedlungsflächen mit dem Tag: landuse=residential

Punkte und Polygone, welche innerhalb dieser erfassten Siedlungsgebiete liegen, wurden aus dem Datensatz entfernt. Da es durch Digitalisierungsungenauigkeiten bzw. größeren Auflösungen (siehe CLC-Datensatz) dennoch zu Überschneidungen von PV-Freiflächenanlagen des OSM-Datensatzes und Siedlungsgebieten der generierten Siedlungsmaske kommen kann, wurden Polygone mit einer Fläche > 1 ha berücksichtigt und als PV-Freiflächenanlage ausgewiesen.

Zur Vereinheitlichung der Datenstruktur wurden PV-Freiflächenanlagen, die als Punkte vorliegen, identifiziert und als Polygone digitalisiert.

### **Schritt 2: Verknüpfung von Energymap-Daten und OSM-Daten**

Um die genauen Rauminformationen (Koordinaten) des OSM-Datensatzes mit den Zusatzinformationen der Energymap-Daten zu verknüpfen, wurden die unscharfen GPS-Koordinaten als Punktinformation hinterlegt. Die Angabe der Postleitzahlen in der Energymap ermöglicht eine postleitzahlgenaue Lageangabe der Nebeninformationen. Darauf aufbauend wurden Postleitzahlgebiete identifiziert, die sich sowohl mit genau einer OSM-PV-Freiflächenanlage als auch mit genau einem Eintrag im Energymap-Register überschneiden (1:1). Für die übrigen PV-Anlagen war eine manuelle Zuordnung unabwendbar, da keine systematisierten Zuordnungsregeln aufgestellt werden konnten. Folgende Gründe konnten durch Stichproben identifiziert werden:

- ein aus mehreren Polygonen bestehender Solarpark ist einem Eintrag zuzuordnen (m:1)
- mehrere Registereinträge sind einem Solarparkpolygon zuzuordnen (1:n)
- mehrere Registereinträge sind mehreren Solarparkpolygonen zuzuordnen (m:n)

Dabei ist festzustellen, dass sowohl die Anzahl an Polygonen als auch die Anzahl an zuzuordnenden Registereinträgen stark variieren kann. Des Weiteren wurde die Distanz eines Polygons zum nächstgelegenen Registerpunkt generiert, um ein weiteres Raumattribut auf Zuordnungstauglichkeit zu testen.

### **Schritt 3: Manuelle Zuordnung**

Der Gesamtumfang des OSM-Datensatzes beläuft sich auf ca. 3.220 PV-Freiflächenanlagen im Bundesgebiet. Aus den o. g. Gründen konnte nur ein vergleichsweise geringer Teil dieser OSM-Daten den Energymap-Registereinträgen systematisiert zugeordnet werden. Eine Verknüpfung der Daten war in 85 % der Fälle nur über eine manuelle Zuordnung realisierbar. Die GPS-Koordinaten der Energymap, welche mit einer Genauigkeit von 3 km vorliegen, dienten dabei als grobe Orientierung. Um die Koordinaten für neuere Anlagen zu erhalten und um fehlende Koordinaten zu ergänzen, wurde das Anlagenregister der BNetzA ausgewertet. Mit Hilfe der Geoviewer Google-Earth, Bing-Maps und dem Viewer des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG) wurden die Koordinaten der PV-Freiflächenanlagen ermittelt und gleichzeitig die Flächen der Solarparks digitalisiert.

### **Schritt 4: Überprüfung**

Der Datensatz enthielt nach der manuellen Zuordnung 7.076 Datensätze, davon:

- 6.752 mit Geo-Koordinaten (einschließlich Duplikaten)

- 5.653 mit Polygonen (einschließlich Duplikaten)
- 7.050 mit Angaben zur Nennleistung
- 7.055 mit Inbetriebnahmedatum

Die Informationen in den Punktdatensätzen wurden schließlich mit den Polygonen überlagert und auf diese übertragen. Sofern sich mehrere Punkte mit einem Polygon überlagerten, wurden die Punktinformationen zusammengefasst bzw. aufsummiert. Polygone, die offensichtlich eine Einheit bildeten, wurden zu einer PV-Freiflächenanlage zusammengeführt.

Nach der Zusammenführung der Informationen wiesen einige PV-Freiflächenanlagen unplausible Leistungswerte in Bezug auf ihre Flächenleistung (MW/ha) auf. Auch die unscharfe Differenzierung von PV-Freiflächen- und PV-Dachflächenanlagen im Hinblick auf die Lokalisierung oder auch Falschangaben des Anlagentyps im Ausgangsdatsatz führten zu unplausiblen Flächenleistungswerten (MW/ha). Daher erfolgte eine manuelle Überprüfung des Datensatzes. Hierfür wurden die Polygone mit den Basiskarten OSM und Google Maps (Google Satellite) überlagert und visuell abgeglichen. Bei einer Flächenabweichung des Polygons gegenüber den Luftbildern wurde dieses entsprechend angepasst. Dabei wurden die Polygone zunächst nach OSM angepasst. Sofern hierauf keine PV-Freiflächenanlage identifiziert werden konnte, wurde es nach dem Google-Satellitenbild angepasst. Insgesamt konnten nur 17 Polygone nicht überprüft werden, da sie weder im OSM noch im Google-Satellitenbild erkennbar waren. Ferner wurden 58 Polygone mit einer Fläche von zusammen 108 ha hinzugefügt, die bisher nicht im Datensatz enthalten waren. Insgesamt wurden etwa 26 % der Polygone modifiziert, wobei die Gesamtfläche einschließlich der neuen Polygone um 375 ha zunahm. Jedes geänderte und bearbeitete Polygon wurde im Datensatz entsprechend gekennzeichnet.

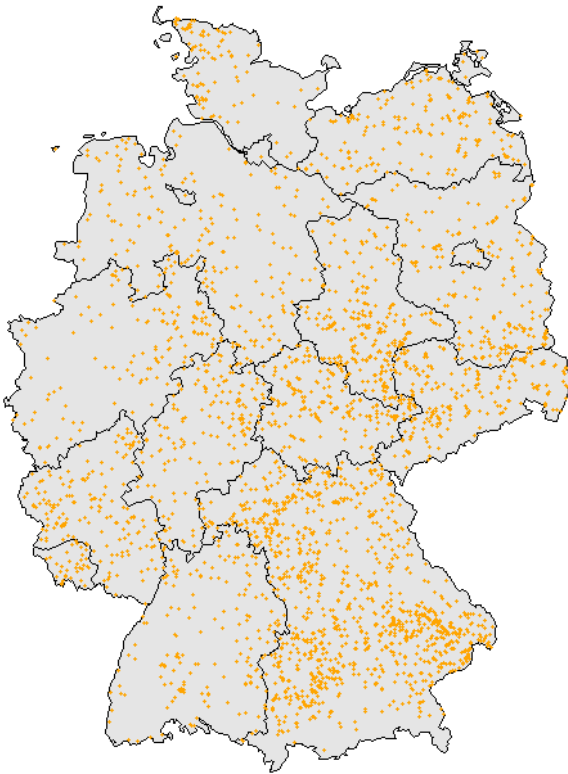
### **2.3.2.3 Ergebnisse**

Der finale Datensatz enthält 4.139 Polygone, davon

- 874 ohne oder mit nicht vollständigen Attributinformationen und
- 3.265 mit vollständigen Attributinformationen.

Im Rahmen des Projektes wurde der vollständige Datensatz mit einer installierten Gesamtleistung von 9.351 MW für das Jahr 2015 verwendet und damit rund 86% der PV-Freiflächenanlagen. Abbildung 13 zeigt die Standorte der Photovoltaik-Freiflächenanlagen im Jahr 2015.





© GeoBasis-DE / BKG (2019)

Abbildung 13: Standorte der Photovoltaik-Freiflächenanlagen im Jahr 2015. Eigene Darstellung.

#### 2.3.2.4 Fortführung des Datensatzes für PV-Freiflächenanlagen

Die Fortführung des Datensatzes für PV-Freiflächenanlagen kann über die frei zugänglichen Daten des Anlagenregisters der BNetzA erfolgen. Seit dem 1. August 2014 müssen Anlagenbetreiber neue Photovoltaik-Freiflächenanlagen im Anlagenregister registrieren. Erfasst werden dabei unter anderem Daten, wie installierte Leistung, Inbetriebnahme, Straße bzw. Flurstück, Ort bzw. Gemarkung sowie Koordinaten zur Georeferenzierung. Die veröffentlichten Daten des Anlagenregisters der BNetzA sind aus Datenschutzgründen inzwischen räumlich anonymisiert.

Seit dem 31. Januar 2019 können Betreiber ihre Erzeugungs- sowie Verbrauchsanlagen (Strom und Gas) im Webportal Marktstammdatenregister (MaStR) der BNetzA registrieren. Da die BNetzA auch ihren alten Datenbestand in das System transferiert hat, beträgt die Zahl der insgesamt erfassten Anlagen etwa 1,9 Mio. Diese Daten weisen aber noch Lücken auf und müssen daher noch von den Betreibern der Anlagen ergänzt werden. Die BNetzA rechnet pro Jahr mit 100.000 bis 150.000 Neu- und Ummeldungen sowie mit der Anmeldung von insgesamt zwei Mio. Altanlagen. Das MaStR soll für alle Marktteilnehmende zugänglich sein.

Perspektivisch kann das MaStR der BNetzA den PV-Freiflächenanlagen-Datensatz ablösen, wobei die Polygone manuell, zum Beispiel über Google-Earth, zugewiesen werden müssten. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass die Aktualisierung der Luftbildaufnahmen nicht jährlich erfolgt, so dass auch in Zukunft immer Anlagen übrig bleiben werden, deren Umrisse nicht bekannt sind.

## 2.4 Bioenergieanlagen

### 2.4.1 Technologiesteckbrief

#### 2.4.1.1 Bisherige technologische Entwicklung

Für die Darstellung der technologischen Entwicklung im Bereich der Biomasse zur Stromerzeugung wird der Fokus auf den Einsatz von fester vornehmlich holzartiger Biomasse in (Heiz)-Kraftwerken und vergärbare Biomasse für die Erzeugung von Biogas sowie Biomethan gelegt. Pflanzenöle für die Stromerzeugung werden hier nicht mit ausgeführt, da diese einerseits einen sehr geringen Anteil an der gesamten erzeugten Strommenge aus Biomasse aufweisen und andererseits Neuanlagen mit dem EEG 2012 keine Vergütung mehr erhalten.

Mit der Einführung des EEG im Jahr 2000 war bis zum Jahr 2014 eine konstante Zunahme der Anzahl sowie der installierten Leistung von Bioenergieanlagen zur Strom- bzw. kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung zu verzeichnen. Zu Anfang wurden insbesondere Altholz-Kraftwerke im hohen Leistungsbereich zwischen 10 und 20 MW<sub>el</sub> zugebaut. Mit der ersten Novellierung des EEG im Jahr 2004 wurde die Vergütung für den Einsatz von Altholz, mit Wirkung vom 1. Juli 2006, stark herabgesetzt, wodurch hier seither keine zusätzlichen Kapazitäten zu verzeichnen sind. Stattdessen wurde der Einsatz von Waldrestholz in Festbrennstoffanlagen gefördert. In jüngerer Vergangenheit wurde von Anlagen im größeren Leistungsbereich, die Waldrestholz nutzen, auch u. a. Landschaftspflegeholz als Brennstoff verwendet. Zwischen 2011 und 2013 wurden Anlagen der thermochemischen Holzvergasung im kleineren Leistungsbereich (< 1 MW<sub>el</sub>) zugebaut. Aufgrund der angepassten Vergütungssätze des EEG 2014 ist der Zubau in allen Leistungsbereichen deutlich zurückgegangen. Es wird erwartet, dass perspektivisch nur noch vereinzelt neue Biomasseheizkraftwerke gebaut werden. Aktuell sind etwa 700 Biomasse(heiz)kraftwerke einschließlich thermo-chemischer Holzvergaser mit einer kumulierten elektrischen Leistung von rund 1.500 MW<sub>el</sub> in Betrieb. Vor dem Jahr 2000 waren etwa 20 Biomasse(heiz)kraftwerke in Betrieb (Scheffeltowitz et al. 2015).

Es sind drei Technologien zur reinen Strombereitstellung bzw. kombiniert mit der Auskoppelung von Wärme am Markt etabliert. Dies sind der Dampfkraftprozess unter Anwendung einer Dampfturbine beziehungsweise vereinzelt auch eines Dampfmotors, der ORC-Prozess (Organic Rankine Cycle) sowie die thermo-chemische Vergasung. Installierte EEG-Anlagen mit Dampfturbinen liegen vornehmlich in einem Leistungsbereich zwischen 3 und 10 MW<sub>el</sub> installierter Leistung oder auch darüber. Diese Verbrennungsanlagen wurden unter dem EEG 2000 und EEG 2004 zugebaut. Der Anteil dieser Kraftwerke an der Gesamtinstallierten Leistung über alle Biomasseheizkraftwerke beträgt 88 % mit einem Anteil an der Anlagenanzahl von 22 %. Anlagenkonzepte mit einer ORC-Turbine weisen eine deutliche geringe installierte elektrische Leistung auf. Typische ORC-Anlagen liegen zwischen etwa 0,5 und 1,5 MW<sub>el</sub>. Die Nutzung der ORC-Technologie wurde durch den Technologiebonus des EEG 2004 angereizt, welche bis Ende 2011 galt. Die aktuelle Anlagenanzahl wird auf ca. 85 beziffert. Die thermo-chemische Vergasungstechnologie erlangte durch die weitere technologische Entwicklung vor allem seit dem Jahr 2011 an Bedeutung. Die Mehrzahl der Holzvergaseranlagen deckt einen Leistungsbereich zwischen 40 und 180 kW<sub>el</sub> ab. Zwei Herstellerfirmen, namentlich Burkhardt und Spanner, bieten diese Technologie kommerziell an. Die eingesetzten Brennstoffe sind Hackschnitzel oder Pellets aus Waldrestholz (Zeymer et al. 2013).

Im Vergleich zu den Biomasseheizkraftwerken, die zu einem Großteil in den ersten Jahren nach der Einführung des EEGs zugebaut wurden, wurden Biogasanlagen verstärkt ab dem Jahr 2005 installiert. Bis 2011 war ein signifikantes Marktwachstum zu verzeichnen. Seit

2012 stagniert der Anlagenzubau. Aktuell sind etwa 8.700 Biogasanlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von etwa 5.000 MW<sub>el</sub> in Deutschland in Betrieb. Der Großteil sind landwirtschaftliche Biogasproduktionsanlagen (94 %), die nachwachsende Rohstoffe, vornehmlich Maissilage oder Gras- und Getreideganzpflanzensilage sowie Exkrememente einsetzen. Darüber hinaus gibt es Anlagen zur Abfallvergärung sowie Biogasaufbereitung zu Biomethan. Die überwiegende Anzahl von installierten Biogaserzeugungsanlagen weist eine installierte Leistung zwischen 70 und 750 MW<sub>el</sub> auf (Daniel-Gromke et al. 2017).

Die eingesetzten Verfahren zur Biogaserzeugung sind die Nass- und Trockenfermentation. Dabei wird vorwiegend die Nassfermentation (90 %) in landwirtschaftlichen Biogasanlagen und das weit weniger verbreitete Trockenfermentationsverfahren bei Abfallvergärungsanlagen genutzt. Bei der Trockenfermentation werden Pfropfenstromverfahren mit kontinuierlicher Betriebsweise als auch diskontinuierliche Batchverfahren in Boxen- bzw. Garagenfermentern angewandt. Die Biogaserzeugungsanlagen verfügen durchschnittlich über zwei Fermenter. Für die Stromerzeugung in Blockheizkraftwerken (BHKW) werden Gas-Otto-Motoren (in Anlagen > 250 kW<sub>el</sub>) und Zündstrahlmotoren (Anlagengrößen bis 340 kW<sub>el</sub>) genutzt. Für die Aufbereitung von Biogas zu Biomethan wird hauptsächlich Kohlenstoffdioxid abgetrennt und der Methangehalt erhöht. Als Verfahren finden hierfür zumeist die Aminwäsche, Druckwasserwäsche und Druckwechseladsorption Anwendung (Scheftelowitz et al. 2015).

In der historischen Entwicklung von Biogasanlagen bestand die Herausforderung vor allem darin, Technik und Vergärungsprozess aufeinander abzustimmen, um eine möglichst hohe Gasausbeute zu erreichen. Eine zusammenfassende Darstellung über den Innovationsprozess der Biogaserzeugung gibt Bruns et al. (2009) in „Erneuerbaren-Energien in Deutschland – Eine Biographie des Innovationsgeschehens“. Bruns et al. (2009) beschreiben hierin verschiedene Phasen des Innovationsgeschehens. Die Jahre 1970 bis 1990, also die Zeit vor der energiepolitischen Förderung der Verstromung von Biogas, charakterisieren sie als „Forschungs- und Pionierphase“. Das Innovationsgeschehen konzentrierte sich hier auf Tüftler und Kleininitiativen aus der Landwirtschaft, die eine meist umweltverträgliche Gülleverwertung zum Ziel hatten. Ab Anfang der 1980er forschten dann auch WissenschaftlerInnen zu verschiedenen Aspekten der Biomassevergärung (vor allem in der DDR).

Biogasanlagen wurden vor dem Jahr 1990 nicht systematisch erfasst. Hinweise über die historische Entwicklung der Anzahl von Biogasanlagen liefert die Literatur (Abbildung 14), die allerdings unterschiedliche Angaben vorhält. Eine der ersten landwirtschaftlichen Biogasanlage wurde im Jahr 1948 im Odenwald errichtet (Bruns et al. 2010). In den 1950er Jahren lag die Anzahl der landwirtschaftlichen Biogasanlagen in Deutschland (BRD und DDR) bei etwa 50 bis 70 Anlagen (Reinhold und Vollmer 2003). Ein Großteil dieser Anlagen wurde bald darauf schon wieder stillgelegt, da sie wirtschaftlich nicht mit den günstigeren Energieträgern Kohle und Erdöl konkurrieren konnten. Erst in den 1970er Jahren kam es zu einer Wiederbelebung des Interesses an der Vergärung von Biomasse. Die Motive hierfür bestanden allerdings weniger in der Energiegewinnung als vielmehr in der Düngeraufbereitung (Bruns et al. 2009). Mit der Einführung des StromEinsG zum Jahr 1991 rückte die Verstromung von Biogas dann in den Fokus der deutschen Energiepolitik. Zu diesem Zeitpunkt waren in Deutschland etwa 80 bis 100 Biogasanlagen in Betrieb (Baader 2011; Meyer und Prierer 2012).

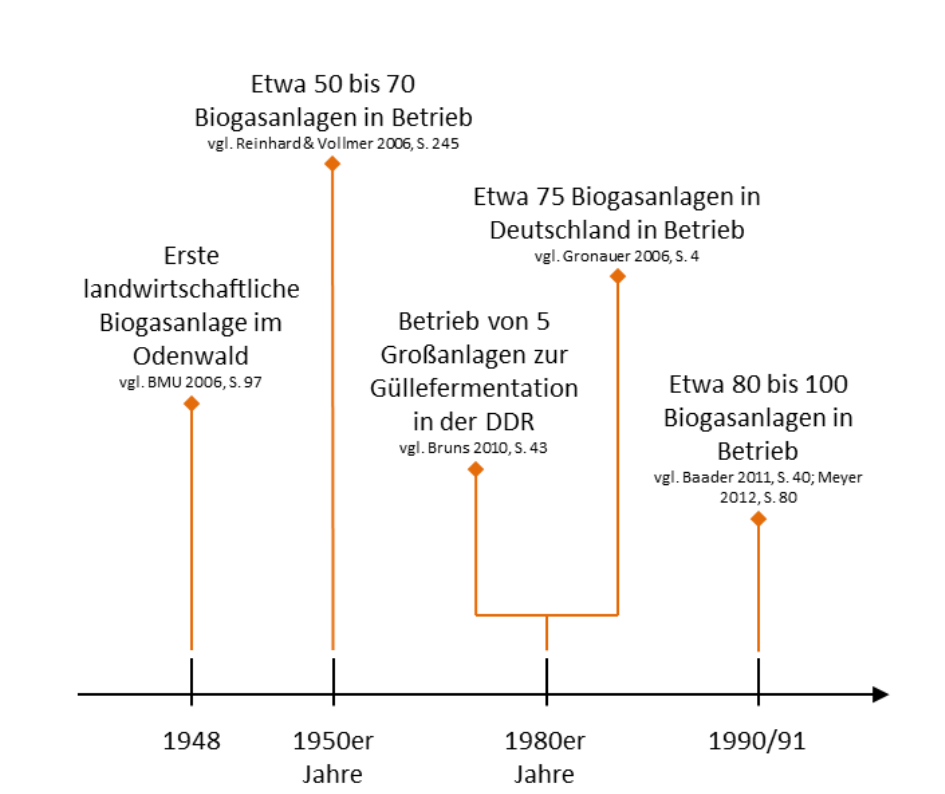


Abbildung 14: Entwicklung des Biogasanlagenbestandes in Deutschland vor der energiepolitischen Förderung 1991. Eigene Darstellung.

#### 2.4.1.2 Absehbare technologische Entwicklung

Hinsichtlich der absehbaren technologischen Entwicklung im Bioenergiebereich wird vorliegend zwischen Effizienzsteigerungen und technischen Erweiterungen der Anlagen unterschieden. Bei Effizienzsteigerungen (repowering oder auch retrofitting) werden gezielte Maßnahmen ergriffen, um den Nutzungs- und/oder Wirkungsgrad einer Anlage zu steigern. Hierbei handelt es sich vordergründig um Modifikationen bestehender Anlagenkonzepte, um z. B. einen höheren Wärmenutzungsgrad und eine verbesserte Substratausnutzung zu bewirken oder auch Maßnahmen, um den Wartungsbedarf zu senken bzw. akute Probleme im Prozessablauf zu beheben (Postel et al. 2017). Technische Erweiterungen umfassen den Einsatz bisher nicht verwendeter Rohstoffe, Verfahren oder auch die Erzeugung neuer Produkte.

Im Biogasbereich werden bei Repoweringmaßnahmen insbesondere eine Erhöhung des Wirkungsgrades sowie der Wärmenutzung angestrebt (Abbildung 15). Die im BHKW erzeugte Wärme wird für die Deckung des Eigenwärmebedarfs einer Anlage verwendet. Die übrige Wärmemenge steht für weitere Anwendungen zur Verfügung. Anlagenbetreiber sind bestrebt den Anteil der Nutzung dieser sogenannten extern zur Verfügung stehenden Wärme weiter zu erhöhen. Momentan wird die Wärme für innerbetriebliche Anwendungen wie u. a. für Trocknungsprozesse angewandt. Zukünftig ist zu erwarten, dass die Wärme zunehmend für die Nah- und Fernwärmeversorgung eine Rolle spielen kann (Daniel-Gromke et al. 2017).

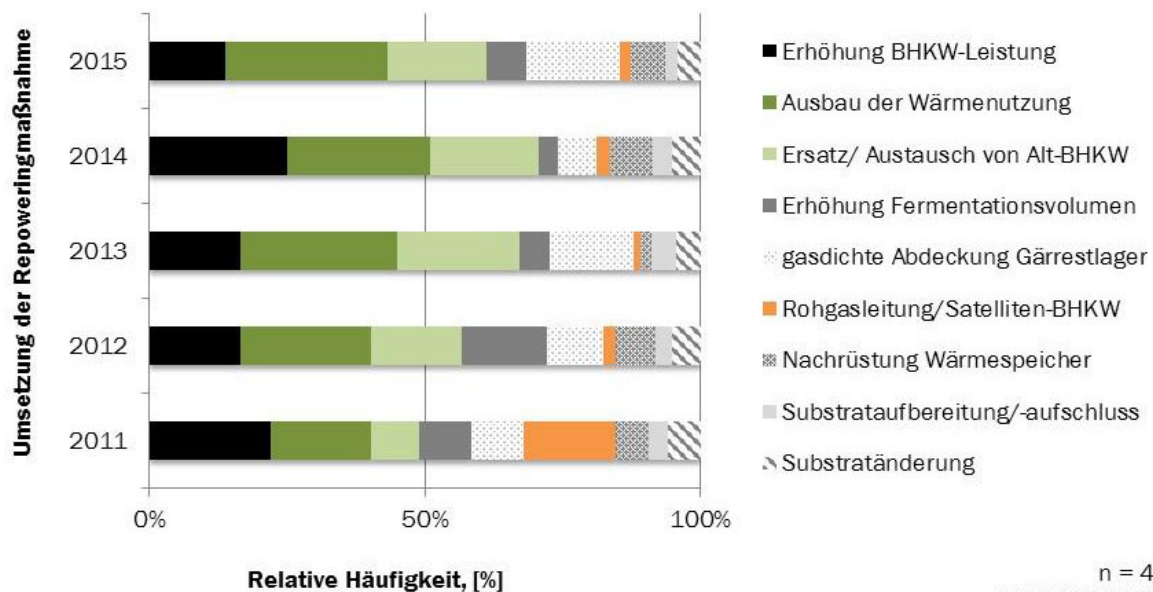


Abbildung 15: Umsetzung von Maßnahmen zur Effizienzsteigerung von Biogasanlagen (Daniel-Gromke et al. 2017).

Betrachtet man die absehbaren technischen Erweiterungen von Biogasanlagen, so wird insbesondere an einer Erweiterung der Palette des Rohstoffeinsatzes sowie der erzeugten Produkte geforscht. Zur Vergrößerung der Rohstoffbasis auch mit Hinblick auf eine verstärkte Nutzung von Rest- und Abfallstoffen sind andere Aufbereitungs-, Zerkleinerungs- sowie Einbringungstechniken erforderlich, um die Fasern des Substrates für die Bakterien im Fermentationsprozess zugänglich zu machen. Hier liegt der Fokus auf der Behandlung von ligninhaltigen Biomassen (Gallegos et al. 2017). Auf der Produktseite wird neben bzw. anstatt der Stromerzeugung aus Biogas, das Biogas zunehmend auf Erdgasqualität zu Biomethan aufbereitet, welches in einem weiteren Verfahrensschritt auch verflüssigt werden kann. Damit stehen ein gasförmiges und flüssiges Bioenergieprodukt zur Verfügung, welche zur Strom- und/oder Wärmeenergieerzeugung sowie als Motorenkraftstoff verwendet werden können.

#### 2.4.1.3 Räumliche Steuerung, Stromgestehungskosten und CO<sub>2</sub>- Emissionen

Eine **räumliche Steuerung** spielt im Rahmen der Ausschreibung für Strom aus Biomasse keine direkte Rolle, da die Ausschreibung nicht die örtlichen Gegebenheiten berücksichtigt.

Für die Teilnahme an den Ausschreibungen müssen Biomasseanlagen die Genehmigungen nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz oder nach einer anderen Bestimmung des Bundesrechts oder die Baugenehmigung vorlegen (§ 39 Abs. 1 Nr. 2 EEG 2017).

Die Höhe der **Stromgestehungskosten** von Bioenergieanlagen ist insbesondere abhängig von der Art der eingesetzten Rohstoffe und der damit verbundenen Höhe der Beschaffungskosten sowie von den Kapitalkosten (Investition in die Anlagentechnologie). Dies gilt für alle Technologien – Festbrennstoffverbrennungsanlagen, Biogasanlagen oder auch Bioenergieanlagen, die Pflanzenöl als Brennstoff einsetzen. Der Anteil der Rohstoffkosten an den Stromgestehungskosten liegt bei einer Biogasanlage zwischen 37 bis 56 % und bei Festbrennstoffverbrennungsanlagen zwischen 34 bis 50 % (Hennig und Gawor 2012; Scheftelowitz et al. 2014). Die Stromgestehungskosten für Biogasanlagen liegen je nach eingesetztem Substrat und Anlagengröße (500 kW<sub>el</sub>-1 MW<sub>el</sub>) mit 7.700-8.000 Volllaststunden zwischen 15,6 und 20,5 ct/kWh. Güllekleinanlagen (75 kW<sub>el</sub>) weisen 26 ct/kWh auf. Die Stromgeste-

hungskosten für Festbrennstoffanlagen liegen je nach eingesetztem Substrat und Anlagengröße (30 kW<sub>el</sub>-4 MW<sub>el</sub>) mit 7.500-8.000 Volllaststunden zwischen 15,6 und 19,6 ct/kWh (Scheffelowitz et al. 2014).

Treibhausgas (THG)-Emissionen entstehen aus der Erzeugung und Nutzung der Energie aus Biomasse. Diese sogenannten Prozessemissionen – Biomasseproduktion, Transport, Konversion und Nutzung – können auf Basis messbarer Werte quantifiziert werden. Während der Biomasseproduktion entstehen insbesondere bei der Erzeugung von landwirtschaftlicher Biomasse Emissionen (Lachgasemissionen aus dem Düngemittleinsatz, Emissionen aus der Nutzung von Energieträgern für die Bewirtschaftung und Ernte). Im Rahmen der Konversion der Biomasse zu Energie sind vor allem die Bereitstellung der Prozessenergie sowie die Nutzung weiterer Hilfs- und Betriebsstoffe von Bedeutung. Zusätzlich können bei bestimmten Prozessen weitere direkte Emissionen (z. B. Methanverluste bei der Biogasproduktion, Verbrennungsemissionen usw.) auftreten. Die **THG-Emissionen** von landwirtschaftlichen Biogasanlagen basierend auf nachwachsenden Rohstoffen sowie Gülle zur Stromerzeugung werden je nach Anlagenkonzept mit zwischen 20,5 und 129,4 g CO<sub>2Äq</sub>/kWh<sub>el</sub> beziffert. Beim Einsatz von Bioabfall betragen je nach Konzept die max. THG-Emissionen 99 g CO<sub>2Äq</sub>/kWh<sub>el</sub> bzw. es können auch marginale THG-Einsparungen realisiert werden (Majer et al. 2011). Die **THG-Emissionen** von Festbrennstoffanlagen liegen zwischen 14,3 und 35,9 g CO<sub>2Äq</sub>/kWh<sub>el</sub> im mittleren bis höheren Leistungsbereich (Hennig und Gawor 2012).

## 2.4.2 Datensatz

### 2.4.2.1 Datenquelle

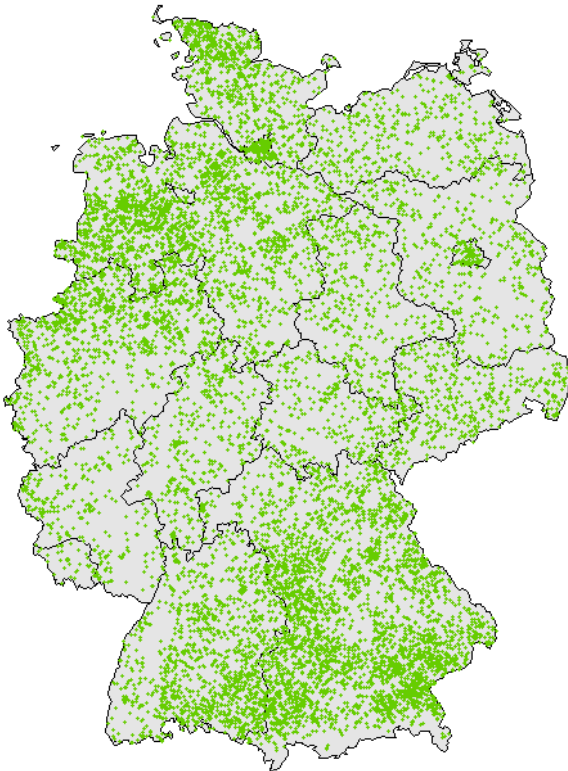
Die Datengrundlage zur Erfassung des Anlagenbestandes der Bioenergie bilden im Wesentlichen die Stamm- und Bewegungsdaten der BNetzA. Sie enthalten Informationen über jede Bioenergieanlagen, die im Rahmen des EEG Strom in das deutsche Stromnetz einspeisen. Sie enthalten u. a. den Anlagenstandort (Bundesland, Postleitzahl, Ort, Straße), die Höhe der an Anlagenbetreiber auszahlenden Mindestvergütungen und Prämien als codierten Vergütungsschlüssel, die installierte elektrische Leistung und das Jahr der Inbetriebnahme. Nicht enthalten sind Angaben über die Bioenergieträger. Neben den Stamm- und Bewegungsdaten der BNetzA dienen das Kraftwerksregister der BNetzA und Ergebnisse einer jährlich durchgeführten Betreiberbefragung von Biomasseanlagen als Datenquelle (Scheffelowitz et al. 2014).

### 2.4.2.2 Aufbau eines Datensatzes

Der aufgebaute Datensatz der Bioenergieanlagen enthält Angaben über den Anlagenstandort als Geokoordinate (überwiegend bereinigt), die installierte elektrische Anlagenleistung, das Inbetriebnahmejahr und die Art des Bioenergieträgers. Die Geokoordinaten der Anlagenstandorte wurden über eine Geokodierung der in den BNetzA Daten enthaltenen Adressangaben ermittelt. Die Geokodierung erfolgte dabei mit dem GeoCoder des Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) (<https://www.bkg.bund.de>). Der GeoCoder transformiert dabei Adressangaben in eine Geokoordinate. Die Einteilung der Bioenergieanlagen nach Bioenergieträger wurde nach der Methode von Scheffelowitz et al. 2018 vorgenommen. Hiernach lassen sich die Bioenergieanlagen über den in den BNetzA Daten mitgelieferten Vergütungsschlüssel in die Kategorien Biomethan, Biogas, feste Biomasse und flüssige Biomasse einteilen.

### 2.4.2.3 Ergebnisse

Der aufgebaute Datensatz der Bioenergieanlagen enthält 14.236 Einträge mit einer installierten Leistung von insgesamt 6.834 MW für das Jahr 2015. Abbildung 16 zeigt die Standorte der Bioenergieanlagen im Jahr 2015.



© GeoBasis-DE / BKG (2019)

Abbildung 16: Standorte der Bioenergieanlagen im Jahr 2015. Eigene Darstellung.

### 2.4.2.4 Fortführung des Datensatzes für Bioenergieanlagen

Die Fortführung des Datensatzes für Biomasseanlagen kann über die frei zugänglichen Daten des Anlagenregisters der BNetzA erfolgen. Seit dem 1. August 2014 müssen Anlagenbetreiber nach §§ 6, 93 EEG und der damit einhergehenden Anlagenregisterverordnung neue Biomasseanlagen im Anlagenregister registrieren. Erfasst werden dabei unter anderem Daten, wie installierte Leistung, Inbetriebnahme, Straße bzw. Flurstück, Ort bzw. Gemarkung sowie Koordinaten zur Georeferenzierung (Die veröffentlichten Daten des Anlagenregisters der Bundesnetzagentur sind aus Datenschutzgründen inzwischen räumlich anonymisiert).

Seit dem 31. Januar 2019 können Betreiber ihre Erzeugungs- sowie Verbrauchsanlagen (Strom und Gas) im Webportal Marktstammdatenregister (MaStR) der BNetzA registrieren. Da die BNetzA auch ihren alten Datenbestand in das System transferiert hat, beträgt die Zahl der insgesamt erfassten Anlagen etwa 1,9 Mio. Diese Daten weisen aber noch Lücken auf und müssen daher noch von den Betreibern der Anlagen ergänzt werden. Die BNetzA rechnet pro Jahr mit 100.000 bis 150.000 Neu- und Ummeldungen sowie mit der Anmeldung von insgesamt zwei Mio. Altanlagen. Das MaStR soll für alle Marktteilnehmende zugänglich sein. Perspektivisch ist MaStR der BNetzA die zentrale Datenbasis zur Bestimmung und Charak-

terisierung des Biomasseanlagenbestandes im Strombereich. Eine anlagenscharfe Zuweisung erlaubt das Anlagenregister allerdings nicht, d. h. eine genauere Unterscheidung als feste, flüssige und gasförmige Biomasse ist nicht möglich. Zur exakten Bestimmung des Biomasseanlagentyps muss eine manuelle Zuweisung über Luftbilddaufnahmen erfolgen sowie die Ergebnisse einer jährlich erfolgenden Betreiberbefragung herangezogen werden.

## 2.5 Wasserkraftanlagen

### 2.5.1 Technologiesteckbrief

#### 2.5.1.1 Bisherige technologische Entwicklung

Die Wasserkraft ist eine jahrhundertalte Technologie, deren Entwicklungsstand sich auf einem hohen Niveau befindet. Gleichwohl gab und gibt es Technologieentwicklungen. Insbesondere in jüngerer Vergangenheit spielten naturschutzfachliche Belange eine Rolle bei der Weiterentwicklung von Anlagenkomponenten (z. B. Fischaufstiegsanlagen, fischfreundliche Turbinen). Bei der Beschreibung der technologischen Entwicklung wird dieser Aspekt besonders herausgearbeitet. Als Grundlage dazu dienen eine Aufstellung der gravierendsten ökologischen Auswirkungen der Wasserkraft sowie eine Darstellung möglicher Kompensationsmaßnahmen (BMWi 2014).

Die Wasserkraft besitzt am unmittelbaren Ort der Energieumwandlung eine sehr hohe Energiedichte mit entsprechenden Anforderungen an die Maschinen. Die baulichen Anlagen müssen insbesondere bei Hochwasser und Frost erheblichen Belastungen durch das Gewässer standhalten (Abbildung 17). Daher weisen Wasserkraftanlagen die höchsten spezifischen Investitionen aller regenerativen Energiequellen auf, was sich in langen Amortisationszeiten niederschlägt. Wasserkraftanlagen besitzen eine lange Lebensdauer und noch heute sind viele Turbinen aus dem Beginn des letzten Jahrhunderts in Betrieb (BMWi 2014).

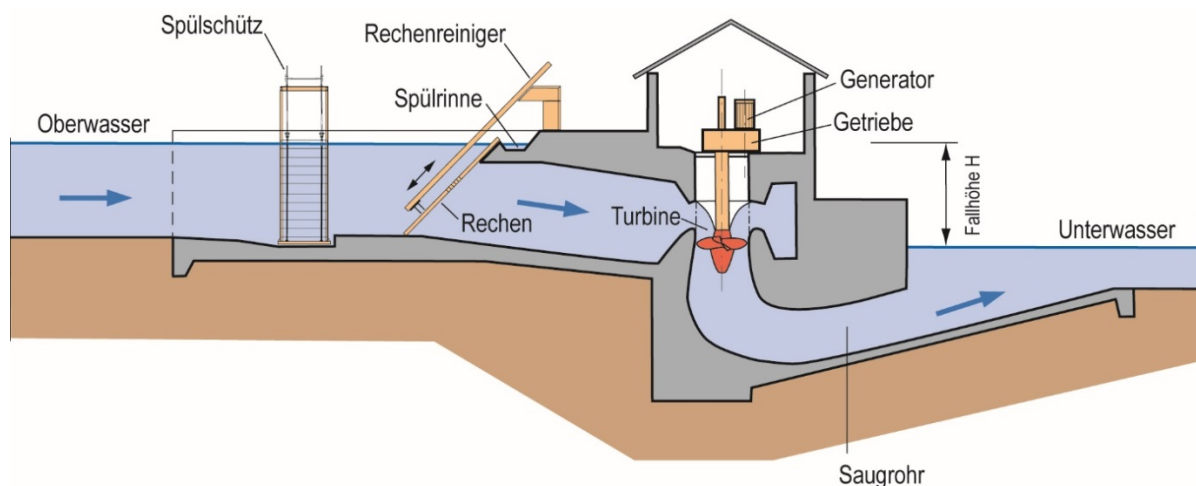


Abbildung 17: Aufbau einer Wasserkraftanlage. Darstellung Ingenieurbüro Floecksmühle GmbH.

#### Entwicklung der Wasserkraftnutzung

Daten zu Wasserkraftanlagen werden regelmäßig aufgrund unterschiedlicher Gesetzesgrundlagen und Interessen zusammengestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Motivation für die Erhebung der Daten kommt es zu Datenbeständen, in denen es Überschneidungen, aber auch abweichende Inhalte gibt.



Während z. B. die Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien Statistik (AGEE-Stat) eine Gesamtschau aller Wasserkraftanlagen in Deutschland darstellen, veröffentlicht das statistische Bundesamt Daten zu Anlagen der Leistung  $\geq 1$  MW. Die EEG-Daten der BNetzA werden nur zu den Wasserkraftanlagen erfasst und plausibilisiert, die eine Förderung nach EEG erhalten oder erhielten. Darüber hinaus veröffentlicht die BNetzA in der Kraftwerksliste alle Bestandskraftwerke mit einer elektrischen Nennleistung von mindestens 10 MW. Für Anlagen der Leistung  $< 10$  MW wird die Leistung summarisch für die einzelnen Energieträger aufgeführt.

Im Folgenden werden daher die Statistiken der AGEE-Stat dargestellt. Die Zeitreihen der AGEE-Stat für die Stromerzeugung und Leistung von Wasserkraftanlagen beinhalten ausschließlich Anlagen der Laufwasserkraft und Anlagen an Speicherseen. Stromseitig wird die Erzeugung in Pumpspeicherkraftwerken (PSK), die auf den natürlichen Zufluss entfällt, hinzuaddiert.

Neben den Anlagen der Allgemeinen Versorgung sind laut AGEE-Stat auch die der Industrie zugeordneten Kraftwerke und Anlagen sowie „sonstige Einspeiser“ berücksichtigt.

Abbildung 18 zeigt die Stromerzeugung aus Wasserkraft in den Jahren 1990 bis 2015. Während die installierte Leistung quasi kontinuierlich bis zum Jahr 2011 zugenommen hat, schwankt die jährliche Erzeugung. Diese Differenzen sind insbesondere durch wetterbedingte jährliche Schwankungen bei den Abflüssen zu erklären.

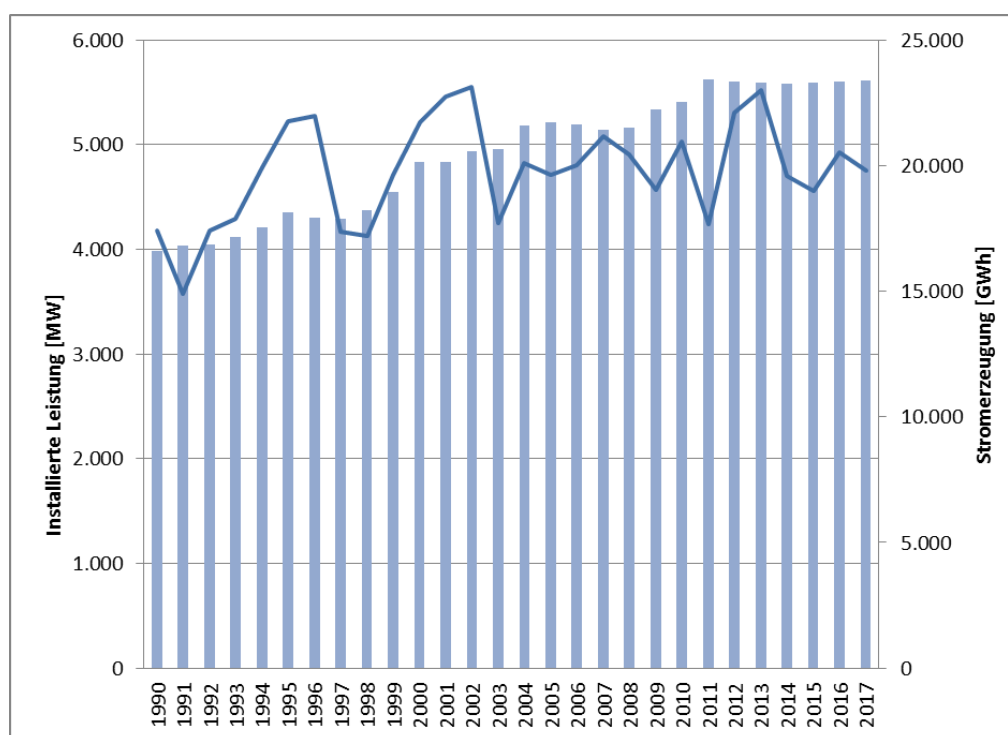


Abbildung 18: Jahresarbeit und installierte Leistung aller Wasserkraftanlagen. Die installierte Leistung ist als Säule dargestellt, die Jahresarbeit als Linie (BMW 2018d).

Tabelle 4: Entwicklung der Jahresarbeit Wasserkraft mit und ohne Direktvermarktung (BMW 2018c; BNetzA 2014), \*PSK nur Stromerzeugung aus natürlichem Zufluss.

Jahr	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Bruttostromerzeugung Wasserkraft* [GWh/a]	19.031	20.953	17.671	22.091	22.998	19.587	18.977	20.546

Jahresarbeit aller Anlagen mit EEG Förderung [GWh]	4.877	5.665	4.843	5.417	6.265	5.646	5.348	5.948
--	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

### 2.5.1.2 Absehbare technologische Entwicklung

Die Wasserkraft-Technologie hat einen sehr hohen Reifegrad und eine sehr hohe Zuverlässigkeit erreicht. Große Anlagen erreichen heute Wirkungsgrade im Bereich von 95 % im Optimum, eine große Steigerung ist hier kaum mehr möglich. Auch bei modernen kleinen Anlagen ist der Wirkungsgrad schon sehr hoch (im Bereich von 90 bis 92 %), so dass Wirkungsgradsteigerungen demzufolge nur noch begrenzt möglich sind. Dennoch ergeben sich in den letzten Jahren eine Vielzahl an Neuentwicklungen.

In der Marktanalyse zur Vorbereitung von Ausschreibungen im Rahmen der Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichts 2014 gemäß § 65 EEG wurde die Technologieentwicklung in der Wasserkraft untersucht (Floeksmühle 2015). Im Rahmen dieser Untersuchung wurden folgende Punkte behandelt:

#### 1. Verbesserte Auslegungsmethoden

Durch den Einsatz neuer Auslegungsmethoden für Wasserkraftanlagen – hier ist vor allem der Einsatz moderner Strömungssimulationsmethoden zu nennen, die heute auch kleinen Unternehmen kostengünstig zur Verfügung stehen – ist eine Erhöhung der Wirkungsgrade gegenüber alten Anlagen von ca. 2 bis 4 % zu erwarten.

#### 2. Optimierung der Betriebsführung

Bei Anlagen mit mehreren Turbinen kann alleine durch eine optimierte Betriebsführung (wirkungsgrad-optimierter Einsatz der einzelnen Turbinen) eine deutliche Steigerung der Jahresarbeit erreicht werden. Je nach Anlage kann diese Steigerung zwischen 2 bis 4 % betragen, bei speziellen Anlagen sogar noch mehr.

#### 3. Automatisierung von Rechenreinigung und Spülprogrammen

Eines der größten Probleme bei Kleinwasserkraftanlagen stellt die Verschmutzung sowohl des Rechens als auch der Turbine dar. Dabei kann es innerhalb sehr kurzer Zeit zu großen Leistungseinbrüchen kommen. Noch immer werden Rechenreinigungsanlagen und vor allem Turbinenspülvorgänge manuell durchgeführt. Da diese manuelle Reinigung bzw. Spülung natürlich nicht immer zum optimalen Zeitpunkt erfolgt, kommt es in der Regel zu erheblichen Produktionseinbußen. Heutige moderne Rechenreinigungsanlagen sowie moderne digitale Turbinenregler sind aber ohne nennenswerte Kosten so umrüstbar, dass sowohl die Rechenreinigung als auch die Turbinenspülung mit einem effizienten Spülprogramm automatisch erfolgen kann und sich somit eine deutlich verbesserte Betriebssituation mit einer Mehrproduktion ergibt.

#### 4. Anlagen mit variabler Drehzahl

Durch die Entwicklungen im Bereich der Windkraft und der Photovoltaik stehen heute effiziente Frequenzumrichter zu moderaten Kosten zur Verfügung. Dadurch können Wasserturbinen auch mit variabler Drehzahl betrieben werden. Rüstet man eine einfach-regulierte Turbine (Francis- oder Propellerturbine) mit einem drehzahlvariablen Generator aus, so ergeben sich damit zwei Vorteile. Zum einen erhält man einen deutlich breiteren Wirkungsgradverlauf und damit einen höheren Wirkungsgrad im Teillast- und Überlastbereich. Dies führt vor allem bei Anlagen mit starker Wassermengenschwankung zu einem

erheblichen Gewinn an Jahresarbeit. Zum zweiten erreicht man ein höheres Schluckvermögen der Maschine, was bei einer Anlage, die genügend Wasser zur Verfügung hat, zu einer weiteren Steigerung der Jahresarbeit führt.

## 5. Entwicklungen im Generatorbau

Im Bereich der Generatorentwicklung geht der Trend zu direkt-gekoppelten Generatoren. Dies hat zwei Vorteile, zum einen erreicht man einen besseren Wirkungsgrad und zum anderen eine Reduktion der Wartung, wenn man auf ein Getriebe verzichtet. Mit einem direkt-gekoppelter Generator steigt der Wirkungsgrad um ca. 2 % gegenüber einer Getriebevariante. In den letzten Jahren werden darüber hinaus immer häufiger Permanentmagnet-erregte Generatoren eingesetzt. Diese erfordern zwar bei der Installation und Wartung ein gewisses Know-How, man erreicht dadurch aber vor allem im Teillastbereich noch einmal eine deutliche Steigerung des Wirkungsgrades. Gegenüber konventionellen Generatoren haben Permanentmagnet-erregte Generatoren zusätzlich den Vorteil, dass sie deutlich kleiner bauen, was z. B. bei Rohrturbinen Vorteile bringt. Des Weiteren kann durch den Einsatz von Hochtemperatur-Supraleitenden Generatoren Generatorwirkungsgrad noch einmal gesteigert werden. Vor allem im Teillastbetrieb weisen diese Generatoren noch einmal eine deutliche Verbesserung auf. Diese Technologie scheint jedoch noch nicht die Zuverlässigkeit zu besitzen, die für einen Einsatz in Wasserkraftanlagen notwendig ist, um einen langlebigen, wartungsarmen Betrieb zu gewährleisten.

## 6. Entwicklungen in der Turbinentechnik

Der Fokus bei der Entwicklung in der Kleinwasserkraft liegt neben der Verbesserung von Einzelkomponenten (als Beispiel sei hier die Entwicklung von Permanentmagnet-erregten Generatoren mit einer deutlichen Wirkungsgradsteigerung vor allem im Teillastbetrieb genannt) auf folgenden Punkten:

- Entwicklung fischfreundlicher Turbinen,
- Entwicklung von Anlagen und Komponenten zur Verbesserung der Durchgängigkeit,
- Entwicklung neuer Konzepte zur Nutzung geringer Fallhöhen,
- Entwicklung von kostengünstigen standardisierten Turbinen und
- Entwicklung von Turbinen ohne Aufstau.

### 2.5.1.3 Räumliche Steuerung, Stromgestehungskosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen

Neben den Erneuerbare-Energien-Gesetzen haben die gesetzlichen Vorgaben und die Praxis der wasserrechtlichen Genehmigungen sowie die Möglichkeiten der Vermarktung außerhalb des EEG einen entscheidenden Einfluss auf Ausbau und Erschließung weiterer Potenziale. Eine direkte **räumliche Steuerung** wird nicht vorgenommen. Das im Wasserhaushaltsgesetz und in der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) verankerte Verschlechterungsverbot verhindert den Neubau von Staustufen oder Wehranlagen.

Das zusätzliche Ausbaupotenzial wird daher durch Modernisierung bestehender Anlagen und durch den Neubau an bestehenden, bisher ungenutzten Querbauwerken gesehen. Um zu verhindern, dass neue Staustufen oder Wehranlagen in ökologisch empfindlichen Gewässerstrecken errichtet werden und damit den Bemühungen zur Umsetzung der EU-WRRL nach einem guten ökologischen Zustand zuwiderlaufen, wurde mit dem EEG 2004 ein Absatz (§ 40 Abs. 4 EEG 2017) aufgenommen, der den Vergütungsanspruch für den Neubau von Wasserkraftanlagen daran koppelt, dass diese nur an bestehenden oder zu anderen Zwe-

cken als der Stromerzeugung aus Wasserkraft errichteten Staubauwerken oder ohne durchgehende Querverbauung errichtet worden sind.

Laut EEG-Erfahrungsbericht 2018 liegen die **Stromgestehungskosten** für den Neubau von Wasserkraftanlagen zwischen 20 und 30 ct/kWh für eine Anlage mit einer installierten Leistung von 50 kW, über Gestehungskosten von 10 bis 15 ct/kWh für 1 MW und 4,8 bis 7,2 ct/kWh für eine 50 MW-Anlage (BMWi 2018d). Die Modernisierungskosten reichen von 17,5 bis 22,5 ct/kWh für eine 50 kW-Anlage bis hin zu 9 bis 10 ct/kWh für eine 5 MW-Anlage.

Der direkte Betrieb von Wasserkraftanlagen zur Stromerzeugung ist emissionsfrei. Andererseits müssen jedoch für den Bau und die Herstellung (aus den Vorketten), sowie als Hilfsenergie der Anlage Energiemengen aufgewendet werden, die in der CO<sub>2</sub>- bzw. Treibhausgas-Bilanz entsprechend zu berücksichtigen sind. Die **CO<sub>2</sub>-Emissionen** von Laufwasserkraft werden mit 11,75 g CO<sub>2</sub>/kWh, von Speicher- und Pumpspeicherkraftwerken mit 17,98 g CO<sub>2</sub>/kWh erzeugter Energie angegeben. Das **CO<sub>2</sub>-Äquivalent** beträgt 12,38 g CO<sub>2äq</sub>/kWh bei Laufwasserkraftanlagen und 26,14 g CO<sub>2äq</sub>/kWh bei Speicher- und Pumpspeicherkraftwerken (UBA 2017a).

## 2.5.2 Datensatz

### 2.5.2.1 Datenquelle

Die allgemeine Datengrundlage zur Standortidentifikation von Wasserkraftanlagen setzt sich aus folgenden Datensätzen zusammen:

#### 1. Kraftwerksliste/Anlagenregister der BNetzA 2016

Diese Daten beinhalten Informationen über vorhandene EEG-Anlagen in Deutschland und werden über die BNetzA zur Verfügung gestellt. Dieser Datensatz besteht aus anlagenspezifischen Informationen wie Standortkoordinaten (UTM Koordinaten mit Zonenwert), Adressdaten, anlagenspezifische Daten, Genehmigungsdaten und Angaben zum Netzanschluss, Spannungsebene, Fernsteuerbarkeit Informationen wie Installierte Leistung, usw.

#### 2. Anlagenstammdaten und Bewegungsdaten der BNetzA Stand 2015

Die BNetzA erfasst über eine jährliche Meldung der Übertragungsnetzbetreiber die Stamm- und Bewegungsdaten aller Stromerzeugungsanlagen, die im Rahmen des EEG in das deutsche Stromnetz einspeisen. Diese Anlagen enthalten einen Hinweis auf den Energieträger Wasserkraft. Dieser Datensatz enthält Adressdaten der Anlage, anlagenspezifische Informationen wie Nennleistung, Spannungsebene, Regelbarkeit, Datum der Inbetriebnahme, Regelzone sowie Bewegungsdaten der Anlage (Vergütungskategorie, Jahresarbeit, Vergütung, Verteilnetzbetreiber).

#### 3. Daten Große Wasserkraft (> 1 MW) Betriebsinterne Datenbank, Ingenieurbüro Floecksmühle GmbH

In einer internen Datenbank wurden aus verschiedenen Projekten mit bundesweiter Bedeutung die Daten von Wasserkraftanlagen > 1 MW, zusammengestellt. Die Daten enthalten Angaben zum Kraftwerksstandort sowie zu anlagenspezifischen Informationen wie Leistung, Betreiber usw.

#### 4. Anlagenstammdaten und Bewegungsdaten der BNetzA Stand 2009 (EEG 2007 und 2009) verortet

Siehe 2.

## 5. Zentrale Datenbanken der Bundesländer

In allen Bundesländern außer Berlin und Bremen liegen Daten in einer zentralen Datenbank (Querbauwerkskataster) vor. In Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und Thüringen sind die Daten georeferenziert, jedoch nur in NRW öffentlich. Für die anderen Bundesländer liegen zur Georeferenzierung keine Angaben vor.

### 2.5.2.2 Aufbau eines Datensatzes

#### 1. Aufbereitung der BNetzA-Daten

Zur Identifikation der Wasserkraftanlagen wurde auf die Stammdaten der EEG Jahresabrechnungen 2015, die Adressdaten, EEG-Anlagenschlüssel und Leistungsangaben beinhalten, zurückgegriffen. Bei der Verortung der Geodaten wurden die Standortdaten der Anlagen verortet. Da die lagespezifischen Daten jedoch Adressdaten sind, entsprechen die Datenpunkte nicht immer hundertprozentig der Lage am Gewässer. Ein Problem bei der exakten Verortung sind fehlende Adressen (z. B. Angaben zu Flurstücken) und falsche Ortsangaben. Zur Verortung wurden zwei verschiedene Programme zur Georeferenzierung benutzt, jedoch gab es Einträge bei den Adressen, die von beiden Systeme nicht gefunden wurden z. B. Angaben wie „Kreisstr.“ oder „Am Wasserfall“. Bei fehlenden Adressangaben wurde als Standort die Mitte der Ortsangabe gewählt.

#### 2. Aufbereitung Daten von Wasserkraftanlagen > 1 MW

Bei den Anlagen > 1 MW wurden die Verortungen zum Teil aus vorhandenen Unterlagen übernommen. Fehlende Daten wurden überarbeitet und aktualisiert und neu verortet. Ein geringer Teil der Anlagen ist EEG gefördert.

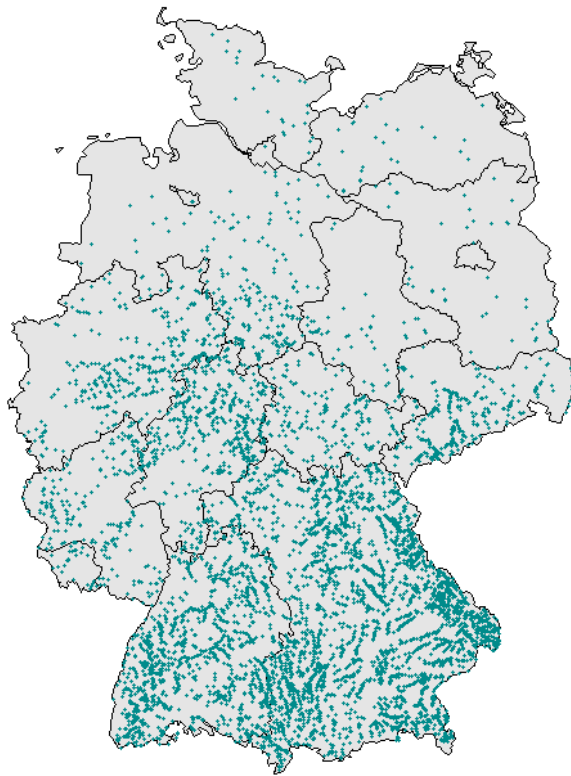
#### 3. Abgleich der georeferenzierten Daten in GIS und manuelle Zuordnung

Im geographischen Informationssystem wurden die Daten mit der Lage am Gewässer abgeglichen. Hierbei wurden verschiedene Distanztoleranzen verwendet. In Einzelfällen wurden auch Standorte per Karte und Luftbild gesucht und händisch verortet. Diese Vorgehensweise funktionierte jedoch nur bei großen Anlagen, die im Luftbild erkennbar waren. Kleinere Anlagen an kleinen Gewässern waren dagegen in der Luftaufnahme durch Verdeckung annähernd nicht sichtbar.

#### 4. Verknüpfung von BNetzA-Daten und der bürointernen Datenbank WKA > 1 MW

Um festzustellen, welche Anlagen sowohl in der bürointernen Datenbank als auch in den BNetzA Daten vorhanden sind, wurden die genauen Rauminformationen (Koordinaten) der BNetzA Daten mit den Zusatzinformationen der bürointernen Datenbank verknüpft, dabei wurden die Örtlichkeit und die Leistungsangaben abgeglichen. Waren EEG-Anlagenschlüssel in den Daten vorhanden, erfolgte die Zuordnung über diese Kennung.

### 2.5.2.3 Ergebnisse



© GeoBasis-DE / BKG (2019)

Abbildung 19: Standorte der Wasserkraftanlagen im Jahr 2015. Eigene Darstellung.

Von den 7.153 Datenpunkten (Abbildung 19) liegen ca. 6.000 an einem Gewässer mit einer Toleranzgrenze von 500 m. 1.222 Datenpunkte liegen in Ortsmitten wegen fehlender Daten, an Ausleitungskanälen oder an nicht oder vielleicht fehlerhaft digitalisierten Gewässern. Bei einer Erhöhung der Distanztoleranz auf 1.000 m, sind noch 287 Anlagen ohne ein Gewässer im Abstand von einem Kilometer. Um eine direkte Verortung am Fließgewässer zu realisieren, müsste der jeweilige Datenpunkt mit Hilfe der Karte und des Luftbildes händisch an die richtige Stelle verschoben werden.

Eine Differenzierung nach Anlagentyp ist mit den Daten nicht möglich. Allerdings wurden bei den Pumpspeicherkraftwerken nur diejenigen Anlagen verortet, die eine Stromerzeugung aus dem natürlichen Zufluss haben und somit eine Förderung nach EEG erhalten. In den EEG Daten sind die reinen Pumpspeicherkraftwerke nicht enthalten.

Zudem ist für den Wasserkraft-Datensatz zu beachten, dass das angegebene Inbetriebnahmedatum nicht zwingend der Erstinbetriebnahme der Wasserkraftanlage entspricht, sondern auch das Modernisierungsdatum darstellen kann. In den EEG-Fassungen gibt es unterschiedliche Begriffsbestimmungen für die „Inbetriebnahme“. So gilt z. B. nach § 3 (4) EEG 2004 als Inbetriebnahme auch eine Erneuerung der Anlage, sofern die Kosten der Erneuerung mindestens 50 % der Kosten einer Neuherstellung der Anlage betragen. Nach § 40 (2) EEG 2017 gelten alle Anlagen, die einen Anspruch auf eine EEG-Vergütung nach EEG 2017 haben, als neu in Betrieb genommen.

### **2.5.2.4 Fortführung des Datensatzes für Wasserkraft**

Der Bestand der Wasserkraftanlagen in Deutschland wird in verschiedenen Statistiken und Auswertungen erfasst.

- Daten aus dem Anlagenregister der BNetzA/ Marktstammdatenregister
- EEG-Daten der BNetzA
- Daten zur Direktvermarktung der BNetzA
- Daten aus der Kraftwerksliste der BNetzA
- Daten des statistischen Bundesamtes
- Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien Statistik (AGEE-Stat)

Seit dem 1. August 2014 führt die BNetzA ein Anlagenregister. Nach der Anlagenregisterverordnung (AnlRegV) sind die Betreiber von Anlagen zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien verpflichtet, ab dem 1. August 2014 neu in Betrieb genommene Anlagen zu melden. Dies betrifft auch Anlagen, die keine Förderung nach EEG erhalten. Neben Neuanlagen müssen Bestandsanlagen dann gemeldet werden, wenn bestimmte meldepflichtige Ereignisse eintreten. Dies kann eine Ertüchtigungsmaßnahme, eine Änderung der installierten Leistung oder eine Stilllegung sein.

Seit dem 31. Januar 2019 können Betreiber ihre Erzeugungs- sowie Verbrauchsanlagen (Strom und Gas) im Webportal Marktstammdatenregister (MaStR) der BNetzA registrieren. Da die BNetzA auch ihren alten Datenbestand in das System transferiert hat, beträgt die Zahl der insgesamt erfassten Anlagen etwa 1,9 Mio. Diese Daten weisen aber noch Lücken auf und müssen daher noch von den Betreibern der Anlagen ergänzt werden. Die BNetzA rechnet pro Jahr mit 100.000 bis 150.000 Neu- und Ummeldungen sowie mit der Anmeldung von insgesamt zwei Mio. Altanlagen. Das MaStR soll für alle Marktteilnehmende zugänglich sein.

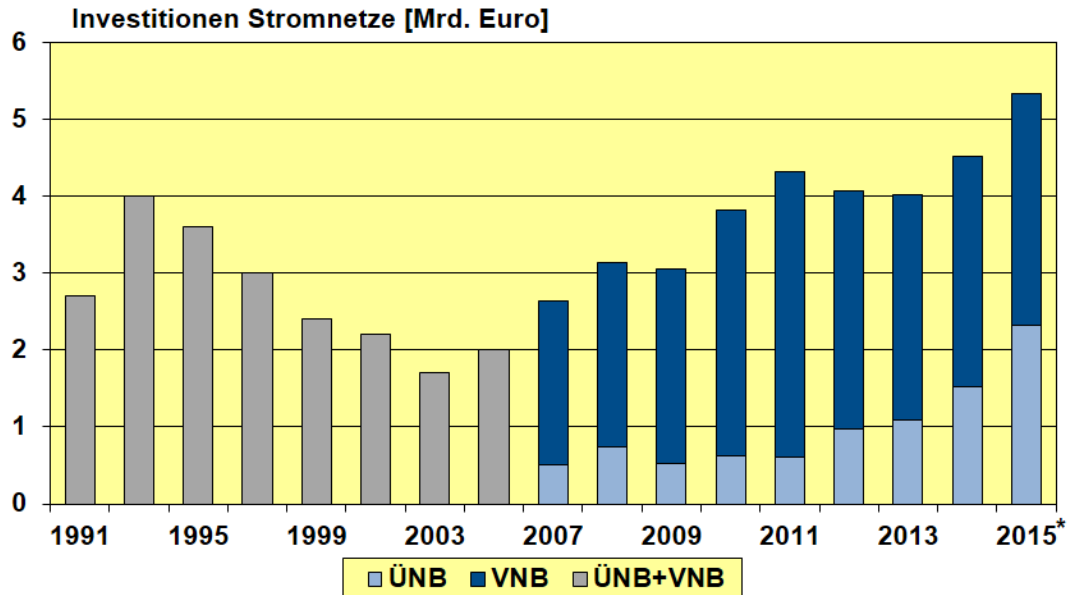
## **2.6 Freileitungen und Erdkabel**

### **2.6.1 Technologiesteckbrief**

Für das EE-Monitoring sind naturschutzfachlich, besonders die zwei technologischen Entwicklungspfade der Stromübertragung mit Erdkabeln und Freileitungen auf der Hoch- und Höchstspannungsebene relevant.

#### **2.6.1.1 Bisherige technologische Entwicklung**

Eine umfassende Dokumentation des Stromnetzausbaus liegt nicht vor. Aus den Investitionen der Netzbetreiber in die deutschen Stromnetze in den Jahren 1991 bis 2015 kann annähernd abgeleitet werden, wie der Netzausbau in diesem Zeitraum vorangetrieben wurde (Abbildung 20).



Quelle: IWR, Daten: BDEW, AEE, BNetzA \* = Planwert Stand November 2015

© IWR, 2016

Abbildung 20: Investitionen der Netzbetreiber in den Jahren 1991-2015 (IWR 2016).

Lagen im Jahr 1991 die Investitionen bei ca. 2,7 Milliarden Euro, sind sie ab 1993 von ca. 4 Milliarden Euro bis 2003 auf ein Minimum von ca. 1,7 Milliarden Euro gesunken (BDEW 2013). Seitdem ist das Investitionsniveau wieder stetig angestiegen und lag 2015 erstmals über 5 Milliarden Euro. Eine eindeutige Differenzierung zwischen Ausbauaktivitäten die der Energiewende geschuldet sind und Ausbau- und Verstärkungsaktivitäten aufgrund erforderlicher Modernisierungsmaßnahmen von Leitungen und Masten ist nicht möglich. Die Ausbau- und Verstärkungsmaßnahmen können nicht ausschließlich mit der gewünschten Energiewende begründet werden.

Nach Einführung des Stromeinspeisegesetzes im Jahr 1991 ist zunächst aus den aggregierten Angaben der ehemaligen Deutschen Verbundgesellschaft e. V. (DVG) kein direkter Zusammenhang der Einspeisung der erneuerbaren Energien und dem Stromnetzausbau herzustellen. Lediglich die Wiedervereinigung Deutschlands führte zu einem höheren Anstieg der Stromkreislängen der Bundesrepublik Deutschland (Abbildung 21). Rückblickend auf die letzten 30 Jahre, ist auf der Hochspannungsebene anteilig ein größerer Zuwachs an Leitungen erfolgt als auf der Höchstspannungsebene.



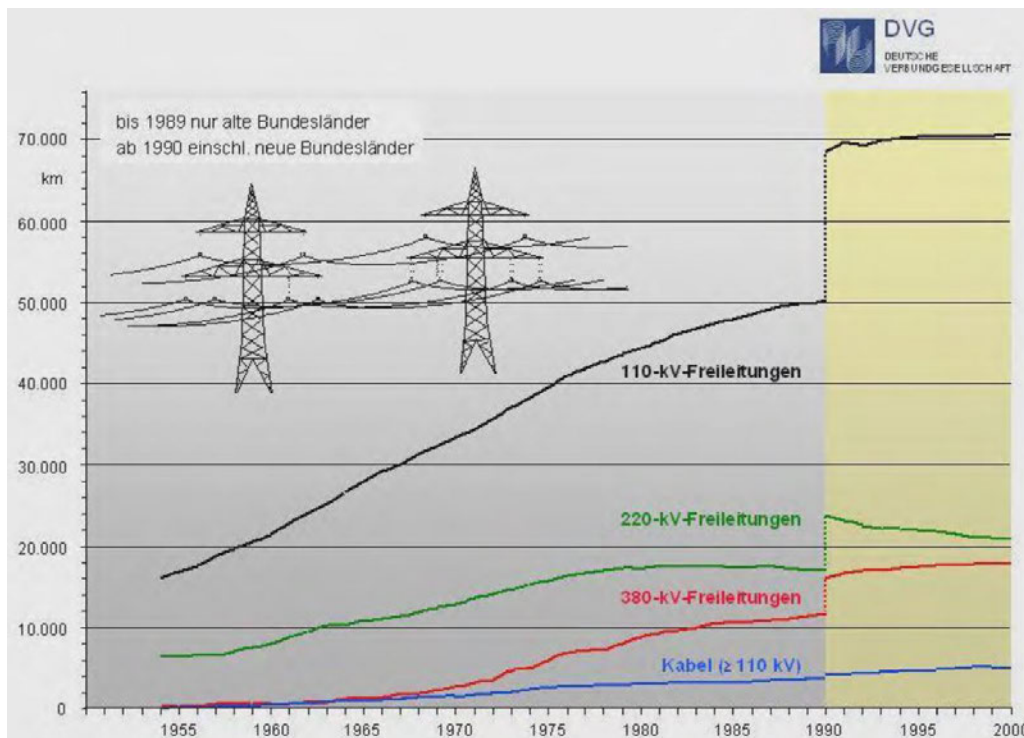


Abbildung 21: Entwicklung der Stromkreislängen der öffentlichen Versorgung in Deutschland 1950-2000 (Hofmann und Oswald 2010).

Die BNetzA stellt seit dem Jahr 2006 die Stromnetzentwicklung dar und dokumentiert die Entwicklung aller Spannungsebenen in jährlichen Monitoringberichten (BNetzA 2006-2018). Die Stromkreislängen sind, differenziert nach allen Spannungsebenen, separat aufgeführt (Tabelle 5).

Tabelle 5: Stromkreislängen (km) je Spannungsebene in den Jahren 2007-2016 (BNetzA 2006-2018).

Jahr	Mittelspannung (km)	Hochspannung (km)	Höchstspannung (km)	Gesamtlänge (km)*	Zuwachs (km)	Zuwachs (%)
2007	492.257	76.398	35.147	1.678.985	-	-
2008	499.335	76.900	35.391	1.721.683	42.698	2,5
2009	497.005	76.899	35.192	1.731.759	10.076	0,6
2010	497.044	95.154	34.749	1.750.945	19.186	1,1
2011	532.894	95.022	34.797	1.904.074	153.129	8,7
2012	507.953	95.364	35.270	1.788.560	-115.514	-6,1
2013	509.866	96.308	34.979	1.797.938	9.378	0,5
2014	511.591	96.373	34.737	1.807.012	9.074	0,5
2015	511.164	96.658	35.970	1.816.857	9.845	0,5
2016	520.326	96.749	36.393	1.844.172	27.315	1,5
Zuwachs	28.069 km	20.351 km	1.246 km	165.187 km	-	-
Zuwachs	(5,7 %)	(26,6 %)	(3,5 %)	(9,8 %)	-	-

\*Inklusiv der Stromkreislängen der hier nicht aufgeführten Niederspannungsebene

Entsprechend der Angaben aus dem Monitoring der BNetzA ist der Ausbau des Stromnetzes insgesamt seit 2007 um ca. 165.000 km an Stromkreislänge vorangeschritten. Der größte verzeichnete Zubau an Stromkreislängen ist auf der Niederspannungsebene erfolgt, während anteilig der Leitungszuwachs auf der Hochspannungsebene mit ca. 26 % am höchsten war. Allerdings sind dieser abrupte Anstieg vom Jahr 2009 zu 2010 auf der Hochspannungsebene ebenso wie die Anstiege im Jahr 2010 zu 2011 auf der Nieder- und Mittelspannungsebene nicht nachvollziehbar. Es bleibt zu vermuten, dass das höhere Niveau der Stromkreislängen bereits schon verzeichnet hätte werden können, wenn zu allen Jahren der Zeitreihe auch alle Verteilnetzbetreiber (VNB) und deren betriebenen Stromnetze für die Monitoringberichte erfasst worden wären. Daher wird vermutet, dass ab den Zeitpunkten der steileren Anstiegskurven die Struktur und Anzahl der Teilnehmenden am Monitoring in allen Folgejahren sehr ähnlich war.

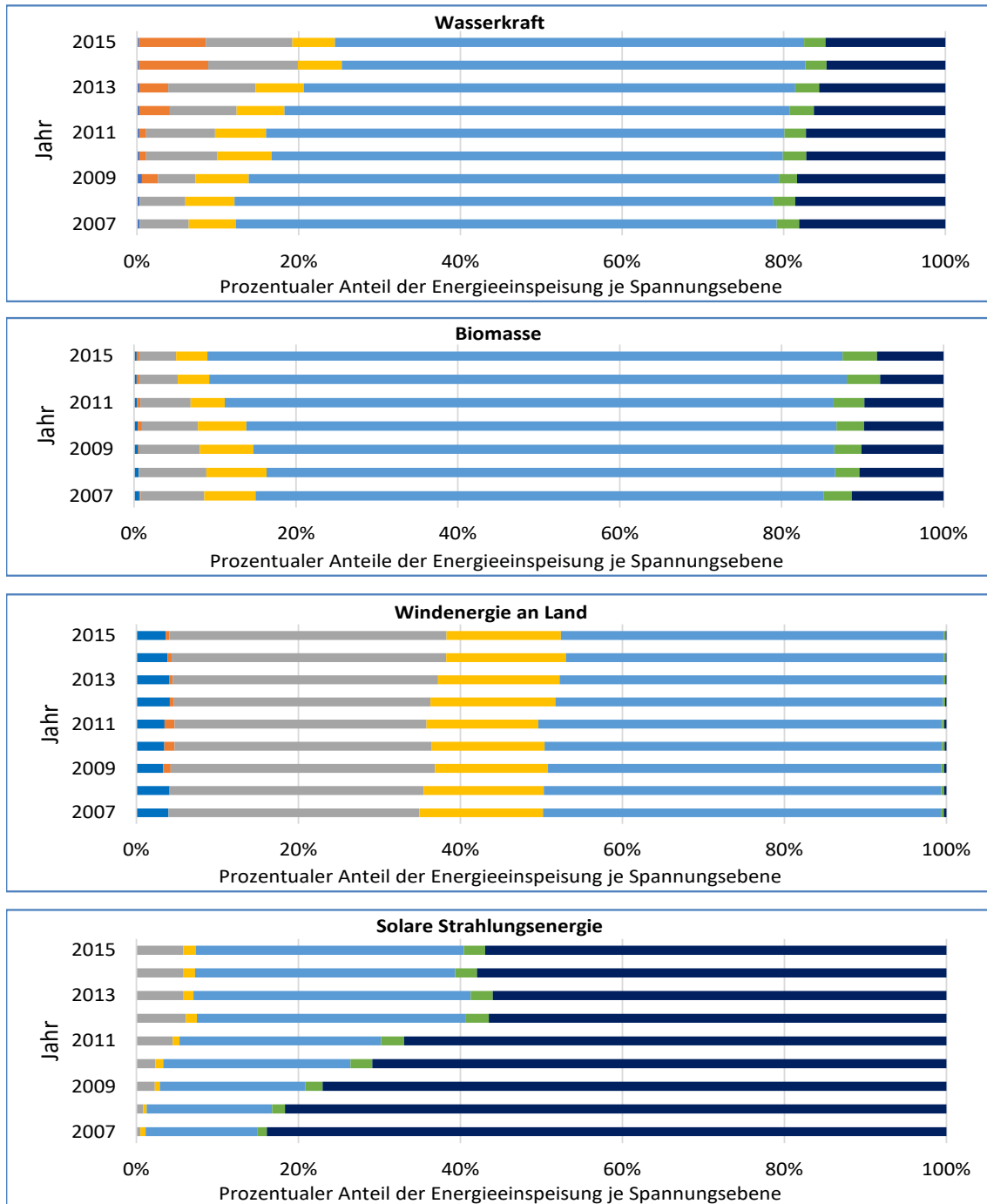
Der Klimaschutzplan der Bundesregierung sieht bis zum Jahr 2050 im Vergleich zu 1990 eine um 80- bis 95-prozentige Minimierung der Treibhausgasemissionen vor (BMU 2016). Der zukünftige Treiber des Netzausbaus wird in der Folge nicht wie in der Vergangenheit die konventionelle Stromproduktion, sondern u. a. der umfangreiche Ausbau im Bereich der erneuerbaren Energien sein. Aktuell werden zwar zum größten Teil noch konventionelle Energien über die Stromleitungen transportiert aber keine neuen Leitungen für diese mehr gebaut. Daher wird unter der Annahme, dass fossile Energieträger langfristig vollständig durch erneuerbare Energien ersetzt werden, davon ausgegangen, dass das Bestandsnetz als auch das gesamte zukünftige Stromnetz im naturschutzfachlichen Monitoring des Ausbaus der erneuerbaren Energien berücksichtigt werden muss.

Aktuell und auch im Rückblick bis ins Jahr 1991 basierte die Energieversorgung auf einem breiten Mix unterschiedlicher Energieträger, der in den letzten Jahren stetig weniger aus Kohle und Kernenergie sowie stetig mehr aus erneuerbaren Energien bestand. Auf Basis von Statistikberichten zur installierten Leistung der erneuerbaren Energien führt die Bundesnetzagentur auf, wie die Verteilung eingespeister erneuerbarer Energien auf der jeweiligen Spannungsebene im Zeitraum 2007 bis 2015 war. Eine eindeutige Zuordnung des bereits erfolgten Netzausbaus zu den jeweiligen Energieträgern ist auf Grundlage dieser Angaben nicht möglich, es lässt sich jedoch nachvollziehen, welche Spannungsebenen im Wesentlichen für die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien in den letzten Jahren genutzt wurden und ob sich diese Verteilung über die Zeit verändert hat (Abbildung 22) (BNetzA 2006-2018). Daraus können Tendenzen für die zukünftige Entwicklung des Stromnetzausbaus abgeleitet werden.

Der Großteil an erneuerbaren Energien wird auf Nieder- und Mittelspannungsebene sowie bei der Windkraft zu großen Teilen auch auf der Hochspannungsebene eingespeist. Über den Zeitverlauf 2007 bis 2015 zeichnet sich ein leichter Trend vermehrter Einspeisung hinzu der jeweils nächst höher gelagerten Spannungsebene ab.

Die Energieeinspeisung aus Wasserkraft ins Hoch- und Höchstspannungsnetz hat sich z. B. seit 2007 auf ca. 24 % verdoppelt, während der Anteil der eingespeisten Energie auf Mittel- und Niederspannungsebene etwas gesunken ist aber dennoch den größten Teil der installierten Leistung bildet. Der Einspeisung aus Windkraft ins Hoch- und Höchstspannungsnetz wird ein Zuwachs an installierter Leistung um ca. 2 bis 4 % zugeschrieben. Mit Netzanschluss weiterer größerer Windparks und tendenziell größerer Windkraftanlagen könnte dieser Anteil weiter ansteigen. In 2007 wurde ein 84 % Anteil an installierter Leistung aus Solarenergie dem Niederspannungsnetz zugeordnet. Dieser Anteil ist bis 2015 kontinuierlich auf ca. 56 % gesunken, so dass in 2015 im Vergleich zu 2007 ein doppelt so hoher Anteil an installierter

Leistung durch Anlagen mit Netzanschluss an das Mittel- und Hochspannungsnetz zu verzeichnen ist. Dies ist vor allem in dem stetigen Zubau an PV-Freiflächen-Anlagen und der Installation größerer Anlagen begründet. Typischerweise werden PV-Anlagen mit einer Leistung unter 100 kW an das Niederspannungsnetz und Anlagen größerer Leistung an das Mittelspannungsnetz angeschlossen (Stetz et al. 2012).



HöS=Höchstspannung, HS=Hochspannung, MS=Mittelspannung, NS=Niederspannung  
 ■ HöS, ■ HöS/HS, ■ HS, ■ HS/MS, ■ MS, ■ MS/NS, ■ NS

Abbildung 22: Entwicklung eingespeister Jahresarbeit in prozentualen Anteilen (Gesamteinspeisung der EE = 100 %) von EEG-vergütungsfähigen Anlagen je Spannungsebene (BNetzA 2006-2018).

Insgesamt wird der größte Teil, 42 %, der erneuerbaren Energien in das Mittelspannungsnetz eingespeist (Abbildung 23), lediglich die Einspeisung der solaren Strahlungsenergie erfolgt noch zum größten Teil auf der Niederspannungsebene. Über 90 % der erneuerbaren Energien wird nach Angaben der Bundesnetzagentur ins Verteilnetz eingespeist (BNetzA 2006-2018). Dementsprechend wird der größte Bedarf an zusätzlichen Stromnetzen auch auf Ebene des Verteilnetzes, insbesondere auf Mittelspannungsebene gesehen.

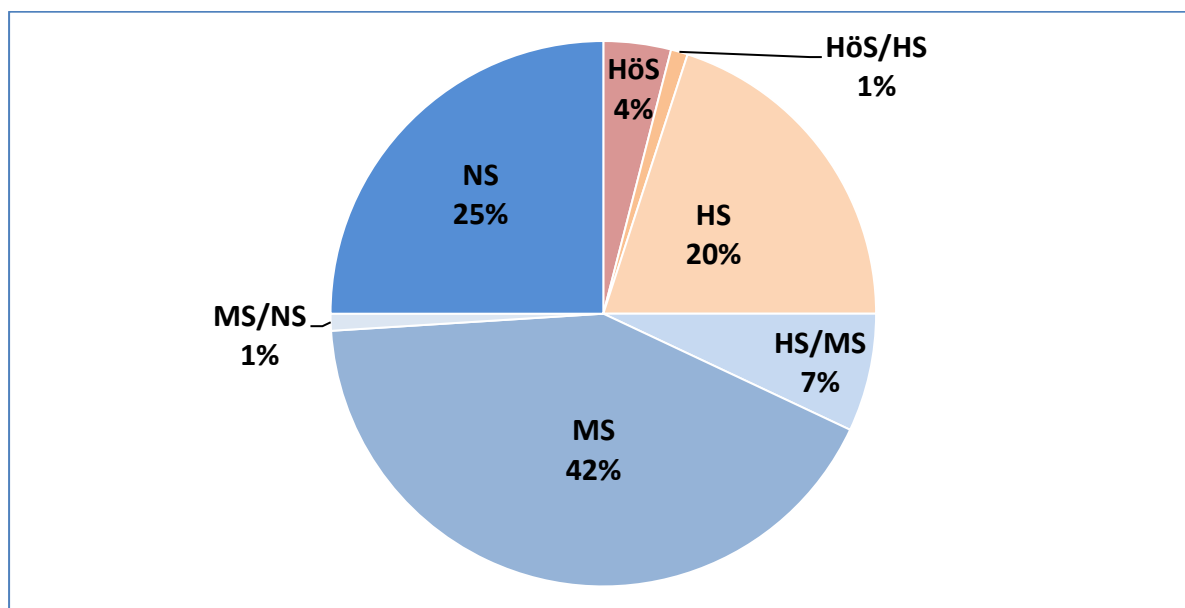


Abbildung 23: Installierte EE-Leistung nach Spannungsebenen zum 31.12.2015 (BNetzA 2006-2018).

Die ersten Freileitungen der Höchstspannung gingen Ende der 1950er Jahre in Betrieb. (Kießling et al. 2001). Das deutsche Stromnetz unterliegt seit jeher einer kontinuierlichen Entwicklung, die sowohl durch die nationalen Veränderungen der Erzeugungs- und Laststruktur als auch durch die insbesondere in den letzten wenigen Jahrzehnten stark zunehmende Integration des europäischen Verbundsystems getrieben wird.

Die Freileitungsverbindungen im deutschen Stromnetz werden seit vielen Jahrzehnten mit praktisch unveränderten Standardbetriebsmitteln im Hinblick auf Strommaste und Leiterseile errichtet. Der Anstieg des Transportbedarfs insbesondere im Höchstspannungsnetz hat dazu geführt, dass mit Einführung des Stromnetzes mit einer Betriebsspannung von 380 kV Mitte/Ende der 1950er Jahre eine Veränderung der Masthöhen und Trassenbreiten erfolgt ist (Tennet TSO GmbH 2016a). Durch die fortschreitende Substitution der Übertragung auf der 220-kV-Ebene durch die 380-kV-Ebene und den gesetzlichen Vorgaben zur Trassenbündelung, die insbesondere den Anteil von Trassen erhöht haben, bei denen mehrere Spannungsebenen auf demselben (entsprechend höheren) Mast installiert sind, besteht das heutige Stromnetz aus insgesamt höheren Masten als zu Beginn der 1970er Jahre, ab dem ein umfangreicher werdender Netzausbau begonnen hat (Hofmann und Oswald 2010). Diese Veränderungen sind jedoch nicht als kontinuierlich zu bezeichnen, da die Masthöhen und Trassenbreiten im Wesentlichen durch die Vorgaben zum Mindestabstand der Leiterseile vom Boden und die Festlegung des Sicherheitsbereichs bedingt durch das Ausschwingen der Leiterseile definiert werden. Demzufolge ergeben sich je Spannungsebene übliche Masthöhen und Trassenbreiten.

Hauptbestandteile von Freileitungen sind die stromführenden Leiterseile und die als Blitzschutz fungierenden Erdseile, sowie die meist aus Stahlgitter bestehenden Masten und Mastquerträgern (Traversen) (Abbildung 24). Für die Bewertung der Wirkfaktoren von Freileitungen auf die Umwelt sind insbesondere die Ausmaße und Formen der Masten, Spannweiten zwischen den Masten, Anordnung der Beseilung sowie die Kennzeichnung der Erdseile entscheidend.

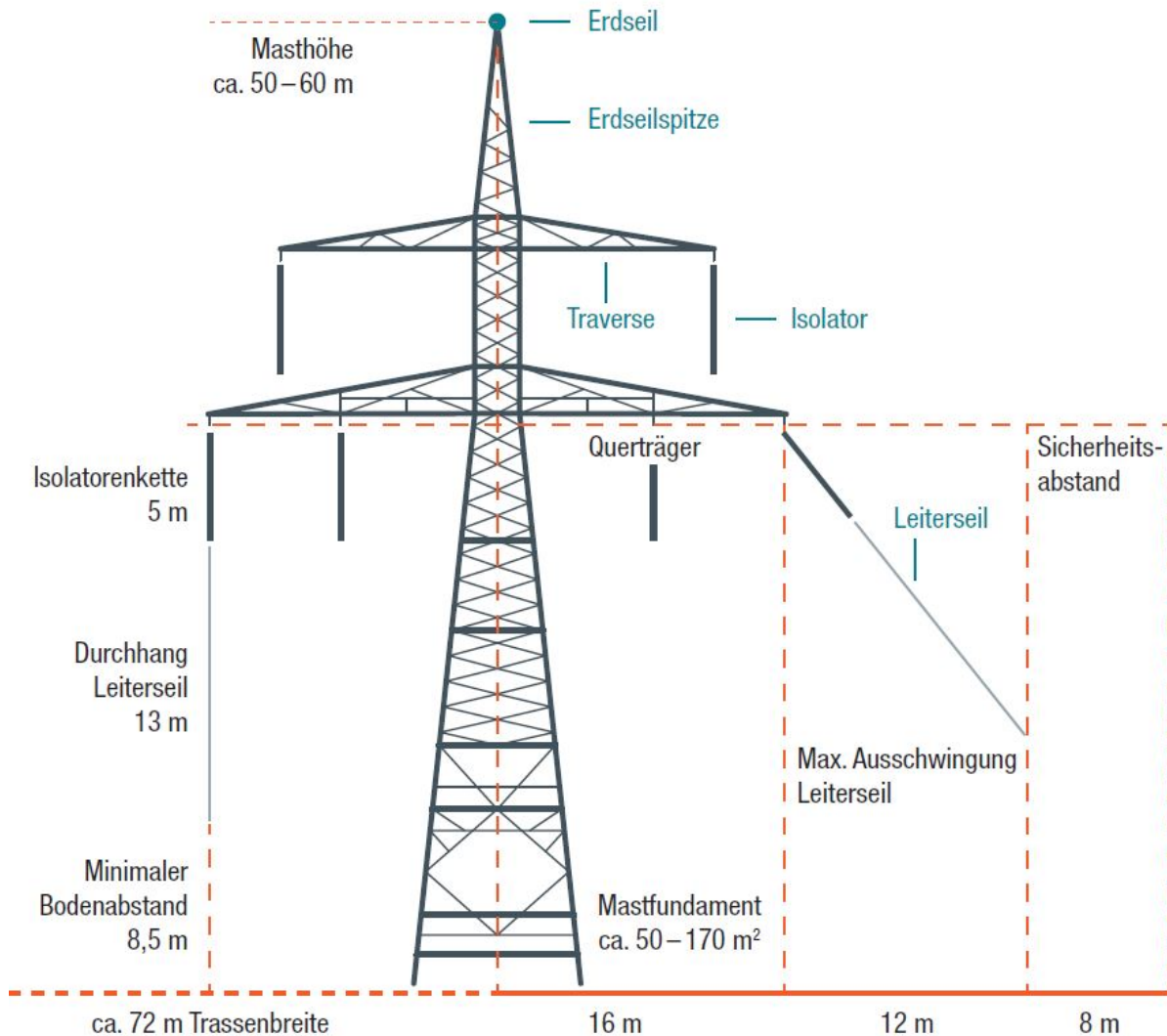


Abbildung 24: Auslegung und Bemessung einer Freileitungstrasse für die Hoch- und Höchstspannungsebene (50Hertz 2019).

Bei der erforderlichen Höhe eines Freileitungsmastes sind gesetzliche Mindestabstände der Leiterseile zu Erdboden und überkreuzenden Hindernissen zu beachten. Hierbei muss der mögliche Seildurchhang und das Ausschwingen der Seile genauestens berechnet werden. Der Seildurchhang wird wiederum zum einem durch die Spannweite, dem verwendeten Leiterseil sowie den Seilzugspann bestimmt und zum anderen ist er temperaturabhängig, d. h. abhängig vom Wetter und von der Stromlast (Scholles et al. 2012). Je höher die Spannungen auf der Leitung ist, desto größer müssen auch die Leiterabstände gewählt werden (Zgrzendek 2012). Somit ist die Höhe der Spannung auch eine Einflussgröße für die Breite und Höhe der Masten. Der Mast kann, abhängig von der Systemanzahl, mehrere Traversen tragen auf denen die stromführenden Leiterseile installiert sind. Je mehr Traversen der Mast tragen soll,

desto höher muss er auch gebaut werden.

Auf der Höchstspannungsebene befinden sich in der Regel über den Leiterseilen, Erdseile auf der höchsten Position des Mastes. Unter normalen Betriebsbedingungen sind sie spannungslos und gewährleisten einen Blitzschutz für die Leiterseile.

In Abhängigkeit der elektrischen Spannung, der Anordnung der Leiter und der Standortbedingungen werden unterschiedliche Masttypen verwendet. Der in Deutschland am häufigsten verwendete Mast ist der sogenannte Donaumast, welcher zwei Drehstromkreise tragen kann, deren Leiter in Dreiecksform angeordnet sind. Auf der oberen Traverse ist ein Leiterbündel je Stromkreis und auf der unteren Traversen zwei Leiterbündel je Stromkreis installiert. Der Donaumast wird in der Regel mit einer Höhe zwischen 50 und 60 m sowie einer Mastbreite von ca. 30 m (Abbildung 25) gebaut.

Die Masthöhe ist, wie bereits beschrieben, entscheidend von der Topographie und der zu überspannenden Fläche abhängig. Zur Überspannung der Elbe waren z. B. Masthöhen von 227 m erforderlich, da generell ein Minimalabstand zur Bodenoberfläche und sich darauf befindlichen Objekten einzuhalten ist. Eine übliche Spannweite der Seile zwischen den Masten beträgt zwischen 300 und 500 m, kann jedoch auch, z. B. bei der Kreuzung von Gewässern oder Verkehrswegen, deutlich größer sein. Somit ist folglich auch die Höhe der Masten variabel.

Im Hoch- und Höchstspannungsnetz, exemplarisch für die Stromnetze mit einer Betriebsspannung zwischen 110 und 380 kV, werden i. d. R. je nach örtlicher Begebenheit folgende Bauformen für die Masten eingesetzt: Tonnen-, Einebenen- und Donaumasten. Diese Masttypen unterscheiden sich in ihrer Höhe sowie in der Anzahl und Länge der Traversen (Abbildung 25).

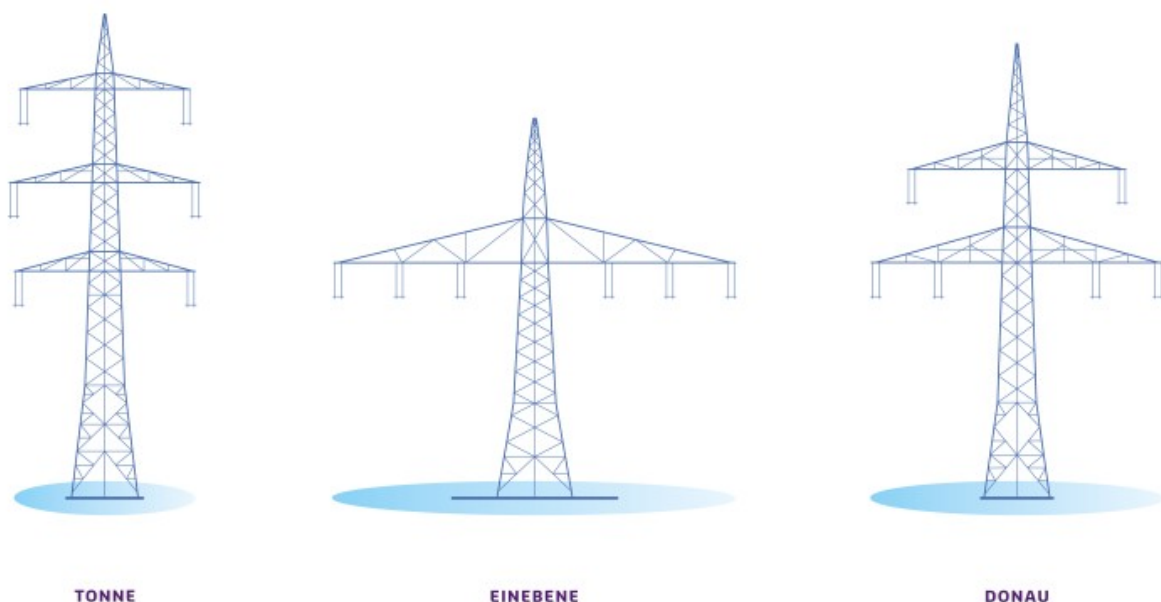


Abbildung 25: Übliche Bauformen der Masten im deutschen Stromnetz (Amprion 2019b).

**Tonnenmasten** verfügen auf jeder Seite über drei Traversen und tragen in der Regel zwei Stromkreise. Deren drei Phasen sind jeweils untereinander angeordnet. Sie kommen mit schmaleren Trassen aus und werden bevorzugt dort eingesetzt, wo die Trassenbreite begrenzt ist, etwa wenn Waldgebiete durchquert werden müssen. Im seltenen Fall, dass vier

380-kV-Systeme geführt werden müssen, kommt die Ausführung als „Doppeltonne“ zum Einsatz, die breitere Traversen aufweist und pro Seite jeweils zwei Systeme aufnehmen kann.

Tonnenmasten haben eine Höhe von 60 bis 70 m und eine Breite von 20 bis 30 m (bzw. 30 bis 40 m bei Ausführung als Doppeltonne).

**Einebenenmasten** haben auf jeder Seite jeweils nur eine lange Traverse mit den drei Phasen auf einer Ebene nebeneinander. Diese Masten sind besonders niedrig, erfordern jedoch breite Trassen. Sie werden vor allem verwendet, wenn die Masten nicht zu hoch sein dürfen, beispielsweise in der Nähe von Flughäfen. Dieser Masttyp hat eine Höhe von 40 bis 50 m und eine Breite von ebenfalls 40 bis 50 m.

Bei **Donaumasten** befinden sich auf der unteren Traverse zwei und auf der oberen Traverse ein Leiterbündel pro Stromkreis. Damit sind sie niedriger als Tonnenmasten und benötigen eine geringere Trassenbreite als Einebenenmasten. Dieser Masttyp tritt in Deutschland am häufigsten auf.

Donaumasten weisen eine Höhe 50 bis 60 m und eine Breite von etwa 30 m auf.

Darüber hinaus kommen auch noch **Mischgestänge** zum Einsatz, die zusätzliche Traversen tragen, zum Beispiel für die Mitführung von 110-kV-Stromkreisen. In einer solchen Ausführung ergibt sich eine Masthöhe von 60 bis 70 m und eine Breite von ca. 35 m.

Etwas abweichende Angaben, von der Tendenz jedoch ähnliche Ausmaße der in Deutschland überwiegend verwendeten Masttypen wurden von Bruns (2015) aufgeführt (Tabelle 6).

Tabelle 6: Durchschnittswerte für die Abmessungen von Standard-Masttypen für 380-kV-Leitungen (Bruns 2015).

Masttyp	Einebenenmast	Donaumast	Tonnenmast	Hybridmast	Kompaktmast
Systeme	2-systemig	2-systemig	2-systemig	4-systemig	2-systemig
Höhe	37-40 m	50-60 m	60-80 m	60-70 m	46-57 m
Breite (Traversen)	41-42 m	32 m	32-36 m	28-30 m	16 m
Schutzstreifen	70-85 m	57-70 m	48-70 m	-	30-39 m

Diese Angaben beziehen sich auf einen üblichen Mastabstand von 400 m und berücksichtigen die generellen gesetzlichen Vorschriften zur Einhaltung von Mindestabständen und Emissionsgrenzwerten. Im Einzelfall sind demzufolge auch deutlich höhere und breitere Masten erforderlich. Je mehr Stromkreise auf einem Mast geführt werden sollen, desto mehr Traversen sind erforderlich und desto größer muss der Mast gebaut werden. Zur Überquerung von Waldbereichen wird der aufgeführte Tonnenmast verwendet, der zwar schmaler als der Donaumast ist aber eine Höhe von 70 m überschreiten kann. Bei Querungen von sensiblen Vogelzugkorridoren kann im Umkehrschluss dann auch der abgebildete Einebenenmast verwendet werden, welcher zwar wesentlich breiter ist (ca. 40 bis 50 m) als der Donaumast aber dafür in der Regel eine geringere Höhe (ca. 40 bis 50 m) aufweist (IEH 2011). In Ostdeutschland ist er wesentlich häufiger als in Westdeutschland verbaut worden. Je nach Anzahl der Systeme bzw. je nach Mastaufbau und -anordnung, ist auf der Höchstspannungsebene zusätzlich mit einer erforderlichen Schutzstreifenbreite von 50 bis 80 m zu rechnen (Abbildung 24), da Leiterseile in einem bestimmten Radius zu beiden Seiten ausschwingen. Innerhalb dieses Streifens muss stets der Kontakt zwischen Leiterseilen und Boden sowie hohem Pflanzenbewuchs und Bebauungen ausgeschlossen werden. Hierzu erfolgt regelmäßig eine Trassenpflege, bei der hochwachsendes Gehölz beschnitten wird. Im Betrieb ist eine

landwirtschaftliche Nutzung unter der Leitung bis auf der Fläche der Mastfüße, uneingeschränkt möglich. Die Mastfundamente nehmen je nach Größe des Mastes und der Bodenbeschaffenheit ca. 50 bis 170 m<sup>2</sup> Fläche dauerhaft in Anspruch (IEH 2011).

Die Schutzstreifenbreite ergibt sich neben den erforderlichen minimalen elektrischen Abständen zu den Seilprojektionen auf die Erde (mit Berücksichtigung des Seildurchhangs und der witterungsbedingten Seilbewegungen) auch aus Bedingungen zur Einhaltung zulässiger Grenzen für elektromagnetische Felder (EMF), die bei Wechsel- und Gleichstrom unterschiedlich ausfallen. Die Höhe des elektrischen Feldes ist abhängig von der Spannungsebene der Leitung. Die magnetische Feldstärke bzw. die magnetische Flussdichte ist abhängig von der Stromstärke und damit von der Netzbelastung. Auch unter maximaler Belastung dürfen die definierten Grenzwerte der 26. BImSchV nicht überschritten werden. Für die magnetische Flussdichte sind dies 100 µT und für das elektrische Feld 5 kV/7 m.

Ähnlich wie bei den Strommasten wurden in der Vergangenheit durchgängig und flächendeckend Standardleiterseiltypen verwendet. Dabei wird für Freileitungen in den Hoch- und Höchstspannungsnetzen bevorzugt ein Alu-Stahl-Leiter eingesetzt. In der Mitte des Leiters befindet sich ein mehraderiger Stahlkern, der von Aluminium-Adern umgeben ist. Die Aluminium-Adern besitzen eine hohe elektrische Leitfähigkeit. Kupfer leitet zwar im Allgemeinen noch besser als Aluminium, dennoch wird in der Regel Aluminium verwendet, weil es deutlich leichter ist. Der Stahlkern sorgt für die Belastbarkeit des Leiterseils, das hohen Zugkräften ausgesetzt ist.

Üblicherweise wurde der Leiterseiltyp „Al/St 264-AL1/34-ST1A“ eingesetzt, der einen gesamten Querschnitt von 265 mm<sup>2</sup> aufweist und einen Stahlkern mit einem Durchmesser von 35 mm hat. Vor allen in der Höchstspannungsebene werden mehrere Leiterseile zu Bündeln zusammengefasst (in der 220-kV-Ebene sind 2er-Bündel und in der 380-kV-Ebene 3er-Bündel und 4er-Bündel üblich). So können elektrische Felder reduziert werden. Auch Geräuscheinigungen, die sogenannten Korona-Geräusche, können so vermindert werden.

In der jüngsten Vergangenheit wurden zur Erhöhung der übertragbaren Leistung für Neubauprojekte im 380-kV-Netz bereits Leiterseile mit höherem Querschnitt von 435 mm<sup>2</sup> und bei punktuellen Verstärkungsmaßnahmen sogenannte Hochtemperaturleiterseile, die mit einer Leiterseiltemperatur von bis zu 150°C (anstatt 80°C bei herkömmlichen Leiterseilen) betrieben werden können, eingesetzt.

Im Hinblick auf technologische Konfliktminderungsmaßnahmen für Fauna und Flora können Vogelschutzmarkierungen an den Erdseilen von Freileitungen das Kollisionsrisiko reduzieren. Eine gesetzliche Vorgabe zur flächendeckenden Anbringung derartiger Markierungen besteht nicht. Allerdings existiert seit 2014 ein im Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (FNN) erarbeiteter Hinweis zu Vogelschutzmarkierungen an Hoch- und Höchstspannungsfreileitungen, der für die Planung neuer Freileitungen mit Nennspannungen ab 110 kV anwendbar ist. Für Bestandsleitungen gibt es seitens der Netzbetreiber Initiativen zum Vogelschutz. So hat der Übertragungsnetzbetreiber Amprion mit Hilfe von Experten rund 400 km des rund 11.000 km Höchstspannungsnetzes als relevant für den Vogelschutz identifiziert und diese Leitungskilometer bereits seit 2004 mit entsprechenden Markierungen ausgerüstet (Amprion 2018).

Der Schutz der Fauna im Allgemeinen und speziell der Vogelschutz bei bestehenden und neu geplanten Freileitungen hat in den vergangenen 20 Jahren insbesondere bei den Netzbetreibern einen höheren Stellenwert erlangt.

Die Freileitungsübertragungstechnik hat, wie bereits erörtert, in der Vergangenheit nur we-



nige Veränderungen erfahren. Insbesondere die Netze der Hoch- und Höchstspannungsebene (110 kV bzw. 220/380 kV) werden nach wie vor vorwiegend in der bewährten und erprobten Freileitungstechnik ausgeführt. Unter bestimmten Voraussetzungen werden auch Erdkabelleitungen als Übertragungstechnologie verwendet. In dicht besiedelten Gebieten, in Flughafennähe oder in Gebieten hoher Vogeldichte können sich beispielsweise unterirdische Leitungen anbieten. Erdkabel wurden bislang nur in Bereichen eingesetzt, in denen der Stromtransport mit Freileitungen aus raum- und sicherheitstechnischen Gründen nicht möglich war (Hofmann und Oswald 2010). Die Investitionskosten sind für Erdkabel im Vergleich allerdings um ein vielfaches höher als die Kosten für den Freileitungsbau. Der Verkabelungsgrad fällt mit rund 9 % in den Hochspannungsnetzen und 0,5 % in den Höchstspannungsnetzen dementsprechend gering aus (Tabelle 7). Auch aufgrund ihrer langen Betriebsdauer gelten Freileitungen seit 120 Jahren für die Übertragung hoher Leistungen über große Distanzen als die einfachste und wirtschaftlichste Übertragungsform. Das Höchstspannungsnetz besteht heute entsprechend zu über 99 % aus Freileitungen.

Tabelle 7: Verkabelungsgrad je Spannungsebene (Quelle:de.statista.com).

Jahr	Niederspannung	Mittelspannung	Hochspannung	Höchstspannung
1993	74 %	60 %	5,5 %	< 0,5 %
2013	89 %	79 %	9 %	< 0,5 %

Der Anteil der Verkabelung auf den unteren Spannungsebenen in den letzten 20 Jahren noch einmal angestiegen. Der BDEW (2017) gibt an, dass die unterirdische Verlegung von Kabeln einen Anteil von fast 81 % am deutschen Stromnetz ausmacht, also ca. 1,56 Millionen Kilometer Kabel unterirdisch verlegt sind, zugleich der Verkabelungsgrad im Übertragungsnetz jedoch relativ gering ist.

Im Rahmen erster Pilotprojekte sind Teilverkabelungsabschnitte für die Drehstromübertragung (HDÜ) vorgesehen, während bei der Gleichstromübertragung (HGÜ) nunmehr vorrangig Erdkabel anstatt Freileitungen für den Stromtransport über große Distanzen verbaut werden sollen. Weiterhin unterscheiden sich Leitungstechnologien durch die Art des eingesetzten Übertragungsmediums zum Energietransport. Die Stromübertragung wird entweder als Hochspannungs-Drehstrom (HDÜ) oder als Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) realisiert. Beide Technologien können sowohl als Freileitung oder als Kabelleitungen umgesetzt werden. Es existieren weitere Übertragungstechnologien, wie z. B. Gas isolierte Leitungen (GIL), die jedoch nur selten und für sehr kurze Distanzen eingesetzt werden.

Das Verbundnetz wird mit Wechselstrom geführt. Für Punkt-zu-Punkt-Verbindungen über große Entfernungen sind nach dem Bundesbedarfsplangesetz 2015 (BBPlG) im sogenannten „Overlay-Netz“ auch Stromleitungen mit Gleichstrom geplant, da bei der Stromübertragung weniger Energieverluste entstehen. HGÜ-Leitungen können in Abhängigkeit der gewählten Betriebsspannung auch für sehr große Entfernungen von 1.000 km und mehr eingesetzt werden (IEH 2011). Im Rahmen erster Pilotprojekte werden Teilverkabelungsabschnitte für die Drehstromübertragung (HDÜ) geplant und sind vereinzelt bereits im Testbetrieb, während bei der Gleichstromübertragung (HGÜ) nunmehr vorrangig Erdkabel anstatt Freileitungen für den Stromtransport über große Distanzen verbaut werden sollen.

Zur Vermeidung von Vogelkollisionen wird der Erdkabeleinsatz in kritischen Bereichen als Option nun häufiger geprüft. Erdkabel stellen derzeit je nach Übertragungsanforderungen und den räumlichen Begebenheiten vor Ort eine Alternative zu der Stromübertragung mit Freileitungen dar. Sie werden in der Regel in einem Graben direkt im Erdreich oder in Schutz-

rohren verlegt. Selten können besonders in städtischen Gebieten Erdkabel in Tunneln installiert werden. Aufgrund anderer technischer Eigenschaften sind Erdkabel zur Freileitungstechnologie, die am häufigsten aber immer noch selten genutzte Alternative. Durch zunehmende Verzögerungen im Ausbau des Übertragungsnetzes, sind jedoch nun auch Erdkabelverbindungen für die Stromübertragungen über weite Strecken geplant, um die Akzeptanz unter der Bevölkerung zu erhöhen und den Netzausbau zu beschleunigen. Anders als bei Freileitungen, gehen bei der Erdkabelverlegung besonders von der Bauphase entscheidende Wirkfaktoren in hoher Intensität aus.

Die übliche Standardbauweise bei der Erdkabelverlegung ist auf Höchstspannungsebene die offene Bauweise. Hier sind sowohl bei der Gleichstrom- als auch bei der Wechselstromübertragung umfangreiche Tiefbauarbeiten entlang der gesamten Kabeltrasse erforderlich (Tabelle 8 und Abbildung 26):

Tabelle 8: Arbeitsschritte bei der Kabelanlage in offener Bauweise.

<b>Vorbereitung</b>	<b>Montage</b>
Entfernung des Oberbodens	Ggf. Leerrohre, durch die die Kabel eingezogen werden, legen; Bettungsmaterial herstellen und in den Graben einbringen; Erdkabel einziehen; Kabelgräben, Muffengruben und Kopflöcher verfüllen
<b>Kabeltiefbau</b>	<b>Abschlussarbeiten</b>
Drainagen anpassen; Baustraßen erstellen; Kabelgräben ausheben; Muffengruben / Bauwerke erstellen; Kopflöcher vor den Kabelübergangsanlagen herstellen	Baustraßen abbauen; Baurassen und Restflächen rekultivieren



Abbildung 26: Einer von zwei Arbeitsstreifen in Raesfeld, Teilabschnitt Bredenwinkel – Borken-Süd der Leitung Diele – Niederrhein, EnLAG-Vorhaben Nr.5 (Amprion 2019a/Reinhard G. Nießing).

Drehstrom wird in einem 3-Phasensystem übertragen, während für Gleichstrom nur zwei Leiter benötigt werden, so dass für Gleichstrom-Kabelsysteme weniger Kabel benötigt werden als für die Drehstromübertragung. Bei der Gleichstromübertragung kann zusätzlich auch die Art der Kabelisolation und deren Leistungsfähigkeit, z. B. der mögliche Einsatz von 525-kV-VPE-Kabeln (Hofmann 2015), für eine mögliche Reduzierung des Umfangs der Tiefbauarbeiten relevant sein.

In Abhängigkeit von der gewünschten Übertragungskapazität und der angestrebten Reduzierung thermischer sowie magnetischer Einflüsse werden Flächenausmaße, Volumen des Bodenaushubs und Emissionen bestimmt (Hofmann 2015). In Abbildung 27 ist ein aktuelles Regelgrabenprofil eines 380-kV-Kabelgrabens dargestellt.

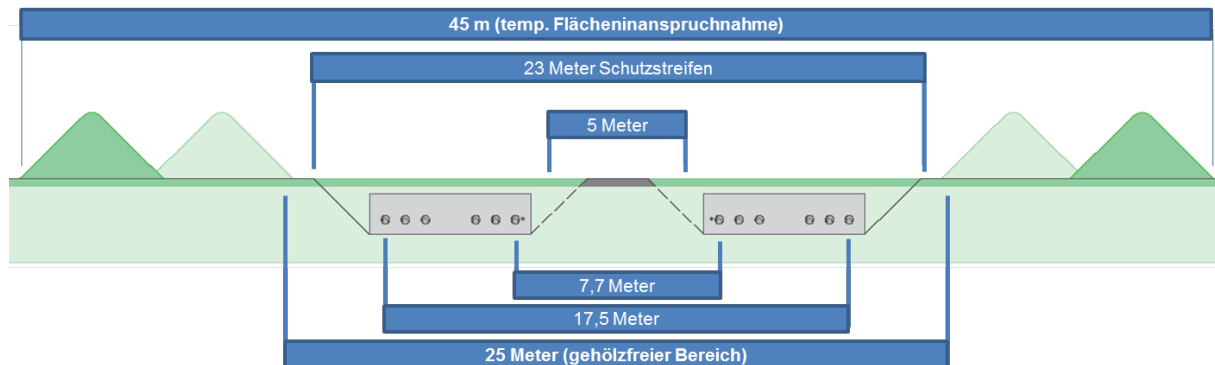


Abbildung 27: Regelgrabenprofil eines 380-kV-Kabelgrabens (Tennet TSO GmbH 2016b).

Die offene Bauweise wird am häufigsten eingesetzt, in Tabelle 9 sind je nach Verlegeart weitere Beispielwerte für Graben-, Schutzstreifen- und Bautrassenbreiten aufgeführt (Scholles et al. 2012).

Tabelle 9: Beispielwerte für Graben-, Schutzstreifen- und Bautrassenbreite von HDÜ- und HGÜ-Erdkabeltrassen (Scholles et al. 2012).

Verlegeart	Grabenbreite (Abstand der äußeren Kabel)	Schutzstreifenbreite (+2-5 m beiderseits)	Arbeitsstreifenbreite (ungefähre Angaben)	
HDÜ	Äquidistant	8,8 m	13-19 m	28 m
	2 x 2 äquidistant	7,6 m	12-18 m	27 m
	getrennte Gräben	15,1 m	20-25 m	20-45 m
HGÜ	Äquidistant	5,6 m	11-16 m	25 m
	2 x 2 äquidistant	7,1 m	12-18 m	26 m
	getrennte Gräben	14,4 m	19-25 m	20-35 m

Unabhängig vom Übertragungsmedium wird bei Hochspannungsgleichstromübertragungen (HGÜ) Drehstrom zunächst gleichgerichtet, als Gleichstrom übertragen und schließlich wieder in Drehstrom transformiert (Seidl und Heuke 2014). Dazu entsteht je nach verwendeter Technik und Übertragungskapazität zusätzlicher Flächenbedarf für die Anlage von Konverterstationen an den Ein- und Ausspeisepunkten der Leitung. Konverterstationen können Landschaft aufgrund ihrer Höhen- und Breitenmaße prägen.

### 2.6.1.2 Absehbare technologische Entwicklung

Die mögliche technische Entwicklung der Stromnetze wird maßgeblich durch die künftige Erzeugungs- und Verbrauchsstruktur sowie durch den per Gesetz festgestellten Netzausbaubedarf in den nächsten 10 bis 20 Jahren beeinflusst.

Die Option der Stromübertragung mit Erdkabeln wird tendenziell auf der Hoch- und Höchstspannungsebene häufiger in Betracht gezogen, da in bestimmten Bereichen die Umweltbe-

eintrüchtigungen geringer sein können und in dicht besiedelten Bereichen eine bessere Alternative zu Freileitungen darstellen. Aktuell sorgen die möglicherweise geringeren Auswirkungen auf das Landschaftsbild und geringeren elektromagnetischen Felder bei der Planung des Netzausbaus mit Erdkabeln teilweise für eine höhere Akzeptanz der Bevölkerung. Jedoch sind Erdkabel nicht in allen Bereichen die umweltverträglichere Wahl. Tendenziell ist aufgrund der rechtlichen aber auch der politisch und gesellschaftlich wachsenden Bedeutung von Erdkabeln sowie aufgrund des damit verbundenen technischen Fortschritts also ein leichter Anstieg des Anteils an Erdverkabelungen auf der Höchstspannungsebene zu erwarten.

Zunächst ist in diesem Zusammenhang die Änderung des Bundesbedarfsplangesetzes (BBPIG) zur Einführung eines Erdkabelvorrangs für die geplanten vier Korridore in Gleichstromtechnik (Hochspannungsgleichstromübertragung, HGÜ) zu nennen (Tabelle 10).

Tabelle 10: Unterirdisch geplante Leitungsvorhaben in Gleichstromtechnik aus dem BBPIG.

<b>Vorhaben</b>	<b>Spannung</b>	<b>Trassenlänge</b>	<b>Typ</b>	<b>Gesamtinbetriebnahme</b>
1 Emden Ost-Osterath	320-525 kV	ca. 300 km	Neubau in neuer Trasse	angestrebt für 2025
3 Brunsbüttel-Großgartach (SuedLink)	320-525 kV	ca. 702 km	Neubau in neuer Trasse	angestrebt für 2025
4 Wilster-Grafenrheinfeld (SuedLink)	320-525 kV	ca. 558 km	Neubau in neuer Trasse	angestrebt für 2025
5 Wolmirstedt-Isar (SuedOstLink)	320-525 kV	ca. 537 km	Neubau in neuer Trasse	angestrebt für 2025

Dadurch soll die Akzeptanz dieser jeweils mehrere hundert Kilometer langen Verbindungen mit einer Gesamttrassenlänge von rund 2.100 km (BNetzA 2019) erhöht werden, weil die Eingriffe in das Landschaftsbild gegenüber der zuvor geplanten Ausführung in Freilufttechnik erheblich verringert werden. Allerdings ist zu beachten, dass im Bereich der Kabel ein 20 bis 25 m breiter Streifen für etwaige Reparaturarbeiten jederzeit zugänglich sein muss und an den Verbindungsstellen (Muffen) zwischen den einzelnen Kabelabschnitten oberirdische Gebäude etwa in Größe einer Fahrzeuggarage zur Begehung der Muffen erforderlich sind. Somit ist die Leitung bei einer Ausführung als Erdkabel zwar nicht weithin sichtbar und somit weniger auffällig wie eine Freileitung, aber es existieren auch bei einer Verkabelung nicht unerhebliche Eingriffe in das Landschaftsbild.

Tendenziell ist ein höherer Kabelanteil nicht auszuschließen, da der Gesetzgeber auch bei Aus- und Neubauprojekten in Drehstromtechnik die Prüfung einer Verkabelungslösung vorsieht, allerdings steht den Vorteilen der geringeren Sichtbarkeit und Vermeidung der Gefährdung der Avifauna ein deutlich höherer Flächenbedarf als bei Freileitungen gegenüber. Zudem sind die Flächen im Leitungsbereich im Gegensatz zu Freileitungen landwirtschaftlich nur eingeschränkt nutzbar und es treten Veränderungen der Bodenbeschaffenheit durch Erwärmung sowie die Einschränkung der Bepflanzung auf nicht tiefwurzelnde Gewächse auf.

Aus diesem Grund und den auch bei Verkabelungen zu erwartenden Akzeptanzproblemen erscheint es wahrscheinlicher, dass bestehende Freileitungstrassen künftig effizienter genutzt werden. Durch die Tendenz zur Netzoptimierung und Vermeidung von Neubauprojekten ist ein verstärkter Einsatz von heute nur punktuell verwendeten alternativen Leiterseiltechnologien denkbar. Dies umfasst insbesondere Hochtemperaturleiterseile, im deutschen Höchstspannungsnetz knapp 250 km in Betrieb, weitere ca. 600 km geplant bis 2022

(Mischinger et al. 2017), mit geringem Seildurchhang, wie das ACCR-System mit einer Aluminium Keramik-Verbindung, das hohe Leiterseiltemperaturen von über 200°C ohne Verformung oder Durchhang ermöglicht, die eine deutlich höhere Übertragungsleistung im Vergleich zu den bisher verwendeten Aluminium-Stahl Leitern aufweisen. Aufgrund der Materialeigenschaften können diese Hochtemperaturleiterseile in der Regel gegen einen vorhandenen Leiter auf bestehende Masten ausgetauscht werden können, so dass ein Neubau oder eine Masterrhöhung vermieden werden kann.

Des Weiteren wird von dem Übertragungsnetzbetreiber 50 Hertz derzeit in Pilotprojekten ein neuartiges Mastsystem namens „compactLine“ erprobt. Dieses zeichnet sich durch eine gleichzeitige Reduktion von Masthöhe und Trassenbreite aus und bietet bei künftigen Netzausbauprojekten vor allem eine Alternative, wenn:

- der Trassenraum in der Breite besonders begrenzt ist
- das Mastdesign hilft, Beeinträchtigungen des Landschaftsbilds deutlich zu verringern
- bestehende Trassen von 220-kV-Freileitungen für das Aufrüsten auf die 380-kV-Spannungsebene genutzt werden sollen

Durch eine neuartige Leiterseilaufhängung wird sowohl der Durchhang als auch das Ausschlagen der Leiterseile reduziert, so dass sich im Grundmaß eine Masthöhe von 30 bis 36 m und eine Trassenbreite von 55 bis 60 m ergeben. Im Vergleich dazu ist das Grundmaß für einen Stahlgittermast als Donaumast eine Masthöhe von 50 bis 60 m und eine Trassenbreite von rund 72 m (Abbildung 28).

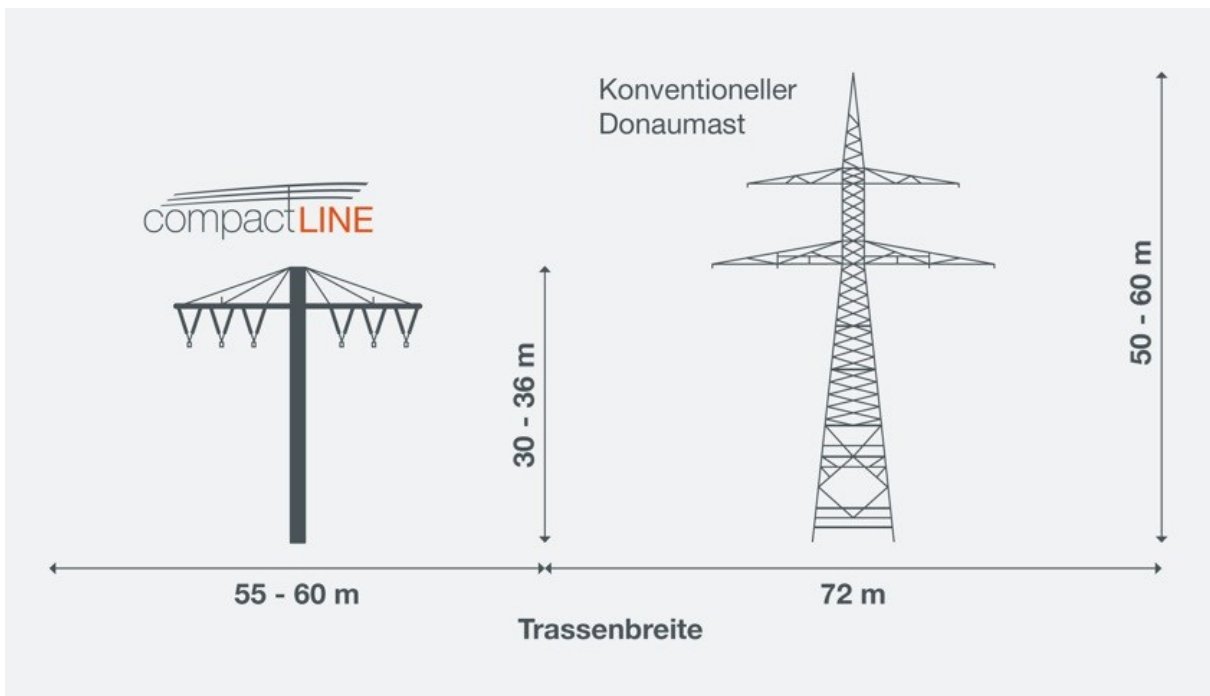


Abbildung 28: Vergleich von Donaumasts und Freileitungskonzept compactLine (50Hertz 2019).

Die Stahlbetonmasten sparen zusätzlich die in Anspruch genommene Fläche. Insgesamt ergibt sich eine geringere Auffälligkeit, so dass eine höhere Akzeptanz bei der Bevölkerung zu erwarten ist. Auch aus Sicht des Naturschutzes bietet das System Vorteile. Neben der generellen Landschaftsschonung trägt die verringerte Masthöhe dazu bei, die Gefahr für Vögel mit den Leitungen zu kollidieren zu reduzieren. Das neuartige System ist derzeit auf einer Pilotstrecke von rund 2 km Länge in Südbrandenburg im Testbetrieb (Abbildung 29).



Abbildung 29: Einebenen-Anordnung der Leiterseilbündel mit zwei Tragseilen (50Hertz 2019).

Der Umfang des zukünftigen Netzausbaus kann über die erforderlichen Netzplanungsprozesse der Netzbetreiber abgeleitet werden. Für das Übertragungsnetz werden Angaben der Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) zur Entwicklung des Netzes öffentlich dokumentiert. Bereits in den 2000er Jahren haben die ÜNB den Netzausbaubedarf bis zum Jahr 2016 ermittelt. In Netzentwicklungsplänen (NEP) legen die Übertragungsnetzbetreiber dar, welche Maßnahmen zum Netzausbau in den nächsten Jahren erforderlich sind. Seit 2012 führen die Übertragungsnetzbetreiber im Rahmen der Netzentwicklungspläne in jährlichem Turnus die Bedarfsermittlung für den Netzausbau mit einem Prognosehorizont von zehn bzw. fünfzehn Jahren durch. Die ermittelten Netzausbauprojekte werden von der Bundesnetzagentur geprüft und abhängig vom Ergebnis der Prüfung bestätigt oder zurückgestellt.

Die Ausbauprojekte mit vordringlichem Umsetzungsbedarf wurden erstmals 2009 im Energieleitungsausbaugesetz (EnLAG) verankert und deren Realisierungsprozess wird vierteljährlich von der Bundesnetzagentur im Rahmen eines „EnLAG-Monitorings“ veröffentlicht. Die BNetzA beziffert darin die Gesamtlänge an Leitungskilometern, die sich aus dem EnLAG ergeben, nach dem dritten Quartal 2016 auf rund 1.800 km. Etwa 900 km sind davon genehmigt und ca. 650 km bereits realisiert, das sind ca. 35 % der Gesamtlänge. Die Annahme der Übertragungsnetzbetreiber, dass rund 45 % der EnLAG-Leitungskilometer bis 2017 fertiggestellt sein sollten, kann aktuell nicht bestätigt werden. Bei einem Großteil der Vorhaben verzögert sich die Fertigstellung deutlich. Bis Ende 2020 rechnen die Übertragungsnetzbetreiber mit einer Fertigstellung von rund 85 % der Vorhaben (BMW i 2016b).

Aus dem 2011 beschlossenen Atomausstieg wurde ein erhöhter Netzausbaubedarf abgeleitet, der über die im EnLAG aufgeführten Leitungsvorhaben nicht abgedeckt werden kann. Daher hat der Gesetzgeber weitere Instrumente zur Netzplanung und Genehmigung beschlossen, unter anderen das Bundesbedarfsplangesetz. Dadurch ist es nicht erforderlich neue Vorhaben in den Bedarfsplan des EnLAG aufzunehmen. Die erforderlichen Maßnahmen für den Bau der Leitungsvorhaben des EnLAG werden im Netzentwicklungsplan aufgeführt. Bei der Aufstellung des NEPs fließen sie jedoch bereits als sogenanntes „Startnetz“, also als bestehendes Netz, in die Ermittlung des Ausbaubedarfs mit ein.

Seit 2013 erfolgt nun alle drei Jahre eine Überführung der im NEP bestätigten Netzausbauprojekte in das Bundesbedarfsplangesetz (BBPIG). Die Liste der darin aufgeführten Leitungsvorhaben wurde nach Prüfung der aktuellen Bedarfsprognosen angepasst und gesetzliche Regelungen für den Einsatz von Erdkabeln wurden geändert. Das aktuell gültige Gesetz trat am 31. Dezember 2015 in Kraft. Analog zum EnLAG-Monitoring werden die (geplanten) Verläufe der Ausbaumaßnahmen und deren Realisierungsprozess vierteljährlich von der Bundesnetzagentur im Rahmen des BBPIG-Monitorings veröffentlicht (Abbildung 30). Aus dem Bundesbedarfsplangesetz ergibt sich laut BNetzA nach dem dritten Quartal 2016 eine Gesamtlänge der geplanten Leitungen von etwa 6.100 km. Davon sind ca. 3.050 km als Netzverstärkung gekennzeichnet. Die Gesamtlänge der Leitungen wird vom tatsächlichen Verlauf der Nord-Süd-Korridore abhängen und sich im weiteren Verfahrensverlauf konkretisieren. Bislang sind von den geplanten Leitungen nach BBPIG rund 400 km genehmigt und 80 km realisiert (BNetzA 2019).

Aus dem Netzentwicklungsplan 2024, gehen erforderliche Optimierungs- und Verstärkungsmaßnahmen in bestehenden Trassen über eine Länge von ca. 3.050 km und Neubauvorhaben mit einer Gesamtlänge von 2.748 km hervor (Tabelle 11).

Tabelle 11: Maßnahmen des Netzausbaus und der Netzverstärkung im Übertragungsnetz gem. BBPIG und EnLAG sowie ermittelter Bedarf des Netzausbaus auf Verteilnetzebene (BNetzA 2006-2018, 2019).

<b>Maßnahmen</b>	<b>EnLAG 2015 (Angaben Monitoring)</b>	<b>NEP 2024</b>	<b>BBPIG 2015 (Angaben Monitoring)</b>
AC-Neubau	-	648 km	-
DC-Korridore	-	1.750 km	-
DC-Neubau Interkonnektoren	-	350 km	-
AC-Netzverstärkung	-	2.750 km	-
AC/DC-Umstellung	-	300 km	-
Gesamt Neubau	-	2.748 km	-
Gesamt Optimierung /Verstärkung	-	3.050 km	3.050 km
<b>Gesamt</b>	<b>ca. 1.800 km</b>	<b>ca. 5.798 km</b>	<b>ca. 6.100 km</b>
Bereits realisiert (Stand des Monitoring, 3. Quartal 2016)	650 km	-	80 km

Insgesamt sind 22 Vorhaben mit rund 1.800 Leitungskilometern nach EnLAG und 43 Vorhaben mit rund 6.100 Leitungskilometern nach BBPIG als Ausbaumaßnahmen gesetzlich festgeschrieben, von denen bislang ca. 730 Leitungskilometer realisiert wurden. Nicht alle Leitungen werden in neuangelegten Trassen verlaufen. Eine Annäherung an die Länge des Trassenneubaus bilden die Angaben aus dem Netzentwicklungsplan 2024. Der ermittelte Bedarf an Neubau wird dort mit 2.748 Leitungskilometern beziffert. Viele der Leitungsvorhaben des BBPIG, ca. 2.500 km, sollen aufgrund des nun geltenden Erdkabelvorrangs für Gleichstromleitungen (HGÜ) unterirdisch verlegt werden. Hinzu kommen die Neubaumaßnahmen des EnLAG, die im BBPIG als bereits bestehendes „Startnetz“ angenommen werden. Der tatsächliche geplante Neubau an Leitungstrassen kann aufgrund der laufenden und teilweise noch nicht begonnenen Planungsverfahren jedoch nicht exakt bestimmt werden. Der Stand des Ausbaus der Leitungsvorhaben nach EnLAG und BBPIG ist in Abbildung 30 dargestellt.

Der Bundesbedarfsplan im Bundesbedarfsplangesetz (BBPIG) von 2015 enthält die von der

Bundesnetzagentur bestätigten Vorhaben des Netzentwicklungsplans 2024. Differenzen der Längenangaben aus NEP und BBPIG sind durch den fortschreitenden Verfahrensverlauf begründet und können sich im weiteren Planungsprozess konkretisieren.

Die einzelnen Ausbauprojekte sind im Hinblick auf den (geplanten) Trassenverlauf bekannt und auf den Seiten des Internetauftritts der Bundesnetzagentur zum Netzausbau abzurufen ([www.netzausbau.de](http://www.netzausbau.de)).

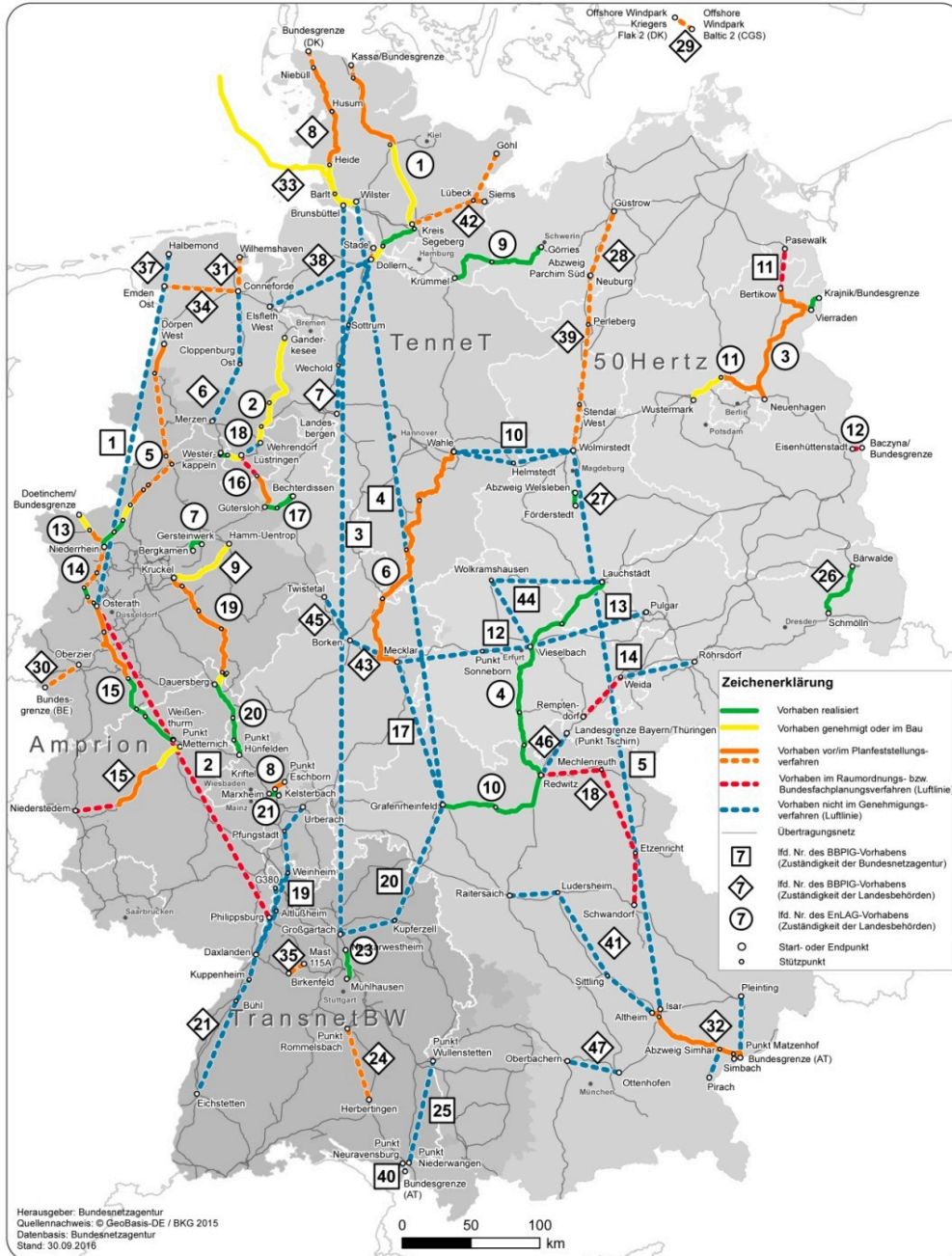


Abbildung 30: Stand des Ausbaus von Leitungsvorhaben nach dem Energieleitungsausbaugesetz und dem Bundesbedarfsplangesetz zum dritten Quartal 2016 (BNetzA 2016b).



### 2.6.1.3 Räumliche Steuerung, Stromgestehungskosten und CO<sub>2</sub>- Emissionen

Eine räumliche Steuerung des Netzausbaus ist in der übergeordneten nationalen Gesetzgebung nicht verankert. Lediglich die regelmäßige Ermittlung des Ausbaubedarfs ist für das Übertragungsnetz durch das EnWG vorgesehen. Ein Grundsatz zur Steuerung ist in den §§ 8 Abs. 4, 12 EEG verankert, der Netzausbau soll demnach der Energieerzeugung folgen (Bruns et al. 2016). Die Übertragungsnetzbetreiber entwerfen im Rahmen der ersten Verfahrensschritte des Netzausbaus auf Grundlage eines Szenariorahmens, der mögliche Entwicklungen im Stromsektor unter Berücksichtigung der vorhandenen Offshore-Netzpläne und des gemeinschaftsweiten Netzentwicklungsplans Ten-Year Network Development Plan (TYNDP) aufzeigt, den bereits im Abschnitt 2.6.1.2 beschriebenen nationalen Netzentwicklungsplan (NEP). Nach dem sogenannten NOVA-Prinzip (Netz-Optimierung vor Verstärkung vor Ausbau) sollen aus dem Netzentwicklungsplan erforderliche Maßnahmen für einen sicheren und zuverlässigen Netzbetrieb hervor gehen (siehe <https://www.netzausbau.de/5schritte/de.html>). Über technisch und wirtschaftlich möglichst günstig liegende Verknüpfungspunkte des Netzanbindungssystems mit dem nächsten Übertragungs- oder Verteilnetz werden zunächst Anfangs- und Endpunkt (Netzverknüpfungspunkte) der jeweilig erforderlichen Leitungsverbindung im Bundesbedarfsplan durch den Gesetzgeber vorgegeben. Grundsätzlich orientiert sich die Festlegung der Netzverknüpfungspunkte an die Orte der Energieerzeugung und der Lastzentren. Diese bestimmen demnach maßgeblich den Raum der zukünftigen Stromleitungen. Ein grober Suchraum für die zukünftige Trasse ist somit bereits vorgegeben. Auf der Grundlage der Netzverknüpfungspunkte wird im Rahmen des Raumordnungsverfahren oder der Bundesfachplanung bei länderübergreifenden Verbindungen unter Berücksichtigung von möglichen Umweltauswirkungen, der konkreten Raumnutzung, den Bündelungspotenzialen sowie weiterer Planungsgrundsätze (z. B. möglichst geradliniger und kurzer Verlauf), technischer Kriterien und dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit ein Trassenkorridor für das folgende Planfeststellungsverfahren verbindlich festgelegt (§ 15 Abs. 1 NABEG, §§ 18 ff. NABEG). Dieser Korridor bildet den Suchraum, in der die spätere Trasse realisiert werden soll.

Zusammenfassend, werden die Weichen für den erforderlichen Umfang des Netzausbaus demnach bereits bei der Prognose wahrscheinlicher Entwicklungen der Stromerzeugungskapazitäten und des Stromverbrauchs gelegt. Diese sind wesentlich an den Koalitionsvereinbarungen der Bundesregierung ausgerichtet, die eine Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch von 65 % vorsieht. Raumkonkretere Steuerungsmöglichkeiten sind auf den nachgelagerten Planungsebenen möglich:

- Energiepolitische Ziele der Bundesebene
- Räumliche Steuerung durch das Energierecht (Netzausbau gem. §§ 8 Abs. 4 12 EEG), Bau und Planungsrecht
- Räumliche Steuerung durch Raumplanung (Raumordnungs- und Regionalpläne)
- Energiekonzepte der Bundesländer und Planungsregionen, regionale Energiekonzepte

Der direkte Betrieb der Stromnetze ist frei von CO<sub>2</sub>-Emissionen. Bei Herstellung, Transport und Errichtung der Netzbetriebsmittel werden allerdings Energiemengen aufgewendet, die in der CO<sub>2</sub>- bzw. Treibhausgas-Bilanz entsprechend zu berücksichtigen sind. Eine Quantifizierung ist aufgrund fehlender öffentlicher Daten jedoch nicht möglich.

## 2.6.2 Datensatz

### 2.6.2.1 Datenquelle

Für Untersuchungen der Netzausbauentwicklungen sind das Bestandsnetz, das Stromnetz der Vergangenheit, auch vor dem Hintergrund der Liberalisierung des Strommarkts 1998, sowie die Entwicklung des künftigen Stromnetzes relevant.

Die Datenverfügbarkeit für die zeitlich rückwärts- und vorwärts gerichtete Betrachtung ist dabei signifikant unterschiedlich.

In der weiter zurückliegenden Vergangenheit, bis in die frühen 2000er Jahre, wurden netzbezogene Daten nur in sehr begrenztem Umfang öffentlich zugänglich gemacht. Datenaustausch fand in der Regel nur zwischen den Netzbetreibern statt, jedoch in erheblich geringerem Ausmaß als heute üblich, da die seit mehreren Jahren etablierten Prozesse z. B. zur europaweiten Engpassvorausschau oder koordinierten Vergabe von Übertragungskapazitäten, welche einen intensiven Datenaustausch zwischen den Netzbetreibern erfordern, in der Zeit vor den 2000er Jahren nicht existent waren.

Für die räumliche Erfassung und Analyse der Auswirkungen des Stromnetzes auf Natur und Landschaft sind Geodaten erforderlich. Die öffentliche Zugänglichkeit solcher Daten zu dem in Deutschland bestehendem Stromnetz ist sehr heterogen, insbesondere in Bezug auf die unterschiedlichen Spannungsebenen. Während räumliche Daten für das Übertragungsnetz (Höchstspannungsebene  $\geq 125$  kV) nahezu vollständig vorliegen und in Form von OpenStreetMap kostenfrei abrufbar sind, ergeben sich für die untergeordneten Spannungsebenen ( $< 72,5$  kV) Datenlücken. Dies gilt insbesondere für Freileitungen auf der Mittelspannungsebene (hauptsächlich 10 kV und 20 kV) und Erdverkabelungen auf der Niederspannungsebene ( $< 1$  kV) bis zur Hochspannungsebene ( $\geq 72,5$  kV und  $< 125$  kV). Es hat sich gezeigt, dass es für diese Spannungsebenen keine zentralen Datenquellen gibt, die eine weitere Differenzierung der aggregierten Daten ermöglichen.

Ähnlich verhält es sich mit der Verfügbarkeit zurückliegender Daten. Für den Zeitraum 2007-2015 ist aus frei verfügbaren Geodaten des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie sowie anhand von OpenStreetMap (OSM)-Daten eine räumliche Darstellung der Entwicklung des Netzausbaus auf Hoch- und Höchstspannungsebene möglich. Zur Abbildung des aktuellen Stromnetzes wurden freizugängliche Geodaten aus der Datenbank von OpenStreetMap sowie statistische Angaben, vor allem zur Validierung der Geodaten vom Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW 2017) und der Bundesnetzagentur (BNetzA 2006-2018) verwendet. Exportiert wurde das Freileitungs- und Erdkabelnetz Deutschlands mit dem Ausbaustand des Jahres 2016 von dem Datenportal <https://www.geofabrik.de>, welches eng mit dem Projekt OpenStreetMap zusammenarbeitet.

### 2.6.2.2 Aufbau eines Datensatzes

Es wurde eine GIS-gestützte Projektion des Stromnetzbestands auf Grundlage der OSM-Daten in den Raum in das Koordinatensystem UTM Zone 32, Ellipsoid GRS80, Datum ETRS89 (EPSG Code 5972) vollzogen. Der erzeugte Datensatz stellt die Trassen und Netzknoten der Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsebenen sowie für die Stromversorgung relevante Gebäude lagegenau im Raum dar.

Die Grundlage für die Projektion bildet der tagesaktuelle OSM-Geodatensatz für Deutschland (heruntergeladen 01/2016 unter <http://download.geofabrik.de/>). Mittels einer Datenbankabfrage (Tag: Power) wurden alle Daten mit Relation zur Stromerzeugung aus dem OSM-Datensatz extrahiert und in eine eigene Spatialite-Datenbank geschrieben. In einem weiteren

Schritt wurden Daten zum Stromnetz aus der SpatiaLite-Datenbank ausgelesen (über die Keys Power=Line, Cable, substation, converter, station, switch, transformer, tower, pole) und in eine GIS-Software importiert. Der erzeugte Datensatz zum Stromnetz enthält folgende räumlich explizite Objekte:

- Liniendaten der Freileitungen
- Liniendaten der Erdkabel

Die aufgeführten Objekte beinhalten neben ihrer Lageposition im Raum u. a. Informationen (Attribute) zu den Spannungsebenen der Leitungen. Auf dieser Grundlage wurden die vorliegenden Stromnetzdaten in folgende Spannungsebenen gegliedert (BNetzA 2006-2018):

- Mittelspannung (MS) > 1 und ≤ 72,5 kV
- Hochspannung (HS) > 72,5 und ≤ 125 kV
- Höchstspannung (HöS) > 125 kV

Für eine Überprüfung der Datenvollständigkeit, wurden die GIS-gestützt ermittelten Leitungslängen mit Daten aus verschiedenen Quellen (Tabelle 12) verglichen.

Tabelle 12: Vergleich der Daten für die Leitungslängen (km) des BDEW, der BNetzA und des OSM.

Daten- quelle	Leitungstyp	Mittelspannung ≥ 1 und < 72,5 kV	Hochspannung ≥ 72,5 und < 125 kV	Höchstspannung ≥ 125 kV	Gesamt
BDEW (2017)	Freileitung	108.968	72.527	35.012	216.507
	Erdkabel	405.032	7.173	176	412.381
	Gesamt	514.000	79.700	35.188	628.888
BNetzA (2016)	Freileitung	-	-	-	-
	Erdkabel	-	-	-	-
	Gesamt	511.164	96.658	35.970	643.792
OSM (2016)	Freileitung	16.017	82.884	37.062	135.963
	Erdkabel	959	1.124	268	2.351
	Gesamt	16.976	84.008	37.330	104.717

Der Vergleich zeigt eine hohe Genauigkeit der OSM-Daten auf der Hoch- und Höchstspannungsebene hinsichtlich der aktuellen Leitungslängen, insbesondere für Freileitungen. Die Mittel- und Niederspannungsebenen (nicht aufgeführt) werden jedoch unvollständig abgebildet, was hauptsächlich auf den hohen Grad der Verkabelung auf den niedrigeren Spannungsebenen zurückzuführen ist.

Die räumliche Verteilung des Hoch- und Höchstspannungsnetzes (≥ 72,5 kV), dargestellt durch die aus OSM generierten Daten, wurde für die weiteren Analysen mit den digitalen Landschaftsmodellen der Bundesländer aus dem Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystemen (ATKIS-Basis-DLM 2016) verglichen. Objektdaten im ATKIS-DLM (Digitales Landschaftsmodell) werden nach einem sehr detaillierten Objektartenkatalog (ATKIS-OK) modelliert und erfasst. Allerdings ist eine Differenzierung der Spannungsebenen bei diesem Datensatz nicht möglich, so dass lediglich die Hoch- und Höchstspannungsebene in ihrer Gesamtheit verglichen werden kann.

Eine detaillierte Datenbeschreibung ist der Veröffentlichung „Spatial distribution of overhead power lines and underground cable in Germany in 2016“ von Eichhorn et al. (2018) zu entnehmen.

Der Datensatz wurde im Jahr 2016 erhoben und im shape-Datenformat aus der Datenbank von OpenStreetMap exportiert. Die Freileitungen und Erdkabel sind als Linien dargestellt und für Deutschland abgegrenzt. Relevante Angaben, die in dem generierten Datensatz teilweise aufgeführt sind, sind in Tabelle 13 benannt.

Tabelle 13: Attribute des aus OSM generierten Geodatensatzes zur Abbildung des Stromnetzes in Deutschland.

Schlüssel (key)	Wert (orig. OSM)	Quelle	Bemerkung
osm_id	ID	OSM	Eindeutige Objekt- ID
power	line	OSM	Leitung kartiert als Linie
voltage	<operating voltage>	OSM	Betriebsspannung
frequency	<operating frequency>	OSM	Betriebsfrequenz [Hertz]
cables	<number of cables>	OSM	Anzahl Phasenleiter im Leitungsabschnitt
wires	<wire bundle per conductor>	OSM	Bündelformfaktor je Leiter der Stromleitung
operator	<cable operator>	OSM	Stromleitungsbetreiber
length_km	<route length in km>	Eigene Berechnung	Streckenlänge in km
circuit	<number of circuits>	Eigene Berechnung	Anzahl Stromkreise
Circuit_km	<circuit length in km>	Eigene Berechnung	Stromkreislänge in km

### 2.6.2.3 Ergebnisse

Die Freileitungsverläufe der Geodatensätze des ATKIS-Basis-DLM 2016 und des OSM 2016 sind nahezu identisch. OSM bietet jedoch für die weiteren Analysen wichtige Informationen der Leitungseigenschaften, so dass die aus OSM generierten Daten für das EE-Monitoring geeigneter sind. Für eine umfassende Auswirkungsanalyse sind weitere Daten zu Masthöhen, Strommasten und installierten Vogelschutzmarkierungen erforderlich. Solche Daten sind bislang nicht öffentlich verfügbar oder können mit vertretbarem Aufwand im Rahmen wissenschaftlicher Analysen kaum gewonnen werden.

Die über OSM verfügbaren Daten des Übertragungsnetzes stellen eine gültige Quelle für die räumliche Zuordnung der einzelnen Verbindungen zu den realen Streckenverläufen dar. Der OSM-Datensatz repräsentiert 99,5 % des bestehenden Übertragungsnetzes und wird zur Verwendung im Rahmen des Monitorings empfohlen.

Die Freileitungslänge betrug auf der Hoch- und Höchstspannungsebene im Jahr 2016 insgesamt 60.923 km (Tabelle 14 und Abbildung 31).

Tabelle 14: Freileitungskilometer auf der Hoch- und Höchstspannungsebene in km.

Spannungsebene	Jahr 2016
Höchstspannungsebene	18.244 km
Hochspannungsebene	42.679 km
Gesamt	60.923 km

Erfasste Trassenlänge in Deutschland (OSM):  
Höchstspannung: 18.244 km ———  
Hochspannung: 42.679 km ———



1:3.200.000



Datenquelle:  
©openstreetmap,  
[www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org)

Abbildung 31: Freileitungen der Hoch- und Höchstspannungsebene und deren räumliche Verteilung in 2016.

## 2.6.2.4 Fortführung des Datensatzes für Freileitung und Erdkabel

Zukünftig ist es möglich, in bestimmten Zeitintervallen das Freileitungs- und Erdkabelnetz der Hoch- und Höchstspannungsebenen aus der freizugänglichen OSM-Datenbank (<https://www.openstreetmap.org>) abzurufen, z. B. über das in diesem Vorhaben verwendete Online-Portal <https://download.geofabrik.de/>.

## 2.7 Speichertechnologien

### 2.7.1 Technologiesteckbrief

#### 2.7.1.1 Bisherige technologische Entwicklung

Stromspeicher lassen sich vielfältig klassifizieren. Die gängigste Art und Weise ist die Unterteilung der verschiedenen Speichertechnologien nach ihrem physikalischen Wirkungsprinzip bzw. der Energieform (Tabelle 15).

Tabelle 15: Physikalisch-energetische Einteilung von Stromspeichern.

Mechanische Speicher	Elektrische Speicher	Elektrochemische Speicher	Chemische Speicher
Pumpspeicher	Kondensatoren	Batterien	Power-to-Gas
Druckluftspeicher	Spulen	(Blei, Lithium, Natrium, Redox-Flow usw.)	(Wasserstoff, Methan)
Schwungradspeicher (kinetische Energie)			Power-to-Liquid (flüssige Kraftstoffe)

Der technische Entwicklungsstand von Speichertechnologien lässt sich über eine Einordnung in sogenannte Technology Readiness Levels (TRL) bestimmen. Dabei wird der Entwicklungsgrad neun Ebenen zugeordnet, die die Entwicklung von der Grundlagenforschung bis zum laufenden Betrieb darstellen (Sternier und Stadler 2014). In Tabelle 16 ist der technologische Reifegrad ausgewählter Stromspeichertechnologien dargestellt.

Tabelle 16: Technologie-Reifegrad (TRL) ausgewählter Stromspeicher (Sternier und Stadler 2014; Zapf 2017).

Technologie	Ebene
Pumpspeicherwerke	TRL 9
Diabate Druckluftspeicher	TRL 8
Adiabate Druckluftspeicher	TRL 4
Schwungradspeicher	TRL 9
Doppelschichtkondensatoren	TRL 9
Spulen (SMES)	TRL 7
Blei-Säure-Batterien	TRL 9
Nickel-Cadmium-Batterien	TRL 8
Lithium-Ionen-Batterien	TRL 9
Redox-Flow-Batterien	TRL 7

### 2.7.1.2 Absehbare technologische Entwicklung

In den Tabelle 17 bis Tabelle 20 sind die derzeitigen und zukünftigen technischen und wirtschaftlichen Kenndaten ausgewählter Stromspeicher dargestellt. Die Definition der einzelnen technischen Kenngrößen ist nachfolgend kurz erläutert (Sterner und Stadler 2014):

- **Gravimetrische Energiedichte:** Die gravimetrische Energiedichte ist das Verhältnis von Energie (in Wh) zur Masse eines Stoffes (in kg).
- **Volumetrische Energiedichte:** Die volumetrische Energiedichte ist das Verhältnis von Energie (in Wh) zum Raumvolumen eines Stoffes (in m<sup>3</sup>).
- **Zyklenzahl:** Die Zyklenzahl bezeichnet die Anzahl der Lade- und Entladezyklen innerhalb der Lebensdauer.
- **Kalendarische Lebensdauer:** Die Lebensdauer bezeichnet den Zeitraum (in a) der Verwendung eines Speichers.
- **Selbstentladung:** Die Selbstentladung beschreibt den Verlust der gespeicherten Energie ohne Anschluss eines externen Verbrauchers.
- **Wirkungsgrad:** Der Wirkungsgrad beschreibt das Verhältnis der abgegebenen zur zugeführten Energie.

Tabelle 17: Aktueller Stand und erwartete technische und ökonomische Entwicklung von Blei-Säure-Batterien (Elsner und Sauer 2015; Sauer et al. 2013; Sterners und Stadler 2014; Wietschel et al. 2015).

Technische Parameter	Einheit	Heute	2020-2030
Energiedichte (gravimetrisch)	Wh/kg	30-50	60-100
Energiedichte (volumetrisch)	kWh/m <sup>3</sup>	50-75	140-250
Zyklenzahl	Stück	500-2.000	1.000-4.000
Kalendarische Lebensdauer	a	5-15	8-20
Selbstentladung	%/Monat	3-5	2-4
Wirkungsgrad	%	82-86	84-90
Energiespezifische Energiekosten	€/kWh	100-250	50-150
Leistungsspezifische Energiekosten	€/kW	150-200	100-150

Tabelle 18: Aktueller Stand und erwartete technische und ökonomische Entwicklung von Lithium-Ionen-Batterien (Elsner und Sauer 2015; Sauer et al. 2013; Sterners und Stadler 2014; Wietschel et al. 2015).

Technische Parameter	Einheit	Heute	2020-2030
Energiedichte (gravimetrisch)	Wh/kg	110-190	180-350
Energiedichte (volumetrisch)	kWh/m <sup>3</sup>	200-350	250-500
Zyklenzahl	Stück	1.000-5.000	2.000-10.000
Kalendarische Lebensdauer	a	5-20	10-25
Selbstentladung	%/Monat	3-5	< 3
Wirkungsgrad	%	85-90	> 90
Energiespezifische Energiekosten	€/kWh	300-800	150-400
Leistungsspezifische Energiekosten	€/kW	150-200	100-150

Tabelle 19: Aktueller Stand und erwartete technische und ökonomische Entwicklung von Redox-Flow-Batterien (Fuchs et al. 2012; Teller et al. 2013; UMSICHT und IWES 2014).

Technische Parameter	Einheit	Heute	2020-2030
Energiedichte (gravimetrisch)	Wh/kg	10-20	20-40
Energiedichte (volumetrisch)	kWh/m <sup>3</sup>	20-70	> 50
Zyklenzahl	Stück	> 10.000	> 10.000
Kalendarische Lebensdauer	a	10-15	15-20
Selbstentladung	%/Monat	Sehr gering	Sehr gering
Wirkungsgrad	%	70-80	75-85
Energiespezifische Energiekosten	€/kWh	300-500	150-250
Leistungsspezifische Energiekosten	€/kW	1.000-1.500	800-1.200

Tabelle 20: Aktueller Stand und erwartete technische und ökonomische Entwicklung von Pumpspeicherkraftwerken (Sternner und Stadler 2014).

Technische Parameter	Einheit	Heute	2020-2030
Energiedichte (gravimetrisch)	Wh/kg	0,3-1,4	Bei Pumpspeicherkraftwerken handelt es sich um eine etablierte Speichertechnologie mit einer sehr hohen technologischen Marktreife. Es besteht kein bedeutendes Potenzial zur Kostenreduktion.
Energiedichte (volumetrisch)	kWh/m <sup>3</sup>	0,35-1,1	
Zyklenzahl	Stück	12.800-33.000	
Kalendarische Lebensdauer	a	40-100	
Selbstentladung	%/Tag	0-0,5	
Wirkungsgrad	%	70-82	
Energiespezifische Energiekosten	€/kWh	40-180	
Leistungsspezifische Energiekosten	€/kW	550-2.040	

### 2.7.1.3 Absehbare Marktdurchdringung

Der Forschungs- und Entwicklungsstand der einzelnen Stromspeichertechnologien ist sehr verschieden, genauso wie deren Entwicklungsdynamik, Entwicklungspotenziale und Anwendungsfelder. Pumpspeicherkraftwerke sind zum Beispiel technologisch ausgereift und am Markt etabliert, allerdings ist der weitere Ausbau in Deutschland aus energiewirtschaftlichen und Naturschutz-Gründen begrenzt. Andere Speichertechnologien, wie Batterien, stehen dagegen noch am Anfang der Marktdurchdringung und erschließen sich erst sukzessive immer weitere Anwendungsfelder. Dementsprechend breit gestreut sind auch die Forschungsaktivitäten im Bereich der Batteriespeicher (FVEE 2017). In Abbildung 32 ist die Marktreife verschiedener Technologien zur Stromspeicherung dargestellt. Lithium-Ionen-Batterien befinden sich beispielsweise in der Kommerzialisierungsphase. Für eine größere Marktdurchdringung müssen die Systemkosten reduziert und die Energiedichte erhöht werden. Für großtechnische Anwendungen sind kurz- und mittelfristig nur Pumpspeicherkraftwerke verfügbar.



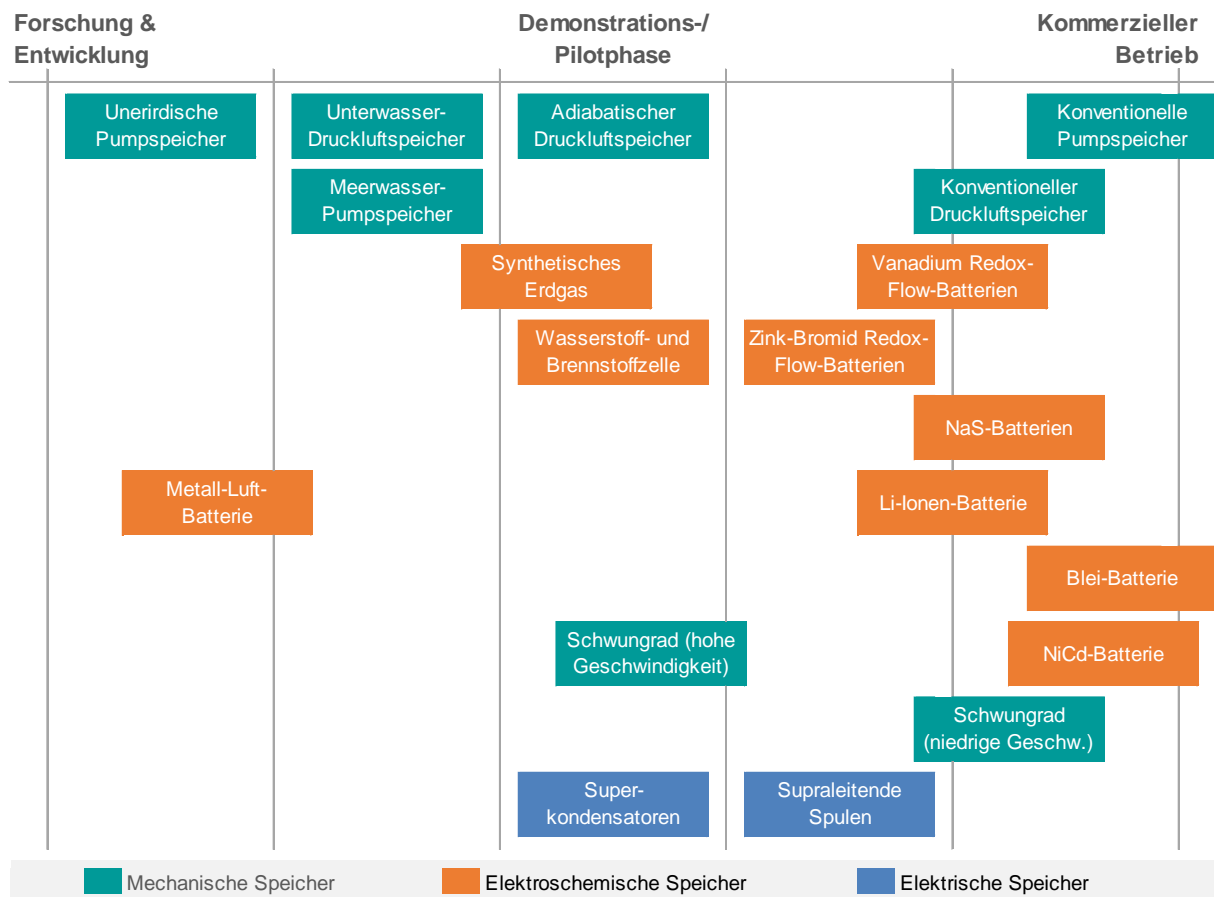


Abbildung 32: Marktreife verschiedener Speichertechnologien (e3 consult 2014; enea 2012). Darstellung IE Leipzig.

### 2.7.2 Datensatz

Im Rahmen des EE-Monitor Forschungsvorhabens wurde auf die Erstellung eines Datensatzes zu den Speichertechnologien verzichtet.

Pumpspeicherkraftwerke gehören zu den am meisten verbreiteten Energiespeichern großtechnischer Art. In Deutschland sind derzeit 31 Pumpspeicherkraftwerke mit einer Pumpspeicherleistung von rund 6,56 GW und einer Speicherkapazität von insgesamt 0,04 TWh (Stand März 2017) installiert (Anonymus 2019a). In Abbildung 33 ist der aktuelle Bestand sowie geplante Projekte bis zum Jahr 2025 dargestellt. Da sich in den letzten Jahren die energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen für Pumpspeicherkraftwerke kontinuierlich verschlechtert haben, ist es fraglich, wie viele der geplanten Pumpspeicherkraftwerke tatsächlich realisiert werden. Aufgrund fehlender Wirtschaftlichkeit müssen mitunter auch Bestandsanlagen vorläufig stillgelegt werden (z. B. Pumpspeicherkraftwerk Rönkenhausen). Bis auf das Pumpspeicherwerk Goldisthal (gebaut 2003) gingen alle Pumpspeicherkraftwerke vor dem Inkrafttreten des deutschen Stromeinspeisegesetzes in Betrieb.

Die Datenverfügbarkeit für die restlichen Speichertechnologien ist sehr heterogen und der verhältnismäßig hohe Aufwand der Erstellung eines räumlich expliziten Datensatzes war im Rahmen des EE-Monitor Forschungsvorhabens nicht leistbar. Hinzu kommt, dass einige Speichersysteme, wie z. B. Batteriespeicher, in bestehenden Gebäuden untergebracht werden, sodass die Umweltwirkungen im Betrieb minimal sind. Sie sind somit für das Forschungsvorhaben weniger bedeutsam.

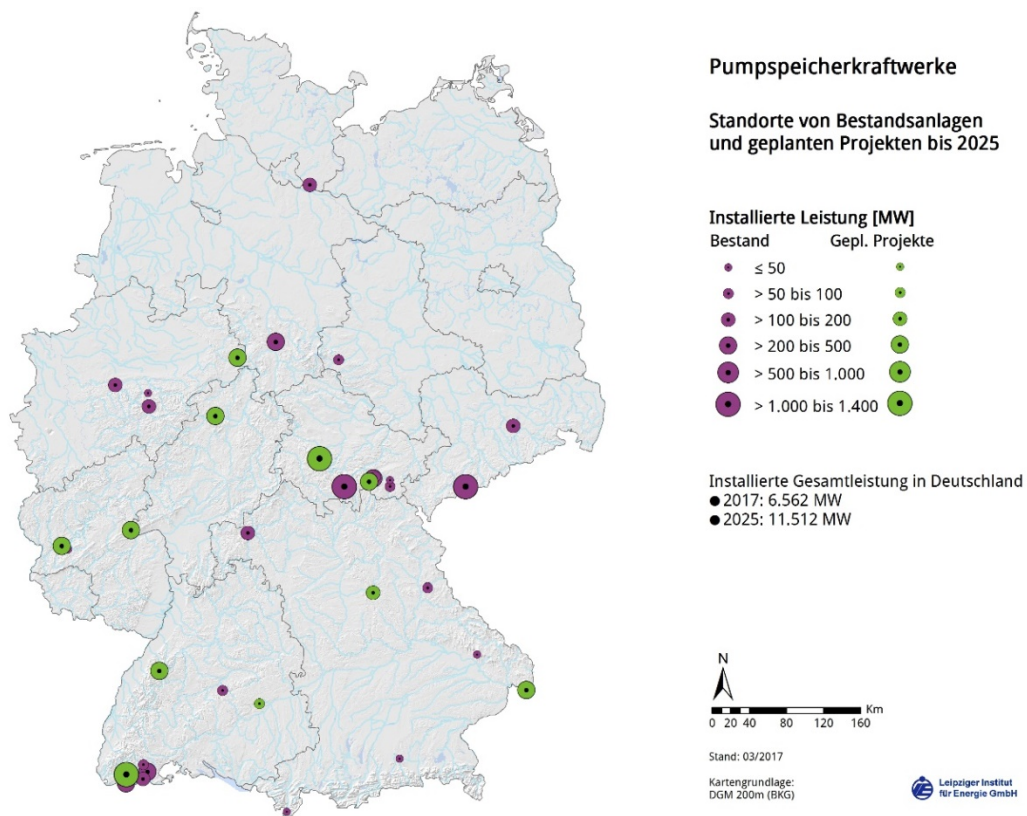


Abbildung 33: Übersichtskarte der bestehenden und geplanten Pumpspeicherkraftwerke in Deutschland (Anonymus 2019a; Hennings et al. 2011). Darstellung IE Leipzig.

## 2.8 Fazit

Im Rahmen des EE-Monitor Forschungsvorhabens wurde eine konsistente, räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Datenbasis zum Anlagenbestand erneuerbarer Energien im Strombereich (Wind, Photovoltaik, Biomasse, Wasserkraft) sowie der Freileitungen und Erdkabel in Deutschland erstellt. Die generierten Datensätze bilden eine wesentliche Voraussetzung insbesondere für die räumlichen Analysen im Rahmen des Raum-Monitorings (Kapitel 6). Zudem können sie Grundlage für zukünftige vertiefende wissenschaftliche Raumanalysen zu naturschutzfachlichen Fragestellungen sein. Im Rahmen der geplanten Homepage des Forschungsvorhabens (WebGIS) leisten die Daten zudem einen wichtigen Beitrag zur allgemeinen Informations- und Öffentlichkeitsarbeit zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland.

Die Datensätze beinhalten anlagenbezogene Informationen zu den Stromerzeugungstechnologien Windenergie, Photovoltaik-Freiflächenanlagen, Bioenergie und Wasserkraft sowie zur Strominfrastruktur (Freileitungen und Erdkabel). Dabei wurden die Daten aus verschiedenen Bezugsquellen und in einem mehrstufigen Prozess bearbeitet bevor sie zu einem finalen Datensatz zusammengeführt werden konnten. So wurden beispielsweise die Flächenpolygone der Photovoltaikanlagen angepasst oder die Windenergieanlagen in ihrer räumlichen Lage korrigiert. Die finalen Daten enthalten u. a. die im Raum verorteten Anlagestandorte mit Angaben zum Inbetriebnahmejahr und zur installierten Anlagenleistung sowie technologiespezifische Angaben wie etwa die Nabenhöhe für Windenergieanlagen oder den Typ der Bioenergieanlage. Abbildung 34 zeigt für alle beschriebenen EE-Technologien der aufgebauten Datenbasis die kumulierte Entwicklung der installierten Leistung.

Entwicklung der installierten Leistung der erneuerbaren Energien des generierten Datenbestands

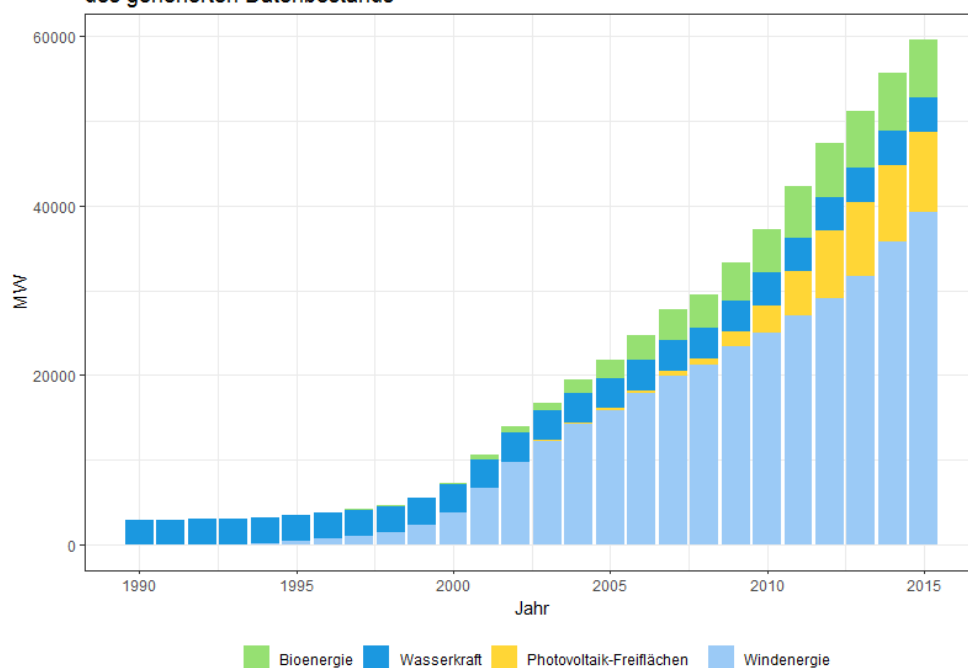


Abbildung 34: Entwicklung der installierten Leistung der erneuerbaren Energien des im Rahmen des Forschungsvorhabens aufgebauten Datenbestands. Eigene Darstellung.

In Tabelle 21 sind nochmals alle EE-Technologien mit ihren Grundkennwerten kumuliert für das Jahr 2015 zusammenfassend dargestellt. Als Validierungsgröße wird ihnen die installierte Leistung der Erneuerbaren-Energien-Statistik aus demselben Jahr gegenübergestellt (BMWi, 2018). Die Werte weichen insbesondere für die Datensätze Windenergie und Bioenergie nur sehr gering ab (4,8 bzw. 2,9 %).

Tabelle 21: EE-Anlagedaten im Vergleich zur Erneuerbaren-Energien-Statistik.

EE-Technologie	Spannweite der Inbetriebnahmejahre	Anzahl der Datensätze (Anlageneinheit) (n)	Installierte Leistung (MW) im Jahr 2015	Installierte Leistung (MW) im Jahr 2015 (BMWi 2018c)	Diskrepanz installierte Leistung (%)
Windenergie	1955 – 2015	24.475	39.297	41.297	4,8
Photovoltaik-Freiflächen	1988 – 2015	3.265	9.351	10.590*	13,0
Bioenergie	1966 – 2015	14.236	6.834	7.039	2,9
Wasserkraft	1899 – 2015	7.153	4.148	5.589	25,7

\* als Differenz aus der installierten Gesamtleistung und dem Anteil der Dachflächen-PV berechnet.

Die Datensätze wurden in zwei Datenartikeln (Eichhorn et al. 2018; Eichhorn et al. 2019) veröffentlicht und somit der Forschung und einer interessierten Öffentlichkeit frei zugänglich gemacht. Im Rahmen eines naturschutzfachlichen Monitorings sollten die Datensätze aufbauend auf den bisherigen methodischen Ansätzen und erarbeiteten Daten kontinuierlich validiert, qualitätsgesichert und methodisch weiterentwickelt werden. Die vorhandenen Datenbestände und Modelle sollten regelmäßig fortgeschrieben werden. Auch gibt es noch Lücken im Datenbestand und wichtige Themen wie Repowering und Stilllegung der Anlagen konnten aufgrund der Datenlage nur eingeschränkt bearbeitet werden.

### **3 Identifikation der Konflikte**

*Rita Keuneke, Pascal Kinast, Reinhard Klenke, Gunnar Oehmichen, Wolfgang Peters, Daniela Thrän*

#### **3.1 Einleitung**

Von technischen Infrastrukturen der erneuerbaren Energien (ETI) gehen spezifische Wirkungen auf die Schutzgegenstände aus. Dadurch können Konflikte zwischen den Zielen des Ausbaus der erneuerbaren Energien (EE) und den auf die einzelnen Schutzgegenstände gerichteten Schutzziele, die sich aus dem BNatSchG und weiterer rechtlichen Normen ergeben, entstehen. Die mit den Auswirkungen einhergehenden Diskrepanzen zwischen den oben genannten Zielen entsprechen der Definition von Naturschutzkonflikten, welche dann entstehen, wenn sozioökonomisch motiviertes Handeln negative Auswirkungen auf unterschiedliche Aspekte der Biodiversität hat (Young et al. 2010).

Das Monitoring der Wirkungen des Ausbaus der EE auf Natur und Landschaft hat zum Ziel, diese Konflikte in ihrer räumlichen und zeitlichen Entwicklung zu beschreiben. Es sollen also nicht Umweltzustände sondern unerwünschte Zustandsänderungen der Umwelt als Folge des Ausbaus der EE erfasst werden. Zur vollständigen Beschreibung der Konflikte, also der möglichen nachteiligen Veränderungen der Funktionen von Natur und Landschaft durch die zur Nutzung von EE nötigen technischen Infrastrukturen deren Raumnutzungen und der damit verbundenen Wirkungen/Wirkfaktoren wurden im Folgenden zwei Wege gegangen.

#### **3.2 Methodik**

Die Herleitung der Konflikte zwischen Naturschutz und dem Ausbau der EE erfolgte aus zwei unterschiedlichen Perspektiven:

- Die Schutzgegenstände aus dem BNatSchG und anderen relevanten Gesetzen und Normen (Berner Konvention zur Erhaltung der europäischen wildlebenden Pflanzen und Tiere und ihrer natürlichen Lebensräume, Bonner Konvention zum Schutz wandernder Tierarten (CMS), Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-RL), Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), Vogelschutzrichtlinie (VS-RL)) sowie damit verbundenen Umsetzungsstrategien (Nationale Biodiversitätsstrategie, Aktivitäten zur Wiedervernetzung von Lebensräumen) wurden systematisch abgeprüft und Beeinträchtigungen als potenzielle Konflikte herausgearbeitet (Peters et al. 2011).
- Die naturwissenschaftlichen Wirkungszusammenhänge auf unterschiedlichen Betrachtungsebenen wurden systematisch analysiert und beschrieben. Daraus können sich neue Anforderungen und Betroffenheit von Funktionalitäten ergeben, die vor dem Hintergrund der bestehenden Normen derzeit nicht oder nur unzureichend betrachtet werden.

##### **3.2.1 Konfliktableitung aus dem gesetzlichen Anforderungsrahmen**

Der gesetzliche Anforderungsrahmen gibt Maß und Definition des Schützenswerten vor. Damit dieser Schutz gewährleistet werden kann, werden basierend auf den wissenschaftlichen Erkenntnissen umweltpolitische Ziele abgeleitet. Umfassende Zielbestimmungen gehen dabei aus dem BNatSchG hervor; demnach sollen (1) die biologische Vielfalt, (2) die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts einschließlich der Regenerationsfähigkeit und nachhaltigen Nutzungsfähigkeit der Naturgüter sowie (3) die Vielfalt, Eigenart und Schönheit sowie der Erholungswert von Natur und Landschaft auf Dauer gesichert werden. Der Schutzauftrag umfasst auch die Pflege, die Entwicklung und die Wiederherstellung von Natur und

Landschaft. Mit ihr werden die Belange von Naturschutz und Landschaftspflege in die räumliche Gesamtplanung und die Bauleitplanung eingebracht. Gem. §§ 13 ff. BNatSchG sind alle negativen Veränderungen des Zustands von Natur und Landschaft nicht erwünscht. Daher werden alle potenziell der Natur schadenden und landschaftsverbrauchenden Vorhaben einer Prüfung unterzogen. Dabei gilt grundsätzlich ein Vorrang der Vermeidung erheblicher Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft. Die Eingriffsregelung gem. § 14 ff. BNatSchG ist dabei ein zentrales Instrument des Naturschutzes. Eingriffe in Natur und Landschaft sind in diesem Sinne Veränderungen der Gestalt oder Nutzung von Grundflächen oder Veränderungen des mit der belebten Bodenschicht in Verbindung stehenden Grundwasserspiegels, die die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts oder das Landschaftsbild erheblich beeinträchtigen können. Der § 33 BNatSchG enthält ein besonderes Eingriffsverbot für „Veränderungen und Störungen“, die zu einer erheblichen Beeinträchtigung eines Natura 2000 Gebietes führen können (Verschlechterungsverbot). Dazu sind Vorhaben wie die Errichtung und Änderung von baulichen Anlagen sowie sonstige in Natur und Landschaft eingreifende Maßnahmen gem. § 34 BNatSchG einer Verträglichkeitsprüfung zu unterziehen. Zur dauerhaften Sicherung der Population wildlebender Tiere und Pflanzen existieren gem. §§ 37 ff. BNatSchG weitere Regelungen wie der besondere Artenschutz gem. §§ 44 ff. BNatSchG. Sollen Tiere und Pflanzen und ihre Lebensgemeinschaften vor Beeinträchtigungen des Menschen geschützt werden, wird dabei gem. § 7 Abs. 2 Nr. 3 bis 14 BNatSchG in Arten ohne Schutzstatus, besonders geschützte Arten und streng geschützte Arten unterschieden. Diese Regelungsfelder geben Maßstäbe für nachteilige Veränderungen durch den Ausbau der EE vor.

Besonders durch die Vogelschutzrichtlinie sowie die FFH-Richtlinie wird einerseits der durch die erneuerbaren Energien betroffene Schutzbereich „Arten und Lebensräume“ näher definiert und mit dem Begriff des „günstigen Erhaltungszustandes“ andererseits der Maßstab für die Bewertung nachteiliger Veränderungen vorgegeben. Der Schutzbereich „geschützte Arten und natürliche Lebensräume“ umfasst danach:

Arten (Art. 2 Nr. 3 a UH-RL; § 19 Abs. 2 BNatSchG):

- die in Art. 4 Abs. 2 VS-RL geschützten Zugvögel,
- die in Anh. I VS-RL aufgelisteten wildlebenden Vogelarten,
- Tier- und Pflanzenarten von gemeinschaftlichem Interesse nach Anh. II der Fauna-Flora-Habitat Richtlinie (FFH-RL), sowie streng geschützte Arten nach Anh. IV der FFH-RL

Natürliche Lebensräume (Art. 2 Nr. 3 b UH-RL; § 19 Abs. 3 BNatSchG):

im Bereich der VS-RL:

- Lebensräume, der in Anh. I VS-RL gelisteten wildlebenden Vogelarten,
- Lebensräume der von Art. 4 Abs. 2 VS-RL erfassten Zugvogelarten

im Bereich der FFH-RL:

- Lebensräume der gemäß Anh. II FFH-RL geschützten Arten,
- Fortpflanzungs- und Ruhestätten der streng geschützten Anh.-IV-Arten,
- die in Anh. I FFH-RL aufgelisteten natürlichen Lebensraumtypen von gemeinschaftlichem Interesse (§ 7 Abs. 1 Nr. 4 BNatSchG).

Konflikte im Bereich des biotischen Naturschutzes resultieren dementsprechend aus allen

Veränderungen, die „erhebliche nachteilige Auswirkungen auf die Erreichung oder Beibehaltung des günstigen Erhaltungszustands dieser Lebensräume oder Arten [haben]“ (§ 19 Abs. 1 BNatSchG). Im Bereich des biotischen Naturschutzes sind über die nationalen Normen hinaus auch eine Reihe von internationalen Vereinbarungen wie beispielsweise die Biodiversitätskonvention zu berücksichtigen. Diese geben einerseits sehr breit angelegte Ziele vor ohne konkrete Instrumente zu deren Umsetzung bereitzuhalten, weisen andererseits aber eine hohe politische Relevanz auf und fordern zur entsprechenden Anpassung und Konkretisierung auf nationaler Ebene auf. Zusammenfassend sind auf Grundlage des gesetzlichen Steuerungsrahmens eine Vielzahl potenzieller Wirkungen und Konfliktrisiken darstellbar (Peters et al. 2011). Die Schwäche der Konfliktableitung aus dem gesetzlichen Anforderungsrahmen liegt in der Tatsache, dass die zugrunde gelegten Wirkungszusammenhänge aus Erfahrungswissen bestehen und neue Zusammenhänge nur sehr eingeschränkt Beachtung finden. So sind beispielsweise die kumulierten Umweltwirkungen aus EE und anderen menschlichen Aktivitäten auf Lebensräume in ihren Wirkungszusammenhängen bisher kaum bekannt.

### **3.2.2 Konfliktableitung aus den Wirkungszusammenhängen auf Ökosysteme**

Der Konfliktableitung aus den Wirkungszusammenhängen auf Ökosysteme liegt die generelle Annahme zugrunde, dass Einrichtungen der Technischen Infrastruktur (ETI) in der Regel artifizierender technischer Natur sind und nur sehr selten aus biotischen Komponenten bestehen, die grundsätzlich natürlichen Ursprunges sind. ETI sind in der Regel kein Lebensraum der z. B. Nahrung anbietet, und sie bieten nur in seltenen Fällen Strukturen an, die als Requisiten genutzt werden. ETI sind bestenfalls neutrale, zumeist aber störende, wenn nicht sogar lebensfeindliche Elemente in den Lebensräumen von Tieren. In bestimmten Fällen täuschen ETI Eigenschaften natürlicher Habitatelemente bzw. Ökosysteme vor. So könnten z. B. Windturbinen von Fledermäusen für Quartierbäume oder Solarpanels von Insekten für die Oberfläche von Gewässern gehalten werden. Daraus können sich Fallenwirkungen ergeben. ETI sind aber vor allem Barrieren für die ungehinderte Bewegung von Organismen im Raum sowie Quellen für Störreize (Frid und Dill 2002; Baier et al. 2006).

Die Wirkungen der ETI können in drei Kategorien eingeteilt werden: direkte Wirkungen, Distanzwirkungen und erschließende Wirkungen, die zu Primär-, Sekundär- sowie Tertiäreffekten führen (Abbildung 35). Laut Baier et al. 2006 sind Primärwirkungen dabei die aus der Veränderung der Habitat- bzw. Landschaftsstruktur und von den ETI ausgehenden Verluste und Änderungen der Raumnutzung der die Habitate bewohnenden Organismen. Sekundärwirkungen sind die Reaktionen und Konsequenzen, die von Emissionen (Licht, Lärm, Schadstoffe) der ETI verursacht werden. Tertiärwirkungen sind Folgewirkungen, die erst durch die weitere Erschließung der Landschaft entstehen.

Die direkten Wirkungen, wie z. B. Kollision, haben unmittelbare Folgen für das Leben der betreffenden Individuen (Baier et al. 2006). Sie sterben und gehen der Population verloren. Dabei zählt nicht nur das Tier selbst, sondern die Lebensleistung, die es in Form von zukünftigen Nachkommen in die Population eingebracht hätte. Häufige Tierarten können diese Beeinträchtigungen besser kompensieren als Tierpopulationen, die bereits gefährdet sind. Innerhalb der übergeordneten betroffenen Artengruppen unterliegen jedoch nicht alle Arten dem gleichen Risiko, direkte Wirkungen zu erfahren. Das Risiko unterscheidet sich mit den ökologischen Eigenschaften (Traits) einer Art. Sekundär- und Tertiäreffekte sind dagegen oft Folgen subtilerer Wirkungen wie Störungen und Scheuchwirkungen, die durch ETI ausgelöst werden können, ohne dass es zu einem direkten Kontakt mit der ETI kommt. Hierunter sind

alle Formen von u. U. auch auf größere Distanz wirkende Störungen oder die zu einer schleichenden, langfristig wirkenden Verdrängung führende Erschließung zu zählen.

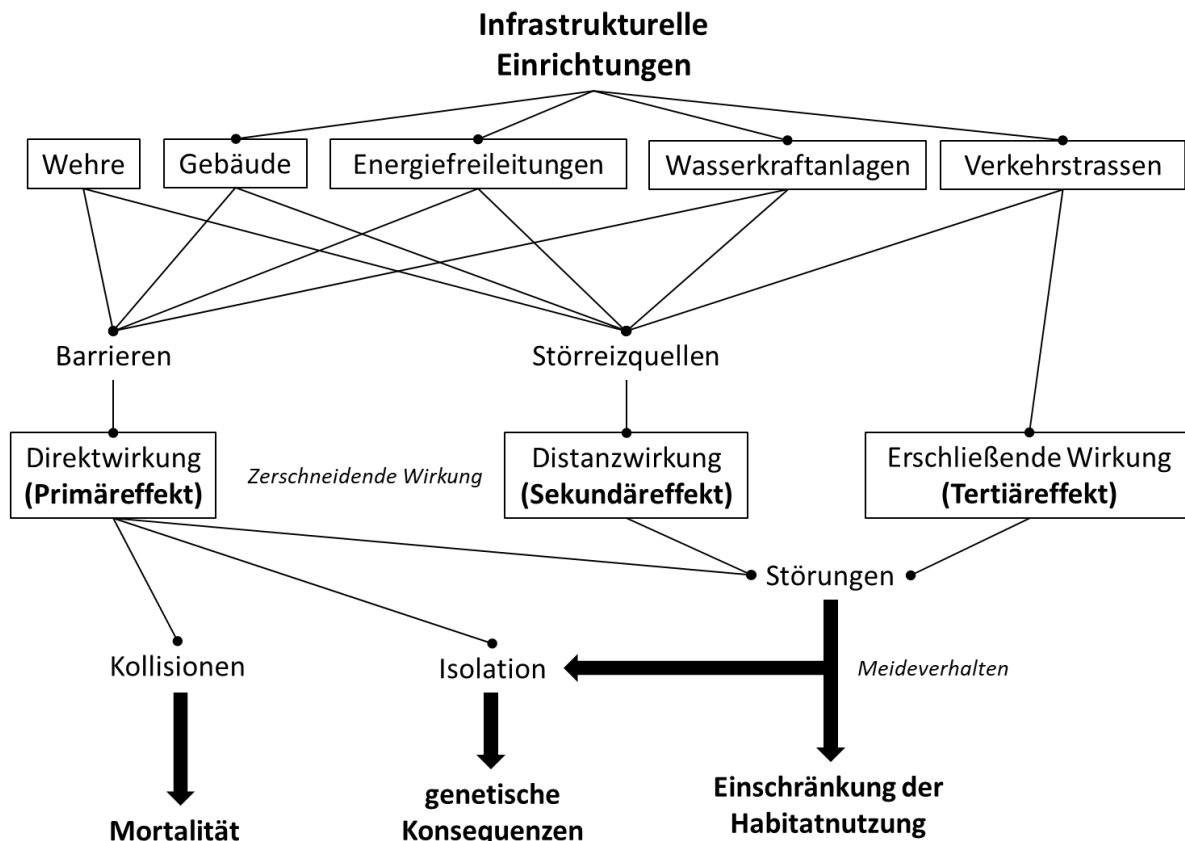


Abbildung 35: Übersicht über die Beziehungen zwischen infrastrukturellen Einrichtungen und Störungen und deren Auswirkungen auf die Lebensraumfunktion für Tiere. Eigene Darstellung basierend auf Baier et al. (2006).

Es soll aber nicht unerwähnt bleiben, dass es auf dieser Ebene Gewöhnungseffekte geben kann (z. B. Verringerung von Fluchtdistanzen), die zumeist umso größer sind, je statischer die Elemente der ETI sind. Während die Effekte und Auswirkungen linearer Zerschneidungen (im Kontext der EE sind das z. B. Wirkungen von Stromtrassen) mittlerweile recht gut bekannt sind und z. B. Beeinträchtigungen der Austauschprozesse zwischen Populationen auf regionaler und überregionaler bzw. globaler Ebene (Vogel- und Fledermauszug) beschrieben wurden (eine umfängliche Darstellung findet sich z. B. in Baier et al. (2006)), sind Distanzeffekte bisher weniger untersucht. Darüber hinaus wird bei der Allokation von ETI zwar auf Abstand von menschlichen Siedlungen geachtet, der Abstand zum Beispiel zu Habitaten von Arten aber nur eingeschränkt berücksichtigt. Die Distanzwirkungen sind auch ein Grund, warum nicht nur der direkte Verlust von Lebensraum betrachtet werden darf, der durch eine Installation von ETI entsteht (z. B. für den Bau einer Windenergieanlage (WEA) oder Photovoltaik-Freiflächenanlagen), sondern auch der Effekt, der durch die Betroffenheit und Entwertung des umgebenden Lebensraumes entsteht. Aus Analysen von Marques et al. (2014), Frick et al. (2017) und Bose et al. (2018) lässt sich ableiten, dass dieser z. B. bei WEA deutlich weitreichender und größer ist als bei Photovoltaik-Freiflächenanlagen.

Für die Ableitung von Konflikten ist zunächst die gesamte Bandbreite potenzieller Wirkungen zu berücksichtigen. In der nachfolgenden Betrachtung erfolgt dann die Gesamtschau der verfügbaren Monitoringansätze für Natur und Landschaft einerseits und eine Gesamtschau

der menschlichen Aktivitäten andererseits, aus denen dann die konkreten Beiträge herausgefiltert und die Konfliktrisiken bewertet werden. Für die Beobachtung der Auswirkungen ist wichtig, dass sie nicht ausschließlich auf die derzeit vorrangig behandelten Aspekte des Artenschutzes begrenzt wird, sondern, dass beispielsweise auch der Habitat- und Freiraumschutz als übergreifende Strategien berücksichtigt werden. Die Stärke dieses Ansatzes liegt in einem verbesserten Verständnis der grundlegenden Zusammenhänge und einer stärkeren Beachtung der kumulativen Effekte aus ETI für EE und anderen menschlichen Aktivitäten in Natur und Landschaft. Als Schwäche ist eine zwingend auf bestimmte Populationen und Habitate begrenzte Betrachtung zu sehen sowie die Schwierigkeit der Ableitung von Maßnahmen für den Ausbau der EE, wenn die Effekte nicht eindeutig zugeordnet werden können.

### 3.3 Ergebnisse

Tabelle 22 stellt die 55 Konflikte dar, welche sich aus der Zusammenstellung nach betroffenen Schutzgegenständen nach relevanten Normen und den naturwissenschaftlichen Wirkzusammenhängen ergaben. Dabei wurden ausgehend von Peters et al. (2011) zehn durch Freileitungen, neun durch Erdkabel, elf durch Windenergieanlagen (WEA), fünf durch Photovoltaik-Freiflächenanlagen, 13 durch Bioenergie und sieben durch Wasserkraft verursachte Konflikte identifiziert.

Tabelle 22: Identifizierte Konflikte zwischen dem Ausbau der EE und Natur und Landschaft.

<b>Technologie</b>	<b>Konfliktbezeichnung</b>
Freileitungen	<p>Beeinträchtigung der wohnungsnahen Erholung durch elektrische und magnetische Felder</p> <p>Beeinträchtigung von Tieren und Pflanzen durch elektromagnetische Felder</p> <p>Beeinträchtigung der Bodenfunktionen durch Verdichtung empfindlicher Böden durch den Bau-, Rückbau- und Transportbetrieb sowie durch Zuwegungen</p> <p>Bodenerosion durch Bau-, Rückbau-, und Transportbetrieb sowie durch Zuwegungen</p> <p>Landschaftsbildbeeinträchtigung durch Masten und Leiterseile von Freileitungen</p> <p>Direkter Lebensraumverlust und indirekte Beeinflussung des Lebensraumes für typische waldbewohnende Tier- und Pflanzenarten durch Schneisenbildung und sicherheitsbedingte Höhenwachstumsbeschränkungen</p> <p>Vogelkollision mit Freileitungen insbesondere mit den Blitzschutzseilen</p> <p>Barriereeffekt für Zugvögel durch Masten sowie Leiter- und Erdseile der Freileitungen</p> <p>Gefährdung des Grund- und Trinkwassers in sensiblen Bereichen durch Bautätigkeiten, insbesondere Gründungsmaßnahmen an den Maststandorten</p> <p>Populationsbeeinträchtigungen durch strukturelle Veränderung im Wald und Offenland durch Freileitungen</p>
Erdkabel	<p>Direkter und dauerhafter Lebensraumverlust und indirekte Beeinflussung des Lebensraumes für wald- und gehölbewohnende Tierarten sowie Biotopverlust durch Schneisenbildung und Freihaltung von tiefwurzelndem Gehölz im Schutzstreifen</p> <p>Dauerhafter Lebensraumverlust und Zerstörung empfindlicher Biotope und Entwässerung durch Rodung und Tiefbauarbeiten</p> <p>Beeinträchtigung der Bodenfunktionen durch Verdichtung empfindlicher Böden durch den Bau-, Rückbau- und Transportbetrieb sowie durch Zuwegungen</p> <p>Bodenerosion durch Bau-, Rückbau-, und Transportbetrieb sowie durch Zuwegungen</p> <p>Verlust natürlicher Bodenfunktionen und Archivfunktionen durch den Bodenaushub, Zwischenlagerung und Wiedereinbau</p> <p>Beeinträchtigung der Grundwasserschutzfunktion durch Bodenaushub und Bodenumlagerung während der Bauphase</p> <p>Populationsbeeinträchtigungen durch strukturelle Veränderungen des Lebensraumgefüges durch Erdkabelschneisen in drei Dimensionen</p> <p>Beeinträchtigung der abiotischen Bodenfunktionen durch Erwärmung</p>



<b>Technologie</b>	<b>Konfliktbezeichnung</b>
	Verminderung der Lebensraumfunktion des Bodens durch Erwärmung
Windenergie	<p>Direkter Lebensraumverlust für Tier- und Pflanzenarten (Offenland und Wald) durch Bau, Rückbau und Betrieb von WEA</p> <p>Indirekte Beeinträchtigung des Lebensraumes für Tier- und Pflanzenarten (Offenland und Wald) durch Bau, Rückbau und Betrieb von WEA</p> <p>Lebensraumverluste von Vögeln durch Scheuchwirkung baulicher Maßnahmen und den Betrieb</p> <p>Individuenverluste von Vögeln durch Kollision mit der Windenergieanlage (vor allem mit den sich drehenden Rotorblättern)</p> <p>Individuenverluste von Fledermäusen durch Kollision mit den sich drehenden Rotorblättern und weiterer durch den Betrieb der WEA bedingter Ursachen</p> <p>Technische Überprägung der Landschaft und Beeinträchtigung des Wahrnehmens und Erlebens durch die Raumwirkung der Anlagen</p> <p>Beeinträchtigung der Erholungsfunktion und Wohn(umfeld)qualität durch die Raumwirkung und den Betrieb der Anlage</p> <p>Populationsbeeinträchtigungen durch weitere Effekte wie Schallemissionen, Schattenwurf, Elektromagnetismus, Feuer, Schadstoffeintrag und Raumwirkung</p> <p>Populationsbeeinträchtigungen für Fische, Amphibien, Kriechtiere durch Schall/Vibrationen im Boden und Gewässern</p> <p>Auswirkungen auf Insekten und somit auf weitere abhängige Elemente des Ökosystems</p> <p>Reduzierung der Biodiversität durch die weitere Erschließung der Landschaft</p>
Photovoltaik-Freiflächen	<p>Bodenverdichtung, -erosion, und -versiegelung durch die Aktivitäten während der Bau- und Rückbauphase</p> <p>Entzug und Zerschneidung von Lebensräumen für Groß- und Mittelsäuger durch Abzäunung großer Anlagen</p> <p>Verlust von Lebensräumen und Beeinträchtigung von Arten durch Anlage der PV-Module</p> <p>Technische Überprägung der Landschaft und Beeinträchtigung des Wahrnehmens und Erlebens durch die Raumwirkung und Lichtreflexionen der Anlagen</p> <p>Desorientierung und Individuenverluste durch Kollision aufgrund von „optischer Täuschung“ (wird irrtümlich für Wasserfläche gehalten) und weitere Faktoren (Schall, elektromagnetische Felder, Verbrennung)</p>
Bioenergie	<p>Verlust von Lebensräumen durch Grünlandintensivierung und –umbruch</p> <p>Risiko (unkontrollierte Auskreuzungen, Auswirkungen auf Nicht-Schädlinge, Verringerung der biologischen Vielfalt) durch Anbau von genetisch veränderten Pflanzen (GVO)</p> <p>Verlust von Brachflächen durch den Energiepflanzenanbau</p> <p>Stärkung invasiver Arten durch den Energiepflanzenanbau</p> <p>Landschaftsbildbeeinträchtigung und Beeinträchtigung landschaftsgebundener Erholung durch Barrierewirkung hochwüchsiger Energiepflanzen auf Acker und Grünland</p> <p>Landschaftsbildbeeinträchtigung und Beeinträchtigung landschaftsgebundener Erholung durch die Monotonisierung der Landschaft aufgrund des erhöhten Flächenanteils einzelner Anbaukulturen („Vermaisung“)</p> <p>Beeinträchtigung des Landschaftswasserhaushalts durch Energiepflanzenanbau mit hohem Wasserbedarf</p> <p>Verlust von Biodiversität und Agrobiodiversität durch Verengung der Fruchtfolgen im Energiepflanzenanbau, Monokulturbildung und weitere Effekte</p> <p>Belastung von Oberflächengewässern und des Grundwassers durch Oberflächenabfluss (Silagesickersäfte, Gülle, Gärreste usw.)</p> <p>Beeinträchtigung der Bodenfunktionen durch Flächenversiegelung durch Anlage der Bioenergieanlagen</p> <p>Zerstörung der Vegetation und Entzug von Vegetationsfläche durch Bioenergieanlagen</p> <p>Landschaftsbildbeeinträchtigung und Beeinträchtigung der landschaftsgebundenen und der wohnungsnahen Erholung durch Anlage und Betrieb der Bioenergieanlagen</p>

<b>Technologie</b>	<b>Konfliktbezeichnung</b>
	Lebensraumverlust für Tier- und Pflanzenarten durch Bau, Rückbau und Betrieb von Bioenergieanlagen
Wasserkraft	<p>Beeinträchtigung der Durchgängigkeit für die Aquafauna bei der gerichteten Wanderung</p> <p>Erhöhtes Mortalitätsrisiko durch Prädatoren im Unterwasser von Wasserkraftanlagen</p> <p>Verlust spezifischer aquatischer Fließgewässerlebensräume durch Aufstau</p> <p>Auswirkungen auf die Artenzusammensetzung des Auenbereichs durch Reduzierung der Dynamik der Wasserspiegelschwankungen und Verlagerungsprozesse ober- und unterhalb des Wehrs</p> <p>Beeinflussung des Wasserspiegel des Gewässers und damit der Grundwasserspiegel in Stau- oder Ausleitungsstrecken</p> <p>Nachteilige Veränderung des natürlichen Landschaftsbilds durch die veränderte Wasserhaltung</p> <p>Beeinträchtigung (Meidungsverhalten) von Tieren durch Geräuschemissionen</p>

## 4 Zielsystem-Monitoring

*Katja Bunzel, Marcus Eichhorn, David Manske, Daniela Thrän*

### 4.1 Zielsystem-Indikatoren einer naturverträglichen Energiewende

Eine naturverträgliche Ausgestaltung der Energiewende kann nur gelingen, wenn neben den Aspekten der Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit auch den Fragen der Naturverträglichkeit eine große Bedeutung eingeräumt wird. So gilt es bei der Transformation des Energiesystems, die Inhalte des Natur-, des Landschafts- und des Klimaschutzes konsequent mitzudenken. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) hat hierzu bereits auf der Grundlage von Forschungsergebnissen des Bundesamtes für Naturschutz (BfN) zu „Naturschutz und Erneuerbare Energien“ fünf Leitlinien formuliert, die Anhaltspunkte für eine naturverträgliche Energiewende 2050 bieten. Sie beinhalten Aussagen zu einer effizienten Energienutzung, zur Nutzung von erneuerbaren Energien an Gebäuden, zum schonenden und standortoptimierten Ausbau der Windenergie an Land und See, zur energetischen Nutzung von Rest- und Abfallstoffen sowie zum naturverträglichen und klimawandelsicheren Ausbau der Wasserkraft (BMU 2017). Diese Leitlinien werden im Kontext des Zielsystem-Monitorings aufgegriffen, weitergedacht und als Zielsystem-Indikatoren abgebildet. Die Darstellung der Indikatoren erfolgt als quantitative Größe, die einem Zieltrend oder -wert für das Jahr 2050 gegenübergestellt wird. Im Folgenden werden die ermittelten Zielsystem-Indikatoren überblicksartig vorgestellt. Eine detaillierte Beschreibung der angewendeten Methodik und genutzten Daten sowie die ausführlichen Ergebnisse in tabellarischer und grafischer Form finden sich in den Steckbriefen ZM 1 bis ZM 10 im Materialband dieses Endberichtes. Im Abschnitt 4.2 sind die wichtigsten Ergebnisse für die Zielsystem-Indikatoren tabellarisch zusammengefasst (Tabelle 23).

#### 4.1.1 Effiziente Energienutzung

„Efficiency first“ ist ein zentrales Schlüsselement, um die Belastungen von Natur und Landschaft zu reduzieren und die Energiewende naturverträglich auszurichten. Dabei sollte der Energieverbrauch bei Strom, Wärme und Verkehr so gering wie möglich gehalten werden, denn was nicht verbraucht wird, muss auch nicht erzeugt werden. Als überprüfbare Größen dieser Leitlinie werden der Bruttoendenergieverbrauch als sektorübergreifende Kenngröße, der Bruttostromverbrauch und die Anteile der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergie- und Bruttostromverbrauch als Indikatoren herangezogen (Steckbriefe ZM 1 bis ZM 4).

Der Bruttoendenergieverbrauch umfasst nach der EU-Richtlinie 2009/28/EG Artikel 2 (f) jene Energieprodukte, die der Industrie, dem Verkehrssektor, Haushalten, dem Dienstleistungssektor einschließlich des Sektors der öffentlichen Dienstleistungen sowie der Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft zu energetischen Zwecken geliefert werden, einschließlich des durch die Energiewirtschaft für die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung entstehenden Elektrizitäts- und Wärmeverbrauchs und einschließlich der bei der Verteilung und Übertragung auftretenden Elektrizitäts- und Wärmeverluste. Da der Bruttoendenergieverbrauch den gesamten Verbrauch von Strom, Fernwärme, Kraftstoffe, Gas u. a. beinhaltet, eignet er sich besonders als Größe, wenn die Verwendung von Energie insgesamt betrachtet werden soll. Der Bruttoendenergieverbrauch sollte im Sinne einer naturverträglichen Energiewende, und entsprechend dem Ziel einer 50%igen Senkung des Primärenergieverbrauches gegenüber 2008 bis 2050 (BMWi 2010), sinken. Um in Zukunft unabhängig von fossilen Energieträgern und ihren negativen Wirkungen auf das Klima und die Umwelt zu sein, sollte zudem der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch steigen. So strebt die Bundesregierung eine Erhöhung des Anteils der EE am Bruttoendenergieverbrauch auf 60 % bis zum

Jahr 2050 an (BMWi 2010).

Der Bruttostromverbrauch beziffert die gesamte Strommenge, die hierzulande verbraucht wird und beinhaltet auch die bei der Stromerzeugung entstehenden Umwandlungs- und netzbedingten Übertragungsverluste. Bis zum Jahr 2050 soll der Bruttostromverbrauch um 25 % gegenüber dem Jahr 2008 sinken (BMWi 2015). Das bedeutet, dass der Bruttostromverbrauch ausgehend von etwa 622 TWh im Jahr 2008 (BMWi 2019) auf etwa 467 TWh im Jahr 2050 sinken soll. Hierbei ist hinsichtlich der Zielsetzung und der Zielerreichung zu berücksichtigen, dass Szenarienstudien darauf hindeuten, dass aufgrund zunehmender Elektrifizierung, Sektorenkopplung und Klimaschutzanstrengungen die Senkung des Stromverbrauches herausfordernder wird oder der Bruttostromverbrauch perspektivisch zunehmen könnte (siehe hierzu u.a. Martin et al. (2018) und Quaschnig (2016)). Der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch sollte zudem steigen, auch um fossile Energieträger wie Kohle einzusparen und weniger Treibhausgase auszustoßen. So soll nach den Zielvorgaben des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG 2017) der Anteil der EE am Bruttostromverbrauch im Jahr 2050 mindestens 80 % betragen.

#### **4.1.2 Erneuerbaren Energien an Gebäuden**

Im Zusammenspiel von erneuerbaren Energien und Gebäuden hat sich insbesondere die Photovoltaik (PV) bewährt. Die unkomplizierte Einbindung der auf oder an Gebäuden oder an technischen Anlagen installierten Photovoltaikanlagen (PV-Gebäudeanlagen) in die bestehende Energieinfrastruktur sowie die verbrauchsnahe Erzeugung gelten als vorteilhaft. Zudem schonen PV-Gebäudeanlagen die Natur und Landschaft, da durch sie keine zusätzlichen Flächen in Anspruch genommen werden (BfN 2017b). Zum Vergleich: der Flächenbedarf von Photovoltaikanlagen auf Freiflächen ist etwa 2 bis 2,5 Mal höher als die reine Modulfläche, da die Module aufgrund ihres Stellwinkels und des daraus resultierenden Schattenwurfs einen größeren Abstand zueinander haben müssen (Wirth 2017). Eine im Jahr 2010 veröffentlichte Studie schätzt, dass auf Dach-, Fassaden- und anderen Siedlungsflächen zusätzlich 161 GW Photovoltaik installiert werden können (Lödl et al. 2010). Dieses Potential ist heute noch lange nicht ausgeschöpft. Um den Ausbau der Photovoltaik im Sinne einer flächenschonenden und naturverträglichen Energieerzeugung zu indizieren, wird der Anteil der PV-Gebäudeanlagen an der installierten Gesamtleistung der Photovoltaik ermittelt (Steckbrief ZM 5). Der Anteil sollte dabei im Zeitverlauf steigen. Die Zunahme des Anteils sollte dabei primär auf den Zubau der installierten Leistung von PV-Gebäudeanlagen zurückzuführen sein und nicht auf die Abnahme der installierten Leistung von PV-Freiflächenanlagen bei konstanter installierter Leistung von PV-Gebäudeanlagen.

Zudem sollte die von PV-Freiflächenanlagen beanspruchte Fläche so effizient wie möglich genutzt werden. Daher wird als weiterer Zielsystem-Indikator die energetische Flächeneffizienz der PV-Freiflächenanlagen ermittelt, die über die installierte Leistung und die Betriebsflächengröße (umzäunte Fläche der PV-Freiflächenanlagen) der PV-Freiflächenanlagen bestimmt wird (Steckbrief ZM 6).

#### **4.1.3 Schonender und standortoptimierter Ausbau der Windenergie an Land**

Der Ausbau und die Nutzung von Windenergie bergen zahlreiche Naturschutzkonflikte (Kapitel 3). Der schonende und standortoptimierte Ausbau der Windenergie ist daher ein erklärtes Naturschutzziel. Fläche und der damit im Zusammenhang stehende (natürliche) Boden sind endliche Ressourcen. Allerdings werden in Deutschland nach wie vor sehr viele Flächen für Siedlungen und Verkehrsinfrastruktur beansprucht. So lag im Jahr 2015 der durchschnittlich tägliche Flächenverbrauch für Siedlungs- und Verkehrsflächen in Deutschland bei etwa

61 ha pro Tag (UBA 2018). Die Zielsetzungen der deutschen Bundesregierung sehen in diesem Zusammenhang eine Reduzierung des Flächenverbrauchs auf 30 ha pro Tag für das Jahr 2030 (Bundesregierung 2017) und 0 ha für das Jahr 2050 im Sinne einer Flächenkreislaufwirtschaft vor (BMU 2016).

Auch der Bau von Windenergieanlagen (WEA) beansprucht Fläche, z. B. für das Fundament sowie die Zuwegung und den Kranstellplatz. Das Ziel im Sinne einer naturverträglichen Energiewende sollte daher sein, die von WEA beanspruchte Fläche so effizient wie möglich zu nutzen. Zum Beispiel kann durch Repowering und sorgfältige Standortwahl (Nachnutzung von Flächen) die Flächeneffizienz erhöht werden.

Für die Windenergie wird die Flächeneffizienz anhand der installierten Leistungen und der Flächen berechnet, die für den Bau und den Betrieb der Anlagen benötigt werden (Steckbrief ZM 7). Der Flächenbedarf von WEA wird dabei analog zu dem Forschungsvorhaben „Ermittlung und Verifizierung von Datenquellen und Datengrundlagen für die Berechnung der Flächenrucksäcke von Gütern und Dienstleistungen für Ökobilanzen und die vereinfachte Umweltbewertung (VERUM)“ (FKZ: 3717 31 105 0) hergeleitet. Dabei unterscheidet sich der Flächenbedarf einer WEA je nachdem, ob diese im Offenland oder im Wald errichtet wird. Im Allgemeinen setzt sich der Flächenbedarf einer WEA aus der Fundamentfläche, der Zuwegung, der Kranstellfläche und dem Trafobaus zusammen (zur Berechnungsmethodik siehe Steckbrief ZM 7). Im Wald ist dabei der Flächenbedarf für die Zuwegung, den Kranstellplatz und für Flächen die dauerhaft bestockungsfrei gehalten werden müssen etwas höher als im Offenland. So beansprucht beispielsweise eine im Jahr 2016 gebaute typische WEA im Offenland eine Fläche von etwa 0,28 ha und im Wald etwa 0,52 ha. Über die Zeit betrachtet, hat der Flächenbedarf der WEA mit der Anlagengröße zugenommen.

Neben der energetischen Flächeneffizienz wird der Anteil der WEA ermittelt, der sich gegenüber Belangen des Naturschutzes in konfliktarmen oder konfliktreichen Räumen befindet (Steckbrief ZM 8). Die Flächenbewertung hinsichtlich des Konfliktrisikos basiert als Gesamtbewertung (Aggregation aller derzeit abbildbaren Naturschutzbelange) auf den Ergebnissen einer Bewertung der Flächenkategorien mit Restriktionswirkung durch Experten im Rahmen des BfN Forschungsvorhabens „Szenarien für den Ausbau der erneuerbaren Energien aus Naturschutzsicht“ (FKZ: 3515 82 2900). Dabei werden sieben Konfliktrisikoklassen (KRK 0 – nach technischen oder gesetzgeberischen Kriterien Flächen mit Ausschlusswirkung, KRK 1 – geringe Konfliktrisiken bis KRK 6 – sehr hohe, sich überlagernde Konfliktrisiken) unterschieden. Somit ist z. B. durch eine mögliche prozentuale Verschiebung der Verteilung der WEA in konfliktreiche Gebiete, ein tendenziell erhöhtes Risiko negativer Auswirkungen auf Natur und Landschaft durch WEA anzunehmen. Je höher der prozentuale Anteil von WEA in konfliktreichen Gebieten ist, desto wahrscheinlicher sind durch WEA Konflikte mit naturschutzfachlichen Belangen. Daher sollte der Anteil von WEA in konfliktreichen Gebieten im Zeitverlauf sinken. In der zusammenfassenden Tabelle 23 der Zielsystem-Indikatoren werden der besseren Übersicht wegen nur die KRK 0 und KRK 6 aufgeführt.

Bei diesem Indikator handelt es sich derzeit primär um ein „proof of concept“ und der Ansatz versteht sich, auch aufgrund der eingeschränkten Datenlage, als Näherungsversuch. Sollte sich z. B. aus Abstimmungsprozessen oder Folgeforschungsvorhaben eine bessere Datenlage ergeben, kann der Indikator entsprechend angepasst werden und sich ggf. auf eine andere Flächenkulisse beziehen.

#### **4.1.4 Bioenergie aus Rest- und Abfallstoffen**

Der mit Abstand größte Teil des Bioenergie-Stroms wird derzeit in Biogasanlagen produziert (BMWi 2018c). Der landwirtschaftliche Anbau von nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo)

für die Erzeugung von Biogas ist immer wieder Teil von gesellschaftlichen Debatten und ökologischen und naturschutzfachlichen Konflikten. Um die negativen Auswirkungen der Anbau-biomasse auf die Natur und Landschaft zu mildern, wurde bereits im EEG 2012 festgelegt, den Substrateinsatz von Mais und Getreidekorn für Biogasanlagen die im Rahmen des EEG gefördert werden zu begrenzen. Betrag der zulässige massebezogene Substratanteil von Mais (Ganzpflanze) und Getreidekorn für neue Anlagen mit dem EEG 2014 noch 60 %, wird und soll dieser nun laut EEG 2017 bis zum Jahr 2021 schrittweise auf 44 % herabgesetzt werden. Statt Mais und Getreidekorn sollen zunehmend Rest- und Abfallstoffe eingesetzt werden, da dies ressourcenschonender ist und hilft natürliche Lebensräume zu erhalten. In der Schlussfolgerung soll damit der Einsatz von NawaRos zurückgehen. Dies wird über den Indikator des aus NawaRo produzierten Stromanteils im Biogasbereich ermittelt (Steckbrief ZM 9). Dieser sollte im Zeitverlauf sinken.

#### **4.1.5 Naturverträglicher Ausbau der Wasserkraft**

Jede einzelne Wasserkraftanlage hat Auswirkungen auf die Natur, insbesondere durch die Staustrecken und die Behinderung der Durchgängigkeit. Während die Staustrecken bei großen Anlagen auch größer sind und der Vergleich der Auswirkungen mangels Daten schwierig zu führen ist, bedeutet jede Anlage ein Wanderhindernis für Fische und andere Gewässerorganismen. Generell sollte also versucht werden, mit möglichst wenigen Wasserkraftanlagen möglichst viel Energie zu produzieren. Ende 2015 hatten etwa 94 % der Wasserkraftanlagen eine installierte Leistung unter 1 MW. Insgesamt stellten sie aber weniger als 14 % der kumulierten installierten Leistung bereit. Der Neubau von Wasserkraftanlagen mit installierten Leistungen < 1 MW ist laut dem Bundesamt für Naturschutz nicht weiter zu verfolgen, da „eine wirtschaftliche Betriebsführung bei gleichzeitiger Umsetzung gesetzlicher Vorgaben zur Minimierung der ökologischen Auswirkungen nicht möglich erscheint und der Beitrag dieser Anlagen an der gesamten Wasserkraftproduktion, wie auch zur Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes, zu gering erscheint“ (BfN 2014). Als Indikator wird daher die Anzahl der Wasserkraftanlagen < 1 MW bestimmt (Steckbrief ZM 10). Die Anzahl sollte im Zeitverlauf nicht steigen.

## 4.2 Zielsystem-Indikatoren im Überblick

Im vorangestellten Abschnitt wurden die Zielsystem-Indikatoren einer naturverträglichen Energiewende erläutert. In der nachfolgenden Tabelle werden nun zusammenfassend die Zielsystem-Indikatoren mit ihren Ausprägungen der Jahre 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 und die entsprechenden Ziele für das Jahr 2050 dargestellt. Die detaillierten Ergebnisse finden sich in den jeweiligen Steckbriefen im Materialband (ZM 1 bis ZM 10).

Tabelle 23: Zusammenfassende Darstellung der Zielsystem-Indikatoren.

Zielsystem-Indikatoren	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2050
<b>Effiziente Energienutzung</b>							
Bruttoendenergieverbrauch (TWh)	-	-	-	2.624	2.637	2.556	sinkend
Anteil EE am Bruttoendenergieverbrauch (%)	-	-	-	6,7	10,5	14,6	60
Bruttostromverbrauch (TWh)	546	537	572	603	602	599	467
Anteil EE am Bruttostromverbrauch (%)	3,6	4,7	6,6	10,4	17,4	31,2	80
<b>Erneuerbare Energien an Gebäuden</b>							
Anteil PV-Gebäudeanlagen an installierter PV-Gesamtleistung (%)	30	89	97	93	84	73	steigend
Flächeneffizienz der PV-Freiflächenanlagen (MW/km <sup>2</sup> )	9	13	13	31	38	47	steigend
<b>Schonender, standortoptimierter Ausbau Windenergie</b>							
Flächeneffizienz der WEA Offenland (MW/km <sup>2</sup> )	79	127	270	425	492	577	steigend
Flächeneffizienz der WEA Wald (MW/km <sup>2</sup> )	-	23	119	262	313	428	steigend
WEA auf Flächen der KRK 6 (%)*	-	-	0,4	0,5	0,8	3,8	sinkend
<b>Bioenergie aus Rest- und Abfallstoffen</b>							
Energiebezogener Substrateinsatz von NawaRo in Biogasanlagen (%)	-	-	-	-	80,0	78,3	sinkend
<b>Naturverträglicher Ausbau Wasserkraft</b>							
Anlagenanzahl der Wasserkraft <1 MW	-	-	-	-	-	6.724	nicht steigend

\* Bei diesem Indikator handelt es sich derzeit primär um ein „proof of concept“, und der Ansatz versteht sich, auch aufgrund der eingeschränkten Datenlage, als Näherungsversuch.

## 4.3 Fazit

Mit dem 5-Punkte-Papier für eine naturverträgliche Energiewende 2050 wurden auf politischer Ebene fünf zentrale Elemente für eine naturverträgliche Energiewende definiert. Im EE-Monitor Forschungsvorhaben wurden diese Elemente mit quantifizierbaren Zielsystem-Indikatoren hinterlegt und einem Zieltrend oder -wert für das Jahr 2050 gegenübergestellt. Im Vergleich zum Raum- und Konflikt-Monitoring ist das Zielsystem-Monitoring damit anschlussfähiger an bereits in der Politik etablierte Strukturen wie den Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“ der Bundesregierung. Es reflektiert die Rahmenbedingungen des Energiesystems in einem naturschutzbezogenen Kontext und dient der Erfassung und der Überprüfung von Zielvorstellungen im Hinblick auf die konzeptionelle Ausgestaltung eines naturverträglichen Energiesystems. Zeigen die Zielsystem-Indikatoren eine gegensätzliche Entwicklung zum Zieltrend oder -wert für das Jahr 2050 auf, sollte geprüft werden, ob Anpassungen in den Rahmenbedingungen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien notwendig sind. Aussagen zur Betroffenheit von Natur und Landschaft durch den Ausbau der erneuerbaren Energien können anhand der Zielsystem-Indikatoren jedoch nicht direkt abgeleitet werden. Hierzu bedarf es weiterer Monitoringelemente, die in den folgenden Kapiteln beschrieben werden.

## 5 Konflikt-Monitoring

*Katja Bunzel, Rita Keuneke, Pascal Kinast, Reinhard Klenke, David Manske, Gunnar Oehmichen, Wolfgang Peters, Daniela Thrän*

### 5.1 Einleitung

Monitoringsysteme im Naturschutz sollen konkrete Fragen über den Zustand von Ökosystemen oder einzelnen Bestandteilen des Ökosystems (z. B. Arten oder Lebensräumen) beantworten. Sie dienen dazu, übergeordnete Politikziele zu überprüfen, auf lokaler oder regionaler Ebene Managementmaßnahmen zu evaluieren oder Veränderungen in den betrachteten Ökosystemen zu registrieren. In allen drei Fällen muss im vornherein wissenschaftlich festgehalten werden, welche Veränderungen signifikant sind. Bei welchen Werten werden also Politikziele erreicht oder verfehlt, Managementmaßnahmen als erfolgreich eingeordnet oder Ökosysteme in ihren spezifischen Eigenschaften verändert? Die beobachteten Größen bewegen sich also nach wissenschaftlichen Gesichtspunkten und gesellschaftlichen Normen in einem bestimmten tolerablen Bereich oder erwünschtem Zustand (Grenz- bzw. Zielwerte). Dafür sind über Jahre hinweg fortgeführte, standardisierte Erhebungen an ausreichend vielen Standorten notwendig. Die statistischen Methoden zur Ermittlung signifikanter Veränderungen müssen vor der Implementierung des Monitoringsystems ermittelt werden (Hellawell 1991; Lindenmayer und Likens 2010; Legg und Nagy 2006). In naturschutzfachlichen Monitoringsystemen kommen meist Indikatoren zum Einsatz. Dies sind Messwerte, welche die Integrität eines gesamten Systems bezogen auf einen Referenzzustand messen. Um den Zustand einer Fläche oder eines Systems zu beschreiben, müssen meist mehrere Indikatoren erhoben und evtl. aggregiert werden. So werden z. B. die Bestände mehrerer charakteristischer Vogelarten in Deutschland genutzt, um den naturschutzfachlichen Wert bestimmter (Landschaftsqualität) Lebensräume zu beschreiben und auf einen Referenzzustand zu beziehen. Der Biodiversitätsindikator „Artenvielfalt und Landschaftsqualität“ nutzt die Daten des Monitoring häufiger Brutvögel um den Zustand bestimmter Lebensraumtypen für ganz Deutschland abzubilden (Sudfeldt et al. 2012). Dieser Zustand und die betrachteten Artengemeinschaften unterliegen einer Vielzahl von Einflüssen, die sich im Indikator widerspiegeln. Der Indikator vermag in solcherlei Monitoringsystemen jedoch nicht immer die Auswirkung einzelner anthropogener Einflüsse auf das betrachtete Ökosystem bzw. einzelne Bestandteile aufzuschlüsseln.

Das naturschutzfachliche Wirkungsmonitoring der erneuerbaren Energien (EE) nimmt im Vergleich zu den meisten anderen Monitoringsystemen im Naturschutz einen anderen Blickwinkel ein. Der Fokus liegt auf der Beschreibung und Erfassung von Auswirkungen von EE-Anlagen auf die Schutzgegenstände und damit spezifischen Einflüssen (Wirkzusammenhängen) auf unterschiedliche Entitäten in unterschiedlichen Ökosystemen. So sind beispielsweise bestimmte Arten direkt von Mortalität betroffen (Kollisionen von bestimmten Fledermaus- und Vogelarten mit Windenergieanlagen (WEA) bzw. Freileitungen, Beeinträchtigung der Durchgängigkeit der Fließgewässer für die Aquafauna durch Aufstau und somit Individuenverluste in Reusen und Turbinen) (Rydell et al. 2010; May et al. 2012; Pracheil et al. 2016). Auch wird die Fläche bestimmter Lebensräume direkt durch Erneuerbare Technische Infrastruktur (ETI) verringert oder Lebensräume werden in ihrer Qualität durch ETI direkt (Scheuchwirkung von WEA) oder indirekt (Maisanbau für Biogasanlagen) beeinträchtigt (Barré et al. 2018; Tröltzsch und Neuling 2013; Steinborn et al. 2006; Sauerbrei et al. 2014). Manche betroffenen Entitäten entstammen sogar gänzlich anderen Konzepten als der Ökologie wie z. B. das Landschaftsbild oder die Erholungsfunktion der Landschaft (Roser 2013). All diese Entitäten sind jedoch Schutzgegenstände nach dem Bundesnaturschutzgesetz



(BNatschG). Somit entstehen Konflikte zwischen den Zielen des Ausbaus der EE und dem Schutz der Schutzgegenstände nach dem BNatschG und weiterer rechtlicher Normen (z. B. Schutzgüter nach UVPG). All diese unterschiedlichen Beispiele entsprechen dennoch der Definition von Naturschutzkonflikten, welche dann entstehen, wenn sozioökonomisch motiviertes Handeln negative Auswirkungen auf unterschiedliche Aspekte der Biodiversität hat (Young et al. 2010) und hierin unterschiedliche Parteien mit divergierenden Meinungen zum Naturschutz auftreten (Redpath et al. 2013).

Da sich die Wirkzusammenhänge zwischen ETI und betroffenen Schutzgegenständen so sehr unterscheiden, ist es notwendig, eine Methodik zu nutzen, welche im Rahmen eines Monitoringsystems auf alle Konflikte einheitlich anwendbar ist. Dies war der Konsens der Projektbegleitenden Arbeitsgruppe (PAG) des EE-Monitor Forschungsvorhabens, welche sich zum ersten Mal im September 2016 zusammenfand. Dort wurden für verschiedene Konflikte Indikatoren vorgestellt. In den Diskussionen mit der PAG stellte sich heraus, dass für die vorgestellten Konflikte jeweils eine Vielzahl weiterer Indikatoren möglich wären, da ein Indikator ein bestimmtes Indikandum beschreibt und Umweltkonflikte in mehrere kausale Einheiten und Prozesse aufgegliedert werden können (Smeets und Weterings 1999; Tscherning et al. 2012). Um diese kausale Kette in der Beschreibung und Messung der Konflikte zwischen dem Ausbau der EE und dem Naturschutz zu berücksichtigen, wurde der Diving forces-Pressures-States-Impacts-Responses (DPSIR) Ansatz ausgewählt, der von der Europäischen Umweltagentur entwickelt wurde (Smeets und Weterings 1999). Das DPSIR-Schema ist ein „systemorientiertes Rahmenwerk, das den kausalen Zusammenhang zwischen sich beeinflussenden sozialen, ökologischen und ökonomischen Systemen annimmt“ (Smeets und Weterings 1999). Das DPSIR-Modell beschreibt eine kausale Kette von Einflussgrößen:

- Driving forces (Treiber) – sind Bereiche anthropogenen Lebens, deren Prozesse Druck auf die Umwelt und die Ökosysteme ausüben können
- Pressures (Druck) – sind die resultierenden Belastungen für die Umwelt im Allgemeinen und die Ökosysteme im Speziellen
- States (Zustand) – Zustand eines Umweltkompartiments, eines Lebensraums oder einer Population, die den Belastungen ausgesetzt sind
- Impacts (Auswirkung) – sind die spezifischen Wirkungen durch die Umweltbelastung
- Responses (Reaktion) – sind die gesellschaftlich/ politischen Reaktionen auf Umweltbelastung

Eine detaillierte Beschreibung des Ansatzes findet sich in Abschnitt 5.3.1.1.

Im Folgenden wird daher beschrieben,

- wie die Relevanz der in Kapitel 3 identifizierten 55 Konflikte (Abschnitt 5.2.1) bewertet wurde, um bestimmte Konflikte zu priorisieren (Abschnitt 5.2.2) und,
- wie mit Hilfe des DPSIR-Schemas eine Indikatorherleitung für elf Konflikte durchgeführt wurde und welche bestehenden Indikatoren- und Datensets dafür gesichtet wurden (Abschnitt 5.3).

Das Hauptergebnis dieser Arbeit sind elf Langtexte zur Indikatorherleitung (Abschnitt 5.3.2). Diese beschreiben den Wirkungszusammenhang der dem Konflikt zugrunde liegt. Ferner wird in diesen Texten dargestellt, warum aus einer wissenschaftlich-naturschutzfachlichen Perspektive bestimmte Messwerte zur Beschreibung eines Konfliktes nach dem DPSIR-Schema geeignet scheinen. Die darin hergeleiteten Indikatoren werden als eine Empfehlung

für die Implementierung eines naturschutzfachlichen Monitorings des Ausbaus der EE im Strombereich verstanden.

## **5.2 Auswahl der zu bearbeitenden Konflikte**

Aufgrund der großen Anzahl an identifizierten Konflikten konnte im Rahmen des EE-Monitor Forschungsvorhabens eine nachvollziehbare Indikatorherleitung nur für eine Auswahl als „besonders relevant“ eingestufte Konflikte erfolgen. Daher wurde in Abstimmung mit der PAG beschlossen, die Konfliktrelevanz über eine Befragung der Mitglieder der PAG zu ermitteln. Unter Relevanz wird die Bedeutung des Konflikts in Bezug auf die zu schützenden Güter, aber auch im Verhältnis zu den übrigen Konflikten verstanden.

### **5.2.1 Methodik**

Ausgehend von Peters et al. (2011) wurden die mit den einzelnen EE-Technologien potenziell verbundenen 55 Konflikte zusammengetragen und in einem digitalen Fragebogen aufgeführt (.xlsx Datei). Der Fragebogen wurde an alle Mitglieder der PAG und Projektmitarbeiter versandt. Im Fragebogen wurden die Konflikte hinsichtlich der Relevanz mit einer Ordinalskala von 1 bis 6 (1 = sehr hohe Relevanz, bis 6 = keine Relevanz) und hinsichtlich der Sicherheit der Bewertung von 1 bis 3 bewertet (1 = hohe Sicherheit, 2 = mittlere Sicherheit, 3 = geringe Sicherheit). Die Teilnehmenden wurden gebeten, die folgenden Fragen zur Einordnung der Relevanz zu berücksichtigen:

1. Wie schwerwiegend ist der Konflikt? Besteht die Möglichkeit, dass durch den Wirkzusammenhang der betroffene Schutzgegenstand langfristig und nachwirkend beeinträchtigt wird?
2. Ist nur der beschriebene Schutzgegenstand direkt vom Wirkzusammenhang betroffen oder impliziert der Konflikt indirekte Auswirkungen, welche nicht in anderen Konflikten inbegriffen sind, auf weitere Schutzgegenstände?
3. Wird der Konflikt bereits im Rahmen von baubegleitenden oder den Betrieb begleitenden (Ausgleichs)-Maßnahmen effektiv vermieden oder stark vermindert?
4. Wie groß ist das derzeitige räumliche Ausmaß der Technologie?
5. Wird die Technik auch in Zukunft von Bedeutung sein und evtl. sogar stark wachsen oder wird sie in Zukunft eine nur untergeordnete Rolle im Stromsektor einnehmen bzw. nicht weiter wachsen?

Außerdem sollten die folgenden Fragen zur Einordnung der Sicherheit der Bewertung berücksichtigt werden:

6. Wie groß schätzen sie ihre Sachkenntnis hinsichtlich des Konfliktes ein?
7. Wie sicher sind sie sich darin, diesen Konflikt als relevanter bzw. weniger relevant als andere Konflikte einzuordnen?

Zusätzlich wurden die Teilnehmenden gebeten, Kommentare zum jeweiligen Konflikt einzutragen, wenn sie dies als sinnvoll erachteten. Zum Zeitpunkt der Auswertung hatten 13 Teilnehmende den Fragebogen ganz oder teilweise ausgefüllt.

### **Welche Technologien wurden als relevant eingeordnet?**

Für eine weitere Übersicht über die Daten wurden die Konflikt – Teilnehmenden Kombinationen in Gruppen nach der Technologie eingeordnet und nach dem gleichen Verfahren wie oben aufgeführt verglichen.

## Welche spezifischen Konflikte wurden als am relevantesten eingeordnet?

Zur Beantwortung dieser Frage wurde für jeden Konflikt sowohl der Median als auch das arithmetische Mittel der Konfliktrelevanz berechnet. Der Median kann bei der verwendeten Skala nur ganzzahlige und ,5 Werte annehmen. Ordnet man die Konflikte nach dem Median, gibt es demzufolge keine eindeutigen Ränge. Das arithmetische Mittel basiert dagegen auf der nicht erfüllten Annahme einer Normalverteilung. Nur diesen Wert hinzuzuziehen, wäre deswegen unzureichend. Deswegen wurden Ränge nach dem Median und dem Mittelwert zugeordnet. Anschließend wurde erneut der Mittelwert aus beiden Rängen gebildet. Dieser kombinierte Rang bildet die Grundlage der weiteren Arbeit. Die Auswertung wurde mit der Statistiksoftware R Version 3.2.3 durchgeführt (R-Core-Team 2017). Die Konflikte mit der höchsten Relevanz wurden anschließend für die Beschreibung und Indikatorherleitung nach dem DPSIR-Schema priorisiert.

## Hängt die Bewertung eines Konfliktes davon ab, wie gut die Teilnehmenden sich mit dem Konflikt auskennen?

Zuerst wurde geprüft, ob mit einer höheren Einordnung der eigenen Sicherheit der Bewertung auch eine höhere Relevanz einhergeht. Dazu wurden die Bewertungen der Konflikte in Gruppen nach der Einordnung der Sicherheit der Bewertung eingeteilt. Hierfür wurde der Kruskal-Wallis Test verwandt. Dieser Test macht keine Annahmen zur Verteilung der Daten und ist deswegen für ordinalskalierte Variablen geeignet (McKight und Najab 2010). Da mehr als zwei Gruppen miteinander verglichen wurden, wurden Dunn Tests als Post-Hoc Vergleiche mit P-Wert Korrektur für multiple Vergleiche genutzt. Der Dunn Test basiert ebenso wie der Kruskal-Wallis Test auf dem Vergleich der Rangsummen (Dunn 1964).

## 5.2.2 Ergebnis

### Welche Technologien wurden eher als relevant eingeordnet?

Es bestehen signifikante Unterschiede in der Einordnung der Relevanz der Konflikte zwischen den Technologien (Kruskal-Wallis  $\chi^2 = 52.191$ ,  $df = 5$ ,  $p\text{-Wert} = 4.93e-10$ ) (Abbildung 36 und Tabelle 24). Konflikte, welche durch die Nutzung der Windkraft verursacht werden, werden somit als relevanter eingeordnet als solche der Bioenergie, Photovoltaik, der Freileitungen und der Erdkabel.

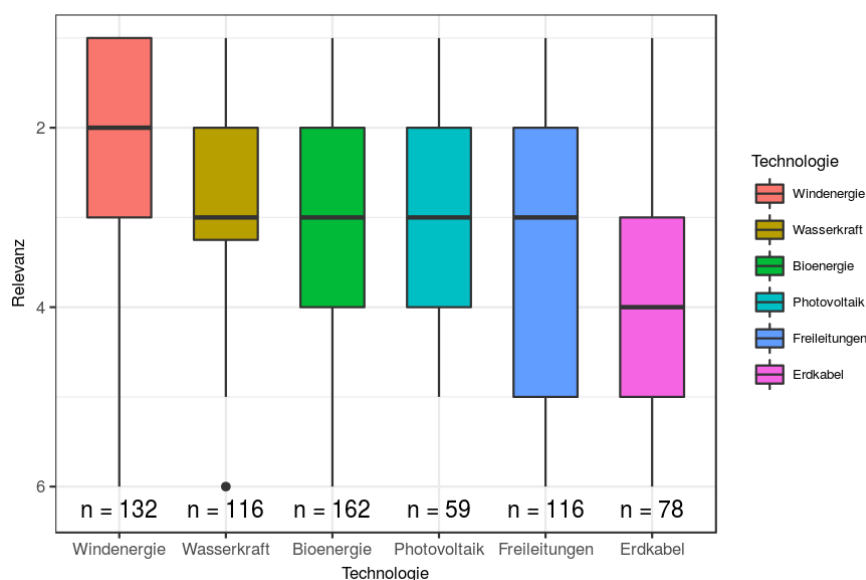


Abbildung 36: Boxplots der Konfliktrelevanz gruppiert nach der Technologie. n ist die Anzahl der

Konflikt-Teilnehmenden Kombinationen pro Technologie. Eigene Darstellung.

Tabelle 24: Post Hoc Vergleiche der Konfliktrelevanz zwischen den Technologien (ns =  $p > 0,05$ , nicht signifikant; \* =  $p \leq 0,05$ , signifikant; \*\* =  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* =  $p \leq 0,001$ ).

Vergleich		P-Wert
Erdkabel - Windenergie	***	0
Freileitungen - Windenergie	***	0
Erdkabel - Wasserkraft	***	0,0001
Bioenergie - Erdkabel	***	0,0003
Photovoltaik-Freiflächenanlagen - Windenergie	***	0,0004
Freileitungen - Wasserkraft	*	0,0128
Bioenergie - Windenergie	*	0,0221
Bioenergie - Freileitungen	*	0,0352
Photovoltaik-Freiflächenanlagen - Wasserkraft	ns	0,0793
Wasserkraft - Windenergie	ns	0,1552
Bioenergie - Photovoltaik-Freiflächenanlagen	ns	0,1672
Erdkabel - Freileitungen	ns	0,2957
Erdkabel - Photovoltaik-Freiflächenanlagen	ns	0,325
Bioenergie - Wasserkraft	ns	0,6338
Freileitungen - Photovoltaik-Freiflächenanlagen	ns	0,6483

**Welche spezifischen Konflikte wurden als am relevantesten eingeordnet?**

Unter den durch die Befragung der Mitglieder der PAG identifizierten zehn relevantesten Konflikten befinden sich zwei Windenergie-, zwei Wasserkraft-, vier Bioenergie- und zwei Freileitungskonflikte (Tabelle 25). Hierbei scheinen Konflikte, welche einen direkten Verlust von Individuen der betroffenen (Arten)Gruppen zur Folge haben, besonders relevant zu sein (Zeile 1, 2, 3, 10, Tabelle 25) sowie solche, welche eine Beeinträchtigung der Lebensraumfunktion zur Folge haben (Zeile 4, 6, 7, 9, Tabelle 25). Ergänzend zu den zehn Konflikten wurde als elfter Konflikt der für die Photovoltaik-Freiflächenanlagen als am relevantesten identifizierte Konflikt („Verlust von Lebensräumen und Beeinträchtigung von Arten durch Anlage der Module“) bearbeitet, um alle betrachteten ETI zumindest einmal vertreten zu haben

Somit wurden im EE-Monitor Forschungsvorhaben vorerst elf Konflikte (Tabelle 25) für die weitere Indikatorherleitung ausgewählt und vertieft bearbeitet.

Tabelle 25: Rangfolge der zehn relevantesten Konflikte und des relevantesten Photovoltaik-Freiflächenanlagenkonflikt.

Rang	Technologie	Konflikt
1	Windenergie	Individuenverluste von Fledermäusen durch Kollision mit den sich drehenden Rotorblättern und weiterer durch den Betrieb der Anlagen bedingter Ursachen
2	Windenergie	Individuenverluste von Vögeln durch Kollision mit der Anlage (vor allem mit den sich drehenden Rotorblättern)
3	Wasserkraft	Beeinträchtigung der Durchgängigkeit für die Aquafauna bei der gerichteten Wanderung
4	Bioenergie	Verlust von Biodiversität und Agrobiodiversität durch Verengung der Fruchtfolgen im Energiepflanzenanbau, Monokulturbildung und weitere Effekte
5	Bioenergie	Belastung von Oberflächengewässern und des Grundwassers durch Oberflächenabfluss (Silagesickersäfte, Gülle, Gärreste, usw.)

Rang	Technologie	Konflikt
6	Bioenergie	Verlust von Lebensräumen durch Grünlandintensivierung und –umbruch
7	Bioenergie	Verlust von Brachflächen durch den Energiepflanzenanbau
8	Freileitungen	Landschaftsbildbeeinträchtigung durch Masten und Leiterseile von Freileitungen
9	Wasserkraft	Verlust spezifischer aquatischer Fließgewässerlebensräume durch Aufstau
10	Freileitungen	Vogelkollision mit Freileitungen insbesondere mit den Blitzschutzseilen
...	...	...
20	Photovoltaik-Freiflächen-anlagen	Verlust von Lebensräumen und Beeinträchtigung von Arten durch Anlage der PV-Module

### Hängt die Bewertung eines Konfliktes davon ab, wie gut der Teilnehmende sich mit dem Konflikt auskennt?

Ja. Wenn sich ein Teilnehmender in der Bewertung eines Konfliktes sicherer war, sich also eine hohe Sachkenntnis zu diesem Konflikt zuschrieb und außerdem die Einordnung gegenüber anderen Konflikten für den Teilnehmenden sicher war, so schrieben Teilnehmende dem Konflikt auch eine höhere Relevanz zu (Kruskal-Wallis  $\chi^2 = 94.814$ ,  $df = 2$ ,  $p < 2.2e-16$ , Abbildung 37).

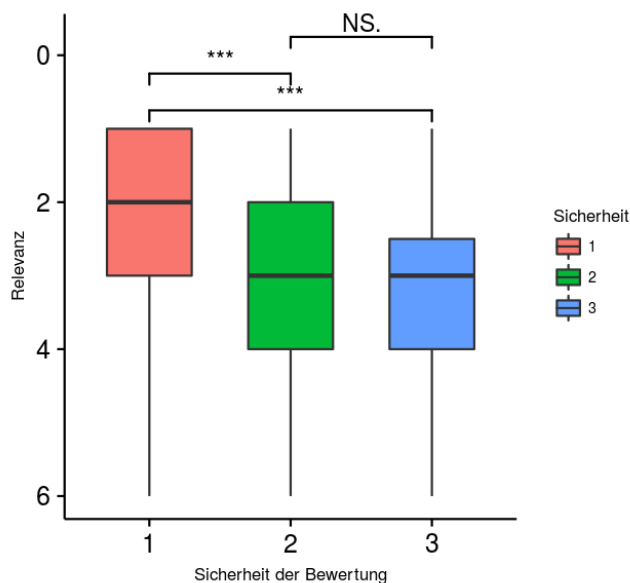


Abbildung 37: Boxplots der Konfliktrelevanz (1 = hoch, 6 = niedrig) gruppiert nach der Sicherheit der Bewertung (1 = hoch, 3 = niedrig). Klammern und Beschriftungen oberhalb der Boxplots bezeichnen die Signifikanz der Unterschiede zwischen den Gruppen nach den Post-Hoc Tests (NS =  $p > 0.05$ , nicht signifikant; \* =  $p \leq 0,05$ , signifikant; \*\* =  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* =  $p \leq 0,001$ ). Eigene Darstellung.

### 5.2.3 Exkurs: Literaturrecherche zur Häufigkeit der Konflikte in der wissenschaftlichen Literatur

Neben der expertenbasierten Priorisierung der identifizierten Konflikte wurde eine Literaturrecherche mit der Zitationsdatenbank Web Of Science Core Collection durchgeführt (Stand Dezember 2018). Die Literaturrecherche sollte evaluieren, wie die Bewertung der Konfliktrelevanz sich im Vergleich zu einer internationalen Perspektive darstellt. Dafür wurden allerdings nur 31 Konflikte untersucht, da der Fokus auf Umweltkonflikten mit den Technologien Windenergie, Wasserkraft, Bioenergie (exklusive der Biokraftstoffe) und Freiflächen-Photovoltaikanlagen lag. Literatur zu Freileitungen und Erdkabeln sowie anthropozentrischen Konflikten wie Landschaftsbildbeeinträchtigungen wurde nicht gesichtet. Hinzu kommt, dass die

potenziellen Konflikte mit Windenergieanlagen für die Literaturrecherche abweichend von der ursprünglichen Auflistung zusammengefasst wurden, um der Zuordnung zahlreicher Studien zu mehreren Konflikten und daraus folgenden Dopplungen vorzubeugen.

Die Datenbank wurde mithilfe von Schlagwortkombinationen bestehend aus Synonymen für die jeweilige Technologie und weitergehenden Eingrenzungen für den jeweiligen Konflikt durchsucht. Dabei mussten die Schlagworte im Titel, Abstract oder den Keywords einer Studie vorkommen. Ein Auftreten im Titel war dann Voraussetzung, wenn nach erstmaliger Durchsicht der Treffer die Schlagworte in mehr als mindestens hundert Studien in einem abweichenden Kontext oder in irrelevanten Nebensätzen der Zusammenfassung vorkamen. Studien, zu denen der Volltext nicht verfügbar war, wurden als nicht relevant eingeordnet, wenn der Abstract keine eindeutige Schlussfolgerung zuließ. Die Ergebnisse wurden einzeln auf Relevanz für den untersuchten Konflikt geprüft.

Einige Studien konnten mehreren Konflikten zugeordnet werden, besonders ausgeprägt ist dies bei Studien zur Kollision von Vögeln und Fledermäusen mit Windenergieanlagen. Hier beschäftigen sich insgesamt 23 empirische Studien und neun Reviews mit beiden Tiergruppen. Die Anzahlen der als relevant betrachteten Studien pro Technologie inklusive und ohne Wiederholungen sind in Tabelle 26 aufgelistet. In Bezug auf die Menge empirischer Studien, weisen die vier Technologien sehr unterschiedliche Ergebnisse auf, deren Spanne von 227 Artikeln zur Windenergie bis hin zu nur zehn Veröffentlichungen die Photovoltaikanlagen betreffend reicht. Hier setzt sich die verfügbare Literatur primär mit technischen und ingenieurwissenschaftlichen Thematiken auseinander, Umweltkonflikte stehen nicht im Vordergrund. Auffällig ist außerdem die vergleichsweise geringe Anzahl an Veröffentlichungen zur Bioenergie. Diese lässt sich u. a. damit begründen, dass es sich bei den hier betrachteten Konflikten häufig um indirekte Kausalitäten handelt. So hat Bioenergie einen hohen Biomassebedarf, was beispielsweise zur Intensivierung der Landwirtschaft oder Monokulturanbau führen kann, woraufhin Umweltauswirkungen entstehen (Emmerson et al. 2016; Gevers et al. 2011; Ronnenberg et al. 2016; Benton et al. 2003). Studien, welche sich mit diesen Zusammenhängen beschäftigen, beinhalten aber nicht notwendigerweise Schlagworte wie Bioenergie in ihren Titeln, Keywords oder Zusammenfassungen. Vielmehr beziehen sie sich auf bestimmte Anbaustrukturen oder Feldfrüchte. Daher fielen solche Publikationen aus dem verwendeten Such-Raster heraus. Hinzu kommt, dass die Zitationsdatenbank vornehmlich englische Ergebnisse aufweist, Publikationen aus dem deutschen Sprachraum sind also unterrepräsentiert.

Tabelle 26: Anzahlen der als relevant eingeordneten Studien pro Technologie mit und ohne Dopplungen durch die Zuordnung zu mindestens zwei Konflikten (in Klammern) sowie dem Zeitrahmen der Veröffentlichungen. 1991\* = Review.

Technologie	Anzahl Studien		Zeitraum der Veröffentlichungen
	Empirisch	Review	
Windenergie	263 (227)	36 (25)	1996 - 2018
Wasserkraft	135 (133)	9 (9)	1972 und 1994 - 2018
Bioenergie	55 (54)	12 (10)	1991* und 2005 - 2018
Photovoltaik	11 (10)	3 (3)	1986 und 2010 - 2018

Die Anzahl der betrachteten empirischen Studien ist besonders im Zeitraum ab 2006 mit nur sechs Veröffentlichungen pro Jahr auf 56 in 2017 bzw. 50 in 2018 angestiegen (Abbildung 38). Dieses Ergebnis ist nicht überraschend, da auch die globale Elektrizitätsgewinnung aus

und Investitionen in erneuerbare Energien insgesamt in einem ähnlichen Zeitraum anwachsen (BMWi 2018c; OECD 2019).

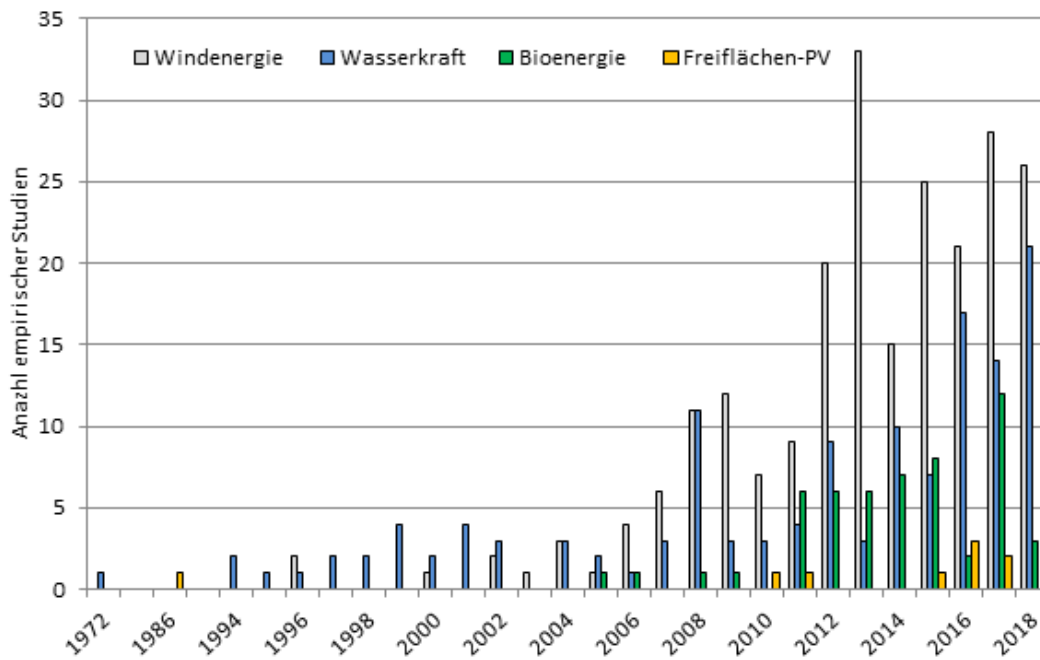


Abbildung 38: Anzahl der Veröffentlichungen empirischer Studien pro Technologie und Jahr. Eigene Darstellung.

Die Studien wurden in 168 verschiedenen Journalen veröffentlicht. Oft handelte es sich dabei um sehr fachspezifische Zeitschriften wie zum Beispiel *Chelonian Conservation and Biology*, welche sich mit Schildkröten auseinandersetzt. Einige traten jedoch häufiger und teilweise technologieübergreifend auf. Diejenigen, welche einen Schwellenwert von sechs Publikationen erreicht oder überschritten haben, sind in Abbildung 39 dargestellt.

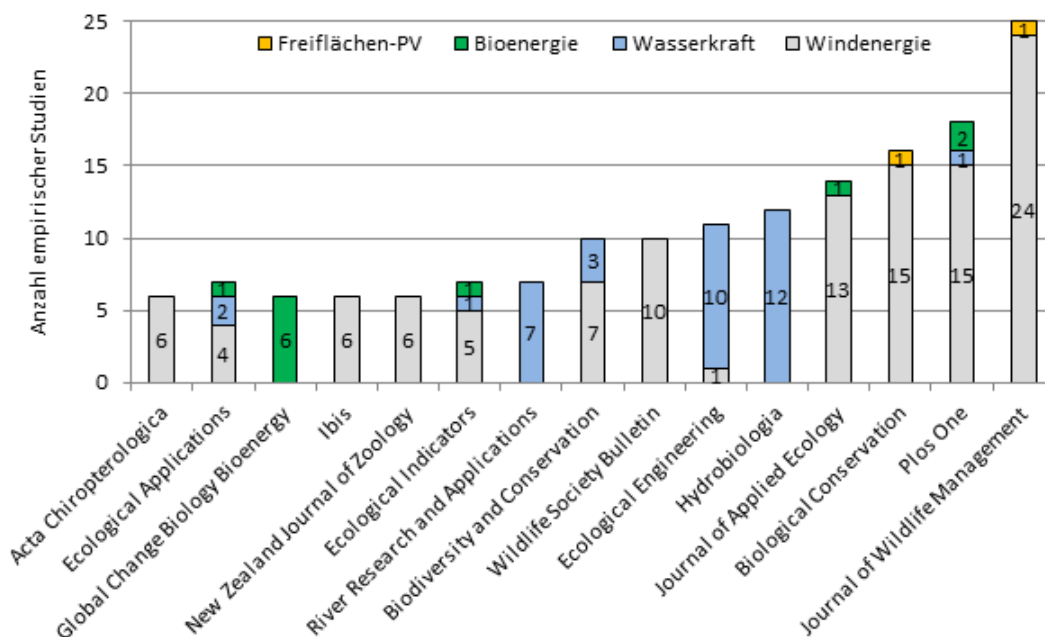


Abbildung 39: Anzahl empirischer Studien pro Journal ab einem Schwellenwert von 6. Eigene Darstellung.

Vergleicht man die Ergebnisse der Literaturrecherche mit den für das Vorhaben priorisierten elf Konflikten, ist eine ähnliche Struktur zu erkennen (Tabelle 27). Lediglich die Konflikte zur Bioenergie werden von den Experten der PAG als deutlich wichtiger wahrgenommen als es die hier gefundene Literaturlage vermuten ließe. Auffällig ist außerdem, dass sich nur die ersten drei Konflikte stark in der Anzahl der Studien abheben. Die folgenden fünf Ergebnisse liegen bei 15 bis 33 Studien, gefolgt von 23 Konflikten mit nur null bis zehn Publikationen.

Tabelle 27: Anzahlen der als relevant eingeordneten Studien pro naturschutzfachlichen Konflikt und Vergleich der Ergebnisse aus Literaturrecherche und expertenbasierter Priorisierung.

Technologie	Konflikt	Anzahl Empirisch	Anzahl Reviews	Rang in Literaturrecherche	Rang in Experten-Befragung
Windenergie	Individuenverluste von Vögeln durch Kollision	84	15	2	1
	Individuenverluste von Fledermäusen durch Kollision	127	15	1	2
Wasserkraft	Beeinträchtigung der Durchgängigkeit für die Aquafauna	63	5	3	3
Bioenergie	Verlust von Biodiversität und Agrobiodiversität	5	5	16	4
	Belastung von Oberflächengewässern und des Grundwassers	9	2	10	5
	Verlust von Lebensräumen durch Grünlandintensivierung und -umbruch	4	0	19	6
	Verlust von Brachflächen durch den Energiepflanzenanbau	0	0	27	7
Wasserkraft	Verlust / Verschlechterung spezifischer aquatischer Fließgewässerlebensräume	33	2	4	9
Photovoltaik	Verlust / Beeinträchtigung von Lebensräumen von Arten durch Anlage der Module	6	0	15	11 (20)

Eine weitere Verzerrung der Konflikt-Priorisierung ergibt sich daraus, dass teilweise einige wenige Autoren viele Studien zu einer bestimmten Thematik veröffentlicht haben, was zu einer Überrepräsentation dieser führt. Besonders prominent ist dies im Konflikt „Stärkung invasiver Arten durch den Energiepflanzenanbau“ ausgeprägt. So ist dieser zwar mit 20 empirischen Studien der am häufigsten behandelte Konflikt der Bioenergie, von diesen setzen sich aber zwölf Veröffentlichungen nur mit der Gattung *Miscanthus*, v.a. *Miscanthus sinensis* (Chinaschilf) und *Miscanthus x giganteus* (Riesen-Chinaschilf), und weitere fünf zumindest teilweise mit *Miscanthus* auseinander. Mit dem VOSviewer (Waltman et al. 2010) wurde die Autoren-Struktur genauer betrachtet. Die 20 Studien wurden von insgesamt 51 verschiedenen Autoren bzw. Co-Autoren veröffentlicht, von denen 14 mehr als eine Studie zu dem Konflikt publiziert haben. Diese nur etwa 25 % der Urheber haben aber 17 der 20 Publikationen



(davon 16 zu Miscanthus) veröffentlicht oder mitveröffentlicht. Besagte Autoren und ihre Verbindungen werden in Abbildung 40 visualisiert, wobei zwei Autoren nachträglich aussortiert wurden, da sie keinem Cluster zugeordnet werden konnten.

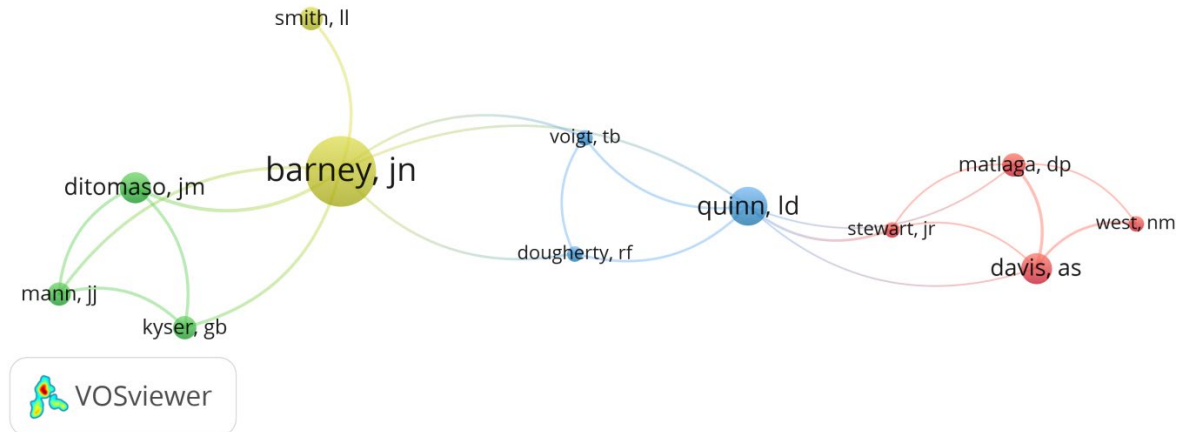


Abbildung 40: Beziehungen der Autoren (mindestens zwei Studien zu invasiven Arten und Bioenergie) zueinander. Kreisgröße = Anzahl der Veröffentlichungen als Autor / Co-Autor von Barney = 9 bis z. B. West = 2. Die Cluster bilden die Aufeinanderbezogenheit basierend auf der Anzahl gemeinsamer Veröffentlichungen ab. Grafik erstellt mit dem VOSviewer (Waltman et al. 2010).

Auch in anderen Konflikten gab es Schwerpunktsetzungen in Bezug auf Organismen oder Untersuchungsgebiete. So wurden in Studien zur Durchgängigkeit von Wasserkraftanlagen vornehmlich Salmonidae (Lachsfische) und Anguillidae (Aale), oft im Columbia und Snake River in den USA betrachtet. Zur Beschreibung der möglichen Kollision von Vögeln mit Windenergieanlagen hingegen, wird oft der Altamont Gebirgspass in Kalifornien, USA herangezogen. Unter Berücksichtigung der genannten Faktoren, welche die Repräsentativität der Literaturrecherche einschränken, ähneln sich die Ergebnisse aus expertenbasierter Priorisierung und Recherche, insbesondere bezüglich der als besonders wichtig erachteten Konflikte, durchaus.

### 5.3 Langtexte zur Indikatorherleitung

#### 5.3.1 Methodik

##### 5.3.1.1 DPSIR-Ansatz

Indikatoren müssen auf messbaren Größen basieren, aussagekräftig und verständlich sein. Dabei ist die Ableitung von Indikatoren stets mit Vereinfachungen und damit Informationsverlust verbunden. Dieses Dilemma kann durch ein systematisches, transparentes Vorgehen reduziert werden: Der Beobachtungsgegenstand und die auf den Beobachtungsgegenstand wirkenden Faktoren müssen klar definiert werden (Lindenmayer und Likens 2010).

Ein Ansatz zur systematischen Einordnung bietet der von der Europäischen Umweltagentur weiterentwickelte DPSIR-Ansatz (EEA 1999). Das DPSIR-Schema ist ein „systemorientiertes Rahmenwerk, das den kausalen Zusammenhang zwischen sich beeinflussenden sozialen, ökologischen und ökonomischen Systemen annimmt“. Das DPSIR-Modell beschreibt eine kausale Kette von Einflussgrößen (Smeets und Weterings 1999) (Abbildung 41):

- Driving forces (Treiber) – sind Bereiche anthropogenen Lebens, deren Prozesse Druck auf die Umwelt und die Ökosysteme ausüben können. Dazu gehören z. B. diverse Wirtschaftssektoren inklusive der EE oder der Konsum privater und öffentlicher Haushalte.

- Pressures (Druck) – sind die resultierenden Belastungen für die Umwelt im Allgemeinen und die Ökosysteme im speziellen, beispielsweise durch Emissionen von Schadstoffen in Luft und Wasser, oder Flächenversiegelung und damit einhergehender Lebensraumverlust.
- States (Zustand) – ist der Zustand eines Umweltkompartiments, eines Lebensraums oder einer Population, die den Belastungen ausgesetzt sind, beispielsweise die Erdatmosphäre, der Boden, Gewässer oder Populationen.
- Impacts (Auswirkung) – sind die spezifischen Wirkungen durch die Umweltbelastung, z. B. der Klimawandel oder Bodenversauerung, Eutrophierung von Gewässern durch landwirtschaftliche Einträge oder Populationsrückgang.
- Responses (Reaktion) – sind die gesellschaftlich/ politischen Reaktionen auf Umweltbelastung, beispielsweise Klimaabkommen zur Verminderung des Treibhausgasausstoßes, umweltfreundliche Verbesserung von Produktionsprozessen oder Umweltgesetzgebung.

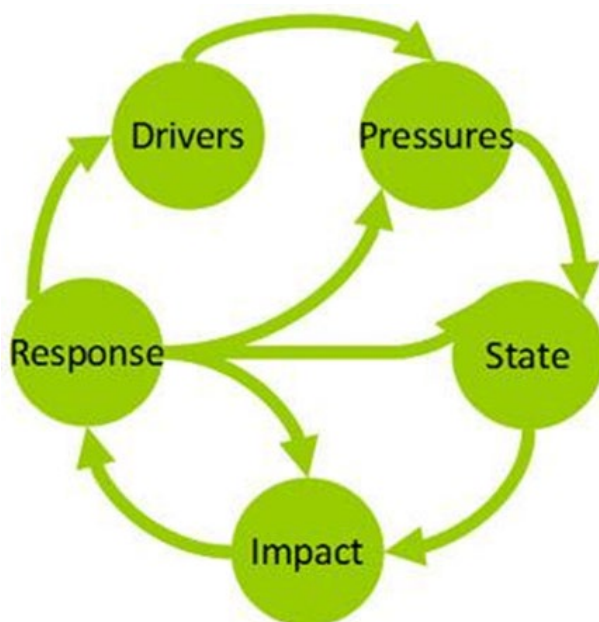


Abbildung 41: Das DPSIR-Schema für das Berichtswesen über Umweltprobleme nach Smeets und Weterings (1999).

Das DPSIR-Schema ist vielfach genutzt und somit ein etabliertes in der Politikberatung bekanntes Werkzeug (Maxim et al. 2009; Tscherning et al. 2012; Schliep et al. 2017; Omann et al. 2009; Smeets und Weterings 1999). Es wurde als Kommunikationswerkzeug zur Vermittlung komplexer Umweltprobleme entwickelt (Tscherning et al. 2012). Die im Forschungsvorhaben identifizierten Konflikte stellen teilweise schwer zu quantifizierende Wirkzusammenhänge dar. Das Schema teilt ein Umweltproblem in die Kausalkette Treiber, Druck, Zustand, Auswirkung und Reaktion auf und ermöglicht somit Indikatoren für jeden dieser Aspekte zu erheben. Durch die Unterteilung unterstützt es die Standardisierung der Indikatoren und erzwingt dadurch Klarheit. Somit wird für jeden Aspekt eine klare Benennung des Indikandums, also der Größe, die der Indikator tatsächlich zu beschreiben vermag, ermöglicht. Zudem berücksichtigt das Schema mit Treiber und Reaktion die Benennung des sozioökonomischen Ursprungs eines Umweltproblems, und wie darauf reagiert werden kann (Smeets und Weterings 1999).

### 5.3.1.2 Indikatorherleitung

Die Indikatorherleitung wird im sogenannten „Langtext zur Indikatorherleitung“ fachlich begründet (Abschnitt 5.3.2.1 bis 5.3.2.11). Die Texte gliedern sich in die Abschnitte Einleitung, Treiber (D), Druck (P), Zustand (S), Auswirkung (I) und Reaktion (R). In der Einleitung wird der Wirkzusammenhang zwischen der jeweiligen ETI und dem Schutzgegenstand beschrieben. Hierin wird erläutert, wie nach dem Stand der Wissenschaft, die ETI auf den Schutzgegenstand einwirkt. Es wird beschrieben, welche Schutzgegenstände (z. B. bestimmte Arten oder Lebensräume) warum betroffen sind. Für die Herleitung der Indikatoren der einzelnen Einflussgrößen im DPSIR-Schema haben sich die AutorInnen an den obigen Beschreibungen orientiert (Abschnitt 5.3.1.1). In den „Langtexten zur Indikatorherleitung“ diskutieren die Autorinnen dementsprechend ausführlich, warum mit welchen Werten eine Einflussgröße im DPSIR-Schema bezogen auf den jeweiligen Konflikt beschrieben werden kann. Die dafür vorhandenen oder notwendigen Datenquellen werden benannt und die Schritte zur Berechnung des Indikators genau dargelegt. Die Langtexte zur Indikatorherleitung wurden von unterschiedlichen AutorInnen, welche zu Beginn des Textes gekennzeichnet sind, erstellt.

Die hier hergeleiteten Indikatoren sollten anschlussfähig an bereits bestehende Systeme sein und möglichst bereits vorhandene Daten nutzen sowie Redundanz vermeiden. Deshalb wurden zuerst vorhandene Indikatorensysteme gesichtet, und geprüft, ob diese Indikatoren enthalten, welche für das Monitoring der Einzelkonflikte geeignet sind. Die Indikatoren konnten gegebenenfalls direkt oder nach Modifizierung übernommen werden. Zu diesem Zweck wurde eine Vorauswahl der Indikatoren aus bestehenden Sets nach den folgenden Themenfeldern vorgenommen: Klimawandel, Luft, Flächeninanspruchnahme, Boden, Wasserhaushalt und Gewässer, biologische Vielfalt sowie Energie. Diese Sichtung diente der Identifikation von Basisdaten, die im Rahmen eines Monitorings der Einzelkonflikte genutzt werden könnten.

Die folgenden Indikatorensets wurden demnach überprüft:

- Indikatoren der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt – NBS (BMU 2007 - Kabinettsbeschluss vom 7. November 2007, Auflage 2015)
- Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel – DAS (UBA 2015)
- Nationale Nachhaltigkeitsstrategie – NHS (Becker und Theis 2017)
- Indikatoren des Umwelt-Kernindikatorensystems – KIS (Grünig et al. 2011)
- Indikatoren der Länderinitiative Kernindikatoren – LIKI (Rademacher et al. 2018)

Die Sichtung ergab, dass nur ein geringer Teil der Indikatoren aus diesen Sets direkt für das Monitoring der Einzelkonflikte im Rahmen des EE-Monitors verwendet werden konnte. Jedoch zeigte sich, dass einzelne Basisdaten, welche den Indikatorensets zugrunde liegen, auch im EE-Monitor verwandt werden können. Die in diesem Endbericht vorgeschlagenen Indikatoren sind demnach größtenteils methodische Neuentwicklungen, welche bereits bestehende Basisdatensätze nutzen können oder sich auf in der wissenschaftlichen Literatur etablierte Methoden beziehen.

Für den Großteil der Konflikte wurde zudem für zukünftige AnwenderInnen des Monitorings die ausführliche Diskussion in den Langtexten zusätzlich in Indikatorsteckbriefen verknüpft dargestellt. Die Indikatorsteckbriefe enthalten einheitlich strukturierte Angaben zu den in Tabelle 28 aufgeführten Informationen und orientieren sich an Schliep et al. 2017. Die Indikatorsteckbriefe finden sich im Materialband.

Tabelle 28: Felder im Indikatorsteckbrief und deren Bedeutung.

<b>Feld</b>	<b>Bedeutung</b>
DPSIR	Für welche Einflussgröße in der Anwendung des DPSIR-Schemas auf den Konflikt gelten die folgenden Angaben (D, P, S, I oder R)
Indikator	Bezeichnung des Indikators
Berechnungsvorschrift	Beschreibung der notwendigen Berechnungsschritte für den Indikator
Kurzbeschreibung	Kurze Definition des Indikators in wenigen Sätzen
Interpretation	Wie soll der Indikator und eine Änderung des Wertes interpretiert werden?
Begründung	Warum ist der Indikator geeignet, diese Einflussgröße im DPSIR-Schema des jeweiligen Konfliktes abzubilden?
Stärken	Welche Stärken zeichnen den Indikator aus?
Schwächen	Welche Fehlstellen hat der Indikator?
Aufwand	Wie hoch ist der Aufwand zur Erhebung und Berechnung des Indikators?
Erläuterung - Aufwand	Besonders bei hohem Aufwand: Warum ist ein bestimmter Aufwand nötig?
Entwicklungsstatus	Wurde der Indikator neuentwickelt, abgewandelt oder aus der Literatur bzw. bestehenden Indikatorensets übernommen?
Datenquelle	Wenn Daten verfügbar sind, aus welchen Quellen sind die für die Berechnung des Indikators notwendigen Daten zu beziehen?
Verfügbarkeit	Sind die Daten verfügbar oder nicht?
Geographische Abdeckung	Für welchen Raum gelten die Daten?
Räumliche Auflösung	In welchem Format liegen räumliche Daten vor (Raster, Punkt, Linien oder Vektordaten) und wie groß ist deren Auflösung?
Zeitliche Auflösung	Turnus der Aktualisierung

### 5.3.2 Ergebnisse

Bei der Verwendung des DPSIR-Schemas ist es wichtig, die Einflussgrößen in Bezug auf die Fragestellungen des Forschungsvorhabens zu definieren (Maxim et al. 2009). Deshalb sind die Einflussgrößen folgendermaßen zu verstehen:

- Der Treiber beschreibt die sozioökonomischen Entwicklungen, welche einem Umweltproblem zu Grunde liegen. Dies sind dementsprechend immer die Ausbauziele nach Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) (siehe Treiber – übergeordnete Betrachtung)
- Der Druckindikator soll quantifizieren, wie sich die Technologie in einem jeweils sinnvollen räumlichen Bezug zum Schutzgegenstand verändert hat. Denn nur dort, wo Schutzgegenstand und Technologie aufeinandertreffen, sind auch Auswirkungen möglich.
- Der Zustandsindikator bedient sich dagegen oft aus der Vielzahl der Monitoringsysteme welche teilweise bereits beim Bundesamt für Naturschutz koordiniert werden. Dieser beschreibt die allgemeine zeitliche Entwicklung des Schutzgegenstandes, welche sich selbstverständlich nicht nur durch den Ausbau der EE erklärt (z. B. Populationstrends oder die Fläche bestimmter Lebensräume).
- Der Auswirkungsindikator soll quantifizieren, wie sich der Schutzgegenstand durch die Einwirkung der Technologie verändert hat oder haben könnte oder wahrscheinlich verändern wird.
- Ein Reaktionsindikator soll quantifizieren, ob Instrumente, welche den Konflikt mindern, ausreichend implementiert wurden.

Dies bedeutet, dass einzelne Indikatoren aus dem DPSIR-Schema zur Messung des jeweiligen Konfliktes nicht hervorgehoben werden. Stattdessen ist ein ausreichendes Verständnis

des Konfliktes im politischen Kontext nur unter Berücksichtigung aller fünf Indikatoren (D, P, S, I und R) möglich. Pro Konflikt werden also diese fünf Indikatoren hergeleitet.

### **Treiber – übergeordnete Betrachtung**

Treiber in den hier behandelten Zielkonflikten zwischen der Nationalen Biodiversitätsstrategie und der Nachhaltigkeitspolitik im Gefolge der UN Agenda 2030 auf der einen Seite und der nationalen Energiepolitik als konkrete Reaktion auf den Klimawandel und den Ausstieg aus der Kernenergie auf der anderen Seite ist das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2017) bzw. sein Vorgänger das Stromeinspeisungsgesetz (1990). Dabei gehen die Ziele partiell konform, denn eine Begrenzung der Auswirkungen des Klimawandels ist auch für den Erhalt vieler unter die Belange des Naturschutzes fallender Schutzgegenstände wünschenswert. Die reine Umstellung auf neue Technologien oder Landnutzungsformen kann allerdings Naturschutzzielen zuwiderlaufen, wenn sie nicht darauf abgestimmt und rein wachstumsorientiert ist, ohne dass dem Verbrauch von Energie, Ressourcen und Fläche wirksame Grenzen gesetzt werden.

Das EEG legt den Anteil der erneuerbaren Energien am Strommarkt in Form von Mindestzielen bzw. Mindest- und Maximalzielen (Ausbaukorridoren) fest. Dabei ist nicht der Anteil von EE an der Gesamtstromerzeugung das Problem, dieser sollte auch aus Naturschutzsicht steigen, sondern die Gesamtmenge an Energie, die erzeugt werden muss, um aktuelle Bedarfe zu befriedigen. Diese sollte bei einem möglichst hohen Anteil an EE möglichst klein sein oder im besten Fall sogar sinken. Diese wichtige Randbedingung stellt nicht nur einen Treiber für die verschiedenen Konflikte dar, sondern ist auch eines der fünf Ziele für die naturverträgliche Energiewende (Kapitel 0) und ist daher dort durch zwei übergeordnete Indikatoren beschrieben (siehe hierzu Abschnitt 4.1.1).

Daneben kann ein Monitoring der zeitlichen und räumlichen Entwicklung der Gesteungskosten, der Vergütungen und Marktprämien und der Renditen der Stromerzeugung aus EE helfen, die Anreizwirkung auf unterschiedliche Investoren abzuschätzen – eine Information, die für die Wirksamkeit des EEG über den Naturschutz hinaus von Bedeutung ist – und diese in Beziehung zu den Entwicklungen der anderen Indikatoren in den Kategorien Druck, Auswirkung, Zustand sowie Reaktion setzen. Es kann allerdings nicht Sinn dieses hier eher auf die Entwicklung der Technologien gerichteten Monitorings sein, ausführliche Marktanalysen durchzuführen. Aus diesem Grund wird empfohlen, eine Dokumentation der gesetzlichen Regelungen des EEG (Ausbaupfade) und ihrer Aktualisierungen in ihrer zeitlichen Abfolge und in statistisch auswertbarer Form vorzunehmen und daneben auf aggregierte Informationen aus anderen Quellen zurückzugreifen, wie sie z. B. vom Fraunhofer-Institut oder dem BMFZ zusammengestellt wurden (Kost et al. 2018; Scheffelowitz et al. 2015; Klobasa et al. 2018; Wronski und Fiedler 2017) und vermutlich auch in Zukunft noch werden. Eine wichtige Grundlage für den Bereich Bioenergie liefert Thrän et al. (2019).

Zum Monitoring der Treiber für die nachfolgend im Detail analysierten Konflikte werden konkret folgende Messgrößen vorgeschlagen:

- Naturschutzbelange sind vom EEG insbesondere dort betroffen, wo raumwirksame Anlagen entstehen. Ein schonender Umgang mit dem Raum beim Ausbau der EE ist daher ein zentraler Treiber. Zusätzlich ist der raumschonende Ausbau der erneuerbaren Energien durch konkrete Ziele unterlegt und durch Zielsystem-Indikatoren beschrieben (Kapitel 0).

- Als spezifischer Indikator für die verschiedenen Konflikte wird die Entwicklung der raumbezogenen EE-Anlagen mit Bezug auf den jeweiligen Konflikt (Wasserkraft, Photovoltaik, Windkraft, Bioenergie aus Anbaubiomassee, Freileitungen) vorgeschlagen.

Daneben spielen weitere Politiken eine treibende Rolle, wie z. B. die europäische sowie die nationale bzw. regionale subventionsgetriebene Landwirtschaftspolitik.

Problematisch ist vor allem die Ausrichtung der Energieproduktion an Größenordnungen und Wachstumsprognosen, die sich an der bisherigen übermäßigen Nutzung von fossilen Energieträgern orientieren, die in vergangenen Zeiten gespeichert wurden (Dukes 2003). Die Oberfläche der Erde ist ebenso begrenzt wie die Menge gespeicherter fossiler Rohstoffe. Die Grenzen werden jedoch noch deutlich enger gesetzt, da die verfügbare Fläche auch von anderen Nutzungsformen in Anspruch genommen wird, die ebenfalls immer mehr Fläche benötigen, z. B. für die Futter- und Nahrungsmittelproduktion, die Forstwirtschaft, die Verkehrsinfrastruktur, Siedlungs- und Gewerbegebiete oder auch Erholungszwecke. Zusätzlich erhebt der Bergbau neue Ansprüche, z. B. um statt Kohle und Öl seltene Erden und Metalle (z. B. Lithium) als Grundlagen auch für die „Grünen Technologien“ zu fördern, die im internationalen Kontext an neuen Standorten (z. B. innerhalb von Nationalparks) liegen und, wie im Falle von Neodym, auch noch mit dem Abbau und der Freisetzung von radioaktivem Uran vergesellschaftet sind (Cumming 2010; McManus 2012). Dabei werden sich in Zukunft solche Konflikte nicht mehr nur im Ausland (z. B. Afrika, China oder Südamerika) manifestieren (Edwards et al. 2014; Wanger 2011), sondern zunehmend auch in Deutschland. Aktuell steht allerdings hauptsächlich die Flächeninanspruchnahme im Fokus der Kritik. Zunehmend wird auch der Ruf nach einem Schutz der Geodiversität laut und ihre Einbeziehung in die Analysen zur Nachhaltigkeit von Produktionsprozessen (Brilha et al. 2018).

Zusätzlich zu den genannten Naturschutzaspekten sind des Weiteren bei der Herstellung und im Betrieb von Windkraft-, Wasserkraft-, Solar- oder auch Bioenergieanlagen vielfältige Umweltauswirkungen festzustellen, die von der Förderung der Ressourcen bis hin zur Beeinträchtigung der verschiedenen anderen Medien wie Luft, Wasser und Boden durch Schadstoffe reichen und damit dann auch Relevanz für die darin lebenden Organismen, eingeschlossen gesundheitlicher Beeinträchtigungen des Menschen, haben (Burger und Gochfeld 2012). Wenn man den nationalen Fokus dieser Studie verlässt, wird deutlich, dass unter dem Gesichtspunkt des überregionalen Naturschutzes eine ausschließliche Beschränkung des Blickwinkels auf die positiven Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanzen des Lebenszyklus dieser Technologien, wie es leider nur allzu oft der Fall ist (z. B. Louwen et al. 2016), bei weitem zu kurz greift.

### 5.3.2.1 Individuenverluste von Fledermäusen an WEA durch Kollision mit den sich drehenden Rotorblättern und weiterer durch den Betrieb der Anlagen bedingter Ursachen

Gunnar Oehmichen

#### Einleitung

Individuenverluste von Fledermäusen durch Kollision mit Windenergieanlagen (WEA) ist nach der durchgeführten Expertenbefragung (Abschnitt 5.2) der relevanteste Konflikt. So beeinträchtigt der Individuenverlust durch Kollision den Schutz der Fledermauspopulationen welcher Ziel des „Übereinkommens über die biologische Vielfalt“ (Convention on Biological Diversity (CBD)), der FFH-Richtlinie und des UNEP/EUROBATS Abkommens (Agreement on the Conservation of Populations of European Bats) ist.

Folgende Fledermausarten wurden bei Kollisionsopfersuchen, geordnet nach der Häufigkeit der Opfer, gefunden (Behr et al. 2011a; Rydell et al. 2010; LfU 2018, 2015).

Tabelle 29: Kollisionsempfindliche Fledermausarten nach Bernotat und Dierschke (2016) und deren Anteil an Schlagopfern in LfU (2015).

Wissenschaftlicher Artname	Deutscher Artname	Prozent der gemeldeten Schlagopfer
<i>Nyctalus noctula</i>	Abendsegler	32,2
<i>Pipistrellus nathusii</i>	Rauhautfledermaus	28,8
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Zwergfledermaus	19
<i>Nyctalus leisleri</i>	Kleinabendsegler	4,9
<i>Vespertilio murinus</i>	Zweifarbflledermaus	3,9
<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	Mückenfledermaus	3,6
<i>Eptesicus serotinus</i>	Breitflügelfledermaus	1,7
<i>Hypsugo savii</i>	Alpenfledermaus	0,03
<i>Eptesicus nilssonii</i>	Nordfledermaus	0,2
<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Weißrandfledermaus	0

Bernotat und Dierschke (2016) ordnen allen oben aufgeführten Arten aufgrund ihrer Ökologie ein sehr hohes oder hohes Kollisionsrisiko zu. Einige Studien geben auch einen Überblick über die hochgerechneten Kollisionsopfer. Diese liegen zwischen 2,4 und 7 Individuen pro Monat und Anlage. Die Angaben beziehen sich dabei nicht auf das ganze Jahr, sondern den jeweiligen Untersuchungszeitraum zwischen Frühjahr und Herbst. Dies bedeutet ca. 10 bis 12 Individuen pro Anlage und Jahr (Behr et al. 2011a; Rydell et al. 2010). Auf dieser Basis erfolgten Schätzungen von ca. 250.000 Schlagopfern pro Jahr in Deutschland (Voigt et al. 2015). Fledermäuse kollidieren dabei direkt mit den sich drehenden Rotorblättern und erleiden tödliche Frakturen und Blutungen. Ein großer Anteil der Todesfälle kann aber auch auf Barotraumatia zurückgeführt werden. Dies sind Verletzungen luftgefüllter Hohlräume aufgrund eines sich schnell verändernden Umgebungsdrucks. Untersuchte Totfunde sind dabei oftmals nicht auf eine Todesursache zurückzuführen, sondern können beide Typen von Verletzungen aufweisen (Grotsky et al. 2011; Baerwald et al. 2008; Rollins et al. 2012). Der Anteil untersuchter Totfunde, welche in diesen Studien nur Hinweise auf Barotraumatia aufwiesen lag bei 6 % (Rollins et al. 2012), 26 % (Grotsky et al. 2011) und 46 % (Baerwald et al. 2008). Rollins et al. (2012) betonen jedoch, dass die Schätzungen von Baerwald et al. (2008) zu hoch sein könnten. So führt die gängige Handhabung toter Fledermäuse nach der Kollisionsopfersuche zu forensischen Merkmalen, welche denen eines Barotraumas ähneln

(z. B. Lungenblutungen) und Knochenbrüche werden zudem durch Röntgen wesentlich häufiger erkannt als durch die visuelle Nekropsie, wie sie von Baerwald et al. (2008) durchgeführt wurde (Rollins et al. 2012). Dementsprechend dürfte der Anteil der Fledermäuse, welche eines Barotraumas erliegen, eher zwischen 6 % und 26 % liegen. Voigt et al. (2015) argumentieren jedoch, dass

1. eine genaue Bezifferung des Anteils der Fledermäuse, welche ein tödliches Barotrauma erleiden, kaum möglich ist. Denn der Tod durch Barotraumata erfolgt nicht sofort, und Fledermäuse können demnach Minuten bis Stunden später und nicht unter der WEA verenden.
2. Deswegen seien die oben genannten Schätzungen von toten Individuen pro Anlage und der Summe der Kollisionsopfer in Deutschland mit einer Dunkelziffer behaftet.

Aufgrund der Lesbarkeit werden beide Todesursachen in der Folge als Kollisionsopfer bzw. das den Tod verursachende Ereignis als Kollision bezeichnet. Die Distanz innerhalb dessen Fledermäuse sich bewegende Objekte wahrnehmen können, ist aufgrund der hohen Frequenz und des niedrigen Schalldrucks der Ortungsrufe auf meist < 50 m begrenzt. Das Wahrnehmungsfeld ist dabei ebenso auf einen meist engen Kegel vor der Fledermaus beschränkt (Dietz et al. 2016b). Deshalb können Fledermäuse den sich drehenden Rotoren nicht ausweichen. Denn diese sind noch Augenblicke vor der Kollision außerhalb des Wahrnehmungsfeldes der Fledermäuse.

Die am häufigsten betroffenen Arten sind Jäger des freien Luftraumes welche sich auch in Höhen > 50 m aufhalten (Kohnen et al. 2016b; Dietz et al. 2016b; Bernotat und Dierschke 2016). Kollisionen wurden vom Frühjahr bis in den Herbst registriert. Dabei sind die Kollisionsraten im Sommer und Frühherbst (Juli bis Oktober) am höchsten wenn einige Arten ziehen (*Nyctalus nyctalus*, *N. leisleri*, *E. nilssonii*, *Vespertilio murinus*, *P. pygmaeus*, *P. nathusii*). Außerdem suchen auch die nicht ziehenden Arten (*Pipistrellus pipistrellus*, *Eptesecius serotinus*) in dieser Zeit die Schwärmquartiere zur Paarung auf (Dietz et al. 2016b). Das Kollisionsrisiko ist in Nächten milder Witterung (Temperaturen > 10 C°, niederschlagsfrei, Windgeschwindigkeiten < 8 m/s) am höchsten (Behr et al. 2011b).

WEA scheinen zumindest auf einige Arten eine Attraktionswirkung zu haben (Brinkmann und Bontadina 2006). Darunter können sich auch strukturgebunden jagende Arten befinden, welche die Masten mit Bäumen verwechseln und inspizieren (Roeleke et al. 2016; Hochradel et al. 2015; Cryan et al. 2014). Rydell et al. (2010) argumentieren, dass sich migrierende Insekten an Windenergieanlagen sammeln, welches wiederum Fledermäuse anzieht. Zumindest in Nordamerika konnte dabei beobachtet werden, dass die Fledermäuse sich von der windabgewandten Seite der Anlage nähern, um diese zu inspizieren und in ihrem Windschatten zu jagen. Dieses Verhalten ist vergleichbar zu dem, welches die untersuchten Arten an natürlichen Strukturen zeigen (Cryan et al. 2014). In diesem Zeitraum weisen außerdem ein Teil der sensitiven Arten eine veränderte Höhenverteilung während der Jagd auf. So wurden vermehrt Rufe der *Pipistrellus* Arten über 50 m aufgezeichnet, welches auf höhere Insektenichten zu dieser Zeit in der entsprechenden Höhe zurückgeführt wird (Hurst et al. 2015).

Die Attraktionswirkung ist nur bedingt durch die rote Hindernisbefeuerung zu erklären. Voigt et al. (2018) fanden z. B. heraus, dass Rauhhaut- (*P. nathusii*) und Mückenfledermaus (*P. pygmaeus*) während des gerichteten Fluges Bereiche roten Lichts aufsuchen, dort jedoch nicht jagen. Diese Bevorzugung zeigte sich bei anderen untersuchten Arten (z. B. *N. noctula*) dagegen nicht. Kurzwelliges (weißes) Licht lockt wesentlich mehr Nachtfalter an, als langwelliges (rotes) Licht (van Langevelde et al. 2011). Dies kann erklären, warum die Anzahl der Kollisionsopfer in einer fünfjährigen Studie an rot befeuerten Anlagen nicht höher als an



unbefeuerten Anlagen war (Bennett und Hale 2014).

Qualitative, nicht statistisch gesicherte Vergleiche der WEA Standorte und der jeweiligen Fundopferzahlen deuten auf höhere Schlagrisiken in wald- und strukturreichen Landschaften hin. Die Schlagopferzahlen in der offenen Agrarlandschaft scheinen dagegen niedriger, weisen aber noch immer eine bedeutende Größenordnung auf (Rydell et al. 2010). So veröffentlichten Dürr und Bach (2004) die Angabe, dass unter einem Abstand von 50 m zu Gehölzen 77 % aller verzeichneten Kollisionen stattfanden. In einigen Abstandsempfehlungen von 200 m spiegeln sich diese frühen Erkenntnisse wieder (NLT 2014; NABU 2018). Gezielte Auswertungen zum Einfluss von Landschaftsvariablen in Niermann et al. (2011) zeigen dagegen vor allem die Bedeutung von Wetter und Jahreszeit auf. Zudem ist das Maß der Aktivität vom Naturraum abhängig, welcher die komplexe Eignung als Lebensraum und das Artenspektrum widerspiegelt. Die Entfernung zu Gehölzelementen (Hecken, Wäldern, Feldgehölzen) beeinflusst die Aktivität dagegen in einem wesentlich geringeren Maße als die übrigen Größen. Die Aktivität in Gondelhöhe verringerte sich nur um ca. 10 % bei 200 m zusätzlichem Abstand von Gehölzen (Niermann et al. 2011).

### **Treiber**

Treiber des Konfliktes ist das Ziel des Ausbaus erneuerbarer Energien, das maßgeblich durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) umgesetzt wird. Dieses legt den angestrebten Anteil der Erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch fest in Form von Mindestzielen, bzw. Mindest- und Maximalzielen. Die Umsetzung des EEG durch die Etablierung von Strom aus WEA auf dem Strommarkt bedingt also die Ausprägung des Konfliktes. Zu messen wären dementsprechend: **die Ausbauziele des EEG in Prozent.**

### **Druck**

Die Druckindikatoren sollen im Forschungsvorhaben quantifizieren, wie die Technologie unter Berücksichtigung des Wirkzusammenhangs in einem jeweils sinnvollen räumlichen Bezug zum Schutzgegenstand steht.

Kollisionen wurden vom Frühjahr bis in den Herbst registriert. Dabei sind die Kollisionsraten im Sommer und Frühherbst (Juli bis Oktober) am höchsten wenn einige Arten ziehen (*N. nyctalus*, *N. leisleri*, *E. nilssonii*, *Vespertilio murinus*, *P. pygmaeus*, *P. nathusii*). Außerdem suchen auch die nicht ziehenden Arten (*P. pipistrellus*, *E. serotinus*) in dieser Zeit die Schwärmquartiere zur Paarung auf (Dietz et al. 2016b).

Da während der Zugperiode ein Großteil der Individuen geschlagen wird, befinden sich darunter viele ziehende Individuen. Diese können aus weit entfernten Gebieten stammen (Voigt et al. 2012; Voigt et al. 2015). So wurde durch Isotopenanalysen nachgewiesen, dass über ein Viertel der geschlagenen Individuen von *N. noctula* aus Osteuropa, Baltikum oder Skandinavien stammen (Lehnert et al. 2014). Ein ähnliches Muster zeigt sich für *N. leisleri*, wohingegen Tode von *P. nathusii* ausschließlich aus Osteuropa stammten (Voigt et al. 2012). Diese groben Isotopenanalysen können allerdings keine Aussage treffen, ob Individuen, welche als lokal eingeordnet wurden, nicht auch während des Zuges geschlagen wurden.

Fledermäuse orientieren sich über größere Distanzen optisch und müssen innerhalb der Zugnächte ihren Nahrungsbedarf decken. Deshalb wurde bisher angenommen, dass ziehende Arten Wanderkorridore nutzen, welche durch ihre Strukturen einerseits optische Orientierung ermöglichen und gute Jagdhabitats darstellen (Furmankiewicz und Kucharska 2009). Jedoch zeigten mit Radiotelemetrie verfolgte *N. nyctalus* starke individuelle Abweichungen in der Richtung des Abflugs aus dem Winterquartier. Die Nahrungsaufnahme während des Zuges

fürten diese dabei auf sehr weitläufigen Streifzügen durch, welche stark von der Hauptzugrichtung abwichen (Dechmann et al. 2014; Meschede et al. 2017). In Meschede et al. (2017) wurde außerdem überprüft, ob sich die Aktivitäten ziehender Arten (Rauhautfledermaus und Abendsegler) zwischen topographisch sehr unterschiedlichen Strukturen im Thüringer Wald unterscheiden. Da der Mittelgebirgszug als vermeintliches Hindernis quer zur Hauptzugrichtung Nordost - Südwest liegt, wurde angenommen, dass die Fledermäuse bei der Querung des Mittelgebirges Bachtäler und die darauf folgenden, im Vergleich zum Gebirgskamm niedrigeren Pässe bevorzugen. Jedoch wurden beide ziehenden Arten an den verschiedenen Standorten im Mittelgebirge (Bachtal, Pass und Bergkamm) in vergleichbaren Größenordnungen registriert und bevorzugt während der Querung die Täler und Pässe demzufolge nicht. Diese Messungen wurden noch mit solchen im niedrigeren Vorland des Thüringerwaldes (Werratal) verglichen. Beide Arten zeigten wesentlich höhere Aktivitäten im Vorland, besonders am Flussuferstandort. Die Rufe am Flussufer wurden hauptsächlich in der ersten Nachhälfte aufgezeichnet und deswegen als Nahrungssuche eingeordnet. In Zusammenhang mit einer Vielzahl zitierter Meldungen ziehender Arten zur Zugzeit sowohl in Tälern als auch in den Höhen der Mittelgebirge wird deshalb ein Breitfrontzug der Fledermäuse angenommen (Meschede et al. 2017). Besonders hohe Dichten von Fledermäusen zur Zugzeit können allerdings in Rastgebieten mit hoher Nahrungsdichte wie dem untersuchten Werratal erwartet werden. Weshalb solche Rastgebiete frei von WEA bleiben sollten.

Nach dem Verlassen der Winterquartiere etablieren sich ab Ende April die Wochenstuben der Fledermausweibchen. Der Frühjahrszug zu den Wochenstuben wird schneller in einem engeren Zeitfenster als der Herbstzug zurückgelegt (Meschede et al. 2017). Die Gebiete, in denen die Wochenstuben bestehen, müssen sich dabei nicht mit den Gebieten, in denen Fledermausmännchen übersommern überschneiden. Einige Arten weisen sogar eindeutige disjunkte Sommerverbreitungen auf (*N. noctula*, Dechmann et al. 2014; *N. leisleri*, Kohnen et al. 2016b; *Vespertilio Murinus*, Meschede et al. 2017). In den Wochenstubengebieten müssen die Quartiere bestimmte Habitatstrukturen (Baumhöhlen, Spalten an Bäumen und Gebäuden) und gleichzeitig in der näheren Umgebung gute Jagdhabitats mit hoher Nahrungsvorhandenheit aufweisen (Kohnen et al. 2016b). Während der Wochenstubenzeit unternehmen die Weibchen außerdem nur selten weite Erkundungsflüge, während die Jagdgebiete im Vergleich zu den Männchen im Durchschnitt kleiner sind, und näher an den Wochenstuben liegen, als solche der Männchen an den jeweiligen Sommerquartieren (Dietz et al. 2016b; Brinkmann et al. 2016; Schorcht 2002; Eichstädt und Bassus 1995). Diese wechseln die Männchen sehr ebenso häufig wie die Jagdgebiete abhängig von der Nahrungsvorhandenheit. Fledermäuse haben eine für ihre Größe lange Lebenszeit und niedrige Reproduktionsrate. Deshalb sind Verluste der Weibchen zur Wochenstubenzeit für die Populationsbiologie besonders relevant (Dietz et al. 2016b).

Im Rahmen der FFH-Berichtspflichten stellt das BfN Informationen zu Populationsgröße, Zustand der Population und dem Trend der Population sowie weitere naturschutzfachlich relevante Daten über alle Fledermausdaten in Deutschland zusammen (BfN 2013a, 2013b). Teil dieser Berichte sind auch Karten, welche Schätzungen zum Verbreitungsgebiet der jeweiligen Art und bisher gefundener Vorkommen enthalten. Selbst für sehr häufige Arten wie *P. pipistrellus* ist jedoch in einem großen Teil des geschätzten Verbreitungsgebietes kein Vorkommen gemeldet. Am besten erfasst sind dabei solche Arten, deren Wochenstuben sich als Kolonien ausschließlich in Gebäuden befinden. So existiert für die weniger windkraftsensible Art *Myotis myotis* eine zuverlässige Schätzung der Populationsgröße basierend auf einer sehr guten Erfassung der Wochenstuben (Meschede 2012; BfN 2013a, 2013b). Die Erfassung der meisten (auch windkraftsensiblen) Fledermausarten ist dagegen durch viele

Gründe erschwert. Fledermäuse sind im Gegensatz zu den meisten, sehr gut erfassten Vögeln nicht reviergebunden. Ihre Jagdgebiete variieren über das Jahr hinweg und orientieren sich an der Nahrungsverfügbarkeit (Dietz et al. 2016b). Einige Arten weisen zwischen den Geschlechtern disjunkte Verbreitungsgebiete auf. So befinden sich der Großteil der Wochenstuben des Abendseglers in Nordostdeutschland, während die Männchen im Südwesten übersommern (Kohnen et al. 2016a; Dechmann et al. 2014). Die Vorkommensdaten basieren meist nur auf punktuellen Funden von verschiedenen Quartieren (Sommerquartiere der Männchen, Schwärmquartiere zur Fortpflanzung, Winterquartiere und Wochenstuben der tragenden Weibchen, Tagesstuben während des Zuges). Die in BfN (2013a, 2013b) publizierten Daten über das Vorkommen je TK25-Feld unterscheiden jedoch nicht zwischen verschiedenen Quartieren. Nutzt eine Art zudem nicht ausschließlich Gebäude, sondern zusätzlich unterschiedliche kleine Nischen im Fels, an Bäumen oder auch größere Baumhöhlen, so sind die Quartiere meist nur äußerst lückenhaft erfasst. Zusätzlich wechseln besonders die Männchen sehr häufig die Quartiere und Jagdgebiete abhängig von der Nahrungsverfügbarkeit (Dietz et al. 2016b; Brinkmann et al. 2016). All dies führt dazu, dass für alle windkraftsensiblen Arten keine verlässlichen Daten zu deren tatsächlichem Vorkommen, der Besiedlungsdichte, der Populationsgröße und dem Populationstrend vorliegen (BfN 2011; Dietz et al. 2016b; Korner und Nagy 2018).

Eine andere Möglichkeit zu mindestens die Verbreitung der Wochenstubengebiete genauer einzugrenzen stellen Habitateignungsmodelle dar (Korner und Nagy 2018). In Kohnen et al. (2016b) wurden diese für die windkraftsensiblen Arten Abendsegler, Kleinabendsegler, Zwergfledermaus, Breitflügelfledermaus und Nordfledermaus berechnet. Dafür nutzten die AutorInnen die Daten zu Wochenstubenquartieren des FFH-Stichprobenmonitorings des BfN. Je nach Art waren Daten zu 38 bis 85 Wochenstuben vorhanden. Die Modelle nutzen Daten zur Landnutzung, dem örtlichen Klima und der Topographie am Standort und im Umkreis der bekannten Wochenstuben um zu erklären, wie das Vorkommen der Wochenstuben von diesen Variablen abhängt. Anschließend wurden mit den Modellen berechnet, wo Landnutzung, Klima und Topographie in ähnlicher Weise wie an den bekannten Standorten zusammenwirken (Habitateignung). Das Ergebnis sind Karten welche auf einem 50\*50 m Raster pro Art die Habitateignung zwischen 0 (nicht geeignet) und 1 (sehr geeignet) darstellen. Die Ergebnisse sind umso verlässlicher, je spezialisierter eine Art in ihren Habitatansprüchen ist. Verfälschte Modellergebnisse können durch die Standorte der Wochenstuben zu Stande kommen. So ergeben sich zwischen den bekannten Vorkommen (alle Nachweise) des Abendseglers und den Modellergebnissen Diskrepanzen. Die in die Berechnung eingehenden Wochenstuben befanden sich vor allem in Gebäuden städtischer Lagen und geben somit nur teilweise die eigentlichen Habitatansprüche des Abendseglers wieder. Deswegen schlussfolgern Kohnen et al. (2016b), dass „Die auf die Fläche projizierten Modellergebnisse sollten daher für keine der Fledermausarten als tatsächliches Verbreitungsgebiet verstanden werden. Vielmehr stellen die[se] [...] eine Hilfestellung zur Erklärung der aktuellen Wochenstubenverbreitung und zur Identifikation von geeigneten Lebensräumen auf der bundesweiten Maßstabsebene dar.“

Innerhalb dieser Abstände zu Brutvorkommen der aufgeführten Arten sollten demnach keine WEA errichtet werden. Denn innerhalb der empfohlenen Abstände und auf dem Weg zu bzw. in den Nahrungshabitaten ist aufgrund des regelmäßigen Fluges ein erhöhtes Kollisionsrisiko zu erwarten.

Da für die betroffenen Arten also

- noch keine verlässlichen, nach der Phänologie aufgeschlüsselten Daten (Sommergebiete der Männchen, Wochenstubengebiete, Zugkorridore) zum Vorkommen vorliegen,

- die Schlagopfer der ziehenden Arten nicht nur aus den lokalen Vorkommen stammen,
- das Zugverhalten sich zwar zeitlich jedoch räumlich nicht vorhersagen lässt und
- WEA zudem eine Attraktionswirkung auf Fledermäuse haben,

kann ein Druckindikator nach jetzigem Kenntnisstand, den Druck zur Zugzeit nicht sinnvoll beschreiben. Denn zur Zugzeit sind potenziell alle installierten WEA eine Gefahrenquelle. Stattdessen kann nur die Überschneidung von WEA und potenziellen Wochenstubengebieten beschrieben werden. Diese Quantifizierung der Überschneidung von WEA und potenziellen Wochenstubengebieten, muss allerdings auf modellierten Wochenstubengebieten basieren (s. o.), welche nicht die Sommerverbreitungen der Männchen abdecken müssen. Ein räumlich angelegter Druckindikator auf der Bundesebene beschreibt daher nur einen Teil des Drucks durch Kollisionen oder Barotraumata. Wenn theoretisch keine WEA sich mit Wochenstubengebieten überschneiden, so verbleibt zur Zugzeit noch immer eine große Anlagenzahl, welche aufgrund der Attraktionswirkung und des Breitfrontzuges einen Druck (also Kollisionsrisiko) darstellen.

EUROBATS (Rodrigues et al. 2016) empfiehlt, WEA „weit weg von engen Wander- und Transferflugrouten sowie weit weg von Bereichen, in denen sich Fledermäuse zur Nahrungssuche oder zum Schlafen sammeln, bauen. [...] Um national und regional wichtige Quartiere herum sollen Pufferzonen geschaffen werden.“ um dem Vorbeugeprinzip gerecht zu werden (UNEP/EUROBATS 2018). Ein Druckindikator kann daraus folgernd beschreiben, ob die Standorte der WEA diesen Kriterien, unter Berücksichtigung der oben genannten Einschränkungen, entsprechen.

Da diese Quantifizierung des Drucks auf der Bundesebene nicht auf genaue Daten zur Raumnutzung und einzelnen Quartieren (s. o.) zurückgreifen kann, wird folgende Analyse vorgeschlagen: Die Überschneidung von potenziellen Fledermauslebensräumen zur Wochenstubenzeit (Habitateignungsmodelle, s. o.) mit WEA innerhalb fachlich begründeter Abstandsempfehlungen. Eine solche Herangehensweise ist vergleichbar mit dem Anteil des potenziellen Habitats zur Brutzeit einer Vogelart, welcher innerhalb des jeweiligen fachlich begründeten Prüfradius (LAG VSW 2015) liegt (Habitatstörungspotenzial: Abschnitt 5.3.2.2 und Busch et al. (2017)). So ließe sich das Ausmaß des Raumes in dem ein erhöhtes Kollisionsrisiko bestehen kann, im Verhältnis zum gesamten Lebensraum der Art zur Wochenstubenzeit abschätzen. Selbstverständlich kann ein solcher Druckindikator nicht die genaue Untersuchung der vorhandenen Quartiere, der Raumnutzung der lokalen Populationen und die Abschätzung des Kollisionsrisikos ersetzen (Rodrigues et al. 2016). Denn dies sind Größen welche stark von den lokalen Gegebenheiten abhängen und eine große zeitliche und räumliche Variabilität aufweisen (Dietz et al. 2016b; Roeleke et al. 2016; Barré et al. 2018; Heim et al. 2015; Behr et al. 2018a).

### *Abstandsempfehlungen*

In wenigen Bundesländern existieren Abstandsempfehlungen zu Quartieren verschiedener Arten oder zu Gebieten die für den Fledermausschutz bedeutend sein können (FFH). Diese beziehen sich jedoch nicht nur auf kollisionsgefährdete Arten, sind länderübergreifend uneinheitlich und es mangelt an fachlicher Begründung (Behr et al. 2015). Daher wurden Radien aus der Fachliteratur entnommen, welche den Raum widerspiegeln in dem um die Wochenstuben der Großteil der Jagdaktivität stattfindet. Diese Radien beziehen die Entfernung, welche die Weibchen von den Wochenstuben in die Jagdgebiete zurücklegen, und die Größe der Jagdgebiete mit ein. Stehen WEA innerhalb eines solchen Radius um Wochenstuben, so sind die Weibchen einem erhöhten Kollisionsrisiko ausgesetzt.

Tabelle 30: Radius um Fledermausjagdgebiete in denen der Hauptteil der Aktivität zur Wochenstubezeit stattfindet für kollisionsgefährdete Fledermausarten. Basierend auf der Entfernung der Jagdgebiete zu Wochenstuben und der Jagdgebietsgröße.

Art	Aktionsradius (km)	Quelle
<i>Nyctalus noctula</i> (Abendsegler)	5	Mackie und Racey (2007), Dietz et al. (2016b)
<i>Nyctalus leisleri</i> (Kleiner Abendsegler)	5	Schorcht (2002), Dietz et al. (2016b)
<i>Eptesicus serotinus</i> (Breitflügel-Fledermaus)	5	Dietz et al. (2016b)
<i>Eptesicus nilssonii</i> (Nordfledermaus)	5	Dietz et al. (2016b)
<i>Vespertilio murinus</i> (Zweifarb-Fledermaus)	5	Dietz et al. (2016b)
<i>Hypsugo savii</i> (Alpenfledermaus)	5	Experteneinschätzung
<i>Pipistrellus nathusii</i> (Rauhautfledermaus)	5	Schorcht et al. (2002), Dietz et al. (2016b)
<i>Pipistrellus kuhlii</i> (Weißrandfledermaus)	3	Experteneinschätzung
<i>Pipistrellus pipistrellus</i> (Zwergfledermaus)	3	Simon et al. (2004), Dietz et al. (2016b)
<i>Pipistrellus pygmaeus</i> (Mückenfledermaus)	3	Dietz et al. (2016b)

### Methodik

Um den Druckindikator des **Habitatstörungspotenzials zur Wochenstubezeit** zu berechnen wird pro Art folgendermaßen vorgegangen:

1. Habitatmodellkarten zur Darstellung potenzieller Wochenstubehabitats windkraftempfindlicher Fledermausarten aus Kohlen et al. (2016b)
2. aus der Fachliteratur hergeleitete Abstandsempfehlungen (in Tabelle 30)
3. alle WEA werden um den Radius aus 2. gepuffert
4. Anzahl der Rasterzellen aus 1., welche als potenzielles Wochenstubehabitats modelliert wurden innerhalb 3.
5. Division 4. durch alle Rasterzellen, welche als potenzielles Wochenstubehabitats modelliert wurden.

Da es keine bundesweiten Daten zu Quartieren der kollisionsempfindlichen Arten gibt (s. o.), könnten also die hier vorgestellten Aktionsradien genutzt werden, um bundesweit die Überschneidung zwischen potenziellen Lebensräumen zur Wochenstubezeit und den artspezifischen Aktionsradien um WEA zu berechnen. Wenn theoretisch ein Lebensraum zur Wochenstubezeit innerhalb des Aktionsradius um eine WEA vorhanden ist, so bedeutet dies im Umkehrschluss, dass die WEA in einer Entfernung zu diesem theoretischen Lebensraum

liegt, welche von Individuen der jeweiligen Art zur Wochenstubenzeit regelmäßig zurückgelegt werden kann. Die Nutzung von artspezifischen Abstandsempfehlungen stellt demnach eine sinnvolle Eingrenzung des potenziellen Lebensraumes zur Wochenstubenzeit auf Räume potenziell erhöhten Kollisionsrisikos dar.

Der hier vorgeschlagene Messwert quantifiziert demnach nicht das Ausmaß der Kollisionen, sondern das Ausmaß des Raumes in dem ein erhöhtes Kollisionsrisiko bestehen kann, im Verhältnis zum gesamten modellierten gesamten Lebensraum der Art zur Wochenstubenzeit.

Im Rahmen des Raum-Monitorings werden verschiedene Messgrößen über die räumliche Verteilung der Technischen Infrastrukturen der Erneuerbaren Energien erhoben (Kapitel 6). Eine solche Messgröße ist die „**WEA Anlagendichte je Bodenbedeckungsklasse**“ (siehe hierzu Steckbrief RM 3 im Materialband). Mit diesen Daten lässt sich auch die zunehmende Inanspruchnahme von Waldflächen durch WEA quantifizieren. Denn „[d]er Wald spielt für die meisten Fledermausarten als mindestens zeitweiliger Lebensraum – als Quartier oder Jagdgebiet – eine besonders große Rolle.“ (Brinkmann et al. 2016; Hurst et al. 2016). Diese Messgröße hilft also in einem eingeschränkterem Maß als der oben vorgeschlagene Druckindikator, den zu- oder abnehmenden Druck durch WEA auf Fledermäuse zu quantifizieren. Die unterschiedlichen Arten können jedoch sehr spezifische Ansprüche an Waldhabitats stellen. So besiedelt *N. leisleri* in Deutschland vor allem Laubwälder mit hohem Altholzbestand, insbesondere Auwälder in Südwestdeutschland (Kohnen et al. 2016b). *V. murinus* bezieht dagegen fast ausschließlich Gebäudequartiere und jagt nur selten über Wald (Dietz et al. 2016b).

## Zustand

Im Abschnitt „Druck“ wurde aufgeführt, welche Quellen Datenangaben zu Bestandsgrößen und Verbreitung, Vorkommen der Art und Trends dieser Größen enthalten. Die Angaben im Nationalen Bericht nach Art. 17 FFH-Richtlinie in Deutschland (2013), Teil Arten (Annex B) – Fledermäuse (BfN 2013a, 2013b) erlauben jedoch nur eine sehr vage Abschätzung zur Populationsgröße, dem Populationstrend und dem Erhaltungszustand der jeweiligen Arten. Die Schätzungen zu Populationsgrößen basieren hauptsächlich auf den bisher gefundenen Wochenstuben, und Angaben zu Individuenzahlen einer Art sind sehr ungenau (Faktor 10 bis 50). Die Kenntnislage wird sich aber mit dem nächsten FFH-Bericht nach Ende der Berichtsperiode 2013 bis 2018 verbessern. Die derzeitige Periode der FFH-Berichte über die geschützten Fledermausarten endet 2018. Seit dem letzten Bericht (BfN 2013a, 2013b) wurde das Monitoring der Fledermäuse verbessert. Die Vorkommensdaten wurden nun durch standardisierte Transekte mit akustischer Erfassung ergänzt, um bisherige Erfassungslücken zu schließen. Zudem zeigte das Mausohrmonitoring (Meschede 2012), dass in den Bundesländern eine Vielzahl unterschiedlicher Daten zu Fledermausvorkommen vorhanden sind. Diese sollen auch für weitere Arten in das FFH-Monitoring integriert werden, um die Verbreitungs- und Vorkommensdaten zu ergänzen sowie verbesserte Angaben zur Dichte in einzelnen TK-Feldern machen zu können (Bundesamt für Naturschutz (BfN) und Bund-Länder-Arbeitskreis (BLAK) FFH-Monitoring und Berichtspflicht 2017). Um die relative Veränderung der Populationsgröße abzuschätzen, werden alle ein bis zwei Jahre pro Art 64 bestimmte von den Bundesländern gemeldete Wochenstuben ausgezählt. Dies ermöglicht zwar meist keine Abschätzung von absoluten Populationsgrößen, soll jedoch die Populationsentwicklung widerspiegeln (BfN und BLAK 2017). Die Verbesserung des Bestandsmonitorings der Fledermäuse in Deutschland bleibt dennoch eine zentrale Forderung der Wissenschaft und des Naturschutzes. So sollten die Dichteschätzungen in den einzelnen TK-Feldern verbessert und auf eine größere Datenbasis gestellt werden und Habitatmodelle zur

Extrapolation der Schätzungen in weitere TK-Felder benutzt werden (Korner und Nagy 2018). Besonders die Schätzung der Populationsgröße ist noch mit großer Unsicherheit behaftet.

### **Auswirkung**

Bisher wurden nur wenige Studien mit unterschiedlicher Genauigkeit durchgeführt, welche die Auswirkungen von Kollisionen auf Populationen kollisionsempfindlicher Fledermausarten zu beziffern versuchen (Lindemann et al. 2018; Korner-Nievergelt et al. 2018; Zahn et al. 2014; Frick et al. 2017; Hötter et al. 2005). Dennoch sprechen einige Argumente für eine mögliche Beeinträchtigung des Erhaltungszustandes kollisionsempfindlicher Arten durch die Kollisionen mit WEA. Im Gegensatz zu ähnlich großen Nagern sind die Populationen von Fledermäusen aufgrund ihrer Reproduktionsbiologie nur geringen Schwankungen ausgesetzt. Eine erhöhte Mortalität durch z. B. Kollisionen mit WEA kann nur in sehr eingeschränktem Maße durch eine Erhöhung der Geburtenrate ausgeglichen werden. So gebären die Weibchen der meisten Fledermausarten nur selten mehr als ein oder zwei Jungtiere pro Jahr. Eine lange Lebensspanne und eine geringe Fortpflanzungsrate führen dazu, dass Fledermäuse bereits gegenüber geringen Mortalitätserhöhungen empfindlich reagieren und Verluste weniger leicht kompensieren können als beispielsweise gleich große Vogelarten (Korner-Nievergelt et al. 2018; Korner und Nagy 2018; Dietz et al. 2016a; Dietz et al. 2016b).

Damit das Ausmaß dieser Beeinträchtigung auf der Bundesebene hinreichend genau abgeschätzt werden kann, wäre es empfehlenswert, standardisierte Kollisionsopfersuchen in einer ausreichend großen Stichprobe von Windparks durchzuführen. Solche standardisierte Suchen beinhalten die Messung folgender Parameter:

1. Verbleiberate: Welcher Anteil der Kadaver verschwindet in welchem Zeitraum durch Beutegreifer?
2. Sucheffizienz: Welcher Anteil der Kadaver wird bei der Suche übersehen? Diese ist abhängig von der Vegetation der abgesuchten Fläche und der Größe der Kadaver.
3. Absuchbare Fläche: Welcher Anteil eines bestimmten Radius um die WEA konnte von den Suchtransekten effektiv abgesucht werden. Die abgesuchte Fläche nimmt mit steigender Vegetationsdichte und –höhe bei gleichbleibender Transektlänge ab.
4. Anteil der Kollisionsopfer innerhalb des abgesuchten Radius um die WEA: Um die Suche nach Kadavern effizient zu gestalten, kann nur ein bestimmter Radius um WEA abgesucht werden. Kollisionsopfer können jedoch auch außerhalb dieses Radius zu Boden fallen.

So haben Experimente mit ausgelegten Kadavern gezeigt, dass ca. 20 bis 30 % der ausgelegten Kadaver innerhalb von einem Tag durch Beutegreifer verschwinden und ca. 20 % bei der Suche übersehen werden. Die Erhebung dieser Parameter zeigt also, dass die Erfassung eines jeden Kollisionsopfers an einer WEA nicht möglich ist (Niermann et al. 2011; Behr et al. 2015). Die Totfundzahlen aus regelmäßigen, an vielen WEA wiederholten Kollisionsopfersuchen und die oben beschriebenen Parameter könnten anschließend in einem statistischem Modell zu einer art(gruppen)spezifischen Kollisionsrate pro WEA oder absoluten Zahlen der Kollisionsopfer hochgerechnet werden (Huso 2011; Korner-Nievergelt et al. 2011; Korner-Nievergelt et al. 2013). Ein erster Schritt zur Abschätzung der Auswirkung der Individuenverluste auf die Population einer Art ist die Hochrechnung der Kollisionsopfer von den untersuchten Anlagen einer Region auf alle Anlagen einer Region. Die Erhebung der Schlagopfer an allen bestehenden WEA kann dagegen aufgrund des enormen Arbeitsaufwandes nicht empfohlen werden. Laut EUROBATS sollten Kollisionsopfer innerhalb der gesamten

Aktivitätsphase der Fledermäuse von April bis Oktober gesucht werden. Die WEA sollte außerdem jeden zweiten Tag kontrolliert werden (Rodrigues et al. 2016). Eine Person kann dabei an einem Tag nur wenige Anlagen absuchen (Grünkorn et al. 2005). Deshalb sind Hochrechnungen basierend auf Kollisionsraten, wie sie für die USA in Frick et al. (2017) oder für Deutschland in Voigt et al. (2015) und Behr et al. (2018b) durchgeführt wurden, die einzig sinnvolle Möglichkeit, die absoluten Zahlen der Kollisionen von Fledermäusen auf der Bundesebene abzuschätzen (May et al. 2019). Ob die Individuenverluste über längere Zeit zu einem negativen Populationstrend führen und von naturschutzfachlicher Bedeutung sind, hängt zudem von der Populationsbiologie der jeweiligen Art ab. Deshalb wären die folgenden Daten notwendig, um mögliche Beeinträchtigungen auf die Populationen der kollisionsempfindlichen Fledermausarten in Deutschland abzuschätzen:

1. Verlässliche Angaben zu Bestandsgröße und Verbreitung der Art
2. Verlässliche, regional aufgelöste Schätzungen zu den Schlagopferzahlen der Art
3. Kenngrößen der Populationsbiologie der Art (Überlebens- und Reproduktionsraten nach Altersklassen)
4. Standorte von WEA

Mit regional aufgelösten Schlagopferzahlen und den Angaben zu Bestandsgröße und Verbreitung ließe sich herleiten, wieviele Individuen einer Art wo kollidieren und wie diese Zahl der Kollisionsopfer im Verhältnis zur Bestandsgröße steht. Behr et al. (2018b) haben die Schätzungen aus Voigt et al. (2015) mit den Häufigkeiten aus LfU (2018) auf einzelne Arten übertragen. Demnach kollidieren jährlich ca. 100.000 *N. noctula*, 84.000 *P. nathusii*, 60.000 *P. pipistrellus* und 18.000 *N. leisleri*. Dies sind jedoch nur schwer zu interpretierende Größenordnungen. Dies wären jährlich ca. 10 % des Populationsbestandes von *N. noctula*, ca. 7 % von *N. leisleri* und weniger als 1 % von *P. pipistrellus*. Für weitere Arten sind keine Populationsschätzungen vorhanden, diese sind zu ungenau oder schwer anzuwenden, da ein großer Anteil von Durch- und Zuzüglern besteht (*P. nathusii*) (Korner und Nagy 2018; Korner-Nievergelt et al. 2018).

Entscheidend ist jedoch, ob der jährliche Verlust der oben aufgeführten Individuenzahl durch die Reproduktion ausgeglichen werden kann. Korner-Nievergelt et al. (2018) haben dies mithilfe populationsbiologischer Modelle versucht abzuschätzen. Die Unsicherheit war für Fledermäuse jedoch höher als für ähnliche Berechnungen mit Vogelpopulationen. Denn wie in den Abschnitten „Druck“ und „Zustand“ erläutert, mangelt es an verlässlichen Zahlen der Populationsgrößen (Dietz et al. 2016b; Korner und Nagy 2018). Besser ist der Kenntnisstand über populationsbiologische Parameter. Jedoch variieren auch die Angaben zu den Überlebensraten in der Literatur (Korner und Nagy 2018). Deshalb wurden die Modellierungen in Korner-Nievergelt et al. (2018) mit vielen unterschiedlichen Szenarien, in denen Überlebens- und Reproduktionsraten sowie die Populationsgröße variierten, durchgeführt. Dabei stellten die Autoren aber den Bereich der Überlebens- und Reproduktionsraten dar, welcher nach der Literaturrecherche am wahrscheinlichsten ist. Die Ergebnisgrafiken geben Auskunft, welche Kombination populationsbiologischer Parameter bei einer bestimmten Populationsgröße notwendig wäre, um die Zahl der jährlichen Kollisionsopfer wie oben dargestellt auszugleichen. Und ob diese notwendige Kombination der populationsbiologischen Parameter bei einer bestimmten Populationsgröße noch in dem der Literatur nach wahrscheinlichen Bereich liegt.

So folgern die AutorInnen, „dass eine substanzielle Beeinträchtigung der gesamtdeutschen Populationen des Großen Abendseglers und des Kleinen Abendseglers durch die Schlagopferverluste an WEA nicht ausgeschlossen werden kann“ während eine Beeinträchtigung der



deutschen Population der Zwergfledermaus derzeit eher unwahrscheinlich erscheine (Korner-Nievergelt et al. 2018). Zudem betonen Korner-Nievergelt et al. (2018), dass für die Anwendung der Methode auf weitere kollisionsempfindliche Arten die Verbesserung des Wissens um populationsbiologischen Parameter und der Populationsgrößen weiterhin notwendig ist.

Denn wie in den Abschnitten „Druck“ und „Zustand“ erläutert, mangelt es jedoch an verlässlichen Zahlen zur Populationsgrößen und Schlagopferzahlen. Die bisherigen Schätzungen der Populationsgrößen reichen nicht aus, um negative Einflüsse der WEA abzubilden (Dietz et al. 2016b). Dabei geben diese die Spannbreiten der Parameter aus einer Vielzahl von Studien wieder. Dies würde perspektivisch die Möglichkeit eröffnen, Populationsmodelle mit unterschiedlichen populationsbiologischen Szenarien zu berechnen. Damit die Auswirkungen der Kollision an WEA besser verstanden werden können, ist es deswegen dringend notwendig, das Bestandsmonitoring der Fledermausarten in Deutschland maßgeblich zu verbessern.

Fledermäuse können weitere anthropogene Mortalität erleiden (Bernotat und Dierschke 2016) und durch Habitatveränderungen sowie -verlust und die Verschlechterung der Nahrungsverfügbarkeit beeinträchtigt werden (Dietz et al. 2016b). Jedoch sind die zusätzlichen Individuenverluste durch Kollisionen bei einem negativen Populationstrend als eine weitere Beeinträchtigung des Erhaltungszustandes zu verstehen. Wenn die Modellierungen zeigen, dass bereits die Individuenverluste durch Kollisionen mit WEA einen Bestandsrückgang wahrscheinlich erscheinen lassen, so sind die weiteren möglichen Beeinträchtigungen für die Auswirkungen von Kollisionen erst einmal unerheblich.

Für eine bundesweite Abschätzung der Auswirkungen von Individuenverlusten durch Kollisionen mit WEA auf der Populationsebene ist also die Kombination der Hochrechnung von Schlagopfern, ausgehend von einer ausreichend großen Stichprobe von Schlagopfersuchen, mit populationsbiologischen Modellen nach derzeitigem Wissensstand die einzig empfehlenswerte Methode. Andere Herangehensweisen liefern wie oben erläutert dagegen keine Aussagen über die Auswirkungen auf Populationsebene. So heißt es in Carrete et al. (2009, S. 2959): „In diesem Sinne sind demografische Modelle mit spezifischen Merkmalen der Lebensgeschichte die einzigen wertvollen Instrumente, um die tatsächlichen Auswirkungen von Windparks auf die Fauna richtig zu untersuchen, wobei alle anderen Versuche vergebliche Spekulationen sind, denen übereinstimmende [wissenschaftliche] Unterstützung fehlt“. Auch May et al. (2019) heben hervor, dass zur Abschätzung der Auswirkungen von Individuenverlusten auf der Populationsebene die unterschiedlichen populationsbiologischen Parameter wie Überlebens-, Reproduktions- und die daraus resultierenden Wachstumsraten notwendig sind, um zu einem verbesserten Verständnis der komplexen Interaktionen zwischen Tierwelt und Windenergie zu gelangen. Eine systematische Erfassung der unbeabsichtigten Tötungen von Fledermäusen ist außerdem eine Forderung der FFH-RL (Art. 12 Abs. 4 FFH-RL), um zu überprüfen, ob die Tötungen den Erhaltungszustand beeinträchtigen können (Lindemann et al. 2018).

## **Reaktion**

Fledermäuse lassen sich durch andere Ultraschallquellen in ihrem Jagdverhalten beeinflussen und von diesen abbringen (Arnett et al. 2013). Deshalb wurde in einer zweijährigen Studie in Pennsylvania, USA ermittelt, ob Ultraschallgeräte genutzt werden können, um Fledermäuse von WEA abzuschrecken, in dem die Wahrnehmung von Echos durch diese Emissionen überlagert wird. Die Anzahl geschätzter Kollisionsopfer verringerte sich um ca. 40 %, jedoch wiesen die Anlagen mit Ultraschallemittern bereits zuvor weniger Kollisionsopfer

auf, während die Verringerung im Bereich der Varianz zwischen den Einzelanlagen lag. Ultraschallemissionen können also die Kollisionsoffer begrenzen, die Größenordnung scheint allerdings erhalten zu bleiben. Die Ultraschallemissionen reichen je nach Frequenzbereich und Luftfeuchtigkeit jedoch nur 5 m bis 20 m und decken somit nicht den ganzen Rotorbereich ab (Arnett et al. 2013). Da Fledermausaktivität und somit auch Kollisionsereignisse nur unter bestimmten Wetterbedingungen stattfindet (milde Temperaturen, geringe Windgeschwindigkeiten, geringe Niederschläge), gab es bereits vor einigen Jahren erste Versuche, den Betrieb von WEA dem Kollisionsrisiko anzupassen. Dies waren zuerst nicht weiter zu steuernde Abschaltungen bei Windgeschwindigkeiten unterhalb einer gewissen Geschwindigkeit (5,5 m/s) und einer zusätzlichen Verringerung der Drehgeschwindigkeit durch die Veränderung des Anstellwinkels der Rotorblätter. Die geschätzten Kollisionsoffer wurden hierbei um ca. 50 % verringert. Durch diese pauschale Abschaltung wurde jedoch auch die Drehzeit um 42 % verringert. Da eine solche Abschaltung die Kollisionsoffer nicht um ein gewünschtes Maß verringern, wurden die großen Forschungsprojekte RENEBAT I (Brinkmann et al. 2011a), II (Behr et al. 2015) und III (Behr et al. 2018b) initiiert. In RENEBAT I wurden mittels Gondelmonitoring an 72 Anlagen in 36 Windparks in ganz Deutschland die Aktivitäten der Fledermäuse in Nabenhöhe gemessen. An den Anlagen wurde die tatsächliche Fledermausaktivität als Anzahl der Rufe in Nabenhöhe mittels akustischer Erfassung (Gondelmonitoring) erhoben. Die Aktivität konnte dabei direkt in Bezug zu Windgeschwindigkeiten, Temperaturen und Niederschlagswerten gesetzt werden. Ebenso wurde die Anzahl der Totfunde um die jeweilige Anlage erfasst. Die Totfunde wurden zusammen mit Daten zur Verbleibewahrscheinlichkeit, zur Sucheffizienz und dem Anteil der Kollisionsoffer im Suchradius erhoben. Mit diesen Daten wurden in Korner-Nievergelt et al. (2013) (eine Publikation im Rahmen von RENEBAT I) zwei unterschiedliche statistische Modelle mit der gleichen Ergebnisvariable der Kollisionsoffer berechnet:

1. Kollisionsoffer abhängig von Fledermausaktivität (Gondelmonitoring), Monat, Nachtzeit und Windgeschwindigkeit
2. Kollisionsoffer abhängig von Totfunden und Verbleibewahrscheinlichkeit, Sucheffizienz und dem Anteil der Kollisionsoffer im Suchradius

Korner-Nievergelt et al. (2013) fanden nun heraus, welche Kombination der Parameter im ersten Modell Ergebnisse liefert, die vergleichbar denen des zweiten Modelles sind. Nach dieser Kalibrierung ist das erste Modell in der Lage, die Anzahl der Kollisionsoffer an einer WEA ohne weitere Totfunde vorherzusagen, wenn für diese WEA bereits Aktivitäts- und Windmessungen vorliegen. Dieses Modell ist in Behr et al. (2011b) die Grundlage für einen Algorithmus welcher WEA bei einer bestimmten Kombination aus Windgeschwindigkeit, Nachtzeit und Monat abschaltet, um die Mortalität auf ein zuvor festgelegtes Maß zu begrenzen. Die genaue Kombination von Windgeschwindigkeit, Nachtzeit und Monat bewirkt zudem, dass die Abschaltzeiten und somit die Ertragseinbußen ebenso minimiert werden. In Behr et al. (2015) wurde die Effizienz dieser Algorithmen an 16 bereits in RENEBAT I untersuchter Anlagen überprüft. Basierend auf den Schlagopfersuchen kollidierten durchschnittlich 0,064 Tiere pro Nacht und Anlage im Normalbetrieb im Gegensatz zu 0,01 Tieren im fledermausfreundlichen Betrieb. Dies entspricht einer Reduktion der Kollisionen um ca. 85 %. Solche Abschaltalgorithmen sind also eine effektive Maßnahme zur Minderung des Konfliktes. Deshalb wird als Indikator der Anteil der WEA mit Abschaltalgorithmen zur Beschreibung der gesellschaftlichen Anstrengungen zur Minimierung des Konfliktes vorgeschlagen:

$$\text{Reaktion} = N(\text{WEA}_{\text{alg}}) / N(\text{WEA})$$

wobei

1. WEA die Anzahl aller installierten Windenergieanlagen in Deutschland ist und
2. WEA<sub>alg</sub> solche mit Abschaltalgorithmen.

Die Implementierung eines Abschaltalgorithmus kann durch die zuständige Behörde im Rahmen des BImSchG-Verfahrens als Auflage zur Genehmigung eines Windenergieprojektes erteilt werden. Fritze et al. (2018) haben eine ExpertInnenbefragung zur Thematik Fledermausschutz in der Planung von WEA von BehördenmitarbeiterInnen und FachgutachterInnen durchgeführt. Die Befragung soll abschätzen, wie oft Abschaltalgorithmen von GutachterInnen empfohlen, von den beteiligten Behörden als Auflage erteilt und wie diese von den WEA-BetreiberInnen umgesetzt werden. Zudem haben die AutorInnen abgefragt, ob die Teilnehmenden wisse „wo sie Informationen bezüglich der Anzahl der WEA, die in ihrem Umfeld unter Auflagen betrieben werden, finden können“. Ca. 70 % der teilnehmenden BehördenvertreterInnen beantworteten diese Frage mit ja, dagegen nur ca. 30 % der FachgutachterInnen. Viele BehördenvertreterInnen gaben dabei mehrere Ansprechstellen für Informationen bezüglich der Anzahl der WEA mit Abschaltalgorithmen in ihrem Umfeld an. Im 2019 etablierten Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur müssen WEA-BetreiberInnen auch mit „Ja/Nein“ angeben, ob für die WEA „Auflagen Abschaltungen/Leistungsbegrenzungen“ bestehen. Diese Angabe liefert jedoch keine Aussage, ob Auflagen zum Fledermausschutz bestehen, und wie diese ausgestaltet sind. Genauere Daten sind sicherlich, wie in Fritze et al. (2018) angedeutet, bei den zuständigen Genehmigungsbehörden vorhanden. Die Standortdaten der WEA wiederum wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens von den übergeordneten Landesumweltämtern als Datenhalter ermittelt und können zudem in Zukunft aus dem MaStR übernommen werden (siehe Abschnitt 2.2.2.4).

Die Windenergieerlasse der Bundesländer enthalten Vorgaben zur Vereinheitlichung und Qualitätssicherung der artenschutzrechtlichen Gutachten, der vorgelagerten Standortplanung und dem kompensierenden bzw. minimierenden Maßnahmen des Arten- und Naturschutzes. Solche Handreichungen können auch Regelungen zu Abschaltalgorithmen vorsehen. Reinhard und Brinkmann (2018) haben die Berücksichtigung von zeitlichen Einschränkungen des Betriebs von WEA, dem betriebsbegleitendem Gondelmonitoring und der Implementierung von Abschaltalgorithmen in den Erlassen mit dem Stichdatum 15. August 2016 untersucht. Dabei seien zu diesem Zeitpunkt einige Erlasse veraltet gewesen und entsprächen nicht dem Stand der Wissenschaft. Drei Flächenländer hätten noch keinen Windenergieerlass veröffentlicht (Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt). Bedeutend sind auch die Bedingungen, die in den Erlassen an die Beauftragung von Abschaltungen gestellt werden. Während z. B. in Thüringen jede neue Anlage mit Abschaltalgorithmen installiert werden soll, stellen andere Bundesländer spezifischere Bedingungen an den Nachweis von kollisionsempfindlichen Fledermausarten. So sind im Rahmen der Gutachten Abschaltalgorithmen zu beauftragen. Somit deutet sich an, dass auch nach der fachlichen Etablierung von Abschaltalgorithmen nicht zwangsläufig jede Anlage mit einem solchen betrieben wird. Die Befragung von BehördenvertreterInnen und FachgutachterInnen von Fritze et al. (2018) bestätigt diese These. So werden der Befragung nach in weniger als 50 % der Gutachten überhaupt Abschaltungen empfohlen bzw. in weniger als 50 % der Genehmigungen die Abschaltungen beauftragt (Fritze et al. 2018). Da sich die Berücksichtigung des Fledermausschutzes in der Planung von WEA ebenso wie die Entwicklung von standortspezifischen Abschaltalgorithmen erst in jüngerer Zeit etabliert hat, dürften jedoch selbst in Bundesländern, welche nach derzeitigem Stand Abschaltalgorithmen (unter Bedingungen) vorschreiben, noch viele Anlagen früheren Errichtungsdatums ohne Algorithmen in Betrieb sein. Bisher wurden vor Implementierung von standortspezifischen Abschaltalgorithmen meist pauschale

Abschaltungen für ein bis Jahre beauftragt. In diesem Zeitraum wurde dann meist ein Gondelmonitoring zur Kalibrierung der Abschaltalgorithmen betrieben. Denn somit können die Abschaltzeiten reduziert werden (Fritze et al. 2018; Lindemann et al. 2018; Reinhard und Brinkmann 2018). Es stellt sich außerdem die Frage, ob der Anteil der zugebauten Anlagen mit Abschaltalgorithmen wieder abnimmt. Denn laut einem Gerichtsurteil des OVG-Magdeburg (2013) darf ein betriebsbegleitendes Gondelmonitoring nicht dazu dienen, die Erfassungsdefizite des Gutachtens auszugleichen (Fritze et al. 2018). Die Beurteilung des Tötungsrisikos von Fledermäusen vor dem Bau der WEA ist jedoch meistens aufgrund der Attraktionswirkung der Anlage, den zeitlichen und räumlichen Variationen der Aktivität (Behr et al. 2018a), und der meist in Bodennähe stattfindenden Erfassung nur eingeschränkt möglich (Fritze et al. 2018).

Aufgrund dessen besteht ein großer Bedarf, die Anzahl der Anlagen mit Abschaltalgorithmen genau zu quantifizieren, um einerseits den wahrscheinlich auch weiterhin bestehenden Bedarf eines effektiven Fledermausschutzes aufzuzeigen und andererseits die Abschätzungen der Auswirkungen (siehe hierzu Abschnitt „Auswirkung“) zu verbessern.

Von großer Bedeutung sind auch die Schwellenwerte der tolerierten Kollisionsopfer, welche sich zwischen den Erlassen unterscheiden. Dabei übernehmen die meisten Erlasse den Wert von zwei tolerierten Tötungen pro Jahr und Anlage, welcher in RENEBA II zur Überprüfung der Wirksamkeit der Abschaltalgorithmen genutzt wurde. Sowohl Lindemann et al. (2018) als auch Reinhard und Brinkmann (2018) betonen jedoch, dass dieser Schwellenwert keine populationsbiologische Grundlage hat. Lindemann et al. (2018) argumentieren außerdem, dass mit der bewussten Inkaufnahme von zwei Tötungen das individuenbezogene Tötungsverbot verletzt werde. Deswegen plädieren diese für niedrigere Schwellenwerte, welche sich auf ganze Windparks oder Regionen beziehen und für einzelne Arten gelten (Lindemann et al. 2018). Die Autoren kritisieren außerdem, dass relative Schwellenwerte noch an einer Vielzahl von WEA implementiert sind (Lindemann et al. 2018). Im Gegensatz zu absoluten Schwellenwerten (s. o.) die meist zwischen ein und zwei pro Jahr liegen, wird ein bestimmter Prozentsatz von Kollisionsopfern gegenüber des Zustandes ohne Implementierung von Abschaltungen toleriert. Hierbei können jedoch, besonders an Anlagen mit hoher Aktivität, zu hohe absolute Werte der resultierenden Kollisionsopfer der Fall sein. Dies könne die lokalen Populationen beeinträchtigen und zudem im Widerspruch zum individuenbezogenen Tötungsverbot stehen (Lindemann et al. 2018).

Der Fledermausschutz in der Planung von WEA hat sich erst in den letzten 10 bis 15 Jahren etabliert. Eine hohe Zahl von Windparks wurde dementsprechend vor der Etablierung von Abschaltungen errichtet. Nach 20 Jahren Laufzeit findet oftmals ein Repowering von Windparks statt. Die höheren WEA mit größerem Rotordurchmesser stellen wahrscheinlich ein größeres Kollisionsrisiko dar (Nagy et al. 2018). Deshalb ist es wichtig zu erfassen, ob im Rahmen des Repowerings in Windparks ohne vorherige Abschaltungen solche implementiert wurden.

Zur Ermittlung der WEA mit Abschaltalgorithmen können verschiedene Herangehensweisen gewählt werden:

1. Bevor unmittelbar nutzbare, leicht verfügbare, zentrale Datensätze über die Implementierung von Abschaltalgorithmen vorliegen, können Anfragen an die Bundesländer bzw. die zuständigen Genehmigungsbehörden gestellt werden. Diese können demzufolge gebeten werden, zeitlich aufgelöste Zahlen zur Implementierung von Abschaltalgorithmen und deren Ausgestaltung zusammenzutragen und z. B. dem BfN zur Verfügung zu stellen.

2. Die Koordinaten und Parameter der WEA wurden im EE-Monitor Forschungsvorhaben aus den Landesumweltämtern zusammengetragen. In Zukunft sollen diese zentral und frei verfügbar von der BNetzA verwaltet werden. Für eine Verstärkung des Monitorings und eine besser umsetzbare, genauere Erhebung des Indikators empfiehlt es sich, dass Anlagenbetreiber zusätzlich melden, ob Abschaltalgorithmen an der WEA implementiert sind, und wie diese gestaltet sind. Ein erster Schritt dazu ist mit der Ja/Nein Angabe „Auflagen Abschaltungen/Leistungsbegrenzungen“, welche sich nicht ausschließlich auf den Fledermausschutz bezieht, getan.
3. Auch wenn im MaStR die Angabe „Auflagen Abschaltungen/Leistungsbegrenzungen“ enthalten ist, so scheint es unserer Auffassung nach empfehlenswert durch genauere Angaben von Genehmigungs- oder übergeordneten Behörden zu eruieren, wie viele dieser Anlagen Abschaltungen zum Fledermausschutz implementiert haben, und wie diese ausgestaltet sind. Denn in der Planungspraxis kommen wie oben erläutert bisher viele verschiedene Arten von Abschaltungen zum Einsatz. Diese werden zudem naturschutzfachlich unterschiedlich bewertet. Dieses können im besten Fall auf den Standort mit akustischem Gondelmonitoring abgestimmte Algorithmen sein, welche Ertragseinbußen minimieren, oder pauschale Abschaltungen zur Nacht in wenigen Monaten, welche nur bestimmte Aktivitätsperioden der Fledermäuse abdecken. Dabei unterscheiden sich auch die im Modell vorzugebenden Schwellenwerte tolerierter Kollisionsopfer pro Jahr (Lindemann et al. 2018; Reinhard und Brinkmann 2018). Deswegen sind Informationen über die Art der Abschaltungen von großer Bedeutung.

### 5.3.2.2 Individuenverluste von Vögeln durch Kollision mit der Windenergieanlage (vor allem mit den sich drehenden Rotorblättern)

Gunnar Oehmichen

#### Einleitung

Individuenverluste von Vögeln durch Kollision mit Windenergieanlagen (WEA, vor allem mit den sich drehenden Rotorblättern) ist nach der durchgeführten Expertenbefragung der zweit-relevanteste Konflikt (Abschnitt 5.2). Der Konflikt bezieht sich dabei aufgrund des Rahmens des Forschungsvorhabens ausschließlich auf Onshore Anlagen.

Bernotat und Dierschke (2016) haben die in Deutschland vorkommenden Arten hinsichtlich ihres Kollisionsrisikos an WEA in 5 Klassen eingeordnet (sehr gering bis sehr hoch). Arten mit hohem und sehr hohem Kollisionsrisiko (im Folgenden kollisionsempfindlich) sind fast ausschließlich große oder sehr große Vögel, welche zur Nahrungssuche in weiten Aktionsräumen fliegen und deswegen hohe Flugzeiten aufweisen (Greifvögel, Störche, Großmöwen). So haben z. B. beide Milan-Arten ein sehr hohes Kollisionsrisiko ebenso wie alle in Deutschland brütenden Adlerarten (Stein-, Schrei-, See-, Fischadler). Unter den Arten mit mittlerer Kollisionsgefährdung sind die meisten Regenpfeiferartigen (Charadriiformes: Schnepfenvögel, Regenpfeifer, Seeschwalben, Möwen), Raufußhühner (Tetraoninae), Sperber und Habicht, Ringeltauben, Graureiher, Feldlerchen und weitere Arten zu finden. Wie im Abschnitt zum potenziellen Auswirkungsindikator („Auswirkung“) genauer erläutert wird, unterscheiden sich die Arten neben dem Kollisionsrisiko jedoch in der jeweiligen Gefährdung, die aus diesen Individuenverlusten resultiert.

Viele Studien haben die Kollisionsraten mittels Suchen nach Totfunden und der statistischen Schätzung an einzelnen WEA genauer untersucht. Die ermittelten Artenspektren und die Kollisionshäufigkeiten unterscheiden sich dabei zwischen den Studien und ihren Untersuchungsräumen enorm (Krijgsveld et al. 2009; LfU 2018; Grünkorn et al. 2016; Welcker et al. 2016; Rees 2012; Aschwanden und Liechti 2016). So ermittelten Grünkorn et al. (2016) im norddeutschen, teilweise küstennahen Projektgebiet vor allem Kollisionen von Stockente, Ringeltaube, Mäusebussard, Lachmöwe, Star, Kiebitz, Goldregenpfeifer und Feldlerche. Im Schweizer Jura wurden dagegen während des Herbstzuges hauptsächlich Singvögel gefunden, mehr als 50 % aller Totfunde entfielen auf Goldhähnchen (*Regulus spec.*) (Aschwanden und Liechti 2016). Eine weitere Studie auf Fehmarn hat die mit Radar ermittelten Durchflugraten zu Kollisionsraten in Bezug gesetzt. Hier kollidierten hauptsächlich Mehlschwalben, Hering-, Lachmöwen, Rauch-, Uferschwalben, Feldsperling, Goldregenpfeifer, Ringeltauben, Stockenten und Silbermöwen (Welcker et al. 2016). Die fünf am häufigsten durch Anflugverluste betroffenen Arten in Deutschland sind nach der Totfundkartei der Vogelschutzwarte Brandenburg, welche seit 2002 geführt wird, dagegen Mäusebussard, Rotmilan, Stockente, Ringeltaube und Lachmöwe (LfU 2018). Da ein Teil der Meldungen jedoch auf Zufallsfunden beruht, sind große, auffällige Arten in der Kartei eventuell etwas überrepräsentiert.

Zahlen über das tatsächliche Ausmaß der Kollisionen pro WEA und Jahr bewegen sich in einem weiten Bereich. Hötcker et al. (2005) zitieren in ihrer Metaanalyse Zahlen zwischen 0 und 60 Individuen. In der oben erwähnten Studie auf Fehmarn kollidierten in 3,5 Monaten ca. 4,1 Individuen pro WEA (Welcker et al. 2016). Im schweizerischen Jura ergaben die Hochrechnungen Kollisionen von im Mittel 21 Schlagopfern pro WEA pro Jahr (Aschwanden und Liechti 2016). Der Großteil der Kollisionen wurde im Frühjahr und im Herbst zu Zeiten erhöhten Zug- und Rastaufkommens ermittelt (Aschwanden und Liechti 2016; Grünkorn et al. 2016). Die Suche nach Kollisionsoffern ist auf landwirtschaftlich genutzten Flächen aber besonders im Sommer aufgrund hoher Vegetation erschwert oder sogar unmöglich (Grünkorn

et al. 2016). PROGRESS war zum Zeitpunkt des Erscheinens mit 837 untersuchten WEA aus 46 Windparks in ganz Norddeutschland (Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Brandenburg) die größte Studie, welche die Anzahl von Kollisionsopfern auf Basis von Totfundsuchen schätzt. Dennoch konnte die Anzahl der Kollisionsopfer in Norddeutschland pro Jahr nur für Stockenten, Ringeltauben und Mäusebussarde berechnet werden. Denn die modellgestützte Extrapolation von Kollisionsopfern auf alle WEA einer Region erfordert abhängig von der Anzahl der untersuchten WEA eine Mindestzahl gefundener Kollisionsopfer pro Art (Grünkorn et al. 2016). So sind Kollisionen und der Nachweis durch Totfunde ein statistisch seltenes Ereignis. Dies kann die Extrapolation seltenerer oder mittelhäufiger Arten im jeweiligen Projektgebiet erschweren. So schätzen die Autoren, dass pro Jahr 8.500 Mäusebussarde, 11.300 Ringeltauben und 13.000 Stockenten mit WEA in Norddeutschland kollidieren und sterben. Dies sind ca. 7 %, 0,5 % bzw. 5 % des norddeutschen Gesamtbestandes. Bellebaum et al. (2013) haben beispielsweise aus den Zufallsfunden von Rotmilanen in Brandenburg errechnet, dass dort jährlich 300 Individuen, also 3 % der Brandenburger Population mit WEA kollidieren.

Die Anzahl der Kollisionen an einer WEA wird von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst. So ist die Kollisionsrate abhängig von den Anlagenparametern, dem Standort, der Witterung und der vorkommenden Avifauna. Rasran und Dürr (2017) analysierten die Totfunde der Jahre 1998-2008 aus der Kartei der VSW Brandenburg. Der Großteil der Funde wurde im Zusammenhang mit mittleren Windgeschwindigkeiten gemeldet. Bei niedrigeren Windgeschwindigkeiten sind die Anlagen abgeschaltet, während höhere Windgeschwindigkeiten den Flug der betroffenen Arten erschweren. Die Kollisionen ereigneten sich zudem häufiger an größeren Anlagen, welche unter den Totfunden überrepräsentiert waren.

Bedeutend für die Kollisionsrate ist auch die relative Lage der WEA im Windpark. Einzelstehende WEA bzw. solche welche am Windpark außen stehen, haben höhere Kollisionsraten als WEA im Zentrum des Windparks (Rasran und Dürr 2017). Simulationen der Bewegung von Rotmilanen unterstützen diese These. Wenn die gleiche Anzahl von Einzelanlagen in wenigen Windparks steht, so sinkt die Kollisionswahrscheinlichkeit gegenüber Szenarien mit der gleichen Anzahl weit verteilter Einzelanlagen (Schaub 2012).

Greifvögel, Störche, Großmöwen und Geier müssen, um Höhe zu gewinnen, Thermiken über erwärmten Oberflächen oder Aufwinde nutzen. Dieses passive Segeln benötigt Zeit bei eingeschränkter Manövrierfähigkeit. Eine wichtige Größe zur Beschreibung der Kollisionsempfindlichkeit ist dabei die Flächenbelastung der Flügel. Diese nimmt mit dem Gewicht pro Flügelfläche zu. Je höher diese ist, umso stärker ist die Art auf Thermiken und Aufwinde angewiesen (Marques et al. 2014; Janss 2000). Bei vielen kollisionsgefährdeten Arten ist außerdem die Wahrnehmungsfähigkeit gegenüber vertikalen Strukturen während des Fluges eingeschränkt. So richten Greifvögel während der fliegenden Nahrungssuche den Blick gen Boden um Beute zu erblicken (Marques et al. 2014). Zudem unterscheidet sich das Meideverhalten gegenüber Windparks und Einzelanlagen zwischen Artengruppen enorm. So umfliegen Kranichschwärme bei ausreichender Sicht Windparks weiträumig. Gänse zeigen ein eher kleinräumiges Meideverhalten während des Fluges. Greifvögel dagegen zeigen gegenüber Windparks oder Einzelanlagen kein Meideverhalten (Grünkorn et al. 2016).

Die Intensität des Vogelzuges am Standort einer WEA ist ebenso von großer Bedeutung für das Kollisionsrisiko. Diese Intensität räumlich genau vorherzusagen, ist jedoch schwierig. Lediglich Kraniche (*Grus grus*) folgen auf dem Zug etablierten breiten Zugkorridoren. Die Migration aller anderen Arten im mitteleuropäischem Binnenland folgt dagegen einem Breitfrontzug (Liechti et al. 2013; Gatter 2010; Newton 2010). Dieser verdichtet sich besonders

bei Gegenwind in flachen Tallagen und folgt somit teilweise der Topographie. Radarmessungen haben ergeben, dass das Zugeschehen sich bis in 2.500 m Höhe abspielt. Der Großteil der Individuen zieht jedoch in Höhen < 200 m.

Die Ausprägung der Landschaft um Windparks und WEA ist auch von Bedeutung für die Häufigkeit von Kollisionen. So beeinflussen Topographie in Kombination mit Landnutzung die Entstehung von Thermiken und Aufwinden. Werden WEA an Standorten mit starken Thermiken und Aufwinden bei gleichzeitig hoher Nahrungsverfügbarkeit für segelnde Vögel oder in Verdichtungsräumen des Zuges platziert, so erhöht sich das Kollisionsrisiko stark (Marques et al. 2014). Das Vorkommen einer Art wird durch die Verfügbarkeit von Brut-, Rast- und Nahrungshabitaten grundlegend bestimmt. Deshalb wurde in einigen Studien überprüft, ob Kollisionen durch den Anteil bestimmter Landnutzungstypen und den Abstand zu diesen beeinflusst sind. Diese Annahme bestätigte sich in den Analysen von Rasran und Dürr (2017), welche zeigten, dass sich WEA mit Kollisionen von solchen ohne Kollisionen in dem Anteil und der Entfernung zu bestimmten Landnutzungen unterscheiden. Bose et al. (2018) haben die Todfundkartei, beschränkt auf WEA in Brandenburg, welche standardisiert abgesucht wurden, analysiert. Sie konnten ebenso aufzeigen, dass sich WEA mit Kollisionen von Greifvögeln, Krähen, Lerchen, Tauben und Ammern von solchen ohne Kollisionen unterscheiden. Kollisionen fanden demnach vermehrt über Feldern statt. Zu beachten ist jedoch, dass auf allen Landnutzungen, die der Analyse nach das Kollisionsrisiko vermindern (Wald, Gebüsch), die Suche nach Kollisionsopfern nur sehr eingeschränkt möglich ist. Aussagen über das Kollisionsrisiko über dichter und höher bewachsenen Landnutzungen sind deswegen schwieriger zu treffen. In Grünkorn et al. (2016) ließ sich dagegen kein eindeutiger Einfluss der Landschaftskonfiguration auf die Kollisionshäufigkeit nachweisen. Stattdessen waren Kollisionen in Küstennähe 3-5 mal häufiger als im Binnenland. Die Ausprägung der in solche Analysen eingehenden Landnutzungstypen in Verbindung mit dem konkreten Artvorkommen ist außerdem über das Jahr hinweg nicht statisch. Unterschiedliche Feldfrüchte haben jeweils eine spezielle Phänologie, Bearbeitungsintensitäten sowie Erntezeiträume. Ebenso unterscheiden sich die Mahdtermine des Grünlandes abhängig von der Intensität der Nutzung und dem Naturraum. Diese Muster und Abfolgen der Landnutzung sind besonders für das lokale Auftreten von Greifvögeln und Störchen bedeutend (Hötker et al. 2017). Diese können ihre Beute nur dann auffinden, wenn die Vegetation nicht zu hoch und zu dicht ist. Mahd, Ernte und Bodenbearbeitung führen außerdem zu einer wenige Tage andauernden erhöhten Verfügbarkeit der Beute, da Mäuse, Regenwürmer und andere Beutetiere aufgescheucht oder durch die Arbeiten getötet werden. Somit ist die Beuteverfügbarkeit über das Jahr großen Schwankungen in Abhängigkeit der spezifischen Landnutzung unterworfen. Aufgrund der Fruchtfolge auf Ackerflächen unterscheidet sich die Beuteverfügbarkeit zudem zwischen den Jahren sehr stark. Diese variablen Verläufe der Beuteverfügbarkeit bedingen eine sehr große Variation der Aufenthaltsdauer von z. B. Rotmilanen über Nahrungsflächen. Diese Variabilität erschwert somit die Möglichkeit, den Typ der Landnutzung pauschal in Bezug zur Kollisionswahrscheinlichkeit zu setzen (Mammen et al. 2017; LAG VSW 2017).

Die Kollisionen von Vögeln an WEA sind demnach mit vielen Studien gut untersucht. Die Studien identifizieren eine Vielzahl von Faktoren (Standort, Witterung, Topographie, Anlagenparameter) die das Kollisionsrisiko beeinflussen. Dies stellt sowohl die Herleitung der Monitoringansätze als auch den Umgang mit den art- und standortabhängigen Kollisionsrisiken beim Ausbau der Windenergienutzung vor Herausforderungen. Das betroffene Artenspektrum ist dagegen bekannt und umfasst besonders große Vögel mit großen Aktionsräumen und hohen Flugzeiten, welche WEA nur eingeschränkt wahrnehmen.

## **Treiber**



Treiber des Konfliktes ist das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). Dieses legt den Anteil der erneuerbaren Energien am Strommarkt fest in Form von Mindestzielen, bzw. Mindest- und Maximalzielen. Die Umsetzung des EEG durch die Etablierung von Strom aus WEA auf dem Strommarkt bedingt also die Ausprägung des Konfliktes. Zu messen wären dementsprechend: **die Ausbauziele des EEG in Prozent und ferner die konkreten Ausbaukorridore (Ausschreibemengen und Sonderausschreibungen, die im EEG festgelegt sind).**

## Druck

Die Druckindikatoren sollen im Projekt quantifizieren, wie die Technologie unter Berücksichtigung des Wirkzusammenhangs in einem jeweils sinnvollen räumlichen Bezug zum Schutzgegenstand steht. Kollisionen wurden vermehrt im Frühjahr und Frühsommer sowie im Herbst registriert (Grünkorn et al. 2016; Aschwanden und Liechti 2016). Dies sind die Zeiträume des Frühjahrzuges, der Revierbesetzung und Brutpflege sowie des Herbstzuges. Der Frühjahr- und Herbstzug lässt sich räumlich nur schwer eingrenzen und verdichtet sich abhängig von der Topographie und der Witterung. Für Deutschland liegen jedoch noch keine hinreichenden Daten zur räumlich aufgelösten Quantifizierung der Zugintensität vor. Lediglich Kraniche (*Grus grus*) folgen auf dem Zug etablierten, breiten Zugkorridoren. Zusätzlich folgen bestimmte Regenpfeiferartige auf ihrem Zug den Küstenlinien (Westpaläarktisches Zugsystem) (Bairlein et al. 2014).

Während des Zeitraumes der Revierbesetzung, der Brut und der Brutpflege bewegen sich verpaarte Vögel dagegen hauptsächlich in einem relativ engen Bereich um den Neststandort. Die Größe solcher Aktionsräume ist die Grundlage für die „Abstandsempfehlungen für Windenergieanlagen zu bedeutsamen Vogellebensräumen sowie Brutplätzen ausgewählter Vogelarten“ (Helgoländer Papier) der LAG VSW (2015). Diese liegen zwischen 500 m für z. B. Wiesenlimikolen und 6.000 m für den Schreiadler. Die Datengrundlage dieser Empfehlungen sind „[...] artspezifische Telemetriestudien, langjährige Beobachtungsreihen und die aktuelle Einschätzung von Artexperten [...]“. Die Abstandsempfehlungen wurden ursprünglich als Hinweis für die Fachplanung und Erstellung von Gutachten erstellt. Innerhalb dieser Abstände zu Brutvorkommen der aufgeführten Arten sollten demnach keine WEA errichtet werden. Denn innerhalb der empfohlenen Abstände und auf dem Weg zu bzw. in den Nahrungshabitaten ist aufgrund des regelmäßigen Fluges ein erhöhtes Kollisionsrisiko zu erwarten. Da es keine bundesweiten Daten zu Brutplätzen aller Arten gibt, haben Busch et al. (2017) die Abstandsempfehlungen genutzt, um bundesweit die Überschneidung zwischen potenziellen Lebensräumen zur Brutzeit (sogenannte Brutzeitlebensräume) und den artspezifischen Abständen um WEA zu berechnen. Wenn theoretisch ein Brutzeitlebensraum innerhalb des Aktionsradius um eine WEA vorhanden ist, so bedeutet dies im Umkehrschluss, dass die WEA in einer Entfernung zu diesem theoretischen Brutzeitlebensraum liegt, welche von Individuen der jeweiligen Art zur Brutzeit regelmäßig zurückgelegt werden kann. Die Nutzung von artspezifischen Aktionsradien stellt demnach eine sinnvolle Eingrenzung des potenziellen Brutzeitlebensraumes auf Räume potenziell erhöhten Kollisionsrisikos dar.

Der vom Dachverband Deutscher Avifaunisten entwickelte Messwert quantifiziert demnach nicht das Ausmaß der Kollisionen, sondern das Ausmaß des Raumes in dem ein erhöhtes Kollisionsrisiko bestehen kann im Verhältnis zum gesamten Lebensraum der Art zur Brutzeit (sogenanntes Habitatstörungspotenzial). Basierend auf dem Habitatstörungspotenzial kann außerdem geschätzt werden, welcher Anteil der Population der jeweiligen kollisionsempfindlichen Art betroffen ist. Deswegen kann der **potenziell betroffene Populationsanteil je Art** ein sinnvoller Indikator zur Ermittlung des Drucks auf der Bundesebene sein. Dabei ist zu

beachten, dass mit aktualisierten Atlasdaten sich der Wert theoretisch auch ohne eine Veränderung des Anlagenbestandes ändern kann. Ebenso können Änderungen der Landnutzung im großen Maßstab zu Änderungen des Indikatorwertes führen. Dieses gilt es zusammen mit den Zahlen des WEA-Bestandes, dem Populationsbestand und Zusammenfassungen über die Anteile verschiedener Landnutzung bei der Interpretation zu berücksichtigen. Die Vorgehensweise zur Berechnung ist folgendermaßen:

1. Auswahl der Adebar-Datenblätter mit Vorkommen von Brutvogelart *i* (Helgoländer Papier).
2. Pufferung der WEA mit artspezifischen Aktionsradien ( $puffer(WEA)$ , Helgoländer Papier).
3. Verschneidung 1. mit präferierten Brutzeithabitaten als Corine Landnutzungsklassen (nach Busch et al. 2017). Ergebnis: potenzielle Brutzeitlebensräume (pBI) je Art.
4. Je Art: Verschneidung ( $Clip()$ ) der gepufferten WEA (2.) mit den pBI.
5. Je Art: Ermittlung prozentualer Flächenanteile der potenziellen Brutzeitlebensräume, die von den gepufferten WEA überlagert werden:

$$HSP_{i,k,t} = \frac{\text{Fläche} (Clip (puffer_i(WEA_t)_k, pBI_k))}{\text{Fläche} (pBI_k)}$$

Zwischenergebnis 1: Habitatstörungspotenzial der Art *i* in Rasterzelle *k* im Jahr *t* in potenziellen Brutzeitlebensräumen durch WEA je Art und Rasterzelle

6. Habitatstörungspotenzial pro Art *i* für ganz Deutschland im Jahr *t*:

$$HSP_{i,t} = \sum_{k=1}^n HSP_{i,k,t}$$

Summierung von  $HSP_{i,k,t}$  über alle Rasterzellen *k*.

7. Optional: Artübergreifend: Mittelwertbildung der artbezogenen Habitatstörungspotenziale für jede Rasterzelle *k*:

$$\phi(HSP_{k,t}) = \frac{\sum_{i=1}^n HSP_{i,k,t}}{n}$$

Zwischenergebnis 2: Mittleres Habitatstörungspotenzial im Jahr *t* in der Rasterzelle *k* in potenziellen Brutzeitlebensräumen durch WEA.

8. Bei den ermittelten Habitatstörungspotenzialen ist die Größe der Populationen in den jeweiligen Rasterzellen nicht berücksichtigt. Der potenziell betroffene Anteil der Population je Art *i* kann jedoch ein Indikator für den Druck auf die Population sein. Hierzu wird das Habitatstörungspotenzial mit dem geometrischen Mittel der Abundanzklassen (Gedeon et al. 2014) auf Ebene der Rasterzellen multipliziert und für ganz Deutschland aufsummiert (nach Busch et al. (2017)). Die Angabe der Bestandsgröße der Art je TK erfolgt in einer 12-stufigen Häufigkeitsskala (Stufe 9: 401 – 1000 Brutpaare). Die Summierung der Bestandsgröße für ganz Deutschland ist mit den Stufen noch nicht möglich, Deshalb müssen die Werte der unteren und oberen Bestandsgrenze der Häufigkeitsstufe gemittelt werden. Das geometrische Mittel ist im Gegensatz zum arithmetischen Mittel nicht hin zur oberen Bestandsgrenze verzerrt. Je Art *i*:

$$Pop_{i,k,t} = \sqrt[2]{\min(Pop_{i,k,t}) * \max(Pop_{i,k,t})}$$

$$pPop_{i,k,t} = Pop_{i,k,t} * HSP_{i,k,t}$$

$$pPop_{i,t} = \frac{\sum_{k=1}^n pPop_{i,k,t}}{\sum_{k=1}^n Pop_{i,k,t}}$$

- Der für die Beschreibung des Drucks empfohlene Indikator ist somit der **Potenziell betroffene Populationsanteil je Art i im Jahr t ( $pPop_{i,t}$ )**.

Bei den ermittelten Habitatstörungspotenzialen ist die Größe der Populationen in den jeweiligen Rasterzellen nicht berücksichtigt. Deswegen kann der potenziell betroffenen Populationsanteils auch ein Indikator für den Druck der WEA in Lebensräumen kollisionsempfindlicher Vogelarten sein.

Wenn Räume identifiziert werden sollen, in denen sich der potenzielle Brutzeitlebensraum artübergreifend in besonderem Maße mit Aktionsradien um Freileitungen überschneidet, so kann zur kartographischen Darstellung das Mittel des Habitatstörungspotenzial im Jahr t verwendet werden (9.  $\phi(HSP_{k,t})$ ) oder der summierte potenziell beeinträchtigte Lebensraum (10.  $pB_{k,t}$ ). Diese kartographischen Darstellungen können einen Überblick geben und eine genauere Analyse der Habitatstörungspotenziale und beeinflusster Populationsanteile einzelner Arten begleiten. Mit dem Mittel des Habitatstörungspotenzial (9.  $\phi(HSP_{k,t})$ ) lassen sich also Regionen identifizieren, in denen hauptsächlich aufgrund einer hohen Diversität kollisionsempfindlicher Vogelarten deren Lebensraum potenziell besonders beeinträchtigt ist. Die Ergebnisse dieser räumlichen Auswertung ähneln deutlich den Ergebnissen des summierten potenziell beeinträchtigten Lebensraumes (10.  $pB_{k,t}$ ) (Busch et al. 2017). Dies verdeutlicht, dass die Mittelwertbildung (9.  $\phi(HSP_{k,t})$ ) oder die Summation (10.  $pB_{k,t}$ ) die potenzielle Beeinträchtigung einer Vielzahl von Arten in einem Raum zusammenfassen können.

Für eine rückwirkende Betrachtung/Auswertung des Drucks bis zur Gegenwart können die ADEBAR Daten aus dem Kartierzeitraum 2004-2009 genutzt werden, da der ADEBAR der erste Datensatz auf dieser räumlichen Auflösung ist. Eine regelmäßige Aktualisierung der Daten ist jedoch in zeitlichen Intervallen zwischen 4 bis 10 Jahren dauernden Erfassungsperioden, teilweise untersetzt durch genauere Kartierungen auf Ebene der Bundesländer, vorgesehen (Gedeon et al. 2014).

## Zustand

Vögel sind die am besten erfasste Artengruppe in Deutschland. Diese Erfassungen erfolgen in einer Reihe von Monitoringprogrammen. Dies sind das Monitoring häufiger Brutvögel (MhB), das Monitoring seltener Brutvögel (MsB), das Küstenvogelmonitoring, das Monitoring rastender Wasservögel und das Monitoring Greifvögel und Eulen Europas (MEROS). Bis auf MEROS und das Küstenvogelmonitoring werden alle Programme durch den Dachverband Deutscher Avifaunisten (DDA) koordiniert und durch die Bund-Länder Verwaltungsvereinbarung Vogelmonitoring langfristig finanziell unterstützt (Sudfeldt et al. 2012). Die Erfassungen der Monitoringprogramme werden größtenteils durch qualifizierte Ehrenamtliche durchgeführt. Zusammen mit gezielten Kartierungen vieler Arten bilden die Monitoringprogramme die Grundlage für den Atlas Deutscher Brutvogelarten (Gedeon et al. 2014). Dieser enthält zusätzlich Angaben zu Vorkommen und Populationsgröße in allen TK25 Rasterzellen für den Kartierzeitraum 2005-2009, sowie in gröberer Auflösung für das Jahr 1985. All diese Informationen (Verbreitung und Vorkommen, Bestandsentwicklung, Brutbestände) sind einfach abrufbar im Online Portal „Vögel in Deutschland Online“ vom DDA (<https://www.dda-web.de/>) zusammengestellt und fortlaufend aktualisiert. Die in TK25-Feldern aufgelösten Informationen zum lokalen Vorkommen und der lokalen Bestandsgröße sind jedoch nur kostenpflichtig aus dem ADEBAR verfügbar (Gedeon et al. 2014). Deshalb sind aus Vögel Deutschland

Online der **Deutsche Brutbestand und dessen Bestandsentwicklung** aller kollisionsgefährdeter Vogelarten zu entnehmen. Die betroffenen Arten nutzen jedoch sehr unterschiedliche Habitate und unterliegen dementsprechend sehr unterschiedlichen weiteren Beeinträchtigungen, während sich die Bestände in ihren Größenordnungen erheblich unterscheiden. Daher wird empfohlen, nicht den Zustandsindikator über alle Arten zusammenzurechnen. Stattdessen müssten Bestand und Entwicklung für jede Art einzeln beurteilt werden. Obwohl die Bestandsentwicklung nicht ausschließlich durch Individuenverluste an WEA beeinflusst wird und weitere Einflüsse wie Nahrungsmangel, Habitatverlust oder weitere Mortalitätsquellen einen erheblichen Einfluss haben können, ist die Berücksichtigung des Brutbestandes und der Bestandsentwicklung zur Beurteilung des Konfliktes notwendig. Weist z. B. eine kollisionsgefährdete Art bereits eine negative Bestandsentwicklung auf, ist die Erhöhung des Drucks durch die weitere Errichtung von WEA in potenziellen Lebensräumen der Art als problematisch zu beurteilen.

### **Auswirkung**

Individuenverluste durch Kollisionen mit der Anlage können die Populationsgröße einer Art auf der lokalen (Dahl et al. 2013), regionalen (Bastos et al. 2016; Sanz-Aguilar et al. 2015), überregionalen (Bellebaum et al. 2013; Grünkorn et al. 2016) oder nationalen (Carrete et al. 2009) Ebene negativ beeinflussen. Damit das Ausmaß dieser Beeinträchtigung auf der Bundesebene hinreichend genau abgeschätzt werden kann, wäre es empfehlenswert, standardisierte Kollisionsopfersuchen in einer ausreichend großen Stichprobe von Windparks durchzuführen. Solche standardisierten Suchen beinhalten die Messung folgender Parameter:

- Verbleiberate: Welcher Anteil der Kadaver verschwindet in welchem Zeitraum durch Beutegreifer?
- Sucheffizienz: Welcher Anteil der Kadaver wird bei der Suche übersehen? Diese ist abhängig von der Vegetation der abgesuchten Fläche und der Größe der Kadaver.
- Absuchbare Fläche: Welcher Anteil eines bestimmten Radius um die WEA konnte von den Suchtransekten effektiv abgesucht werden. Die abgesuchte Fläche nimmt mit steigender Vegetationsdichte und –höhe bei gleichbleibender Transektlänge ab.
- Anteil der Kollisionsopfer innerhalb des abgesuchten Radius um die WEA: Um die Suche nach Kadavern effizient zu gestalten, kann nur ein bestimmter Radius um WEA abgesucht werden. Kollisionsopfer können jedoch auch außerhalb dieses Radius zu Boden fallen.

Die Totfundzahlen aus regelmäßigen, an vielen WEA wiederholten Kollisionsopfersuchen und die oben beschriebenen Parameter könnten anschließend in einem statistischem Modell zu einer art(gruppen)spezifischen Kollisionsrate pro WEA oder absoluten Zahlen der Kollisionsopfer hochgerechnet werden (Korner-Nievergelt et al. 2013). Ein erster Schritt zur Abschätzung der Auswirkung der Individuenverluste auf die Population einer Art ist die Hochrechnung der Kollisionsopfer von den untersuchten Anlagen einer Region auf alle Anlagen dieser Region. Grünkorn et al. (2016) haben dies wie oben beschrieben für Norddeutschland und die Arten mit ausreichend Kollisionsopfern Mäusebussard, Stockente und Ringeltaube durchgeführt. Die Kollisionsopfer stellen dabei ca. 7 %, 0,5 % und 5 % des Gesamtbestandes im Projektgebiet dar. Dies sind jedoch nur schwer zu interpretierende Größenordnungen. Ob die Individuenverluste über längere Zeit zu einem negativen Populationstrend führen und von naturschutzfachlicher Bedeutung sind, hängt zudem von der Populationsbiologie der jeweiligen Art ab. Mit dem Populationstrend der Art ergeben sich bereits Hinweise auf die Bedeutung der absoluten Zahl der Kollisionsopfer im Verhältnis zur Populationsgröße. So zeigen Grünkorn et al. (2016) auf, dass der Brutbestand des Mäusebussardes in Schleswig-Holstein

seit 2000 um 2/3 abgenommen hat. Die Kollisionen mit WEA müssen nicht zwangsläufig die Hauptursache dieses Rückgangs sein. Jedoch sind die zusätzlichen Individuenverluste durch Kollisionen bei einem negativen Populationstrend als eine weitere, den Status der Art gefährdende Beeinträchtigung zu verstehen.

Mit dem Mortalitäts-Gefährdungs-Index (MGI) des Bundesamts für Naturschutz von Bernotat und Dierschke (2016) wurde eine Arbeitshilfe zu „Übergeordnete[n] Kriterien zur Bewertung der Mortalität wildlebender Tiere im Rahmen von Projekten und Eingriffen“, auch für die Windenergie, erarbeitet. Diese Arbeitshilfe bezieht sich auf verschiedene Anwendungskontexte im Rahmen von naturschutzfachlichen Prüfungen zu Infrastrukturvorhaben, insbesondere aber auf die Operationalisierung des Signifikanz-Ansatzes des BVerwG zum artenschutzrechtlichen Tötungsverbot. Das Ziel ist es, im Zusammenhang mit unvermeidbaren Verlusten von Arten an Infrastrukturvorhaben zu verdeutlichen, bei welchen Arten und Konstellationen tendenziell schon einzelne Individuenverluste als im o. g. Sinne signifikant erhöht zu werten sind und bei welchen Arten dies eher nicht der Fall sein wird. Bernotat und Dierschke (2016) haben hierbei die Einordnung der populationsbiologischen und naturschutzfachlichen Bedeutung von Individuenverlusten durch Kollisionen mit WEA systematisiert und vereinheitlicht. Der in der Arbeitshilfe präsentierte vorhabentypspezifische Mortalitätsgefährdungsindex (vMGI) kombiniert:

- das Kollisionsrisiko von Vogelarten an WEA
- und den Mortalitätsgefährdungsindex (MGI). Dieser ist wiederum eine Kombination aus
  1. der populationsbiologischen Sensitivität, also der Empfindlichkeit der Populationsbiologie gegenüber Individuenverlusten. Diese hängt von der natürlichen Mortalität, der Reproduktion, der Populationsgröße und dem Populationswachstum ab. Langlebige Arten, deren Individuen spät Reproduktion betreiben und nur ein oder wenige Jungtiere pro Jahr großziehen, haben eine hohe Sensitivität.
  2. Dem Naturschutzfachlichen Wert: Dieser berücksichtigt Instrumente des Naturschutzes wie die Gefährdung (Rote Listen), die Seltenheit, den Erhaltungszustand und die nationalen Verantwortlichkeit.

Einer sehr niedrigen oder niedrigen MGI-Klasse zugeordnet sind demnach meist seltene, gefährdete, langlebige Arten, welche aufgrund ihrer Populationsbiologie zusätzliche Verluste nur sehr langsam ausgleichen können. Bei diesen Arten besteht eine sehr hohe bzw. hohe Bedeutung der Mortalität von Individuen. Ein Beispiel für einen sehr niedrigen MGI ist der Schreiadler (*Clanga pomarina*), welcher im dritten Lebensjahr geschlechtsreif ist, über 20 Jahre alt werden kann, nur knapp 100 Brutpaare in Deutschland aufweist (Gedeon et al. 2014) und in Deutschland vom Aussterben bedroht ist. Zusätzlich werden aufgrund des obligaten Kainismus weniger als 1 Jungtier pro Brutpaar und Jahr flügge. Der vMGI, welcher nun auch das Kollisionsrisiko an WEA beinhaltet, ist vor allem ein Werkzeug für Planer, Vorhabenträger und Fachgutachter vor Ort. Das Auftreten solcher Arten mit einem niedrigen vMGI im Planungsraum muss demzufolge für die Beurteilung des Windkraftvorhabens von wesentlich größerer Bedeutung sein, als das einer Art mit hohem vMGI. Denn Arten mit einem niedrigen vMGI sind sowohl eher langlebig und haben niedrige Reproduktionsraten (k-Strategen) bei eher geringen Populationsgrößen, und haben gleichzeitig ein hohes Kollisionsrisiko an WEA. Arten mit einem hohen vMGI sind dagegen eher kurzlebig, haben hohe Reproduktionsraten und große Populationen, während diese ein geringes Kollisionsrisiko aufweisen (Bernotat und Dierschke 2016).

Der MGI ohne in Bezugnahme des Kollisionsrisikos kann dagegen genutzt werden, um die Bedeutung der Hochrechnungen von Kollisionszahlen zwischen Arten zu vergleichen. Wie

oben erwähnt schätzten Grünkorn et al. (2016) modellbasiert, dass jährlich 7 % aller Mäusebussarde, 5 % aller Ringeltauben und 0,5 % aller Stockenten Norddeutschlands mit WEA kollidieren. Bellebaum et al. (2013) schätzten außerdem, dass 3 % aller Rotmilane Brandenburgs mit WEA kollidieren und sterben. Die Einordnung des MGI ist folgendermaßen: Rotmilan – hoch, Mäusebussard – mittel, Stockente – mäßig, Ringeltaube –mäßig. Demnach wären die Größenordnung der Bedeutung der Individuenverluste in Bezug auf den jeweiligen Gesamtbestand folgendermaßen zu beurteilen: Rotmilan > Mäusebussard > Ringeltaube > Stockente. Diese Einordnung kann jedoch nur als qualitative Interpretationshilfe verstanden werden und gibt keine genauen Hinweise in welchem Ausmaß die Population durch die Individuenverluste beeinträchtigt wird.

Um allerdings die Auswirkungen der Kollision von Individuen auf den deutschen Bestand der jeweiligen Art hinreichend zu beschreiben, wären folgende Daten notwendig:

1. **Angaben zu Bestandsgröße und Verbreitung der Art**
2. **Ermittlung einer ausreichenden Stichprobengröße abzusuchender WEA für eine bundesweite Hochrechnung der Schlagopfer**
3. **Schlagopfersuche und Schätzung der Schlagopfer an einer ausreichenden Stichprobe von WEA**
4. **Hochrechnung der Schlagopfer auf ganz Deutschland**
5. **Kenngroßen der Populationsbiologie der Art**
6. **Standorte von WEA**

Mittels regional aufgelöster Schlagopferzahlen und den Angaben zu Bestandsgröße und Verbreitung ließe sich herleiten, wie viele Individuen einer Art wo kollidieren und wie diese Zahl der Kollisionsoffer im Verhältnis zur Bestandsgröße steht. Entscheidend ist jedoch das **Verhältnis der Schlagopfer zur jährlich zu verkraftenden Mortalität** (Potential Biological Removal - PBR). Dies wäre ein empfehlenswerter Indikator für die Auswirkung pro Art. Die PBR ist eine absolute Mortalität (Anzahl Individuen) welche sich aus der Populationsgröße und der Populationsbiologie herleitet (Reproduktionsrate, Sterblichkeit). Ist die Schlagopferzahl größer als die PBR muss von einer Beeinträchtigung der Population ausgegangen werden. Bellebaum et al. (2013) nutzten diese Methodik um WEA als Gefährdungsursache für die brandenburgische Rotmilanpopulation aufzuzeigen. Eine weitere Möglichkeit ist die Berechnung der Entwicklung von Modellpopulationen mit Matrixmodellen (Marques et al. 2014). Dies wurde in Grünkorn et al. (2016) für den Mäusebussard, den Rotmilan und den Kiebitz durchgeführt. Die Entwicklung einer Modellpopulation wird mit aus der Literatur bekannten populationsbiologischen Parametern (jährliche Sterblichkeit, jährliche Reproduktion, Wachstumsrate) aus Gebieten ohne Einfluss durch WEA beschrieben. Der Einfluss der Kollisionen wird durch eine erhöhte jährliche Mortalität berechnet. Diese beruht auf den Vertrauensintervallen der im Projekt ermittelten Kollisionsrate pro WEA und Jahr und der Dichte von WEA wie sie im Untersuchungsgebiet ist bzw. sich entwickeln wird.

Die Ergebnisse in Grünkorn et al. (2016) sowie in Bellebaum et al. (2013) deuten darauf hin, dass sowohl für den Rotmilan in Brandenburg als auch den Mäusebussard in ganz Norddeutschland die bereits 2012 (Bellebaum et al. 2013) bzw. 2014 (Grünkorn et al. 2016) bestehende Anzahl der WEA zu einem negativen Wachstum der jeweiligen Art führen können und dies mit zunehmender Anzahl der WEA noch wahrscheinlicher wird. Beide Studien zeigen also auf, dass die Kombination der Hochrechnung von Kollisionsofferschätzungen und der populationsbiologischen Modellierung geeignet ist, um die Frage nach der Beeinträchtigung einer Vogelpopulation auf überregionaler Ebene durch Kollisionen zu beantworten. Für

eine bundesweite Abschätzung der Auswirkungen von Individuenverlusten durch Kollisionen mit WEA auf der Populationsebene, ist also die Kombination der Hochrechnung von Schlagopfern, ausgehend von einer ausreichend großen Stichprobe von Schlagopfersuchen, mit populationsbiologischen Modellen nach derzeitigem Wissensstand die einzig empfehlenswerte Methode. Andere Herangehensweisen liefern wie oben erläutert dagegen keine Aussagen über die Auswirkungen auf Populationsebene. So heisst es in Carrete et al. (2009): „In diesem Sinne sind demografische Modelle mit spezifischen Merkmalen der Lebensgeschichte die einzigen wertvollen Instrumente, um die tatsächlichen Auswirkungen von Windparks auf die Fauna richtig zu untersuchen, wobei alle anderen Versuche vergebliche Spekulationen sind, denen übereinstimmende [wissenschaftliche] Unterstützung fehlt“. Auch May et al. (2019) heben hervor, dass zur Abschätzung der Auswirkungen von Individuenverlusten auf der Populationsebene die unterschiedlichen populationsbiologischen Parameter wie Überlebens-, Reproduktions- und die daraus resultierenden Wachstumsraten notwendig sind, um zu einem verbesserten Verständnis der komplexen Interaktionen zwischen Tierwelt und Windenergie zu gelangen.

## **Reaktion**

Mit der Etablierung des Wissens um das Ausmaß von Vogelkollisionen mit WEA wurden eine Vielzahl unterschiedlicher Maßnahmen zur Minderung des Konfliktes diskutiert und erforscht (Marques et al. 2014). Die Maßnahmen, welche derzeit erforscht und in der internationalen Fachliteratur besprochen werden, beschäftigen sich oftmals mit der (automatisierten) Abschaltung (siehe unten) unter bestimmten Voraussetzungen. Eine Vielzahl weiterer Maßnahmen hat außerdem in die Genehmigungspraxis in Deutschland Einzug gehalten. Diese Vermeidungsmaßnahmen werden im Rahmen der Genehmigungen im Einzelfall beauftragt. Sie sollen also das Tötungsrisiko unter die Signifikanzschwelle senken (Lukas 2016; Bulling et al. 2015). Dabei sind diese Maßnahmen oftmals an Auflagenvorbehalte gebunden. Dies bedeutet, dass entweder Schlagopfersuchen nach der Genehmigung unter Auflagenvorbehalt an den WEA durchgeführt werden, um zu ermitteln ob Vermeidungsmaßnahmen notwendig sind oder um den Erfolg der Vermeidungsmaßnahmen zu überprüfen und ggf. andere Maßnahmen, evtl. sogar Abschaltungen einfordern zu können (Fachagentur Windenergie an Land 2016a, 2016b, 2017a, 2018).

Nach der Bearbeitung landwirtschaftlicher Flächen kann es kurzzeitig zu einem gehäuften Auftreten von Greifvögeln und Störchen über diesen kommen (s.o.). Deshalb empfiehlt die Ländergemeinschaft der LAG VSW (2017) WEA im Umkreis von 300 m um die bearbeitete Fläche für 4 Tage abzuschalten, um das kurzzeitig stark erhöhte Kollisionsrisiko zu vermindern. Diese Empfehlung hat teilweise bereits Eingang in die Genehmigungspraxis gefunden. Die Windenergieerlasse von 9 der 13 Flächenländer berücksichtigen diese Empfehlung. Lediglich Sachsen, Sachsen-Anhalt, Brandenburg und Mecklenburg Vorpommern hatten die Empfehlung bis 2017 noch nicht umgesetzt (Fachagentur Windenergie an Land 2018). Lediglich in Thüringen ist die Abschaltung während und nach Bodenbearbeitungen im Umkreis der WEA obligatorisch. In allen anderen die Empfehlung berücksichtigenden Windkrafteerlassen ist die Maßnahme dagegen an die Unterschreitung der Abstandsempfehlungen (LAG VSW 2015), Raumnutzungsanalysen oder das Eintreten von Verbotstatbeständen nach § 44 Abs. 1 BNatSchG gebunden. Raumnutzungsanalysen und Abstände zu Brutstätten von Großvögeln dienen jedoch vor allem der Untersuchung der Raumnutzung und dem Schutz der lokal ansässigen Brutpaare. So empfiehlt die Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten die Berücksichtigung dieser Maßnahme „unabhängig von den Abstandsempfehlungen“ (LAG VSW 2017). Denn auch während der Brutzeit unternehmen unterschiedliche Großvögel sehr weite Nahrungsflüge, wenn bestimmte Flächen eine „gute

Nahrungserreichbarkeit gewährleisten“. In zwei Dokumenten, welche in der Fachagentur Windenergie an Land (2018) aufgelistet werden, ist der Zeitraum in dem Abschaltungen nach Bodenbearbeitungen erfolgen sollen, zudem wesentlich kürzer (bis zum 15.07. und bis zum 31.08.) Die von der LAG VSW empfohlene, zu berücksichtigende landwirtschaftliche Fläche (300 m Radius um die WEA) wird in drei Erlassen stark unterschritten (100 m Radius in zwei Dokumenten, überstrichene Rotorfläche + 50 m Radius in einem Dokument). Zudem sind Umsetzungshemmnisse vorhanden. Es sind beispielsweise Verträge mit den Landwirten notwendig, um sicherzustellen, dass diese die Bearbeitungen melden. Somit ist diese empfohlene Maßnahme bisher nur eingeschränkt umgesetzt.

Einige Großvogelarten (Rohrweihe, Schwarzstorch, Kranich) sind aufgrund der Nutzung bestimmter Brut- und Nahrungshabitate in ihrem räumlichen Auftreten besser zu beschreiben und vorherzusagen als andere Arten (z. B. Rotmilan). Für diese Arten wurden deshalb, trotz Brutvorkommen innerhalb der Abstandsempfehlung zu geplanten WEA, Maßnahmen innerhalb einer Ausnahmegenehmigung gefordert. Das Ziel ist, dass die Arten die optimierten Lebensräume nutzen, um sie durch die Anlage von Nahrungshabitaten aus dem Gefahrenbereich zu locken oder die Population an anderer Stelle zu fördern (Fachagentur Windenergie an Land 2017a; Hahl 2015). Hahl (2015) kritisiert jedoch, dass die Ausnahmen, welche nur im Einzelfall nach sorgfältiger Prüfung zu gewähren sind, zunehmen. Die Ausnahmen seien oftmals mit CEF-Maßnahmen (measures that ensure the continued ecological functionality) verbunden, die der Verhaltensökologie und der Raumnutzung nicht gerecht werden. Lukas (2016) heben außerdem hervor, dass aufgrund der Anwendung von CEF-Maßnahmen, die Prüfung von Ausnahmetatbeständen, also das Überwiegen von zwingenden Gründen des öffentlichen Interesses, an Gewicht verliert. Somit entfällt für Windparks die Abwägung im Einzelfall, während die Genehmigung durch CEF-Maßnahme erleichtert wird (Lukas 2016).

Zur Senkung des Kollisionsrisikos unter die Signifikanzschwelle wurden auch für Rotmilane bereits Ablenkungen als Auflage erteilt. So kann das Anlagenumfeld als Brach- oder Gebüschfläche belassen werden. Dies soll die Attraktivität des Anlagenumfeldes als Nahrungsfläche verringern, denn die dichte und hohe Vegetation kann schlechter nach Kleinsäugetieren abgesucht werden. Zudem wurden im Rahmen verschiedener Genehmigungen Ablenkflächen speziell bewirtschaftet. Dort sollte durch die Bewirtschaftungsform sichergestellt werden, dass die Fläche als Nahrungshabitat für den Rotmilan besonders attraktiv ist. Jedoch gibt es einige Beispiele, in denen diese Flächengestaltung nicht den gewünschten Erfolg zeigte (Fachagentur Windenergie an Land 2016a, 2016b, 2017a, 2018). Die Umwidmung in Brachflächen ist zudem durch den allgemeinen Druck auf landwirtschaftliche Flächen nur eingeschränkt möglich (Fachagentur Windenergie an Land 2016b).

Als Ablenkungsmaßnahme für Greifvögel wird außerdem die Fütterung vorgeschlagen (Bulling et al. 2015). Diese kann zwar Rotmilane ablenken, die lokale Population stützen oder vergrößern (Fachagentur Windenergie an Land 2017a). Die Anwendung ist jedoch aufgrund des Seuchenschutzes problematisch (Fachagentur Windenergie an Land 2016a). Einige Genehmigungen sind zudem mit pauschalen Abschaltzeiten verbunden, so z. B. für den Schutz des Schreiadlers in Mecklenburg-Vorpommern (Fachagentur Windenergie an Land 2018).

Wie oben erwähnt, diskutiert die internationale Literatur besonders Abschaltungen. So wurde in Portugal ein Schema etabliert bei dem Beobachter das Zugeschehen von Greifvögeln in der Nähe zu einem Windpark mit hohem Kollisionsrisiko erfassen. Wenn Gruppen von Greifvögeln sich in der Nähe des Windparks befinden, melden die Beobachter dies dem Betreiber, woraufhin die betroffenen Anlagen abgeschaltet werden (Tomé et al. 2017). Hierdurch konnte die Mortalität sehr stark verringert werden. Liechti et al. (2013) haben die Intensität



des Breitfrontzuges von Kleinvögeln in der Schweiz bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen modelliert und dies mit der Radarmessung der Intensität validiert. Deshalb schlagen diese die Abschaltung von WEA in Bereichen vor in denen sich bei bestimmten Wetterlagen der Zug voraussichtlich besonders stark konzentrieren wird, um eine Erhöhung des Kollisionsrisikos zu vermeiden. In Deutschland ist zumindest an einzelnen Standorten die Abschaltung notwendig, wenn dort ein intensiver Kranich-Herbstzug aufgrund von Beobachtungen weiter nordwestlich zu erwarten ist. Neben solchen menschlich gesteuerten Abschaltungen wurden und werden derzeit automatische Abschaltssysteme entwickelt und erprobt. So wurde z. B. das kamerabasierte DTBird System für die Detektion sehr großer Vögel in Spanien (Geier, Adler) entwickelt. So kann das System laut Hersteller Gänsegeier und Seeadler in 250 bis 300 m Entfernung registrieren (May et al. 2012; Hanagasioglu et al. 2015). Die maximale Distanz auf die Individuen registriert werden können, verringert sich allerdings mit abnehmender Größe der Art. So beträgt diese für Rotmilane 145 m und für Turmfalken nur noch 70 m (Hanagasioglu et al. 2015). Die Rotorlänge der neuesten Anlagen übertrifft dabei 70 m deutlich. Nähern sich Vögel also nicht rechtwinklig zur Rotationsrichtung des Rotors ist eine rechtzeitige Erkennung nicht gewährleistet. Das System erkannte jedoch während der Erprobung in Norwegen 80 bis 95 % der ebenso vom Radar erfassten Flüge von Seeadlern. Die der Erkennung folgenden Warnlaute führten während der Erprobung in der Schweiz zu einer Halbierung der Flüge der Zielarten in Rotornähe (Hanagasioglu et al. 2015). Das System soll zudem abschalten, wenn die Vögel trotz der Abschreckung weiterhin in Anlagennähe fliegen. Sowohl die Erprobung in Norwegen als auch in der Schweiz zeigte jedoch, dass das System häufiger Warnlaute ohne tatsächliches Auftreten von Zielvögeln aussendet als es dies ausgelöst durch die Registrierung von Zielvögeln tut (May et al. 2012; Hanagasioglu et al. 2015). Dies könne zur Gewöhnung anwesender Individuen führen (May et al. 2012; Hanagasioglu et al. 2015). Es ist den Autoren jedoch nicht bekannt, dass diese eingeschränkt aussichtsreichen Systeme eine ähnliche Verbreitung in der deutschen Praxis und Anerkennung durch Anwender bekommen haben, wie es bei fledermausfreundlichen Abschaltalgorithmen der Fall ist. Der Hersteller meldet lediglich, dass das System kürzlich zum ersten Mal in Sachsen-Anhalt und Bayern zur Anwendung kam (DTBird 2018). In besonderen Fällen kann die Kombination verschiedener Minderungsmaßnahmen zum Schutz betroffener Arten hilfreich sein. So wurde in einem besonders kollisionsreichen Gebiet in Spanien eine Kombination aus Abschaltung, Zufütterung abseits der Anlagen und weiterem Nahrungsmanagement (Schließung einer nahegelegenen Müllkippe) eine Verringerung der Kollision von Geiern um 80 % erreicht (Camiña et al. 2011). Aufgrund des Verständnisses der optischen Wahrnehmung der Vögel wurden verschiedene Maßnahmen zur Minderung des Konfliktrisikos erprobt. Weder die Beleuchtung mit UV-Licht, noch die Markierung der Rotoren mit UV reflektierenden Farben oder das Einstellen der nächtlichen Befeuerung der Anlagen haben sich jedoch als effektiv erwiesen (Hunt et al. 2015; Young et al. 2003; Mayer et al. 2015; May et al. 2015).

Repowering bedeutet, dass kleine, ertragsarme WEA durch wenige, große ertragsreiche Anlagen ersetzt werden. Dies geschieht vorrangig nicht aus Gründen des Naturschutzes sondern aufgrund der auslaufenden Förderung in Kombination mit dem Alter der Anlagen. Aufgrund der Verringerung der Anlagenzahl wird teilweise angenommen, dass sich das Kollisionsrisiko verringert. Dies konnte in einer Studie am Altamont Pass in Kalifornien, USA jedoch nicht bestätigt werden. Dort erhöhten sich die Kollisionszahlen sogar signifikant (Smallwood und Karas 2009). Höhere Anlagen mit größeren Rotordurchmessern scheinen nach Auswertungen der Schlagopferdatenbank auch das Kollisionsrisiko für Rotmilane in Windparks nach Repowering zu erhöhen (pers. Mitt. Staatliche Vogelschutzwarte Brandenburg). Das Repowering bietet somit prinzipiell die Möglichkeit, den Standort der Anlagen, besonders solcher welche Jahrzehnte zuvor unter anderen Ansprüchen an die Berücksichtigung des

Artenschutzes errichtet wurden, zu überprüfen und zu verändern (Marques et al. 2014).

Die Wissenschaft ist sich einig darin, dass der Standort der WEA eine zentrale Bedeutung für das Kollisionsrisiko hat. Zahlreiche Erkenntnisse wie der Standort das Kollisionsrisiko beeinflusst, wurden bereits herausgearbeitet. Dennoch lassen sich derzeit keine pauschalen art- und naturraumübergreifenden Empfehlungen definieren, welche sich auf der Bundesebene überprüfen lassen. Dementsprechend kommt der Regionalplanung bei der Ermittlung von Ausschlussgebieten, die genaue Auswertungen von Potenzialgebieten betroffener Arten berücksichtigen können, eine große Bedeutung zu (Bulling et al. 2015). Artenschutzrechtliche Gutachten sind ebenso bedeutend für die Sicherung einer Standortwahl mit geringem Kollisionsrisiko. Einige Beispiele deuten jedoch an, dass fachliche Vorgaben teilweise nicht eingehalten bzw. von den zuständigen Behörden nicht ausreichend eingefordert werden (NABU et al. 2017). Die Diskussion um Gütesiegel für Windkraftplanungen bzw. artenschutzrechtliche Gutachterbüros (Fachagentur Windenergie an Land 2017b) verdeutlicht zudem, dass die Qualität der Gutachten teilweise in Zweifel gezogen wird. Die Qualität der artenschutzrechtlichen Gutachten sollte deshalb auch in Zukunft verbessert und gesichert werden.

Die oben beschriebenen Beispiele aus der deutschen Praxis und der internationalen Forschung zeigen, dass es einige unterschiedliche Minderungsmaßnahmen gibt, die je nach betroffenen Arten und Standort angewandt werden können. Es deutet sich jedoch keine Maßnahme an, welche effektiv flächendeckend angewandt und deren Implementierung somit regelmäßig im Rahmen des Monitoring erfasst werden sollte. Ebenso ist die Überprüfung einer kollisionsmindernden Standortwahl auf der Bundesebene mittels Geodaten nicht zielführend, da diese von vielen kleinräumigen Faktoren und der Raumnutzung der betroffenen Arten abhängig ist. Deshalb wird für diesen Konflikt auf die Empfehlung eines Indikators zur Messung der Reaktion verzichtet.

## **Ergebnisse**

### *Druck*

Abbildung 42 zeigt die Ergebnisse der Berechnung des potenziell beeinflussten Populationsanteils (pPop) und des Habitatstörungspotenzials (HSP) der Vogelarten aus dem Helgoländer Papier. Sechs Arten die hauptsächlich in (Mittel) Gebirgen vorkommen, und bis auf die Waldschnepfe selten sind, wiesen in 2015 ein pPop  $\leq$  1 % auf und sind nicht in der Grafik aufgeführt (Alpenschneehuhn, Auerhuhn, Birkhuhn, Haselhuhn, Steinadler, Waldschnepfe). pPop stieg für sechs Arten (Goldregenpfeifer, Rotmilan, Schreiadler, Schwarzstorch, Sumpfohreule, Wiesenweihe) seit 1990 auf über 10 %. Dies sind alle Rote Liste Arten, drei davon vom Aussterben bedroht (Goldregenpfeifer, Schreiadler, Sumpfohreule), während die Wiesenweihe stark gefährdet, der Schwarzstorch gefährdet und der Rotmilan auf der Vorwarnliste geführt wird (<https://www.dda-web.de/>). Für alle Arten nahm seit 1990 das HSP und pPop zu. Lediglich das HSP des Goldregenpfeifers verringerte sich zwischen 2010 und 2015 geringfügig. Da dieser 2009 nur noch mit 8-11 Brutpaaren in nur noch 3 TK-Felder vorkam, ist diese Verringerung des HSP eher durch Veränderungen der Bodenbedeckungsklassen zwischen 2006 und 2012 zu erklären. Die durch Windenergieerlasse der Länder zunehmend vereinheitlichte Überprüfung der Belange des Artenschutzes im Genehmigungsprozess führte demnach nicht zu einer Verringerung dieser Messwerte und somit nicht zu einer Verringerung des Drucks auf alle übrigen Arten durch WEA.

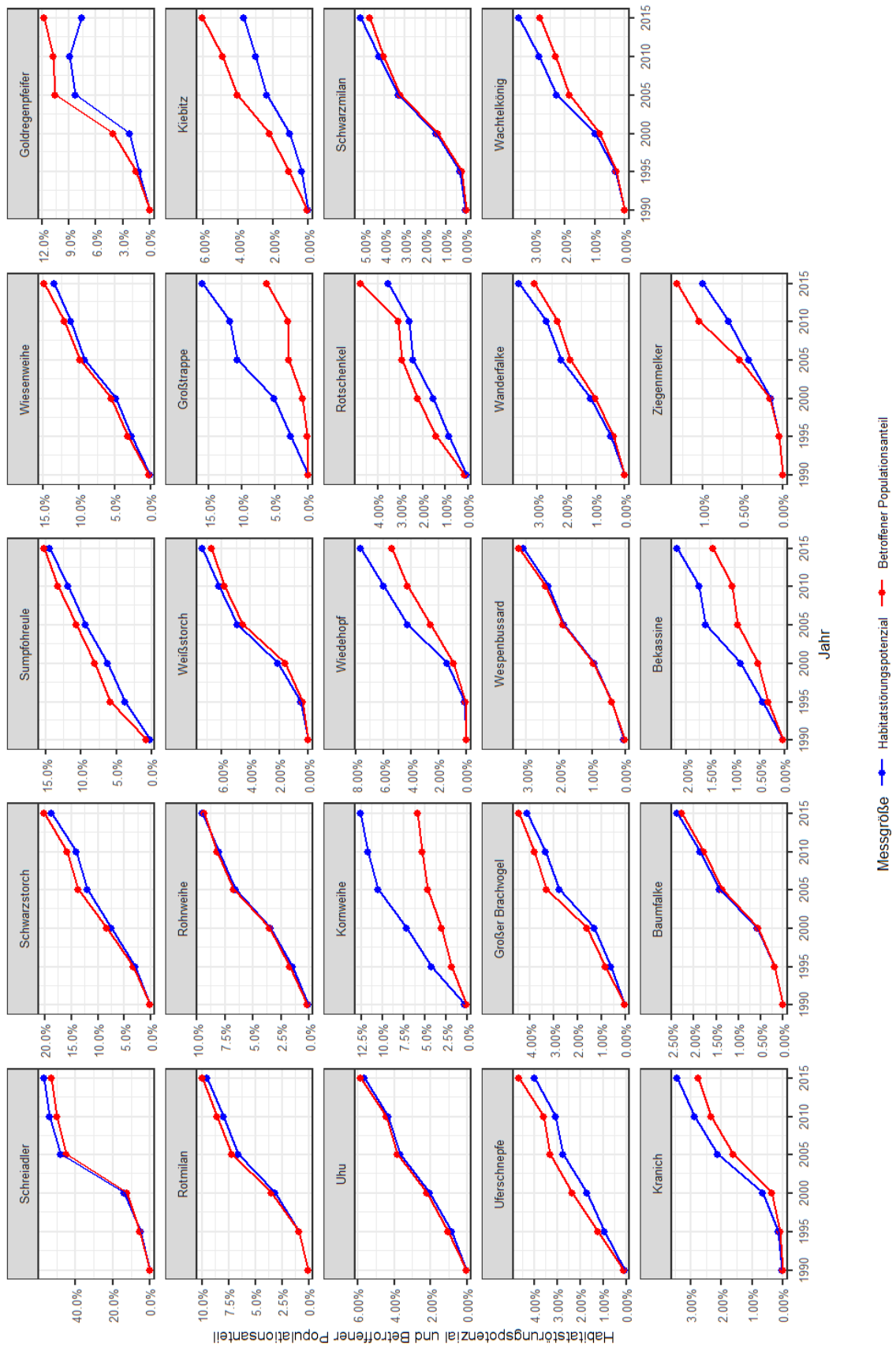


Abbildung 42: Potenziell beeinflusster Populationsanteil und Habitatstörungspotenzial für ganz Deutschland der Vogelarten aus dem Helgoländer Papier. Arten mit pPop  $\leq$  1 % im Jahr 2015 sind nicht dargestellt.

### 5.3.2.3 Verlust von Biodiversität und Agrobiodiversität durch Verengung der Fruchtfolgen im Energiepflanzenanbau, Monokulturbildung und weitere Effekte

Reinhard Klenke

#### Einleitung

In Deutschland werden Energiepflanzen vor allem zur Erzeugung von Treibstoffen und Biogas sowie zur Erzeugung von Wärmeenergie kultiviert bzw. auch nur extensiv genutzt (z. B. Nieder- und Mittelwald). Manche Feldfrüchte werden allerdings für vielfältige Zwecke angebaut. Neben der Nutzbarkeit zur Erzeugung von Biogas oder Treibstoffen können sie auch entweder direkt oder nach Verarbeitung Einsatz als Futter oder Nahrungsmittel finden, dazu gehören unter anderem auch Mais und Raps. Auf Grund der vielfältigen Nutzung der unterschiedlichen Kulturen soll hier im allgemeinen von nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) gesprochen werden.

Für den Strombereich spielt die Gewinnung von Biogas eine herausragende Rolle. Als Substrate werden hier nach Scheftelowitz et al. (2015) am häufigsten massebezogen nachwachsende Rohstoffe, gefolgt von tierischen Nebenprodukten wie Gülle und Festmist eingesetzt. Die von den o.g. Autoren befragten Anlagenbetreiber setzten zu 95 % Gülle, Festmist und nachwachsende Rohstoffe (bezogen auf die Frischmasse) als Substrate ein. Dabei sind, auf die Energie bezogen, nachwachsende Rohstoffe mit einem Anteil von 79 % die wichtigsten Substrate. An diesem Anteil hat wiederum Maissilage mit 72 % den größten Anteil an der Biogasproduktion. Hinsichtlich der tierischen Nebenprodukte wie Gülle und Festmist (inkl. Einstreu) hat Rindergülle mit 61 % den größten Anteil (bezogen auf die Frischmasse). Für die Fütterung von Rindern wird neben angebautem Grünfutter und Gras im Weidebetrieb ebenfalls Maissilage in erheblichen Mengen eingesetzt. Ein größerer Teil des für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion erzeugten Mais trägt also indirekt, nach der Verwertung durch die Rinder, zur Energieproduktion bei.

Neben Mais werden auch Wintergetreide zur Erzeugung von Ganzpflanzensilage, Grünroggen, Wickroggen, Sorghumhirsen, Rüben, Durchwachsene Silphie, Welsches Weidelgras (im Winterzwischenfruchtanbau oder als Untersaat im Wintergetreide), Klee gras, Grünland, Buchweizen, Amarant, für die Biogasgewinnung optimierte Wildpflanzenmischungen, Miscanthus, Knöterichsorten, Topinambur, Sida, Rutenhirse, *Rumex schavnat*, Riesenweizen gras sowie andere Exoten bzw. neue Sonderkulturen verwendet (Aigner et al. 2012). Silomais nimmt jedoch mit Abstand den größten Teil der für die Gewinnung von elektrischer Energie verwendeten Fläche unter diesen Kulturen ein. Nur ungefähr 1 % der erzeugten Energie wird zur Zeit durch andere für die Verstromung von Biomasse angebaute Pflanzen erzeugt (Scheftelowitz et al. 2015). Die geographische Verteilung der Anbaufläche ist sehr ungleich. So gibt es Landkreise in Deutschland in denen auf mehr als 70 % der Ackerfläche bzw. auf bis zu fast 50 % der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche Mais angebaut wird (DMK 2017, 2016). Auch das Verhältnis der Anteile von Silomais, der sowohl als Futterpflanze als auch als Energiepflanze genutzt wird, sowie Körnermais bzw. Corn-Cob-Mix, die hauptsächlich als Nahrungsmittel bzw. Futtermittel genutzt werden, sind geographisch sehr unterschiedlich verteilt. Die Anteile wechseln jährlich. Genauere Informationen dazu finden sich z. B. beim Deutschen Maiskomitee e.V. (DMK 2017).

Eine Sonderrolle spielt Raps. Raps wird als Hauptfrucht eigentlich für die Erzeugung von Öl als Nahrungsmittel und Energieträger angebaut, wobei das Rapsöl als Energieträger hauptsächlich als Treib- und Brennstoff verwendet wird. Bei der Ölgewinnung entstehen noch Presskuchen bzw. Rapsextraktionsschrot, die hauptsächlich als energie- und eiweißreiche

Futtermittel Verwendung finden. In Blockheizkraftwerken wird aber neben Wärme auch Strom erzeugt. Angesichts der im langfristigen Rückblick sinkenden Preise auf dem Weltmarkt kann hier Rapsöl als Alternative zum vorzugsweise verwendeten, aber eingeführten Palmöl, je nach weiterer Preisentwicklung, politisch gesetzten Rahmenbedingungen sowie individuellen Entscheidungen der Verbraucher attraktiv werden (IndexMundi 2019b, 2019a). Hier gibt es sehr unterschiedliche Einschätzungen und Empfehlungen in der Verbraucherberatung, die sich in den vergangenen Jahren binnen kurzer Zeit und je nach Rahmenbedingungen und Wissensstand stark geändert haben und auch in Zukunft wieder ändern können (z. B. <https://www.kesselheld.de/>, <http://www.oel-alle.de/>, <https://www.heizungsfinder.de/>). Im Gegensatz zu früher sind deshalb immer weniger die lokalen und regionalen natürlichen Rahmenbedingungen für die Anbauentscheidungen von Bauern verantwortlich, sondern in immer stärkerem Maß Veränderungen von Politiken (wie z. B. Anpassungen im EEG, Steuergesetzgebung), Märkten (z. B. IndexMundi 2019a, 2019b), oft auch in anderen Sektoren – wie z. B. Preise für Mineralöl für den Transport von Palmöl), Produkten und Produktionsformen sowie von anderen gesellschaftlichen Rahmenbedingungen (z. B. Einstellungen, Kriege, Embargos) auf ganz verschiedenen räumlichen und administrativen Skalen (Henle et al. 2014). Dadurch werden mögliche Entwicklungen immer weniger vorhersagbar und ein weitreichendes und sektorübergreifendes Monitoring der Einflussfaktoren zur Rückverfolgung von Ursachen immer wichtiger.

Die natur- und umweltschädlichen Auswirkungen des Ölpalmenanbaus werden hier nicht diskutiert, da sie sich außerhalb von Deutschland niederschlagen, also quasi externalisiert werden. Sie dürfen aber in einer Gesamtbilanz nicht übersehen werden. Bezogen auf verschiedene Aspekte der Ökobilanz von fünf Pflanzenölen kommt Schmidt (2015) zu dem Schluss, dass Rapsöl bezogen auf die Klimabilanz am besten und bezogen auf den Wasserhaushalt am zweitbesten zu bewerten ist. Allerdings ist die Produktion von Raps auf Grund der geringeren Produktivität die Kultur mit dem höchsten Flächenverbrauch. Wenn das Palmöl also durch im Land produziertes Rapsöl ersetzt wird, verschlechtern sich wiederum die Lebensbedingungen für die einheimische Biodiversität, wenn es dadurch zu weiteren Erhöhungen der Anteile dieser Fruchtart am gesamten Mix kommen sollte.

Unter den genannten Alternativen für die Gewinnung von elektrischer Energie aus Biomasse haben Raps und Mais die am deutlichsten negativen Auswirkungen auf die in der Agrarlandschaft lebenden Organismen (Roßberg et al. 2002; Felten und Emmerling 2011). Der Anteil der, gegenüber der Kraftstoffherstellung, zur Erzeugung von Strom genutzten Anbaufläche von Raps bzw. des aus der Rapssaat gewonnenen und dafür verwendeten Öls ist allerdings insgesamt sehr gering (Scheffelowitz et al. 2015). Auch die Berechnung dieses Anteiles ist auf Grund der vielfältigen Nutzung von Rapsöl sehr schwierig. Detaillierte Ausführungen zum Raps sind daher nur bedingt machbar. Deshalb werden hier hauptsächlich die Auswirkungen des Maisanbaus für den Verlust von Biodiversität und Agrobiodiversität durch Verengung der Fruchtfolgen im Energiepflanzenanbau, Monokulturbildung und weitere Effekte beschrieben und Aspekte, die dann vor allem den Rapsanbau betreffen, werden nur bei Bedarf genannt. Unter Monokultur wird im weiteren nicht nur der wiederholte Anbau einer Kultur auf der gleichen Fläche verstanden, sondern auch der wiederholte großflächig dominierende Anbau von einer Kultur im Mix mit nur wenigen anderen Kulturen auf einem kleineren Teil der Fläche. Dies führt in der Konsequenz zu kürzeren Rotationszeiten und insgesamt weniger Fruchtarten auf der Fläche (Verengung der Fruchtfolge, Peters 2007).

Mais ist ursprünglich nicht in Europa zu Hause, sondern gehört in seiner Urform als Teosinte zur Vegetation des südlichen nordamerikanischen Kontinents (Mexiko). Daraus erklärt sich, dass Mais mit wenigen Ausnahmen (z. B. Maiszünsler, *Ostrinia nubilalis*) in Deutschland

kaum von einheimischen tierischen Schädlingen befallen wird. Als C4- Pflanze kann Mais bei hohen Temperaturen CO<sub>2</sub> besser als andere Pflanzen verwerten. Mais ist windbestäubt und damit für blütenbesuchende Insekten uninteressant.

In Vergesellschaftung mit dem Bakterium *Paenibacillus brasilensis* kann Mais auch den gebundenen Luftstickstoff verwerten und ist damit unabhängiger von Nährstoffquellen im Boden. Unter Zugabe von Nährstoffen (abhängig vom Boden) kann Mais über lange Zeit ohne Unterbrechung durch andere Feldfrüchte auf demselben Standort in Monokultur angebaut werden. Nicht selten führt das auch dazu, dass Mais bis zu 10 Jahre und mehr auf derselben Fläche angebaut wird (Boessenkool et al. 2012; Beobachtungen des Autors). Das kann je nach Boden und Form der Bearbeitung zu deutlichen Beeinträchtigungen des Humusgehaltes und der natürlichen Bodenfruchtbarkeit führen, je nach Anbauform kommt auch noch ein gesteigertes Erosionsrisiko hinzu (Roßberg et al. 2002; Felten und Emmerling 2011; Brandt und Glemnitz 2014; Gutzler et al. 2015). Der Einsatz von Agrochemikalien ist aktuell beim Maisanbau wesentlich geringer als z. B. beim Anbau von Raps, der als Brassicaceae dem Fraßdruck bzw. dem Befall vieler weitverbreiteter einheimischer Schädlinge und Mikroorganismen ausgesetzt ist und deshalb streng in Fruchtfolge mit mindestens vierjährigem Abstand auf derselben Fläche angebaut werden sollte. In Zukunft kann sich diese Situation aber deutlich ändern, da 1992 der Westliche Maiswurzelbohrer *Diabrotica v. virgifera* in Europa eingeschleppt wurde und sich seit dem bereits über viele Länder im Zentrum Europas ausgebreitet hat (Bieńkowski und Orlova-Bienkowskaja 2018). Die durch ihn verursachten potentiellen Schäden werden in Zukunft auf einen Bereich zwischen 143 Millionen und 1,739 Milliarden Euro pro Jahr geschätzt (Wessler und Fall 2010). Selbst wenn es auch Möglichkeiten zur biologischen Bekämpfung des Schädlinge gibt (Benjamin et al. 2018) werden mit großer Wahrscheinlichkeit auch hier Chemikalien zur Bekämpfung eingesetzt, was in diesem Fall zu einer weiteren großflächigen Beeinträchtigung der Insektenfauna und aller in der Nahrungskette nachfolgenden Organismen führen würde. Unter Umständen kann die Ausbreitung des Schädlinge aber auch wieder zu einer stärkeren Rotation auf den Flächen und einer Erweiterung der Fruchtfolge führen, um Massenvermehrungen des Käfers vorzubeugen.

In Deutschland spielte der Mais nach seiner Einführung lange Zeit kaum eine Rolle. Er wurde vor allem lokal in Süddeutschland als Grünfutter angebaut. Erst die Zucht temperaturangepasster Sorten ermöglichte den großflächigen Anbau, der insbesondere seit den 1970iger Jahren sprunghaft angestiegen ist (DESTATIS 2010b, 2010a; Thrän et al. 2015). Mais wird als Grünfutter, zur Gewinnung von Körnern und für die Vergärung zu Biogas angebaut. In silierter Form ist er ein haltbares und wertvolles Winterfutter für Rinder. Vom Zweck des Anbaus lässt sich aber nicht auf die Anbauform schließen und umgekehrt. Das macht es, ähnlich wie beim Raps, schwer, die unterschiedlichen Treiber für den Anbau abzugrenzen und auf die dadurch genutzten Flächen zu schließen.

Mais wird aktuell in der Regel im Frühjahr gesät, im Herbst abgeerntet und die Schläge werden dann häufig bis zum kommenden Frühjahr zur Vermeidung von Bodenerosion in diesem Zustand belassen. Zunehmend kommt auch eine Untersaat zum Einsatz mit der der Bodenerosion entgegengewirkt und die Humusbilanz verbessert werden kann. Bei der Saatbettvorbereitung kann der Wirkstoff Glyphosat als Totalherbizid zur Bekämpfung von Unkräutern bzw. dem Abtöten von Untersaat eingesetzt werden (Romundt 2014). Hier gibt es größere individuelle und regionale Unterschiede, sehr unterschiedliche Empfehlungen und kaum quantitative Daten auf die zugegriffen werden kann. Bis in die 1990iger Jahre wurde Mais dagegen im Herbst umgebrochen und dann oft Wintersaat eingebracht. Insbesondere die GAP Reform 2014 hat durch die Auflagen zum Greening zu Veränderungen geführt (Romundt 2014). Bis zu dieser Zeit wurde zumindest im Osten Deutschlands (in der DDR) auch

auf eine ausgewogene Fruchtfolge geachtet bzw. war auch der Anteil von Futtergetreiden sowie Luzerne, Klee und Körnerleguminosen mit einem Anteil von in der Regel etwa 10 % höher (Dahlmann 2012). Ab 1992 wurden freiwillige zeitlich begrenzte Förderprogramme zur Flächenstilllegung als Instrument der EU-Agrarpolitik zur Begrenzung von Überschüssen im Ackerbau eingeführt, die ab 1993/94 zur Pflicht wurden. Gleichzeitig konnten seitdem auf diesen Stilllegungsflächen auch nachwachsende Rohstoffe angebaut werden (Oppermann et al. 2008).

Von dieser Entwicklung haben vor allem extensive Grünland-, Wiesen- und Brachflächen - Landnutzungsformen mit besonderer Bedeutung für den Naturschutz und die Biodiversität - profitiert. Nach einem kurzen Anstieg dieser Flächennutzungen in den 1990er Jahren nahm die Fläche von Grünland, Wiesen und stillgelegten Flächen aber stetig ab (Flade und Schwarz 2013; Flade 2014). Dies ist auf die Rücknahme der Flächenstilllegungsprämien sowie zumindest teilweise auf den Druck zurückzuführen, rentablere Nutzpflanzenarten im Verhältnis zu Subventionen oder Einspeisevergütungen anzubauen.

Junge Maispflanzen wachsen in Deutschland im Frühjahr erst sehr langsam. Deshalb wirken die Äcker offen und relativ vegetationslos. In Verbindung mit den oft vorhandenen temporären Feuchtstellen macht sie das interessant als Bruthabitat für Vögel wie Feldlerche (*Alauda arvensis*), Kiebitz (*Vanellus vanellus*) oder Sandregenpfeifer (*Charadrius hiaticula*) an der Küste (Holz 1987; Breitsameter und Röder 2015; NABU 2018). In der zweiten Hälfte des Jahres wächst der Mais dann aber sehr schnell auf und bildet dichte und hohe Bestände mit für viele Insekten ungünstigen edaphischen Verhältnissen (Roßberg et al. 2002). Diese drastische Habitatveränderung kann bei ungünstiger zeitlicher Abfolge zu Verlusten der Brut der betreffenden Vogelarten führen, weil dann die Nahrungsgrundlage (Insekten) fehlt, dadurch entstehen sogenannte „Ökologische Fallen“ (z. B. Praus und Weidinger 2015; Jerrentrup et al. 2017). Aus diesen Gründen wird eine Bewirtschaftungsruhe auf den Äckern empfohlen, die durch Vorziehen der Bodenbearbeitung und Verzögerung der Aussaat erreicht werden kann. Andere Maßnahmen sind die Anlage von sogenannten Kiebitzinseln, eine Untersaat im Mais, die Suche und temporäre Entfernung von Nestern während der Bearbeitung mit anschließender Zurücksetzung an derselben Stelle sowie die Verlagerung von auf Fahrspuren angelegten Nestern in den Vegetationsbestand (Breitsameter und Röder 2015; NABU 2018; LBV o. J.). Der schnelle Aufwuchs nach der anfänglichen Stagnation hat noch einen anderen Effekt, die entsprechenden Flächen werden dadurch so dicht bewachsen, dass Greifvögel keinen Zugang mehr zu ihrer Beute finden können (Jerrentrup et al. 2017). Dieser „Versiegelungs-Effekt“ tritt auch beim Raps sowie Getreidekulturen ein, vor allem weil die Dichte und Gleichmäßigkeit der Kulturen auf Grund der Intensivierung gegenüber den Verhältnissen, wie man sie noch in den 1970iger Jahren finden konnte, deutlich zugenommen hat. Diese Effekte lassen sich nicht allein auf den Anbau von Biomasse zurückführen, sondern sind als genereller Trend in der Landwirtschaft zu bewerten, der zu deutlich negativen Veränderungen des Erhaltungsstatus vieler Vogelarten der Agrarlandschaft geführt hat und im Verlauf des Indikators „Artenvielfalt und Landschaftsqualität in der Agrarlandschaft“ angezeigt wird. Allerdings wird er durch die beschriebenen Entwicklungen im Energiepflanzenanbau noch einmal verstärkt (BfN 2017a).

Auch andere Taxa als Vögel sind von negativen Auswirkungen des Maisanbaus betroffen, so sinkt z. B. die Diversität und Biomasse der Regenwurmpopulationen bei Maisanbau deutlich gegenüber dem Vergleich mit anderen zur Energiegewinnung nutzbaren Feldfrüchten, wie z. B. Miscanthus. Mit Mais bebaute Flächen sind für Bestäuberpopulationen unattraktiv (s.o.) und es fehlen oft Randstrukturen, z. B. für die Nester von Hymenopteren. Für viele

Laufkäferarten sind die edaphischen Verhältnisse ungünstig (zu trocken, bei hochgewachsenen Beständen möglicherweise aber auch zu kühl) während nur wenige trockenheitsliebende Arten profitieren (Roßberg et al. 2002; Niermann et al. 2011; Klenke et al. 2017). Der großflächige Anbau von Mais in Kombination mit Klimaeffekten ist eine Hauptursache für den Rückgang des Hamsters in Frankreich (Tissier et al. 2016) und muss neben anderen Faktoren wie die Landschaftszerschneidung auch für Deutschland als weitere Ursache in Betracht gezogen werden. Die überwiegende Aufnahme von Mais kann bei Tieren zu schweren Vitamin-B3-Mangelerkrankungen mit tödlichen Folgen führen, wie z. B. beim Feldhamster, wo ein Mangel an Vitamin B3 nachgewiesenermaßen zu Infantizid führt (Tissier et al. 2017).

Wie eingangs beschrieben, ist Mais nicht die einzige Kultur, die für die Erzeugung von Biogas und nachfolgende Umwandlung in Strom in Frage kommt. Viele der anderen o.g. Kulturen erfordern einen geringeren Einsatz von Agrochemikalien und haben sogar teilweise positive Effekte, wie z. B. die Durchwachsene Silphie, die als Untersaat in Mais angebaut werden kann, mehrjährig ist und zudem noch Nahrung für Bestäuber liefert. Bei einem überwiegenden Anbau solcher Kulturen auf großer Fläche sind jedoch auch hier negative Effekte zu erwarten, die sich dann rein aus der dafür verwendeten Fläche und dem ununterbrochenen Anbau als Monokultur ableiten (z. B. Bellamy et al. 2009; Lewandowski et al. 2000; Sage et al. 2010).

Trotz des o.g. Anstiegs der Anbaufläche von Mais und Raps, der ja auf einen gestiegenen Flächenbedarf hindeutet, wenn nicht an anderen Kulturen gespart werden soll, kam es in Deutschland in den letzten zwei Jahrzehnten zu einem stetigen Verlust in der gesamten für landwirtschaftliche Zwecke genutzten Fläche (von 53,5 % im Jahr 2000 auf 51,7 % im Jahr 2014) (UBA 2016). Diese Entwicklung, die vor allem auf die Bodenversiegelung durch Straßenbau und Urbanisierung zurückzuführen ist, hat aber über die Erweiterung des Mais- und Rapsanbaus auch direkt den Rückgang anderer landwirtschaftlicher Flächennutzungen bewirkt.

Generell wird der Markt für landwirtschaftliche Produkte und damit zum Teil auch die Anbauplanung durch nationale und EU-weite Agrar- und Energiepolitiken beeinflusst (Schlegel und Kaphengst 2007). Auch die Fläche der Brachflächen nahm nach der Entscheidung der EU-Kommission im Herbst 2007 zur Abschaffung der obligatorischen Flächenstilllegung im Rahmen der GAP deutlich ab. Gegengesteuert wurde wiederum mit der GAP ab 2014, die den Erhalt von Dauergrünlandflächen (Wiesen und Weiden), Vielfalt beim Anbau von Kulturen auf Ackerflächen, sowie die Bereitstellung „ökologischer Vorrangflächen“ auf 5 % des Ackerlands (z. B. Stilllegungsflächen, Terrassen, Pufferstreifen, Hecken, Knicks oder Baumreihen) prämiiert).

Ganz allgemein kann gesagt werden, dass landwirtschaftliche Aktivitäten und die Form der Flächennutzung aktuell die wichtigsten Faktoren sind, die die Biodiversität unter Druck setzen und in Deutschland Artenverluste verursachen, gefolgt von forstwirtschaftlichen und hydrologischen Veränderungen (Günther et al. 2005).

### **Treiber**

Ein Treiber in diesem Konfliktfeld sind das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2017) bzw. sein Vorgänger das Stromeinspeisungsgesetz (1990).

Zu messen wären dementsprechend die Ausbauziele des EEG und der Gesamtenergiebedarf als Treiber im Allgemeinen (siehe Abschnitt 5.3.2 – Treiber – übergeordnete Betrachtung) und die Auswirkung der Förderinstrumente, die direkten Bezug auf die Bioenergie nehmen im Speziellen. Gleichzeitig muss aber auch die Effizienz der Anlagen berücksichtigt werden, aus der sich der Flächenbedarf für den Anbau der Substrate der Anlagen ergibt.



Das EEG ist zwar nicht für die Zulässigkeit von Biogas-Anlagen und den dafür erforderlichen Maisanbau sowie andere geeignete nachwachsende Rohstoffe maßgebend; ohne die über das Gesetz festgelegte Mindestvergütung entstünde jedoch kaum ein Anreiz zur Realisierung derartiger Anlagen in dieser Größenordnung damit auch damit kein so großer Nutzungsdruck.

Als zusätzlicher Treiber ist in diesem Kontext auch die Subventionspolitik bzw. Preisentwicklung sowie Verfügbarkeit von neuen Sorten im landwirtschaftlichen Bereich zu nennen, die dazu geführt haben, dass Mais als energiereiches Nahrungsmittel und Tierfutter, sowie Raps als Grundlage für die Herstellung von Öl (u. a. Nahrungsmittel, Kraftstoff) seit den 1970er Jahren in immer stärkerem Maße angebaut werden. Da die für die landwirtschaftliche Produktion verfügbare Grundfläche limitiert ist und durch die schon oben erwähnten Ursachen immer weiter abnimmt, ging der verstärkte Anbau von Mais und Raps mit einer Verringerung der Anbaufläche für andere Feldfrüchte sowie einen Umbruch von Grünland und Brache einher. Die Entwicklung hat zwar nicht mehr die Dynamik wie nach 2008, hat sich aber erst in den letzten vier Jahren durch entsprechende gesellschaftliche Reaktion (siehe Teilabschnitt „Reaktion“) auf hohem Niveau beruhigt (UBA 2019).

Verwertbare Informationen dazu sind in den Monitoring-Berichten zur Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse enthalten, so u. a. auf S. 107 von Scheftelowitz et al. (2015). Dort sind die Informationen in einer Tabelle zusammengetragen. Zukünftig sollten sie in Zeitreihen vorgehalten werden, die Informationen zur Geltung zum Zeitpunkt x, zur Leistungsklasse, der dafür gezahlten Grundvergütung sowie jeweils separiert, zu in diesem Zusammenhang wichtigen zahlbaren Boni (Kraft-Wärme-Kopplung - KWK, nachwachsende Rohstoffe - NawaRo, Technologie, Emission) enthalten. Diese Zeitreihen könnten mit anderen Indikatoren in Bezug gesetzt werden. Problematisch sind in diesem Fall die Vielzahl von Abstufungen der Leistungskategorien sowie Sonderregelungen, die eine klare und leicht kommunizierbare Darstellung in nur einem Zeitverlauf unmöglich machen und eine methodische Herausforderung für zukünftige statistische Auswertungen sind. Derartige Auswertungen sind allerdings die Basis für eine effektive Evaluation sowohl der Wirkungsweise der Politiken und Instrumente als auch der Art, Stärke und Richtung der dadurch erzeugten Effekte.

Als Beispiel kann hier die Novellierung des EEG 2012 dienen. Das Vergütungssystem wurde zwar vereinfacht, enthält aber immer noch 4 leistungsbezogene Anlagenkategorien und zwei Einsatzstoffvergütungsklassen sowie weitere 12 spezielle Bestimmungen. Für eine rückblickende Bewertung müssten all solche Informationen im Monitoring sorgfältig dokumentiert werden. Da sich auch die Ausschreibungsmodelle ändern können, sind u.U. auch zukünftig entsprechende Anpassungen in den eben genannten Messgrößen nötig.

Insbesondere für den Bereich der Biomasse, bestehen aber auch über das EEG hinaus vielfältige Wechselwirkungen mit anderen Gesetzen auf der „Druckebene“. Dazu können Internetdatenbanken wie BUZER (<https://www.buzer.de>, Gesetze und Verordnungen des deutschen Bundesrechts im Internet) in Kombination mit entsprechenden Dokumentationen der Gesetze und Verordnungen in der Parlamentsdokumentation (<https://www.bundestag.de/parlamentsdokumentation>) bzw. im Dokumentations- und Informationssystem für Parlamentarische Vorgänge (DIP, <https://dipbt.bundestag.de/dip21.web/bt>) oder auch der

Juris Datenbank (<http://www.gesetzeim-internet.de/>). Wie komplex die Zusammenhänge sein können, und welcher Mix von Gesetzen zusammenspielt zeigt sich schon bei einer einfachen Volltextsuche nach dem Wort "Mais" in BUZER. Hier finden sich Informationen zu Weichenstellungen allein in 10 Dokumenten, die in direktem Zusammenhang mit Energie, den landwirtschaftlichen Direktzahlungen (z. B. <https://www.bmel.de/DE/Landwirt>

schaft/Foerderung-Agrarsozialpolitik/Direktzahlungen/) sowie anbaubezogener Weichenstellung (Genetisch modifizierte Organismen) zu sehen sind und analysiert werden müssten. Das sind:

- der Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD (GroKoV) (3 Treffer);
- die Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung (BioSt-NachV) (7 Treffer) V. v. 23.07.2009 BGBl. I S. 2174; zuletzt geändert durch Artikel 1 V. v. 26.06.2018 BGBl. I S. 872;
- das Gesetz zur Neuregelung des Rechtsrahmens für die Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (EENG) (3 Treffer) G. v. 28.07.2011 BGBl. I S. 1634, 2255;
- das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2017) (2 Treffer) Artikel 1 G. v. 21.07.2014 BGBl. I S. 1066; zuletzt geändert durch Artikel 1 G. v. 21.06.2018 BGBl. I S. 862;
- die Dritte Verordnung zur Änderung der Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung (3. DirektZahlVerpVÄndV) (1 Treffer) V. v. 08.02.2010 BGBl. I S. 66;
- die Verordnung zur Festlegung weiterer Bestimmungen zur Treibhausgasminde rung bei Kraftstoffen (38. BImSchV) (1 Treffer) V. v. 08.12.2017 BGBl. I S. 3892;
- das Gesetz zur Einführung von Ausschreibungen für Strom aus erneuerbaren Energien und zu weiteren Änderungen des Rechts der erneuerbaren Energien (EEAusG) (1 Treffer) G. v. 13.10.2016 BGBl. I S. 2258;
- die Erste Verordnung zur Änderung der Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung (1. DirektZahlVerpVÄndV) (1 Treffer) V. v. 26.05.2006 BGBl. I S. 1252;
- die Gentechnik-Pflanzenerzeugungsverordnung(GenTPflEV) (1 Treffer) V. v. 07.04.2008 BGBl. I S. 655

sowie

- die Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung (BioSt-NachV).

Einzelne, nur klein und unwesentlich anmutende Änderungen in vielleicht sogar als für den Naturschutz unwesentlich erscheinenden Gesetzen oder Verordnungen können sich innerhalb kurzer Zeit in praktisch und naturschutzfachlich hochwirksamen Änderungen des Anbaugeschehens niederschlagen. Beispiele dafür sind die Erhöhung oder Kürzungen von Zahlungen oder die Einführung bzw. das Verbot bestimmter Praktiken.

So hat z. B. das Verbot der Saatgutbeizung mit Neonikotinoiden bei Raps innerhalb von ein bis zwei Jahren zur leichten Reduktion der Gesamtanbaufläche, vor allem aber zur Änderungen der Größe und Anordnung von einzelnen Feldern geführt, weil Raps ohne Saatgutbeizung nur in Fruchtfolge ertragreich angebaut werden kann. Das heißt, er sollte frühestens nur aller 4 bis 5 Jahre wieder auf derselben Fläche gesät werden (BUND 2017; Raupert 2018). Damit müssen bei begrenzter Fläche automatisch andere Feldfrüchte zum Einsatz kommen. Davor waren zum Teil auch deutlich engere Abstände zu beobachten, sogar bis hin zu Selbstfolge (Boessenkool et al. 2012).

Thrän et al. (2019) geben einen guten Überblick über die generellen Einflussgrößen in diesem Feld. Kapitel beschreibt die Indikatoren für den Druck, der ganz allgemein für alle Konflikte im behandelten Feld gilt. Die vorangegangenen Zeilen zeigen dagegen Details auf, die es zu dokumentieren gilt, wenn es um die genaue Analyse der Wirkungsweise und Interpretation der erzeugten Effekte auf der Druckebene geht.

## Druck

Der Druck auf die Schutzgegenstände (Bruthabitate, Lebensräume, Arten, Boden und Bodenfruchtbarkeit, Landschaftsbild) entsteht sowohl durch die Intensität, die Form und Länge der Bewirtschaftung, die chemische Belastung durch eingesetzte Nährstoffe sowie Herbizide und Pestizide. Eine weitere Komponente in diesem Kontext sind der Anteil und Anordnung der Anbauflächen auf der Betriebsfläche bzw. in der Region und die dem überwiegenden Anbau von nur einer Kultur folgende Verarmung des Spektrums der angebauten Feldfrüchte.

Großflächiger Anbau von nur wenigen Kulturen in hoher Dominanz oder jahrelanger Monokultur führt zu einer Verarmung an Grenzlinien und Habitatstrukturen, die für die Erfüllung vielfältiger Ansprüche (Brut, Nahrung, Balz) nötig sind und nicht zu weit entfernt sein dürfen. Ebenso spielen die Form und der Ablauf der mechanischen Bodenbehandlung sowie die Termine für Saat und Ernte eine Rolle. Auch hier führt der großflächige Anbau in Mono- oder dominanter Kultur und die teilweise nahezu synchrone oder zumindest in kurzen Zeiträumen großflächige Bearbeitung zu Störungen und Habitatverlusten auf großer Fläche. Werden große, nur mit einer Kultur bestandene Bereiche gemäht, fallen auch Nahrungs- und Deckungsmöglichkeiten großflächig und zeitgleich weg. Ein Wechseln in Nachbarschläge mit anderer Vegetation ist in diesem Fall nicht möglich. Diese Verluste können von vielen Arten nicht mehr ausgeglichen werden, da sich oft auch die Reproduktionsbedingungen durch die intensive Form der Bewirtschaftung verschlechtern. Schlussendlich muss hier noch die Umwandlung von Grünland in Acker genannt werden, die sich aus dem ökonomischen Druck und dem Mangel an für die Landwirtschaft zur Verfügung stehender Fläche ergibt (DESTATIS 2018).

Der Druck auf den Schutzgegenstand ist in diesem Konflikt in engem Zusammenhang mit der

- Anzahl, Lage und Leistung der errichteten Biogasanlagen (Abbildung 43 und Abbildung 44),
- für die Versorgung der Biogasanlagen notwendigen Anbaufläche und Verteilung der angebauten Feldfrucht (z. B. Mais und andere Kulturen in hoher flächiger Dominanz oder jahrelanger Monokultur; Abbildung 45) sowie
- der Form der Bewirtschaftung (z. B. Grad der Intensität, konventionell/organisch; wobei organisch nicht notwendigerweise immer mit Vorteilen einhergeht)

zu sehen.

Diese Informationen sind komplementär und nicht durch einen einzelnen Indikator ersetzbar und können als Gesamtsummen oder in regionalisierter Form (z. B. mit einem auf ein Standardmaß (Raster mit Kantenlängen von 1 km, 5 km oder max. 10 km) bezogenen Index aus der Summe der Anlagenleistungen pro Flächeneinheit in Bezug gesetzt werden. Beispielgebend ist hier der Online-Atlas zur Agrarstatistik des Statistischen Bundesamtes und der Länder, der im Intervall von 6 Jahren aktualisiert wird (DESTATIS 2018) (Abbildung 45). Allerdings sind die Daten nur bedingt öffentlich verfügbar.

Die Regionalisierung (Abbildung 45) kann zeigen, in welchen Regionen die Flächenanteile von Mais und Raps dominieren und in welchen Regionen das eher kein Problem ist. Bei einer einfachen Aufsummierung der Flächen in einem bundesweiten Indikatorwert geht diese Differenzierung natürlich verloren, was dann immer wieder Angriffspunkte für eine Kritik liefern kann.

Zusätzlich zur Fläche und den eben genannten qualitativen Informationen sollten

- klassen- und landschaftsbezogenen Strukturmaße (z. B. patch diversity) bestimmt und zur Beschreibung der durch den Anbau von Monokulturen veränderten Landschaftskomposition und -konfiguration und des dadurch zunehmenden Druckes verwendet werden. Daneben sollte auch auf
- Informationen über die Belastung mit Agrochemikalien zurückgegriffen werden (z. B. eingesetzte Mittel und flächenbezogene Menge).

Solche Informationen werden bereits erhoben, zum Teil sogar sehr detailliert, und z. B. im sogenannten SYNOPSIS - Risikoindex für terrestrische Nicht-Zielorganismen zusammengefasst dargestellt (BMEL 2018). Für detailliertere Analysen von Kausalzusammenhängen muss die Erfassung nicht notwendigerweise flächenscharf geschehen, sollte aber in einer Auflösung erfolgen, die sinnvolle Zuordnungen in hinreichender Auflösung erlaubt, also z. B. in einem Raster von 1 km oder 5 km Kantenlänge.

Zur Einschätzung der Wirkung von Agrochemikalien und Nährstoffeinträge ist es sinnvoll, auch

- Informationen über die Böden und
- das Grundwasser

vorzuhalten, die ebenfalls nicht nur von Naturschutzseite sondern auch von anderer Seite (z. B. Landwirtschaft, Geologie, Wasserwirtschaft) erhoben werden bzw. erhoben werden können.

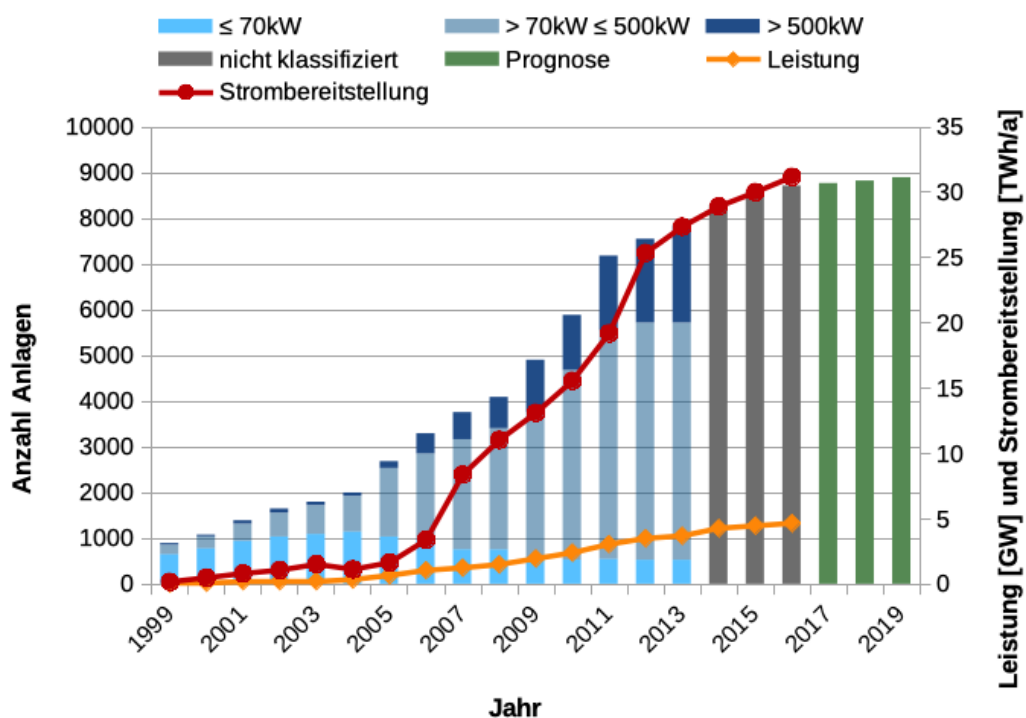


Abbildung 43: EEG-Biogasanlagen in Deutschland (2016 auf der Basis vorläufiger Zahlen; 2014 bis 2016 ohne Größenklassierung) aus Lenz et al. (2017), verändert.

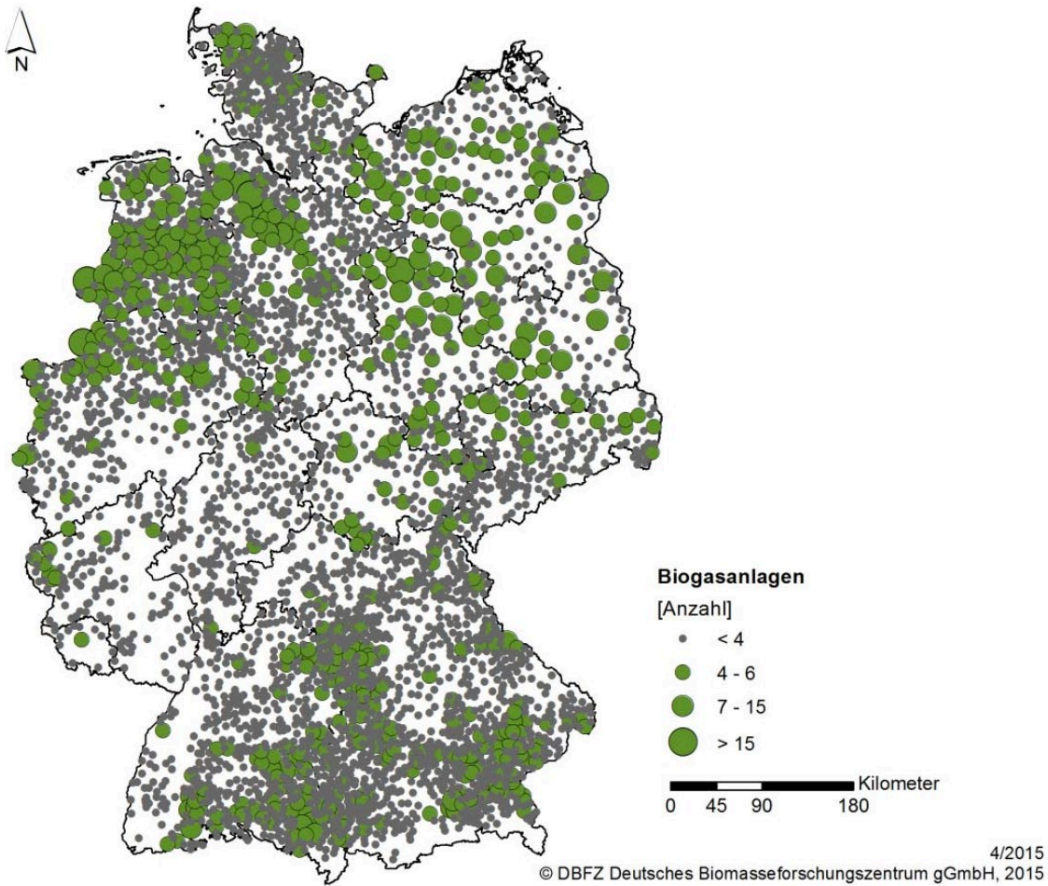


Abbildung 44: Standorte der in Betrieb befindlichen Biogasanlagen (Vor-Ort-Verstromung) in Deutschland; vereinzelt Standorte von in Bau und Planung befindliche Biogasanlagen; Bezugsebene: Postleitzahl (Datenbank DBFZ, Stand 04/2015) aus Scheftelowitz et al. (2015).

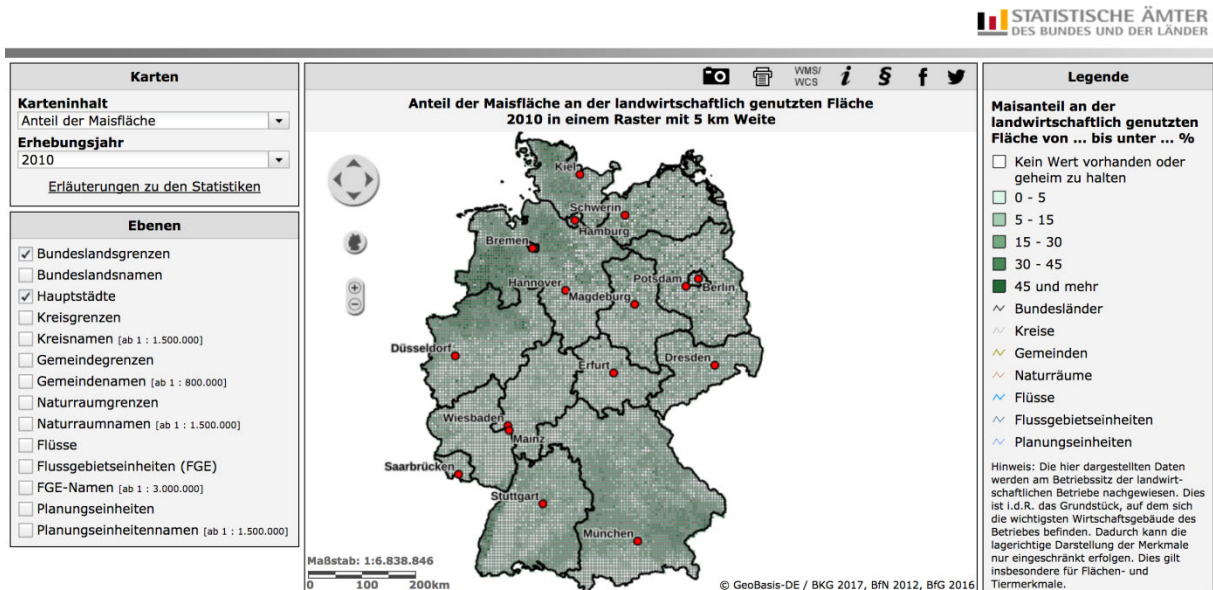


Abbildung 45: Anteil der Maisfläche an der landwirtschaftlich genutzten Fläche 2010 in einem Raster mit 5 km Weite (DESTATIS 2018).

## Zustand

Als Messgröße für den Zustand der Schutzgegenstände können zum einen Informationen über Tier- und Pflanzenpopulationen herangezogen werden, die im Rahmen des allgemeinen umfassenden Biodiversitätsmonitorings erhoben werden. Allerdings wäre es auch sinnvoll und nötig, die Qualität der genutzten Flächen zu beschreiben und den Zustand der darin lebenden Tier- und Pflanzengemeinschaften zu dokumentieren.

Flächendeckend gibt es kaum Daten zum Zustand der Schutzgegenstände, die in einer hinreichenden Auflösung und räumlichen Abdeckung vorliegen, um einen direkten räumlichen Zusammenhang zwischen den Entwicklungen in den Populationen und der Landschaft herzustellen. Es ist auch unwahrscheinlich, dass dies in naher Zukunft geschehen wird. Aus diesem Grunde ist es unbedingt nötig, Informationen über die Feldfrüchte, die Anbaufläche und die Bewirtschaftungsform, die bereits zentral dokumentiert werden (z. B. InVeKoS im Rahmen der flächenbezogenen EU-Agrarförderung), für Analysen bereitzustellen.

In jedem Fall ist es sinnvoll hier die bereits etablierten Monitoringelemente zu nutzen, wie den Nachhaltigkeitsindikator, MHB oder das geplante Ökosystem- bzw. Umfassende Biodiversitätsmonitoring (u. a. Mitschke et al. 2005; Dröschmeister und Sukopp 2009).

Regelmäßig sollten auch Änderungen der Landschaftskomposition und -konfiguration durch Auswertung von InVeKoS-Daten oder Satellitenbildern dokumentiert werden, um auch nachträgliche Analysen durchführen zu können.

Mögliche Messgrößen für den Zustand sind also die

- raum- und zeitbezogenen Informationen aus den bereits etablierten Elementen des Biodiversitätsmonitoring des BfN (z. B. Nachhaltigkeitsindikator Artenvielfalt in der Agrarlandschaft - Dröschmeister und Sukopp (2009), MHB Monitoring - Mitschke et al. (2005)) und aus zukünftigen Elementen, wie z. B. dem Ökosystemmonitoring oder der Beobachtung spezieller Gruppen.

Zusätzliche Messgrößen, die auch im Rahmen des Naturschutzfachlichen Monitorings der Erneuerbaren Energien erhoben werden können, sind Angaben zum zeitlichen Verlauf des Verlustes an Fläche von Habitaten, Lebensräumen sowie Schutzinstrumenten durch die Errichtung von Biogas-Anlagen sowie speziellen finanziellen Anreizen folgende Änderungen der Landnutzung. Dabei steht nicht ein spezieller Schutzgegenstand im Vordergrund, sondern entweder die gesamte Landschaft, oder nur die Agrarlandschaft. Speziell wären hier

- die Landschaftskomposition - auf ein Standardmaß (Raster mit Kantenlängen von 1 km, 5 km oder max. 10 km) bezogene Flächenanteile – und
- die Landschaftskonfiguration - auf ein Standardmaß (Raster mit Kantenlängen von 1 km, 5 km oder max. 10 km) bezogene Analysen zur Anordnung und Flächenverteilung der unterschiedlichen Feldfrüchte

zu nennen. Dafür können

- Landschaftsstrukturindizes wie z. B. die Landschaftsdiversität oder klassenbezogene Flächen und Formindizes

herangezogen werden.

Auf räumlich übergeordneter Ebene können dann noch Angaben zum

- Vorkommen und Zustand von Populationen sowie Lebensräumen

aus anderen Bereichen des Biodiversitätsmonitorings der Länder und des Bundes (BfN) herangezogen werden.

Unter den hier genannten Messgrößen und Indikatoren erscheint

- **der Nachhaltigkeitsindikator Artenvielfalt in der Agrarlandschaft** (Dröschmeister und Sukopp 2009; BfN 2017a; Abbildung 46)

durch seine ausführliche Begründung und bisherige umfangreiche Verwendung am besten für die Indikation des Zustandes in diesem Feld geeignet.

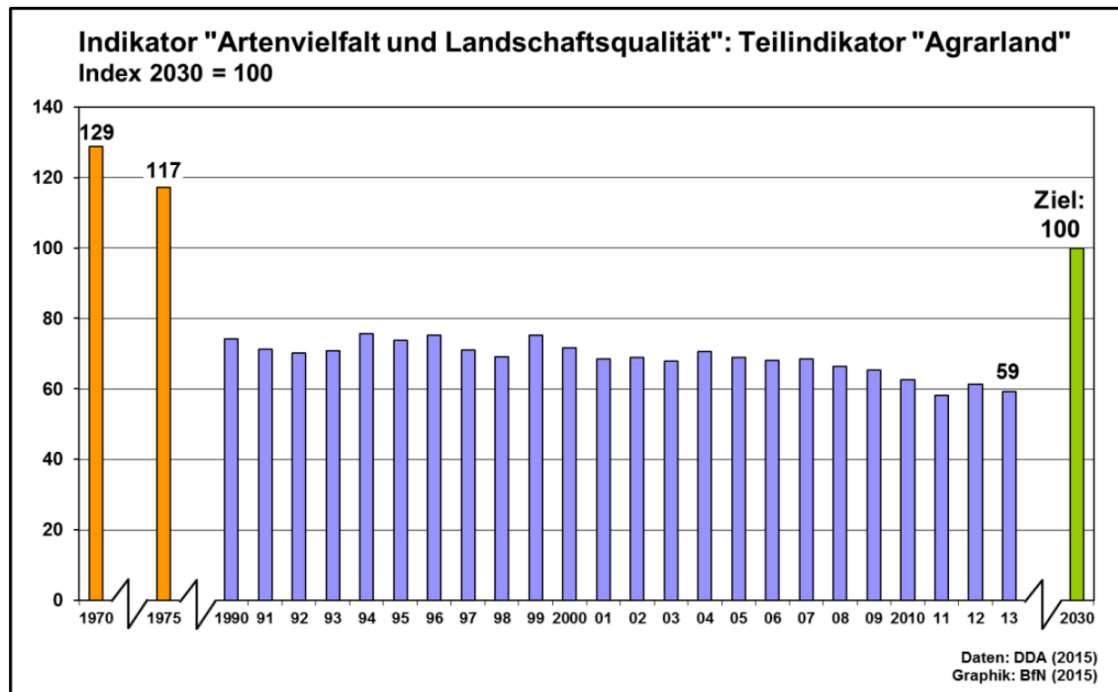


Abbildung 46: Indikator "Artenvielfalt und Landschaftsqualität": Teilindikator "Agrarland" (BfN 2017a).

### Auswirkung

Die Folgen des Ausbaus der Bioenergie und spezielle Auswirkungen können durch die Koppelung der Informationen über den Druck und den Zustand abgelesen werden.

In der Summe können bereits die zeitlichen Verläufe der Flächenbilanzen und des Indikators Artenvielfalt in der Agrarlandschaft Auskunft über mögliche Korrelationen geben. Detaillierte Aussagen über die Kausalitäten werden erst durch räumlich und zeitlich explizite Analysen unter Hinzuziehung aller Einflussfaktoren möglich. Dafür werden sowohl räumlich explizite Daten über den Anbau von Energiepflanzen sowie Daten über die eingesetzten Mengen an Kunstdünger, Herbizide, Pestiziden und anderen Stoffen (z. B. Halmstabilisatoren) benötigt. Diese könnten entweder flächenscharf oder auf kleinräumiger Rasterbasis ausgewertet werden (Standardmaß, Raster mit Kantenlängen von 1 km, 5 km oder max. 10 km).

Die beschriebenen Effekte skalieren vermutlich direkt mit Anzahl der Anlagen sowie mit der für den Betrieb von Biogas-Anlagen nötigen Anbaufläche der Energiepflanzen.

Eine kausale Analyse der Auswirkungen ist jedoch nur mit sehr dedizierten und passfähigen Daten über die direkt betroffenen oder angrenzenden Lebensräume sowie die darin vorkommende Pflanzen und Tierarten durchführbar. Das erfordert die gleichen Datengrundlagen, wie sie bereits in den Abschnitten Treiber und Zustand erwähnt wurden.

Die Auswirkungen lassen sich dann über die

- Zusammenhänge im zeitlichen und räumlichen Verlauf zwischen den Messgrößen aus den Abschnitten Treiber, Druck und Zustand

beschreiben. Diese sagen aber unter Umständen noch nichts über zugrundeliegende Mechanismen und funktionale Zusammenhänge auf, für deren Analyse noch tiefergehende Spezialuntersuchungen an ausgewählten Fallbeispielen erforderlich sind, die auch die räumliche Verteilung berücksichtigen (siehe z. B. Abbildung 44 und Abbildung 45). Hier kann die Dokumentation der Ergebnisse von wissenschaftlichen Studien in Form einer Datenbank und eine nachfolgende Meta-Analyse sehr hilfreich sein (Klenke et al. 2017; Siriwardena und Trucker 2017). Solche Ergebnisse können dann auch wiederum für eine flächenhafte Skalierung genutzt werden. Einfachere statistische Analysen der Zusammenhänge in Brandenburg und auf Bundesebene haben allerdings gezeigt, dass es offensichtlich einen korrelativen Zusammenhang zwischen dem Verhältnis der für Brache und Stilllegung sowie der für den Anbau von Mais und Raps genutzten Fläche und dem Vorkommen von für die Agrarlandschaft typischen Vogelarten gibt (Flade und Schwarz 2013; Flade 2014). Für einige Arten der Agrarlandschaft ist auch das Grünland von besonderer Bedeutung (Flade und Schwarz 2013; Flade 2014).

Auf Grund dieser Informationen wurde untersucht, ob sich diese Zusammenhänge auch zwischen dem Teilindikator Artenvielfalt und Landschaftsqualität in der Agrarlandschaft (Dröschmeister und Sukopp 2009; BfN 2017a) und den genannten Landnutzungsformen finden (Klenke et al. 2017), die ja auch zum Teil als Indikatoren (Grünlandumbruch) in den Daten zur Umwelt des Umweltbundesamtes aufgeführt werden (UBA 2019). Abbildung 47 zeigt die zeitliche Entwicklung der entsprechenden Flächennutzungen in der Bundesrepublik.

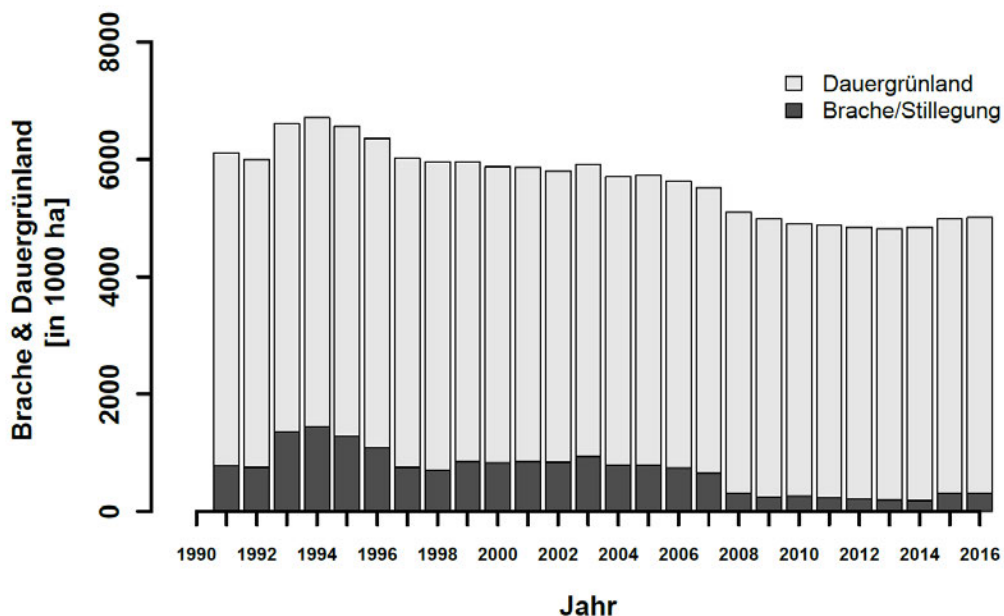


Abbildung 47: Landwirtschaftlich genutzte Fläche mit Brache und konjunktureller Stilllegung sowie Dauergrünland (Quellen: UBA 2019; DESTATIS 2018).



Bei der Analyse von 16 verschiedenen statistischen Modellen, die die korrelative Beziehung zwischen der für den Anbau von Silomais und Raps sowie der mit Dauergrünland bewachsenen oder als Brache bzw. Stilllegungsfläche und dem o.g. Indikator in verschiedenen Kombinationen beleuchten, ergab sich ein enger und hochsignifikanter Zusammenhang (Statistische Signifikanz: Irrtumswahrscheinlichkeit  $\leq 0.5$  [\*] signifikant,  $\leq 0.1$  [\*\*] sehr signifikant,  $\leq 0.01$  [\*\*\*] hoch signifikant, siehe auch Anonymus (2019c)) besonders zwischen dem

- Teilindikator Artenvielfalt und Landschaftsqualität in der Agrarlandschaft ( $I_{\text{Artenvielfalt\&Landschaftsqualität}}$ ) und dem
- Quotienten aus der jährlichen aufsummierten Anbaufläche für Silomais und Raps sowie der jährlichen aufsummierten Fläche, die für Brache, Stilllegung und Dauergrünland genutzt wurde, hier kurz als

• **Energiepflanzenanbau-zu-Extensivflächen-Quotient**

bezeichnet. Dieser Quotient kann für jedes Jahr  $i$  leicht nach Formel (1) berechnet werden und wird hier als Silomais-Raps-Brache-Dauergrünland-Quotient bzw. in mathematischer Notation als  $Q_{SR|BD}$  bezeichnet.

$$Q_{SR|BD_i} = \frac{(F_{\text{Silomais}_i} + F_{\text{Raps}_i})}{(F_{\text{Brache+Stilllegung}_i} + (F_{\text{Dauergrünland}_i})} \quad (1)$$

Dieser Quotient wird umso größer, je ungünstiger das Verhältnis zwischen der Anbaufläche für Energiepflanzen und der verbleibenden Fläche für Brache und Dauergrünland wird und sollte einen noch zu definierenden Schwellenwert nicht überschreiten.

Der zeitliche Verlauf des Quotienten  $Q_{SR|BD}$  findet sich in Abbildung 48:

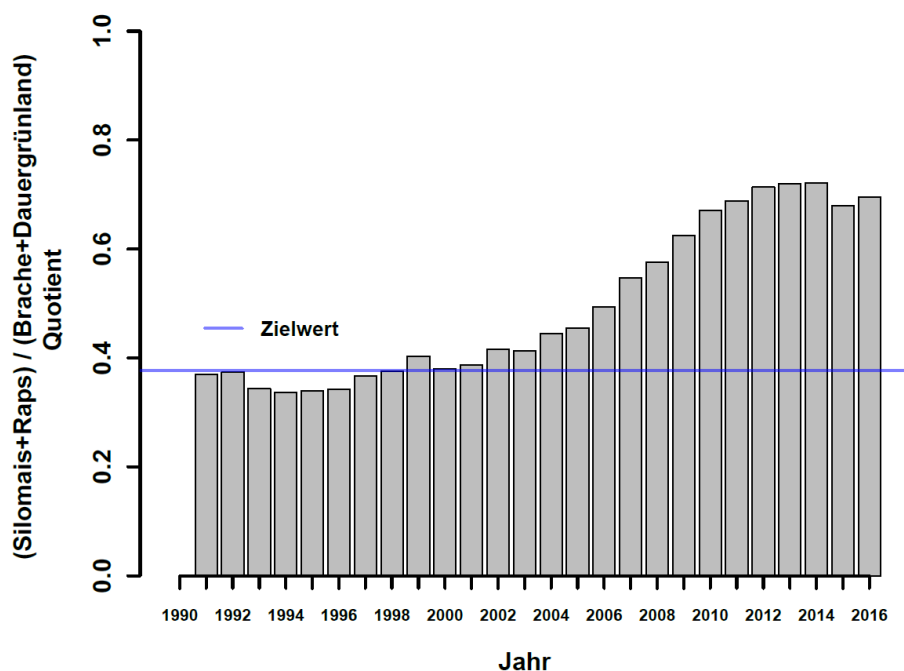


Abbildung 48: Zeitlicher Verlauf der Werte des Quotienten  $Q_{SR|BD}$  im Vergleich mit dem empfohlenen Zielwert (blau).

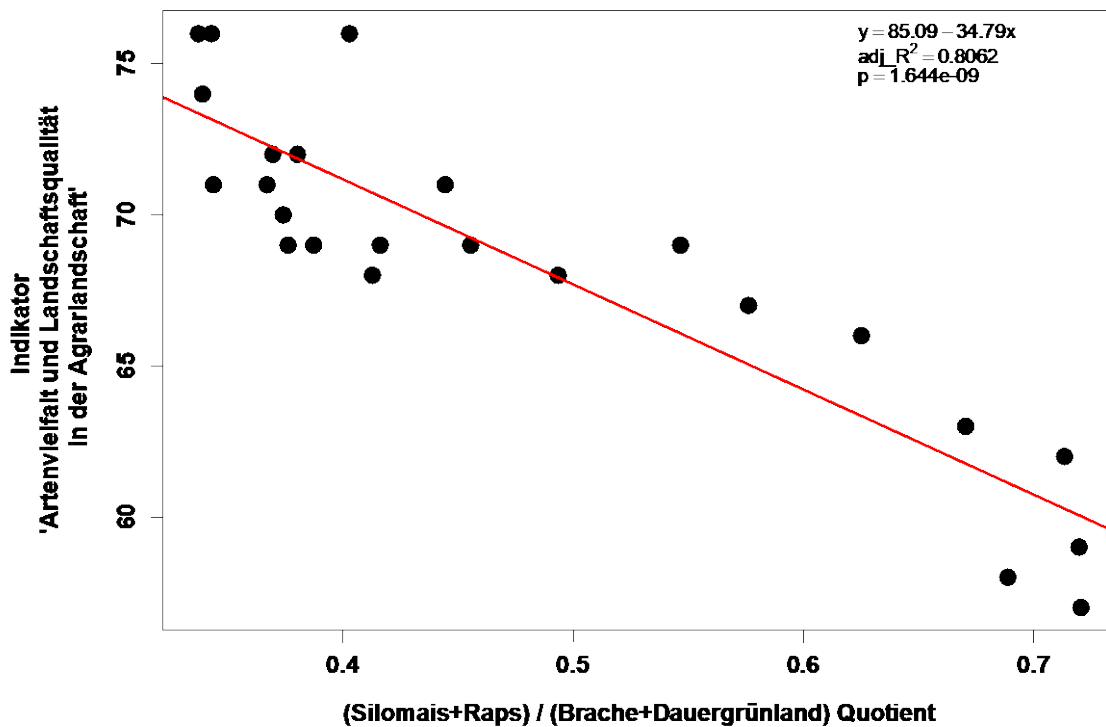


Abbildung 49: Regression zwischen dem Quotienten  $Q_{SR|BD}$  und dem Teilindikator Agrarlandschaft des Nachhaltigkeitsindikators „Artenvielfalt und Landschaftsqualität“ (Abbildung 46).

Das Regressionsmodell:

$$I_{\text{Artenvielfalt}\vee\text{Landschaftsqualität}} = 85.09 - 34.79 \cdot Q_{SR|BD} \quad (2)$$

erklärt mit einem adjustierten Bestimmtheitsmaß  $R^2$  von 0.8146 über 80 % und damit einen sehr hohen Teil der Varianz (AIC = 113.2002, AIC des schlechtesten Modells = 145.077). Der Gewinn durch die Einbeziehung des Dauergrünlandes gegenüber einem Modell, in dem bei der Indexbildung (Formel (1)) nur die Fläche der Brache und Stilllegung berücksichtigt wird, ist allerdings nur marginal. In der Einzelbewertung (Tabelle 31) liegt allerdings das Dauergrünland vorn. Die oben erklärte Berechnung führt allerdings zum deutlich besten Ergebnis sowohl bei der erklärten Varianz ( $R^2$ ) wie auch beim AIC, der zum Vergleich der Erklärungsgüte der Modelle bei größtmöglicher Einfachheit dient (siehe Anonymus (2019b)).

Tabelle 31: Regressionsfunktion und Parameter für die abhängigen Variablen x in der Erklärung der Variable y – Indikator Artenvielfalt und Landschaftsqualität in der Agrarlandschaft. Jede der Variablen kann allein einen Teil der Varianz erklären, wenngleich die Flächen von Mais und Raps hier allein eher schlecht abschneiden. Je kleiner der AIC umso geeigneter ist das Modell.

x	Funktion	Adjustiertes Bestimmtheitsmaß $R^2$	p	AIC
Mais	$y = 9,703 + 1,392E-5 \cdot x$	0,547	1,445E-5***	139,441
Raps	$y = 8,802 + -1,619E-5 \cdot x$	0,4325	2,119E-4***	145,077
Brache	$y = 5,976 + 1,218E-05 \cdot x$	0,6971	2,37E-07***	123,911
Dauergrünland	$y = -2,303 + 1,835E-5 \cdot x$	0,7086	1,539E-7***	122,985

Abbildung 48 zeigt den zeitlich korrelativen Zusammenhang. Der hier gefundene Zusammenhang liefert noch keine kausale Erklärung. Allerdings basieren sowohl die Ableitung des *Intensivfalt&Landschaftsqualität* (UBA 2019) als auch die Ergebnisse von Flade und Schwarz (2013) bzw. Flade (2014) oder auch anderer Autoren (z. B. Siriwardena und Tucker 2017) auf sehr detaillierten Analysen, die auch die Mechanismen und Ursachen der Zusammenhänge zwischen den o.g. Messgrößen diskutieren.

Der Quotient  $Q_{SR|BD}$  sollte an einem Zielwert gemessen werden (Hellawell 1991). Flade und Schwarz (2013) bzw. Flade (2014) kommen nach ihren statistischen Analysen in ihrer Region zu dem Ergebnis, dass eine Fläche von mindestens 10 % der ackerbaulich genutzten Fläche jährlich ruhen (Brache oder Stilllegung) und Dauergrünland einen Anteil von 15 % an der gesamten landwirtschaftlichen Fläche einnehmen sollte. Die Zielvorstellung von 10 % Brache bzw. Stilllegung an der Ackerfläche kann problemlos über das Bundesgebiet skaliert werden, blickt man auf die Verteilung des Dauergrünlandes gibt es jedoch große regionale Unterschiede. Bundesweit nahm Dauergrünland im Jahr 1991 immerhin 31 % der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche ein (UBA 2019). Aus diesem Grund wird ein Zielwert von mindestens 30 % gemittelt über das gesamte Bundesgebiet vorgeschlagen. Dieser Wert kann aber regional stärker schwanken, da es größere Unterschiede in den diesbezüglichen Potentialen zwischen den Landschaften gibt. Beide Werte orientieren sich dabei stark an den Verhältnissen, die in den frühen 1990iger Jahren vorgefunden wurden, als Brache sowie Stilllegung aus konjunkturellen Gründen gefördert wurden und sich gezeigt hatte, dass insbesondere die Stilllegung wesentlich zur Erholung der Biodiversität in der Agrarlandschaft beigetragen hat (u. a. Flade und Schwarz 2013; Flade 2014; Klenke et al. 2017). Der Zielwert für Brache und Dauergrünland  $G_{BD}$  berechnet sich nach Formel (2):

$$G_{BD} = \max_i^k (F_{Ackerland_i}) * 0.1 + \max_i^k (F_{Ackerland_i + Dauergrünland_i}) * 0.3 \quad (3)$$

$i = 1990, k = 2016$

Generell sollte auch darauf geachtet werden, dass es regional nicht noch zu einer weiteren Ungleichgewichtung kommt, d. h. Gewinne in einer Region werden durch Verluste in ähnlicher Höhe in anderen Regionen ausgeglichen während der Mittelwert gleich bleibt. Um das zu vermeiden, könnte bei Berechnungen der auf der Basis der Flächenanteile der Kreise gewichtete Mittelwert verwendet werden.

Auch für Mais und Raps können Zielwerte vorgegeben werden. Wie sich zeigte, gab es gerade in den 1990iger Jahren eine Erholung der Vogelgemeinschaften in der Agrarlandschaft (Flade 2014; Flade und Schwarz 2013). Nun sollte hier nicht der beste Wert als Zielwert anvisiert werden. Es erscheint aber sinnvoll, die Anbaufläche der Intensivkulturen Mais und Raps insgesamt auf ungefähr 20 % bis 25 % der Ackerfläche zu begrenzen. Das ist ein Wert, der etwa einem vier bis fünfjährigen Rhythmus in der Fruchtfolge entspricht, wenn in den anderen Jahren auf den Flächen andere Kulturen angebaut werden. Bundesweit liegt aktuell der Anteil an Mais allein bereits bei rund 20 %, in manchen Regionen allerdings über mehr als 40 % (DMK 2018), das sollte vorausschauend und durch angepasste Zulassungsbeschränkungen für weitere Biogasanlagen/Viehbetriebe in Problemregionen geändert werden. Da auch die Ackerfläche ein schützenswertes Gut ist, wurde hier die Fläche als Bezug gewählt, die 1990 landwirtschaftlich genutzt wurde.

Der Zielwert für die Anbaufläche von Silomais und Raps  $G_{SR}$  berechnet sich daher nach der Formel:

$$G_{SR} = F_{Ackerland1990} * 0.2 \quad (4)$$

Dieser Wert wird auch benutzt, um den Schwellenwert  $T_{SR|BD}$  zu berechnen (Formel (5)):

$$T_{SR|BD} = \frac{G_{SR}}{G_{BD}} \quad (5)$$

Aus den in den Formeln verwendeten Messgrößen  $F_{Silomais}$ ,  $F_{Raps}$ ,  $F_{Brache+Stillelegung}$ , sowie  $F_{Dauergrünland}$  kann der Quotient  $Q_{SR|BD}$  (Formel (1)) für die einzelnen Jahre  $i$  berechnet, in einer Zeitreihe aufgetragen und mit dem Schwellenwert verglichen (Abbildung 48) oder auch daran skaliert werden (Formel (6)):

$$Q_{SR|BD_i}^* = \frac{Q_{SR|BD_i}}{T_{SR|BD}} \quad (6)$$

Wird der Ziel- bzw. Schwellenwert  $T_{SR|BD}$  (Abbildung 48) überschritten, so deutet das auf eine deutliche Zunahme der negativen Einflüsse auf die Habitatverfügbarkeit und -qualität von in der Agrarlandschaft lebenden Vögeln hin und damit auch auf eine gewachsene Einflussnahme (Impact) auf die direkten Lebensbedingungen, die sich wiederum in verringerter Reproduktion bzw. erhöhten Verlusten bei Jungtieren und adulten Tieren niederschlagen werden.

Für die Bewertung der Einflussnahme auf den Schutzgegenstand kann die

- **prozentuale Änderung des Energiepflanzenanbau-zu-Extensivflächen-Quotient**

hilfreich sein. Dieser mit  $\Delta Q_{SR|BD}$  (Formel (7)) bezeichnete Indikator gibt an, um wieviel Prozent sich der Energiepflanzenanbau-zu-Extensivflächen-Quotient im Jahr  $i$  nach oben oder unten verändert hat. Ein Abgleiten in den negativen Bereich deutet auf eine Verschlechterung hin, steigt er in positiver Richtung, so kann das zwar durchaus für viele Arten der Agrarlandschaft sehr positive Auswirkungen haben, allerdings werden dadurch dann andere Funktionen und Dienstleistungen verringert oder vielleicht sogar beeinträchtigt:

$$\Delta Q_{SR|BD_i} = \frac{(T_{SR|BD} - Q_{SR|BD_i})}{T_{SR|BD}} \cdot 100 \quad (7)$$

Abbildung 50 zeigt den Werteverlauf dieses Indikators. Basierend auf bisherigen Beobachtungen wird angenommen, dass Änderungen bis zu 5 % oder auch 10 % nach oben oder unten keine bzw. nur relativ geringe Auswirkungen auf den Schutzgegenstand Artenvielfalt und Landschaftsqualität haben sollten. Gehen die Änderungen über dieses Maß hinaus, vor allem stetig in negativer Richtung, so muss mit deutlich nachteiligen Entwicklungen für den Schutzgegenstand gerechnet werden. Darauf deuten die bisherigen Erkenntnisse aus der Literatur (u. a. Flade 2014; Flade und Schwarz 2013; Siriwardena und Tucker 2017) sowie die in (Abbildung 49) dargestellte Beziehung zwischen dem Energiepflanzenanbau-zu-Extensivflächen-Quotient und dem Teilindikator Artenvielfalt und Landschaftsqualität in der Agrarlandschaft hin. Die Folgen von einem deutlichen Abgleiten in den positiven Bereich bedürfen noch einer Untersuchung. Es ist allerdings zumindest zurzeit sehr unwahrscheinlich, dass es dazu kommen wird.

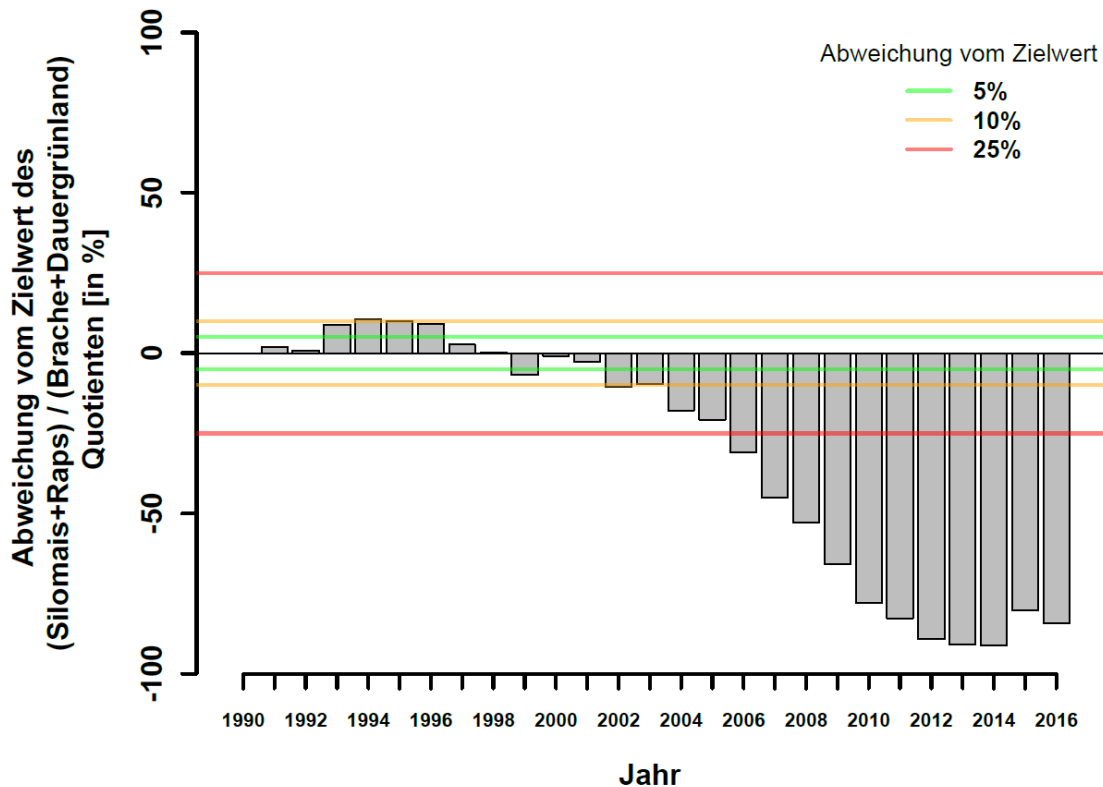


Abbildung 50: Prozentuale Änderung des Energiepflanzenanbau-zu-Extensivflächen-Quotient  $\Delta Q_{SR|BD}$  (Formel (7)).

Die Lage des Mittelwertes ( $y = 0$ ) und damit auch die Richtung der Auswirkungen richtet sich danach, wie die Zielgrößen  $G_{SR}$  und  $G_{BD}$  definiert werden. Nach allem bisherigen Wissen waren es vor allem die neunziger Jahre, in denen sich die Fauna und Flora der Agrarlandschaft etwas vom Intensivierungsdruck erholen konnte. Die hier gewählten Zielwerte liegen leicht unter den Maximalwerten für die Flächen an Brache, Stilllegung und Dauergrünland. Allerdings ist auch bekannt, dass der Erhaltungsstatus des hier behandelten Schutzgegenstandes bereits weit unter dem angestrebten Ziel liegt. Der gewählte Schwellenwert ist also hinsichtlich der exemplarischen Berechnungen nicht zu hoch, sondern eher immer noch zu niedrig gewählt. Es wird davon ausgegangen, dass leichte Schwankungen um den Mittelwert unproblematisch sind und bereits eine nur geringe aber kontinuierlich über mehrere Jahre zu beobachtende positive Auslenkung nachhaltige positive Effekte erzeugen kann. Einzelne, unter Umständen auch starke Auslenkungen nach unten könnten ebenfalls durch geringe Änderungen zum Positiven aufgefangen werden, wenn sich diese positive Entwicklung über eine längere Phase von mehreren aufeinanderfolgenden Jahren hinzieht. Eine wiederholte stark negative Auslenkung, wie sie gerade in den letzten Jahren verstärkt zu beobachten ist aber sicher von großem Nachteil.

Der hier beschriebene

- Energiepflanzenanbau-zu-Extensivflächen-Quotient  $Q_{SR|BD}$

bzw. die Berechnung der Änderung in der Form der

- Prozentuale(n) Änderung des Energiepflanzenanbau-zu-Extensivflächen-Quotient  $\Delta Q_{SR|BD}$

weisen einige Eigenschaften auf, die sie für die Indikation von durch den Energiepflanzenanbau verursachten Einwirkungen auf Artenvielfalt und Landschaftsqualität in der Agrarlandschaft unter allen in diesem Abschnitt genannten Messgrößen am besten geeignet erscheinen lassen. Die Zusammenhänge sind bekannt, zum Teil bereits gut, wenn auch nicht umfassend analysiert, es gibt Bezüge zu anderen Indikatoren und beide lassen sich vergleichsweise einfach berechnen.

Die Aussage sowie Interpretierbarkeit im Hinblick auf Richtung und Stärke der Einflüsse ist bei der

- **Prozentuale(n) Änderung des Energiepflanzenanbau-zu-Extensivflächen-Quotient**  
 $\Delta Q_{SR/BD}$

allerdings am eindeutigsten. Es wird empfohlen ihn daher für die Indikation der Einwirkungen, die zum Verlust von Biodiversität und Agrobiodiversität als Folge der Verengung von Fruchtfolgen im Energiepflanzenanbau, Monokulturbildung und weiteren Effekten führen.

Dieser Indikator erscheint relativ gut geeignet, Auswirkungen, die durch die Veränderungen der Anteile der vier einfließenden Flächennutzungen abzubilden. Er ist allerdings nur bedingt geeignet, die Ursache für diese Veränderungen in allen Fällen zu identifizieren sowie den Anteil, der ausschließlich durch die Erzeugung von Elektroenergie verursacht wird. Das würde eine eindeutige Zuordnung der Anbaufläche zur Verwertung der von der Fläche geernteten Feldfrüchte erfordern, was derzeit mit den zugänglichen Daten nicht möglich ist (siehe oben). Zu einer ähnlichen Einschätzung kommen auch Köppen et al. (2014) in ihrer Studie zur Implementierung der GBEP Indikatoren für nachhaltige Bioenergie in Deutschland wenn sie schreiben:

*Data on the geographical location of biomass production in Germany are only hardly available and not freely assessable. For example, it is unknown which part of the total maize or rapeseed production area can be allocated to energy crop production. Main restriction for this indicator is the lack of information on the geographical location of the biomass feedstocks harvested for bioenergy use. The use of GIS is highly recommended for this indicator. (Köppen et al. 2014, S. 50)*

Dabei heben auch diese Autoren die Bedeutung der Konversion von Dauergrünland zugunsten des Energiepflanzenanbaus als Ursache für den Verlust von Biodiversität hervor. Die drei in der Studie beschriebenen Teilindikatoren laufen allerdings zum Teil ins Leere. Der Indikator 7.1 (*Area and percentage of nationally recognised areas of high biodiversity value or critical ecosystems converted to bioenergy production*) ist kaum aussagekräftig, da in Gebieten die flächenmäßig bedeutsam sind (z. B. Nationalparke, FFH-Gebiete) entweder gar kein Management oder aber nur durch Pläne geregelte Bewirtschaftung möglich ist und auch ein entsprechendes Monitoring existiert (Köppen et al. 2014). Schutzinstrumente von flächigem Charakter (z. B. Naturschutzgebiete, FFH-Gebiete, Nationalparks) verfolgen überdies einen segregativen Ansatz, d. h. in der Regel steht dort der Naturschutz im Vordergrund, dafür sollte dann in den Bereichen außerhalb der Schutzgebiete eine relativ uneingeschränkte Nutzung bei Beachtung der guten fachlichen Praxis möglich sein. Viele Arten, die heute in der Agrarlandschaft selten geworden sind, sind aber typische Arten von Kulturlandschaften, sie lassen sich mit einem segregativen Ansatz nicht oder kaum schützen, sondern nur durch einen integrativen Ansatz, der versucht, die verschiedenen Aspekte der Landnutzung und Landschaftsfunktion in Einklang zu bringen, z. B. durch eine nachhaltige, ressourcen- und raumschonende sowie naturverträgliche Bewirtschaftung. Das wird zum Beispiel durch das Stichprobensystem des sogenannten High-Value-Nature-Farmland Index (HNVF) abgebil-

det. Aber auch dieser Indikator ist in Bezug auf die Gewinnung von Elektroenergie aus Biomasse auf Grund der fehlenden Daten über die Verwendung der geernteten Kulturen unspezifisch. Der Teilindikator *7.2 Area and percentage of the land used for bioenergy production where nationally recognised invasive species, by risk category, are cultivated* wird von Köppen et al. (2014) als kaum relevant gesehen, da der Anbau von Kulturen invasiver Pflanzen stark beschränkt ist. Während der Teilindikator *7.3 Area and percentage of the land used for bioenergy production where nationally recognised conservation methods are used* sehr wahrscheinlich nur wenig aussagekräftig ist, da mit biologischen Ansätzen bewirtschaftete Flächen kaum zur Erzeugung von Biomasse genutzt werden (Köppen et al. 2014).

Daher bleibt zur Zeit nur eine differenzierte Analyse der zeitlichen Geltung der verschiedenen Gesetze und ökonomischen Instrumente, die als Mix aus verschiedenen Sektoren auf die Anbauentscheidungen der Landwirte wirken, in Relation zu den zeitlichen Entwicklungen der für den Anbau von Mais und Raps sowie als Dauergrünland und Brache genutzten Flächen. Dabei sind evtl. zeitliche Verzögerungen, sogenannten *time-lag*-Effekte, zu berücksichtigen. Diese Analysen sind deutlich aufwendiger, als es eine Auswertung der derzeit nicht frei zugänglichen InVeKoS-Daten wäre. Es zeichnet sich allerdings ab, dass dieses Problem in Zukunft durch die Bereitstellung von geeigneten Datenprodukten aus der Fernerkundung gelöst wird, mit denen räumlich und zeitlich höher aufgelöste Analysen möglich sein werden.

## **Reaktion**

Die Wirkung von Biogasanlagen geht vor allem aus ihrer Platzierung, der räumlichen Anordnung der nötigen Anbauflächen für die Energiepflanzen und die dadurch hervorgerufenen Effekte (z. B. mangelndes Angebot an Brutplätzen, ökologische Fallenwirkung, Verringerung des Nahrungsangebotes durch direkte - Vergiftung - oder indirekte - Verschlechterung der Lebensbedingungen - Beeinträchtigung von Arthropodenpopulationen, usw.) hervor. Biogasanlagen oder der Anbau der Energiepflanzen lassen sich nicht temporär abschalten, wie z. B. Windkraftanlagen. Die Reaktion auf eine Beeinträchtigung kann also kaum durch eine kurzfristige Einschränkung des Betriebes erfolgen, sondern nur durch eine möglichst schon im Planungsprozess festgelegte umweltschonende Platzierung und Gestaltung. Weitere Möglichkeiten der Reaktion auf eine Beeinträchtigung können in der Anpassung der Pflegemaßnahmen und der angebauten Feldfrüchte gesehen werden. In letzter Konsequenz müsste der Rückbau erfolgen, sollte sich entweder a) eine Reduktion des Energiebedarfs ergeben und/oder b) eine klare Beeinträchtigung des Erhaltungszustandes von geschützten Arten nachweisbar sein. Aufgrund der bereits erkannten, negativen Auswirkungen wurden als Reaktion z. B. bereits die im Rahmen des EEG geförderten, jährlichen Ausbaumengen stark begrenzt für neue Anlagen und die zulässigen Höchstanteile von Mais als Substrat herabgesetzt. Hier können also entsprechende Messungen im Monitoring ansetzen und die Flächenbilanz der angebauten Feldfrüchte sowie die Flächenbilanz von Aus- oder Rückbau aufzeigen.

Als Messgröße für die gesellschaftliche Reaktion auf mögliche negative oder mögliche positive Auswirkungen der Installation von Biogas-Anlagen, also die Response, können daher sowohl

- der zeitliche Verlauf der Anzahl der in Betrieb befindlichen Anlagen;
- die detaillierte Auflistung der für den Biogasanbau benötigten Ackerfläche aufgeschlüsselt nach Kulturen und Substraten (nicht alle Anlagen werden ausschließlich mit Biomasse aus nachwachsenden Rohstoffen betrieben) oder aber eine pauschalisierte Hochrechnung auf der Basis der Leistung der Anlagen, der mittleren Produktivität der

Feldfrüchte gewichtet nach Region (z. B. auf Basis bisher bekannter Werte in Abhängigkeit von Böden und Nährstoffeinsatz) und den entsprechenden separat aufgelisteten Anteilen von Biomasse aus dem Ackerbau am Biomasseeinsatz;

- der Flächenanteil von Energiepflanzen aufgeschlüsselt nach der Feldfrucht bzw. Kulturform;
- der Flächenanteil von Anlagen mit einem besonders naturverträglichen Mix an Energiepflanzen;
- die Art und Menge an eingesetzten Agrochemikalien

aber auch

- **der zeitliche Verlauf der bestehenden oder rückgebauten Anlagen absolut sowie im Verhältnis zur Gesamtzahl**

betrachtet werden. Auch die Änderung von Gesetzen (z. B. des EEG) kann als gesellschaftliche Reaktion (Response) gewertet werden (siehe Kapitel Treiber), wenn sie zu einer

- Reduktion der Einspeisevergütung bzw. Anpassung der Ausbaupfade (z. B. Reduktion der jährlich ausgeschriebenen Brutto-Zubaumengen von Biomasseanlagen)

und damit mittel- und langfristig zur Verringerung der Anlagenzahl führt.

Abbildung 51 zeigt exemplarisch, wie sich die installierten elektrischen Anlagenleistung der Biogas- Vor-Ort-Verstromung bei Stilllegung der Anlagen nach Auslaufen des Förderzeitraumes entwickeln könnten und kommt damit der hier vorgeschlagenen Messgröße **des zeitlichen Verlaufs der bestehenden oder rückgebauten Anlagen** sehr nahe. Unberücksichtigt dabei sind jedoch standortangepasste Konzepte mit einer möglichen Umstellung auf andere Substrate, insbesondere mittels Rest- und Abfallstoffen. Die entsprechenden Informationen können aus den Berichten zum Monitoring der Stromerzeugung aus Biomasse entnommen werden (Scheffelowitz et al. 2015).

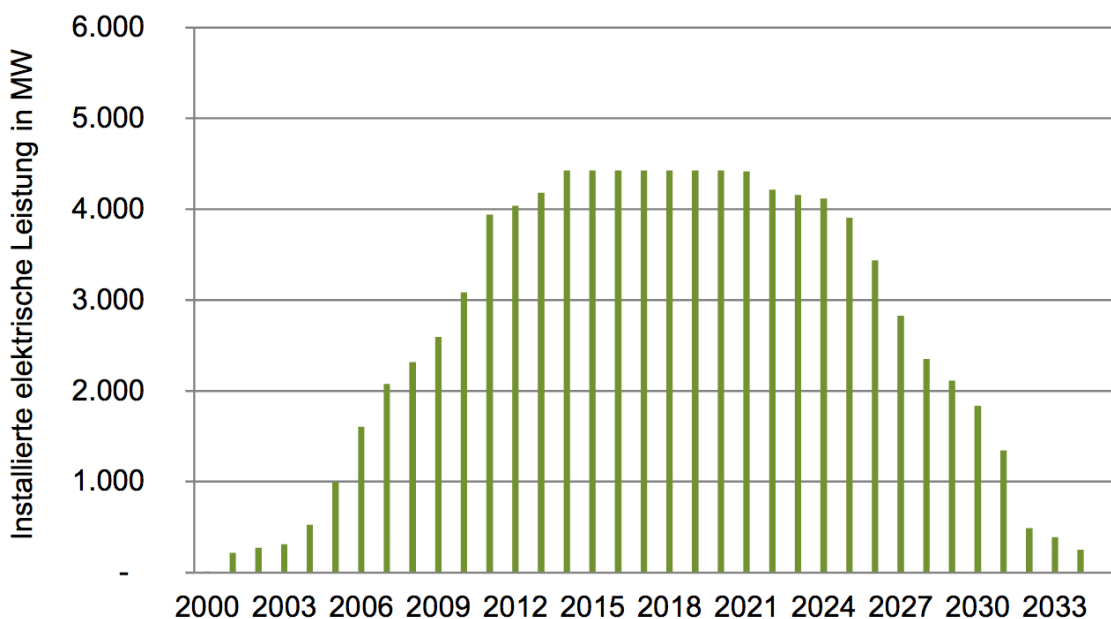


Abbildung 51: Mögliche Entwicklung der installierten elektrischen Anlagenleistung von Biogas-Vor-Ort-Verstromung bei Stilllegung der Anlagen nach Auslauf der Förderzeitraumes (aus Scheffelowitz et al. 2015).



### 5.3.2.4 Verlust von Lebensräumen durch Grünlandintensivierung und -umbruch

*Barbara Koblenz, Stefan Majer*

#### Einleitung

Grünland hat als Landnutzungsform weltweit eine große Bedeutung. In Europa stellt Grünland mit etwa 35 % einen bedeutenden Anteil an der landwirtschaftlichen Nutzfläche dar. In Deutschland beträgt der Anteil des Grünlandes an der landwirtschaftlichen Nutzfläche 28 %. Als Grünland wird eine krautige, ausdauernde Vegetation, die von Gräsern dominiert ist, verstanden. Darüber hinaus unterbleibt die Bodenbearbeitung über mehrere Jahre. Je nach Alter der Grasnarbe wird zwischen Dauergrünland und Wechselgrünland unterschieden. Ein weiteres Charakteristikum des Grünlandes ist deren Vielgestaltigkeit (DAFA 2015), welches bei der Beurteilung des Konfliktes zu notwendigen Eingrenzungen (ausschließlich Dauergrünland intensiv/extensiv) führt. Im politischen Kontext werden Flächen als Grünland bezeichnet, die durch die Einsaat oder durch Selbstaussaat zum Anbau von Gras oder anderen Grünfütterpflanzen genutzt werden und mindestens fünf Jahre lang nicht Bestandteil der Fruchtfolge des Betriebes sind (BfN 2009b). Neben der Produktion von Futtermitteln und Biomasse auf Wiesen und Weiden, stehen besonders extensive Flächen wie Magerrasen, Feuchtwiesen oder Streuobstwiesen unter Naturschutz. Damit leistet diese Art der Bewirtschaftung einen wichtigen Beitrag zum Erhalt der biologischen Vielfalt (Nitsch et al. 2012).

In Abhängigkeit der Nutzungsintensität sowie der Klima- und Standortbedingungen bieten Grünlandflächen ökologische Nischen für eine Vielzahl unterschiedlicher Tier- und Pflanzenarten (MLR 2012). So kommen nahezu 52 % der höheren Pflanzenarten Deutschlands auf Grünland vor, insbesondere auf verschiedenen Mähwiesentypen (Sukopp und Trautmann 1976). Schützenswert ist besonders Grünland mit extensiver Nutzungsdynamik (insbesondere Biotopgrünland). Dieses befindet sich meist auf Standorten, welche besonders nährstoffarm, trocken oder feucht sind (Gerowitt et al. 2013). Im Vergleich dazu bewirkt eine Intensivierung der Nutzung von Grünland (Schnitthäufigkeit und -zeitpunkt, Düngung usw.) eine Verringerung der Artenvielfalt und eine aus Sicht des Naturschutzes qualitative Verschlechterung der Diversität auf Grünlandflächen (Isselstein 2005).

Die Grünlandflächen haben in Deutschland in den letzten Jahren dramatisch abgenommen (Wittig et al. 2006). Im Zeitraum von 2003 bis 2010 wurden in Deutschland beispielsweise Verluste an Grünland von etwa 5 % verzeichnet, mit stark regionalen Unterschieden (teilweise bis 40 % Umbruchrate) (NABU 2012). Alarmierende Zahlen meldeten die Bundesländer Bayern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein (Abbildung 55). Aufgrund ihrer Multifunktionalität ist diese Entwicklung als besorgniserregend anzusehen (Briemle 1997). Durch die große Nachfrage an qualitativ hochwertigen Futtermitteln sowie den starken Ausbau der Bioenergie und der damit einhergehenden erhöhten Nachfrage nach nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo), wurde der Flächendruck in den letzten Jahren zunehmend größer (Benke 2009; Delzeit 2011). Die Produktion von wirtschaftlich lohnenswerten Energiepflanzen (Mais, Grünroggen usw.) bewirkten eine zunehmende Konkurrenz mit anderen Flächennutzungen. Als Folge des steigenden Substratbedarfs kam es zu einschneidenden Veränderungen in der Agrarlandschaft (Tilman et al. 2002). Grünland wurde in großer Zahl umgebrochen. Der Naturschutzbund Deutschland (NABU) hat in der Vergangenheit sogar wiederholt den Umbruch von Grünland in FFH-Gebieten zugunsten von Mais dokumentiert (NABU 2009). Die mangelnde Wertschätzung des Grünlandes sowie die schlechte Rentabilität und der Strukturwandel haben zu diesem Bedeutungsverlust von Grünland beigetragen. Aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes hat der Erhalt von Grünland, insbesondere extensives Grünland, einen hohen Stellenwert. Im Vergleich zum Grünland, bewirken die hohen Düngergaben des

Maises sowie der späte Reihenschluss eine gesteigerte Gefahr der Eutrophierung von Grund- und Oberflächengewässern und gefährden somit die Ziele des Grundwasserschutzes. Darüber hinaus steigt die Gefahr der Bodenerosion. Neben dem verstärkten Anbau an Energiepflanzen wirken zudem Aufforstung, Nutzungsaufgabe und Bebauung einen zusätzlichen Flächendruck auf Grünland aus.

Grünlandwirtschaft unterliegt in den letzten Jahrzehnten einem deutlichen Wandel (Elsäßer 2015; Wittig et al. 2006). Die anfänglich extensive Nutzung von Wiesen und Weiden mit geringem, bis gänzlich fehlendem Einsatz von Düngern sowie ein bis zwei Schnitten pro Jahr wurde vielerorts durch eine intensive Bewirtschaftung ersetzt (Socher et al. 2013; Jerrentrup et al. 2017). Die sinkende Bedeutung der Weidehaltung sowie die steigende Nachfrage nach geeigneten Substraten für die Bioenergieerzeugung und die Tierhaltung hat diese neue Entwicklung veranlasst (Wendland und Lichti 2011). Intensiv genutztes Dauergrünland mit einer hohen Nutzungseffizienz zur Produktion von hochwertigen Qualitäten stehen im Fokus der heutigen Bewirtschaftung (Elsäßer 2015; Socher et al. 2013). Die Intensivierung zieht einen Verlust bedeutender, zum Teil seltener Tier- und Pflanzenarten nach sich. Besonders problematisch ist die Intensivierung auf sogenannten extensiven Standorten. Kleijn et al. (2009) belegen anhand 130 Grünlandflächen in sechs verschiedenen Ländern Europas eine Abnahme der Pflanzendiversität durch den erhöhten Einsatz an Stickstoffdüngern. Gossner et al. (2016) führen wiederum die Intensivierung der Mahd als Hauptursache für den Verlust der Artenvielfalt auf Grünlandflächen an. Neben der Düngung und der Schnitthäufigkeit hat auch der Schnittzeitpunkt maßgeblichen Einfluss auf das Ökosystem Grünland. Um ein energiereiches und qualitativ hochwertiges Substrat bereitzustellen, empfiehlt es sich den ersten Schnitt relativ zeitig durchzuführen (Elsäßer 2015). Dies widerspricht aber zum Teil dem Naturschutz, der einen späten Schnitt zum Schutz einzelner Vogelarten, wie dem Braunkelchen fordert (Bastian und Feulner 2015).

Eine Extensivierung z. B. in Form einer Beweidung in ungünstigen Lagen, könnte neben positiven naturschutzfachlichen Aspekten, vor allem für ökologisch wirtschaftende Betriebe vorteilhaft sein. Elsäßer (2015) und Briemle (1997) weisen in ihren Veröffentlichungen aber darauf hin, dass spezifische Wirkungen von Extensivierungsmaßnahmen (jeglicher Verzicht von Düngern und nur ein Schnitt) auf theoretisch intensiv nutzbaren Grünlandstandorten keine maximale Artenvielfalt zur Folge hat. Untersuchungen zeigen, dass bereits ein dreimaliger Schnitt und eine moderate Düngung eine Steigerung der Artenanzahl bewirken kann (Elsäßer 2015). Die Pflege von Grünland ist prinzipiell notwendig, um einer möglichen Sukzession entgegenzuwirken. Darüber hinaus kann eine Extensivierung durch Nutzungsverzicht das Auftreten von Giftpflanzen, wie Herbst-Zeitlose, Greiskraut- und Wolfsmilch-Arten in Grünlandbeständen fördern (Briemle 2015).

Neben der intensiven Nutzung des Aufwuchses von Grünlandflächen stellt auch die zunehmende Rückführung von Gärresten auf Grünland aus naturschutzfachlicher Sicht eine weitere Herausforderung dar. Je nach Substratzusammensetzung, deren Nährstoffgehalte und den Gärbedingungen schwanken die Nährstoffgehalte der Gärreste sehr stark. Durch die anaerobe Vergärung besitzen Gärreste im Vergleich zur Frischgülle in der Regel einen höheren pH-Wert und einen höheren Ammonium-N-Gehalt (Berendonk 2011). In Abhängigkeit des Applikationszeitpunktes sowie der Ausbringtechnik und -menge können Stickstoffverluste auftreten, die negative Auswirkungen auf die Natur und Umwelt besitzen (Wendland und Lichti 2011). Die Effekte einer mehrjährigen Anwendung von organischen Düngern auf Grünland werden vielfach diskutiert (Elsäßer 2011; Matsunaka 2011; Möller et al. 2011). Risiken für die Umwelt, die Bestandszusammensetzung und das Bodenleben stehen im Fokus dieser Studien. Beispielsweise führte die Intensivierung artenreicher, magerer bis mäßig

nährstoffreicher, Flachland- und Bergwiesen in Deutschland zu einem drastischen Verlust von artenreichem Grünland (Nowak et al. 2002). Trockene bzw. feuchte Standorte haben aufgrund einer verringerten Mineralisierungsrate einen niedrigen Nitratgehalt im Boden. Diese Grünlandflächen bieten konkurrenzschwachen Arten einen Lebensraum und minimieren die Gefahr einer Verdrängung durch anspruchsvolle Grünlandarten. Eine organische Düngung hat demnach eine Bestandsumschichtung zur Folge. Abbildung 52 veranschaulicht, in welchem Maße konkurrenzschwache Arten durch eine Düngung verdrängt werden. Auf ungedüngten Flächen treten noch verschiedene Vegetationstypen auf. Sehr stark gedüngte Flächen bewirken hingegen eine Eingrenzung möglicher Gesellschaften, seltene Arten gehen verloren. Den negativen Zusammenhang zwischen der Zunahme der oberirdischen Biomasse, bedingt durch Nutzungsintensivierung und Artenanzahl wird von vielen Autoren beschrieben. Nowak et al. (2002) berichten nach nur einer einmaligen Düngung einer Frischwiese von einer nachhaltigen Bestandsumschichtung. Zwei Jahre nach der Applikation erhöhte sich der Wiesenfuchsschwanzanteil von 8 % auf 60 % und zehn Arten sind dauerhaft verschwunden. Klapp (1966) beobachtete auf Flächen eine Steigerung des Doldenblütenanteils von 6,8 % auf 40 % nach dreijähriger Jauchedüngung. Elsässer (2011) stellte wiederum durch eine mehrjährige Gärrestdüngung eine signifikante Abnahme des Leguminosenanteils im Verlauf der Versuchsdauer fest. Laut Isselstein (1998) lassen sich hohe Aufwuchsmassen mit einer artenreichen Flora auf Grünland nicht zu vereinen.

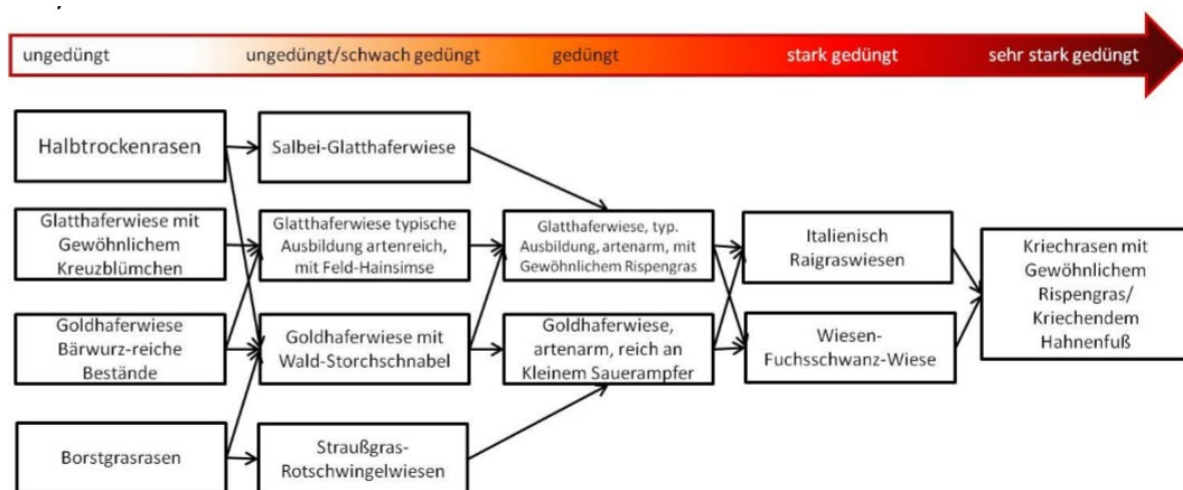


Abbildung 52: Stickstoffhaushalt der Wiesentypen und Gesellschaftswandel infolge der Stickstoffdüngung, mit Angabe von Arten, welche für die verschiedenen Assoziationstypen sind (Drobnik 2012).

### Treiber

Als Treiber dieses Konflikts wird vordergründig das **Erneuerbare-Energien-Gesetz** (EEG, 2017) und die **zeitliche Entwicklung der Biogasanlagenbestände** angesehen. Seit seines Inkrafttretens 2000 ist der Bedarf an Energiepflanzen und damit auch der Flächenbedarf für nachwachsende Rohstoffe deutlich gestiegen. Insbesondere die Novelle des Jahres 2004 erzielte durch eine veränderte Vergütungsstruktur eine deutliche Favorisierung dieser Substratform. Die regionale Konkurrenzsituation zwischen Flächen für die Futtermittelproduktion und solchen für die Biogasproduktion sind landesweit ersichtlich. Um dem Flächenbedarf nachzukommen, wurden Grünlandflächen umgebrochen und anschließend als Ackerfläche bewirtschaftet, um unter anderem Substrate (hauptsächlich Mais) für die Biogasproduktion anzubauen (Jerrentrup et al. 2017). Zudem hat das oft nicht wirtschaftlich rentable, extensive Grünland einen deutlichen Attraktivitätsverlust bei vielen Landwirten erfahren, sodass um-

bruchfähiges Grünland in Ackerland umgebrochen, aufgeforstet oder aufgegeben wurde (Is-selstein 2005). Somit ist ein völlig neues Ökosystem entstanden, welches für viele Organismen eine veränderte Nahrungs- und Habitatgrundlage darstellt. Parallel dazu ist in den letzten Jahrzehnten eine zunehmende Intensivierung der Grünlandnutzung (Düngung und erhöhte Nutzungshäufigkeit) festzustellen, die zu einer Homogenisierung der Bestände beiträgt und weitreichende Folgen für das Ökosystem Grünland nach sich zieht.

### Druck

Für die Produktion von Bioenergie (im Speziellen Biogas) aus Energiepflanzen bedarf es eine große Flächenverfügbarkeit. Der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen beschränkt sich aktuell auf wenige Kulturarten, von denen Mais den größten Flächenanteil besitzt. Um den Flächenbedarf einzelner Biogasanlagen quantifizieren zu können, wird das von Daniel-Gromke (2013) veröffentlichte Modell zur Flächenbedarfsabschätzung verwandt (Abbildung 53).

In Abhängigkeit der installierten Leistung, dem jeweiligen Methanertrag der unterschiedlichen Substratmengen sowie dem spezifischen Ertragsniveau kann der Flächenbedarf jeder einzelnen Biogasanlage quantifiziert werden.

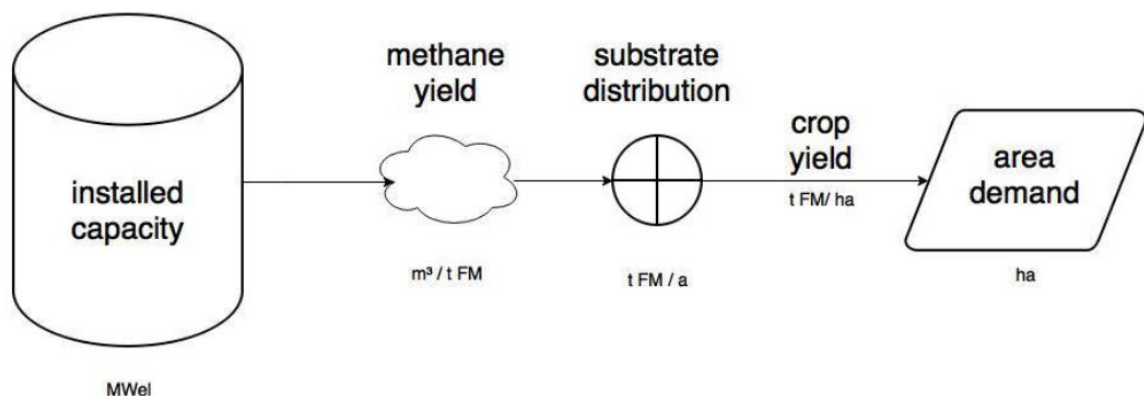


Abbildung 53: Schema eines Modells zur Flächenbedarfsabschätzung (dargestellt durch den Term  $a_i$ ) von Biogasanlagen in Abhängigkeit von der installierten Leistung der Anlagen (dargestellt durch den Term  $n_i$ ) (Daniel-Gromke 2013).

$$M_i = t_i * m_i$$

Dabei stellt:

$M_i$  = Gesamtmethanertrag der Substrate [ $m^3/a$ ]

$t_i$  = Menge an Substraten [ $t FM/a$ ]

$m_i$  = durchschnittlicher Methanertrag der jeweiligen Substrate [ $m^3/t FM$ ]

$$e_i = \frac{M_i}{\sum M}$$

Dabei stellt:

$e_i$  = energiebezogener Anteil spezifischer Substrate [%]

$\sum M$  = Gesamtmethanertrag aller eingesetzten Substrate [ $m^3$ ]

$$n_i = e_i * n_{total}$$

Dabei stellt:

$n_i$  = installierte Leistung abgedeckt durch das jeweilige Substrat [ $MW_{el}$ ]

$n_{total}$  = gesamtoinstallierte Leistung aller Energiepflanzen [ $MW_{el}$ ]

$$T_i = \frac{n_i * 1000 * h}{n_{el} * H * m_i}$$

Mit:

$T_i$  = Gesamtsubstratmenge [ $t FM/a$ ]

$n_{el}$  = Gesamtwirkungsgrad eines KWK – Blocks

$H$  = Heizwert von Methan [ $kWh/m^3$ ]

$h$  = Jahresvolllaststunden [ $h/a$ ]

$$a_i = \frac{T_i}{y_i}$$

$a_i$  = Fläche für die Substratproduktion [ $ha$ ]

$y_i$  = Ertrag [ $t FM/ha$ ]

Der individuell berechnete Flächenbedarf dient als Teilindikator Druck und verdeutlicht, dass Bioenergie zunehmend mehr Ackerfläche fordert. In Abhängigkeit der Standorte und der zur Verfügung stehenden Ackerfläche steigt die Gefahr eines Grünlandumbruchs, je höher der Flächenbedarf der Anlage X ist und je begrenzter die Ackerflächen im Umfeld sind. Der theoretische Flächenbedarf nimmt zu und kann von der verfügbaren Ackerfläche nicht mehr bedient werden. Damit wächst der Druck auf Grünland in der Umgebung der Biogasanlage an.

## Zustand

### Quantitative Veränderungen von Grünland

Die **Fläche des Dauergrünlands** betrug in Deutschland im Jahr 2017 rund 4,7 Mio. ha und hatte damit zeitgleich einen Anteil von 28,3 % an der landwirtschaftlich genutzten Gesamtfläche (Abbildung 54). Noch im Jahr 2013 hatte das Dauergrünland mit rund 4,6 Mio. ha die kleinste Flächengröße seit dem Jahr 1995 eingenommen. Ausgehend von einer im Mittel 5,2 Mio. ha großen Dauergrünlandfläche der Jahre 1995 bis 1999, verringerte sich diese bis zum Jahr 2013 im Durchschnitt um 44.200 ha pro Jahr, was einem für den genannten Zeitraum absoluten Dauergrünlandverlust von 619.400 ha oder einem Rückgang von 11,8 % entspricht. Seit dem Jahr 2014 vergrößert sich die Fläche des Dauergrünlands wieder und zwar im Mittel um 24.000 ha pro Jahr.

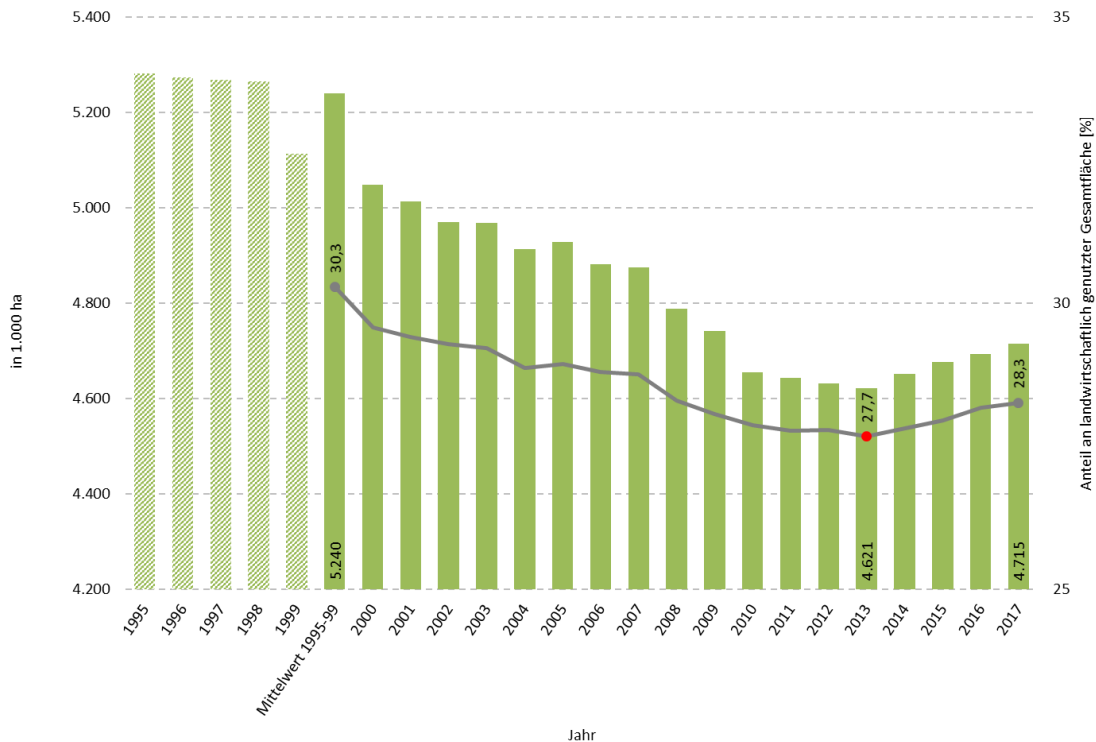


Abbildung 54: Flächenentwicklung des Dauergrünlands in Deutschland und sein prozentualer Anteil an der landwirtschaftlich genutzten Gesamtfläche (DESTATIS 1996 - 2017, 2017).

Grünland ist in Deutschland weit verbreitet, jedoch gibt es große regionale Flächenunterschiede. Insbesondere in Norddeutschland und im Allgäu ist der Anteil der Grünlandfläche an der landwirtschaftlichen Nutzfläche deutlich höher als beispielsweise in den Börderegionen oder in der ostdeutschen Beckenlandschaft (Gerowitt et al. 2013). Betrachtet man die Flächendifferenz der landwirtschaftlichen Nutzflächen für das Mittel der Jahre 1995 bis 1999 und dem Jahr 2013 auf der Ebene der Bundesländer, so fällt zunächst auf, dass in fast allen Bundesländern die landwirtschaftlich genutzte Gesamtfläche und das Dauergrünland abgenommen hat (Abbildung 55). Der Rückgang der landwirtschaftlich genutzten Gesamtfläche ist vor allem auf einen Zuwachs der Siedlungs- und Verkehrsflächen zurückzuführen (Goetzke 2014) und trug folglich auch zur Verringerung der Dauergrünlandfläche bei. Allerdings hat sich in manchen Bundesländern auch die Ackerfläche vergrößert; besonders in Niedersachsen und Schleswig-Holstein. Hier liegt der Schluss nahe, dass Dauergrünland zu Acker umgebrochen wurde. In Bayern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein ist der Verlust von Dauergrünland besonders groß. Zusammengenommen verantworten diese Bundesländer etwa 78 % des bundesweiten Flächenrückgangs von Dauergrünland bis zum Jahr 2013.

Bemerkenswert ist auch die Zunahme der Anbauflächen von Silo- und Grünmais im genannten Zeitraum. Diese hat wiederum in den Bundesländern mit einem hohen Grünlandflächenverlust am stärksten zugenommen (Abbildung 55).

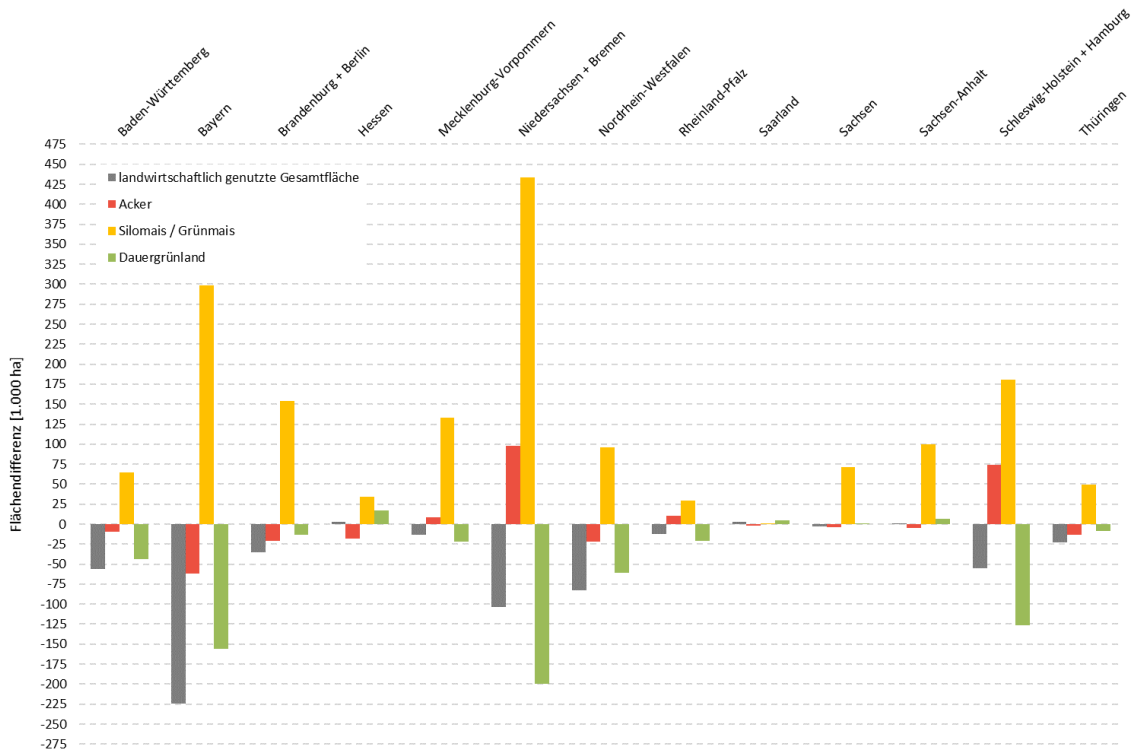


Abbildung 55: Flächendifferenz zwischen dem Mittel der Jahre 1995-99 und dem Jahr 2013 für die landwirtschaftlich genutzten Gesamtfläche, die Ackerfläche, die Silomais-/Grünmaisfläche und die Dauergrünlandfläche der Bundesländer (DESTATIS 1996 - 2017).

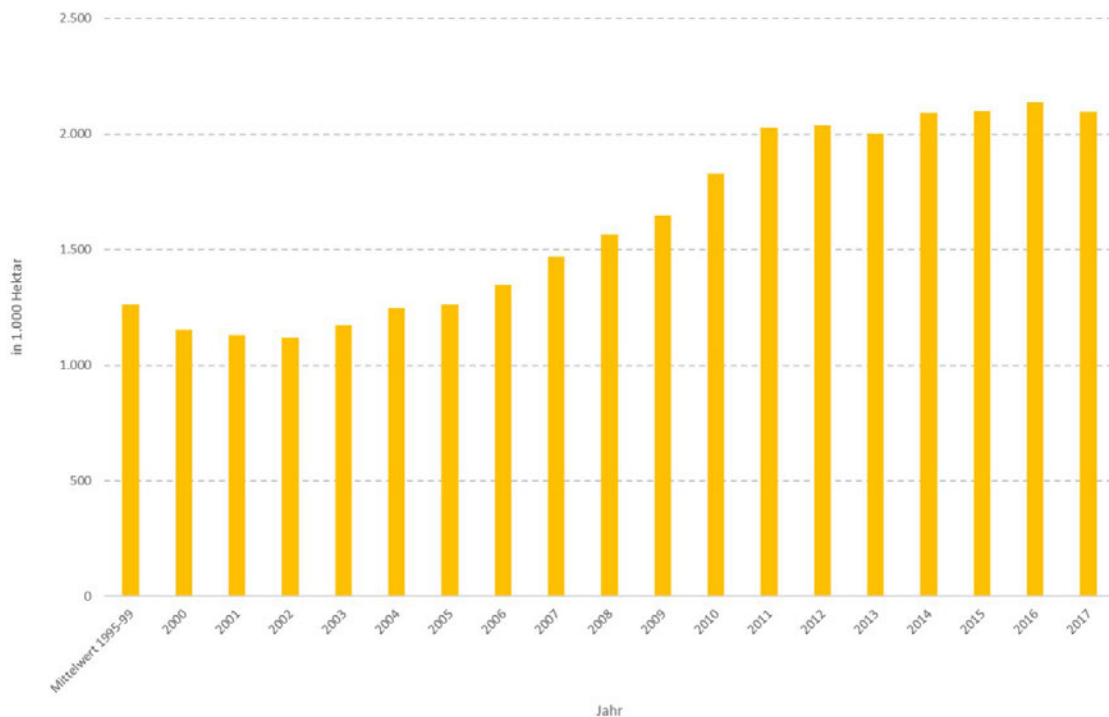


Abbildung 56: Entwicklung der Anbauflächen von Silo- und Grünmais in der BRD (DESTATIS 1996 - 2017, 2017).

Bundesweit betrachtet, hat sich die Anbaufläche von Silo- und Grünmais seit der Einführung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) im Jahre 2000 im Vergleich zu der Anbaufläche im Jahr 2017 nahezu verdoppelt (Abbildung 56). Während sie bis zum Jahr 2002 noch leicht 166

rückläufig war, erfolgte spätestens mit der Novellierung des EEG im Jahr 2004 ein rapider Anstieg der Anbaufläche. Die Novellierung beinhaltet unter anderem die Einführung eines Bonussystems für den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) zur Stromerzeugung, welches rückblickend zu einem Ausbau von Biogasanlagen und zu einem wahren Anbauboom von Silo- und Grünmais führte. Die umfassenden Änderungen des EEG im Jahr 2009 beförderten den Maisanbau weiter, denn ein Förderschwerpunkt zur Stromerzeugung lag auf der Vergärung von Biomasse. Mit der Einführung des sogenannten Maisdeckels im EEG im Jahr 2012 wurde der Substrateinsatz von Mais und Getreide in Biogasanlagen schließlich auf 60 % begrenzt. Der Anteil sank dann mit dem Inkrafttreten des EEG im Jahr 2017 auf 50 % und soll bis zum Jahr 2021 in zwei Stufen auf 44 % herabgesetzt werden. Ob die Begrenzung des Substrateinsatzes zu einem Rückgang der Maisanbauflächen und schließlich zu mehr Dauergrünland führt, kann zum gegebenen Zeitpunkt noch nicht beantwortet werden.

- Um den Zustand des Zielkonfliktes quantifizieren zu können, sind die zeitlichen Verläufe der Flächenbilanzen von Grünland (Abbildung 53) als Teilindikator zu nutzen. Die Datengrundlagen liegen bis auf Kreisebene vor und können so den Zustand zeitlich und räumlich gut abbilden und können gleichzeitig in Verbindung mit den bestehenden Biogasanlagen gesetzt werden.

In welchem Verhältnis Grünland direkt zum Anbau von Biogassubstraten (insbesondere Mais umgebrochen wurde, lässt sich mit den Daten nicht präzise feststellen. Die Bereitstellung von InVeKoS-Daten würde eine Auswertung dieser Fragestellung ermöglichen. Die Nutzung dieser Daten ist jedoch aus Datenschutzgründen untersagt.

#### *Qualitative Veränderungen von Grünland*

Um schnelle, effektive und großflächige Erfassungen von Messwerten zu erhalten, welche Rückschlüsse über die Bewirtschaftungsintensität von Grünland liefern, kann die Fernerkundung mittels Bildanalyse als Methodik herangezogen werden. Die Fernerkundung beschäftigt sich intensiv mit der Konzeptionierung und Entwicklung von Bildanalysemethoden, welche den Informationsgehalt hochauflösender Satellitenbilder möglichst schnell und umfassend verarbeiten können. Im Rahmen des Projektes „**Automatische Bestimmung von Grünlandnutzungsintensitäten mittels Satellitenbildern**“ (Projektlaufzeit 07.2017-06.2021) werden derzeit am Thünen-Institut in Kooperation mit der Technischen Universität Berlin Methoden entwickelt, um die Nutzung von Dauergrünland aus **Sentinel-Fernerkundungsdaten** automatisch bestimmen zu können. Ziel des Projektes ist eine deutschlandweite Abbildung und Bereitstellung aktueller räumlicher Informationen zur Nutzung von Dauergrünland. Diese bislang noch nicht erfassten Daten könnten für die Bewertung der qualitativen Veränderungen des Grünlandes herangezogen werden. Auf der Grundlage des angestrebten Datensatzes können beispielsweise Politikfolgeabschätzungen verbessert werden sowie Extensivierungspotenziale einzelner Regionen analysiert werden.

#### **Auswirkung**

Grünlandflächen stellen für eine Vielzahl von Arten der Flora und Fauna einen bedeutenden Lebensraum dar. Die Form der Bewirtschaftung prägt die Artenvielfalt dieses Ökosystems. Durch sowohl die Intensivierung der Nutzung als auch den Umbruch jahrelang bestehender Grünlandflächen geht dieser Lebensraum für viele Arten verloren.

#### *Wiesenvögel*

Brutvögel gelten als wichtige Bioindikatoren. Ihr Auftreten gibt Auskunft über den Zustand



der Artenvielfalt, der biologischen Vielfalt sowie der nachhaltigen Landnutzung (Padoa-Schioppa et al. 2006). Denn Vögel sind eng an das Vorhandensein spezieller Habitatstrukturen und die Verfügbarkeit bestimmter Nahrungsquellen gebunden (Flade 1994). Dabei spricht man von sogenannten Struktur-Gilden, die eine Gruppe von Vogelarten umfasst, welche ungeachtet ihres Verwandtschaftsgrades auf die gleiche Ressource angewiesen sind. Für den Naturschutz und die Landnutzung sind Vogelarten daher wichtige Zeigerorganismen (Indikatoren). Die Biologie, Ökologie und die Gefährdungsursachen von Vögeln sind gut erforscht. Sichere Feldmethoden zur Erfassung ermöglichen zudem jahrzehntelang bestehende, qualifizierte Monitoringprogramme. Deshalb können Vogelmonitorings anthropogene Veränderungen der gesamten Biozönose gut abbilden (Benton et al. 2002). Der Begriff „Feldvögel“ bzw. „Vögel der Agrarlandschaft“ umfasst in einer Veröffentlichung des NABU (2013) 20 Vogelarten, die vorrangig landwirtschaftlich genutzte Flächen zur Nahrungssuche und als Brutplatz auswählen. Besondere Bedeutung besitzen diese Vogelarten, da eine Auswahl an Arten aggregiert als Teilindikator „Agrarland“ in den Indikator „Artenvielfalt und Landschaftsqualität“ einfließen und damit maßgeblich zur Beurteilung der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt (NSB) in Deutschland herangezogen werden (Sudfeldt et al. 2009). Im Rahmen von Monitoring-Programmen, des Dachverbands Deutscher Avifaunisten e.V. (DDA), werden die Daten Deutschlandweit mittels Linienkartierung einheitlich erhoben. Die folgende Abbildung 57 stellt die Entwicklung des Teilindikators Agrarland in der Zeitreihe von 1990 bis 2013 dar. Wie die Abbildung verdeutlicht, ist der Teilindikator dabei in der gezeigten Zeitreihe leicht rückläufig.

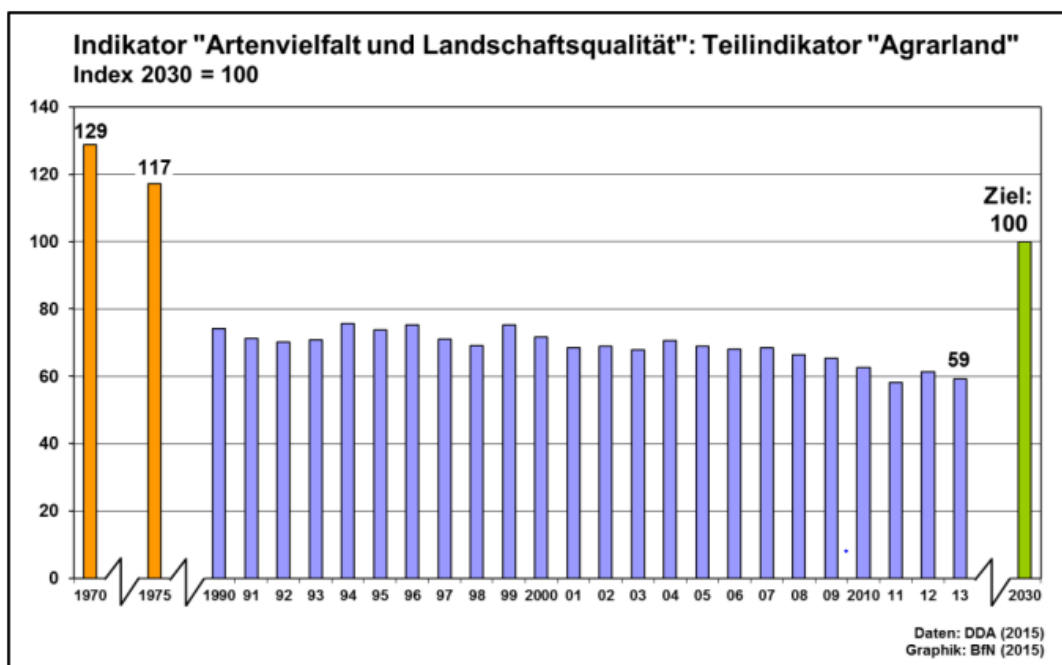


Abbildung 57: Teilindikator „Agrarland“ des Indikators „Artenvielfalt und Landschaftsqualität“. Arten des Teilindikators: Rotmilan, Kiebitz, Uferschnepfe, Steinkauz, Neuntöter, Heidelerche, Feldlerche, Braunkehlchen, Grauammer, Goldammer (BfN 2017a).

Eine weitere Eingrenzung ausgewählter Wiesenvogelarten ist laut DDA nicht zielführend, da einzelne Wiesenvögel nur in speziellen Regionen Deutschlands vorkommen und es so zu Fehlinterpretationen kommen könnte. Darüber hinaus nutzen einige Vogelarten sowohl Grünland als auch Ackerland und sind bereits im genannten Indikator zahlreich vertreten.

Die Agrarlandschaft unterliegt einem stetigen Wandel: Wechsel von Fruchtarten und agronomische Maßnahmen bestimmen die Habitatstruktur sowie die Nahrungsverfügbarkeit. Welche Anbauformen von den 20 verschiedenen Arten bevorzugt werden, ist in der Abbildung 58 dargestellt. Naturnahes Grünland, Brache und Leguminosen sind die drei Lebensräume, für welche Agrarvögel die höchste Präferenz zeigen. Im Hinblick auf die Habitatpräferenz ist mit 12 von 20 Arten das naturnahe Grünland die bedeutendste Kultur in Deutschland. Trends der Bestände der Agrarvögel sind deshalb nur mittels genauerer Einzelstudien auf bestimmte landwirtschaftliche Veränderungen zurückzuführen (Jerrentrup et al. 2017).

Arten	Wintergetreide	Sommergetreide	Mais	Raps	Leguminosen (Luzerne)	Rüben	Kartoffeln	Gemüse	Sonnenblumen	Brache, Brachstreifen	Grünland	Wichtigste übrige Habitate
Wachtel				•	•••					••		
Rebhuhn				•	••					•••		Hecken, Büsche
Wiesenweihe		•			••					•••		Salzwiesen, Moore
Rotmilan					•••					•	••	Ortschaften, Deponien
Wachtelkönig	••									•	•••	Niedermooere
Kiebitz			•••							••	•	
Uferschnepfe											•••	Feuchtgebiete, Salzwiesen
Steinkauz											•••	Obstwiesen
Neuntöter										••	•••	Kahlschläge, Moore, Heiden
Heidelerche										•••	••	Waldränder, Heiden
Feldlerche					••					•••	•	Dünen, Sazwiesen, Moore, Heiden
Rauchschwalbe				••	•						•••	Feuchtgebiete, Waldränder
Mehlschwalbe					•	•••					••	Feuchtgebiete, Waldränder, Bauernhöfe
Braunkehlchen				•						•••	••	Moore, Heiden, Kahlschläge
Wiesenpieper						•				••	•••	Moore, Heiden, Salzwiesen
Wiesenschafstelze	•	•••		••								Moore, Salzwiesen
Bluthänfling				•						•••	••	Hecken, Büsche
Graumammer		••?								•••	•	
Goldammer					•••					•	••	Moore, Heiden, Kahlschläge
Ortolan					•	•••	••					Waldränder, Heiden








	Lebensraum den meisten Individuen		Meist bevorzugter Lebensraum
	Lebensraum den zweitmeisten Individuen		Zweitmeist bevorzugter Lebensraum
	Lebensraum den drittmeisten Individuen		Drittmeist bevorzugter Lebensraum
	auch besiedelt		

Abbildung 58: Habitatpräferenzen bei der Nahrungssuche von Agrarvögeln während der Brutzeit in Deutschland (NABU 2012).

Steigende Erträge durch dichte und höhere Bestände bieten für viele Agrarvögel, die auf offene Böden und lückige Vegetation angewiesen sind, keinen Lebensraum mehr. Einige Arten versuchen sich während ihrer Brutsaison in niedrige Kulturen, wie Sommergetreidebestände oder Hackfrüchte zu flüchten. Voraussetzung ist hierbei eine hohe Kulturartendiversität, die jedoch nicht immer gegeben ist.

Die Veränderungen der Landnutzung haben sich in den letzten Jahrzehnten demnach mas-

siv auf die Population der Agrarvögel ausgewirkt. Sogenannte „Allerweltsarten“ wie Feldlerche und Rebhuhn stehen mittlerweile auf der Roten Liste. Besonders sichtbar sind die Verluste bei den Wiesenvögeln. Deren Bestandsentwicklungen hängen in einem hohen Maße von der Art der Grünlandbewirtschaftung ab. In den letzten Jahrzehnten ist in Deutschland ein anhaltender Bestandsrückgang zu beobachten (Abbildung 59). Alarmierende Auswirkungen einer veränderten Agrarlandschaft auf die Avifauna belegen u. a. die Ergebnisse von (Jerrentrup et al. 2017). Die Ausweitung des Maisanbaus und der damit verbundene Verlust von Dauergrünland sind für die Autoren beides Hauptgründe für den Populationsrückgang der Feldvögel. Der Maisacker bietet als neues Ökosystem im Vergleich zum Grünland eine zeitliche und örtliche Homogenisierung und Vereinfachung der Landschaft. Eine Veränderung in der Kulturartendiversität führt zu Veränderungen in der Vegetationsstruktur (Guerrero et al. 2012). Zwar führen die Autoren weiter an, dass das Maisfeld als „zweites Habitat“ kurzzeitig von einigen Vogelarten genutzt werden kann, wenn andere Flächen bereits überwachsen sind. Jedoch ist der Prädatorendruck auf den zu Vegetationsbeginn lückigen Maisbeständen sehr hoch (Praus und Weidinger 2015). Der europäische Farmland-Bird Index weist ebenfalls auf einen sehr starken Rückgang der Vogelarten in der Agrarlandschaft hin. Zwischen dem Zeitraum 1980 und 2016 ist ein Bestandsrückgang von 57 % der verbreitetsten Vögel der Agrarlandschaft zu verzeichnen (EBCC 2019). Ursachen, die dieser Entwicklung zu Grunde liegen, sind vielfältig, stehen aber im engen Bezug zur Landnutzung. Für Wahl et al. (2011) zählen u. a. die Intensivierung der Bewirtschaftung, den Wegfall der Brache, die Reduzierung des Kulturartenspektrums, den Anbau von Energiepflanzen (insbesondere Mais) sowie den Grünlandumbruch als Auslöser für diese Entwicklung.

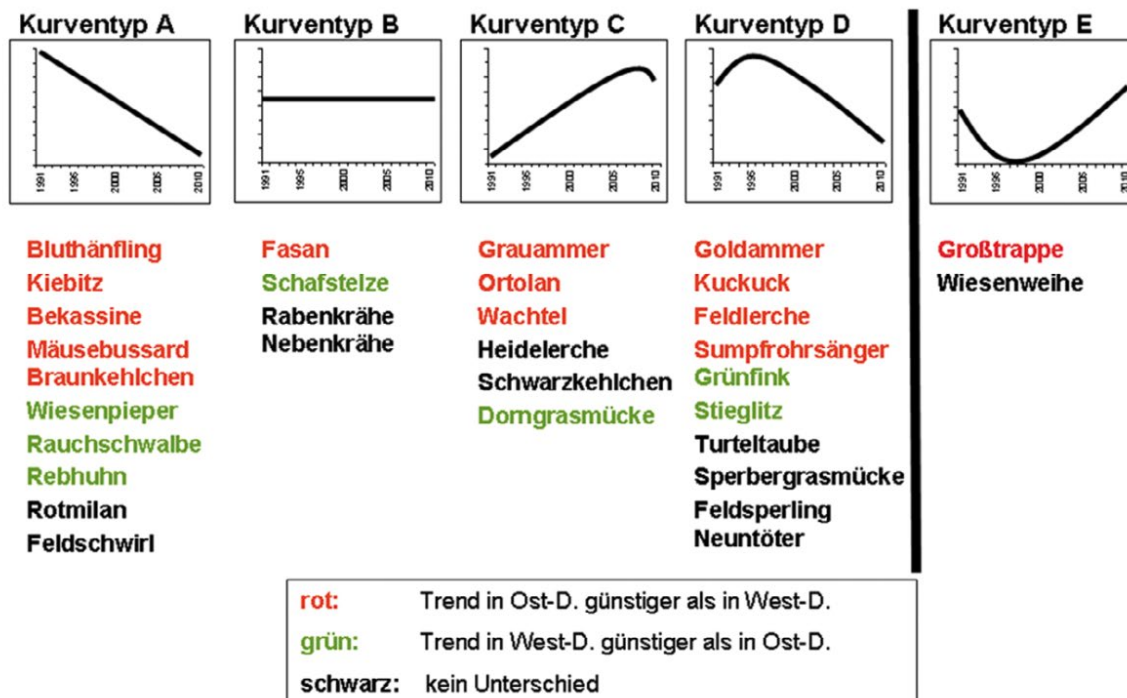


Abbildung 59: Zusammenfassung der Bestandstrends 1991 bis 2010 der 30 häufigsten sowie von zwei ausgewählten sehr seltenen (ganz rechts), typischen Arten der Agrarlandschaft, geordnet nach grundsätzlichem Kurvenverlauf (Flade et al. 2012).

Wiesenvogelarten, wie die Heidelerche, Braunkehlchen, Grauammer, Feldlerche, Neuntöter nutzen Grünlandflächen zum Brüten, Rasten oder Überwintern und gelten als Indikatorvogelarten mit hohem Grünlandflächenbezug (Hoffmann et al. 2015). Seit einigen Jahren ist ein deutlicher Rückgang speziell dieser Wiesenvogelarten zu beobachten. Bedingt durch die

Austrocknung der Landschaft, Intensivierung der Grünlandnutzung, Lebensraumverlust durch Bebauung/Infrastruktur und Grünlandumbruch, natürliche Beeinträchtigung durch Witterung oder Beutegreifer, finden die verschiedenen Arten nur noch unzureichend Nahrung und Brutplätze. Die Bestandentwicklungen einzelner Arten zeigen einen deutlichen Rückgang der Wiesenvögel in Deutschland (Abbildung 59).

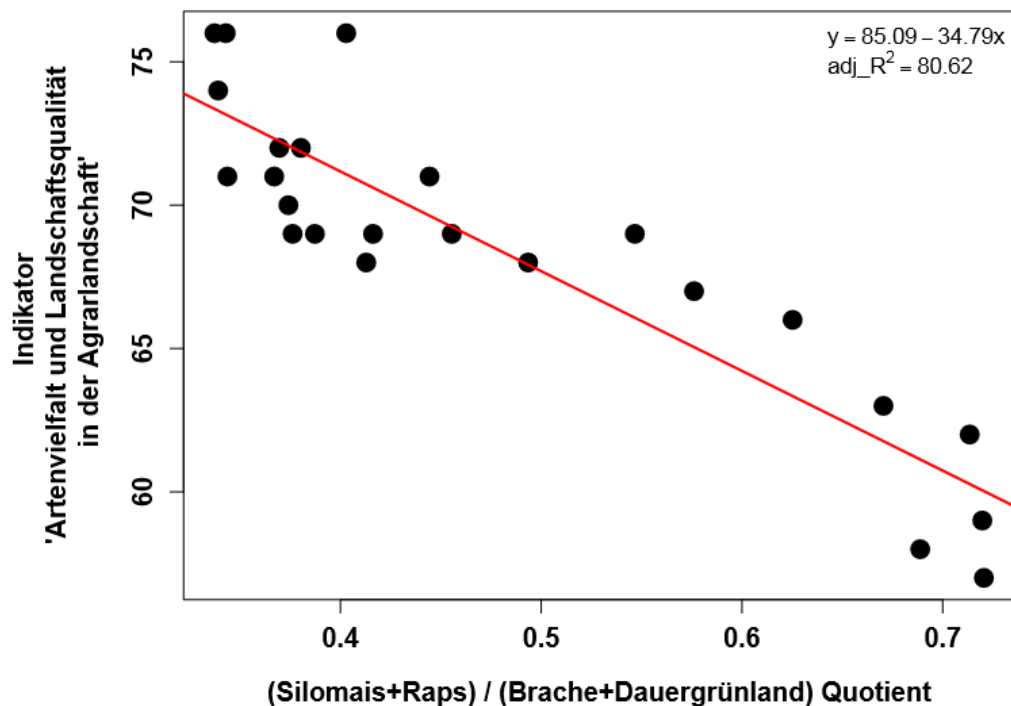


Abbildung 60: Regression zwischen den Quotienten  $Q_{SR/BR}$  und dem Teilindikator Agrarlandschaft des Nachhaltigkeitsindicators „Artenvielfalt und Landschaftsqualität“ (näheres zum Regressionsmodell siehe Abschnitt 5.3.2.3).

- Als **Auswirkungs-Indikator** stellt der zeitliche Verlauf der **Bestandszahlen** des Teilindicators „Agrarland“ eine gute Bezugsbasis dar. Dieser bundesweite Parameter umfasst als etablierter Indikator die zehn bedeutendsten Vögel der Agrarlandschaft. Dieser Teilindikator vereint zwar unterschiedliche Habitate, jedoch ist eine präzise Abgrenzung von Lebensräumen bei Vögeln generell nicht gegeben. Im Zeitraum von 1990 bis 2004 befand sich der Indexwert bei etwa 75 %. Mit 59 % im Beobachtungsjahr 2013 ist der Indexwert des Teilindicators „Agrarland“ deutlich unter dem geforderten Zielwert von 100 %. Damit setzt sich der Negativtrend weiter fort.

Wie aus der Abbildung 58 ersichtlich ist, bilden die Grünlandflächen für eine Vielzahl an Vogelarten das Habitat erster Wahl. Diese Habitatpräferenz macht aber deutlich, dass neben Grünland auch weitere landwirtschaftliche Flächen als Lebensraum aufgesucht werden. Diese Erkenntnis liefert auch die Abbildung 60, die einen direkten Zusammenhang zwischen dem Quotienten und dem Indikator Artenvielfalt und Landschaftsqualität darstellt.

## Reaktion

### *Grünlandschutz*

Ein Großteil der landwirtschaftlichen Betriebe erhalten Direktzahlungen über die Gemeinsame Agrarpolitik der EU für gemeldete Flächen. Mit der EG Verordnung Nr. 1782/2003 wurden die Mitgliedstaaten zum Erhalt des Dauergrünlandes verpflichtet. Wenn in den einzelnen Mitgliedstaaten der Grünlandanteil gegenüber dem Referenzjahr um mehr als 5 % absinkt, wird der Grünlandumbruch genehmigungspflichtig. Wird der Umbruch genehmigt, so sind gleich große Flächen als Dauergrünland anzulegen. Den Betrieben drohen ansonsten Streichungen oder Rückforderungen der Direktzahlungen.

Dieses neu angelegte Grünland ist in seiner Bedeutung für Natur und Umwelt jedoch nicht mit einem über Jahre gewachsenen Grünlandbestand gleichzusetzen. Insbesondere als Kohlenstoffsенke haben Dauergrünlandflächen für den Klimaschutz hohe Bedeutung.

Mit dem sogenannten „Greening“, also der Bindung eines Drittels der Direktzahlungen an Agrarumweltmaßnahmen der Betriebe, wurde im Jahr 2013 ein grundsätzliches Umbruch- bzw. Pflugverbot von Grünland der FFH-Lebensraumtypen in FFH-Gebieten eingeführt. Klein- und Ökobetriebe sind von dieser Regelung ausgeschlossen.

### *Sonstige Instrumente*

In Naturschutzgebieten (NSG) sind grundsätzlich Handlungen, die zu einer Zerstörung, Beschädigung oder Veränderung des Gebietes führen, verboten. Insofern sich Natura2000-Gebiete mit NSG überschneiden, ist somit in beiden Kategorien ein Umbruch eher unwahrscheinlich. Wenn dies nicht der Fall ist, so gibt es in Natura2000-Gebieten kein eindeutiges Verbot des Grünlandumbruchs. Stattdessen müssen Behörden im Einzelfall entscheiden, ob der Umbruch zu keiner erheblichen Beeinträchtigung des Schutzgebietes bzw. der Schutzziele führt. Hier scheint jedoch eine gewisse Rechtsunsicherheit zu bestehen. Dies gilt auch für FFH-Lebensraumtypen außerhalb von FFH-Gebieten. Eine zusätzliche Möglichkeit Grünland auch in der Qualität innerhalb und außerhalb von Schutzgebieten zu sichern, bietet der Vertragsnaturschutz. Der Betrieb verpflichtet sich vertraglich dazu, für eine begrenzte Zeit (meist fünf Jahre) die Fläche naturverträglich und entsprechend bestimmter Schutzziele zu bearbeiten. Neben den FFH-Lebensraumtypen erfassen die Bundesländer Biotoptypen. So sind nach Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) (§30) bestimmte Biotope grundsätzlich zu schützen. Auf den entsprechenden Grünlandtypen sollte ebenfalls kein Umbruch stattfinden. In Landschaftsschutzgebieten besteht ein Verbot von Handlungen der Veränderung des Charakters, des Landschaftsbildes oder des Naturgenusses. Dieses Verbot ist als wesentlich weniger streng aufzufassen als das in NSG. Das Bundesnaturschutzgesetz definiert für sämtliche landwirtschaftliche Bodennutzung zusätzlich als Anforderung die gute landwirtschaftliche Fachpraxis (GFP). Handlungen, welche darunterfallen, sind in der Regel nicht als Eingriff zu verstehen und bedürfen keiner Verwaltungsentscheidungen. Als Eingriff zu verstehen und in der Regel den Zielen des Naturschutzes und der Landschaftspflege widersprechend ist jedoch u. a. Grünlandumbruch auf erosionsgefährdeten Hängen, in Überschwemmungsgebieten, in Gebieten hohen Grundwasserstandes und in Mooregebieten.

Auch ohne die Bindung an Direktzahlungen ist somit eine Verwaltungsentscheidung in folgenden Gebieten notwendig:

- Erosionsgefährdete Hänge, Überschwemmungsgebiete, Flächen mit hohem Grundwasserstand, Mooregebiete (GFP nach §5 BNatSchG)
- Uferstrandstreifen (Wasserhaushaltsgesetz)

- (bestimmte) Wasserschutzgebiete
- Geschützte Lebensräume nach §30 BnatschG
- FFH-Lebensraumtypen
- Natura2000- Gebiete, wenn Erhaltungsziele betroffen sind

### Probleme

Trotz der oben aufgeführten Instrumente berichten besonders die Schutzverbände von Grünlandintensivierung und Umbruch auch in Natura2000-Gebieten, geschützten Biotopen und auf Moorböden. Neben nicht genehmigten Handlungen, bieten auch die oben genannten Instrumente keinen umfassenden Schutz des Grünlandes. In Schutzgebietsverordnungen des NSG ist z. B. oftmals nur Grundschutz gesichert, indem eindeutig schädliche Handlungen (Umbruch) verboten sind, während verbindliche Aussagen über die Bewirtschaftungsform fehlen können. Im Rahmen der Direktzahlung ist außerdem die direkte Wiedereinsaat von Gras auf gepflügten Flächen erlaubt und nicht genehmigungspflichtig. Dies kann die Anlage von intensiv bearbeiteten Ackergrasflächen ermöglichen. In einigen Bundesländern kann zudem der Umbruch genehmigt werden, wenn gleich große Flächen wieder angelegt werden. Der naturschutzfachliche Wert der Ersatzfläche ist dadurch allerdings nicht gesichert.

Große Probleme bestehen zudem dort:

- Wo Flächen von den Betrieben nicht gemeldet werden
- Seit dem Meldungszeitpunkt weniger als fünf Jahre vergangen sind und Flächen somit nicht unter die Definition von Dauergrünland fallen
- Betriebe aus der Förderung aussteigen
- Bzw. einzelne Flächen aus der Förderung ausgliedern

Hier bleibt der Umbruch oft folgenlos bzw. der Vollzug durch die zuständigen Behörden ist erschwert. Auch diese Szenarien treten vergleichsweise oft in Natura2000-Gebieten auf (BfN 2009a).

Eine Neuanlage von Grünlandflächen nach einem stattgefundenen Umbruch ist aus Natur- und Klimaschutz nicht mit einem jahrelang bestehenden Grünland vergleichbar. Die Etablierung von verschiedenen Pflanzengesellschaften sowie die Speicherung von Kohlenstoff benötigt eine lange Zeit und ist kein gleichwertiger Ausgleich zum Umbruch. Ziel muss es daher sein, die derzeit zu gering genutzten Potenziale des Grünlandes zu erschließen und nachhaltige Nutzungskonzepte zu erarbeiten. Als Teilindikator Reaktion können verschiedene Kennzahlen zur Bewertung herangezogen werden:

Flächenanteil Grünland am Anteil landwirtschaftlicher Nutzfläche je Bundesland

$$G_{um,i} = \frac{GF}{LF}$$

$G_{um}$  = Umbruchquote Grünland

$GF$  = Flächenanteil Grünland [ha]

$LF$  = Landwirtschaftliche Nutzfläche [ha]

Wenn das Verhältnis zwischen Grünlandfläche und landwirtschaftlicher Nutzfläche über eine bestimmte Zeit abnimmt, sind die oben benannten Maßnahmen nicht zielführend und tragen

zu keinem Schutz des Grünlandes bei.

Als Teilindikator Reaktion (Qualität) lassen sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch keine Aussagen treffen, da die in Zukunft zur Verfügung stehende Datengrundlage nicht bekannt ist. In Abhängigkeit der gewonnenen Daten im Rahmen des Projektes „**Automatische Bestimmung von Grünlandnutzungsintensitäten mittels Satellitenbildern**“ sollten notwendige Teilindikatoren erfasst werden.

### **Fazit**

Direkte Landnutzungsänderungen können mit Hilfe der zur Verfügung stehenden Daten nur schlecht nachverfolgt werden. Rückschlüsse auf die Veränderungen zwischen den einzelnen Nutzungsklassen Ackerland/Grünland und die Flächenänderung sind auf Basis der Daten nur begrenzt möglich. Sowohl für die Erläuterung und Prognosen von Verschiebungen in der landwirtschaftlichen Nutzung als auch die Bewertung dieser Änderungen sind eine Vielzahl von räumlich hoch aufgelösten Daten (Klima, Relief, Boden) notwendig. Darüber hinaus beeinflussen diese Standortbedingungen die Wirtschaftlichkeit der jeweiligen Produktionsrichtung. Neben abiotischen Umweltfaktoren entscheidet die Transportentfernung über eine Verschiebung in der Landnutzung. Mit sinkender Entfernung zur nächstmöglichen Biogasanlage steigt die Wahrscheinlichkeit, dass Grünland zugunsten des NawaRo-Anbaus umgebrochen wird (Laggner et al. 2014).

Eine Kausalität zwischen Grünlandumbruch und Ausbau Bioenergie lässt sich mit den zur Verfügung stehenden Daten gegenwertig nicht eindeutig erfassen. Mit den vorgeschlagenen Indikatoren lassen sich jedoch Druck, Zustand, Auswirkung und Reaktion im Hinblick auf den Konflikt in ersten Ansätzen abbilden. Für die Beurteilung des Konfliktes Grünlandintensivierung können die Daten in dem benannten Thünen-Projekt in Zukunft hilfreiche Informationen liefern.

### 5.3.2.5 Verlust von Brachflächen durch den Energiepflanzenanbau

*Stefan Majer, Barbara Koblenz, Mattes Scheftelowitz*

#### **Einleitung**

Die landwirtschaftliche Nutzfläche hat mit einem Flächenanteil von etwa 50 % eine sehr stark prägende Funktion in Deutschland. Die fortschreitende Intensivierung der Landwirtschaft hat in vielen Regionen Deutschlands und Europas in den letzten Jahrzehnten zur Veränderung der Kulturlandschaften beigetragen (Benton et al. 2003; Dauber et al. 2003). Der zunehmende Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Düngern sowie die Eingrenzung des Kulturartenspektrums führt zu dramatischen Verlusten wildlebender Tier- und Pflanzenarten (Albrecht et al. 2009; Marshall et al. 2003). Besonders folgenschwer ist die Situation in Gebieten mit guten bis sehr guten landwirtschaftlichen Produktionsbedingungen. Diese intensiv bewirtschafteten Ackerbauregionen stellen für eine Vielzahl schützenswerter Arten der offenen Kulturlandschaft keinen Lebensraum mehr dar. Der Mangel an stark extensiv genutzten Acker- und Grünlandflächen sowie der geringe Anteil und die oft ungenügende Qualität von Strukturelementen bzw. naturnahen Biotopen wie z. B. Feldhecken und Baumreihen unterstützen die Abnahme vieler Offenlandarten. Für zahlreiche Vogelarten führt diese Entwicklung zu einem deutlichen Rückgang ihrer Art. Vogelbestände von Rebhuhn, Wachtel, Grauammer und Feldlerche gelten nunmehr als bedrohte Tierarten. Ohne geeignete Brut- und Nahrungshabitate sind zahlreiche Vogelbestände gefährdet und stehen bereits auf der Roten Liste. Eine naturverträglich bewirtschaftende Ackerfläche kann hingegen als ökologische Rückzugsräume vieler Tier- und Pflanzenarten dienen (Luick et al. 2015; BfN 2015; Kleijn et al. 2009).

Die Brache als extensivste Form der Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Nutzfläche hat in der Vergangenheit sehr deutlich ihre positiven Effekte auf die biologische Vielfalt im Vergleich zur Ackerfläche verdeutlicht. Das Projekt „Lebensraum Brache“ untersuchte die Wirkung begrünter Brachen auf Wildtiere (Abbildung 61). Im Vergleich zur Referenzfläche weisen die Ansaatbrachen eine deutlich gesteigerte Siedlungsdichte von Brutvögeln auf. Gründe für die Präferenz der Brache sind vielfältig. Die Revierauswahl wird dabei von vielen Faktoren bestimmt. Neben der geeigneten Brutstätte hat ein ausreichendes Nahrungsangebot sowie der Schutz vor Prädatoren eine entscheidende Bedeutung.

Die zeitweise Aufgabe der Nutzung kann auf ein und derselben Fläche oder auch auf wechselnden Flächen im Sinne einer Rotationsbrache umgesetzt werden. Darüber hinaus kann die Herstellung der Selbstbegrünung oder Ansaat flächig oder streifenförmig erfolgen und durch eine regelmäßige extensive Pflege einer Sukzession entgegengewirkt werden. Diese Maßnahmen inklusive Verzicht auf Pflanzenschutzmittel und Düngung bewirken eine Strukturanreicherung und gleichzeitig eine Biotopvernetzung.



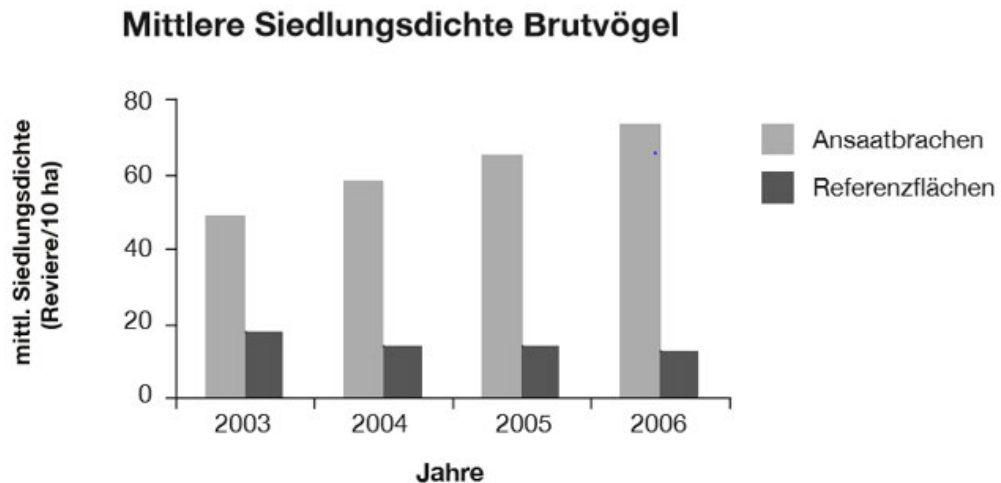


Abbildung 61: Mittlere Siedlungsdichte der Brutvögel aller Projektflächen (Daten aus „Lebensraum Brache“, Börner (2007)).

Durch die gesteigerte pflanzliche biologische Vielfalt erhöht sich zudem das Nahrungsangebot und es verbessern sich der Schutz und die Deckung für viele Wildtierarten. Neue Brut- und Nistplätze werden geschaffen. Gleichzeitig trägt die Ackerbrache zum Erosionsschutz und zur Bodenruhe bei und verbessert so die Bodenfruchtbarkeit nachhaltig. Zudem bereichert eine Durchsetzung der Agrarlandschaft mit Ackerbrachen das Landschaftsbild. Diese positiven Effekte einer Flächenstilllegung sind nicht nur in Deutschland, sondern auch europaweit beobachtet worden. Zahlreiche Autoren berichten über die positive Auswirkung auf verschiedene Insekten und Vogelarten (Flade 2003; Pfiffner et al. 2005; Holzschuh et al. 2010). Albrecht et al. (2009) berichtet von einem starken Anstieg der Artenanzahl (Abbildung 62) nach einer Aufgabe der Ackernutzung. Wäldchen et al. (2005) belegen mit ihren Untersuchungen zudem, das dauerhafte Auftreten Rote Liste Arten Jahrzehnte nach einer Stilllegung. Das Ansäen konkurrenzstarker Arten wie Klee-Gras-gemenge kann sich hingegen negativ auf die Diversität der Pflanzen in Brachen auswirken (Waldhardt 2014). Studien belegen, dass die Optimierung des Produktionsumfeldes zu einer Verbesserung der biologischen Schädlingsbekämpfung beitragen kann (Pfiffner und Luka 2000). Eine erhöhte Nahrungsgrundlage und Überwinterungschancen durch die naturnahen Flächen bewirkte eine Optimierung der Nützlingsförderung durch eine gesteigerte funktionale Biodiversität (Abbildung 63).

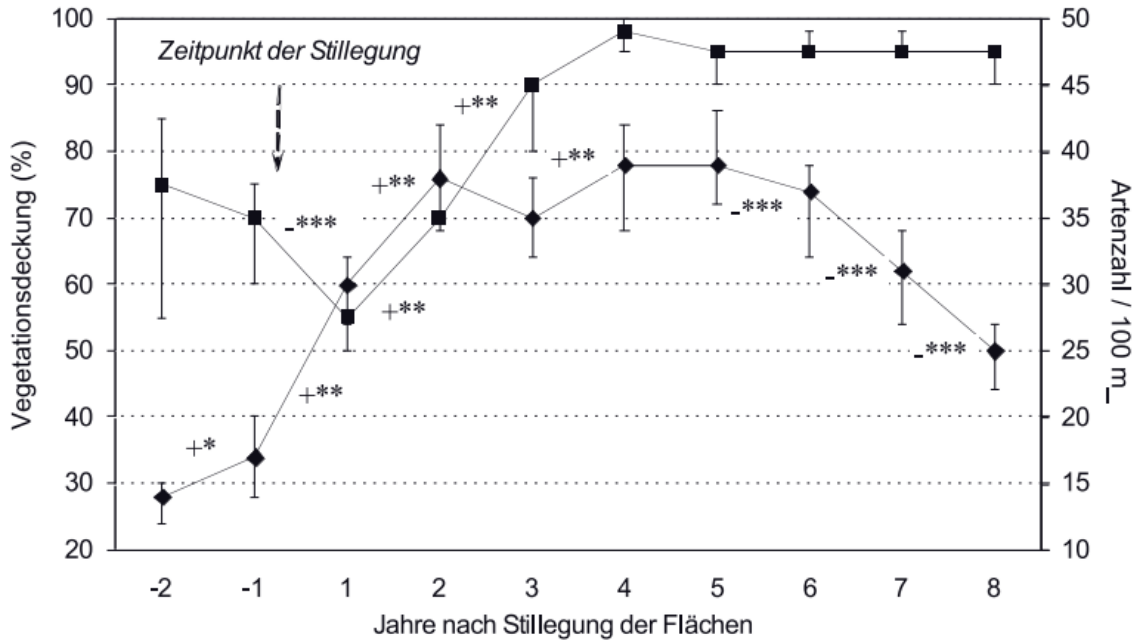


Abbildung 62: Veränderungen der Vegetationsdecke und Anzahl auf 23 je 10x10 m<sup>2</sup> großen Probe-parzellen acht Jahre nach Aufgabe der Ackernutzung (Median mit 95 %- Vertrauens-intervall) (Albrecht et al. 2009).

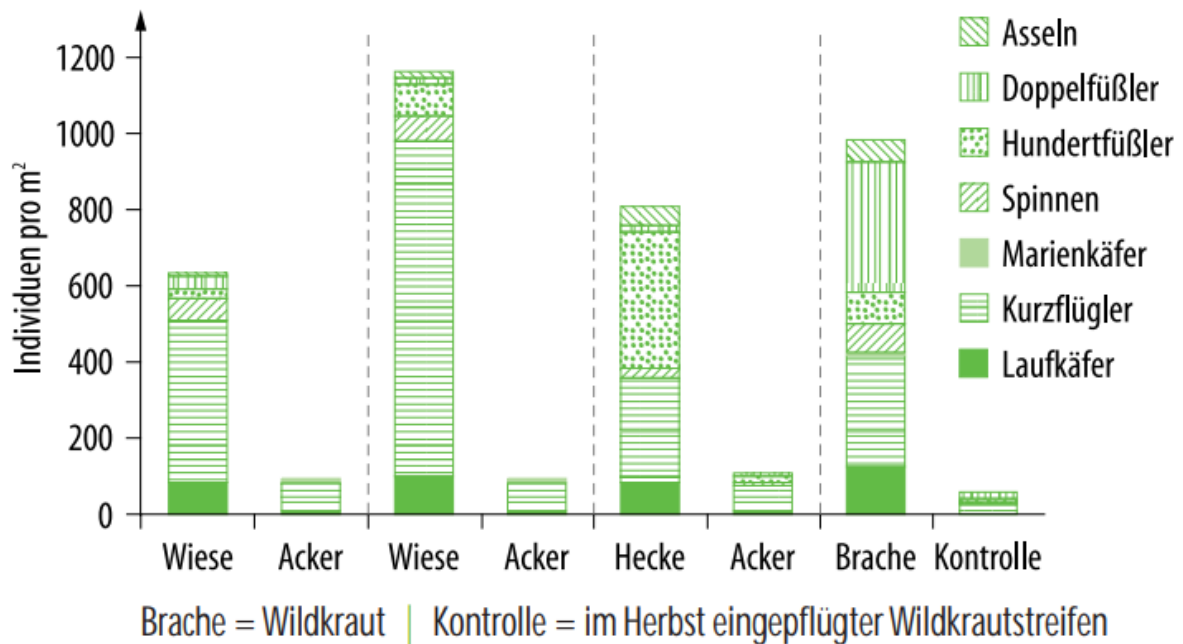


Abbildung 63: Überwinterung verschiedener Arthropodengruppen an vier naturnahen Flächen (Wie-sen, Brache, Hecke) und jeweils vier angrenzenden Ackerflächen (Pfiffner und Luka 2000).

Brachen können aufgrund unterschiedlicher Boden- und Nährstoffverhältnissen sowie Diasporenpotenzialen sehr unterschiedliche Ausprägungen annehmen und sehr heterogen in ihrem Erscheinungsbild sein. Die Art der Bewirtschaftung von Stilllegungsflächen hat aus Sicht des Naturschutzes eine hohe Bedeutung. Damit Brachen ihre Funktionen erfüllen, be-darf es einer sorgfältigen Standortwahl und Pflege (Oppermann et al. 2016).

Besonders deutlich wirkte sich der positive Effekt der Stilllegung im Zeitraum der obligatorischen Flächenstilllegung in der Europäischen Union aus. Die Einführung einer obligatorischen Flächenstilllegung im Jahr 1992 diente als Instrument der EU-Agrarpolitik, um Überschüsse in der Produktion von Getreide, Ölsaaten und Hülsenfrüchten zu begrenzen. Ab 1992/93 wurde diese Regelung verpflichtend (Der Rat der europäischen Gemeinschaft). Somit konnten Landwirte nur Direktzahlungen erhalten, die einen gewissen Anteil ihrer Ackerfläche aus der Bewirtschaftungen nahmen. Darüber hinaus wurde zwischen 1995 und 2001 eine zusätzliche Prämie für freiwillige Flächenstilllegung ausgezahlt. Dieser Anreiz war aber im Vergleich zur bindenden Stilllegung deutlich geringer. Die Regelungen zur Flächenstilllegung schreiben neben der Stilllegungsrate auch ein Erhalten eines „guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustands“ vor. Das beinhaltet entweder eine Begrünung der Brachfläche bzw. eine Selbstbegrünung. Zusätzlich wurde auf diesen Flächen der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen erlaubt (Abbildung 64). Damit stieg fortan die Bedeutung der nachwachsenden Rohstoffe im Anbau und wurde zusätzlich durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz verstärkt. Die positiven Effekte der Stilllegung auf die biologische Vielfalt waren vielerorts ersichtlich. Umso gravierender wirkte sich die Abschaffung der Flächenstilllegung im Herbst 2007 aus. Der eingangs positive Effekt einer Flächenstilllegung auf die Tier- und Pflanzenwelt wurde durch die Wiederbewirtschaftung aufgehoben.

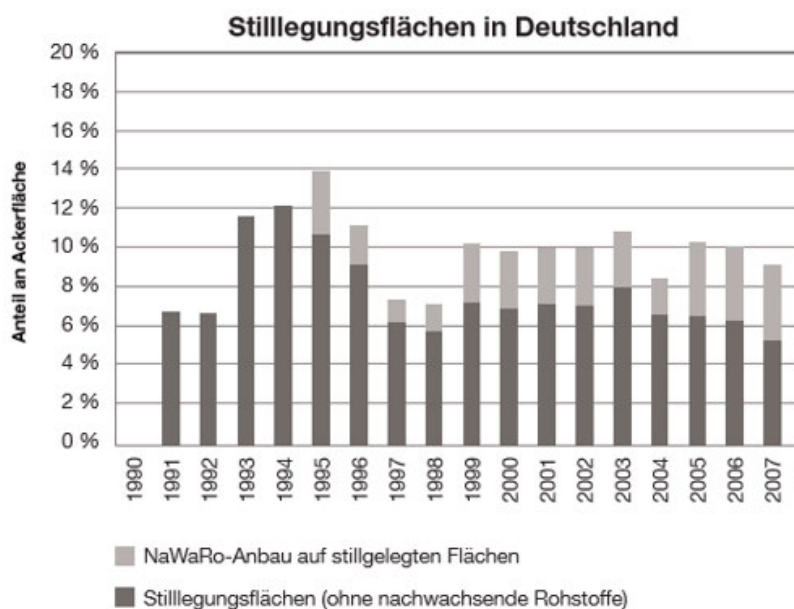


Abbildung 64: Entwicklung der Stilllegungsflächen und Anbauflächen nachwachsender Rohstoffe (ha) in Deutschland (Oppermann et al. 2008).

### Treiber

Analog zu den bereits erörterten Konflikten der Bioenergie wird auch für diesen Konflikt das **Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)** als ein wesentlicher Treiber angesehen. Der zunehmende Ausbau der Bioenergie und die eingangs hohe Vergütung des Energiepflanzenanbaus hat zu einer gesteigerten Nachfrage nach Gärsubstraten (Mais, Getreide-GPS, Grassilage) für die Biogasproduktion geführt. Der zunehmende Flächendruck und die Genehmigung eines Anbaus nachwachsender Rohstoffe auf obligatorischen Stilllegungsflächen bewirkte einen deutlichen Verlust an Brachflächen in Deutschland (Abbildung 64).

Der oben beschriebene Konflikt zwischen dem Anbau von Nachwachsenden Rohstoffen und

der Flächennutzung als Brachfläche ist aber auch vor dem Hintergrund der politischen Maßnahmen zur obligatorischen Flächenstilllegung zu bewerten. Die Einführung dieses Instrumentes in der EU Agrarpolitik bzw. die Abschaffung der obligatorischen Flächenstilllegung im Jahr 2007 sind ein zweiter wesentlicher Treiber für den Konflikt zwischen Brachflächennutzung und Energiepflanzenanbau.

Durch die Abschaffung der obligatorischen Flächenstilllegung im Jahr 2007 befindet sich die Nutzung von landwirtschaftlichen Anbauflächen als Brache wiederum in direkter Konkurrenz mit dem Anbau von Feldfrüchten für Nahrungs- und Futtermittel sowie für die Energieproduktion.

### Druck

Für die Ableitung geeigneter Indikatoren zur Beschreibung des Druckes durch oben genannte Treiber auf Brachflächen ist theoretisch am ehesten die Entwicklung der Anbauflächen für Energiepflanzen geeignet. Einen Gesamtüberblick zum Anbau nachwachsender Rohstoffe gibt die folgende Abbildung 65. Die Abgrenzung des Bereiches der Energiepflanzen ist innerhalb der Gruppe der nachwachsenden Rohstoffe nicht eindeutig. Der Grund dafür sind Überlappungen zwischen beiden Bereichen (z. B. der Einsatz von Pflanzenölen im Bereich der stofflichen Nutzung oder die Gewinnung von Stärke für Industrielle Prozesse aus Substraten wie Mais). Abbildung 65 zeigt eine deutliche Zunahme des Anbaus von nachwachsenden Rohstoffen im Zeitraum von 2005 bis 2017. Derzeit beträgt die Gesamtanbaufläche in Deutschland rund 2,7 Mio. ha., wobei ca. 2,4 Mio. ha. für die Produktion von Energiepflanzen für Biokraftstoffe, Festbrennstoffe und Biogassubstrate verwendet werden.

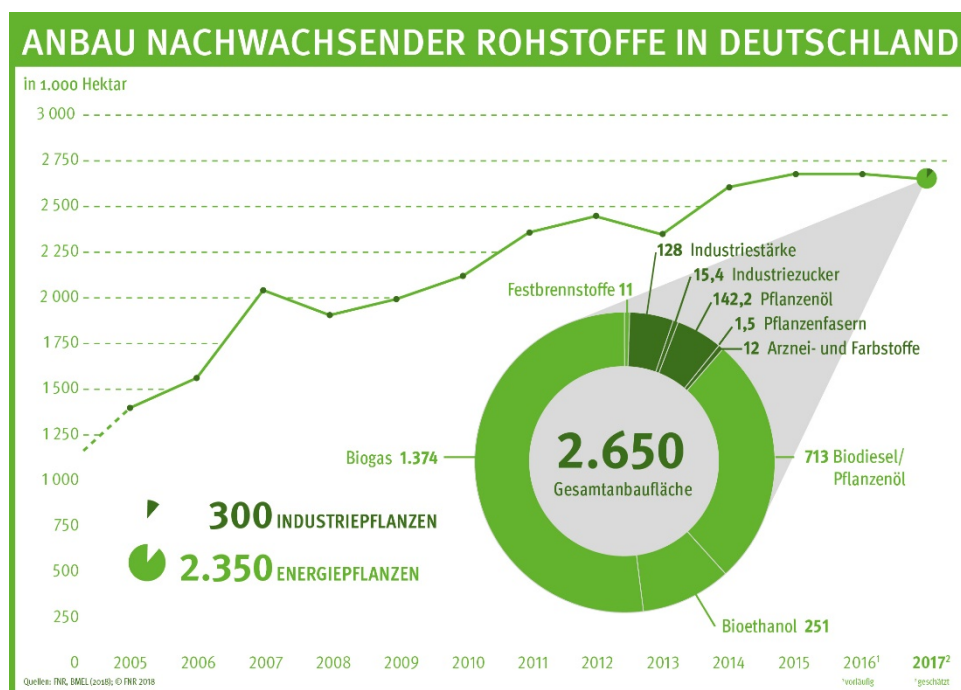


Abbildung 65: Entwicklung der Anbauflächen nachwachsender Rohstoffe (in 1.000 ha) in Deutschland (Busch 2018).

Mit Bezug auf den Treiber EEG und für eine stärkere Ausdifferenzierung der relevanten Anbaubiomassen innerhalb der nachwachsenden Rohstoffe scheint aufgrund der herausragenden Bedeutung innerhalb des EEG eine Fokussierung auf den Anbau von Mais als Substrat der Biogasproduktion sinnvoll.

Abbildung 66 zeigt die Entwicklung der Maisanbauflächen in Deutschland seit 2008, aufgelöst nach unterschiedlichen Nutzungsbereichen. Für die Energieerzeugung aus Mais ist der gelb-orange Bereich der Abbildung relevant. Die Abbildung zeigt eine Zunahme der Anbaufläche für Silomais für Biogas bis zur Einführung der Mengenbegrenzung für Mais im EEG („Maisdeckel“) im Jahr 2012. Seitdem ist die Anbaufläche für Silomais für Biogas in Deutschland ungefähr stabil bei ca. 850.000 ha.

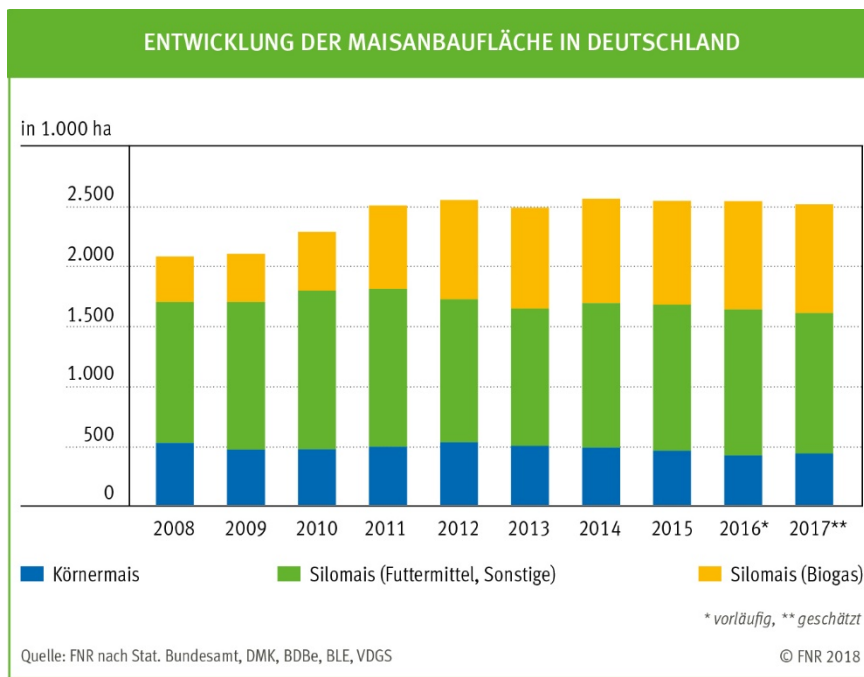


Abbildung 66: Entwicklung der Anbaufläche für Mais (in 1.000 ha) in Deutschland (FNR 2018).

Für die Produktion von Bioenergie (im Speziellen Biogas) aus Energiepflanzen bedarf es einer großen Flächenverfügbarkeit (bzw. Anbaufläche). Der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen beschränkt sich aktuell auf wenige Kulturarten, von denen Mais den größten Flächenanteil besitzt. Um den Flächenbedarf einzelner Biogasanlagen quantifizieren zu können, wird das von veröffentlichtem Modell zur Flächenbedarfsabschätzung verwandt (Abbildung 67).

In Abhängigkeit der installierten Leistung, dem jeweiligen Methanertrag der unterschiedlichen Substratmengen sowie dem spezifischen Ertragsniveau kann der Flächenbedarf jeder einzelnen Biogasanlage quantifiziert werden.

Silomais ist das derzeit mengenmäßig bedeutendste Substrat zu Stromerzeugung aus Biogas in Deutschland. Neben Silomais werden weitere Anbausubstrate zur Biogasproduktion eingesetzt.

Für ein Monitoring der Entwicklung von Anbauflächen für Biogassubstrate kann der notwendige **Flächenbedarf aus der Biogasproduktion im EEG als Teilindikator Druck** herangezogen werden. Einen Ansatz für dessen Abschätzung liefert Daniel-Gromke (2013) (Abbildung 67).

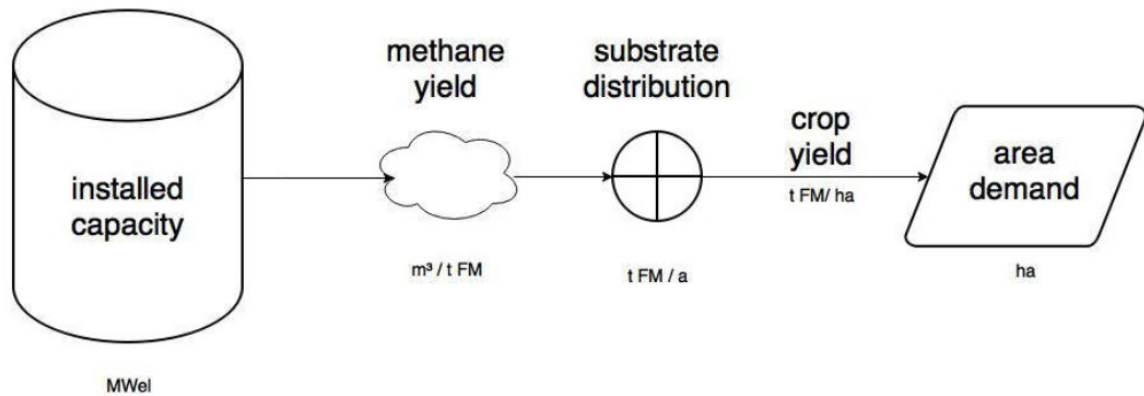


Abbildung 67: Schema eines Modells zur Flächenbedarfsabschätzung (dargestellt durch den Term a) von Biogasanlagen in Abhängigkeit von der installierten Leistung der Anlagen (dargestellt durch den Term n<sub>i</sub>) (Daniel-Gromke 2013).

$$M_i = t_i * m_i$$

Dabei stellt:

$M_i$  = Gesamtmethanertrag der Substrate [m<sup>3</sup>/a]

$t_i$  = Menge an Substraten [t FM/a]

$m_i$  = durchschnittlicher Methanertrag der jeweiligen Substrate [m<sup>3</sup>/t FM]

$$e_i = \frac{M_i}{\sum M}$$

Dabei stellt:

$e_i$  = energiebezogener Anteil spezifischer Substrate [%]

$\sum M$  = Gesamtmethanertrag aller eingesetzten Substrate [m<sup>3</sup>]

$$n_i = e_i * n_{total}$$

Dabei stellt:

$n_i$  = installierte Leistung abgedeckt durch das jeweilige Substrat [MW<sub>el</sub>]

$n_{total}$  = gesamtinstallierte Leistung aller Energiepflanzen [MW<sub>el</sub>]

$$T_i = \frac{n_i * 1000 * h}{n_{el} * H * m_i}$$

Mit:

$T_i$  = Gesamtsubstratmenge [t FM/a]

$n_{el}$  = Gesamtwirkungsgrad eines KWK – Blocks

$H$  = Heizwert von Methan [kWh/m<sup>3</sup>]

$h$  = Jahresvolllaststunden [h/a]

$$a_i = \frac{T_i}{y_i}$$

$a_i$  = Fläche für die Substratproduktion [ha]

$y_i$  = Ertrag [t FM/ha]

Zur Einordnung des Teilindikators Druck ist zu ergänzen, dass nach dem Wegfall der obligatorischen Flächenstilllegung im Jahr 2007 kein direkter kausaler Zusammenhang zwischen der Zunahme der Anbaufläche für Energiepflanzen und dem Rückgang von Brachflächen möglich ist. Die Zunahme der Anbaufläche für Energiepflanzen wirkt jedoch innerhalb der begrenzten Gesamtfläche als wichtiger Treiber.

### Zustand

Der Anteil der Stilllegungsfläche in Deutschland hat sich in den letzten Jahrzehnten deutlich gewandelt. Abbildung 68 zeigt die Entwicklung stillgelegter landwirtschaftlicher Flächen in Deutschland im Zeitraum 2004 bis 2017. Die Abbildung verdeutlicht eindrucksvoll den Einfluss der Rücknahme der obligatorischen Flächenstilllegung in 2007. Ab diesem Zeitpunkt befand sich die Flächenstilllegung bzw. die Flächennutzung als Brache wiederum im direkten Wettbewerb mit dem Anbau von Feldfrüchten (BMEL 2017).

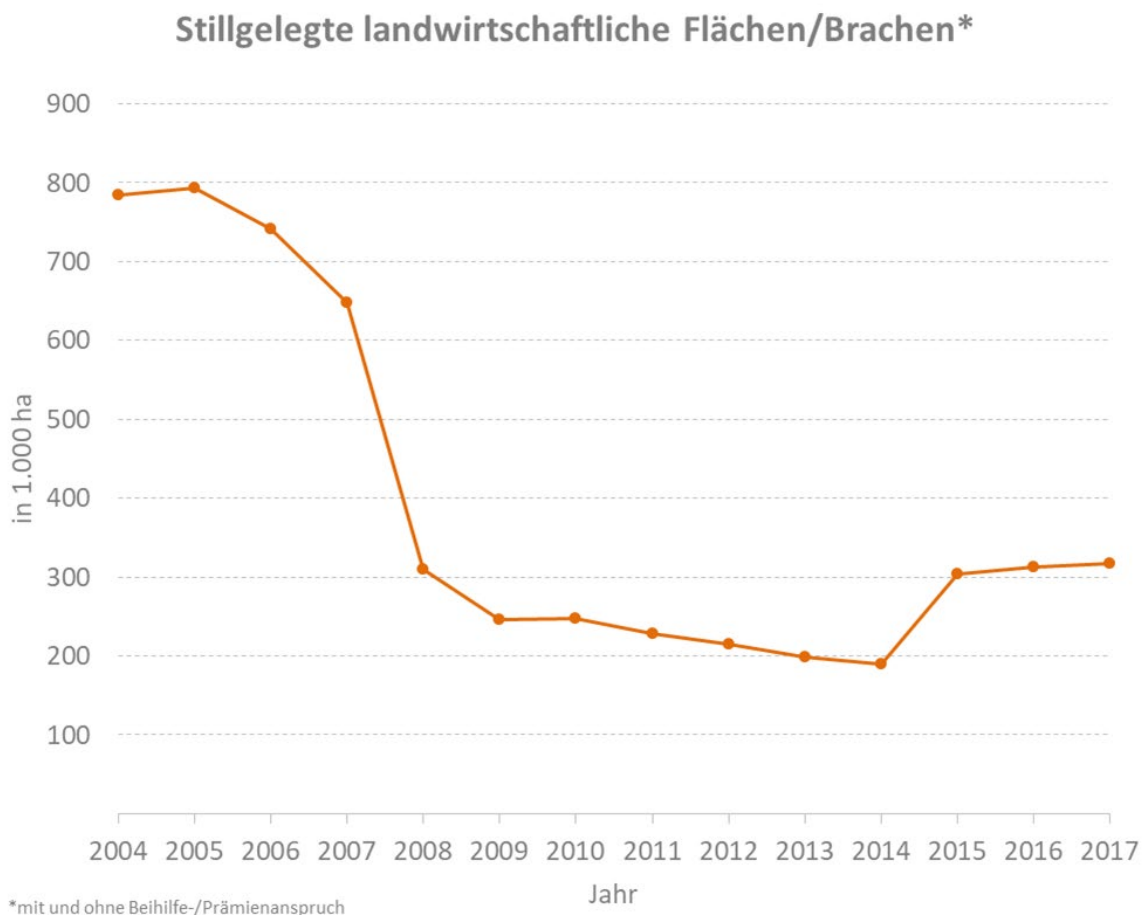


Abbildung 68: Stillgelegte landwirtschaftliche Fläche/Brache in Deutschland 2004 bis 2017. Darstellung auf Basis von BMEL (2017).

## **Auswirkung**

Analog zu dem Konflikt der Grünlandintensivierung und des -umbruchs (siehe Abschnitt 5.3.2.4) ist der Nachhaltigkeitsindikator „Artenvielfalt in der Agrarlandschaft“ ein geeigneter Indikator, um die Auswirkungen des Bracheverlustes bedingt durch den Bioenergieausbau abschätzen zu können. Als Teilindikator kann im Speziellen der Index „Vögel der Agrarlandschaft“ herangezogen werden

### *Wiesenvögel*

Brutvögel gelten als wichtige Bioindikatoren. Ihr Auftreten gibt Auskunft über den Zustand der Artenvielfalt, der biologischen Vielfalt sowie der nachhaltigen Landnutzung (Padoa-Schioppa et al. 2006). Denn Vögel sind eng an das Vorhandensein spezieller Habitatstrukturen und die Verfügbarkeit bestimmter Nahrungsquellen gebunden (Flade 1994). Dabei spricht man von sogenannten Struktur-Gilden, die eine Gruppe von Vogelarten umfasst, welche ungeachtet ihres Verwandtschaftsgrades auf die gleiche Ressource angewiesen sind. Für den Naturschutz und die Landnutzung sind Vogelarten daher wichtige Zeigerorganismen (Indikatoren). Die Biologie, Ökologie und die Gefährdungsursachen von Vögeln sind gut erforscht. Sichere Feldmethoden zur Erfassung ermöglichen zudem jahrzehntelang bestehende, qualifizierte Monitoringprogramme. Deshalb können Vogelmonitorings anthropogene Veränderungen der gesamten Biozönose gut abbilden (Benton et al. 2002). Der Begriff „Feldvögel“ bzw. „Vögel der Agrarlandschaft“ umfasst in einer Veröffentlichung des NABU (2013) 20 Vogelarten, die vorrangig landwirtschaftlich genutzte Flächen zur Nahrungssuche und als Brutplatz auswählen. Besondere Bedeutung besitzen diese Vogelarten, da eine Auswahl an Arten aggregiert als Teilindikator „Agrarland“ in den Indikator „Artenvielfalt und Landschaftsqualität“ einfließen und damit maßgeblich zur Beurteilung der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt (NSB) in Deutschland herangezogen werden (Sudfeldt et al. 2009). Im Rahmen von Monitoring-Programmen des Dachverbands Deutscher Avifaunisten e.V. (DDA) werden die Daten Deutschlandweit mittels Linienkartierung einheitlich erhoben. Die folgende Abbildung 69 stellt die Entwicklung des Teilindikators Agrarland in der Zeitreihe von 1990 bis 2013 dar. Wie die Abbildung verdeutlicht, ist der Teilindikator dabei in der gezeigten Zeitreihe leicht rückläufig.



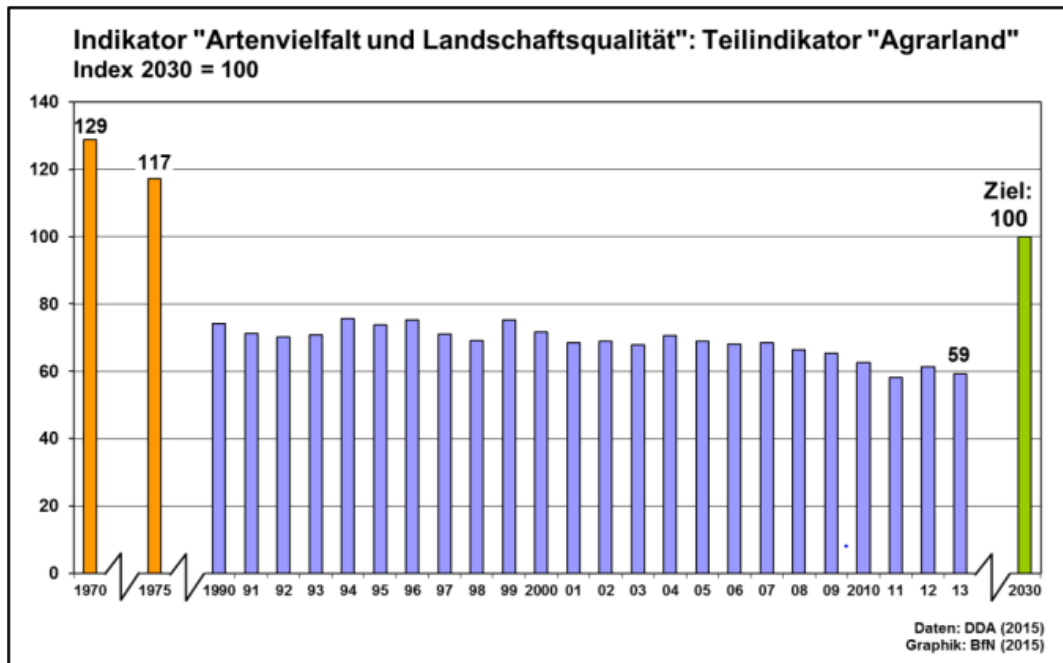


Abbildung 69: Teilindikator „Agrarland“ des Indikators „Artenvielfalt und Landschaftsqualität“. Arten des Teilindikators: Rotmilan, Kiebitz, Uferschnepfe, Steinkauz, Neuntöter, Heidelerche, Feldlerche, Braunkehlchen, Grauammer, Goldammer (BfN 2017a).

Die Agrarlandschaft unterliegt einem stetigen Wandel: Wechsel von Fruchtarten und agronomische Maßnahmen bestimmen die Habitatstruktur sowie die Nahrungsverfügbarkeit. Welche Anbauformen von den 20 verschiedenen Arten bevorzugt werden, ist in der Abbildung 70 dargestellt. Naturnahes Grünland, Brache und Leguminosen sind die drei Lebensräume, für welche Agrarvögel die höchste Präferenz zeigen. Im Hinblick auf die Habitatpräferenz ist mit 12 von 20 Arten das naturnahe Grünland die bedeutendste Kultur in Deutschland. Trends der Bestände der Agrarvögel sind deshalb nur mittels genauerer Einzelstudien auf bestimmte landwirtschaftliche Veränderungen zurückzuführen (Jerrentrup et al. 2017).

Arten	Wintergetreide	Sommergetreide	Mais	Raps	Leguminosen (Luzerne)	Rüben	Kartoffeln	Gemüse	Sonnenblumen	Brache, Brachstreifen	Grünland	Wichtigste übrige Habitate
Wachtel				•	•••					••		
Rebhuhn				•	••					•••		Hecken, Büsche
Wiesenweihe		•			••					•••		Salzwiesen, Moore
Rotmilan					•••					•	••	Ortschaften, Deponien
Wachtelkönig	••									•	•••	Niedermoore
Kiebitz			•••							••	•	
Uferschnepfe											•••	Feuchtgebiete, Salzwiesen
Steinkauz											•••	Obstwiesen
Neuntöter										••	•••	Kahlschläge, Moore, Heiden
Heidelerche										•••	••	Waldränder, Heiden
Feldlerche					••					•••	•	Dünen, Sazwiesen, Moore, Heiden
Rauchschwalbe				••	•						•••	Feuchtgebiete, Waldränder
Mehlschwalbe					•	•••					••	Feuchtgebiete, Waldränder, Bauernhöfe
Braunkehlchen				•						•••	••	Moore, Heiden, Kahlschläge
Wiesenpieper						•				••	•••	Moore, Heiden, Salzwiesen
Wiesenschafstelze	•	•••		••								Moore, Salzwiesen
Bluthänfling				•						•••	••	Hecken, Büsche
Graurammer		••?								•••	•	
Goldammer					•••					•	••	Moore, Heiden, Kahlschläge
Ortolan					•	•••	••					Waldränder, Heiden

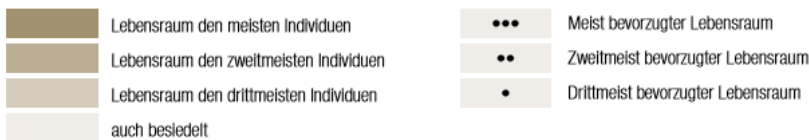


Abbildung 70: Habitatpräferenzen bei der Nahrungssuche von Agrarvögeln während der Brutzeit in Deutschland (NABU 2013).

Als Auswirkungs-Indikator stellt der zeitliche Verlauf der Bestandszahlen des Teilindikators „Agrarland“ eine gute Bezugsbasis dar. Dieser bundesweite Parameter umfasst als etablierter Indikator die zehn bedeutendsten Vögel der Agrarlandschaft. Dieser Teilindikator vereint zwar unterschiedliche Habitate, jedoch ist eine präzise Abgrenzung von Lebensräume ist bei Vögeln generell nicht gegeben. Im Zeitraum von 1990 bis 2004 befand sich der Indexwert bei etwa 75 %. Mit 59 % im Beobachtungsjahr 2013 ist der Indexwert des Teilindikators „Agrarland“ deutlich unter dem geforderten Zielwert von 100 %.

### Reaktion

Die ökologischen Vorteile einer Brache sind notwendig, um dem Artenschwund entgegenzuwirken (Doxa et al. 2010; Pe'er et al. 2017). Der plötzliche Wegfall der obligatorischen Flächenstilllegung hat deutlich gemacht, welchen Einfluss Bewirtschaftungsmaßnahmen auf Tier- und Pflanzenarten haben. Das an die Direktzahlungen gebundene Greening (1. Säule der gemeinsamen EU Agrarpolitik) hat sich naturschutzfachlich bisher als nicht effektiv erweisen können (Pe'er et al. 2014). Der Großteil der Betriebe meldet „produktive“ Optionen (Zwischenfrüchte, Gründüngung) für ökologische Vorrangflächen, obwohl diese nur geringeren naturschutzfachlichen Wert aufweisen. Die Betriebe meiden dagegen meist die Anlage

von Brachen oder Landschaftselementen, welche einen größeren naturschutzfachlichen Wert haben (Pe'er et al. 2017). Agrarumweltprogramme der 2. Säule der gemeinsamen EU-Agrarpolitik erzielen durch ihre geringe Förderhöhe und die damit verbundene geminderte Attraktivität nur unzureichende Umsetzung und werden zudem in den intensiven Ackerbau-regionen als Instrumente des Naturschutzes kaum in Erwägung gezogen. Aus ökologischer Sicht plädieren aber viele Naturschutzverbände (Oppermann et al. 2016) und Wissenschaftler (Pe'er et al. 2017; Doxa et al. 2010) für die Förderung der Flächenstilllegung/Brache.

Die aufgezeigten Entwicklungen machen deutlich, dass eine Stabilisierung bzw. eine perspektivische Steigerung der Stilllegungsflächen/Brachen deutlich von zusätzlichen, unterstützenden Maßnahmen abhängig ist. Ohne diese Maßnahmen steht die Nutzungsform der Brache im direkten Wettbewerb zum Anbau unterschiedlicher Feldfrüchte. Dieser Wettbewerb ist wiederum durch verschiedene landwirtschaftliche Subventionsmaßnahmen bzw. Fördermaßnahmen (z. B. für den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen) „verzerrt“.

### Handlungsempfehlungen

**Die Einführung sogenannter Naturschutzbrachen zur Förderung des Biotop- und Artenschutzes** kann auf Minderertragsstandorten (trockene Kuppen, arme Sandstandorte, usw.) und Randstreifen positive Effekte für die Natur und Umwelt nach sich ziehen. Ausschlaggebend sei dabei auch ein zielgerichtetes Management (Abbildung 71). Eine wirksame Einführung dieser Maßnahmen ist aufgrund der im vorangegangenen beschriebenen Rahmenbedingungen von einer politischen Unterstützung (z. B. im Rahmen bestehender Agrarumweltprogramme) abhängig.

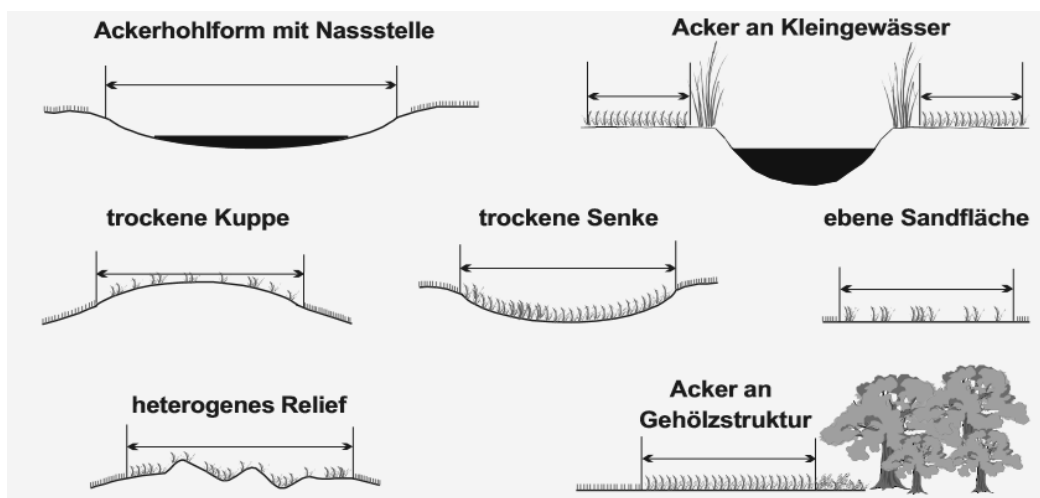


Abbildung 71: Darstellung unterschiedlicher Beispiele von Naturschutzbrachen (Berger et al. 2002).

Der direkte und indirekte Erfolg solcher Maßnahmen zur Unterstützung der Einführung von Naturschutzbrachen ist ebenfalls über eine Veränderung des beschriebenen Teilindikators „Agrarland“ ablesbar.

Ein weiteres Instrument für die Steigerung der Brache-Nutzung kann die **Beratungs- und Öffentlichkeitsarbeit** sein. Ein Stakeholder-Dialog kann der Förderung der Brache behilflich sein und die Vor- und Nachteile dieser speziellen Form der Bewirtschaftung für alle Interessengruppen aufzeigen. Dabei spielt die Vernetzung relevanter Akteure und Umsetzungsprojekte auf nationaler und europäischer Ebene eine entscheidende Rolle.

Im Zusammenhang mit dieser Maßnahme kann es zudem sinnvoll sein, auch bei der **natur-**

**schutzfachlichen Ausbildung von Landwirten** anzusetzen. Ökologische Zusammenhänge und Naturschutz spielen bei der Ausbildung von Landwirten bislang in der Regel eine untergeordnete Rolle. Um ein gesteigertes Bewusstsein der Landnutzer zu erreichen bedarf es einer stärkeren Durchdringung der entsprechenden Inhalte in Studium und Berufsausbildung landwirtschaftlicher Berufe.

Perspektivisch können **Instrumente zum impact assessment gezielt für Landwirtschaftsbetriebe** entwickelt werden um die Auswirkungen der betrieblichen Praxis bzw. unterschiedlicher Bewirtschaftungsformen auf die Biodiversität zu bewerten und für den einzelnen landwirtschaftlichen Betrieb direkt sichtbar zu machen.

Deshalb ist mit den Daten des Zustandsindikators zu erheben, ob die oben genannten Maßnahmen Erfolg zeigen und sich der **Anteil der Stilllegungsfläche in Deutschland** dadurch erhöht.

### **5.3.2.6 Belastung von Oberflächengewässern und des Grundwassers durch Oberflächenabfluss (Silagesickersäfte, Gülle, Gärreste usw.)**

*Barbara Koblenz*

#### **Einleitung**

Der Ausbau der Bioenergie hat in der Vergangenheit zu einem großen Zuwachs an Biogasanlagen geführt. Neben dem Einsatz an tierischen Exkrementen werden zudem nachwachsende Rohstoffe als Substrat eingesetzt. Beide Stoffklassen bergen die Gefahr einer Gewässerunreinigung. In den Statistiken werden diese Stoffe als JGS (Jauche, Gülle, Silagesickersaft, Gärsubstrat, Gärrest sowie vergleichbare in der Landwirtschaft anfallende Stoffe) zusammengefasst. Der BUND veröffentlichte 2017 in der Studie „BUND-Chronik Güllehavarien von Juli 2016 bis Juni 2017“ Daten, die besagen, dass durch die Intensivierung der Tierhaltung und die Zunahme von Gülleimporten die Gefahr von Gülleunfällen zugenommen hat (Wenz 2017). Ein weiteres Gefährdungspotenzial für Unfälle mit JGS-Anlagen stellt die Biogasproduktion dar, insbesondere die Substratbereitstellung für die Biogaserzeugung. Bei der Lagerung von Maissilage, aber auch anderen nachwachsenden Rohstoffen, fallen in Silos in Abhängigkeit der Substrateigenschaften (Trockenmassegehalt, Häckslerlänge), Silobauweisen und Niederschlagsmengen Gärstaft sowie Silagesickersäfte an, die bei unsachgemäßer Handhabung zur Verunreinigung von Grund- und Oberflächengewässern beitragen (Thayssen 2010). Durch den Ausbau an Biogasanlagen haben folglich auch die potenziellen Anlagen für wassergefährdende Stoffe zugenommen. Zu den Gefahrenstellen einer Biogasanlage gehören Anlagen zum Befüllen und Lagern von Gärsubstraten, Anlagen zum Herstellen von Biogas, insbesondere Vorlagebehälter, Fermenter und Nachgärer sowie Anlagen zum Lagern und Abfüllen der Gärreste. Zusätzlich birgt der Transport von Gärresten auf landwirtschaftlichen Nutzflächen die Gefahr einer Freisetzung wassergefährdender Stoffe.

#### **Treiber**

Als Treiber des Konflikts wird das Erneuerbare-Energien-Gesetz, welches 2000 in Kraft getreten ist, angesehen (EEG, 2017). Dieses gilt als Instrument der Energiewende, um den Ausbau der erneuerbaren Energien im Strombereich zu fördern. Das EEG legt die konkreten Ausbauziele für die einzelnen Technologien fest. Dabei verzeichnen insbesondere Biogasanlagen in der Vergangenheit einen deutlichen Zuwachs. Neben einem umfangreichen Einsatz von Gülle und Festmist als Biogassubstrat, kommen auch nachwachsende Rohstoffe zum Einsatz. Bezogen auf den Energiegehalt ist Maissilage das wichtigste Substrat. Durch den Zubau an Anlagen steigt die potenzielle Gefahr der Unfälle mit JGS-Anlagen.

#### **Druck**

Zur besseren Vergärbarkeit werden nachwachsende Rohstoffe in der Regel siliert. Bei der Silierung der Substrate kann in unterschiedlichen Größenordnungen Gärstaft anfallen, vorwiegend in den ersten zehn Tagen ab der Silierung. Gärstaft ist reich an organischen Stoffen und enthält neben Kohlenhydraten, Eiweiß und Fetten organische Säuren. Der pH-Wert liegt üblicherweise zwischen vier und fünf (Spiekers und Attenberger 2013).

Sind Silos nicht überdacht und nur unzureichend abgedeckt, kann bei Niederschlagsereignissen Sickersaft entstehen, der mit organischen Stoffen angereichert ist. Sickersaft darf ebenso wie Gärstaft nicht in Oberflächengewässer oder Grundwasser gelangen (Spiekers und Attenberger 2013).

Es werden aus verschiedenen Bundesländern Unfälle gemeldet, bei denen durch Störfälle an Biogasanlagen zum Teil größere Mengen Gülle oder Gärreste in die Umwelt gelangt sind (LfStat 2016). Der Austrag von Gär- oder Silagesickersäften wird ebenfalls berichtet.

Ein Druckindikator für die Belastung von Oberflächengewässern und Grundwassern stellen die deutschlandweiten Unfallmeldungen mit JGS-Anlagen dar. Diese Stoffgruppe ist in hohem Maße für die Überdüngung von Böden und Gewässern und damit direkt für die Veränderung von aquatischen Artengemeinschaften und indirekt für weitere Umweltbelastungen wie beispielsweise Emissionen verantwortlich. Eine Unfallmeldung erfolgt im Sinne des Umweltstatistikgesetzes nach einem bestimmungswidrigen Austreten einer im Hinblick auf den Schutz des Gewässers nicht unerheblichen Menge wassergefährdender Stoffe. Eine Feststellung, ob eine bestimmte Menge nicht unerheblich ist, wird im Einzelfall von der örtlichen Meldestelle (unteren Verwaltungsbehörden der Stadt- und Landkreise) getroffen. Die Daten werden an die statistischen Landesämter weitergeleitet und in den jährlichen Statistiken veröffentlicht. Eine bundesweite Statistik zu den Unfallmeldungen auf Bundeslandebene kann gleichermaßen beim statistischen Bundesamt abgefragt werden. Die Unfallmeldungen mit wassergefährdenden Stoffen, geben einen Überblick über das Gefährdungspotenzial und die aus den Unfällen abgeleiteten Umweltbelastungen. Dabei wird unterschieden zwischen:

- Unfällen bei dem Umgang
- bei der Beförderung mit wassergefährdenden Stoffen.

In den folgenden Darstellungen werden die Unfallmeldungen als Summe der Unfälle beim Umgang und der Beförderung ausgewiesen.

Die Verwaltungsvorschrift wassergefährdender Stoffe (VwVwS) hat für die bessere Bestimmung ein dreistufiges System in Wassergefährdungsklassen (WGK) festgelegt. Bis 2010 wurden JGS in keine WGK eingestuft, sondern unter „Unbekannt“ erfasst. Bei größeren Mengen stellt diese Stoffart jedoch eine große Gefahr dar. Eine Darstellung der Unfallzahlen und freigesetzten Mengen ist erst ab 2011 möglich. Ab dem Berichtsjahr 2016 wurde zudem der Fragebogen erweitert. Ab diesem Zeitpunkt wird die Art der Anlage ausgewiesen. Somit ist eine Differenzierung zwischen Biogasanlage und JGS-Anlage möglich. Eine strikte Trennung von Silos (JGS-Anlagen) zur Substratbereitstellung für die Tierhaltung und der Biogasproduktion ist allerdings nur bedingt möglich. Für die präzise Bemessung des Druckindikators sind folgende Daten notwendig:

1. Anzahl der Unfälle mit JGS in den einzelnen Bundesländern
2. Freigesetzte Menge an JGS
3. Nicht wiedergewonnen Menge an JGS
4. Art der Anlage

Die subjektive Einschätzung der umweltschädigenden Wirkung stellt jedoch die regionale Vergleichbarkeit der Statistik in Frage. Durch die große Skalierung der Unfälle auf Bundeslandebene ist eine präzise Zuordnung der einzelnen Unfallmeldungen zu den entsprechenden Biogasanlagenstandorten nicht möglich. Eine differenzierte Auswertung von Unfallmeldungen auf Kreisebene ist durch die lückenhafte Datenlage ebenfalls nicht gegeben. Gleichzeitig ist die Gegenüberstellung der jährlichen Kreisergebnisse aufgrund der Kreisgebietsreform im Jahr 2008 nicht plausibel.

Die Anzahl der JGS-Unfälle an der Gesamtanzahl der Unfälle mit wassergefährdenden Stoffen ist relativ gering. Jedoch liegen die freigesetzten Unfallmengen im langjährigen Mittel bei JGS im Vergleich zu Unfallmengen mit Mineralölen deutlich höher (Weißberger 2012).

Eine bundesweite Statistik der freigesetzten und nicht wiedergewonnenen Mengen bei JGS-Anlagen ist in Abbildung 72 aufgeführt.

## JGS Unfallmengen

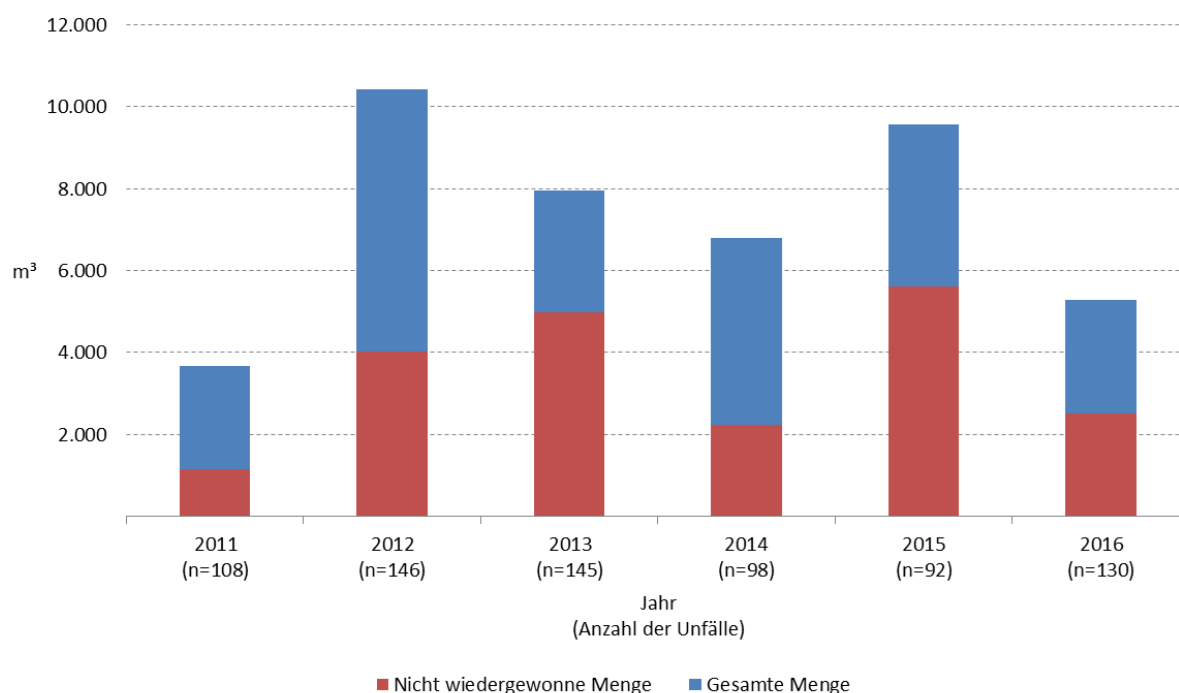


Abbildung 72: Bundesweite Unfallmenge gesamt der Stoffart JGS sowie nicht wiedergewonnene Menge in Abhängigkeit der Anzahl der Unfälle im Zeitraum 2011 bis 2016. Eigene Darstellung.

Als Indikator zur Druckbemessung kann die nicht wiedergewonnene Menge JGS pro Jahr verwendet werden:

$$I_i = \sum_{k=1}^{16} JGSA_{k,i} - \sum_{k=1}^{16} JGSW_{k,i}$$

Dabei ist:

$JGSA_{k,i}$ : gesamte ausgetretene Menge JGS in m<sup>3</sup> im Bundesland k, im Jahr i

$JGSW_{k,i}$ : gesamte wiedergewonnene Menge JGS in m<sup>3</sup> im Bundesland k, im Jahr i

$I_i$ : Indikator Druck Gewässerverschmutzung durch JGS im Jahr i

Die Differenz der gesamten ausgetretenen Menge JGS und der gesamten wiedergewonnenen Menge JGS beschreibt den Druckindikator dieses Konflikts auf die Gewässer. Eine Verschmutzung der Oberflächengewässer liegt vor, wenn der Indikator  $I_i$  größer 0 ist. Folglich steigt nach diesem Ereignis die Gefahr einer Umweltverschmutzung durch JGS-Anlagen. Beträgt die Differenz 0, so ist von keiner Gewässerverschmutzung auszugehen, da alle freigesetzten Mengen wiedergewonnen wurden. Tabelle 32 zeigt den Druck-Indikator für Deutschland und die Bundesländer der Jahr 2011 bis 2016.

Tabelle 32: Druck-Indikator Gewässerverschmutzung durch JGS ( $I_i$ ) bundesweit und in den einzelnen Bundesländern im Zeitraum 2011 bis 2016.

Gebietseinheit	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Deutschland	1150	4024	4969	2225	5620	2514

Schleswig-Holstein	231	283	129	1713	147	280
Hamburg	-	-	-	-	-	-
Niedersachsen	301	683	304	54	524	8
Bremen	-	-	-	-	-	-
Nordrhein-Westfalen	68	361	2731	187	1753	92
Hessen	39	149	10	28	57	150
Rheinland-Pfalz	41	80	23	2	-	140
Baden-Württemberg	172	216	92	29	193	290
Bayern	192	340	111	21	995	295
Saarland	-	-	-	0	-	-
Berlin	-	-	-	-	-	-
Brandenburg	-	350	1	-	-	250
Mecklenburg-Vorpommern	0	-	53	132	4	18
Sachsen	27	305	967	49	743	293
Sachsen-Anhalt	3	456	401	5	5	605
Thüringen	78	802	148	5	1200	93

Die Daten zur gesamten ausgetretenen Menge JGS und gesamte wiedergewonnene Menge JGS können beim statistischen Bundesamt abgefragt werden. Gleichzeitig können die statistischen Landesämter eine bundesweite Abfrage von Daten beauftragen und koordinieren. Diese Abfrage sollte zuvor bei einem statistischen Landesamt beantragt werden.

## Zustand

Für die Beschreibung des Gewässerzustandes in Deutschland wird die Veröffentlichung „Wasserwirtschaft in Deutschland. Grundlagen-Belastungen-Maßnahmen“ des Umweltbundesamtes (BMU / UBA 2017) herangezogen. Diese liefert Angaben zur Gewässerbeschaffenheit und ermöglicht es Aussagen zum ökologischen wie auch chemischen Zustand von Grund- und Oberflächengewässern zu treffen. Die europäischen Mitgliedstaaten haben nach den Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) ein Messnetz zur Überwachung des Grund- und Oberflächenwassers eingerichtet. Der Zustand der Grund- und Oberflächengewässer wird dabei von den jeweiligen Bundesländern überwacht und bewertet. Für das Monitoring für die Berichterstattung zur WRRL hat sich die Datenlage, insbesondere für kleinere Gewässer, seit 2006 deutlich verbessert.

Für die Beurteilung des chemischen und ökologischen Zustandes von Oberflächengewässern erfolgt eine Kategorisierung der Messstellen in drei verschiedene Rubriken (überblicksweise Überwachung, operative Überwachung, Überwachung zu Ermittlungszwecken). Dabei findet die Bewertung des chemischen Zustandes in einem Zwei-Klassenschema statt (gut; nicht gut), wohingegen der ökologische Zustand in ein Fünf-Klassenschema übertragen wird.

Für die Beurteilung des Konflikts ist vor allem der ökologische Zustand relevant. Einen sehr guten bis guten ökologischen Zustand kann gegenwärtig für 8,2 % der insgesamt vorherrschenden 9.800 Wasserkörper ausgewiesen werden. Unter allen Oberflächengewässern besitzt die Kategorie Fließgewässer mit 9000 Wasserkörpern den mengenmäßig größten Anteil. Somit wird für die Mehrheit aller Fließgewässer ein unzureichender ökologischer Zustand nachgewiesen (Abbildung 73). Ähnlich negative Zustände werden in Küsten- und Übergangsgewässern verzeichnet. Die Untersuchung der Seen in Deutschland ergibt ein deutlich positiveres Bild. Von den insgesamt 730 untersuchten Seen sind 26 % in ihrem ökologischen Zustand als gut bis sehr gut einzustufen.



Um den chemischen Zustand von Oberflächengewässern zu erfassen, werden an den deutschlandweiten Messstellen derzeit 45 Stoffe/Stoffgruppen untersucht. Die Gesamtbewertung des chemischen Zustandes wird als nicht gut dargestellt. Insbesondere Grenzwertüberschreitungen von Quecksilber trägt maßgeblich zu dieser Situation bei.

Die Auswertung der Untersuchungen zum chemischen Zustand von Grundwassern im Jahr 2015 zeigt, dass 34,8 % aller Grundwasserkörper in einem schlechten Zustand sind (Daten nicht dargestellt). Vordergründig sind Belastungen mit Nitrat (27,1 % der Grundwasserkörper) und Pflanzenschutzmittel (2,8 % der Grundwasserkörper) aus der Landwirtschaft Auslöser für diesen Zustand.

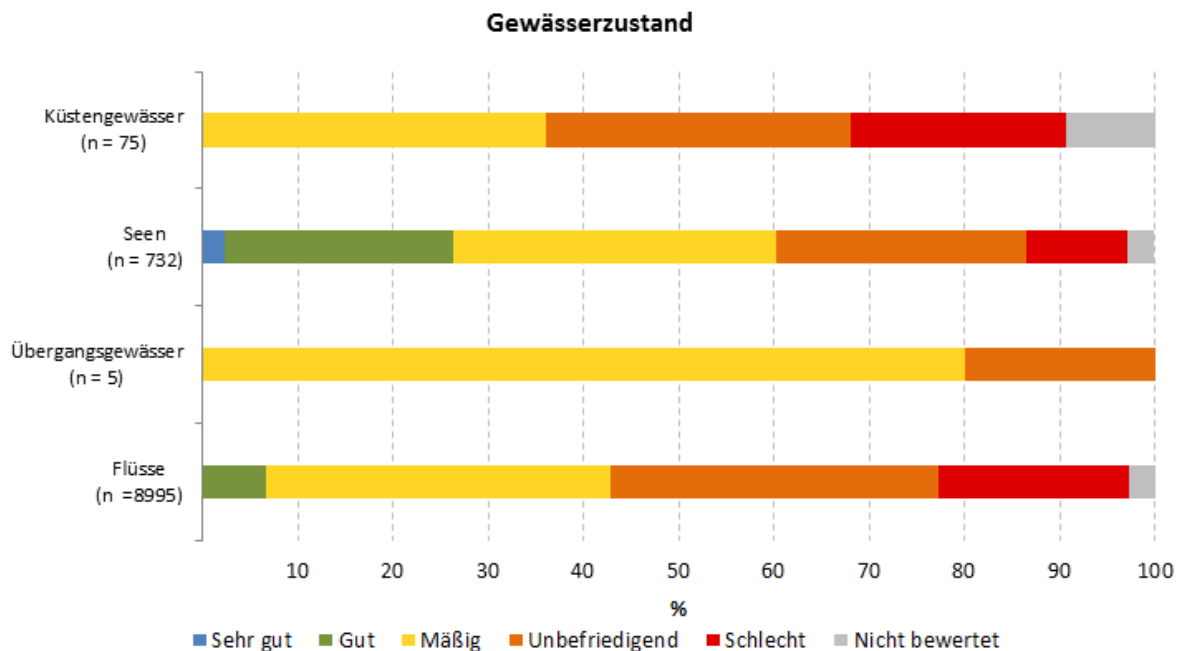


Abbildung 73: Ökologischer Zustand der Gewässerkategorien in Deutschland. Eigene Darstellung auf der Basis von UBA (2017b).

### Auswirkung

Um die Auswirkungen eines Unfalles mit JGS quantifizieren zu können, ist eine geeignete, aus den Kenndaten des statistischen Bundesamtes hervorgehende Messgröße (hier die Fischsterberate), die in die Berechnung des Indikators mit eingeht, zu nutzen. Der momentan zur Verfügung stehende Datensatz darf jedoch nicht veröffentlicht werden und unterliegt der Geheimhaltungspflicht. Die Daten weisen für die Stoffart JGS die Anzahl der Unfälle mit Verunreinigungen (darunter mit Fischsterben) aus. Laut dem statistischen Bundesamt liegen diese Daten für jedes Bundesland vor. Eine Ableitung der Auswirkung des Bioenergieausbaus auf das Fischsterben bzw. die Verschmutzung von Oberflächengewässern/Grundwassern ist bislang nicht gegeben. Jedoch kann dieser Indikator eine gute Messgröße für die Auswirkung der Verschmutzung von Grund- und Oberflächengewässer sein. Somit können Gefährdungspotenziale in den einzelnen Bundesländern abgeschätzt werden. Für eine zukünftige Berechnung des Indikators müssten die Daten öffentlich gemacht werden.

Als Indikator zur Schwere eines Störfalles mit JGS kann das Verhältnis der Anzahl der Störfälle zur Anzahl der Störfälle mit anschließendem Fischsterben verwendet werden.

$$I_{\text{öko}} = \frac{JGSF_i}{JGS_i}$$

Dabei ist:

$JGSF_i$ : Unfallzahl JGS im Jahr  $i$  mit den Unfallfolgen Fischsterben

$JGS_i$ : gesamte Unfallzahl JGS im Jahr  $i$

$I_{\text{öko}}$ : Indikator ökologische Auswirkungen

Insgesamt sind 92 % der Gewässer in Deutschland durch Schadstoffe und Baumaßnahmen belastet (BMU / UBA 2017). Der Eintrag von Nährstoffen (insbesondere Stickstoff und Phosphor) und damit die Gefahr einer Eutrophierung von Oberflächengewässern sind mit 75 % der Landwirtschaft zuzuweisen (UBA 2017b).

Der Indikator ökologische Auswirkung ( $I_{\text{öko}}$ ) dient der Bemessung der Umweltbelastung durch JGS-Anlagen. Gelangen Gär- oder Silagesickersäfte in Oberflächengewässer führt dies, in Abhängigkeit von der Menge und der Größe des Gewässers zu teilweise erheblichen Beeinträchtigungen der Ökosysteme, da die Flüssigkeiten Ammoniak, sauerstoffzehrende Stoffe und Pflanzennährstoffe enthalten. Durch den Abbau der organischen Substanzen kommt es zu einem Sauerstoffmangel. Dies kann zum Absterben der gesamten Fischbrut und Fischarten in den betroffenen Gewässerabschnitten führen (Spiekers und Attenberger 2013). Ist das Verhältnis zwischen der gesamten Unfallzahl und der gesamten Unfallzahl mit den Unfallfolgen Fischsterben 1, so sind durch Unfälle mit JGS übermäßig Nährstoffe in die Gewässer gelangt, die in gleichem Maße zu einem Fischsterben geführt haben. Liegt der berechnende Wert unter 1, hatten nicht alle gemeldeten JGS-Unfälle ein Fischsterben zur Folge

Dieser Indikator stellt ausschließlich die Folgen eines Unfalls dar. Der Indikator ermöglicht jedoch nicht zu quantifizieren, wie groß der betroffene Gewässerabschnitt ist.

## Reaktion

Zur Reduzierung und Vorbeugung von Gewässerverunreinigungen durch Stickstoffeinträge aus der Landwirtschaft, schreibt die EG-Nitratrichtlinie die Festlegung eines Aktionsprogrammes vor. Das deutschlandweit geltende nationale Aktionsprogramm setzt sich aus zwei Teilen zusammen, die sowohl Vorschriften zur Anwendung von Stoffen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen regeln (DüV) sowie bauliche Richtlinien (AwSV) einfordern. Die seit dem 01.08.2017 geltende „Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ (AwSV) löst die bislang 16 geltenden landesrechtlichen Vorschriften (VAwS) ab und definiert u. a. die Anforderungen an die Anlagen. Damit soll bundesweit einheitlich das Schutzniveau auf dem Gebiet des anlagenbezogenen Gewässerschutzes eingehalten werden. Die Anlagen werden in Abhängigkeit der Wassergefährdungsklasse sowie ihres Gesamtvolumens in Gefährdungsstufen eingeteilt (Gefährdungsstufe A-D). Neben Anforderungen an den Standort (mindestens 20 m Abstand zu oberirdischen Gewässern bzw. mindestens 50 m Abstand zu Brunnen und Quellen), wird eine Reihe von bautechnischen Anforderungen gestellt. Für Biogasanlagen mit Gärsubstraten ausschließlich landwirtschaftlichen Ursprungs müssen innerhalb von fünf Jahren eine Umwallung erbaut und eine Lagerkapazität von neun Monaten nachgewiesen werden. Diese Umwallung muss die Fähigkeit besitzen, das Volumen des größten Behälters der Anlage zurückhalten zu können bis geeignete Maßnahmen ergriffen werden können. Einwandige JGS-Anlagen für flüssige Stoffe mit einem Gesamtvolumen größer als 25 m<sup>3</sup> müssen ein Leckagekennungssystem besitzen. Das gleiche gilt für Abfallvergärungsanlagen, die zudem doppelwandig erbaut werden sollen. Die Nutzung von Erdbecken zur Lagerung von Gärresten wird gänzlich untersagt. Diese Verordnungen dienen dem bestmöglichen Schutz der Grund- und Oberflächengewässern.

Als Indikator zur Wirksamkeit der Maßnahmen, die durch die AwSV eingeführt werden, kann das **Verhältnis von ausgetretener Menge und wiedergewonnener Menge** nach einem Störfall verwendet werden.

$$I_{umwa} = \frac{\sum_i^{JGS} A}{\sum_i^{JGS} B}$$

Dabei ist:

- $A_{JGS,i}$ : gesamte ausgetretene Menge JGS in Kubikmeter im Jahr i  
 $B_{JGS,i}$ : gesamte wiedergewonnene Menge JGS in Kubikmeter im Jahr i  
 $I_{umwa}$ : Indikator Wirksamkeit Umwallung nach AwSV

Beträgt der Indikator  $I_{umwa}$  1 sind die unter der AwSV verordneten Maßnahmen wirksam und es gelangt keine Menge JGS nach einem Störfall in die Umwelt. Je höher der Wert über 1 liegt, umso unwirksamer sind die bautechnischen Maßnahmen und weitere Schritte wären zur Eindämmung des Konflikts notwendig gewesen. Die Umsetzung der Verordnung und damit die Wirkung der Maßnahmen kann erst in Zukunft erfasst werden.

Der zeitliche Verlauf des Indikators sowohl für die gesamte Bundesrepublik als auch für die einzelnen Bundesländer sind in Tabelle 33 aufgelistet.

Tabelle 33: Indikator Wirksamkeit Umwallung nach AwSV ( $I_{umwa}$ ) deutschlandweit und auf Bundeslandebene im Zeitraum 2011 bis 2016.

Gebietseinheit	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Deutschland	1,5	1,6	2,7	1,5	2,4	1,9
Schleswig-Holstein	1,6	1,4	1,6	1,5	1,7	1,7
Hamburg	-	-	-	-	-	-
Niedersachsen	98,0	1,3	2,1	1,1	10,5	1,0
Bremen	-	-	-	-	-	-
Nordrhein-Westfalen	1,0	2,4	28,3	1,7	241,1	1,2
Hessen	1,3	10,2	1,5	1,6	1,6	-
Rheinland-Pfalz	1,7	5,0	1,2	22,0	-	7,8
Baden-Württemberg	1,5	3,2	2,2	2,0	2,1	2,1
Bayern	8,0	1,2	1,5	1,1	3,9	4,2
Saarland	1,0	-	-	-	-	1,0
Berlin	-	-	-	-	-	-
Brandenburg	-	3,3	2,0	-	-	1,9
Mecklenburg-Vorpommern	1,8	-	1,3	-	41,0	10,1
Sachsen	3,2	13,2	3,9	2,2	1,2	2,4
Sachsen-Anhalt	1,3	10,6	1,4	1,1	1,3	2,0
Thüringen	3,0	2,2	1,3	1,5	-	1,6

### 5.3.2.7 Vogelkollision mit Freileitungen insbesondere mit den Blitzschutzseilen

*Pascal Kinast*

#### **Einleitung**

Ein nach der Befragung der PAG-TeilnehmerInnen relevanter Konflikt sind Vogelkollisionen mit dem Blitzschutzseil und den Leiterseilen von Freileitungen (Abschnitt 5.2). Bei weiterem Ausbau des Stromnetzes der Hoch- und Höchstspannung ist eine Erhöhung des Kollisionsrisikos von freileitungsempfindlichen Vögeln möglich. Daher werden für das EE-Monitoring Indikatoren vorgeschlagen, anhand derer versucht wird, das Konfliktrisiko und damit einhergehend die Konfliktintensität sowie den Konfliktumfang der Vogelkollision zu erfassen und in einem weiteren Schritt naturschutzfachlich zu bewerten.

#### *Wirkungszusammenhang der Vogelkollision mit Freileitungen*

Die Wirkzusammenhänge setzen sich aus den anlagebedingten Wirkfaktoren der Freileitungen (z. B. Blitzschutzseile), der Empfindlichkeit der Vögel gegenüber Freileitungen (u. a. Verhalten, biologische Ausstattung) und der Raumempfindlichkeit (Topographie, Witterung usw.) zusammen.

Horizontale Strukturen, wie die Leiter- und vor allem die dünneren Blitzschutzseile, die i.d.R. von Mastspitze zu Mastspitze gespannt sind, werden von fliegenden Vögeln in der Landschaft lediglich eingeschränkt wahrgenommen (Bruns 2015). Können die Vögel nicht mehr rechtzeitig ausweichen, kollidieren sie mit den Blitzschutzseilen häufig bei dem Versuch die sichtbareren Leiterseile zu überfliegen. Die Kollision kann zum sofortigen oder späteren Tod oder zu Verletzungen der Vögel führen (Bruns 2015; Ahmels et al. 2013; Albrecht et al. 2013; EFZN und OECOS 2012; Scholles et al. 2012).

Risikobestimmende Wirkfaktoren sind insbesondere die Höhe und Konstruktion der Masten sowie die Anordnung der Leiter- und Erdseile.

Das Risiko der Kollision kann vermieden werden, durch z. B.

- Erdkabelverlegung (z. B. Bernotat und Dierschke 2016; Bruns 2015; Ahmels et al. 2013).

Das Risiko der Kollision kann gemindert werden, durch:

- Eine gute Standort- bzw. Trassenwahl mit eingehender Prüfung der Alternativen oder
- Entfernen des Erdseils (Blitzschutzseil) (Bruns 2015).
- Meidung freileitungsempfindlicher Landschaftsräume bei der Trassenführung (z. B. Albrecht et al. 2013; Scholles et al. 2012; EFZN und OECOS 2012).
- Möglichst geringe vertikale Ausdehnung und Abstände der Leiterseilbündel zueinander (z. B. durch Einebenenmasten) (Bruns 2015),
- Erhöhung der Sichtbarkeit durch Vogelschutzmarkierungen am Erdseil (z. B. Kalz et al. 2015; Bernshausen und Kreuziger 2012; VDE 2018).

Je höher die Masten sind, je mehr Traversenebenen die Masten haben, je größer der Abstand zwischen Leiter- und Blitzschutzseil ist und je seltener die gespannten Erdseile markiert sind, desto höher ist das Kollisionsrisiko der Vögel. Ebenso kann sich das Kollisionsrisiko, z. B. durch schlechte Witterungsverhältnisse bei dann tieffliegenden Zugvögeln noch einmal erhöhen (u. a. Bernshausen und Kreuziger 2012; Bernotat und Dierschke 2016; Bruns 2015; EFZN und OECOS 2012; Rasmus et al. 2009; May und Bevanger 2011). Allerdings

können auch kleinere Masten zu Kollisionen von Vögeln, z. B. bei Nahrungs- und Versorgungsflügen oder durch Balzverhalten, führen (Bruns 2015).

Außerdem gilt, je größer der Abstand des Blitzschutzseils zu den Leiterseilen ist, desto schlechter wird es von den Vögeln wahrgenommen und desto höher ist das Kollisionsrisiko (EFZN und OECOS 2012).

Das Risiko der Kollision wird weiterhin durch artspezifische Faktoren der biologischen Ausstattung der Vögel, wie die Fähigkeit des dreidimensionalen Sehvermögens, der Manövrierfähigkeit aber auch durch das Verhalten der Vögel z. B. durch Dämmerungs-/Nachtaktivität, Balzverhalten und Nahrungsverhalten bestimmt. Besonders gefährdet sind Vögel, die schlecht dreidimensional sehen, eingeschränkt manövrierfähig oder schwarmbildend und nachtaktiv sind (Bernshausen und Kreuziger 2012; EFZN und OECOS 2012). Auch die Größe der Vögel und deren Flügelspannweite kann z. B. beim Durchfliegen von Leitungen relevant sein (Bernotat und Dierschke 2016).

Weiterhin bestimmen landschaftliche Faktoren wie Topographie und raumstrukturelle Ausstattung aber auch Witterungs-, Sicht- und Lichtverhältnisse das Kollisionsrisiko entscheidend mit (Bernotat und Dierschke 2016; EFZN und OECOS 2012). Besonders hohe Konfliktrisiken weisen Landschaftsräume auf, in denen die Zugvogeldichte nachts besonders hoch ist, vor allem in küstennahen Niederungen, Feuchtlebensräumen im Binnenland, Tälern zwischen Bergrücken und Meerengen sowie größeren Flussläufen und Stillgewässern (Bruns 2015; Scholles et al. 2012).

Im Rahmen des EE-Monitor werden für die Entwicklung von Indikatoren zur Abbildung des Konfliktes der Vogelkollision Lebensräume von Brut-, Gast- und Zugvögeln unterschieden.

Brutvögel brüten in Deutschland, während Gastvögel lediglich im Winter oder im Sommer zu Gast in Deutschland sind. Zugvögel pflanzen sich ebenso wie Gastvögel nicht in Deutschland fort, durchqueren aber im Gegensatz zu den Gastvögeln nur Gebiete Deutschlands auf ihrem Zug zwischen Winterquartier und Sommerlebensraum. Diese Lebensräume können flächenidentisch aber auch unterschiedlich räumlich verteilt und strukturiert sein. Dem wird im EE-Monitoring Rechnung getragen, indem einerseits auf die Indikatoren fokussiert wird, die z. B. aufgrund der aktuellen Datenverfügbarkeit angewendet werden können und andererseits werden perspektivisch Empfehlungen für die weitere Qualifizierung von Indikatoren formuliert, um z. B. das Erfordernis weiterer Daten aufzuzeigen. Zur Abbildung empfindlicher Lebensräume der Avifauna wird bei einigen Indikatoren daher differenziert auf Brut-, Gast- und Zugvögel eingegangen.

### **Treiber**

Der Ausbau- und Ertüchtigungsbedarf des deutschen Energienetzes ist kein neues Phänomen, hat jedoch im Zuge der Energiewende eine erhöhte Dringlichkeitsstufe erreicht (Gesellschaft für Umweltrecht e. V. 2017). Somit kann der forcierte EE-Ausbau und der Umbau der Energieversorgung zusammen mit den aktuellen Rahmenbedingungen als ein derzeitiger Treiber des Netzausbaus auf der Hoch- und Höchstspannungsebene angesehen werden. Die Entwicklung des EE-Ausbau wiederum wird u. a. durch die klimapolitischen Ziele der Bundesregierung bestimmt. Über das Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (EEG) wird der EE-Ausbau im Stromsektor maßgeblich geregelt. Das EEG kann indirekt als Treiber des Netzausbaus interpretiert werden, wenn generell von einer lastfernen Stromproduktion durch EE ausgegangen wird, da diese zu einer geographischen Entkopplung von Verbrauchs- und Erzeugungsschwerpunkten und damit zu einem erhöhten Netzausbaubedarf beiträgt.

Der Netzausbaubedarf wird auf Grundlage berechneter Energieszenarien in Netzentwicklungsplänen der Netzbetreiber nach §§ 12a ff. EnWG ermittelt, welche von der Bundesnetzagentur bestätigt und als erforderliche Leitungsvorhaben vom Bundestag in einem Bundesbedarfsplangesetz (BBPIG) beschlossen werden. In der Anlage zu § 1 Abs. 1 BBPIG werden in einem Bundesbedarfsplan (BBP) Leitungsvorhaben, für die die energiewirtschaftliche Notwendigkeit und ein vordringlicher Bedarf besteht aufgelistet und Leitungen, die über Erdkabel Strom übertragen sollen, als solche gekennzeichnet. Ein Treiber-Indikator mit dem diese aufgeführten Leitungsvorhaben erfasst und über die Zeit überwacht werden, kann für eine grobe, vergleichende Einschätzung der Entwicklung des Kollisionsrisikos über die Zeit verwendet werden. Wenn weitere Freileitungsvorhaben in den fortlaufenden BBP aufgenommen werden, dann ist eine Zunahme der Vogelkollision mit Freileitungen wahrscheinlich. Hierzu ist ein Abgleich des Start- und des Zubaunetzes erforderlich, also welche Leitungen sind bereits realisiert sowie im Prozess der Planungsumsetzung bereits im BBPIG bestätigt worden und welche Leitungen werden als erforderliche Baumaßnahmen neu in den Bundesbedarfsplan aufgenommen. Der Treiberindikator kann in Längenangaben des Zubaunetzes über die Zeit erfasst werden. Solange Netzverstärkungen und Freileitungsneubau als Bedarf festgelegt werden, steigt tendenziell auch das Konfliktrisiko der Vogelkollision. Je kürzer das Zubaunetz in der Summe ist, desto geringer fällt das steigende Konfliktrisiko der Vogelkollision aus. Als Empfehlung für ein zukünftiges EE-Monitoring sollte dabei zwischen den Zubaulängen der Zu-/Umbeseilung, des Neubaus in Bestandstrassen und des kompletten Neubaus unterschieden werden.

## **Druck**

Auf der bundesweiten Untersuchungsebene sollen Druckindikatoren im EE-Monitor quantifizieren, wie sich die Technologie zur Nutzung und Übertragung erneuerbarer Energien in einem jeweils sinnvollen räumlichen Bezug zum Schutzgegenstand verändert hat. Für die Entwicklung eines Druckindikators zur Abbildung des bestehenden Konfliktes der Vogelkollision werden deswegen Räume, welche freileitungsempfindliche Vögel nutzen, und durch Freileitungsquerungen belastet werden, räumlich identifiziert.

Als generelle indikatorübergreifende Grundlage für die räumliche Abbildung des Stromnetzes wird ein Geodatenatz aus OpenStreetMap (OSM), der die Freileitungen in Deutschland (Geodatenatz OSM\_Freileitungen\_2017) abbildet, verwendet. Mittels einer Datenbankabfrage können alle Daten mit Relation zur Stromerzeugung und Stromverteilung aus dem OSM-Datenatz extrahiert, in eine eigene Datenbank geschrieben und in eine GIS-Software importiert werden. Der Datenatz zu den Freileitungen ist flächendeckend und beständig verfügbar. Er wird fortlaufend durch OpenStreetMap aktualisiert. Der auf diesem Weg erzeugte Datenatz zum Stromnetz enthält Liniendaten der Freileitungen mit Attributen zu den Spannungsebenen der Leitungen. Auf dieser Grundlage werden die vorliegenden Stromnetzdaten in Hoch- und Höchstspannung gegliedert (Netzebenen gemäß BNetzA 2006-2016a):

- Hochspannung (HS) > 72,5 und ≤ 125 kV
- Höchstspannung (HöS) > 125 kV

Es wird zunächst auf die Kollision von Brutvögeln mit den Freileitungen dieser Spannungsebene fokussiert und anschließend die Indikatorherleitung zur Abbildung des Konfliktrisikos der Vogelkollision von Gastvögeln erörtert.

### *Indikator Habitatstörungspotenzial potenzieller Brutzeitlebensräume durch Freileitungen*

Die potenziellen Lebensräume zur Brutzeit (sogenannte Brutzeitlebensräume) und angrenzende Bereiche von freileitungsempfindlichen Vogelarten sind von besonderer Bedeutung

für die räumliche Einschätzung des Kollisionsrisikos. Bedingt durch Freileitungsquerungen und tägliche Flugaktivitäten der Brutvögel kann eine erhöhte Gefahr des Leitungsanfluges bestehen. Es kann bei einigen Arten zwar über die Zeit ein Gewöhnungseffekt an die Freileitungen entstehen, so dass die Vögel den Leitungen rechtzeitig ausweichen können, jedoch bedingt die hohe Frequenz des Leitungsüberfluges dennoch ein erhöhtes Kollisionsrisiko (Runge et al. 2012).

Für die Einschätzung des Konfliktrisikos in solchen Brutzeitlebensräumen wird eine Methodik basierend auf der „Overlap between breeding season distribution and wind farm risks: a spatial approach“ (Busch et al. 2017) vorgeschlagen, die in ähnlicher Weise bereits zur Erfassung der räumlichen Auswirkungen durch Windenergieanlagen (WEA) auf potenzielle Lebensräume von entsprechend WEA-sensitiven Vogelarten angewendet wurde. In der Studie wird der Flächenanteil der Brutzeitlebensräume von WEA-empfindlichen Vogelarten ermittelt, der durch WEA belastet wird. In der Studie wird dieser Flächenanteil als „Habitatstöpfungspotenzial“ bezeichnet. Die Ermittlung des Habitatstöpfungspotenzials (HSP) durch Windenergieanlagen gibt bei Busch et al. (2017) keinen exakten Aufschluss über die Intensität der tatsächlichen Auswirkungen auf Vogelpopulationen, beziffert aber die Überlagerung potenzieller Lebensräume mit artspezifischen Puffern um Windenergieanlagen. Hieraus kann das potenzielle Habitat und der Anteil deutscher Populationen WEA-sensibler Vogelarten, die wahrscheinlich von Wirkungen der Windenergieanlagen betroffen sind, eingeschätzt werden. Die Ermittlung potenziell durch WEA betroffene Populationen (PbP) sind eine Erweiterung des Druckindikators und dienen als Interpretationshilfe des Habitatstöpfungspotenzials. Diese Vorgehensweise wird für die Abbildung des Konfliktrisikos der Vogelkollision mit Freileitungen als geeignet angesehen und vorgeschlagen. Das HSP quantifiziert den Lebensraum einer kollisionsgefährdeten Art zur Brutzeit, welcher sich mit Aktionsradien um Freileitungen überschneidet. Da Kollisionen lediglich direkt am Standort der Freileitungen möglich sind und nicht im gesamten betroffenen Lebensraum, quantifiziert dieser Druckindikator demnach nicht das Ausmaß der Kollisionen, sondern das Ausmaß des Raumes in dem ein erhöhtes Konfliktrisiko besteht, im Verhältnis zum gesamten Lebensraum der Art zur Brutzeit.

Es wird also angenommen, dass das Verhältnis von freileitungsbelasteten Lebensräumen zur Gesamtheit aller Lebensräume von freileitungsempfindlichen Vogelarten indiziert, dass je höher der Flächenanteil durch Freileitungen belasteter Lebensräume der Avifauna über die Zeit wird, desto mehr steigt auch das Konfliktrisiko der Vogelkollision.

Für eine Einschätzung der räumlichen Ausdehnung der Wirkung von Windkraftanlagen auf Brutvögel werden in der Studie (Busch et al. 2017) die bestehenden Windkraftanlagen mit Wirkradien versehen, die auf Abstandsempfehlungen des Helgoländer Papiers (LAG VSW 2015) beruhen. Solche Abstandsempfehlungen liegen bislang für die Freileitungsplanung nicht gesammelt vor. Für die Analyse der Vogelkollision mit Freileitungen, werden analog dazu die Freileitungen (Geodatenatz OSM\_Freileitungen\_2017) mit artbezogenen, zentralen Aktionsradien (nach Bernotat und Dierschke 2016) der Vögel gepuffert. Diese Aktionsradien sind nicht gleichzusetzen mit einem empfohlenen Mindestabstand, dienen jedoch ebenso als weiterer Faktor der Risikobestimmung im Raum der überwiegenden Vogelaktivitäten. Es wird angenommen, dass innerhalb dieser Aktionsradien eine deutlich erhöhte Raumnutzungsfrequenz der Vögel (Bernotat et al. 2018) und somit bei Freileitungsbetroffenheit auch ein erhöhtes Kollisionsrisiko besteht.

Bernotat und Dierschke (2016) haben auf der Basis von Kenntnissen zur Biologie und zum Verhalten von Vogelarten, Totfundzahlen (u. a. Grosse et al. 1980; Hoerschelmann 1988; Sellin 2000; Brauneis et al. 2003; Bernshausen und Kreuziger 2012; Bernshausen et al.

2014) bzw. -statistiken über Vogelkollisionen mit Freileitungen, Auswertungen von wissenschaftlichen Studien und dem Austausch mit FachkollegInnen sowie eigenen Einschätzungen das artspezifische Kollisionsrisiko von Brut- und Gastvögeln in Deutschland auf einer Skala von 1-5 (sehr hoch – sehr gering) eingestuft. Demnach weisen u. a. Großtrappen, Weiß- und Schwarzstörche, Kraniche, Schwäne, aber auch viele Limikolenarten und Rauhußhühner ein sehr hohes Kollisionsrisiko auf (Bernotat und Dierschke 2016). Ein möglicher Ansatz für das EE-Monitoring ist daher, das Vorkommen besonders betroffener Arten im Maßstab einer bundesweiten Analyseebene zu ermitteln, um die Belastung der Avifauna durch Freileitungen einschätzen zu können.

Auf Grundlage von Geodaten, die auch Auskunft über das Artinventar des jeweiligen Gebiets geben, kann mittels ausgewählter Bewertungskriterien das Ausmaß des Raumes, in dem ein erhöhtes Konfliktrisiko für Vogelkollision besteht, eingeschätzt werden. Hierzu wird hinsichtlich der Artenauswahl ein methodischer Ansatz von Bernotat und Dierschke (2016) übernommen (Abbildung 74), der zum Ziel hat, Tötungsrisiken durch Vogelkollision mit Freileitungen als Hilfestellung bei konkreten Bauvorhaben zu operationalisieren. Die Methodik kann auf eine bundesweite Analysemethodik übertragen werden. Über einen vorhabentypspezifischen Mortalitätsindex (vMGI), bei dem die populationsbiologische Sensitivität (PSI), die naturschutzfachliche Bedeutung (NWI) sowie das vorhabensspezifische Tötungsrisiko je Vogelart berücksichtigt wird, kann die Mortalitätsgefährdung durch Freileitungen in fünf Bewertungsklassen operationalisiert werden (Bernotat und Dierschke 2016). Je höher die Einstufung auf der Bewertungsskala einer Art ist, desto anfälliger ist sie für die kollisionsbedingte Mortalität.

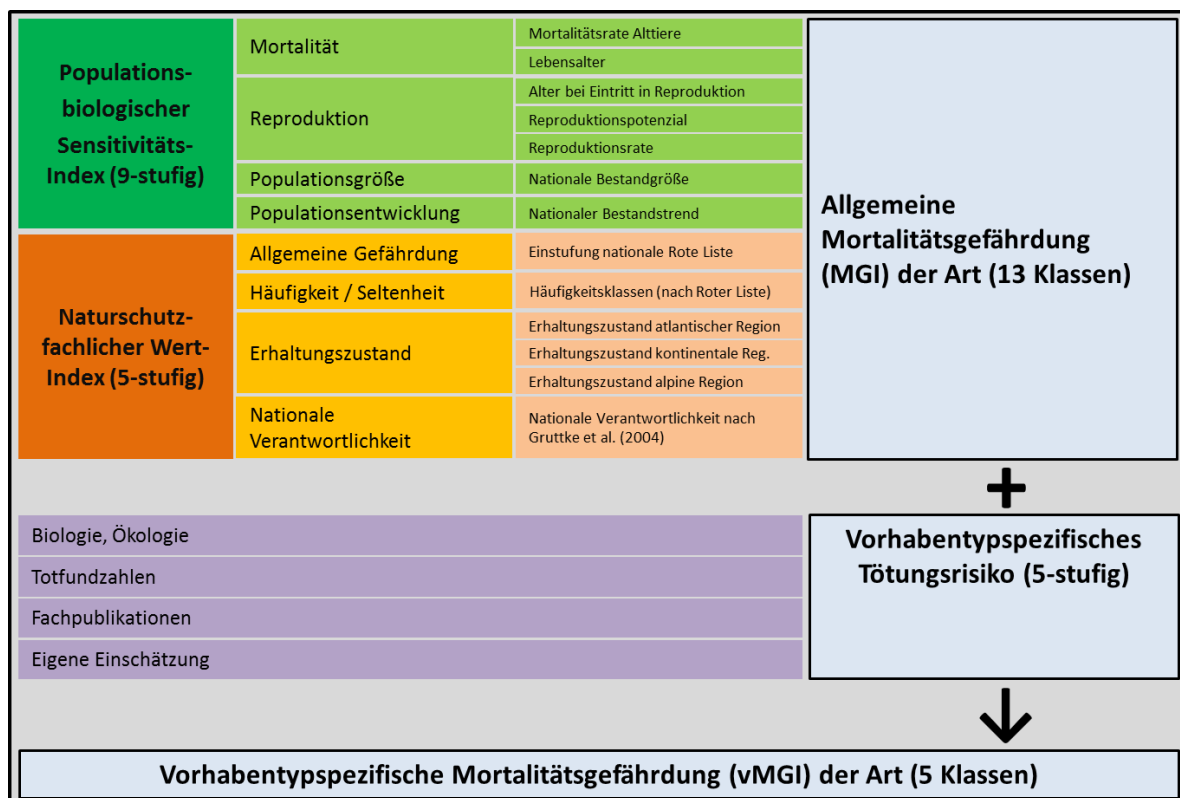


Abbildung 74: Schema zur Ableitung der vorhabentypspezifischen Mortalitätsgefährdung (vMGI) nach Bernotat und Dierschke (2016).



Der Klasse C (mittlere vorhabenstypspezifische Mortalitätsgefährdung), sind sowohl Arten mit einer hohen Mortalitätsgefährdung (unabhängig vom Vorhabenstyp) aber mit geringem Risiko der Leitungskollision (z. B. Greifvögel und Eulenarten) als auch Arten mit geringer Mortalitätsgefährdung aber mit mittlerem bis hohem Risiko der Leitungskollision (z. B. Blässhuhn, Stockente, Ringeltaube, Star) zugewiesen. Bei der konkreten Freileitungsplanung können im Einzelfall auch Arten der Klasse C bei einem hohen konstellationsspezifischen Risiko relevant sein. So besteht z. B. ein hohes Konfliktrisiko, wenn Brutkolonien oder Wiesenlimikolen- bzw. Wasservogelbrutgebiete durch Freileitungsquerungen betroffen sind (Bernet und Dierschke 2016). Auf der bundesweiten Betrachtungsebene ist z. B. das von einer Freileitungsquerung betroffene einzelne Brutpaar der Ringeltaube hinsichtlich des Konfliktrisikos ggf. anders zu interpretieren, als z. B. die Betroffenheit einer größeren Brutkolonie der Silbermöwe oder eines Horststandortes der Kornweihe. Im EE-Monitoring könnten ebenso die Vogelarten der Klasse C, das sind die Vogelarten mit einer zugewiesenen mittleren vorhabenstypspezifischen Mortalitätsgefährdung, entsprechend des artspezifischen Kollisionsrisikos und der Mortalitätsgefährdung unterschieden werden. Die Diskussion für die beste Vorgehensweise wurde bislang nicht abschließend geführt und sollte fortgesetzt werden. Zur Veranschaulichung der generellen Vorgehensweise der Konfliktermittlung werden zunächst Vögel der Klasse A und B, also Arten mit einer sehr hohen und hohen vorhabenstypspezifischen Mortalitätsgefährdung (vMGI A-B) als Indikatorarten berücksichtigt werden. Bei diesen Arten ist bei Betroffenheit durch Freileitungen in der Regel von einem hohen Konfliktrisiko auszugehen. Als Empfehlung für das EE-Monitoring und die bundesweite Erfassung könnten jedoch zukünftig zu mindestens Gebiete hoher Individuenzahlen von Arten mit hoher Kollisionsgefährdung der Klasse C ebenfalls berücksichtigt werden.

Grundlage der potenziellen Brutzeitlebensräume ist der Atlas deutscher Brutvogelarten (Gedeon et al. 2014). Bei den Kartierungen wurde das Netz topographischer Karten (TK 25) verwendet. Jede TK hat eine mittlere Größe von rund 126 km<sup>2</sup> (Gedeon et al. 2004). Die Kartierungen wurden zwischen 2005 bis 2009 durchgeführt. Eine regelmäßige Aktualisierung der Daten ist in zeitlichen Intervallen zwischen 4 bis 10 Jahren dauernden Erfassungsperioden, teilweise untersetzt durch genauere Kartierungen auf Ebene der Bundesländer, vorgesehen (Gedeon et al. 2014). Die Adebar-Daten stehen kostenpflichtig zur Verfügung (Geodatenatz: DDA\_Adebar\_2009). Es ist anzumerken, dass aufgrund des bereits älteren Erhebungszeitraumes nicht mit hinreichender Sicherheit angenommen werden kann, dass die erfassten Artvorkommen immer noch, wie angegeben, bestehen. Sie sind jedoch in ihrem Umfang aktuell einzigartig für Deutschland und stellen dennoch eine sehr gute Orientierung zur Verbreitung und Bestandsgröße der Vogelarten dar (Wulfert et al. 2018). Mit Hilfe räumlich ggf. begrenzter Daten zu z. B. lokalen Lebensräumen der Avifauna, können ältere aber räumlich umfassendere Daten, wie dieser Datensatz verifiziert werden. Als Empfehlung für das EE-Monitoring sollte daher die Verfügbarkeit und die Qualität erforderlicher und verwendeter Indikatordaten regelmäßig geprüft werden.

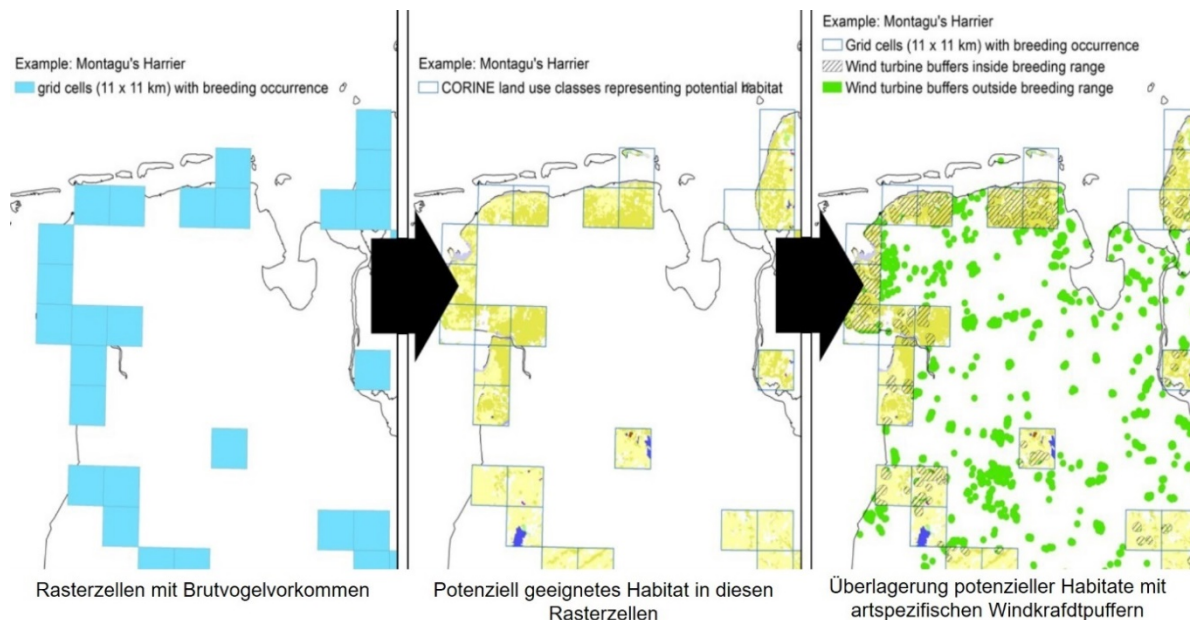


Abbildung 75: Vorgehensweise für die Ermittlung des Habitatstörungspotenzials in potenziellen Brutzeitlebensräumen durch Windkraftanlagen (Busch et al. 2017).

Weiterführend werden die Brutzeitlebensräume innerhalb der Rasterzellen unter Berücksichtigung artspezifischer Habitatpräferenzen über CORINE Land Cover räumlich eingegrenzt (siehe hierzu Busch et al. 2017 und Abbildung 75). CORINE Land Cover stellt europaweit harmonisierte Landbedeckungs- und Landnutzungsdaten bereit, welche für einen bundesweiten Analysemaßstab geeignet sind (Geodatenatz: UBA\_CLC\_2010(2012)).

Für die Ermittlung des Habitatstörungspotenzials von potenziellen Brutzeitlebensräumen durch Freileitungen können folgende GIS-gestützte Arbeitsschritte durchgeführt werden:

1. Auswahl der Adebar-Datenblätter von Brutvogelarten hoher bis sehr hoher Mortalitätsgefährdung durch Freileitungen (Bernotat und Dierschke 2016). Ggf. Auswahl weiterer, mit C-bewerteter Arten.
2. Pufferung der Freileitungstrassen (OSM-Datensatz) mit artspezifischen Aktionsradien (puffer(FL) nach Bernotat und Dierschke 2016).
3. Verschneidung 1. mit präferierten Bruthabitaten in Form der Corine Landnutzungsclassen (nach Busch et al. 2017, sowie eigener Zuweisung). Ergebnis: potenzielle Brutzeitlebensräume (pB) je Art.

Für einige freileitungsempfindliche Vogelarten ist über die Zuweisung durch Busch et al. (2017) eine weitere Zuweisung präferierter Bruthabitate zu Landnutzungskategorien erforderlich, da das Artspektrum windenergieanlagen- und freileitungsempfindlicher Vögel teilweise voneinander abweicht. Die generelle Vorgehensweise besteht darin, mittels Fachliteratur und Expertenbefragung zunächst Landnutzungskategorien, die keine geeigneten Habitatstrukturen für die ausgewählten Arten darstellen, auszuschließen. Hierzu wird das Methodenhandbuch „Methodenstandards zur Erfassung der Brutvögel“ (Südbeck et al. 2005) empfohlen.

4. Je Art: Verschneidung (*Clip()*) der gepufferten Freileitungstrassen (OSM-Datensatz) mit den pB.
5. Je Art: Ermittlung prozentualer Flächenanteile der potenziellen Brutzeitlebensräume, die von den gepufferten Freileitungstrassen überlagert werden.

$$HSP_{i,k,t} = \frac{\text{Fläche} ( \text{Clip} ( \text{puffer}_i (FL_t)_k, pBl_k ) )}{\text{Fläche} (pB_k)}$$

Als erstes Zwischenergebnis wird so das Habitatstörungspotenzial in potenziellen Brutzeitlebensräumen durch Freileitungen je Art und Rasterzelle ermittelt. Es wird davon ausgegangen, dass ein hohes Habitatstörungspotenzial in einer Rasterzelle je Art, ein hohes Kollisionsrisiko dieser Art in dem Bereich der Querungen indiziert. Im Fokus des bundesweiten Monitoring steht jedoch nicht das einzelne betroffene Gebiet, die Konfliktindikatoren sollen vielmehr Aussagen über das Ausmaß bzw. Trend des jeweiligen Konfliktes in ganz Deutschland ermöglichen. Hierzu wird empfohlen, die Habitatstörungspotenziale in den Rasterzellen mittels Mittelwertbildung für Gesamtdeutschland zusammenzufassen. Für die Ermittlung des Habitatstörungspotenzials für Gesamtdeutschland ist je Art, folgender Rechenschritt erforderlich:

6. Habitatstörungspotenzial pro Art  $i$  für ganz Deutschland im Jahr  $t$ . Summierung der von Freileitungen betroffenen potenziellen Brutzeitlebensräume über alle TK  $k$  geteilt durch die Summierung der potenziellen Brutzeitlebensräume ( $pB$ ) über alle TK  $k$  (Tabelle 34):

$$HSP_{i,t} = \frac{\sum_{k=1}^n \text{Fläche} ( \text{Clip} ( \text{puffer}_i (FL_t)_k, pBl_k ) )}{\sum_{k=1}^n \text{Fläche} (pB_k)}$$

Wenn Räume, in denen artübergreifend potenzielle Brutzeitlebensräume von Freileitungen betroffen sind, identifiziert und dort das Gesamtkonfliktrisiko der Kollision eingeschätzt werden sollen, kann ergänzend eine kartographische Darstellung den Einstieg in eine vertiefende räumliche Analyse der Habitatstörungspotenziale und des abzuleitenden Kollisionsrisikos erleichtern. So kann als weiterer Arbeitsschritt und mögliches Zwischenergebnis das mittlere Habitatstörungspotenzial aller ausgewählten Arten im Jahr  $t$  in der Rasterzelle  $k$  in potenziellen Brutzeitlebensräumen durch Freileitungen dargestellt werden (Abbildung 76).

7. Mittelwertbildung aller artbezogenen Habitatstörungspotenziale für jede Rasterzelle  $k$ :

$$\emptyset(HSP_{k,t}) = \frac{\sum_{i=1}^n HSP_{i,k,t}}{n}$$

Generell kann ein Nachteil der Mittelwertbildung die starke Beeinflussung durch Ausreißerwerte des Habitatstörungspotenzials bei einzelnen Vogelarten sein. Diese wären im Einzelfall zu prüfen. Die Mittelwertbildung dient jedoch der besseren Einschätzung des Gesamtkollisionsrisikos einer Art oder zusammengefasst aller Arten auf der Gesamtfläche Deutschlands (Tabelle 34) und wird unter Berücksichtigung der artspezifischen Werte zusätzlich für das EE-Monitoring empfohlen.

Bei den ermittelten Habitatstörungspotenzialen ist die Größe der Populationen in den jeweiligen Rasterzellen nicht berücksichtigt. Der potenziell betroffene Anteil der Population je Art  $i$  und je Rasterzelle sowie weiterführend artübergreifend für ganz Deutschland kann jedoch als Indikator für den Druck auf die Gesamtpopulation und damit auch im Gesamtkontext als Indikator für das Ausmaß des Konfliktes der Vogelkollision durch Freileitungen angesehen werden. Je größer die Population im jeweiligen Gebiet ist, desto höher ist auch das Risiko, dass Vögel tatsächlich mit den Leitungen kollidieren. Wie bereits erläutert, kommen hinsichtlich tatsächlicher Kollisionen noch weitere, im Rahmen dieses Ansatzes nicht berücksichtigbare Faktoren wie z. B. das individuelle Verhalten, Topographie des Raumes oder Witterung hinzu.

Das Habitatstörungspotenzial wird hierzu mit dem geometrischen Mittel der Abundanzklassen (Gedeon et al. 2014) auf Ebene der Rasterzellen multipliziert und für ganz Deutschland aufsummiert (nach Busch et al. 2017). Die Angabe der Bestandsgröße der Art je TK erfolgt in einer 12-stufigen Häufigkeitsskala (z. B. Stufe 9: 401 – 1000 Brutpaare). Die Summierung der Bestandsgröße für ganz Deutschland ist mit den Einstufungen so noch nicht möglich. Deshalb müssen die Werte der unteren und oberen Bestandsgrenze der Häufigkeitsstufe gemittelt werden. Das geometrische Mittel ist im Gegensatz zum arithmetischen Mittel nicht zur oberen Bestandsgrenze verzerrt. Je Art  $i$  sind folgende Rechenschritte erforderlich:

1.  $pPop_{i,k,t} = \sqrt{\min(Pop_{i,k,t}) * \max(Pop_{i,k,t})} \times HSP_{i,k,t}$
2.  $pPop_{i,t} = \sum_{k=1}^n pPop_{i,k,t}$

Final werden als Druckindikatoren artspezifisch der Indikator

- „Potenziell beeinflusster Populationsanteil je Art  $i$  im Jahr  $t$  ( $pPop_{i,t}$ )“

und artübergreifend der Indikator

- „Potenziell beeinflusster Populationsanteil aller Arten im Jahr  $t$ “

empfohlen.

Die angewandte Methodik wäre im Rahmen eines fortlaufenden EE-Monitoring mit aktualisierter Datenbasis wiederholbar.

#### *Vorschlag zu Indikatoren für das Konfliktrisiko der Kollision von Rast- und Zugvögeln mit Freileitungen*

Die bisher beschriebenen Indikatoren sollen den Konflikt der Kollision von Brutvögeln beschreiben. Es ist jedoch unstrittig, dass auch Rast- und Zugvögel einer erhöhten Kollisionsgefahr unterliegen (Bernotat et al. 2018; Hoerschelmann 1988; Haas et al. 2003; Hölzinger 1987). In Abhängigkeit artspezifischer unterschiedlicher Verhaltensweisen, der Topographie, der Licht- und Wetterverhältnisse, können Zugvögel in den kritischen Höhenbereichen von 20-65 Metern fliegen und mit den Leitungen kollidieren (Runge et al. 2012).

Es gibt bislang jedoch keine Daten, die äquivalent zu den ADEBAR-Daten so umfänglich Lebensräume von Gast- und Zugvögeln zeigen.

Rastgebiete und Schlafplätze nationaler Bedeutung sind in der Regel bei den Landesämtern und Vogelschutzwarten bekannt (Bernotat et al. 2018). Allerdings sind die Datenlage und die Einordnung der jeweiligen Gebietsbedeutung für den Schutz der Avifauna bundesländerspezifisch heterogen und erfordern eine Harmonisierung auf Bundesebene. Der Deutsche Dachverband der Avifaunisten erhebt in langjährigen Monitorprogrammen landesweite Wasservogel-, Gänse und Möwenzählungen (Sudfeldt et al. 2012). Diese Daten sind aktuell nicht freizugänglich, für ein zukünftiges EE-Monitoring wird die Verwendung jedoch empfohlen.

Im Zuge dieses FuE-Vorhaben wurde geprüft, ob sich weitere, im optimalen Fall, freizugängliche Geodaten, für die Indikatorentwicklung eignen. Es wurde u. a. diskutiert, ob EU-Vogelschutzgebiete, wie es in der Planungspraxis bislang üblich ist, auch im Rahmen des bundesweiten EE-Monitorings zur Abbildung von Lebensräumen freileitungssensibler Rastvogelarten sinnvoll verwendet werden könnten. Für das Monitoring in europäischen Vogelschutzgebieten besteht zwar Optimierungsbedarf, dennoch liegen bereits, bedingt durch die regelmäßige Berichtspflicht der EU-Mitgliedstaaten, gem. der Vogelschutz-Richtlinie (Richtlinie 2009/147/EG), räumliche Informationen zu Bestandsgrößen, Trends, Verbreitung, Gefähr-

dungen und Maßnahmen innerhalb der EU-Vogelschutzgebiete vor, die für ein deutschlandweites EE-Monitoring geeignet sein könnten.

EU-Vogelschutzgebiete umfassen in der Regel vergleichsweise naturnahe und häufig artenreiche Lebensräume (Sudfeldt et al. 2012). Insbesondere handelt es sich in Europa, zum großen Teil um Zugvogelarten, die mittels der Vogelschutzgebiete wirksam geschützt werden sollen (Richtlinie 2009/147/EG). Monitoringberichte zeigen, dass sich mit Ausnahme der Hochseearten zu mindestens 20 % der rastenden und überwinternden Wasservögel im Winter innerhalb europäischer Vogelschutzgebiete aufhalten. Rund die Hälfte dieser Arten erreichen hier Populationsanteile von über 60 % (Wahl et al. 2015). Demnach ist davon auszugehen, dass ebenfalls bedeutende Vogelvorkommen außerhalb von EU-Schutzgebieten möglich sind. Weiterhin ist zu bedenken, dass sich bei einigen freileitungssensiblen Artengruppen, wie z. B. bei Gänsen und Schwänen, lediglich die Schlafplätze innerhalb von EU-Vogelschutzgebieten befinden, nicht jedoch die Nahrungsflächen, die sich häufig durch eine landwirtschaftliche Nutzung mit einem hohen Nahrungsangebot auszeichnen“ (Bernotat et al. 2018). Es muss also angenommen werden, dass auch auf solch beschriebenen Flächen, die von Freileitungen betroffen sind, hohe Kollisionsrisiken bestehen können. Folglich besteht für das EE-Monitoring ein hoher Bedarf an bundesweit homogen aufbereiteten Geodaten, mit denen Lebensräume von Rastvögeln und Zugvögeln außerhalb von Schutzgebieten abgebildet werden können. Diese Lücke kann mit der Verwendung der EU-Vogelschutzgebiete als indizierende Flächenkategorie im EE-Monitoring nicht geschlossen werden. Es wird durch ein zeitlich fortlaufendes Monitoring der Betroffenheit von EU-Vogelschutzgebieten durch Freileitungen jedoch ermöglicht, dass Konfliktrisiko der Kollision für einen bedeutenden Anteil der Rastvögel besser einschätzen zu können. Daher wird die Berücksichtigung der EU-Vogelschutzgebiete zur Konfliktabbildung im Rahmen des EE-Monitoring vorgeschlagen.

Hierzu sind folgende methodische Arbeitsschritte erforderlich:

Die EU-Vogelschutzgebiete werden mit dem bestehenden Freileitungsnetz im GIS räumlich überlagert. Anhand der aufsummierten Querungslängen in Kilometern (Messwert) und der überspannten Fläche in Ha (Messwert) kann ein Überblick über das potenzielle Konfliktrisiko der Vogelkollision innerhalb von Vogelschutzgebieten abgeleitet werden. Steigt die Querungslänge innerhalb dieser Gebiete mit Vorkommen freileitungsempfindlicher Vögel, ist tendenziell auch von einem Anstieg der Vogelkollision auszugehen.

Für die räumliche Abbildung des Stromnetzes kann der beschriebene Geodatensatz (s.o.) aus open street map (OSM), der Freileitungen in Deutschland (Geodatensatz OSM\_Freileitungen\_2017) verwendet werden.

Die Trassenlänge wird in Kilometern berechnet. Parallel geführte Trassen werden nicht zusammenfassend gezählt, sondern einzeln. Denn in Abhängigkeit der Bündelungsart kann die Wirkintensität variieren, welche bei dieser Erfassungsmethode nicht berücksichtigt wird. So kann z. B. bei eng nebeneinander laufenden Trassen und gleichhohen Masten das Konfliktrisiko überschätzt werden, da die Länge des Trassenverlaufs doppelt erfasst wird, sich das Konfliktrisiko aber nicht zwingend verdoppelt. Daten zur Masthöhe liegen im OSM-Datensatz allerdings nicht durchgehend vor und Zusammenführungen von parallelen Trassenverläufen sind mit hohem Aufwand verbunden, so dass ein konservativer Ansatz gewählt wird. Nach Bernshausen et al. (2017) liegt der Anteil an parallel verlaufenden Leitung im OSM-Datensatz im Größenbereich von unter 20 %.

Die EU-Vogelschutzgebiete wurden als shape-Datei, durch das BfN aufbereitet zur Verfügung gestellt (Geodatensatz: z. B. BfN\_SPA\_De\_2016).

## Zustand

Der Zustand der Avifauna in Deutschland kann mittels Angaben über die deutschen Populationsbestände kollisionsgefährdeter Vogelarten erfasst werden. Entsprechend der Erhebungsintervalle können die Ergebnisse in das EE-Monitoring aufgenommen werden. Ursachen für Bestandsveränderungen sind u. a. mit dem Rückgang von Insektenzahlen, Verlusten an Lebensräumen durch stetige Intensivierung der Landwirtschaft, Vogelschlag an Scheiben, Eisenbahnen, im Verkehr an Straßen und Autobahnen und dem Klimawandel sehr vielfältig und können folglich mit einem reinen Zustandsindikator nicht auf die Belastung durch Freileitungen zurück geführt werden.

Eine Voraussetzung für eine regelmäßige Ermittlung der Bestandsgrößen von Vogelarten in Deutschland im Rahmen des EE-Monitorings stellt der Zugriff auf Daten bestehender Monitoringprogramme dar. Von besonderem Wert für eine bundesweite Erfassung sind die drei vom DDA koordinierten Basisprogramme:

- Monitoring häufiger Brutvogelarten (MhB)
- Monitoring gefährdeter und geschützter Brutvogelarten (MsB)
- Monitoring rastender Wasservögel (MrW)

Zusätzlich zu diesen größtenteils ehrenamtlichen Kartierungen sollten auch Bestandserfassungen der Länder und des Bundes im Rahmen des SPA-Monitorings berücksichtigt werden.

## Auswirkung

Für die Ermittlung tatsächlicher Auswirkungen von Vogelkollisionen mit Freileitungen auf die Avifauna Deutschlands sind flächendeckend erhobene Daten zu Kollisionsopfern durch Freileitungen erforderlich. Diese liegen nicht vor, daher existieren bereits Versuche auf Basis von regionalen Totfundzählungen in der Nähe von Freileitungen Vogel-Kollisionsopfer für Deutschland hochzurechnen (z. B. Bernshausen et al. 2017). Nicht nur aufgrund der Vielzahl, Komplexität und des Zusammenwirkens kollisionsbeeinflussender Faktoren ist es möglich, Kollisionszahlen lediglich in größeren Spannen anzugeben. Den Hochrechnungen sind bereits bei der Erfassung von Kollisionsbeobachtungen und Totfunderfassungen Grenzen gesetzt. Vollständige Erfassungen von Tierkadavern sind kaum möglich. Beispielsweise wird i.d.R. nicht der gesamte, häufig lange Leitungsverlauf einer Verbindung abgesucht, außerdem können Tierkadaver von Prädatoren bereits beseitigt sein oder die Zugänglichkeit bzw. Sichtbarkeit ist aufgrund der örtlichen Verhältnisse schlichtweg zu eingeschränkt. Validierungen solcher Hochrechnungen sind entsprechend der komplexen Wirkmechanismen und der vielseitigen Gefährdungsursachen für die Avifauna ebenfalls schwierig und liegen nicht vor. Auf der anderen Seite bedürfte es der Bestimmung von populationsrelevanten Mortalitätsgrenzen je Vogelart, um die Bedeutung der Kollisionen für die betroffenen Populationen einschätzen zu können. Tatsächliche Kollisionen und Mortalitätsgrenzen müssten dann in ein Verhältnis zueinander gesetzt werden.

Einen rechnerischen Ansatz zur Bestimmung von populationsrelevanten Mortalitätsgrenzen stellt z. B. der Ansatz des „potential biological removal (PBR)“ nach (Wade 1998) dar. Diesen verwendeten Bellebaum et al. (2013) zur Bewertung der Auswirkungen von WEA-Kollisionsopfern auf die Rotmilan-Population in Brandenburg. Die Bestimmung der Mortalitätsgrenzen für alle freileitungssensiblen Vogelarten liegt derzeit nicht vor. Demzufolge wird dieser Ansatz nicht weiterverfolgt.

Weiterhin wäre die Bedeutung der Vogelkollisionsauswirkungen auf deutsche Vogelpopula-

tionen in einer komplexen Gesamtbetrachtung zu messen. Hierbei müssten weitere Risikofaktoren wie z. B. Kollisionen von Vögeln im Straßen- und Schienenverkehr, Lebensraumverluste durch Intensivierung der Landwirtschaft, Prädatordichte usw. berücksichtigt werden. Aufgrund dieser überlagernden Effekte und der aktuellen Daten- und Informationslage ist eine umfassende Auswirkungsermittlung derzeit und absehbar nicht möglich, so dass im Rahmen des EE-Monitorings die beschriebenen Druckindikatoren, insbesondere hinsichtlich der Umsetzung, als bislang zielführender angesehen werden müssen.

## **Reaktion**

In Reaktion auf das Kollisionsrisiko von Vögeln an Freileitungen wurden bereits verschiedenste Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen entwickelt. Ein positiver Indikator für die Verringerung der Kollisionsrisiken an Freileitungen könnte z. B. die forcierte Stromübertragung mit Erdkabeln sein. Eine eindeutige Beziehung zum Konflikt der Vogelkollision lässt sich daraus allerdings nicht ableiten, da die Erdkabelverlegung häufig auch als Vermeidungsmaßnahme einer Beeinträchtigung hochwertiger Landschaftsbilder oder der Erholungsfunktion akzeptiert wird. Aufgrund höherer Kosten ist der Erdkabelanteil derzeit sehr gering.

Eindeutigere Reaktionsindikatoren betreffen unmittelbar Maßnahmen an den Freileitungen selbst. Beispielsweise sind geeignete Reaktionsindikatoren die Anbringung von Vogelschutzmarkierung an Freileitungen, die Abstände des Erdseils zu den Leiterseilen oder der Bau von Einebenenmasten, um Kollisionen zu verringern. Allerdings liegen hierzu bislang keine deutschlandweiten Informationen vor, die sich mit vertretbarem Aufwand in das EE-Monitoring einbeziehen ließen. Sollte sich die Datenlage hinsichtlich der Angabe von Masttypen, z. B. über die Erfassung in open street map deutlich verbessern, kann dies ein positiver Indikator für die Abbildung des Konfliktes der Vogelkollision sein. Die zugrundeliegende Annahme ist, dass je größer der Anteil an Einebenenmasten über die Zeit wird, desto positiver ist die Entwicklung hinsichtlich des Kollisionskonfliktes einzuschätzen.

Da sowohl Geodaten für das Freileitungsnetz als auch für Lebensräume der Avifauna verfügbar sind, ist ein möglicher Reaktionsindikator der Freileitungsrückbau in empfindlichen Lebensräumen der Avifauna, der in Querungslängen gemessen werden kann. Aufgrund der aktuellen Datenlage ist diese Vorgehensweise zu empfehlen.

## **Ergebnisse**

### *Treiber*

Aktuell sind 47 Vorhaben im BBP aufgeführt. Daher ist tendenziell von einer Zunahme der Vogelkollision auszugehen, auch wenn Alternativenprüfungen vorgenommen und Minderungsmaßnahmen ergriffen werden (siehe hierzu BBPIG 2016).

### *Druck*

#### *Habitatstörungspotenziale in den Brutzeitlebensräumen und potenziell beeinflusste Populationsanteile*

In Tabelle 34 sind die Habitatstörungspotenziale und potenziell beeinflusste Populationsanteile je Art aufgeführt. Großtrappe und Schwarzstorch scheinen durch Freileitungen besonders betroffen zu sein. Insgesamt sind ca. 10 % aller freileitungssensiblen Brutvögel (vMGI A+B), die über das geometrische Mittel der Häufigkeitsklassen aus ADEBAR (2005-2009) beziffert und aufsummiert sind, durch Freileitungen potenziell betroffen. Die Anzahl der tatsächlichen Vogelkollisionen lässt sich dadurch nicht beziffern. Verdeutlicht wird jedoch das freileitungsbedingte Kollisionsrisiko für die jeweiligen Arten. Ob dieses vor Ort durch nicht untersuchte Faktoren gemindert wird, kann nur durch detailliertere Analysen im Einzelfall

untersucht werden.

Tabelle 34: Habitatstörungspotenziale (HSP) und potenziell beeinflusste Populationsanteile (PbP).

Art	HSP (%)	PbP (%)	vMGI	Population (ADEBAR)
Großtrappe	49	65	A	145
Schwarzstorch	46	46	A	1.690
Nachtreiher	32	22	A	45
Purpureiher	28	43	A	96
Weisstorch	27	25	A	10.189
Kiebitz	14	14	A	150.726
Großer Brachvogel	14	13	A	8.703
Bekassine	13	11	A	14.324
Uferschnepfe	11	12	A	9.414
Kranich	11	10	A	15.939
Singschwan	11	11	A	92
Flussuferläufer	7	10	A	794
Auerhuhn	7	4	A	2.014
Birkhuhn	4	4	A	2.089
Zwergmöwe	2	16	A	10
Sandregenpfeifer	1	2	A	2.294
Goldregenpfeifer	1	1	A	31
Alpenstrandläufer	1	1	A	32
Kampfläufer	0	1	A	72
Bergente	0	0	A	6
Seeregenpfeifer	0	0	A	327
Steinwälzer	0	0	A	6
Seeadler	36	37	B	1.364
Fischadler	19	22	B	1.359
Steppenmöwe	16	16	B	66
Wachtelkönig	15	14	B	9.420
Trauerseeschwalbe	12	11	B	2.882
Rotschenkel	10	6	B	25.720
Zwergdommel	9	13	B	577
Waldschnepfe	7	7	B	53.579
Krikente	7	5	B	10.333
Lachmöwe	4	10	B	262.712
Spießente	3	1	B	94
Rohrdommel	3	5	B	2.429
Alpenschneehuhn	2	3	B	339
Tüpfelsumpfhuhn	2	3	B	2.521
Knäkente	2	3	B	4.163
Kleines Sumpfhuhn	2	2	B	414
Löffelente	2	3	B	6.464
Austernfischer	2	2	B	56.007
Mantelmöwe	2	4	B	106
Tafelente	1	4	B	9.591



<b>Art</b>	<b>HSP (%)</b>	<b>PbP (%)</b>	<b>vMGI</b>	<b>Population (ADEBAR)</b>
Rothalstaucher	1	2	B	4.294
Zwergsumpfhuhn	1	2	B	36
Pfeifente	0	0	B	90
Moorente	0	0	B	19
Bruchwasserläufer	0	0	B	4
Löffler	0	0	B	471
Dreizehenmöwe	0	0	B	9.800
Gesamt	17	10		683.892

In Abbildung 76 ist die räumliche Verteilung der Überlagerung von potenziellen Brutzeitlebensräumen und entsprechend der Aktionsradien gepufferten Freileitungstrassen exemplarisch dargestellt.

In einigen Regionen, wie z. B. im Sauerland, im oberrheinischen Tiefland, im Rhein-Main-Tiefland, im ostthessisches Bergland (Vogelsberg und Rhön) aber auch im Erzgebirgsvorland und im sächsischen Hügelland sowie im voralpines Hügel- und Moorland ist das in den potenziellen Brutzeitlebensräumen ermittelte Habitatstörungspotenzial durch Freileitungen vergleichsweise hoch. Generell scheinen freileitungsempfindliche Habitate (für dieses Beispiel ausgewählter Brutvögel) im Norden Deutschlands bislang durch Freileitungen nicht so betroffen zu sein, wie es z. B. durch Windkraftanlagen der Fall ist (siehe hierzu Busch et al. 2017). Dies könnte sich im Zuge des Netzausbaus von Norden nach Süden zukünftig ändern. Eine Zeitreihe konnte aufgrund der derzeitigen Datenlage nicht ermittelt werden. Bei der Interpretation von Zeitreihen dieses Indikators ist zu berücksichtigen, dass der Indikatorwert sich sowohl aufgrund des Freileitungszubaus, sich verändernder potenzieller Habitate als auch abnehmender Bestandszahlen, hier gibt es zudem vielfältige Ursachen, ändern kann.

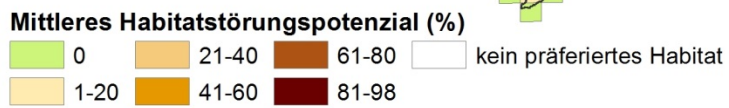
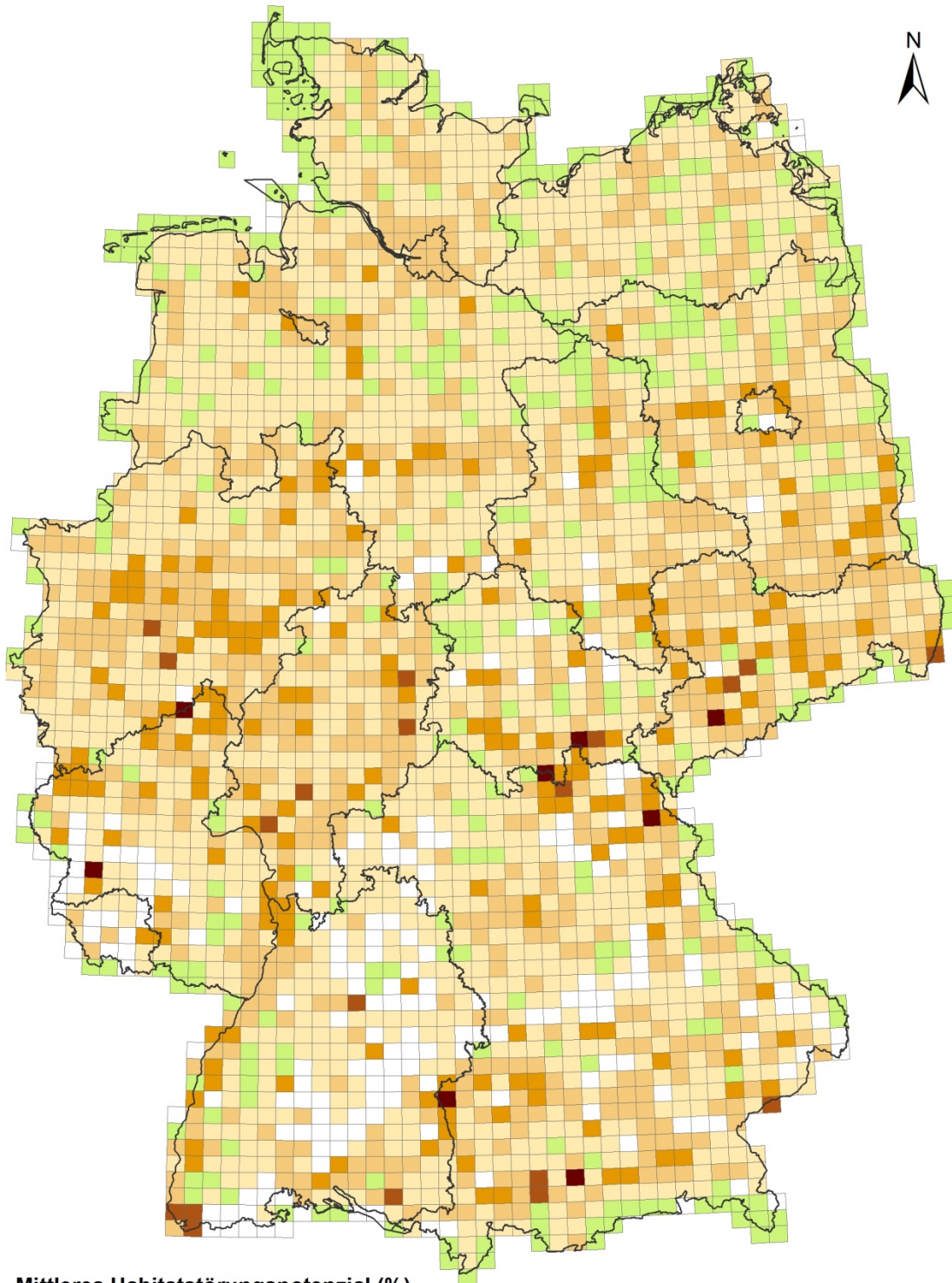


Abbildung 76: Mittleres Habitatstörungspotenzial in potenziellen Brutzeitlebensräumen mortalitätsgefährdeter Vogelarten (vMGI A+B) durch Freileitung. Eigene Darstellung.

### Freileitungsquerungen von europäischen Vogelschutzgebieten

Von 742 europäischen Vogelschutzgebieten in Deutschland werden 396 Gebiete mit Freileitungen der Hoch- und Höchstspannungsebene auf 3.377 km gequert. Das entspricht annähernd einer (50m Breite Hochspannungsmast, 80m Höchstspannungsmast) überspannten Fläche von 19.310 ha (Tabelle 35). Der Anteil der in EU-Vogelschutzgebieten liegenden Freileitungen am gesamt Hoch- und Höchstspannungsnetzes beträgt ca. 5 %.

Von besonderer naturschutzfachlicher Bedeutung sind die betroffenen Vogelschutzgebiete, in denen durch die Freileitungsquerungen aufgrund der Zusammensetzung freileitungssensibler Arten (vMGI A+B) zunächst von potenziell höheren Individuenverlusten ausgegangen werden muss (Tabelle 35).

Tabelle 35: Freileitungsquerungen und Überspannungen von Vogelschutzgebieten unter Berücksichtigung der freileitungsspezifischen Mortalitätsgefährdung (vMGI nach Bernotat und Dierschke (2016); Mortalität in A: sehr hoch, B: hoch, C mittel, D: gering, E: sehr gering).

Spannungsebene	Vorhabensspezifische Mortalitätsgefährdung (vMGI)	Europäische Vogelschutzgebiete		
		Betroffene Gebiete	Freileitungsquerungen (km)	Überspannte Fläche (ha)
Höchstspannung (18.244 km)	A	171	1.065 km	8.213 ha
	B	24	61 km	471 ha
	C	28	54 km	417 ha
	D	-	-	
	E	-	-	
Zwischensumme (HöS)	alle	223	1.180	9.101
Hochspannung (42.652 km)	A	270	1.966 km	9.652 ha
	B	27	110 km	545 ha
	C	42	118 km	575 ha
	D	2	3 km	11 ha
	E		-	
Zwischensumme (HS)	alle	341	2.197	10.783
Insgesamt (keine Summenbildung)	A	308	3.031	17.342
	B	37	171	987
	C	49	172	969
	D	2	3	11
	E	-	-	-
	alle	396	3.377	19.310

Es ist anzunehmen, dass Vogelarten mit zugewiesenem vMGI D und E in den betroffenen Gebieten Lebensraum in Anspruch nehmen aber in den geprüften Erhebungsbögen nicht aufgeführt sind. Sie sind für die Betrachtung des Konfliktes der Vogelkollision auch nicht relevant.

Aufgrund von Ge- und Verboten entsprechend der jeweiligen Schutzgebietsverordnungen, sollten allerdings Minderungsmaßnahmen wirksam den Kollisionsrisiken entgegenwirken. Die Realisierung sowie die Überprüfung der Wirksamkeit solcher Maßnahmen, sind für betroffene Bereiche im Rahmen eines umfassenden EE-Monitorings empfehlenswert.

In Abbildung 77 ist die räumliche Verteilung durch Freileitungen betroffener Bereiche in Vogelschutzgebieten dargestellt. Es ist ersichtlich, dass nur ein geringer Anteil der Vogelschutzgebiete keine freileitungssensiblen Arten schützt und dass bei einem Großteil der Trassenführungen Vogelschutzgebiete gemieden werden.

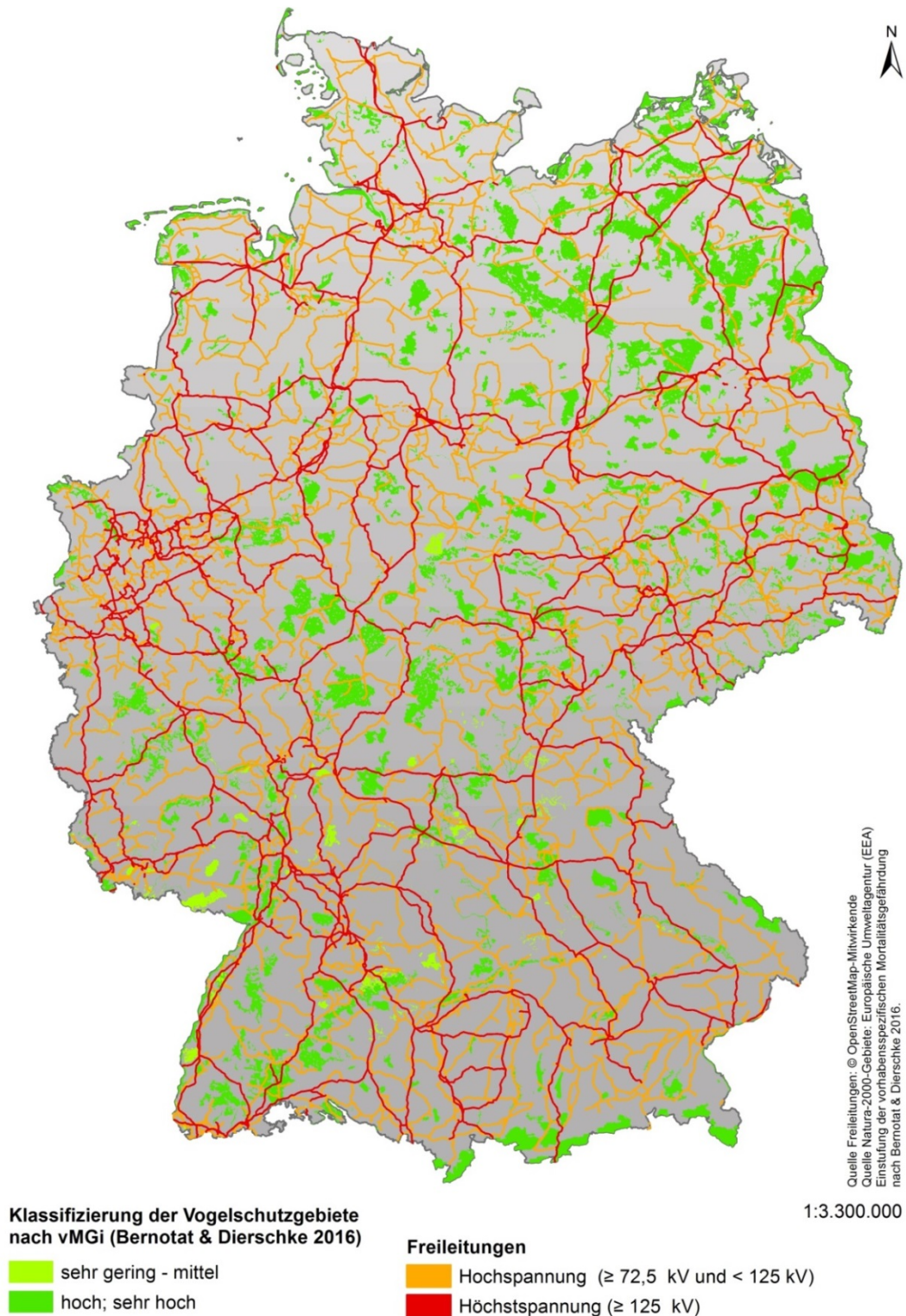


Abbildung 77: Freileitungsquerungen der Hoch- und Höchstspannungsebene in Vogelschutzgebieten, differenziert nach dem vorhabensspezifischen Mortalitätsindex (vMGI, Bernotat und Dierschke (2016)) in Bezug auf Freileitungen.

### 5.3.2.8 Landschaftsbildbeeinträchtigung durch Masten und Leiterseile von Freileitungen

Wolfgang Peters

#### Einleitung

Wenn die Wirkungen von Freileitungen auf den Schutzgegenstand Landschaftsbild treffen, können je nach spezifischer (objektbezogener) Empfindlichkeit des Landschaftsbilds Veränderungen der ästhetischen Erscheinung der Landschaft (Auswirkungen) ausgelöst werden, wodurch Konflikte mit den Schutzbelangen des Landschaftsbildes hervorgerufen werden können.

#### *Wirkungszusammenhänge zwischen Landschaftsbild und Freileitungen*

Generell sind Freileitungsmasten und Leiterseile in freier Landschaft bis in weite Entfernung sichtbar. Allgemein werden sie als störend und naturfern wahrgenommen, wobei die visuelle Störwirkung im Wesentlichen von den Masten als künstlichen vertikalen Strukturen ausgeht (Abbildung 78). Darüber hinaus können auch weitreichende Sichtbeziehungen verstellt werden. Verglichen mit den Masten geht von den in der Regel als Bündel geführten Leiterseilen nur eine deutlich geringere Fernwirkung aus (Bruns 2015). Dadurch, dass sich die Wirkräume der sehr dominanten Mastbauwerke überschneiden, nimmt ein Betrachter immer zuerst die Masten wahr und die Wirkung der Leiterseile tritt in der Bedeutung deutlich zurück.



Abbildung 78: Wirkfaktor „Rauminanspruchnahme oberirdisch (Mast)“. (Foto: Weingarten).

Der aktuelle Entwurf des SUP-Umweltberichts der BNetzA wurde parallel zum Netzentwicklungsplan für die Bedarfsermittlung 2017-2030 erarbeitet. Mit Blick auf die landschaftsbildbezogenen Wirkungen von Freileitungsvorhaben unterscheidet dieser zwischen den beiden Wirkfaktoren „Rauminanspruchnahme oberirdisch (Mast, Leiterseil, Erdseil)“ sowie „Trasse inkl. Schneise (Schutzstreifen)“.

Unter den Freileitungen ist ein Gehölzbewuchs grundsätzlich möglich, sofern die technisch notwendigen Schutzabstände zwischen Vegetation und tiefstem Leiterseilpunkt eingehalten

werden. Diese gelten unter den Leiterseilen in der vertikalen Ausrichtung sowie ellipsenförmig im Bereich der Spannfelder, entsprechend dem Schwingungsverhalten der Leiterseile. Die Abmessung des Bereichs, der von hochwachsenden Gehölzen freizuhalten ist, hängt vom jeweiligen Masttyp, der Anzahl der Systeme, der aufliegenden Beseilung, der Länge der Isolatorketten und dem Mastabstand ab und ist somit sehr einzelfallspezifisch (Bruns 2015). Bei entsprechendem Management des Gehölzbewuchses, wovon bei neu errichteten Leitungen zunehmend auszugehen ist, ist die Trasse häufig nur schwer als solche visuell wahrnehmbar. Das gilt insbesondere, wenn die Dichte gehölzbestimmter Nutzungen im betroffenen Raum sehr hoch ist (Abbildung 79). Verglichen mit der ästhetischen Wirkung der Masten sind die mit den Leiterseilen verbundenen Wirkungen selbst im Bereich von Wäldern nahezu zu vernachlässigen. Dieses gilt erst recht für Leitungen im Offenlandbereich.



Abbildung 79: Wirkfaktor „Oberirdische Rauminanspruchnahme“ über Wald mit ökologischem Trassenmanagement. Fotos: Landschaftspflegeverband Thüringer Wald (links), Eric Neuling (rechts).

Die Bewertung des Konfliktes im bundesweiten Maßstab bezieht sich deswegen ausschließlich auf den Wirkfaktor „Oberirdische Rauminanspruchnahme durch Masten“. Dessen Wirkintensität hängt von der Höhe und der Breite des Freileitungsmasts ab. Die Abmessungen von Freileitungen wiederum sind von der Übertragungstechnologie (Gleichstrom oder Wechselstrom) und der Übertragungsleistung (Anzahl der Systeme) abhängig. Deshalb bestehen keine allgemein gültigen Angaben zur Höhe und Breite von Masten und Trassen. Für ein bundesweites Monitoring des landschaftsbild- und erholungsbezogenen Konfliktrisikos müssen jedoch pauschale Annahmen zur Ausgestaltung der Freileitungsmasten zugrunde gelegt werden. Deshalb werden Durchschnittswerte herangezogen, die für die bundesweite Bewertung belastbar sind. Die Masten von Freileitungen in Deutschland weisen in der Regel eine Höhe von bis zu 80 m (BNetzA 2019) und eine Breite von 45 m (Scholles et al. 2012; Runge et al. 2012) auf.

#### *Allgemeine Vorgehensweise für die Konfliktermittlung*

Die durch ein Netzausbauvorhaben verursachten Konflikte mit Schutzbelangen und deren Intensität ergeben sich aus der Intensität der negativen Auswirkungen (Impact) einerseits und der Bedeutung des Landschaftsbilds (State) andererseits. Je stärker bzw. intensiver die unerwünschten Veränderungen bzw. je intensiver die negativen Auswirkungen auf der einen Seite und je größer die Bedeutung bzw. Wertigkeit des Schutzgegenstandes Landschaftsbilds auf der anderen Seite, desto stärker sind die mit dem Vorhaben verbundene Konflikte

mit den Belangen des Landschaftsbildschutzes.

### **Treiber**

Treiber eines zunehmenden Netzausbaus ist aktuell der Ausbau der Nutzung Erneuerbarer Energien. Der EE-Ausbau wiederum wird u. a. durch die klimapolitischen Ziele der Bundesregierung angetrieben. Ein zentrales Instrument dafür ist das Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (EEG, vom 22.07.2014), welches die Vergütung von Strom aus Erneuerbaren Energien regelt. Das EEG kann insofern als wesentlicher Treiber des Netzausbaus interpretiert werden, als die dort geregelte Stromvergütung die EE-Anlagen indirekt auf möglichst ertragreiche Standorte lenkt, die in vielen Fällen von den Verbrauchszentren weit entfernt liegen. Ein Beispiel ist der Ausbau der Nutzung der Offshore Windenergie und der massive Ausbau auf den ertragreichen Onshore-Standorten an der deutschen Nordseeküste. Als Indikator für diesen Treiber kann die Zahl der im EEG enthaltenen Regelungen zur Förderung des EE-Ausbaus herangezogen werden, die einen besonderen Netzausbau induzieren.

Die Erforderlichkeit des Stromnetzes ergibt sich grundsätzlich aus der räumlichen Distanz zwischen Energieerzeugung und -verbrauch. Der Netzausbaubedarf wird auf Grundlage berechneter Energieszenarien in Netzentwicklungsplänen der Netzbetreiber nach §§ 12a ff. EnWG ermittelt, welche von der Bundesnetzagentur bestätigt und als erforderliche Leitungsvorhaben vom Bundestag in einem Bundesbedarfsplangesetz (BBPIG, vom 21.12.2015) beschlossen werden. In der Anlage zu § 1 Abs. 1 BBPIG werden in einem Bundesbedarfsplan (BBP) Leitungsvorhaben, für die die energiewirtschaftliche Notwendigkeit und ein vordringlicher Bedarf besteht, aufgelistet und Leitungen, die über Erdkabel Strom übertragen sollen als solche gekennzeichnet. Ein Treiber-Indikator mit dem diese aufgeführten Freileitungsvorhaben erfasst und über die Zeit überwacht werden, kann für eine grobe, vergleichende Einschätzung der Entwicklung verwendet werden. Wenn weitere Freileitungsvorhaben in den fortlaufenden BBPI aufgenommen werden, kann davon ausgegangen werden, dass sich der Druck auf das Landschaftsbild verstärkt.

### **Druck**

Eine konkrete Beeinträchtigung der ästhetischen Qualität der Landschaft kann sowohl durch bestehende als auch durch neu zu errichtende Freileitungen verursacht werden. Insgesamt gilt, dass die ästhetischen Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes desto höher sind, je größer der Gesamtbestand an Freileitungen ist. Dabei kann im Hinblick auf diesen Druck zwischen Bestandleitungen und neu errichteten Leitungen unterschieden werden.

Konkrete Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes durch neu errichtete Freileitungen treten dann auf, wenn als Freileitungen im Bundesbedarfsplangesetz (BBPIG) enthaltene Netzausbauvorhaben in die Realisierung gehen. Die planerische Umsetzung erfolgt nach spezifischen Rechtsvorschriften, wie dem NABEG oder EnLAG. In diesen Verfahren wird über die konkrete Trassenführung entschieden und damit das tatsächliche Ausmaß der Beeinträchtigungen bestimmt.

Sowohl der vom Freileitungsbestand als auch von dessen Zubau ausgehende Druck kann bezogen auf das Bundesgebiet als Ganzes oder räumlich differenziert abgebildet werden. Zum einen wäre dann der bundesweite Umfang des Bestands bzw. Zubaus von Freileitungen in der Summe durch geeignete Indikatoren abzubilden und zum anderen der Umfang des Bestands bzw. Zubaus von Freileitungen in Räumen mit hohem potenziellen Konfliktrisiko. Da der Fokus auf der bundesweiten Entwicklung liegt, wird nachfolgend ein Indikator für den bundesweiten Druck durch Freileitungen angegeben.

Je größer der Umfang an bestehenden Freileitungen, desto stärker ist grundsätzlich die Belastung des Landschaftsbildes. Vor diesem Hintergrund kann die Anzahl der Masten und Länge der bestehenden Freileitungen als pauschaler Indikator für die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes durch Freileitungen herangezogen werden.

### **Messgröße: Anzahl der Masten und Länge der bestehenden Freileitungen**

Der Wert für die Gesamtlänge der bestehenden Freileitungen kann nach Spannungsebenen differenziert den von Eichhorn et al. (2018) veröffentlichten Daten entnommen werden.

Für das Monitoring der Landschaftsbildbeeinträchtigungen durch Freileitungen wird empfohlen, die Ergebnisse des raumbezogenen Bestandsmonitorings der Freileitungen im Hoch- und Höchstspannungsbereich zugrunde zu legen.

### **Zustand**

Im Hinblick auf die Ermittlung der Beeinträchtigung des Landschaftsbildes ist es sinnvoll dessen Zustand durch die ästhetische Qualität und die Empfindlichkeit gegenüber den spezifischen ästhetischen Wirkungen von Freileitungen zu erfassen, denn die mit den Beeinträchtigungen verbundenen Konflikte mit den Zielen des Naturschutzes sind dann besonders hoch, wenn sowohl die Qualität als auch die Empfindlichkeit des von den Wirkungen einer Freileitung betroffenen Landschaftsbildausschnittes hoch sind.

Eine bundesweite raumbezogene Bewertung der Qualität des Landschaftsbildes kann aus unterschiedlichen Quellen übernommen werden. Aktuell haben beispielsweise Roth et al. 2018 eine flächendeckende nutzergestützte Bewertung der Landschaftsbildqualität im Raster 1.000 x 1.000 m erarbeitet. Für die raumbezogene Bewertung der Empfindlichkeit des Landschaftsbildes wurde in dem FuE-Vorhaben eine Methodik entwickelt und beispielhaft auf einen ausgewählten Raum angewendet.

### **Indikator: Wertstufe (1-9) der ästhetischen Qualität entsprechend der Bewertung von Roth et al. (2018)**

Die in dem vom BfN geförderten Vorhaben erarbeitete Bewertungskarte ist als GIS-Layer verfügbar.

### **Auswirkung**

Das Bild der Landschaft wird durch bestehende oder neu errichtete Freileitungen verändert. Diese Auswirkungen werden in der Regel als Beeinträchtigung des Landschaftsbildes wahrgenommen und stehen daher im Konflikt mit den auf den Erhalt der Qualität des Landschaftsbildes ausgerichteten Zielen des Naturschutzes.

Das tatsächlich bestehende Ausmaß der ausgelösten Konflikte zwischen vorhandenen Freileitungen und Landschaftsbild kann durch die Überlagerung der räumlichen Verteilung des Bestandes an Freileitungen (Ergebnis des Bestandsmonitorings) sowie der räumlichen Verteilung der landschaftsbildbezogenen Konfliktrisikobewertung (nach Roth et al. 2018) ermittelt werden. Auf dieser Grundlage kann statistisch ausgewertet werden, welche Flächenanteile je Konfliktrisikoklasse betroffen sind und diese Verteilung über Zeitreihen verglichen werden.

### **Indikator: Anzahl der von Freileitungen überspannten Rasterzellen je Konfliktrisikoklasse**

Durch die Überlagerung des Freileitungsnetzes, als Ergebnis des Bestandsmonitorings nach Eichhorn et al. (2018), mit der landschaftsbildbezogenen Konfliktrisikobewertung im Raster



1.000 x 1.000 m nach Roth et al. (2018) werden die von vorhandenen Freileitungen betroffenen Rasterzellen ermittelt. Darauf aufbauend wird die Anzahl der je Konfliktrisikoklasse (1-9) betroffenen Rasterzellen bestimmt. Auf diese Weise kann ausgehend von der aktuellen Situation festgestellt werden, in wie konflikträchtigen Räumen ein weiterer Zubau stattfindet und wie das Ausmaß der Konflikte insgesamt zunimmt.

Werden Freileitungen zurückgebaut, würde dieses auch in die Bilanz einfließen können.

### **Reaktion**

Eine Minderung der Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes durch Freileitungen kann grundsätzlich dadurch erreicht werden, dass das Ausmaß des Baus neuer Leitungen möglichst gering gehalten wird, indem der Ausbau der erneuerbaren Energien möglichst verbrauchsnahe erfolgt, so dass der Netzausbau insgesamt reduziert wird. Die Beeinträchtigungen können aber auch dadurch gemindert werden, dass die Wirkintensität der einzelnen Vorhaben reduziert wird, indem z. B. eine möglichst unauffällige Gestaltungsform der Masten und Leiterseile gewählt wird oder der Leitungsausbau als Erdkabel erfolgt. Eine andere Möglichkeit der Minderung von Beeinträchtigungen besteht grundsätzlich darin, die Neubaumaßnahmen in Räume zu lenken, die aufgrund der Qualität und Empfindlichkeit ein möglichst geringes potenzielles Konfliktrisiko aufweisen. Der Erfolg dieses planerischen Ansatzes zur Minderung von Beeinträchtigungen kann dadurch nachgewiesen werden, dass das durchschnittliche potenzielle Konfliktrisiko der durch neu errichtete Leitungen betroffenen Flächen geringer ist, als der Durchschnitt der durch Bestandsleitungen betroffenen Flächen. In diesem Fall kann davon ausgegangen werden, dass die Belange des Landschaftsbildschutzes bei der Planung neuer Leitungen besser berücksichtigt werden als dies bisher der Fall war.

Ein gezielter Rückbau besonders konflikträchtiger Leitungen oder deren Ersatz durch Erdkabel kommt in Frage, sofern die netztechnischen Anforderungen bzw. die erhöhten Kosten dieses als angemessen erscheinen lassen.

### **Indikator: Konfliktrisikoklassen der durch zugebauten Leitungen betroffenen Flächen**

Das durchschnittliche Konfliktrisiko, das mit den neu errichteten Leitungen verbunden ist, kann durch die Verschneidung der zum Bestandsnetz hinzugetretenen Leitungen mit der raumbezogenen Bewertung des potenziellen Konfliktrisikos ermittelt werden. Dadurch wird deutlich, ob der Netzausbau auf die Landschaftsbildbelange Rücksicht nimmt und in Räume gelenkt wird, deren landschaftsästhetische Bedeutung und Empfindlichkeit geringer ist, so dass das Konfliktrisiko je zugebautem Kilometer Freileitung im Durchschnitt geringer wird.

### **Ergebnisse**

Da für das Monitoring der Landschaftsbildbeeinträchtigung durch Masten und Leiterseile von Freileitungen Indikatoren vorgeschlagen werden, die auf Datengrundlagen zurückgreifen, die noch nicht vollständig veröffentlicht sind, können noch keine vollständigen Ergebnisse zu allen Indikatoren vorgelegt werden.

#### *Treiber*

Die Aktivitäten der Energiewende mit dem Ausbau Erneuerbarer Energien und der Abschaltung konventioneller Kraftwerke als zentrale Treiber des Netzausbaus werden in den Szenariorahmen, die der Netzentwicklungsplanung zugrunde gelegt werden, dokumentiert.

#### *Druck*

Das Bestandnetz mit Bezugsjahr 2016 wurde von Eichhorn et al. (2018) vorgelegt. Die als erforderlich angesehene Netzverstärkung und der erforderliche Netzausbau kann dem aktuell gültigen, bestätigten Netzentwicklungsplan entnommen werden.

### *Zustand*

Karte mit der Bewertung der ästhetischen Qualität von Roth et al. (2018) steht vor der Freigabe durch das BfN.

Eine bundesweite Karte der Bewertung der ästhetischen Empfindlichkeit gegenüber Freileitungen wurde noch nicht erarbeitet. Die hierfür geeignete Methodik haben Roth et al. (2018) lediglich für einen Beispielraum angewendet und bezogen auf diesen eine entsprechende Karte erstellt. Das gleiche gilt für die aus der Überlagerung der Bewertung und Empfindlichkeit generierten Karte des potenziellen Konfliktrisikos.

### *Auswirkungen*

Da die Zustandsbewertung noch nicht vorgenommen werden kann, kann auch der aus der Überlagerung mit dem Freileitungsbestand resultierende Indikator zur Bewertung der Auswirkungen noch nicht ermittelt werden.

### *Reaktion*

Die mit Bezug auf die Reaktionen vorgeschlagenen Indikatoren sind nur mit sehr großem Aufwand zu erheben, so dass auf deren Erfassung im Rahmen des laufenden Vorhabens verzichtet werden muss.

### 5.3.2.9 Beeinträchtigung der Durchgängigkeit für die Aquafauna bei der gerichteten Wanderung

*Rita Keuneke*

#### Einleitung

Die Strukturen der Fließgewässer wurden im Laufe der Geschichte anthropogen überformt, wobei an kleineren Gewässern seit dem Mittelalter sowohl Eingriffe zur Flößerei und Energiegewinnung als auch für den Hochwasserschutz vorgenommen wurden (MUNLV 2005). Das Ziel war dabei, die natürlichen Veränderungen der Gewässer zur Entwicklung und Sicherung von landwirtschaftlichen Flächen und Siedlungsgebieten zu minimieren.

Dabei wurden im Wesentlichen folgende Maßnahmen durchgeführt (MUNLV 2005):

- Die Gewässer wurden auf ein reduziertes Abflussprofil bzw. auf ein Einbettgerinne eingeeengt. In der Folge trat Tiefenerosion auf, die teilweise zur Entwässerung und/oder zur Verminderung von Hochwasser-Überschwemmungen benachbarter Flächen auch beabsichtigt war.
- Verbauungen von Ufern im Bereich von unmittelbar an das Gewässer grenzenden Nutzungen wie Siedlungen, Industrie, Wasserkraftnutzung, Verkehr.
- Errichtung von Querbauwerken.

Insbesondere durch die Errichtung von Querbauwerken (Wehre, Stauanlagen, Staudämme) und Wasserkraftanlagen, aber auch durch die Begradigung der Gewässer kann die Gewässerökologie im Vergleich zum natürlichen Gewässer in mehrfacher Hinsicht beeinträchtigt werden (MUNLV 2005):

- So entsteht z. B. durch den Einbau einer Stauvorrichtung ein Rückstaubereich mit geringer Fließgeschwindigkeit. Die Gewässerökologie in Rückstauabschnitten kann im Vergleich zum Leitbild bzw. zur typischen Ausbildung entsprechend des Fließgewässertyps stark verändert werden. Durch den Aufstau kann der Grundwasserstand und damit die Vegetation in der Aue beeinträchtigt werden.
- Übersteigt die Absturzhöhe einen bestimmten Wert, kann die flussaufwärts- oder flussabwärts gerichtete Durchgängigkeit für bestimmte Arten, die auf Wanderungen im Gewässer angewiesen sind, und für das Sediment behindert sein. Die Unterteilung der Gewässer in einzelne Abschnitte verhindert deren lineare und laterale Vernetzung.
- Bei der flussabwärts gerichteten Wanderung können Fische in den Wasserkraftanlagen, Wasserentnahmen oder an größeren Staubauewerken geschädigt oder getötet werden.
- Die erforderlichen baulichen Maßnahmen wie z. B. Ufer- und Sohlenverbau am Standort der Wasserkraftanlage oder des Ausleitungsbauwerks führen zur Veränderung des Sohlensubstrats und des Gewässerquerschnitts.
- Wird das Wasser aus dem Gewässer zu einer Wasserkraftanlage ausgeleitet (Abbildung 80), kann das Gewässerbett, das dann als Mutterbett oder Ausleitungsstrecke bezeichnet wird, als Folge einen niedrigen Abfluss bis hin zum Trockenfallen und geringe Fließtiefen aufweisen. Wie der Aufstau kann auch die Ausleitung den Grundwasserstand und damit die Vegetation in der Aue beeinträchtigen.

Die oben genannten Auswirkungen auf die Gewässerökologie sind für alle Gewässer relevant. Sie können zusammengefasst werden als

- Beeinträchtigung der Durchgängigkeit für die Aquafauna.
- Auswirkungen von Aufstau und Ausleitung auf den Lebensraum und damit die Lebensgemeinschaften in und an Fließgewässern.

#### *Beeinträchtigung der Durchgängigkeit durch Querbauwerke und Wasserkraftanlagen stromaufwärts*

Querbauwerke behindern oder verhindern die stromaufwärts gerichtete Wanderung von Fischen und aquatischen Wirbellosen, wenn die hydraulischen Verhältnisse und die Gestaltung des Gewässerbetts die physiologischen Fähigkeiten der aufwanderwilligen Organismen überschreiten. Als entscheidende Faktoren gelten die **Auffindbarkeit** und Passierbarkeit eines Bauwerkes bzw. eines Standortes.

Die Aufwanderung wird auch beeinträchtigt, wenn eventuell bestehende Wanderkorridore nicht oder nur mit erheblichem Zeit- bzw. Energieverlust aufgefunden werden können. Die Auffindbarkeit von Wanderkorridoren kann durch konkurrierende Strömungen (z. B. durch Gewässerverzweigungen wie die Mündung des Unterwasserkanals einer Wasserkraftanlage, Abbildung 80) oder durch kleinräumige Sackgassenwirkungen in Folge falsch platzierter Einstiege in Fischaufstiegsanlagen eingeschränkt werden (MUNLV 2005).

Folgende Parameter sind für die **Passierbarkeit** von Querbauwerken besonders entscheidend (MUNLV 2005):

- Die Fische müssen entsprechend ihrem normalen Verhalten wandern können.
- Die maximale Fließgeschwindigkeit an jedem Gefällesprung und die Energie, die zur Überwindung eines Wanderhindernisses insgesamt erforderlich ist, dürfen artspezifische Grenzwerte nicht überschreiten.
- Wirbellose benötigen eine ausreichend strukturierte, durchgehende raue Sohle.

Ein Querbauwerk kann bereits bei sehr geringen Absturzhöhen (ca. 0,1 bis 0,2 m bei MQ) oder glatten Sohlabschnitten als Wanderhindernis wirken (MUNLV 2005).

Gewässerabschnitte, die im Vergleich zu unbeeinflussten Strecken und gemessen an den physiologischen Anforderungen der jeweiligen Fischfauna eine zu geringe Fließtiefe und zu niedrige Fließgeschwindigkeiten aufweisen, sind nicht oder nur unzureichend durchwanderbar. Das gilt z. B. für Ausleitungsstrecken von Wasserkraftanlagen, wenn sie über lange Zeiträume einen zu niedrigen Abfluss aufweisen (MUNLV 2005).

Im Jahr 2014 wurde von der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) das Merkblatt "Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke" veröffentlicht, in dem im Hinblick auf die Planung von Fischaufstiegsanlagen Grenzwerte für die geometrische und hydraulische Auslegung angegeben sind (DWA 2014). Darüber hinaus sind in diesem Merkblatt umfangreiche Grundlagen zum Verhalten von Fischen und der Makrofauna in Bezug auf ihre Wanderungen im Gewässer zusammengestellt.

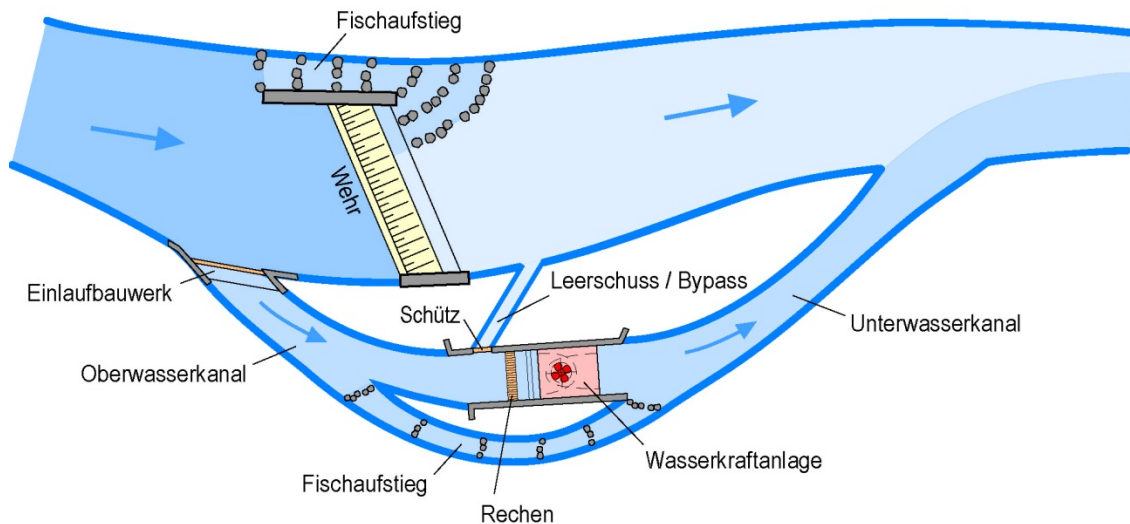


Abbildung 80: Bauwerksstandort mit Ausleitungskraftwerk (aus MUNLV (2005)).

Diadrome Arten, also Arten, deren Lebenszyklus einen obligaten Wechsel zwischen Habitaten im Meer und in Binnengewässern umfasst, sind in besonderem Maße von Einschränkungen der Aufstiegsmöglichkeiten betroffen, da bereits ein einziges, die stromaufwärts gerichtete Wanderung verhinderndes Querbauwerk zum Erlöschen der Populationen führen kann.

Für potamodrome Arten, deren Wanderungen sich auf die Binnengewässer beschränken, wurden die Auswirkungen stromaufwärts unpassierbarer Querbauwerke beispielhaft für die Zuflüsse eines deutschen Mittelgebirgsflusses (die hessische Lahn) nachgewiesen (Schwevers und Adam 1997). Infolge der chronischen Abwasserbelastung vergangener Jahrzehnte haben dort selbst anspruchslose Arten wie Plötze, Hasel, Döbel und Gründling beträchtliche Teile ihres ursprünglichen Siedlungsgebietes eingebüßt. Eine stromaufwärts gerichtete Wiederbesiedelung dieser Bereiche aber kann aufgrund einer hohen Anzahl unpassierbarer Querbauwerke nicht erfolgen, obwohl die Wasserqualität inzwischen großflächig entscheidend verbessert wurde und für diese Arten keinen besiedlungslimitierenden Faktor mehr darstellt. Vergleichbare Effekte sind auch für andere Arten und in anderen Gewässersystemen zu verzeichnen und drücken sich in einer flussaufwärts fortschreitenden Artenverarmung aus (MUNLV 2005).

Für die wirbellosen aquatischen Organismen ist es bislang nicht gelungen, die Auswirkungen unpassierbarer Querbauwerke auf die Besiedlung der oberhalb gelegenen Gewässerstrecken oder den Effekt der Wiederherstellung der Durchwanderbarkeit zu quantifizieren. Es wurden jedoch umfangreiche stromaufwärts gerichtete Wanderungen dokumentiert. Eine Zusammenstellung von Untersuchungen an verschiedenen Gewässern ist in DWA (2014) zu finden. Auch aufgrund der Drift ergibt sich die Forderung nach der Überwindbarkeit von Querbauwerken, damit diese Artengruppe nach Verdriftung Kompensationswanderungen durchführen kann (DWA 2014).

#### *Beeinträchtigung der Durchgängigkeit durch Querbauwerke und Wasserkraftanlagen stromabwärts*

Die stromabwärts gerichtete Wanderung aquatischer Organismen wird durch Querbauwerke und Wasserkraftanlagen nicht vollständig unterbunden. Bei deren Passage werden abwandernde Tiere aber häufig geschädigt oder getötet.

Die Gefährdung der aquatischen Fauna hängt vor allem von der Wahrscheinlichkeit ab, mit

der abwandernde Exemplare in sie gefährdende Anlagenteile gelangen. Hier sind insbesondere bei in Betrieb befindlichen Wasserkraftanlagen die zugehörigen Turbinen bzw. Wasserräder oder Rechenanlagen zu nennen. Verletzungsrisiken ergeben sich aber auch durch die Dimension und die Konstruktionsweise des Querbauwerks (MUNLV 2005).

Fische können überströmte Querbauwerke in der fließenden Welle flussabwärts passieren. Eine Verletzungsgefahr ist – abhängig von der Fischart – auf folgende Ursachen zurückzuführen (DWA 2005; Ebel 2013):

- Aufprall auf den Unterwasserspiegel, wenn die Absturzhöhe mehr als 13 m oder die Eintauchtiefe weniger als 1/4 der Fallhöhe (MUNLV 2005) jedoch mindestens 0,9 m beträgt (Ebel 2013).
- Abrasionen auf dem Bauwerksrücken, Kollisionen mit harten Strukturen im Unterwasser wie z. B. Störkörpern im Tosbecken und Scherkräfte und Turbulenzen im Tosbecken (Ebel 2013).
- Veränderung der Gassättigung und Druckunterschiede bei der Passage von Turbinen oder unterströmten Bauwerken (z. B. Schützen) (Ebel 2013).

Wird der Abfluss des Gewässers zu einem wesentlichen Anteil durch eine Wasserkraftanlage geleitet, folgt ein Großteil der abwandernden Fische dieser Hauptströmung und gelangt an den Einlassrechen der Wasserkraftanlage. Dabei können verschiedene Beeinträchtigungen bzw. Schäden auftreten:

- In Abhängigkeit von der lichten Weite des Rechens und der Anströmgeschwindigkeit werden Fische an den Rechen angepresst.
- Fische, die den Rechen passieren, können in die Wasserkraftmaschine gelangen und dort geschädigt werden. Schädigungsraten für Turbinen lassen sich aus geometrischen Parametern und bei Kenntnis des Betriebszustandes abschätzen (Keuneke und Dumont 2010; Ebel 2013).
- Bei Wasserrädern wurde immer angenommen, dass der Fischabstieg relativ schädigungsfrei erfolgt. Quantitative Untersuchungen durch den Landesfischereiverband Bayern belegen jedoch, dass auch Wasserräder letale Schädigungen verursachen können, die bei bestimmten Arten zu Schädigungsraten von über 50 % führen können (Pulg et al. 2008). Dabei geraten abwandernde Fische häufig mit den Flossen in Schlitze zwischen der Einhausung (z. B. Seitenwände und Sohle) und den Schaufeln. Dies gilt sowohl für oberflächlich als auch für unterflächlich betriebene Räder.
- In den Monitoring-Untersuchungen zur Wasserkraftschnecke an der Walkmühle ist nachgewiesen worden, dass Wasserkraftschnecken bei minimalem Spaltmaß zwischen Schneckenflügel und Stahltrug und bei optimaler Auslegung kaum Verletzungen verursachen (Schmalz 2010). Der Wartungszustand der Wasserkraftschnecke spielt eine zentrale Rolle hinsichtlich der Schwere und der Häufigkeit von Verletzungen. Bei höherem Spaltmaß kommt es zu deutlichen Schäden. Bei größer dimensionierten Wasserkraftschnecken ist von einer Abfluss abhängigen Durchbiegung und damit von einem höheren Spaltmaß auszugehen.

Eine ungefährdete Abwanderung der Fische an Wassernutzungsanlagen ist nur möglich, wenn ein geeigneter Fischschutz vorhanden ist in Kombination mit einem geeigneten Abwanderweg (Bypass) zum Unterwasser.

Das Ausmaß der Schädigung bzw. der Mortalität ist vor allem abhängig von der Anordnung und dem Ausbaugrad des jeweiligen Wasserkraftwerks, dem Rechen- und Turbinentyp, dem

aktuellen Betriebsmodus sowie der Art und Größe der betroffenen Arten (MUNLV 2005).

Ein zusätzliches Mortalitätsrisiko für abwandernde Fische ist die Prädation im Unterwasser von Wasserkraftwerken. Nach der Turbinenpassage sind auch unverletzte Fische desorientiert und damit leichte Beute für Fressfeinde aller Art, d. h. sowohl für Raubfische als auch für fischfressende Vögel. Auch in den Staubereichen ist durch die veränderte Artenzusammensetzung mit einem erhöhten Prädationsdruck und damit mit erhöhter Mortalität zu rechnen (MUNLV 2005).

Die Schadensraten kumulieren für abwandernde Fische, die in vielfach gestauten Gewässern mit Wasserkraftnutzung weite Strecken zurücklegen, da sich die Überlebensraten an den Einzelstandorten über die gesamte Staukette multiplizieren. Dadurch nimmt die Gesamtüberlebensrate entlang des Gewässers ab (Abbildung 81). Dies kann beispielhaft verdeutlicht werden, wenn man gleiche Überlebensraten  $q$  an jeder von  $n$  Staustufen annimmt. Dann ergibt sich die Gesamtüberlebensrate  $p$  aus der Beziehung (Abbildung 81) (MUNLV 2005):

$$p = q^n$$

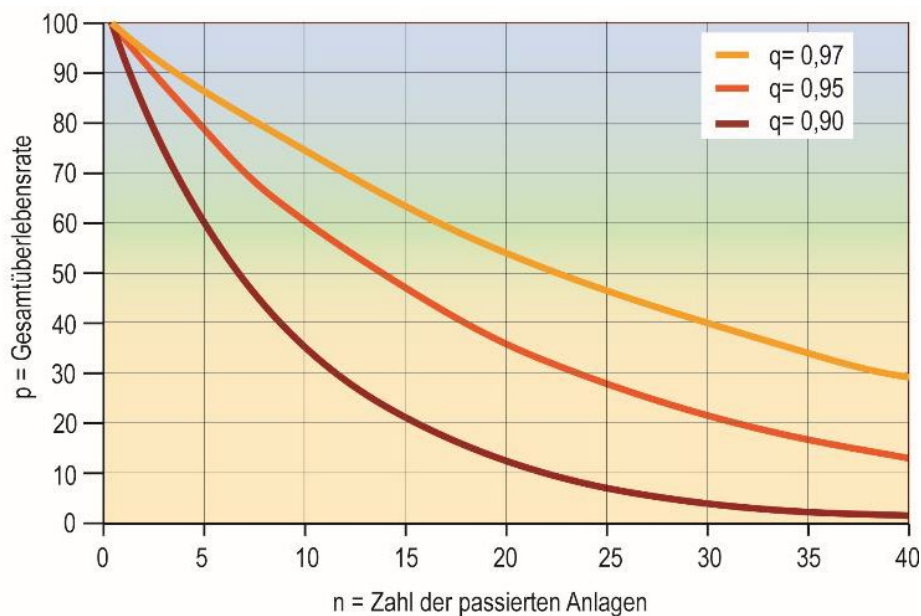


Abbildung 81: Gesamtüberlebensrate  $p$  abwandernder Fische in vielfach gestauten Gewässern (aus MUNLV (2005)).

### Treiber

Aktuell gibt es keinen relevanten großräumigen Treiber des Konfliktes.

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz, das den Anteil der erneuerbaren Energien am Strommarkt festlegt, fördert zwar den Bau neuer Wasserkraftanlagen, allerdings ist das noch nutzbare Potenzial eher gering.

An neuen Anlagen wird die Durchgängigkeit abwärts für bestimmte Arten und Stadien (kleine Arten und Jungfische), die nicht ausreichend durch die vorgeschriebenen Rechenanlagen geschützt werden, verschlechtert. Andererseits werden neue Wasserkraftanlagen nur dann gefördert, wenn sie an einer „bereits bestehenden oder vorrangig zu anderen Zwecken als der Erzeugung von Strom aus Wasserkraft neu zu errichtenden Stauanlage“ errichtet werden.

Durch die Förderung der Modernisierung vorhandener Wasserkraftanlagen durch das EEG

werden aktuell an diesen Anlagen vorrangig Fischaufstiegsanlagen errichtet bzw. modernisiert. Die Durchgängigkeit aufwärts wird also in jedem Fall verbessert.

Auch die EG-WRRL bzw. das Wasserhaushaltsgesetz (WHG 2009) sind Treiber zur Herstellung der Durchgängigkeit.

### **Druck**

Die Belastungen für die Aquafauna steigen mit der Anzahl der nicht durchgängigen Standorte, die überwunden werden müssen. Dabei ist das Wanderverhalten der Fische einzubeziehen. Diadrome Arten sind in besonderem Maße von Einschränkungen der Durchgängigkeit betroffen, da sie zwischen Habitaten im Meer und im Fließgewässer wechseln müssen, um ihren Lebenszyklus vollenden zu können. Sie müssen auf ihren Wanderrouten daher viele Barrieren überwinden. Auch potamodrome Arten vollziehen Wanderungen zwischen verschiedenen Habitaten. Ihre Wanderwege sind in der Regel kürzer. Nicht für alle Arten liegen ausreichende Kenntnisse über das Wanderverhalten und über die Schädigungsrisiken vor.

Als technologieseitige Komponente des Druckindikators für diesen Konflikt wird daher die **Anzahl der nicht durchgängigen Stauanlagen bzw. Wasserkraftanlagen pro Gewässerkilometer** empfohlen. Je nach Fischart und Wanderroute kann eine andere Höhe des Indikators toleriert werden.

Folgende Datengrundlagen werden benötigt:

1. Standorte der Stau- und Wasserkraftanlagen mit Bewertung der Durchgängigkeit
2. potentiell natürlich vorkommende Arten und deren Wanderverhalten

Ad 1:

Da die Durchgängigkeit ein Bestandteil der drei „hydromorphologischen Qualitätskomponenten“ (Anlage 3, OGEV) ist und damit indirekt zur Einstufung des ökologischen Zustands / Potenzials beiträgt, liegen in fast allen Bundesländern entsprechende, allerdings uneinheitliche Daten vor. Im Rahmen eines Projekts der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) wurden die Länder bzgl. der Bewertung der flussaufwärts und flussabwärts gerichteten Durchgängigkeit befragt (LAWA 2017):

„Die Auswertung der Fragebögen zeigt, dass die Informationen über die Durchgängigkeit von Fließgewässern in den deutschen Bundesländern nicht einheitlich erfasst werden.

13 Bundesländer haben Konzepte, Leitfäden oder Methoden entwickelt, die bei der Bewertung der Durchgängigkeit oder bei der Priorisierung angewendet werden. Diese unterscheiden sich in den Ländern voneinander, bilden aber im jeweiligen Land einen festen Rahmen zur Bewertung. So sind innerhalb eines Bundeslandes die Vorgehensweisen bei der Bewertung eines Bauwerksstandortes vergleichbar.

In den meisten Ländern erfolgt die Bewertung nach technisch-hydraulischen Aspekten, zum Teil bereits nach DWA (2014). In vielen Ländern wird eine Experteneinschätzung durchgeführt. Die meisten (neun) Bundesländer gaben an, dass die von Ihnen vorgenommene Bewertung auf alle Fließgewässer zutrifft. In zwölf Ländern liegen lediglich Informationen zur Existenz von Fischaufstiegsanlagen vor.

Die Beantwortung der Frage nach der Erfassung bewertungsrelevanter Parameter für Querbauwerke zeigt, dass allgemeine Kenngrößen (Lage, Einzugsgebietsgröße usw.) fast durchweg von den meisten Bundesländern erfasst werden. Die Datenlage zur Auffindbarkeit von Fischaufstiegsanlagen ist eher schlecht, die zur Passierbarkeit etwas besser. Am häufigsten



erfasst wird der Bautyp der Fischaufstiegsanlage.“

Das UBA (2017b) schreibt zur aufwärts gerichteten Durchgängigkeit: „Die Durchgängigkeit der Fließgewässer wird in Deutschland an ungefähr jedem zweiten Fließkilometer durch ein technisches Bauwerk unterbrochen. Diese Querbauwerke dienen der Trinkwassergewinnung, der Bewässerung, der Wasserkraftnutzung, der Schifffahrt, der Sohlenstützung oder der Anlage von künstlichen Stauseen zu Erholungszwecken. Bezogen auf das gesamte deutsche Fließgewässernetz von über 500.000 km Länge ist von einem Bestand von ca. 200.000 Querbauwerken in Deutschland auszugehen.

Ein bundeseinheitliches Klassifikationsverfahren für die Durchgängigkeit wird erst zum 3. Bewirtschaftungszyklus (2021 bis 2027) zur Verfügung stehen. Die Fachbehörden der Bundesländer nutzen derzeit landeseigene Bewertungsverfahren für die Berichterstattung nach WRRL (Abbildung 82), so dass Aussagen zur Qualität der Durchgängigkeit für 23 % der natürlichen und 48 % der erheblich veränderten Gewässerstrecken getroffen wurden. Bezogen auf diese Streckenanteile wird die Durchgängigkeit in 21 % der natürlichen und 23 % der HMWB-Strecken mit gut und besser klassifiziert (LAWA 2016).

Im Rahmen der Länderinitiative Kernindikatoren (LIKI) wird die Durchgängigkeit mit dem Indikator „Durchgängigkeit Fischaufstieg“ von den meisten Bundesländern regelmäßig bewertet. Der Indikator ist definiert als Anteil der für den Fischaufstieg durchgängigen Querbauwerksstandorte im Verhältnis zur Gesamtzahl der Querbauwerksstandorte in den Gewässern mit Einzugsgebieten größer als 100 km<sup>2</sup>. Potamodrome und diadrome Fischarten wandern im Süßwasser bzw. legen weite Entfernung zwischen Süß- und Salzwasser während ihres Lebenszyklus zurück. Gegenwärtig sind etwa 49 % aller bewerteten, signifikanten Querbauwerke in den Wanderrouten dieser Fischarten flussaufwärts durchgängig. Bei diesen besonders bedeutsamen Gewässern sollte die Durchgängigkeit aller Querbauwerksstandorte für den Fischaufstieg angestrebt werden.“

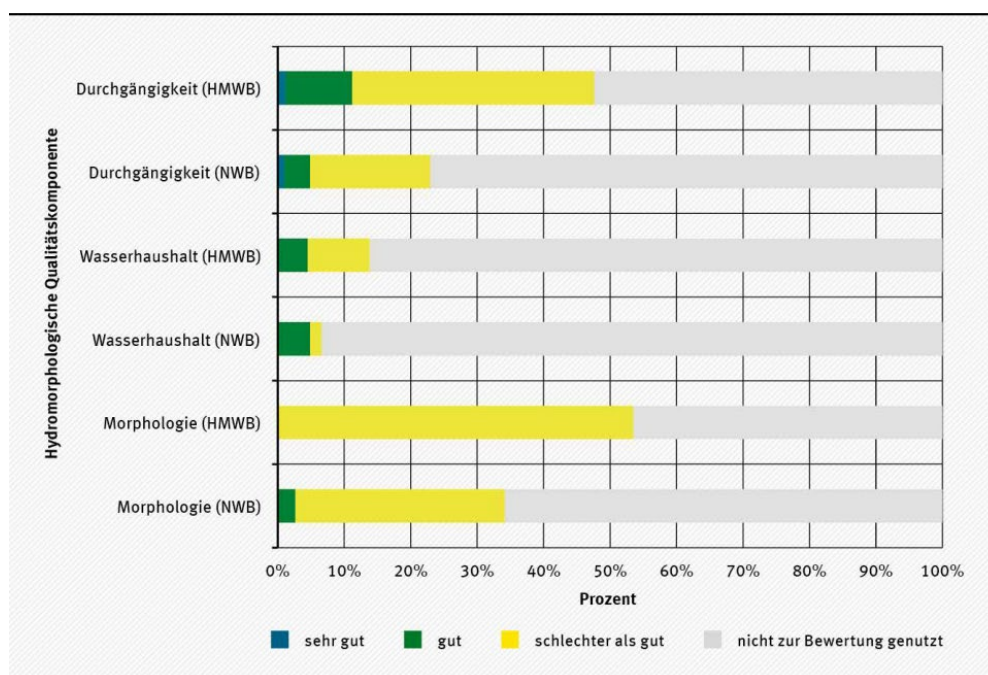


Abbildung 82: Stand der Klassifikation der hydromorphologischen Qualitätskomponenten Morphologie, Wasserhaushalt und Durchgängigkeit in natürlichen (NWB – 83.000 km) und erheblich veränderten (HMWB – 39.200 km) Fließgewässerstrecken Deutschlands (aus UBA (2017b) nach LAWA (2016)).

Die Auswertung der Fragebögen im Rahmen des Projekts der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA 2017) erbrachte folgendes Ergebnis zur abwärts gerichteten Durchgängigkeit:

„Zur Bewertung des Fischabstiegs lässt sich festhalten, dass in neun Bundesländer keine Konzepte usw. zur Bewertung der abwärts gerichteten Durchgängigkeit vorhanden sind. Wenn Konzepte vorliegen, sind dies in den meisten Fällen Konzepte zu Querbauwerken/Bauwerksstandorten. Nach Angaben der Länder liegen in sieben Bundesländern Informationen zu Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen fast vollständig vor. In nahezu der Hälfte der Bundesländer wird das flussabwärts signifikante Wanderhindernis über die Nutzungsart definiert. Dabei werden in 15 Ländern Wasserkraftanlagen als ein relevanter Faktor für die Bewertung des Fischabstiegs genannt.

In elf Bundesländern ist die Lage fischökologisch signifikanter Bauwerksstandorte bekannt. Sehr detaillierte Angaben zur Bewertung haben nur drei Länder.“ (LAWA 2017)

Es ist also grundsätzlich möglich, die Anzahl der nicht durchgängigen Stauanlagen bzw. Wasserkraftanlagen in einem Gewässerabschnitt zu erfassen. Um die Daten der Bundesländer vergleichen zu können, wäre eine einheitliche Bewertung und in einigen Ländern die Erfassung zusätzlicher Daten erforderlich. Beispiele für die Bewertung sind in LAWA (2017), LUWG (2008) oder MUNLV (2005) zu finden.

Ad 2:

Im Rahmen der Zustandserfassung der Oberflächengewässer sind vor dem Hintergrund der EG-WRRL fischfaunistische Referenzen (Dussling 2009) erstellt worden, an denen der aktuelle Zustand gemessen wird. Dementsprechend liegen für jedes Gewässer bzw. jeden Gewässerabschnitt Referenzen vor, aus denen die potentiell natürlich vorkommenden Arten abgelesen werden können. Das Wanderverhalten und die Wanderdistanzen der Tiere sind in den Referenzen in drei Kategorien kurz/mittel/lang angegeben. Genauere Angaben sind der Fachliteratur zu entnehmen, aber nicht für alle Arten verfügbar bzw. einheitlich.

## **Zustand**

Der Zustand der Fischfauna, der gemäß WRRL zu erfassen ist, wird in (UBA 2017b) wieder gegeben. Nach WRRL sind die Fließgewässer mit einem Einzugsgebiet über 10 km<sup>2</sup> darzustellen. Sie haben in Deutschland eine Fließlänge von rund 137.000 Kilometern. Auf 89 % dieser Strecken wurden die Fische bewertet. Mit „gut“ oder besser werden dabei für die Fischfauna 24 % der Fließstrecke bewertet (Abbildung 83).

Der Zustand der Fischfauna ist aber nicht allein auf die mangelnde Durchgängigkeit zurückzuführen. Neben weiteren hydromorphologischen Belastungen wie ein veränderter Wasserhaushalt oder die veränderte Gewässerstruktur, sind physikalisch-chemische Einträge und hier vor allem die Nährstoffe die Ursache für den eher schlechten Zustand der Fischfauna. Direkte Abhängigkeiten zwischen der Durchgängigkeit und dem Zustand der Fischpopulationen können zurzeit nicht erfasst werden.

Eine Folge der mangelnden Durchgängigkeit ist der Rückgang der Bestände bei den diadromen Arten (Lachs, Meerforelle und Aal). Lachs und Meerforelle waren in den 1950er Jahren bereits ausgestorben. Mithilfe von Besatz konnten diese Arten wieder angesiedelt werden. Stabile Wildlachspopulationen gibt es aktuell nicht (IKSR 2017). Auch die Aalbestände werden durch Besatz gestützt. Der Europäische Aal gilt inzwischen als stark gefährdet, die IUCN listet die Art als Critically Endangered (vom Aussterben bedroht), die Vertragsstaaten des Washingtoner Artenschutzübereinkommens (CITES) haben 2007 die Aufnahme des Europäischen Aals in den Anhang II (schutzbedürftige Arten) des Übereinkommens beschlossen.

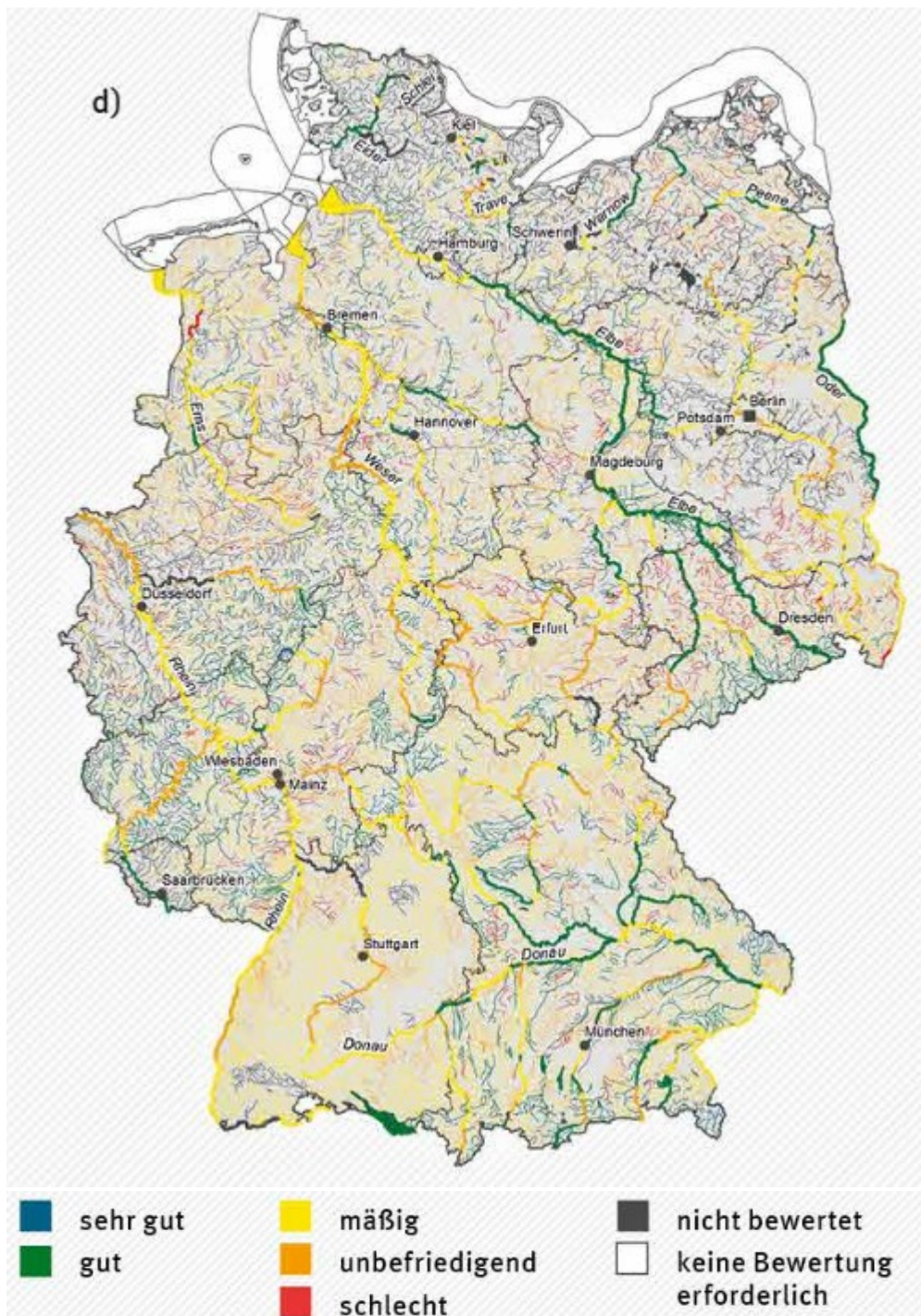


Abbildung 83: Ökologischer Zustand/Potenzial - Fische (aus UBA (2017b) nach LAWA (2016)).

### Auswirkung

In Bezug auf die Auswirkungen muss zwischen potamodromen und diadromen Arten unterschieden werden. Diadrome Arten sind auf die Erreichbarkeit bestimmter Habitats angewiesen und müssen dabei unter Umständen zahlreiche Bauwerke überwinden. Aber auch bei den potamodromen Arten gibt es viele, die innerhalb verbundener Wassersysteme wandern, um die optimalen Bedingungen für die jeweilige Lebensphase zu finden. So werden z. B. für die Fortpflanzung andere Ansprüche an Umweltfaktoren wie Strömung, Temperatur und Substrat gestellt als für die Ernährung, den Aufwuchs oder die Winterruhe. Diese Arten sind von der Durchgängigkeit ihres Flusses und dessen Vernetzung mit allen erforderlichen Teillebensräumen abhängig. Die Zerstückelung der Gewässerläufe wirkt sich vor allem auf die

Artenzusammensetzung der Fischfauna aus. (UBA 2017b)

Für die diadromen Arten sind Methoden entwickelt worden, um den kumulativen Effekt mehrerer Wanderhindernisse auf einer Wanderroute zu beschreiben. Für die Berechnung werden detaillierte Daten zu den Standorten benötigt, um Standortaufstiegsraten (flussaufwärts) und Standortüberlebensraten (flussabwärts) zu ermitteln. Diese liegen nicht flächendeckend vor. Die einzelnen Raten für Standorte entlang der Wanderroute werden miteinander multipliziert, um so die Erreichbarkeitsrate der Habitats oder die Gesamtüberlebensrate zu ermitteln (LUWG 2008). In Abbildung 81 ist die kumulative Wirkung mehrere Standorte dargestellt.

In Keuneke und Dumont (2011) wurde ein vereinfachtes Populationsmodell entwickelt, das den gesamten Kreislauf der Auf- und Abwanderung anadromer Lachse, einschließt. Dabei wurden neben den Verlusten beim Auf- und Abstieg weitere relevante populationsbiologische Parameter berücksichtigt (Abbildung 84).

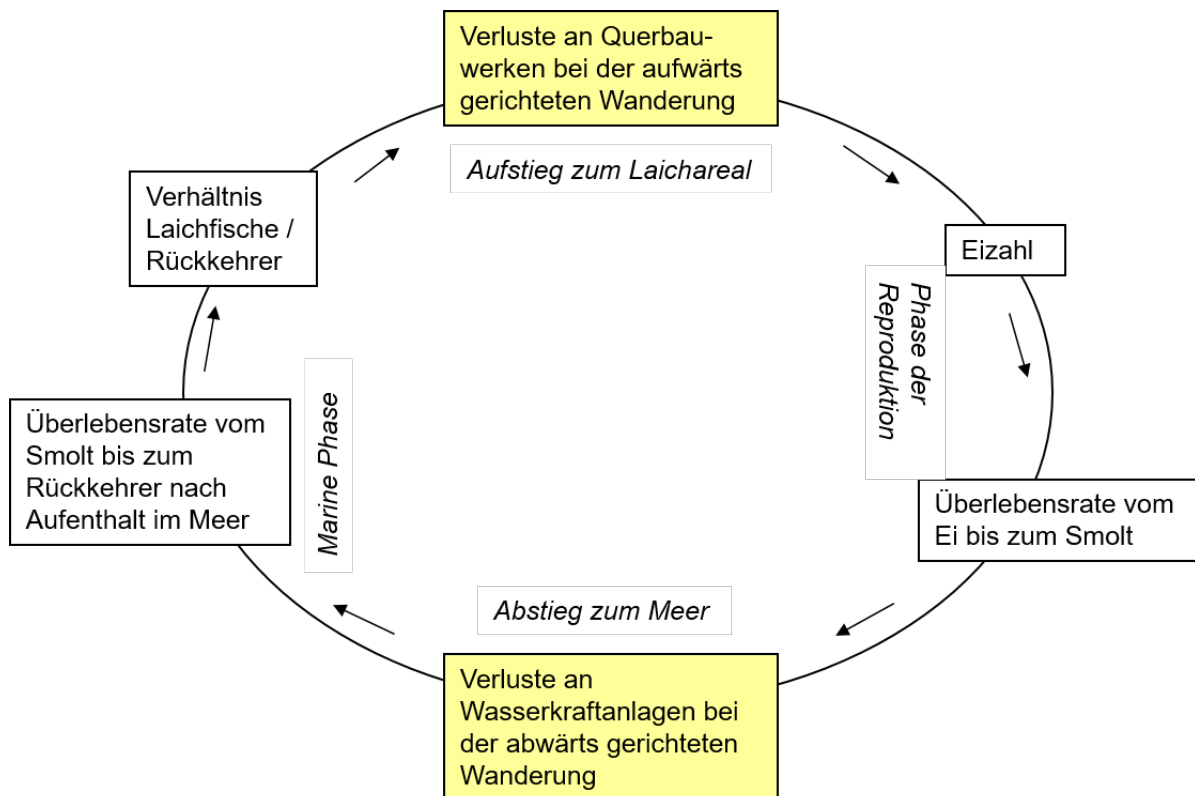


Abbildung 84: Parameter des Berechnungsmodells zur Abbildung des Lebenszyklus des Atlantischen Lachses (weiß: populationsdynamische Parameter, gelb: Verluste an Querbauwerken und Wasserkraftanlagen) (aus Keuneke und Dumont (2011)).

In diesem Modell würde der oben definierte Indikator **Anzahl der nicht durchgängigen Stauanlagen bzw. Wasserkraftanlagen pro Gewässerkilometer** in die Parameter „Verluste an Querbauwerken und Wasserkraftanlagen“ eingehen. Ähnliche Modelle sind für potamodrome Arten nicht bekannt.

Gemäß UBA (2017b) gibt es ca. 200.000 Querbauwerke auf 500.000 km Fließgewässerslänge, im Durchschnitt also 0,4 Bauwerke pro km. Je höher die Anzahl der nicht durchgängigen Stauanlagen bzw. Wasserkraftanlagen pro Gewässerkilometer ist, desto größer sind die Auswirkungen auf die Fische. Arten, die lange Wanderdistanzen zurücklegen, z. B. Lachs, Aal oder Meerforelle, sind dadurch stärker gefährdet als Kurzdistanzwanderer wie Bachforelle, Äsche oder Groppe.

## Reaktion

Wie bereits oben ausgeführt, wird in verschiedenen Umweltgesetzen die Durchgängigkeit der Gewässer gefordert. Neben der Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL 2000), der Oberflächengewässerverordnung (OGewV 2011) und dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG 2010) beziehen sich folgende Rechtsvorschriften auf verschiedenen administrativen Ebenen direkt auf die ökologische Durchgängigkeit oder regeln den Schutz von Fischen:

- Fauna-Flora Habitat-Richtlinie (92/43/EWG 1992)
- EG-Aalverordnung (2007)
- Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG 2009)
- Wassergesetze der Bundesländer
- Naturschutzgesetze der Bundesländer
- Fischereigesetze der Bundesländer

Die Umsetzung der Gesetze kann durch den Vergleich der Monitoringberichte, die im Rahmen der Berichterstattung zur WRRL alle vier Jahre die Durchgängigkeit bzw. den Zustand der Fische dokumentieren, verfolgt werden.

Zum Monitoring, wie die o.g. Gesetze und Verordnungen wirken, wird das **Verhältnis der durchgängigen Stauanlagen bzw. Wasserkraftanlagen zu der Gesamtzahl der Stau- bzw. Wasserkraftanlagen** als Indikator empfohlen.

Es handelt sich dabei um die gleiche Datengrundlage wie beim Druck-Indikator:

- Standorte der Stau- und Wasserkraftanlagen mit Bewertung der Durchgängigkeit.

### 5.3.2.10 Verlust spezifischer aquatischer Fließgewässerlebensräume durch Aufstau

*Rita Keuneke*

#### **Einleitung**

Die Strukturen der Fließgewässer wurden im Laufe der Geschichte anthropogen überformt, wobei an kleineren Gewässern seit dem Mittelalter sowohl Eingriffe zur Flößerei und Energiegewinnung als auch für den Hochwasserschutz vorgenommen wurden (Kern 1994). Das Ziel war dabei, die natürlichen Veränderungen der Gewässer zur Entwicklung und Sicherung von landwirtschaftlichen Flächen und Siedlungsgebieten zu minimieren.

Dabei wurden im Wesentlichen folgende Maßnahmen durchgeführt (MUNLV 2005):

- Die Gewässer wurden auf ein reduziertes Abflussprofil bzw. auf ein Einbettgerinne eingeeignet. In der Folge trat Tiefenerosion auf, die teilweise zur Entwässerung und/oder zur Verminderung von Hochwasser-Überschwemmungen benachbarter Flächen auch beabsichtigt war.
- Verbauungen von Ufern im Bereich von unmittelbar an das Gewässer grenzenden Nutzungen wie Siedlungen, Industrie, Wasserkraftnutzung, Verkehr.
- Errichtung von Querbauwerken.

Insbesondere durch die Errichtung von Querbauwerken (Wehre, Stauanlagen, Staudämme) und Wasserkraftanlagen, aber auch durch die Begradigung der Gewässer kann die Gewässerökologie im Vergleich zum natürlichen Gewässer in mehrfacher Hinsicht beeinträchtigt werden. Diese Auswirkungen auf die Gewässerökologie sind für alle Gewässer relevant. Sie können zusammengefasst werden als

- Beeinträchtigung der Durchgängigkeit für die Aquafauna (siehe Abschnitt 5.3.2.9).
- Auswirkungen von Aufstau und Ausleitung auf den Lebensraum und damit die Lebensgemeinschaften in und an Fließgewässern.

In Stauräumen wird das Fließgewässer in Bezug auf eine Vielzahl von Parametern verändert. Das Ausmaß dieser Veränderungen ist abhängig von der Größe und der Betriebsweise des Querbauwerks, das den Aufstau verursacht, sowie vom jeweiligen Gewässertyp bzw. der Fließgewässerregion (MUNLV 2005).

#### *Hydromorphologische Veränderungen*

So entsteht z. B. durch den Einbau einer Stauvorrichtung ein Rückstaubereich mit geringer Fließgeschwindigkeit (Abbildung 85). Infolge dessen findet eine Ablagerung von feinerem Geschiebe, Sand und Schlamm statt. Der geänderte Geschiebehaushalt kann zu Veränderungen des Gewässerbettes im Unterwasser von Staustufen (z. B. Eintiefungen) führen. Weiterhin haben große Stauräume eine regulierende Funktion auf den Abfluss im unterhalb liegenden Gewässerabschnitt. Die reduzierte Abflussdynamik kann – auch im Zusammenhang mit dem geringeren Sedimenttransport – zur Überformung des Gewässers beitragen.

#### *Chemisch-physikalische Veränderungen*

In großen Stauräumen erhöht sich die Temperatur oberflächennaher Wasserschichten. Rhithrale Arten, die an niedrige Wassertemperaturen gebunden sind, verlieren ihren Lebensraum. In eutrophen Gewässern können starke pH-Wert-Schwankungen mit Spitzenwerten in Abhängigkeit von der Phytoplanktonbildung auftreten. Beide Effekte entfalten eine erhebliche

Fernwirkung bezüglich der unterhalb gelegenen Fließstrecken. Andererseits bewirkt die Entnahme aus dem kalten Tiefenwasser einer Talsperre eine nachhaltige Veränderung des Temperaturregimes der unterhalb gelegenen Fließstrecke. Die geringe Turbulenz des stehenden Wasserkörpers führt in Zusammenhang mit der Zersetzung des abgelagerten Schlammes zu veränderten chemisch-physikalischen Bedingungen. Auch die Mobilisierung sauerstoffzehrender Schlämme bei Hochwasser kann vor allem in stark belasteten Gewässern akute Sauerstoffdefizite bewirken (MUNLV 2005).

#### *Auswirkungen auf die aquatische Fauna und Flora*

Die beschriebene Reduktion der Fließgeschwindigkeit und der Dynamik des Gewässers und der dadurch bedingten reduzierten Umlagerung des Substrates sowie die Überlagerung mit Feinsedimenten, ergeben gemäß MUNLV (2005) erhebliche Veränderungen des aquatischen Lebensraums:

- Die Lebensräume wirbelloser Organismen und bodenorientierter Fischarten sowie die Reproduktionsareale kieslaichender Fischarten werden beeinträchtigt oder gehen verloren.
- Auch die Wasserpflanzengesellschaft der submersen, emersen und amphibischen Lebensräume in und entlang von Stauräumen zeigt gegenüber nicht gestauten Fließgewässern charakteristische Veränderungen.
- Rheophile Fische meiden schwach durchströmte Stauräume (Bunzel-Drücke et al. 2007). Absteigende Fische, z. B. Salmonidensmolts, orientieren sich an der Strömung und passieren Stauhaltungen nur langsam und unterliegen einer erhöhten Prädation.
- Durch ausgedehnte Stauräume mit Feinsedimentablagerungen und ggf. sogar Sauerstoffdefiziten im sohlennahen Bereich werden Gegenstromwanderungen von Wirbellosen massiv behindert.
- Zudem verringert sich mit zunehmender Wassertiefe der Lichteinfall auf den Gewässerboden. Dies reduziert den Grundaufwuchs, der vor allem aus niederen Pflanzen, wie beispielweise fädigen Algen besteht. Diese sind eine in der Nahrungskette wichtige Nahrungsbasis für wirbellose Organismen.
- Als Folge gehen Artenvielfalt und Besiedlungsdichte zurück und die Besiedlung entspricht nicht mehr der jeweiligen Fließgewässerregion.
- Je nach Umfang der Überformung werden auch die Lebensräume der unterhalb gelegenen Gewässerabschnitte verändert.

Die Gewässerökologie in Rückstaustrrecken kann im Vergleich zum Leitbild bzw. zur typischen Ausbildung entsprechend des Fließgewässertyps stark verändert werden. Somit unterscheiden sich die Biozönosen der Flora und Fauna erheblich vom jeweiligen Leitbild. Zusätzlich kann durch den Aufstau der Grundwasserstand und damit die Vegetation in der Aue beeinträchtigt werden (MUNLV 2005).



Abbildung 85: Staubereich einer Wasserkraftanlage (Foto: Ingenieurbüro Floecksmühle GmbH).

#### *Weitere Effekte im Rückstaubereich*

Neben den genannten negativen Auswirkungen auf die potenziell natürliche Flora und Fauna, können sich auch positive Effekte ergeben: Der Lebensraum für Wasservögel, die Bereiche mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten bevorzugen, wird erweitert. Staubereiche können in begrenztem Umfang eine ähnliche Funktion wie Altarme oder bei Hochwasser überflutete Gewässerbereiche, die früher als Biotope mit geringer Fließgeschwindigkeit oder als Stillwasser zur Verfügung standen, übernehmen. Sie können Rückzugsgebiete für Fische bei Niedrigwasser (Wintereinstand) oder Zufluchtsort bei Hochwasser oder Fischunterstand im tieferen Wasser sein. Im Staubereich wird der Wasserspiegel des Gewässers und der Grundwasserspiegel angehoben. Dies hat einen Einfluss auf die Besiedlung in der Aue.

#### **Treiber**

Aktuell gibt es keinen relevanten großräumigen Treiber des Konfliktes „Verlust spezifischer aquatischer Fließgewässerlebensräume durch Aufstau“. Das Erneuerbare-Energien-Gesetz, das den Anteil der erneuerbaren Energien am Strommarkt festlegt, fördert nur Strom aus Wasserkraft, der an „bereits bestehenden oder vorrangig zu anderen Zwecken als der Erzeugung von Strom aus Wasserkraft neu zu errichtenden Stauanlage“ erzeugt wird.

Die EG-WRRL bzw. das Wasserhaushaltsgesetz (WHG 2009) sind im Gegenteil Treiber zur Erreichung des guten ökologischen Zustands der Gewässer.

#### **Druck**

Die Belastungen für die Aquafauna steigen mit der Anzahl und der Länge der Staustrecken. Als Druckindikator für diesen Konflikt wird daher **die Länge der Staustrecken in einem Gewässerabschnitt** empfohlen. Als Gewässerabschnitt sollte artspezifisch der minimal erforderliche Lebensraum gewählt werden.

Als Datengrundlagen wird

1. die Länge der Staustrecke an Standorten von Stau- und Wasserkraftanlagen benötigt.
2. die Größe/Länge des minimal erforderlichen Lebensraums einzelner Arten



Eine Verschneidung dieser Daten würde die Belastung pro Art gut zeigen, wird aktuell aber nicht vorgenommen.

Ad 1:

Daten zur Länge der Staustrecken werden in einigen Bundesländern im Rahmen der Kartierung von Querbauwerken erfasst. Weiterhin werden im Rahmen der Strukturkartierung nach dem sogenannten Vor-Ort-Verfahren (LAWA 1999; LANUV 2012) in der Regel 25 Wert- und Schadparameter erfasst, darunter auch der Parameter „Rückstau“. Diese Daten liegen aber nicht flächendeckend vor, da einige Länder auch das weniger aufwändige Übersichtsverfahren (LAWA 2002) zur Strukturkartierung nutzen, in dem die Staulängen nicht erfasst werden. Die Einzelparameter, die nach dem Vor-Ort-Verfahren erfasst werden, werden funktionalen Einheiten zugeordnet und in sechs Hauptparametern zusammengefasst, die wiederum in die Lebensraumbereiche Sohle, Ufer und Land zusammengeführt werden. Die Ergebnisse der Strukturkartierung werden in den genannten Aggregationen veröffentlicht, so dass der Einzelparameter „Rückstau“ nicht mehr zurückverfolgt werden kann.

Es ist also grundsätzlich möglich, die Länge der Staustrecken in einem Gewässerabschnitt zu erfassen. Allerdings müssten in vielen Ländern diese Daten erst vor Ort oder mit Hilfe eines hydraulischen Modells ermittelt werden.

Ad 2:

Die mindestens erforderliche Größe des Lebensraums einzelner Arten existiert theoretisch, konnte aber in den letzten Jahrzehnten nicht ermittelt werden. Hilfsweise könnte hier die Länge der Fischregion gewählt werden. Relevant wäre, ab welcher Größe eines Stauraums eine biologische Wirkung eintritt bzw. ab wann sie messbar ist. Die biologische Wirkung tritt artspezifisch bei unterschiedlichen Größen des Stauraums auf.

Es wird daher empfohlen, lediglich die technologieseitige Komponente zu betrachten.

## **Zustand**

Einen Anhaltspunkt für den Verlust spezifischer aquatischer Fließgewässerlebensräume liefert der ökologische Zustand der Fließgewässer, der gemäß WRRL zu erfassen ist.

### *Methodik*

Der ökologische Zustand ergibt sich aus dem Vergleich der im Wasser lebenden Organismen mit dem Bestand, der natürlicherweise dort vorhanden sein sollte. Dazu werden vier Gruppen von Lebewesen untersucht: Makrozoobenthos (benthische wirbellose Fauna), Makrophyten/Phytobenthos, Phytoplankton sowie Fische. Für diese Gruppen, welche in der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) als biologische Qualitätskomponenten bezeichnet werden, werden die Artenzusammensetzung und die Häufigkeiten der einzelnen Arten bestimmt. Die Erfassung der unterschiedlichen Lebensgemeinschaften als Indikatororganismen lässt somit einen Rückschluss auf die Qualität des Lebensraumes zu.

Die biologische Qualitätskomponente benthische wirbellose Fauna wird mithilfe des Verfahrens PERLODES (Meier et al. 2006) bewertet. Für die biologische Qualitätskomponente Makrophyten/Phytobenthos ist das Bewertungsverfahren PHYLIB 1 (Schaumburg 2006) sowie für Fische das Bewertungsverfahren FiBS (Dussling 2009) anzuwenden (OGewV 2011). Für die Bewertung von Phytoplankton wird das Verfahren PHYTOFLUSS (Mischke und Behrendt 2007) angewendet.

Der Zustand der Fließgewässer wird in den sogenannten Wasserkörpern (einheitliche und bedeutende Abschnitte eines Gewässers) bestimmt. Die Wasserkörper sind in der Regel größer als die Stauräume und bilden damit nicht direkt den Lebensraumverlust durch Aufstau

ab.

Auch ist der ökologische Zustand der Fließgewässer nicht allein auf die Staubereiche zurückzuführen. Neben weiteren hydromorphologischen Belastungen wie mangelnder Durchgängigkeit, ein veränderter Wasserhaushalt oder die veränderte Gewässerstruktur, sind physikalisch-chemische Einträge und hier vor allem die Nährstoffe die Ursache für den eher schlechten Zustand. Direkte Abhängigkeiten zwischen dem Aufstau und dem Zustand der aquatischen Populationen können zurzeit nicht erfasst werden.

## Ergebnisse

Der ökologische Zustand der Fließgewässer wird in UBA (2017b) wieder gegeben. Nach WRRL sind die Fließgewässer mit einem Einzugsgebiet über 10 km<sup>2</sup> darzustellen. Sie haben in Deutschland eine Fließlänge von rund 137.000 km. Die Fließstrecke aller natürlichen Fließgewässer umfasst eine Fließlänge von ca. 83.800 km.

Der Anteil der bewerteten Fließgewässerstrecke der natürlichen Wasserkörper liegt bei 99 %. Davon sind:

- rund 100 km der Fließgewässer der Alpen und der Mittelgebirgsbäche (0,1 %) in einem „sehr guten“ ökologischen Zustand,
- rund 7.300 km (9 %) in einem „guten“ Zustand, daran haben die Fließgewässer der Alpen den größten Anteil mit rund 50 % ihrer Fließstrecke
- ca. 36.700 km (44 %) in einem „mäßigen“ ökologischen Zustand,
- rund 2.900 km (35 %) in einem „unbefriedigenden“ ökologischen Zustand,
- ca. 9.900 km (12 %) in einem „schlechten“ ökologischen Zustand, nur die Fließgewässer der Alpen und die Ströme haben keine natürliche Fließstrecke im schlechten ökologischen Zustand (LAWA 2016).

Abbildung 86 zeigt den Zustand der biologischen Qualitätskomponenten in den natürlichen Fließgewässern Deutschlands. Bei der Bewertung der Gewässer gilt das Prinzip, dass die schlechteste Bewertung einer einzelnen biologischen Qualitätskomponente den Gesamtzustand bestimmt.



Abbildung 86: Ökologischer Zustand der biologischen Qualitätskomponenten in den natürlichen Fließgewässern Deutschlands (aus UBA (2017b) nach LAWA (2016)).

Betrachtet man allein die Staustrecken, so wurde in MUNLV (2005) z. B. für Nordrhein-Westfalen ermittelt, dass je nach Einzugsgebiet 10 bis 46 % der Gewässertrecken durch Stau- oder Ausleitung überformt sind. In anderen Mittelgebirgsregionen ist wahrscheinlich mit ähnlichen Werten zu rechnen.

### *Turnus*

Die EU-Mitgliedsstaaten dokumentieren den ökologischen Zustand der Gewässer regelmäßig in Bewirtschaftungsplänen. Diese orientieren sich am sechsjährigen Bewirtschaftungszyklus der Wasserrahmenrichtlinie.

- Der erste Bewirtschaftungszyklus begann am 22. Dezember 2009. Er endete im Dezember 2015. Innerhalb dieser Zeitspanne wurden jedes Jahr ein Teil der Gewässer bewertet.
- Danach folgen zwei weitere Zyklen von jeweils sechs Jahren.

Bereits vor dem ersten Bewirtschaftungszyklus wurde die ökologische Qualität aller Gewässer einmal bewertet und damit ein erster Bewirtschaftungsplan und ein erstes Maßnahmenprogramm zur Verbesserung des Zustandes erstellt. Seit Ende 2015 liegen die zweiten Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme vor.

### **Auswirkung**

Die Veränderung des Fließgewässers durch Staustrecken hat Auswirkungen auf eine Vielzahl von Lebensgemeinschaften. Messbare Veränderungen der Lebensgemeinschaften können, wie unter dem Unterpunkt „Zustand“ beschrieben, anhand der sogenannten biologischen Qualitätskomponenten Makrozoobenthos (benthische wirbellose Fauna), Makrophyten/ Phytobenthos, Phytoplankton sowie Fische gemäß EG-WRRL erfasst werden.

Da Staustrecken in der Regel bereits seit Jahrzehnten bestehen und sich die Lebensgemeinschaften bereits deutlich verändert haben, ist es schwierig, zwischen dem Zustand und den Auswirkungen zu differenzieren. Es gibt keine Messdaten vor und nach dem Bau einer Stauanlage, so dass sich die Auswirkungen in direktem Bezug zum Stau quantifizieren ließen. Auch der Rückbau von Stauanlagen ist eher die Ausnahme, so dass es keinen Vergleich der Lebensgemeinschaften mit und ohne Stau gibt. Im Rahmen der Zustandsbewertung gemäß WRRL wird deshalb hilfsweise der Vergleich mit einem Referenzzustand gewählt.

Als Maß für die Auswirkungen eines Stauraums könnte der ökologische Zustand der biologischen Qualitätskomponenten gewählt werden, wenn die zugehörigen Messungen im Stauraum oder direkt unterhalb des Stauraums durchgeführt würden. Die Mess-Methoden sind im Kapitel Zustand beschrieben.

### **Reaktion**

In der Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL 2000) sowie der Oberflächengewässerverordnung (OGewV 2011) wird der gute ökologische Zustand der Fließgewässer gefordert, der indirekt auch eine Verringerung der Staustrecken beinhaltet. Konkrete Anforderungen an die Verringerung von Staustrecken sind in den einschlägigen Gesetzestexten nicht zu finden.

Als Indikator wird ein Vergleich der **Länge der Staustrecken** in einem Gewässerabschnitt zum jetzigen mit einem früheren Zeitpunkt empfohlen. Als Gewässerabschnitt sollte artspezifisch der minimal erforderliche Lebensraum gewählt werden.

Als Datengrundlagen wird

- die Länge der Staustrecke an Standorten von Stau- und Wasserkraftanlagen zum jetzigen und zu einem früheren Zeitpunkt benötigt.

- die Größe/Länge des minimal erforderlichen Lebensraums einzelner Arten
- Die Datengrundlagen entsprechen denen des Druck-Indikators.

### 5.3.2.11 Verlust von Lebensräumen und Beeinträchtigung von Arten durch Anlage der PV-Module

Reinhard Klenke

#### Einleitung

Solarenergie wird aktuell mit photoelektrischen Bauteilen, sogenannten Solarzellen, gewonnen, die in Photovoltaik-Anlagen installiert werden. Es gibt verschiedene Bauweisen von Solarzellen, die u. a. aus polykristallinem oder monokristallinem Silizium, aus einem auf ein Trägermaterial aufgedampften Halbleitermaterialien oder auch organischen Materialien bestehen können und mit einer Schutzschicht versehen sind (Bloss 1980; Grabmaier 1983; Krühler 1993; Wöhrle und Hild 2010). Die einzelnen Zellen sind nur wenige Quadratzentimeter groß, können aber in unterschiedlichster Form skaliert und in größeren Plattenmodulen aufgebaut werden. Die elektrische Energie wird direkt aus einer photoelektrischen Reaktion mit dem einfallenden Sonnenlicht gewonnen. Dieser direkte Umwandlungsprozess ist biologischen Prozessen wie der Photosynthese am ähnlichsten, die Effizienz ist je nach Typ der Solarzelle physikalisch begrenzt. Zurzeit werden unter Laborbedingungen, je nach Zellentyp, Wirkungsgrade von 8 bis 46 % angegeben (Green et al. 2017; Yoshikawa et al. 2017; Hodos 2003; NREL 2018a, 2018b). Im praktischen Betrieb werden heute mittlere Wirkungsgrade der Module von 17 % und Spitzenwerte von 20 % erreicht (Wirth 2019).

Da die Solarpaneele in der Regel fest installiert werden, besteht auch keine erhöhte Gefahr der Mortalität durch bewegliche Teile, wie z. B. durch die Rotoren der WEA oder Turbinenschaufeln von Wasserkraftwerken. Die Paneele werden allenfalls mit langsamen Antriebsmodulen der Sonne nachgeführt. Die direkten, anlagebedingten Auswirkungen von PV-Modulen beschränken sich im weitesten Sinne

- auf die direkte Abdeckung bzw. zeitweise Beschattung der darunter bzw. im Schatten liegenden Bereiche (Silhouetteneffekt). Damit kann im ungünstigsten Falle ein flächiger Schutzgegenstand direkt und ständig durch Beschattung vor Licht (z. B. Trockenrasen), aber auch Niederschlag (Biotope generell) betroffen sein. Durch die Beschattung der Fläche und den Abfluss auf den Modulen nach unten kommt es wiederum an den Traufkanten zu Konzentrationseffekten und dementsprechend ungleichmäßiger Bewässerung des darunter liegenden Bodens bis hin zu möglichen Ausspüleeffekten. Mit zunehmendem Wirkungsgrad werden Solarmodule zukünftig immer häufiger in Ost-West-Richtung (sogenannte Dachform-Anlagen), mit sehr geringen Abständen zwischen den einzelnen Modulreihen, aufgestellt. Dadurch wird der Beschattungseffekt auf darunter befindliche Vegetation noch einmal verstärkt.

Weiterhin wird

- eine Beeinträchtigung von Lebensräumen oder Lebensumwelten durch eine Änderung von Oberflächeneigenschaften oder Hinzufügung von neuen technischen Elementen/Installationen erzeugt.

Außerdem führt die Veränderung der Lichtqualität durch die polarisierende und reflektierende Wirkung der Paneele teilweise zu Effekten, wie

- Attraktion und Fehlleitung auf Habitateigenschaften imitierende technische Objekte sowie zu
- Störwirkung durch Reflektion und Irritation durch den Silhouetteneffekt.

Letztere haben auch eine nachteilige Wirkung auf das Landschaftsbild.

PV-Anlagen erzeugen wie auch jede andere stromerzeugende Anlage ein

- Elektromagnetisches Feld (Gleichspannung; Wechselspannung, wenn Einspeisung geplant ist).

Als Hauptauswirkung von elektromagnetischen Feldern wird derzeit die Wärmewirkung auf den Organismus gesehen, deren Folgen aber bisher als vernachlässigbar angesehen werden, wenn sich die Strahlung unterhalb der Grenzwerte befindet (BfS 2018; WHO 2018). Die spannungsführenden Teile bei PV-Anlagen sind in der Regel isoliert, so dass es kaum zu direkten Auswirkungen durch Stromfluss kommen dürfte, wie das z. B. beim Kontakt von Tieren mit spannungsführenden Teilen der Freileitungen der Fall sein kann.

Weitere Auswirkungen entstehen durch die Form der Installation und die Größe der Anlage. Bedingt durch den geringen Wirkungsgrad sind PV-Anlagen extrem raumgreifend. Es gibt aktuell einen direkten nichtlinearen Zusammenhang zwischen Wirkungsgrad und Kosten, d. h. die besonders preisgünstigen Solarpaneele sind auch die mit dem geringsten Wirkungsgrad. Bei geringen Kosten für die Pacht oder den Kauf der Grundfläche führt das zu verstärktem Flächenverbrauch. Erst bei hohen Kosten für die Grundfläche und geringen Vergütungssätzen wird es hier zu einem Umschlagen und einer Fokussierung auf flächeneffiziente Installationen kommen.

Die bevorzugte Installation auf landwirtschaftlichen Grenzertrags- bzw. auf Konversionsflächen führt daher zu einer

- Konkurrenz um den für Schutzgegenstände zur Verfügung stehenden Raum (Lebensraum für geschützte Pflanzen- und Tierarten).

Der daraus resultierende Flächenverbrauch und mögliche weitere Verlust von ohnehin schon seltenen wertvollen Lebensräumen wird aktuell als die Hauptauswirkung der Installation von PV-Anlagen auf Freiflächen gesehen.

Solarpaneele sind außerdem technische Anlagen, die vor Vandalismus geschützt werden müssen bzw. von denen auch eine Gefährdung für Menschen z. B. durch elektrischen Schlag, ausgehen kann. Deshalb werden die Anlagen in der freien Landschaft in der Regel mit einem Zaun abgegrenzt. Diese Zäune führen zu einer

- deutlichen Fragmentierung und Verbauung der Landschaft und Erhöhen den Raumwiderstand bzw. vermindern die Konnektivität, also den Verbund von Habitatelementen und damit der Bewegung von Mittel- und Großsäugern im Raum.

Photozellen arbeiten nur effektiv bei niedrigen Temperaturen. Die Erhitzung der Oberfläche kann zu drastischen Leistungsabfällen führen, weshalb – nicht in Deutschland - z. B. in ariden Zonen mit hoher Sonneneinstrahlung mit aktiver Kühlung der Systeme gearbeitet werden muss. Das führt zu negativen Auswirkungen,

- wie sie auch von anderen Bewässerungsanlagen bekannt sind, wie Erhöhter Wasser-/Grundwasserverbrauch und Wasserverschmutzung (Moharram et al. 2013).

Die Kühlung ist auch ein Grund, warum PV-Anlagen zunehmend auch auf der Oberfläche von Gewässern angelegt werden. Hier können sie substantiell zur

- Beschattung und Reduktion der Verdunstung von Gewässern

beitragen, Effekte, die bei künstlich angelegten Gewässern und im urbanen Raum aber explizit gewünscht sind (Chang et al. 2014; Sahu et al. 2016). Diese Entwicklung spielt zur Zeit nur außerhalb von Mitteleuropa eine Rolle, sollte aber für die Zukunft als Möglichkeit mitgedacht werden.

Die genannten, negativen anlage- bzw. betriebsbedingten Effekte sind vor allem dann bedeutsam, wenn PV-Paneele großräumig an Stellen platziert werden sollen, die auch Elemente des überregionalen Biotopverbundes sind. Ähnliche Auswirkungen werden auch von Lovich und Ennen (2011) sowie Tsoutsos et al. (2005) beschrieben. Erstere führen zusätzlich noch Beeinträchtigungen des Genflusses, Änderungen des Mikroklimas, Umweltverschmutzung, Wasserverbrauch und Feuergefahr bis hin zur Verbrennung von Tieren an, wobei diese Studie in den USA durchgeführt wurde, wo z.T. in Deutschland bisher nicht verwendete Technologien zum Einsatz kommen, wie z. B. solarthermische Kraftwerke, die über große Spiegelkollektoren die Sonnenstrahlung auf einen zentralen Punkt lenken und dort konzentrieren. Dabei entstehen sehr hohe Temperaturen an der Oberfläche und in der den Konzentrationsbereich umgebenden Luft. Bisher unbekannt sind nach diesen Autoren auch noch Einflüsse des Anlagendesigns, der Wahl des Konstruktionsortes und die kumulativen Effekte auf regionale Tierpopulationen.

Des Weiteren kann es Auswirkungen durch die Abstrahlung von polarisiertem Licht durch die Anlagen geben. Natürlich bedingt sind solche Effekte beim Auftreffen von Licht auf Gewässeroberflächen. Anthropogen bedingt kommen diese Effekte an glatten, dunklen, feuchten oder spiegelnden Oberflächen (z. B. feuchter Asphalt, Solarpaneelen) vor und können dadurch auf Tiere (z. B. Insekten, Vögel), die sich an polarisiertem Licht orientieren irritierend wirken. So wurde bereits beobachtet, dass Enten deshalb weitestgehend ungebremst in der Abenddämmerung auf feuchten Asphaltstraßen landen (Horváth et al. 2009), Wasserinsekten versuchen ihre Eier auf asphaltierten Wegen abzulegen oder durch vertikale polarisierende Oberflächen angezogen werden (z. B. Köcherfliegen Trichoptera). Horváth et al. (2009) beschreiben eine ganze Reihe solcher Effekte, die zu Kettenreaktionen und ökologischen Fallen führen können, z. B. weil die Tiere wertvolle Energie durch Fehlleitung verlieren oder aber zum Ablegen von Eiern auf Oberflächen angeregt werden, die zwar wie eine Wasseroberfläche anmuten, aber tatsächlich aus Glas sind.

Von Solaranlagen geht aktuell keine Luftraum- oder sonstige Kollisionsgefährdung einher, deshalb müssen sie auch nicht aktiv mit Warnlichtern „befeuert“ werden. Betriebsbedingte Attraktionseffekte durch Kunstlicht (*ALAN – Artificial Light at Night*), wie sie z. B. bei WEA auftreten (Marques et al. 2014; Tabassum-Abbasi et al. 2014), können deshalb weitestgehend ausgeschlossen werden.

PV-Anlagen auf Freiflächen können auch bedingt positive Effekte erzeugen, nämlich dann, wenn die Errichtung eines Solarparks mit extensiv gepflegter Bodenvegetation an Stelle einer vorher intensiv agrarisch genutzten Fläche erfolgt. Die positiven Effekte von bodenbedeckenden PV-Anlagen sind allerdings stark von der Art der Bepflanzung sowie der Form und Intensität der Pflege abhängig (Tröltzsch und Neuling 2013). Möglicherweise ergeben sich aber auch aus der Kombination von den technischen Elementen mit attraktiven Habitatementen ökologische Fallenwirkungen, die zu langfristigen negativen Folgen führen können (Horváth et al. 2009; Tröltzsch und Neuling 2013).

Wenig bekannt ist auch über Auswirkungen von PV-Anlagen auf Fledermäuse (u. a. Jessel und Kuler 2006). Denkbar sind sowohl Attraktionseffekte durch fliegende Insekten (u. a. auch als Kettenreaktion auf deren Anziehung durch die Solarpaneele, s.o.) als auch Ausgrenzungseffekte, weil die Flächen gegenüber dem vorherigen Zustand entwertet wurden. Letztere können ihre Ursache auch in der durch die für den Betrieb notwendigen Wechselrichter haben, die Ultraschall im Frequenzbereich zwischen 22-45 kHz aussenden (AG Fledermausschutz 2017).

Wie alle technischen Installationen zur Stromerzeugung benötigen Solaranlagen eine Zu- bzw. Ableitung für die Energie (Kabel) und eine Zuwegung zur Kontrolle und Wartung sowie

Pflege der Anlagenflächen.

Während der Bauphase kann es daher zu Beeinträchtigungen kommen, wie. Bodenverdichtung, Bodenaushub und -verlagerung, Versiegelung, Lärm und Staubbelastung. Bei Solarmodulen rechnet man mit einer Flächenbelastung von etwa 25 kg/m<sup>2</sup>. Im Freiland kann es durch die Einbringung von Betonpfosten oder die Auflage von Fundamenten zu kleinflächig höheren Belastungen kommen. Die Auswirkungen dürften aber auf Grund der zu bewegenden und installierten Massen um ein Vielfaches geringer sein, als z. B. bei der Installation von WEA, die z. B. ein mehrere hundert Tonnen schweres Fundament mit entsprechenden Aushubarbeiten, schwere Kräne und eine direkte Zuwegung benötigen. Auch die Entfernung der Installationen kann in der Regel ohne große Störung bzw. starke Verdichtung der Bodenoberfläche erfolgen.

Bei Vorher-Nachher Untersuchungen wurden hinsichtlich der nachfolgenden Wiederansiedlung von Singvögeln sowohl positive Effekte beim Braunkehlchen (*Saxicola rubetra*) als auch ausgeprägte Meidungsreaktionen bei Grauammern (*Emberiza calandra*) beobachtet (Heindl 2016). Der Autor berichtet hier: „*So kann das Braunkehlchen PV-FFA wieder als Lebensraum erschließen, nachdem sich nach deren Errichtung die Vegetationsverhältnisse und die damit assoziierten Nahrungsressourcen (Insektenfauna) regeneriert haben. Der durch die Modulreihen erzeugte Silhouetteneffekt wird offensichtlich durch die Art toleriert und steht einer Revieransiedlung nicht entgegen. Die Ansiedlungsprozesse der Grauammer werden hingegen durch die Solaranlagen offenbar langfristig beeinträchtigt.*“

Ähnliche Verdrängungseffekte wurden von Tröltzsch und Neuling (2013) beschrieben. Betroffen scheinen nach diesen Autoren vor allem Arten extensiv genutzter Flächen mit kleinflächiger Strukturierung (Hecken, Feldgehölze, Feldsäume) und mit hohem Anteil an staudenreicher Ruderalvegetation zu sein sowie Arten, die in Industriebrachen und Abbaugebieten vorkommen. Als Brutvogel vollständig aus den sieben untersuchten PV-FFA verschwunden waren Wachtel (*Coturnix coturnix*) und Sperbergrasmücke (*Sylvia nisoria*). Auch auf das Rebhuhn (*Perdix perdix*), den Wiesenpieper (*Anthus pratensis*), die Haubenlerche (*Galerida cristata*), den Feldschwirl (*Locustella naevia*), Ziegenmelker (*Caprimulgus caprimulgus*), Braunkehlchen, Neuntöter (*Lanius collurio*) und Grauammer hatte die Errichtung der Solarfelder überwiegend negative Auswirkungen (Tröltzsch und Neuling 2013). Im Detail hängen die Wirkungen sehr stark von den konkreten Ausgestaltungen und der Behandlung der Grünflächen ab, die vermutlich auch eine Auswirkung auf die Vegetationsstruktur und das Vorkommen von Insektenarten haben und darüber dann das Vorkommen und die Mortalität der o.g. Vogelarten beeinflussen.

Auch Jessel und Kuler (2006) sowie Hernandez et al. (2014) geben einen Überblick über die zu erwartenden Auswirkungen. Darunter finden sich auch Wirkungen auf das Landschaftsbild, dass durch die großflächige Inanspruchnahme mit reflektierenden Flächen, die optische Fragmentierung sowie die technische Überprägung in seiner Ästhetik und Sichtwirkung beeinträchtigt wird.

Tatsächlich besteht hier aber noch ein erhebliches Wissensdefizit, das betrifft sowohl die quantitativen Auswirkungen der negativen Effekte als auch der Potentiale für positive Auswirkungen (u. a. Hernandez et al. 2014). Zusätzliche Erkenntnisse können hier nur über langfristige Beobachtungen (Monitoring) oder gezielte langfristige Untersuchungen an ausgewählten Standorten herausgefunden werden.

Grundsätzlich darf aber davon ausgegangen werden, dass die Installation von PV-Anlagen im Offenland, z. B. auf landwirtschaftlich nutzbaren Böden oder Konversionsflächen, auf Grund der Konkurrenz um den für Schutzgegenstände zur Verfügung stehenden Raum, in



den meisten Fällen als eher negativ zu bewerten ist. Die beschriebenen Effekte skalieren vermutlich direkt mit Anzahl der Anlagen sowie mit der von PV-Anlagen eingenommenen Fläche. Wenn die Alternative allerdings eine intensivere landwirtschaftliche oder anderweitige technische Nutzung ist, können Flächen für PV-Anlagen durch die Bereitstellung von weniger intensiv genutzten Grünflächen auch einen positiven Beitrag in einer sonst eher intensiv genutzten Landschaft leisten. Bei der Installation im Siedlungsraum überwiegen nach bisheriger Erkenntnis die positiven Effekte. Aus diesem Grund sowie aus Gründen der verbrauchernahen Erzeugung ist aus Sicht des Naturschutzes die Installation von Photovoltaikanlagen auf Dach- und Gebäudeflächen zu bevorzugen und die der Installation auf Freiflächen zu begrenzen.

### **Treiber**

Haupttreiber in diesem Konfliktfeld sind das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG 2017) bzw. sein Vorgänger das Stromeinspeisungsgesetz (1990). Das EEG legt den Anteil der erneuerbaren Energien am Strommarkt in Form von Mindestzielen, bzw. Mindest- und Maximalzielen (Ausbaukorridoren) fest. In Anpassung an technische Entwicklungen und zum Teil auch nachträglich festgestellte, durch das Gesetz bedingte Fehlsteuerungen (siehe Response) wurden und werden fortlaufend Anpassungen in der Formulierung und den Förderbedingungen vorgenommen, die das Geschehen steuernd beeinflussen. Für den hier behandelten Sachverhalt ist nicht der Anteil von EE an der Gesamtstromerzeugung das Problem, dieser sollte auch aus Naturschutzsicht steigen, sondern die Gesamtmenge an Energie, die erzeugt werden muss, um aktuelle Bedarfe zu befriedigen. Diese sollte bei einem möglichst hohen Anteil an EE möglichst klein sein oder im besten Fall sogar sinken. Zu messen wären dementsprechend die Ausbauziele des EEG und der Gesamtenergiebedarf als Treiber. Gleichzeitig muss aber auch die Effizienz der Anlagen berücksichtigt werden, aus der sich der Flächenbedarf für die Anlagen ergibt.

Das EEG ist zwar für die Zulässigkeit von PV-Anlagen nicht maßgebend; ohne die über das Gesetz festgelegte Mindestvergütung entstünde jedoch sicher kein spezieller Anreiz zur Realisierung derartiger Anlagen auf Freiflächen (PV-Freiflächenanlagen) und damit kein starker Nutzungsdruck auf die Freifläche.

### **Druck**

Der Druck auf die Schutzgegenstände Landschaft bzw. Lebensraumhabitats ist in diesem Konflikt in engem Zusammenhang mit der für die Installation der Module in Anspruch genommenen Fläche zu sehen. Diese Informationen sollten bei Auswertungen noch in Verbindung mit folgenden Informationen gebracht werden:

- vorherige Flächennutzung / Art,
- überdeckte Fläche,
- Wirkungsgrad der Module,
- Bewirtschaftung / Pflege,
- Überlappung mit / Fragmentierung von Verbundkorridoren,
- Anteil von Anlagen geordnet nach Umzäunung Form und Ausmaß von Zuleitung und Zuwegung.

Zusätzlich zur Fläche und den eben genannten qualitativen Informationen können Distanzindikatoren (*nearest neighbour, signed distance fields*) zur Beschreibung des durch die Installation zunehmenden Druckes verwendet werden.

Da es bisher noch kaum Informationen über die graduellen Unterschiede in der Wirkung bestimmter Bauarten gibt, sollte darauf geachtet werden, dass die Informationen über die technische Ausrüstung / Bauart hinreichend und in standardisierter Form dokumentiert werden:

- Typ der Module,
- Herstellerbezeichnung nach Datenblatt,
- Oberflächeneigenschaften, Anbringung,
- Ausrichtung und Anordnung,
- Leistungsparameter,
- Fläche der Module und beanspruchte (umzäunte) Gesamtfläche.

Mit solchen Daten ließe sich im Idealfall quali- und quantifizieren, welche Flächennutzungsformen/ Lebensräume von der Bedeckung mit PV-Anlagen bevorzugt betroffen sind und ob es hier zu einer Konfliktsituation kommt. Eine solche Konfliktsituation ist z. B. die bevorzugte Nutzung von Trockenlebensräumen auf Konversionsflächen. Die Auswirkungen sind vergleichbar zum Verlust von Brache und Grünland zugunsten von Mais und Raps im Bereich Biomasse-/Biokraftstoffproduktion (Klenke et al. 2017). Die Installation kann möglicherweise aber auch zur Aufwertung von Lebensräumen durch die Anlage großflächiger extensiv gepflegter Grünflächen bei z. B. vorheriger intensiver Ackernutzung führen. Darüber hinaus kann beobachtet werden, wie der Ausbau von Photovoltaik im Verhältnis zur Etablierung von Verbundelementen für gefährdete und geschützte Habitate steht. Schlussendlich würde eine gute Dokumentation der technischen Ausstattung auch nachträgliche Analysen von technologiebedingten Effekten auf großer Fläche und in vielfältigen Kontexten möglich machen, wenn parallel auch Informationen über potentiell von negativen oder auch positiven Effekten betroffene Arten erhoben werden. Letzteres muss nicht notwendigerweise flächendeckend geschehen. Mit einigen gut designten Freilandstudien könnten zum Beispiel generelle Wirkungen und Effekte auf Tier- und Pflanzenpopulationen beschrieben und dann über die Fläche hochskaliert werden. Das ist für all solche Arten von Bedeutung, für die es voraussichtlich nie ein flächendeckendes Monitoring geben wird. Für die betroffenen Lebensräume ist ein flächenbezogener Indikator dagegen eine sehr gute Wahl.

Als geeignete Messgröße für den Druck auf den Schutzgegenstand in diesem Konflikt erscheinen uns deshalb als besonders geeignet:

1. die Dokumentation des zeitlichen Verlaufes der insgesamt für PV-Anlagen verbrauchten Fläche unter Mitführung der detaillierten Raumkoordinaten zur bedarfsweisen Darstellung räumlicher Schwerpunkte (was zukünftig durch das Marktstammdatenregister - MaStR erfolgen wird),
2. der zeitliche Verlauf der Fläche die sich aus der Überlappung der Flächen von Schutzgegenständen (z. B. in Roten Listen oder FFH-Richtlinie geführte Trockenhabitate), Schutzinstrumenten (z. B. Naturschutzgebiete, Überregionale Verbundkorridore) und Flächenkategorien von besonderem Interesse (z. B. Konversionsflächen),
3. die zeitliche Entwicklung der Relation zwischen den vorzeichenbehafteten Distanzen zu den Grenzen der PV-Anlagen und den vorzeichenbehafteten Distanzen zu den Grenzen von Schutzgegenständen und Schutzinstrumenten

Auf Grund der relativ geringen Ausdehnung der Flächen (im Verhältnis zur Bundesfläche, sollten die in Punkt 3 erwähnten Distanzen aber in einer Auflösung von weniger als 1 Ha berechnet werden, um auch feinere Veränderungen erkennen zu können.

Diese drei Messgrößen geben einen Hinweis auf die räumlichen Beziehungen und den Flächenverlust durch Umwandlungen in eine andere Nutzungsform bzw. die Überlagerung von Nutzungsformen.

Auch hier werden sich viele Erkenntnisse erst wieder rückwirkend, durch den Vergleich dieser Messwerte mit anderen Größen ergeben. Es ist nur begrenzt möglich, Empfehlung zu geben (wie bereits weiter oben in diesem Abschnitt geschehen), da Zusammenhänge komplex sind und sich im Verlauf der Zeit ändern können. Empfohlen wird hier folgender Indikator:

- **Zeitlicher Verlauf der Fläche, die sich aus der Überlappung der Flächen von Schutzgegenständen (z. B. in Roten Listen oder FFH-Richtlinie geführte Trockenhabitate), Schutzinstrumenten (z. B. Naturschutzgebiete, Überregionale Verbundkorridore) und Flächenkategorien von besonderem Interesse (z. B. Konversionsflächen) ergibt.**

Für diesen Indikator ist auch die Dokumentation des zeitlichen Verlaufes der insgesamt für PV-Anlagen verbrauchten Fläche unter Mitführung der detaillierten Raumkoordinaten nötig.

### **Zustand**

Als Messgröße für den Zustand der Schutzgegenstände können zum einen Informationen über Tier und Pflanzenpopulationen herangezogen werden, die im Rahmen des allgemeinen umfassenden Biodiversitätsmonitorings erhoben werden (BfN 2018). Allerdings wäre es auch sinnvoll und nötig, die Qualität der genutzten Flächen zu beschreiben und den Zustand der darin lebenden Tier- und Pflanzengemeinschaften zu dokumentieren, um sowohl den Verlust und Qualität als auch Quantität der entsprechenden Lebensräume zu dokumentieren. In einigen Bundesländern stehen hierfür Daten aus der Biotop- und Nutzungsstrukturkartierung für eine Grobeinschätzung des Ausgangszustandes zur Verfügung, das ist aber nicht in allen Bundesländern der Fall.

Flächendeckend gibt es kaum Daten zum Zustand der Schutzgegenstände, die in einer hinreichenden Auflösung und räumlichen Abdeckung vorliegen, um einen direkten räumlichen Zusammenhang zwischen den Entwicklungen herzustellen. Es ist auch unwahrscheinlich, dass dies in Zukunft geschehen wird.

Aus diesem Grunde ist es im Hinblick auf weiteren Forschungsbedarf unbedingt nötig, derartige Informationen aus den Planungsunterlagen, in die unter anderem Ergebnisse aus den Voruntersuchungen und Kartierungen einfließen, zentral zu dokumentieren. Das gilt vor allem für PV-Anlagen im Offenland. Es wäre auch sinnvoll ein Stichprobendesign für speziell diese Flächen zu entwerfen, um dann dort eine regelmäßige Kontrolle der Vegetation sowie der Insekten, Brutvogelbestände und evtl. auch Fledermausjagdgesellschaften durchzuführen. Sinnvoller wäre es noch, wenn im Rahmen jedes dieser Vorhaben eine Vorher-Nachher Untersuchung mit bundesweit einheitlich standardisiertem Design durchgeführt würde, die einen in der Auflösung gestaffelten Zeithorizont von 5, 10 und 20 Jahren beinhaltet und deren Ergebnisse ebenfalls zentral dokumentiert bzw. zusammengeführt werden.

Für den Zustand der Schutzinstrumente (z. B. Arondierung von Naturschutzgebieten, nachträgliche Fragmentierung von Lebensraum-Verbundkorridoren) können Angaben zum Flächenverlust durch Nutzungsänderung oder zur Fragmentierung gemacht werden.

Mögliche Messgrößen für den Zustand sind also

- Angaben über die Qualität und den Erhaltungszustand der geschützten Lebensräume, Pflanzen- und Tierarten auf den von der Umnutzung betroffenen Flächen;

- Angaben zum zeitlichen und räumlichen Verlauf des Verlustes an Fläche von Habitaten, Lebensräumen sowie Schutzinstrumenten durch die spezielle Umnutzung als PV-Anlage und
- der zeitliche Verlauf der Werte von ausgewählten Landschaftsstrukturparametern auf Patch bzw. Klassenbasis (z. B. Fraktaler Index, Integral der inneren Distanzen, Kreisförmigkeitsindex usw.; (Kappler 1997, 2015; McGarigal et al. 2012) zur Beschreibung der Formänderungen bzw. Fragmentierung von Schutzinstrumenten durch PV-Anlagen.

Auf räumlich übergeordneter Ebene können dann noch Angaben zum Vorkommen und zum

- Zustand von Populationen sowie Lebensräumen aus anderen Bereichen des Biodiversitätsmonitorings der Länder und des Bundes (BfN) herangezogen werden und mit Informationen zu Lage und Fläche von PV-Anlagen verschnitten werden (<https://www.bfn.de/themen/monitoring.html>).

Bei einer notwendigen Beschränkung auf nur einen bundesweiten Indikator für den Zustand wird empfohlen, dass die

- **Angaben zum zeitlichen und räumlichen Verlauf des Verlustes an Fläche von Habitaten, Lebensräumen sowie Schutzinstrumenten durch die spezielle Umnutzung als PV-Anlage**

und der

- **Zustand von Populationen sowie Lebensräumen aus anderen Bereichen des Biodiversitätsmonitorings der Länder und des Bundes (BfN)** herangezogen werden und mit Informationen zu Lage und Fläche von PV-Anlagen verschnitten werden (<https://www.bfn.de/themen/monitoring.html>).

Dafür sind erst noch Zusammenstellungen und Aufbereitungen von vor allem biologischen Daten sowie weiterführende statistische Untersuchungen nötig. Die im Projekt zusammengestellten Informationen zum zeitlichen und räumlichen Verlauf des Verlustes an Fläche von Habitaten, Lebensräumen sowie Schutzinstrumenten durch die spezielle Umnutzung als PV-Anlage sind nur eine Messgröße für den Zustand der Landschaft, kein Indikator für den Zustand der biotischen Schutzgegenstände.

### **Auswirkung**

Eine kausale Analyse der bereits weiter oben genannten Auswirkungen ist nur mit sehr dezidierten und passfähigen Daten über die direkt betroffenen oder angrenzenden Lebensräume sowie die darin vorkommende Pflanzen und Tierarten durchzuführen. Das erfordert die gleichen Datengrundlagen, wie sie bereits in den Abschnitten Treiber und Zustand erwähnt wurden.

Die Auswirkungen ließen sich dann über die

- **Statistischen Zusammenhänge im zeitlichen und räumlichen Verlauf zwischen den Messgrößen aus den Abschnitten Treiber und Zustand**

sowie unter Einbeziehung weiterer Daten über relevante Umweltfaktoren beschreiben. Dabei sind Angaben über die anteiligen Einflussgrößen der analysierten Faktoren zu erwarten. Diese sagen aber unter Umständen noch nichts über zugrundeliegende Mechanismen und funktionale Zusammenhänge auf, für deren Analyse möglicherweise noch tiefere Spezialuntersuchungen an ausgewählten Fallbeispielen erforderlich sind bzw. die aus bereits durchgeführten Studien abgeleitet werden können. Auf Grund unterschiedlichen Qualitäten

und Auflösungen der vorhandenen Daten sowie der räumlichen Integration von Einzelwirkungen bei der Zusammenführung ist nicht zu erwarten, dass Analysen im Bundesmaßstab, der Projektionsfläche des Vorhabens, zu detaillierten Informationen über die Wirkung einzelner Faktoren führen, statt dessen können Auswertungen auf dieser räumlichen Ebene Informationen über Trends, Schwellenwerte und mögliche Kippunkte in den Entwicklungen liefern.

## Reaktion

PV-Anlagen sind statisch, d. h. ihre Wirkung geht vor allem aus ihrer Platzierung, räumlichen Anordnung der Module und dadurch hervorgerufene Effekte (z. B. Beschattung, Blendung, Anziehung) hervor. Sie lassen sich nicht abschalten, wie z. B. Windkraftanlagen. Die Reaktion auf eine Beeinträchtigung kann also kaum durch eine Einschränkung des Betriebes erfolgen, sondern nur durch eine möglichst schon im Planungsprozess festgelegte umweltschonende Platzierung und Gestaltung. Weitere Möglichkeiten der Reaktion auf eine Beeinträchtigung können in der Anpassung der Pflegemaßnahmen gesehen werden. Auch die Verringerung des Flächenbedarfes durch den Einsatz von Modulen mit größeren Wirkungsgraden kann als Response gesehen werden. In letzter Konsequenz besteht die Option des Rückbaus, sollte sich entweder a) eine Reduktion des Energiebedarfs ergeben und/oder b) eine klare Beeinträchtigung des Erhaltungszustandes von geschützten Arten nachweisbar sein. Hier können also entsprechende Messungen im Monitoring ansetzen und die Flächenbalance von Aus- oder Rückbau aufzeigen. Barrierewirkungen können zum Teil durch Abänderungen in der Konstruktion der Zäune verringert werden.

Als Messgröße für die gesellschaftliche Reaktion auf mögliche negative oder positive Auswirkungen der Installation von PV-Anlagen, also die Response, können daher sowohl betrachtet werden:

- der zeitliche Verlauf des Verhältnisses zwischen Flächenbedarf und Leistung der PV-Anlagen,
- der Flächenanteil von Anlagen mit besonders durchlässigen Abgrenzungen,
- der Flächenanteil von Anlagen mit besonders naturverträglicher Pflege und wertvollen Habitats-elementen,

aber auch

- der zeitliche Verlauf der rückgebauten Fläche absolut sowie im Verhältnis zur Gesamtfläche

betrachtet werden.

Mit dem Blick auf die bereits oben erwähnte gewünschte Vermeidung weiterer Verluste an naturschutzfachlich wertvollen Flächen wird für die Dokumentation empfohlen den Indikator

- **zeitlicher Verlauf der rückgebauten PV-Freiflächenanlagen absolut sowie im Verhältnis zur Gesamtfläche bzw. die Bilanz aus neu- und rückgebauten PV-Freiflächenanlagen unter Angabe der Flächenkategorie, auf denen die Anlage bzw. der Abbau erfolgte.**

### 5.3.3 Bewertung der Datenverfügbarkeit und Aussagekraft der Indikatoren

Für jeden Indikator wurde festgehalten, ob die Daten verfügbar sind und im Rahmen der Laufzeit des Forschungsvorhabens erhoben werden konnten (1 = Daten nicht verfügbar, 2 = Daten verfügbar, aber Ergebnisse im Rahmen der Laufzeit des Forschungsvorhabens nicht mehr ermittelbar, 3 = Daten ermittelt bzw. durch einfache Übernahme bestehender Datensätze zu ermitteln). Zusätzlich wurde versucht, eine Einschätzung über die Aussagekraft des jeweiligen Indikators abzugeben. Wie gut beschreibt der Indikator im DPSIR-Schema des jeweiligen Konfliktes die tatsächliche Beeinträchtigung des Schutzgegenstandes (1 = sehr niedrig bis 5 = sehr hoch)? Hängt z. B. ein Indikator eines Konfliktes sehr eng mit den Auswirkungen der Technologie auf den entsprechen Schutzgegenstand zusammen (Aussagekraft = 5) oder hängt z. B. die Auswirkung von einer Vielzahl, in den Indikator nicht integrierbarer Quellen von Varianz ab (Aussagekraft < 5). Die Visualisierung der Werte zu Datenverfügbarkeit und Aussagekraft kann dabei eine zukünftige Selektion bestimmter Indikatoren bei begrenzten Mitteln unterstützen.

Aus Abbildung 87 ist ersichtlich, dass der Großteil der Indikatoren, welche den Treiber und den Zustand beschreiben, mit Daten hinterlegt werden können bzw. die Daten mit geringem Aufwand öffentlich verfügbaren Quellen entnommen werden können. Abbildung 87 zeigt außerdem, dass nur ein Teil der Auswirkungs- und Reaktionsindikatoren direkt berechnet werden konnte. Daten für diese Indikatoren liegen teilweise nicht vor bzw. sind teilweise nicht verfügbar.

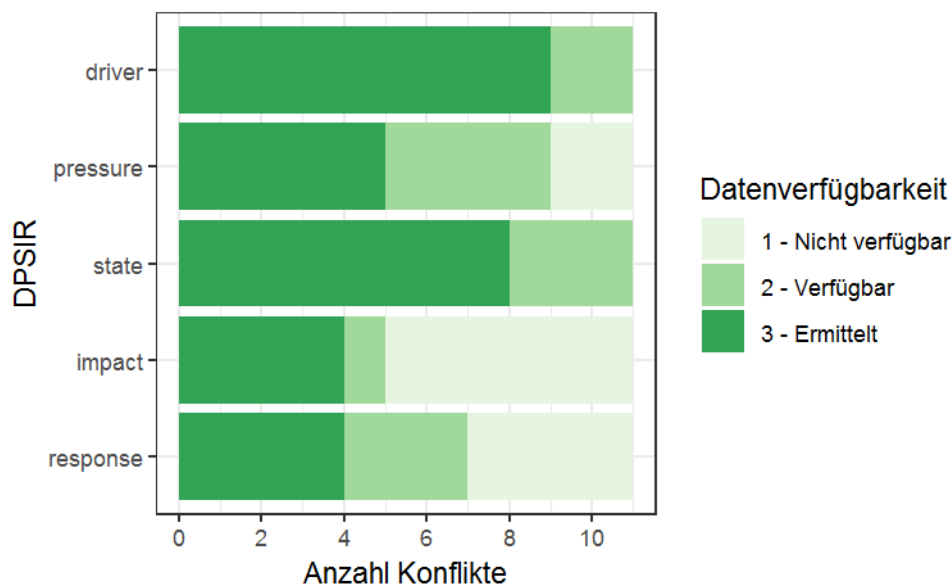


Abbildung 87: Datenverfügbarkeit der ermittelten Indikatoren. Auf der Y-Achse sind die fünf Einflussgrößen im DPSIR-Schema aufgetragen. Auf der X-Achse die Anzahl der Konflikte/Indikatoren für die eine bestimmte Datenverfügbarkeit gilt (1 = Daten nicht verfügbar, 2 = Daten verfügbar, aber Ergebnisse im Rahmen der Laufzeit des Forschungsvorhabens nicht mehr ermittelbar, 3 = Daten ermittelt bzw. durch einfache Übernahme bestehender Datensätze zu ermitteln).

Aus Abbildung 88 geht hervor, dass jedoch gerade die Treiberindikatoren, für welche aufgrund der festgelegten Ausbauziele im EEG eine gute Datenverfügbarkeit gewährleistet ist, in Bezug auf die Auswirkungen eine geringe Aussagekraft haben. Den Auswirkungs-, Druck- und Reaktionsindikatoren wird eine höhere Aussagekraft zugeschrieben. Die Zustandsdaten haben eine eher geringe bis mittlere Aussagekraft, da die Entwicklung des Zustandes vielen

weiteren, meist anthropogenen Einflüssen unterliegt. Für diese gilt aber eine meist gute Datenverfügbarkeit, da teilweise die entsprechenden Schutzgegenstände im Rahmen naturschutzbezogener Monitoringsysteme, meist koordiniert durch das BfN, erfasst werden.

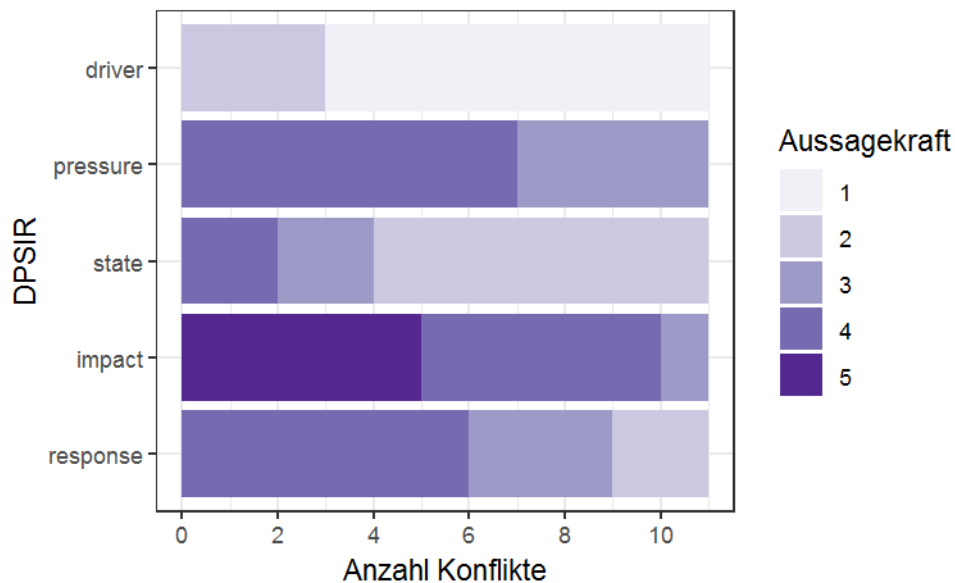


Abbildung 88: Aussagekraft der ermittelten Indikatoren. Auf der Y-Achse sind die fünf Einflussgrößen im DPSIR-Schema aufgetragen. Auf der X-Achse die Anzahl der Konflikte/Indikatoren für die eine bestimmte Aussagekraft angegeben wurde (1 = sehr niedrig bis 5 = sehr hoch).

### Fazit

Über eine Befragung der Mitglieder der projektbegleitenden Arbeitsgruppe wurden die 55 identifizierten Konflikte anhand der Konfliktrelevanz priorisiert. Für elf als am relevantesten identifizierte Konflikte erfolgte dann eine vertiefte Indikatorherleitung und -bearbeitung im Rahmen des Konflikt-Monitorings. Dieses Vorgehen stellt einen ersten Annäherungsversuch an das Thema Konfliktpriorisierung bzw. -auswahl dar, da im Rahmen des Forschungsvorhabens keine weitergehenden Befragungen zur Einschätzung der Konfliktrelevanzen vorgesehen waren sowie die entsprechende Literatur fehlte. Zwar sollte ein bundesweites naturschutzfachliches Monitoring die damit verbundenen potenziellen Konflikte möglichst umfassend berücksichtigen, jedoch sinkt die Praktikabilität und politische Kommunizierbarkeit eines Monitoringsystems mit zunehmender Anzahl der zu überwachenden Konflikte.

Die im Forschungsvorhaben identifizierten Konflikte stellen oftmals schwer zu quantifizierende Wirkzusammenhänge dar. Im Forschungsvorhaben wurde der DPSIR Ansatz der Europäischen Umweltagentur als geeignet identifiziert und angewandt, um die gesamte kausale Kette (Treiber, Druck, Zustand, Auswirkung und Reaktion) in der Beschreibung und Messung der Konflikte bzw. Auswirkungen zwischen dem Ausbau der erneuerbaren Energien und dem Naturschutz zu berücksichtigen. Im Konflikt-Monitoring wurden daher für jeden der elf Konflikte fünf Indikatoren/Indikatorenbereiche bearbeitet, wobei für alle Konflikte das Erneuerbare-Energien-Gesetz als Treiber fungiert. Aus den Ergebnissen der Indikatorherleitung ist ersichtlich, dass der Großteil der Indikatoren, welche den Treiber und den Zustand beschreiben, mit Daten hinterlegt werden können bzw. die Daten mit sehr geringem Aufwand öffentlich verfügbaren Quellen entnommen werden können. Jedoch entfalten diese Indikatorbereiche hinsichtlich der naturschutzbezogenen Auswirkungen nur eine geringe bis mittlere Aussagekraft. Insbesondere die Entwicklung des Zustandes unterliegt meistens vielen weiteren

Einflüssen. Den Indikatoren für die Bereiche Druck, Auswirkung und Reaktion wird eine höhere Aussagekraft zugeschrieben, jedoch können diese nur für einen Teil direkt berechnet werden, da die dafür notwendigen Daten teilweise nicht vorliegen oder nicht öffentlich zugänglich sind. Insbesondere die Auswirkungs-Indikatoren sind aus wissenschaftlicher Sicht unabdingbar für eine Quantifizierung der Auswirkungen, erfordern jedoch teilweise aufwendige Erhebungen und Berechnungen bzw. Modellierungen. Sie sind in ihrer Komplexität und unter der Berücksichtigung statistischer Unsicherheiten nur bedingt für die politische Kommunikation oder Ableitung von Maßnahmen geeignet.



## **6 Raum-Monitoring**

*Katja Bunzel, Marcus Eichhorn, Rita Keuneke, Pascal Kinast, Reinhard Klenke, David Manske, Björn Schinkel*

### **6.1 Erfassung des räumlichen und strukturellen Ausbaus der erneuerbaren Energien**

Im Unterschied zu den von der installierten Kapazität her großen und räumlich konzentrierten fossilen Stromerzeugungseinheiten sind die Anlagen der erneuerbaren Energien in hoher Anzahl dezentral im Raum angeordnet. Daher ist die Erfassung der räumlichen Lage und der räumlichen Beziehungen der EE-Anlagen sowie deren Stromnetzes ein weiteres wichtiges Element für das Verständnis ihrer Auswirkungen auf Natur und Landschaft. Die Funktion des Raum-Monitoring ist es daher u. a. zu ermitteln (1) wo die EE-Anlagen stehen, also z. B. auf Ackerflächen, im Wald, auf Infrastrukturbegleitflächen, in Schutzgebieten (Lage), (2) welchen Abstand sie z. B. zu Schutzgebieten, wie z. B. Vogelschutzgebieten, einnehmen (Entfernungen) und (3) wie viele Anlagen in einem Bezugsraum errichtet wurden (Dichte). Das Raum-Monitoring bietet daher die Möglichkeit den potenziellen Druck auf die verschiedenen Schutzgegenstände zu beschreiben und stellt flächendeckende Informationen zum räumlichen und strukturellen Ausbau der erneuerbaren Energien und deren Stromnetzes im Zeitverlauf bereit. Es generiert daher wichtiges Grundwissen, was über reine Anlagenbestandzahlen hinausgeht.

### **6.2 Technologiespezifische Messgrößen**

Die räumliche und strukturelle Entwicklung der EE-Anlagen und des Netzausbaus werden quantitativ auf Grundlage der im EE-Monitor Forschungsvorhaben erstellten Datensätze (Kapitel 2) durch sogenannte Messgrößen abgebildet. Grundsätzlich unterscheiden sich die EE-Technologien in ihren technischen Eigenschaften und räumlichen Anforderungen, was sich letztlich auch in ihrer ökologischen Raumwirkung widerspiegelt. Daher wurden technologiespezifische Messgrößen entwickelt. Die Messgrößen beinhalten kumulierte und raumbezogene Größen oder erfassen Anteile an einer Bezugsgröße. Tabelle 36 zeigt, welche Messgröße für welche EE-Technologie und für welchen räumlichen Bezug entwickelt wurde. Für jede Messgröße des Raum-Monitorings wurde ein entsprechender Steckbrief erstellt, die sich im Materialband wiederfinden (RM 1 bis RM 36). In diesen findet sich, neben einer Kurzbeschreibung der Messgröße, auch Angaben über die Berechnungsmethodik und die Datengrundlage. Außerdem enthalten die Steckbriefe Angaben über den räumlichen, geographischen und zeitlichen Bezug der Messgröße. Im Ergebnissteil der Steckbriefe werden die Berechnungsergebnisse in tabellarischer oder grafischer Form präsentiert.

Die wichtigste Datengrundlage zur Berechnung der Messgrößen bilden die im EE-Monitor Forschungsvorhaben gesammelten technologiebezogenen Anlagedaten (Kapitel 2). Sie umfassen die im Raum verorteten Anlagenstandorte mit Angaben zum Inbetriebnahmejahr und zur installierten Anlagenleistung sowie weitere technologiespezifische Angaben wie etwa die Nabenhöhe für Windenergieanlagen oder den Typ der Bioenergieanlage. Neben den technologiebezogenen Anlagedaten wurden frei zugängliche Geodaten (Open Geodata) verwendet, die im Detail in den jeweiligen Steckbriefen im Materialband aufgeführt sind.

Tabelle 36: Übersicht über die technologiespezifischen Messgrößen des Raum-Monitorings.

Messgröße	Raumbezug	Technologiebezug	Messeinheit
Anlagendichte	je Landkreis	Windenergie Bioenergie Wasserkraft	n/km <sup>2</sup>
	je Bodenbedeckungsklasse	Windenergie Bioenergie	
Installierte Anlagenleistung	je Landkreis	Windenergie PV-Freiflächen Bioenergie Wasserkraft	MW
	je Ackerflächen je Landkreis	Biogas	
Anlagenfläche	je Landkreis	PV-Freiflächen	km <sup>2</sup>
	in Schutzgebieten	PV-Freiflächen	ha
	je Bodenbedeckungsklasse	PV-Freiflächen	%
	auf Infrastrukturbegleitflächen	PV-Freiflächen	%
Anlagenabstand	zu Schutzgebieten	Windenergie PV-Freiflächen	km
		Bioenergie	
Anlagenanzahl	je Fließgewässerslänge je Landkreis	Wasserkraft	n/km
	in Schutzgebieten	Windenergie Bioenergie Wasserkraft	
Verteilung Substrateinsatz	je Bundesland	Biogas	%
Eingesetzte Substratmengen NawaRo	je Bundesland	Biogas	t
Potentieller Flächenbedarf Energiepflanzen	je Bundesland	Biogas	ha
Leitungslänge der Hoch- und Höchstspannung	in Deutschland	Freileitungen	km
	in Gebieten der Avifauna durch Wald und FFH-Waldflächen	Freileitungen	km
Querungskilometer	in Schutzgebieten	Freileitungen	
	Leitungsichte	in Gebieten der Avifauna durch Wald und FFH-Waldflächen	Freileitungen
in Schutzgebieten		Freileitungen	

Die Ermittlung der Messgrößen erfolgte größtenteils unter Anwendung der Geoinformationssystem-Software ArcGIS. Um den teilweise äußerst zeit- und arbeitsintensiven Berechnungsprozess zu automatisieren sowie die Reproduzierbarkeit der Berechnungsergebnisse zu gewährleisten, wurde auf der Grundlage der Programmiersprache Python, ein Berechnungsprogramm entwickelt. Dieses bündelt die aufeinander folgenden Berechnungsvorschriften und ermöglicht eine effiziente und valide Berechnung der Messgrößen. Das Berechnungsprogramm ist dabei so konzipiert, dass es auf unterschiedliche räumliche Fragestellungen angewendet werden kann. Es besitzt eine grafische Benutzeroberfläche mit einer Eingabemaske, über welche die entsprechenden Eingangsdaten geladen, Berechnungseinstellungen getroffen und die Ausgabeorte der Berechnungsergebnisse festgelegt werden können.

In den meisten Fällen ist nicht einmal eine Aufbereitung der Eingangsdaten notwendig. Insgesamt beinhaltet das Programm drei Berechnungsfunktionen. Die erste Berechnungsfunktion ermöglicht es raumbezogene Messgrößen, wie etwa die installierte Leistung je Landkreis, zu ermitteln. Mit den zweiten Berechnungsfunktionen lassen sich landnutzungsbezogene Messgrößen bestimmen und mit der Dritten Abstände zu Objekten berechnen, beispielsweise den Abstand zu Schutzgebieten. Das Programm lässt sich aktuell nur über ArcGIS Pro einbinden und ausführen.

Im Folgenden werden für jede EE-Technologie die in Tabelle 36 genannten Messgrößen für das Raum-Monitoring kurz inhaltlich erläutert. Eine umfangreichere Beschreibung der entsprechenden für das EE-Monitoring vorgeschlagenen Messgrößen befindet sich in den technologiespezifischen Steckbriefen im Materialband (RM 1 bis RM 36).

### **6.2.1 Windenergie**

Für die Windenergie wurden die folgenden Messgrößen berechnet:

#### **RM 1: Anlagendichte der Windenergie je Landkreis (n/km<sup>2</sup>)**

Die Messgröße ermittelt die kumulierte Anzahl der Windenergieanlagen je Quadratkilometer Landkreisfläche im Zeitverlauf.

#### **RM 2: Installierte Anlagenleistung der Windenergie je Landkreis (MW)**

Die Messgröße ermittelt die kumulierte installierte Leistung der Windenergieanlagen je Landkreis im Zeitverlauf.

#### **RM 3: Anlagendichte der Windenergie je Bodenbedeckungsklasse (n/km<sup>2</sup>)**

Die Messgröße ermittelt die kumulierte Anzahl der Windenergieanlagen je Quadratkilometer CORINE-Bodenbedeckungsklasse im Zeitverlauf.

#### **RM 4: Anlagenabstand der Windenergie zu Schutzgebieten (km)**

Die Messgröße ermittelt die räumliche Entfernung der kumulierten Anzahl der Windenergieanlagen zu Schutzgebieten im Zeitverlauf. Folgende Schutzgebiete wurden dabei berücksichtigt: Naturschutzgebiete, Landschaftsschutzgebiete, Nationalparke, Naturparke, Biosphärenreservate, Natura 2000 Gebiete.

#### **RM 5: Anlagenanzahl der Windenergie in Schutzgebieten (n)**

Die Messgröße ermittelt die kumulierte Anzahl und den Anlagenzubau der Windenergieanlagen in Schutzgebieten im Zeitverlauf. Folgende Schutzgebiete wurden dabei berücksichtigt: Naturschutzgebiete, Landschaftsschutzgebiete, Nationalparke, Naturparke, Biosphärenreservate, Natura 2000 Gebiete.

### **6.2.2 Photovoltaik-Freiflächen**

Für die Photovoltaik-Freiflächenanlagen wurden die folgenden Messgrößen berechnet:

#### **RM 6: Anlagenfläche der Photovoltaik-Freiflächen je Landkreis (km<sup>2</sup>)**

Die Messgröße ermittelt die kumulierte Fläche der Photovoltaik-Freiflächenanlagen je Landkreis im Zeitverlauf.

#### **RM 7: Installierte Anlagenleistung der Photovoltaik-Freiflächen je Landkreis (MW)**

Die Messgröße ermittelt die kumulierte installierte Leistung der Photovoltaik-Freiflächenanlagen je Landkreis im Zeitverlauf.

### **RM 8: Anlagenfläche der Photovoltaik-Freiflächen je Bodenbedeckungsklasse (%)**

Die Messgröße ermittelt den kumulierten Flächenanteil der Photovoltaik-Freiflächenanlagen je CORINE-Bodenbedeckungsklasse im Zeitverlauf.

### **RM 9: Anlagenabstand der Photovoltaik-Freiflächen zu Schutzgebieten (km)**

Die Messgröße ermittelt die räumliche Entfernung der kumulierten Anzahl von Photovoltaik-Freiflächenanlagen zu den Schutzgebieten im Zeitverlauf. Folgende Schutzgebiete wurden dabei berücksichtigt: Naturschutzgebiete, Landschaftsschutzgebiete, Nationalparke, Naturparke, Biosphärenreservate, Natura 2000 Gebiete.

### **RM 10: Anlagenfläche der Photovoltaik-Freiflächen in Schutzgebieten (ha)**

Die Messgröße ermittelt die kumulierte Fläche und den Flächenzubau der Photovoltaik-Freiflächenanlagen in Schutzgebieten im Zeitverlauf. Folgende Schutzgebiete wurden dabei berücksichtigt: Naturschutzgebiete, Landschaftsschutzgebiete, Nationalparke, Naturparke, Biosphärenreservate, Natura 2000 Gebiete.

### **RM 11: Anteile der Anlagenfläche der Photovoltaik-Freiflächen auf Infrastrukturbegleitflächen (%)**

Die Messgröße ermittelt den kumulierten Flächenanteil der Photovoltaik-Freiflächenanlagen an der im Forschungsvorhaben definierten „Infrastrukturbegleitfläche“. Infrastrukturbegleitflächen sind sinngemäß nach § 37 (1) Nr. 3c EEG 2017 längs zur Autobahn und zu Schienenwegen angrenzende Flächen mit einer Breite von 110 Metern. Nach EEG sind PV-Anlagen nur dann förderwürdig, wenn sich diese u. a. auf solchen Flächen befinden.

## **6.2.3 Bioenergie**

Für die Bioenergie wurden die folgenden Messgrößen berechnet:

### **RM 12: Anlagendichte der Bioenergie je Landkreis (n/km<sup>2</sup>)**

Die Messgröße ermittelt die kumulierte Anzahl der Bioenergieanlagen je Quadratkilometer Landkreisfläche im Zeitverlauf.

### **RM 13: Installierte Anlagenleistung der Bioenergie je Landkreis (MW)**

Die Messgröße ermittelt die kumulierte installierte Leistung der Bioenergieanlagen je Landkreis im Zeitverlauf.

### **RM 14: Anlagendichte der Bioenergie je Bodenbedeckungsklasse (n/km<sup>2</sup>)**

Die Messgröße ermittelt die kumulierte Anzahl der Bioenergieanlagen je Quadratkilometer CORINE-Bodenbedeckungsklasse im Zeitverlauf.

### **RM 15: Anlagenabstand der Bioenergie zu Schutzgebieten (km)**

Die Messgröße ermittelt die räumliche Entfernung der kumulierten Anzahl der Bioenergieanlagen zu Schutzgebieten im Zeitverlauf. Folgende Schutzgebiete wurden dabei berücksichtigt: Naturschutzgebiete, Landschaftsschutzgebiete, Nationalparke, Naturparke, Biosphärenreservate, Natura 2000 Gebiete.

### **RM 16: Anlagenanzahl der Bioenergie in Schutzgebieten (n)**

Die Messgröße ermittelt die kumulierte Anzahl und den Zubau der Bioenergieanlagen in Schutzgebieten im Zeitverlauf. Folgende Schutzgebiete wurden dabei berücksichtigt: Naturschutzgebiete, Landschaftsschutzgebiete, Nationalparke, Naturparke, Biosphärenreservate, Natura 2000 Gebiete.

## **Biogasanlagen**

Der mit Abstand größte Teil des Bioenergie-Stroms wird derzeit in Biogasanlagen produziert. Der landwirtschaftliche Anbau von nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) für die Erzeugung von Biogas ist immer wieder Teil von gesellschaftlichen Debatten und ökologischen und naturschutzfachlichen Konflikten. Daher wurden speziell für die Biogastechnologie folgende Messgrößen entwickelt:

### **RM 17: Installierte Leistung der Biogasanlagen je Ackerfläche je Landkreis (kW/ha)**

Die Messgröße ermittelt die kumulierte installierte Leistung der Biogasanlagen je ha Ackerfläche in den Landkreisen im Zeitverlauf.

### **RM 18: Verteilung des Substrateinsatzes in Biogasanlagen je Bundesland (%)**

Die Messgröße erfasst die Verteilung des massebezogenen Substrateinsatzes in Biogasanlagen in den Bundesländern. Aufgrund der Datenlage konnte die Messgröße nur für das Jahr 2014 ermittelt werden.

### **RM 19: NawaRo Substratmengen in Biogasanlagen je Bundesland (t-Frischmasse)**

Die Messgröße erfasst die in den Biogasanlagen eingesetzten Substratmengen an nachwachsenden Rohstoffen (unterteilt in Maissilage, Grassilage, Ganzpflanzensilage und sonstige NawaRos) in den Bundesländern. Aufgrund der Datenlage konnte die Messgröße nur für die Jahre 2010 und 2015 ermittelt werden.

### **RM 20: Potenzieller Flächenbedarf für in Biogasanlagen eingesetzte NawaRo je Bundesland (ha)**

Die Messgröße ermittelt den potenziellen Flächenbedarf von nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo – Getreide für Ganzpflanzensilage, Grasland, Mais) zur Deckung des Substratbedarfs von Biogasanlagen im Zeitverlauf je Bundesland. Aufgrund der Datenlage konnte die Messgröße nur für die Jahre 2010 und 2015 ermittelt werden.

## **6.2.4 Wasserkraft**

Eine retrospektive Bestimmung der Messgrößen war mit dem im Forschungsvorhaben angelegten Wasserkraft-Datensatz nicht möglich, da das im Datensatz angegebene Inbetriebnahmedatum nicht zwingend der Erstinbetriebnahme der Wasserkraftanlage entspricht, sondern auch das Modernisierungsdatum darstellen kann. In den EEG-Fassungen gibt es unterschiedliche Begriffsbestimmungen für die „Inbetriebnahme“. So gilt z. B. nach § 3 (4) EEG 2004 als Inbetriebnahme auch eine Erneuerung der Anlage, sofern die Kosten der Erneuerung mindestens 50 % der Kosten einer Neuherstellung der Anlage betragen. Nach § 40 (2) EEG 2017 gelten alle Anlagen, die einen Anspruch auf eine EEG-Vergütung nach EEG 2017 haben, als neu in Betrieb genommen. Daher wurden die folgenden Messgrößen der Wasserkraft nur für das Jahr 2015 berechnet:

### **RM 21: Anlagendichte der Wasserkraft je Landkreis (n/km<sup>2</sup>)**

Die Messgröße ermittelt die kumulierte Anzahl der Wasserkraftanlagen je Quadratkilometer Landkreisfläche für das Jahr 2015.

### **RM 22: Installierte Anlagenleistung der Wasserkraft je Landkreis (MW)**

Die Messgröße ermittelt die kumulierte installierte Leistung der Wasserkraftanlagen je Landkreis für das Jahr 2015.

### **RM 23: Anlagenanzahl der Wasserkraft in Schutzgebieten (n)**

Die Messgröße ermittelt die kumulierte Anzahl und den Zubau der Wasserkraftanlagen in

Schutzgebieten für das Jahr 2015. Folgende Schutzgebiete wurden dabei berücksichtigt: Naturschutzgebiete, Landschaftsschutzgebiete, Nationalparke, Naturparke, Biosphärenreservate, Natura 2000 Gebiete.

#### **RM 24: Anlagenanzahl der Wasserkraft je Fließgewässerlänge je Landkreis (n/km)**

Die Messgröße ermittelt die kumulierte Anzahl der Wasserkraftanlagen je Kilometer Fließgewässer in den Landkreisen für das Jahr 2015.

### **6.2.5 Freileitungen**

Für die Freileitungen wurden die im Folgenden beschriebenen Messgrößen berechnet. Eine kleinräumige Differenzierung der Messgrößen der Freileitungen auf bspw. Bundeslandebene brachte dabei aufgrund der marginalen Unterschiede in den einzelnen Bezugsräumen keinen nennenswerten Mehrwert. Retrospektive Entwicklungen können mit dem vorliegenden Datensatz mit Stand 2016 noch nicht dargestellt werden.

#### **RM 25: Freileitungslänge der Hoch- und Höchstspannungsebene (km)**

Die Messgröße ermittelt die Länge der Freileitungen des Hoch- und Höchstspannungsnetzes in Deutschland für das Jahr 2016.

#### **RM 26: Querungslänge von Freileitungen durch Schutzgebiete (km)**

Die Messgröße ermittelt die Querungslänge von Freileitungen durch Schutzgebiete für das Jahr 2016. Folgende Schutzgebiete wurden dabei berücksichtigt: Naturschutzgebiete, Landschaftsschutzgebiete, Nationalparke, Naturparke, Biosphärenreservate, Feuchtgebiete nach RAMSAR-Konvention, Natura 2000 Gebiete.

#### **RM 27: Freileitungsdichte in Schutzgebieten (m/km<sup>2</sup>)**

Die Messgröße ermittelt die Freileitungsdichte in den Schutzgebieten der Hoch- und Höchstspannungsebene für das Jahr 2016. Folgende Schutzgebiete wurden dabei berücksichtigt: Naturschutzgebiete, Landschaftsschutzgebiete, Nationalparke, Naturparke, Biosphärenreservate, Feuchtgebiete nach RAMSAR-Konvention, Natura 2000 Gebiete.

#### **RM 28: Querungslänge von Freileitungen durch Laub-, Nadel- und Mischwald sowie durch FFH-Waldgebiete (km)**

Die Messgröße ermittelt die Länge der Freileitungsquerungen des Hoch- und Höchstspannungsnetzes durch Flächen verschiedener Waldtypen in Deutschland in Kilometern für das Jahr 2016.

#### **RM 29: Freileitungsdichte im Laub-, Nadel- und Mischwald sowie in FFH-Waldgebieten (m/km<sup>2</sup>)**

Die Messgröße ermittelt die Freileitungsdichte innerhalb von verschiedenen Waldtypen für das Jahr 2016.

#### **RM 30: Querungslänge von Freileitungen durch Gebiete freileitungsempfindlicher Avifauna (km)**

Die Messgröße ermittelt die Querungslänge der Freileitungen der Hoch- und Höchstspannungsebene durch potenzielle Lebensräume freileitungsempfindlicher Avifauna für das Jahr 2016.

#### **RM 31: Freileitungsdichte in Gebieten freileitungsempfindlicher Avifauna (m/km<sup>2</sup>)**

Die Messgröße ermittelt die Freileitungsdichte der Hoch- und Höchstspannungsebene innerhalb potenzieller Lebensräume freileitungsempfindlicher Avifauna für das Jahr 2016.

### 6.3 Technologieübergreifende Betrachtung und Möglichkeiten der Auswertung

An dieser Stelle sollen kurz Möglichkeiten der Auswertung der Daten des Raum-Monitorings erläutert werden, die zum Teil auf den folgenden Seiten angewendet werden und zum Teil erst in zukünftigen Analysen Anwendung finden können. Die Ermittlung des Anlagenabstands zu den Schutzgebieten kann isoliert (ausgehend von einem Schutzgebiet oder einer Anlage) oder in kumulativer Weise (Betrachtung aller Beziehungen zwischen allen Schutzgebieten und allen technischen Anlagen) vorgenommen werden. Eine isolierte Betrachtung untersucht die Beziehung zwischen den Standorten der Anlagen eines Infrastrukturtyps und der Lage eines Schutzgebiets. Dabei werden nur die kürzesten Abstände zwischen den äußeren Rändern der technischen Anlagen und den Außengrenzen der Schutzgebiete betrachtet. Natürlich können auch Beziehungen von den technischen Anlagen zu weiter entfernt liegenden Schutzgebieten hergestellt werden und umgekehrt. Daraus folgt, dass entweder die jeweils kürzesten Verbindungen (1:n bzw. n:1) oder eben eine Vielzahl von Verbindungen (n:m), ausgehend von den räumlichen Einheiten der jeweiligen Schutzgebietskategorien ( $n_S$ ) oder von den Anlagen der technischen Infrastrukturen ( $m_P$ ), betrachtet werden können. Die Stichprobengröße entspricht bei einer 1:n Relation der Anzahl der Schutzgebiete ( $n_S$ ) oder der Anzahl der technischen Infrastrukturanlagen ( $m_P$ ), bei einer n:m Relation dem Produkt ( $n_S \cdot m_P$ ) aus beiden.

Da jede Schutzkategorie unterschiedlich viele Gebiete bereithält sowie unterschiedlich viele Anlagen einer gewählten technischen Infrastruktur existieren, die sich zudem jeweils in ihrer räumlichen Verteilung und Ausdehnung über die Zeit ändern können, sind die Informationen nur schlecht miteinander kombinierbar- und interpretierbar, selbst wenn dafür ein System aus eindeutigen Indizes benutzt wird. Ganz anders sieht es aus, wenn das Untersuchungsgebiet in regelmäßig angeordnete Raster aus aneinander gereihten Quadraten (Pixeln) definierter Größe eingeteilt wird. Die Anzahl, die Ausdehnung und die Lage der Pixel stehen damit auf Dauer fest, ändern sich also nicht über die Zeit. Statt den Beziehungen zwischen den Schutzgebieten und den Anlagen der technischen Infrastruktur können nun Beziehungen zwischen den Mittelpunkten der einzelnen Rasterquadrate und den Schutzgebieten oder zwischen den Mittelpunkten der Rasterquadrate und den Anlagen der technischen Infrastruktur hergestellt werden. Da das Netz aus Rasterquadraten flächendeckend regelmäßig angeordnet ist, kann theoretisch zu jedem Rasterquadrat eine Aussage getroffen werden. Die erzeugte Karte entspricht dabei einem Skalarfeld oder einem Potential in der Physik und kann mit entsprechenden mathematischen Methoden behandelt werden.

Ein Beispiel soll das eben erläuterte kurz verdeutlichen. So ist es möglich, die kürzeste Entfernung von jedem Rastermittelpunkt zur nächstgelegenen Autobahn und zur nächstgelegenen Bundesstraßen zu berechnen. In beiden Fällen ist das Ergebnis ein Skalarfeld oder in einem geographischen Informationssystem dargestellt, eine Karte der Entfernungspotenziale. Sollen nun die Ergebnisse für die Autobahn und die Bundesstraßen gleichgesetzt und daraus eine neue Karte der kürzesten Entfernungen erzeugt werden, kann dies über eine logische Verknüpfung erfolgen. Dazu werden die erzeugten Karten der Entfernungen zu Autobahnen und zu Bundesstraßen übereinander gelegt, woraufhin für jedes Rasterquadrat eine logische Operation durchgeführt wird, die das Minimum aus den beiden übereinander liegenden Werten berechnet. Das Ergebnis kann dann in eine neue Karte mit dem gleichen Raster übertragen werden.

Um das gleiche Ergebnis für die direkten Objektbeziehungen, also den zu Beginn erläuterten 1:n bzw. 1:m Beziehungen zu erhalten, müssten zunächst die beiden Ausgangskarten der Bundesstraßen und Autobahnen zusammengeführt und daraufhin eine Neuberechnung der

Abstände durchgeführt werden. Dies kann allerdings nicht parallel, sondern nur nacheinander erfolgen. Für jedes Objekt aus der neuen Karte müssten also nacheinander alle Entfernungen zu den anderen Objekten berechnet werden. Das Ergebnis ist in diesem Fall auch keine Karte, sondern eine Wertetabelle mit den entsprechenden Entfernungen. Eine Karte kann nur aus der Dichte der Elemente berechnet werden, wobei das Ergebnis von der Auflösung bzw. der Skalierung der Analyse abhängig ist, die gewählt wird. Das heißt, auch hier ist am Ende die Festlegung auf ein regelmäßiges Bezugsraster mit definierter Auflösung und ein bestimmten Suchradius nötig.

Für die Berechnungsmethode der direkten Objektbeziehungen mit Vektordaten benötigt man unter Umständen mehr Arbeitsschritte und Zeit, hat einen größeren Aufwand in der Organisation der Daten und muss sich auf bestimmte Parameter festlegen, die das Ergebnis der Berechnungen stärker beeinflussen können, als bei der Berechnungsmethode mit den Rasterquadraten. Der Nachteil der Berechnungsmethode mit den Rasterquadraten liegt vor allem im benötigten Speicherplatz, denn für jedes neu berechnete Potential müssen die Informationen für jede Zellen abgespeichert werden. Dabei gilt, je feiner die Auflösung ist, umso besser sind die Ergebnisse, aber umso größer ist auch die zu speichernde Datenmenge. In der Regel kann davon ausgegangen werden, dass sich die Datenmenge vervierfacht, wenn die Auflösung verdoppelt wird.

Mit der geschilderten Berechnungsmethode auf der Basis von in Rastern organisierten Entfernungspotentialen ist es prinzipiell möglich, komplexe räumliche Beziehungen zu analysieren und diese unabhängig von voreingestellten Parametern auszuwerten ohne dass alle Daten neu berechnet werden müssen. Außerdem können nachträglich Neubewertungen, z. B. auf der Basis von Schwellenwerten, durchgeführt werden. Ferner ist es möglich, die in den drei Dimensionen (Rechtswert, Hochwert, Entfernung) gespeicherte räumliche Information auf zwei Dimensionen (Häufigkeitsverteilung in Form von Histogrammen der Entfernungen) oder auf eine Dimension (der Flächeninhalt unter den Histogrammen, Lagemaße der Verteilungen) zu reduzieren.

Da die Skalarfelder alle Entfernungen zu jedem berechneten Punkt in der Landschaft enthalten, bildet eine solche Karte quasi die gesamte Information für den betrachteten Raum ab und nicht nur die direkten Beziehungen zwischen Elementen, die nämlich auf Grund unregelmäßiger Verteilungen auch bestimmte Bereiche des betrachteten Raumes aussparen können. Die Gesamtheit aller Entfernungen kann in Form einer Häufigkeitsverteilung (Histogramm) dargestellt werden. Hierfür wird die Anzahl der Zellen mit einer Entfernung, die im Intervall zwischen zwei Grenzwerten liegt, gezählt und als Säule über dem entsprechenden Entfernungsintervall aufgetragen. Entspricht das Intervall der Kantenlänge des gewählten Rasters, so lässt sich aus der Anzahl der Zellen in diesem Entfernungsintervall auch die Fläche berechnen und zwar durch die Multiplikation der Häufigkeit mit der Fläche einer Rasterzelle. Mit Hilfe eines Schwellenwertes kann dann überprüft werden, wie sich die Verteilung über die Zeit ändert. So kann als Schwellenwert unter anderem der fachlich empfohlene Mindestabstand von Windenergieanlagen zu den Horsten einer Greifvogelart dienen, wie er unter anderem im Helgoländer Papier der Vogelschutzwarten bzw. dessen Aktualisierung angegeben ist (LAG VSW 2015). Für den Rotmilan werden darin zum Beispiel 1.500 Meter empfohlen. Da die Information für alle Entfernungen in den Histogrammen enthalten ist, kann auch jederzeit ein anderer Schwellenwert gesetzt werden und die Flächenanteile vor oder nach diesem Schwellenwert berechnet werden. Eine neue Berechnung der Abstände ist hierfür nicht nötig. Gleichzeitig können die entsprechenden Karten mit den Abständen in unterschiedlicher Form dargestellt werden, mit einer vielfarbigen Farbskala, die Abstufungen ermöglicht oder in diskreter Form. So können sehr stark zerschnittene oder aber auch noch



große gut zusammenhängende Landschaftsbereiche identifiziert und deren Veränderung im zeitlichen Verlauf verfolgt werden.

Eine andere Möglichkeit ist die Charakterisierung der Verteilung mit Hilfe von Lagemaßen, wie z. B. dem Minimum und Maximum, den 25 % und 75 % Quartilen sowie dem Median als zentrales Lagemaß. Auch hier können Veränderungen in Bezug zu Schwellenwerten gesetzt oder die einzelnen Werte für die Lagemaße in zeitlicher Abfolge in einem Box-Whisker-Plot aufgetragen werden.

Im Rahmen der eben erläuterten Methode wurden mit den Rasterquadraten die folgenden Medianwerte der Entfernungen zu den Anlagen der erneuerbaren Energien bezogen auf die Landkreise bestimmt (detaillierte Beschreibung siehe Steckbriefe RM 32 bis RM 36 im Materialband):

#### **RM 32: Median der Entfernungen zu Windkraftanlagen und dem Background der technischen Infrastrukturen bezogen auf die Landkreise (km)**

Der Median der Entfernungen (km) zu den in einem Jahr vorhandenen Windkraftanlagen und dem Background der technischen Infrastrukturen (Stand 2012) im Bundesgebiet, beschreibt den Zentralwert (Median) der Verteilung der räumlichen Entfernung von den Mittelpunkten aller Rasterzellen in einem Gitternetz von 100x100 m zu den nächstgelegenen Gleisen (zweigleisig, eingleisig), Stromtrassen (Höchst- und Hochspannung), Verkehrsstrassen (Autobahnen, Bundesstraßen) oder einer Windkraftanlage, in Abhängigkeit der geringsten Entfernung.

#### **RM 33: Median der Entfernungen zu Photovoltaikanlagen bezogen auf Landkreise (km)**

Der Median der Entfernungen (km) zu Photovoltaik-Freiflächenanlagen beschreibt den Zentralwert (Median) der Verteilung der räumlichen Entfernung von den Mittelpunkten jeder Rasterzelle in einem Gitternetz von 100x100 m.

#### **RM 34: Median der Entfernungen zu Bioenergieanlagen bezogen auf die Landkreise (km)**

Der Median der Entfernungen (km) zu Bioenergieanlagen beschreibt den Zentralwert (Median) der Verteilung der räumlichen Entfernung von den Mittelpunkten jeder Rasterzelle in einem Gitternetz von 100x100 m.

#### **RM 35: Median der Entfernungen zu Wasserkraftanlagen bezogen auf die Landkreise (km)**

Der Median der Entfernungen (km) zu Wasserkraftanlagen beschreibt den Zentralwert (Median) der Verteilung der räumlichen Entfernung von den Mittelpunkten jeder Rasterzelle in einem Gitternetz von 100x100 m.

#### **RM 36: Median der Entfernungen zu verschiedenen technischen Infrastrukturen bezogen auf Landkreise (km)**

Der Median der Entfernungen zu verschiedenen technischen Infrastrukturen (Gleise Ebene 1 – zweigleisig, Gleise Ebene 2 – eingleisig, Höchstspannung, Hochspannung, Autobahnen, Bundesstraßen, sowie alle hier genannte zusammen) beschreibt den Zentralwert (Median) der Verteilung der räumlichen Entfernung von den Mittelpunkten jeder Rasterzelle in einem Gitternetz von 100x100 m.

### **6.4 Webanwendung Web-GIS**

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde eine Webanwendung mit einer integrierten

GIS-Anwendung (Web-GIS) erstellt. Die Web-GIS-Anwendung beinhaltet die kartographische Darstellung der Ergebnisse des Raum-Monitorings und die Basisdaten zu den einzelnen Technologiestandorten, die die Entwicklung des Ausbaus von Anlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen für den Zeitraum von 1990 bis 2015 in Deutschland veranschaulichen. Die Basisdaten der jeweiligen Anlagenstandorte umfassen zu der räumlichen Lokalisation ebenso weitere Attribut-Informationen wie u. a. das Jahr der Inbetriebnahme und die installierte Leistung der Anlagen sowie die ermittelten Standorte in den Landnutzungs-klassen (CORINE Land Cover - CLC) werden ebenso dargestellt. In der Webanwendung sollen zudem die Informationen zum Konflikt-, Raum- und Zielsystem-Monitoring zur Verfügung gestellt werden.

Die Web-GIS Benutzerschnittstelle stellt Benutzerwerkzeuge bereit, die eine individualisierbare Darstellung der Web-GIS Informationen ermöglichen. Bei den Basisdaten zu den Technologiestandorten ist es möglich, den Zubau der Anlagenstandorte in einzelnen Jahresschritten, kumulativ oder für einen bestimmten Zeitraum in den Jahren von 1990 bis 2015 darzustellen. Weiterhin stehen unterschiedliche, potenziell erweiterbare Basiskarten zur Verfügung, die wahlweise eine Betrachtung der Anlagenstandorte auf Satellitenbildern oder vektorbasierten Geländekarten ermöglichen.

Die Webanwendung wird auf der Web-Server-Infrastruktur des Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ auf der Webseite des Forschungsvorhabens [www.ufz.de/ee-monitor/](http://www.ufz.de/ee-monitor/) bereitgestellt. Für die Entwicklung der Webanwendung wurden mehrheitlich moderne, auf JavaScript basierende Webtechnologien verwendet, die unter Open Source Lizenz veröffentlicht wurden und zukünftig eine Skalierbarkeit der Webanwendung ermöglichen. Die Webanwendung wurde als „Single Page Application (SPA)“ ohne „Content Management System (CMS)“ und ohne Datenbankbindung auf Basis des JavaScript Web-Frameworks Vue.js entwickelt. Die Web-GIS Eigenentwicklung basiert auf der Programmierschnittstelle (API) „ESRI ArcGIS API for JavaScript“ und dem „ESRI ArcGIS Online Feature Layer Hosting“ (UFZ Server-Infrastruktur), auf dem die geographischen Daten bereitgestellt werden.

Tabelle 37: Verwendete Webtechnologien.

Webtechnologie	Beschreibung	Link   Lizenz
Node.js	JavaScript Laufzeitumgebung	<a href="https://nodejs.org">https://nodejs.org</a>   <a href="https://raw.githubusercontent.com/nodejs/node/master/LICENSE">https://raw.githubusercontent.com/nodejs/node/master/LICENSE</a>
Vue.js	JavaScript Framework	<a href="https://vuejs.org">https://vuejs.org</a>   MIT License: <a href="https://opensource.org/licenses/MIT">https://opensource.org/licenses/MIT</a>
Nuxt.js	JavaScript Vue.js Web Application Framework	<a href="https://nuxtjs.org/">https://nuxtjs.org/</a>   <a href="https://github.com/nuxt/nuxt.js/blob/dev/LICENSE">https://github.com/nuxt/nuxt.js/blob/dev/LICENSE</a>
Vuetify.js	JavaScript Vue.js Frontend Framework	<a href="https://vuetifyjs.com">https://vuetifyjs.com</a>   MIT License: <a href="https://opensource.org/licenses/MIT">https://opensource.org/licenses/MIT</a>
ALASQL	SQL for JavaScript	<a href="https://github.com/agershun/alasql">https://github.com/agershun/alasql</a>   MIT License: <a href="https://github.com/agershun/alasql/blob/develop/LICENSE">https://github.com/agershun/alasql/blob/develop/LICENSE</a>
ArcGIS API for JavaScript 4.10	Esri ArcGIS for JavaScript	<a href="https://developers.arcgis.com/javascript/">https://developers.arcgis.com/javascript/</a>   License: <a href="https://developers.arcgis.com/javascript/latest/guide/licensing/index.html">https://developers.arcgis.com/javascript/latest/guide/licensing/index.html</a>
Esri/esri-loader	ArcGIS API for JavaScript module loader library	<a href="https://github.com/Esri/esri-loader">https://github.com/Esri/esri-loader</a>   License: <a href="https://github.com/Esri/esri-loader/blob/master/LICENSE">https://github.com/Esri/esri-loader/blob/master/LICENSE</a>

## 6.5 Fazit

Die im Raum-Monitoring entwickelten Messgrößen stellen, anhand von transparenten und reproduzierbaren Methoden, flächendeckende Informationen zum räumlichen und strukturellen Ausbau der erneuerbaren Energien und deren Stromnetzes im Zeitverlauf bereit und ermöglichen so eine Beschreibung des potenziellen Drucks auf die verschiedenen Schutzgegenstände des Naturschutzes. So lassen sich durch das Raum-Monitoring u. a. Räume mit einer hohen Dichte von EE-Anlagen identifizieren (z. B. Windenergieanlagen im Nordwesten) und deren Veränderung im Zeitverlauf darstellen. Ebenso lassen sich EE-Anlagen ermitteln, die sich z. B. in Schutzgebieten oder in räumlicher Nähe zu Vorkommen von potenziell betroffenen Arten befinden. Darüber hinaus können Veränderungen in der Freiraumstruktur und der Verlust von Verbundstrukturen durch den Ausbau der EE-Anlagen abgebildet werden. Die Messgrößen stehen zwar nicht in einem unmittelbar kausalen Zusammenhang mit den Auswirkungen, generieren jedoch wichtiges Grundwissen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien im Raum, was über reine Anlagenbestandzahlen hinausgeht. Die kausalen Zusammenhänge, mögliche Überschreitungen von (bisher unbekannt) Schwellenwerten und das Erreichen von *tipping points* können erst in gezielten Untersuchungen herausgefunden werden, bei denen z. B. Populations- und Verbreitungstrends seltener und vom Windkraftausbau betroffener Arten in Beziehung zu den hier beschriebenen Meßgrößen gebracht und analysiert werden. Dabei müssen auch andere Ursachen, wie z. B. Zerschneidung durch Verkehrswege sowie land- und forstwirtschaftliche Nutzungen Berücksichtigung finden, um das Ausmaß der jeweiligen Einflüsse gewichten zu können. Solche Untersuchungen waren nicht Gegenstand des Vorhabens und müssen der Zukunft vorbehalten bleiben.

## 7 Governance-Monitoring

Jana Bovet

Im Rahmen des Monitoringkonzeptes bildet das Governance-Monitoring die Schnittstelle zwischen der politisch-administrativen Steuerung des EE-Ausbaus und der tatsächlichen Realisierung der Anlagen im Raum. Im Zentrum der hier vorgenommenen Analyse steht die Frage, ob und wenn ja, wie eine räumliche Steuerung der erneuerbaren Energien durch das Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG) erfolgt und wie die Interessen des Naturschutzes dabei Berücksichtigung finden. Dazu werden das EEG-Förderinstrumentarium sowie die im EEG geregelten Monitoringansätze (EEG-Monitoringbericht und EEG-Erfahrungsbericht) analysiert. Das Governance-Monitoring wird auf das EEG fokussiert, denn dieses wurde als der zentrale Treiber identifiziert (siehe hierzu Kapitel 5). Im Hinblick auf das DPSIR-Schema (siehe Abschnitt 5.3.1.1) adressiert das Governance-Monitoring damit in Teilen den Reaktions-Indikator

1. Berücksichtigung von Standortfragen im EEG
2. Berücksichtigung von Naturschutzaspekten im EEG
3. Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte im EEG-Monitoringbericht und im EEG-Erfahrungsbericht

### 7.1 Die Berücksichtigung von Standortfragen und Naturschutzaspekten im EEG

Der Ausbau Erneuerbarer Energie wird zum einen über das EEG und zum anderen über das Raum- und Fachplanungsrecht gesteuert. Während das EEG insbesondere die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Quellen ins Netz regelt und den Erzeugern Einspeisevergütungen garantiert, wird über das Raumplanungs- (insbesondere Regional- und Bauleitplanung) und Fachrecht die räumliche Verortung der Anlagen gesteuert, indem z. B. Konzentrationszonen für Windenergieanlagen festgelegt werden.

Das EEG weist eine fast dreißigjährige Geschichte auf. Begonnen hat alles 1991 mit dem Gesetz über die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien in das öffentliche Netz (Stromeinspeisegesetz), das als weltweit erstes Ökostrom-Einspeisegesetz gilt. Es wurde im Jahr 2000 durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) ersetzt. Seitdem hat es sechs größere Novellen gegeben (Am 9. November 2018 fand die erste Lesung für die nächsten Änderungen des EEG statt. Der Gesetzentwurf von CDU/CSU und SPD sieht u. a. zusätzliche Ausschreibungen für Solaranlagen und Windenergieanlagen an Land sowie Innovationsausschreibungen vor). Das EEG versteht sich als eine Steuerung, die nicht den Anspruch erhebt, räumliche Aspekte umfassend und generell zu berücksichtigen. So wird in den Gesetzesmaterialien ausgeführt: *„Mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien sind außerdem Auswirkungen auf Natur und Landschaft verbunden. Diese werden in der Regel durch das Fachrecht (Agrar- und Umweltrecht) geprüft und zugleich bei der Zulassung der Anlagen und bei der Raum- und Bauleitplanung berücksichtigt. Vor diesem Hintergrund sind durch das EEG 2016 nur punktuelle Sonderbestimmungen zum Umwelt- und Naturschutz erforderlich.“* (BT Drs. 18/8860, S. 159; ähnlich die Erläuterungen zum EEG 2014: BT-Drs. 18/1304, S. 97).

Mit der Formulierung „in der Regel“ behält sich das EEG aber vor, in Einzelfällen eine gewisse räumliche und/oder naturschutzfachliche Steuerung vorzunehmen. Im Folgenden wird für die erneuerbaren Energien aus Wind, Sonne, Biomasse und Wasser in knapper Form das planerische Zulassungsregime erläutert und ausgewählte EEG-Regelungen mit einer räumlichen Steuerungswirkung werden exemplarisch vorgestellt (eine ausführliche Analyse

ist nachzulesen bei: Bruns et al. 2016, 18ff.; Grüner und Sailer 2016).

### 7.1.1 Windenergie

Gut ein Drittel der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien erfolgte 2016 durch Windenergie an Land (Grüner und Sailer 2016). Erbracht wurde diese Leistung durch etwa 27.270 Anlagen (<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/20116/umfrage/anzahl-der-windkraftanlagen-in-deutschland-seit-1993/>).

Seit 1997 sind Windenergieanlagen nach § 35 BauGB im Außenbereich privilegiert, d. h. sie sind dort zulässig, wenn öffentliche Belange nicht entgegenstehen und die ausreichende Erschließung gesichert ist. Gleichsam als Korrektiv können Raumplanungsbehörden und Gemeinden den Bau von Windenergieanlagen durch die Ausweisung von Konzentrationszonen für die Windenergie räumlich steuern (§ 35 III 3 BauGB) (Bovet 2015). In diesem Fall dürfen Windenergieanlagen grundsätzlich nur in den Konzentrationszonen errichtet werden. Bei der Festlegung solcher Konzentrationszonen müssen Planungsträger eine Vielzahl an rechtlichen (u. a. arten- und naturschutzrechtlichen) sowie tatsächlichen Rahmenbedingungen beachten. Die Rechtsprechung fasst diese Anforderungen mit den Worten zusammen, es sei ein „schlüssiges planerisches Gesamtkonzept“ zu erstellen. In der überwiegenden Praxis arbeiten die Planungsträger dazu mit der Ausschlussmethode, einer Prüfungsabfolge, die vom Bundesverwaltungsgericht entwickelt wurde (BVerwG Urt. v. 13.12.2012 - 4 CN 1.11) (Bovet und Kindler 2013). Im Ergebnis muss – so die Rechtsprechung – durch die Festlegung von Konzentrationszonen der Windenergie „in substantieller Weise Raum verschafft“ werden.

Für Windenergieanlagen gilt seit 2000 (vgl. § 6 EEG 2000 sowie BT-Drs. 14/2341, S. 9) das sogenannte Referenzmodell, d. h. der Anspruch auf Förderung ist abhängig von dem standortspezifischen Ertrag, der in Relation gesetzt wird zu dem sogenannten „Referenzertrag“, der typenspezifischen Leistungskennzahl (ausführlich zur Regelungsgeschichte: Frenz et al. 2018, § 46, Rn. 11ff.). Das Referenzertragsmodell wurde in Einzelheiten immer wieder angepasst (z. B. Vergütungssätze, 60 % Referenzertragswert als Untergrenze,...). Bleibende Idee hinter diesem Modell ist es, den wirtschaftlichen Betrieb von Anlagen auch in windärmeren Gebieten zu ermöglichen und so eine möglichst weiträumige, gerechte Verteilung zu erzielen (s. auch die Begründung in BT-Drs. 16/8148, 57 zum EEG 2012: *„Durch das Referenzertragsmodell wird sowohl vermieden, dass an windhöffigen Standorten eine höhere Vergütung gezahlt wird, als für einen wirtschaftlichen Betrieb erforderlich ist, als auch der notwendige Anreiz für die Errichtung von Windkraftanlagen an durchschnittlich windgünstigen Standorten im Binnenland geschaffen.“*). Der Gesetzgeber wollte also eine Anreizwirkung für windschwächere Standorte im Binnenland schaffen und steuert damit auch die räumliche Verteilung (Grüner und Sailer 2016, S. 127). Auch unter der 2017 eingeführten wettbewerblichen Ermittlung der Vergütungshöhe durch verbindliche Ausschreibungen für Windenergieanlagen an Land mit einer Leistung von mehr als 750 kW, wurde das Referenzmodell beibehalten. Allerdings zeigen erste Untersuchungen, dass die Ausschreibungen dazu führen, dass sich bei der räumlichen Verteilung regionale Schwerpunkte herauskristallisieren und ein starkes Nord-Süd-Gefälle erkennbar ist, so dass das Ziel einer weiträumigen, gerechten Verteilung nicht mehr erreicht wird (Gawel und Amberg 2018, S. 28).

Eine weitere räumliche Steuerung für die Windkraft erfolgt z. B. durch die Regelung in § 36c EEG 2017. Danach soll der Zubau von Windenergieanlagen onshore in Gebieten, in denen die Übertragungsnetze besonders stark überlastet sind (Netzausbaugebiete), reglementiert werden. Dazu wird eine zu installierende Leistungsobergrenze festgelegt, bis zu der in dem Netzausbaugebiet maximal Zuschläge erteilt werden dürfen. Diese Obergrenze beträgt pro Jahr 58 % der installierten Leistung, die im Jahresdurchschnitt in den Jahren 2013 bis 2015

in diesem Gebiet in Betrieb genommen worden ist. Auf der Rechtsgrundlage des § 88b EEG 2017 wurde im Februar 2017 die Verordnung zur Ausführung der Erneuerbare-Energien-Verordnung (Erneuerbare-Energien-Ausführungsverordnung – EEAV) ergänzt (BGBl. I S. 294) und in § 10 EEAV wurden die Länder Bremen und Hamburg sowie Landkreise in den Ländern Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern als Netzausbaugelände festgelegt.

### 7.1.2 Photovoltaik

Ende 2016 waren in Deutschland Photovoltaikanlagen mit einer Gesamtleistung von 40.874 MW installiert. Am gesamten Bruttostromverbrauch hatte die Photovoltaik einen Anteil von 6,4 % (BMWi 2019).

Bei Photovoltaikanlagen ist zu unterscheiden zwischen den Freiflächenanlagen und den sonstigen, insbesondere innerstädtischen Anlagen sowie den Lärmschutz- oder Dachanlagen. Die Genehmigung von Freiflächenanlagen erfolgt nach §§ 29ff. BauGB je nach planungsrechtlicher Situation. Im unbeplanten Innenbereich nach § 34 BauGB dürfte es grundsätzlich kaum möglich sein, Freiflächenanlagen zu realisieren, denn innerhalb der im Zusammenhang bebauten Ortsteile ist ein Vorhaben nur zulässig, wenn es sich nach Art und Maß der baulichen Nutzung, der Bauweise und der Grundstücksfläche, in die Eigenart der näheren Umgebung einfügt. Im Außenbereich gelten PV-Freiflächen nicht als privilegierte Vorhaben nach § 35 I BauGB und sind daher nach Abs. 2 als „sonstige Vorhaben“ zu bewerten (Mitschang 2009, S. 826). Solche können nur im Einzelfall zugelassen werden, wenn ihre Ausführung oder Benutzung öffentliche Belange nicht beeinträchtigt und die Erschließung gesichert ist. Ein solcher Fall kann insbesondere dann vorliegen, wenn es sich um vorbelastete Flächen handelt. In erster Linie werden PV-Freiflächenanlagen über qualifizierte Bebauungspläne gem. § 30 I, II BauGB zugelassen. Für raumbedeutsame Anlagen i. S. d. § 3 I Nr. 6 ROG, d. h. Anlagen, durch die Raum in Anspruch genommen oder die räumliche Entwicklung oder Funktion eines Gebietes beeinflusst wird, können Gebiete für PV-Freiflächenanlagen festgelegt und über die Gebietskategorien in § 4 ROG gesichert werden.

Flankiert wird diese planungsrechtliche Steuerung durch die Ausgestaltung des Ausschreibungsregimes in § 37 I Nr. 3 EEG 2017 (Dieses ersetzt die vom 12. Februar 2015 bis 31. Dezember 2016 geltende Freiflächenausschreibungsverordnung (FFVA) (Verordnung zur Einführung von Ausschreibungen der finanziellen Förderung für Freiflächenanlagen; BGBl. I 2015, S. 108) (ausführliche Regelungsgeschichte: Frenz et al. 2018, § 48, Rn. 25ff.). Danach erfolgt eine Förderung u. a. nur für solche Anlagen, die auf einer Fläche realisiert werden, die bereits versiegelt war, auf Konversionsflächen oder in einer Entfernung bis zu 110 Meter von Autobahnen oder Schienen. Darüber hinaus haben die Länder nach § 37c II i.V.m. § 37 I Nr. 3h oder i EEG 2017 die Möglichkeit, auch Acker- und Grünlandflächen als sogenannte „benachteiligte Gebiete“ zu bezuschlagen. Von der Länderöffnungsklausel für Acker- und Grünlandflächen haben bisher Baden-Württemberg und Bayern Gebrauch gemacht (Ammermann 2018). Mit beiden Regelungen erfolgt eine räumliche Steuerung.

Ein weiteres Beispiel für räumliche Steuerung von Photovoltaikanlagen im EEG ist § 38a I Nr. 5 EEG 2017 (entspricht §§ 19 und 51 EEG 2014). Danach darf die Zahlungsberechtigung für Solaranlagen nur ausgestellt werden, soweit bei Freiflächenanlagen die installierte Leistung von 10 MW nicht überschritten wird und sich die Anlagen nicht auf einer Fläche befinden, die zum Zeitpunkt des Beschlusses über die Aufstellung oder Änderung des Bebauungsplans rechtsverbindlich als Naturschutzgebiet im Sinn des § 23 BNatSchG oder als Nationalpark im Sinn des § 24 BNatSchG festgesetzt worden ist. Durch die Größenbegrenzung soll eine räumliche Ballung von Freiflächenanlagen verhindert werden und durch die neu

geregelte Anlagenzusammenfassung (§ 3 Nr. 1 EEG 2017) auch den Interessen der Landwirtschaft und des Umweltschutzes entsprochen werden.

Neben den Freiflächenanlagen gibt es auch sonstige Anlagen, insbesondere innerstädtische, Lärmschutz- oder Dachanlagen, die anderen genehmigungs- und förderrechtlichen Rahmenbedingungen unterliegen als die Freiflächenanlagen. Eine raumordnungsrechtliche Steuerung scheidet mangels Raumbedeutsamkeit bei diesen sonstigen Anlagen aus. Für sie besteht die Möglichkeit, Festsetzungen nach § 9 I Nr. 12 BauGB zu treffen, wonach u. a. Versorgungsflächen zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien festgesetzt werden können oder nach § 9 I Nr. 23b BauGB, wonach u. a. Gebiete festgesetzt werden können, in denen bei der Errichtung von Gebäuden bestimmte bauliche und sonstige technische Maßnahmen für die Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien getroffen werden müssen. Aber auch ohne spezielle bauplanerische Festsetzungen sind Dachanlagen regelmäßig aufgrund der Baugebietsregelung der BauNVO oder als Nebenanlagen nach § 14 BauNVO zulässig. Nach § 14 III BauNVO gelten Dach- und Außenwandflächen auch dann als Nebenanlage, wenn die erzeugte Energie vollständig oder überwiegend in das öffentliche Netz eingespeist wird. Nach § 48 II EEG 2017 genießen Anlagen, die ausschließlich auf, an oder in einem Gebäude oder einer Lärmschutzwand angebracht sind einen höheren Fördersatz gegenüber Anlagen an sonstigen Gebäuden oder Freiflächen.

### **7.1.3 Biomasseanlagen**

Die Stromerzeugung aus Biogas lag 2016 bei etwa 31,8 Milliarden kWh (2015: 31,3 Milliarden kWh). Aus fester, flüssiger und gasförmiger Biomasse einschließlich Deponie- und Klärgas sowie des biogenen Anteils der Siedlungsabfälle wurden insgesamt rund 50,8 Milliarden kWh Strom erzeugt (2015: 50,3 Milliarden kWh) und damit 8,5 % des gesamten Bruttostromverbrauchs (BMWi 2018c).

Bei der Biomasse ist zu unterscheiden zwischen der planerisch-rechtliche Steuerung der Biomasseanlagen und der Steuerung des Biomasseanbaus. Letzterer sind enge Grenzen gesetzt, denn landwirtschaftliche Tätigkeit unterliegt keinem Genehmigungsvorbehalt, sondern allein dem Ordnungsrecht. Dies wird von einigen Rechtswissenschaftlern als kritisch gesehen und es existieren Vorschläge zu Regelungen de lege ferenda (Möckel 2013). Im Folgenden werden die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Biomasseanlagen dargestellt, über die z. T. versucht wird, indirekt auch den Biomasseanbau zu steuern.

Im Innenbereich können Biomasseanlagen entsprechend der Baugebietstypen der BauNVO auch innerhalb des engeren Bebauungszusammenhangs zulässig sein. Im Außenbereich gelten nach § 35 I Nr. 6 BauGB bestimmte Biomasseanlagen als privilegierte Vorhaben, nämlich dann, wenn es sich um Anlagen im Rahmen eines land- oder forstwirtschaftlichen Betriebs, eines Betriebs der gartenbaulichen Erzeugung oder der Massentierhaltung handelt und sie in einem räumlich-funktionalen Zusammenhang mit dem Betrieb steht. Auf eine Vermeidung von Umweltauswirkungen zielt § 35 I Nr. 6b BauGB ab, indem vorgegeben wird, dass – um in den Genuss der Privilegierung zu kommen – die genutzte Biomasse überwiegend aus dem Betrieb oder überwiegend aus diesem und aus nahe gelegenen Betrieben stammen muss. Dadurch sollen lange Transportwege der Biomasse zur Anlage vermieden und die verwirklichte Anlagenanzahl und -größe in einer Region limitiert werden (Bruns et al. 2016, S. 78). Allerdings kann – spiegelbildlich betrachtet – auch in diesen Anlagen die eingesetzte Biomasse eben bis zur Hälfte von weit entfernten Flächen stammen, so dass es sich um keine besonders reglementierende Vorgabe handelt.

Die Förderung der Verstromung von fester, flüssiger und gasförmiger Biomasse gehört seit dem EEG 2004 zu den politisch umstrittensten und rechtlich dynamischsten Bereichen des

EEG, die nicht nur die AnlagenbetreiberInnen, sondern auch HerstellerInnen, ProjektentwicklerInnen und FinanziererInnen betrafen (ausführlich zur Regelungsgeschichte: Frenz et al. 2018, § 42, Rn. 1ff.). So wurde z. B. 2004 der sogenannte Nawaro-Bonus („Bonus für Strom aus nachwachsenden Rohstoffen“) eingeführt. Dieser Bonus ist eine Zusatzvergütung für Strom, der aus nachwachsenden Rohstoffen produziert wird. Zu den nachwachsenden Rohstoffen gehören Pflanzen oder Pflanzenbestandteile, die in der Landwirtschaft, Forstwirtschaft oder Landschaftspflege angefallen sind und durch keine weitere Bearbeitung, bis auf Ernte, Konservierung und Bioenergienutzung aufbereitet oder verändert wurden (vgl. Anlage 2 II Nr. 1, II, IV, V EEG 2009). Auch für Gülle, die nicht zu den nachwachsenden Rohstoffen gehört, galt diese Bonusregelung (vgl. Anlage 2 II Nr. 2 EEG 2009). Durch die Einführung des Bonus sollte der Ausbau der Stromerzeugung aus Biogas erreicht werden. Im EEG 2014 sollten ausweislich der Gesetzesmaterialien negative natur- und umweltrelevante Auswirkungen durch den Anbau nachwachsender Rohstoffe wieder begrenzt werden, indem die Förderung der Stromerzeugung durch Biomasse auf Abfall- und Reststoffe konzentriert wird. Dazu wurde bei der Novelle 2014 die einsatzstoffbezogene Förderung nachwachsender Rohstoffe in Biomasseanlagen beendet und auf eine Förderung neuer Anlagen für Abfall- und Reststoffe umgestellt (BT Drs. 18/1304, S. 97 und 141).

Für güllebasierte Biogasanlagen legt § 44 Nr. 1 und Nr. 2 EEG 2017 (ähnlich § 46 Nr. 1 und 2 EEG 2014) fest, dass nur dann ein Anspruch auf finanzielle Förderung für Strom aus kleineren güllebasierten Biogaserzeugungsanlagen besteht wenn, u. a. der Strom am Standort der Biogaserzeugungsanlage erzeugt wird und die installierte Leistung am Standort der Biogaserzeugungsanlage insgesamt bis zu 75 kW beträgt. Damit wird ein räumlicher Zusammenhang von Verstromungsanlage und Biogaserzeugungsanlage eingefordert. Da für letztere aber keine räumlichen Vorgaben gelten, ist die räumliche Steuerungswirkung dieser Regelung sehr begrenzt, zumal auch die praktische Bedeutung gering sein dürfte (Grüner und Sailer 2016, S. 124).

#### **7.1.4 Wasserkraft**

Global gesehen macht die Wasserkraft mit 16,6 % den größten Anteil unter den erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung aus (BMW i 2019). In Deutschland spielt die Stromerzeugung aus Wasserkraft indes eine eher untergeordnete Rolle und lag im Jahr 2016 bei 3,5 % der Bruttostromverbrauchs (BMW i 2019). Die größte Anzahl an Wasserkraftanlagen findet sich in Bayern und Baden-Württemberg (<https://www.foederal-erneuerbar.de/startseite>).

Der Neubau einer Wasserkraftanlage ist als Gewässerausbau gem. § 68 I WHG planfeststellungsbedürftig. Falls für den Gewässerausbau keine Verpflichtung zur Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung besteht, kann anstelle eines Planfeststellungsbeschlusses auch eine Plangenehmigung erteilt werden, § 68 II, III WHG. Der Planfeststellungsbeschluss entfaltet nach § 75 I 1 VwVfG formelle und materielle Konzentrationswirkung hinsichtlich aller bauwerksbezogenen Genehmigungen, Erlaubnisse und Gestattungen (Frenz et al. 2018, § 40, Rn. 12; ausführlich zur Regelungsgeschichte: § 40, Rn. 24ff.).

Durch Wasserkraftnutzung kann es zu Konflikten mit Naturschutzaspekten kommen, weil sie die aquatische Fauna gefährden kann (Laskowski 2011, S. 399). Entsprechend war im EEG 2004 geregelt, dass nach dem 31. Dezember 2007 genehmigte Laufwasserkraftanlagen mit einer Leistung von bis zu 500 kW die erhöhte Vergütung nur erhielten, wenn sie im räumlichen Zusammenhang mit einer ganz oder teilweise bereits bestehenden oder vorrangig zu anderen Zwecken als der Erzeugung von Strom aus Wasserkraft neu errichteten Staustufe oder Wehranlage oder ohne durchgehende Querverbauung errichtet worden sind und



dadurch nachweislich ein guter ökologischer Zustand erreicht oder der ökologische Zustand gegenüber dem vorherigen Zustand wesentlich verbessert worden ist (§ 6 I EEG 2004). Auch im EEG 2012 war noch in § 23 IV geregelt, dass ein Vergütungsanspruch nur besteht, wenn neben den räumlichen Voraussetzungen die Wasserkraftnutzung den Anforderungen des WHG entspricht. Dieser gewässerökologisch motivierte ausdrückliche Verweis auf das WHG wurde im EEG 2014 aufgegeben. Da mit dem Wasserhaushaltsgesetz 2009 (Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts vom 31. Juli 2009, BGBl. I S. 2585) die maßgeblichen fachrechtlichen Anforderungen, die von Gewässernutzungen wie der Wasserkraft einzuhalten sind, bundesweit einheitlich geregelt wurden, sah der Gesetzgeber kein Erfordernis mehr dafür, diese auch im EEG zu formulieren. Vielmehr sollte klar zwischen der rechtlichen Ausgestaltung des Förderregimes im EEG und den ordnungsrechtlichen Anforderungen der Fördertatbestände im WHG getrennt werden und redundante Regelungen vermieden werden (BT-Drs. 18/1304, S. 140).

Standort- und Naturschutzfragen der Wasserkraft sind nunmehr in § 40 IV EEG 2017 geregelt, indem die finanzielle Förderung weiterhin davon abhängig gemacht wird, dass die Anlage im räumlichen Zusammenhang mit einer Staustufe oder Wehranlage oder ohne durchgehende Querverbauung errichtet wurde. Da Wasserkraftanlagen zum wirtschaftlichen Betrieb in der Regel einer EEG-Förderung bedürfen, wird mit der EEG-Regelung eine wirksame räumliche Steuerung erreicht. Die ökologischen Anforderungen müssen in dem Planfeststellungsverfahren nach WHG abgearbeitet werden.

### **7.1.5 Zwischenfazit**

Das EEG nimmt nicht für sich in Anspruch, räumliche oder naturschutzfachliche Aspekte abzarbeiten. Anhand einiger Beispiele konnte aber verdeutlicht werden, dass sich das EEG sehr wohl räumlicher Steuerungsinstrumente bedient und Standorte von Windenergie-, Photovoltaik-, Biomasse- und Wasserkraftanlagen über Bonusregelungen oder Förderkriterien steuert.

## **7.2 Die Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte im EEG-Monitoringbericht und im EEG-Erfahrungsbericht**

Bereits im ersten – zwölf Paragraphen umfassenden – EEG aus dem Jahr 2000 (BGBl. I 305) war in § 12 geregelt, dass das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie jedes zweite Jahr dem Bundestag über den Stand der Markteinführung und der Kostenentwicklung von Anlagen zur Erzeugung von Strom zu berichten hat und eventuelle Anpassungen hinsichtlich der Vergütungshöhe für Windkraftanlagen vorschlagen soll (sogenannter Erfahrungsbericht). Diese Berichtspflicht wurde im Laufe der Zeit immer wieder ergänzt und verändert.

Im Zuge der EEG-Novelle 2012 (BGBl. I 1634) wurde dann neben dem inzwischen vierjährigen Erfahrungsbericht in § 65 EEG 2012 in § 65a EEG 2012 eine weitere Berichtspflicht über den Ausbau der erneuerbaren Energien eingeführt, nämlich die Pflicht zur Erstellung eines jährlichen Monitoringberichts. Diese Zweigleisigkeit wurde bis heute beibehalten und zwischenzeitlich ergänzt um weitere Einzelberichte: Im EEG 2015 durch den Ausschreibungsbericht (inzwischen Teil des Erfahrungsberichts nach § 98 EEG 2017) und im EEG 2017 durch den Mieterstrombericht in § 99.

Im Folgenden werden aufgrund der Sachnähe zu einem naturschutzfachlichen Monitoring der jährliche Monitoringbericht (§ 98 EEG 2017) und der vierjährige Erfahrungsbericht (§ 97 EEG 2017) genauer betrachtet.

### 7.2.1 Das EEG Monitoring nach § 98 EEG (EEG-Monitoringbericht)

Nach § 98 EEG 2017 berichtet die Bundesregierung dem Bundestag jährlich in ihrem Monitoringbericht nach § 63 I Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) über den Stand des Ausbaus der erneuerbaren Energien (EEG-Monitoringbericht). Die Vorgängerregelung im EEG 2014 war noch umfangreicher und bezog sich nicht nur auf den Stand des Ausbaus der erneuerbaren Energien, sondern auch ausdrücklich auf die Erreichung der Ziele nach § 1 II, die Erfüllung der Grundsätze nach § 2, den Stand der Direktvermarktung von Strom aus erneuerbaren Energien, die Entwicklung der Eigenversorgung im Sinne des § 61 und die Herausforderungen, die sich aus den diesen Erkenntnissen ergeben (Im EEG 2012 wiederum waren die Anforderungen aus Nr. 3 (Stand der Direktvermarktung von Strom aus erneuerbaren Energien) und aus Nr. 4 (Entwicklung der Eigenversorgung im Sinne des § 61) noch nicht im Monitoringbericht enthalten (§ 65a EEG 2012). Davon ist man abgekehrt, weil die verfügbaren energiestatistischen Informationen auf eine überschaubare Anzahl von Kenngrößen verdichtet werden und die Abstimmung der beiden gesetzlichen Bestimmungen zum Monitoringbericht (§ 98 EEG und § 63 I EnWG) besser miteinander verzahnt werden sollten. Daher wurde die EEG-Monitoringberichterstattung auf die oben genannten Berichtspunkte fokussiert (BR-Drs. 310/16, S. 308). Mit diesen Daten ist das jährliche EEG-Monitoring auch die Basis für den Erfahrungsbericht zum EEG nach § 97 EEG, den die Bundesregierung dem Bundestag alle vier Jahre vorlegen muss (s. dazu unten 2.3.2.2). Das EEG-Monitoring stützt sich insbesondere auf Daten der amtlichen Energiestatistik, deren Rechtsgrundlage das Energiestatistikgesetz (Energiestatistikgesetz vom 6. März 2017, BGBl. I S. 392 - EnStatG) ist. Während im EEG 2012 noch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit den Bericht vorlegen musste, ging diese Verpflichtung mit dem § 98 EEG 2014 an die Bundesregierung über; aus den Gesetzesmaterialien lässt sich keine Begründung für diese Neuordnung entnehmen.

Ausdrückliche Hinweise auf ein Monitoring von Auswirkungen der erneuerbaren Energien auf den Natur- oder Artenschutz sind der Vorschrift des § 98 EEG 2017 nicht zu entnehmen. Allerdings ist die nachhaltige Energieversorgung im Interesse des Klima- und Umweltschutzes zentraler Zweck des Gesetzes (BT-Drs. 16/8148, S. 35). Insofern ist das energiepolitische Zieldreieck aus Versorgungssicherheit, Bezahlbarkeit und Umweltverträglichkeit Maßstab für die Energiepolitik und den entsprechenden Monitoringpflichten. Dabei ist der Naturschutz als Teil des Umweltschutzes zu sehen (Frenz et al. 2018), § 1, Rn. 6). In der Literatur wird zudem darauf verwiesen, dass Hintergrund der EEG-Monitoringberichtspflichten derjenige sei, dass erneuerbare Energien ihre spezifischen Vor- und Nachteile haben, etwa bei Windkraft die Einsparungen von CO<sub>2</sub>-Emissionen auf der einen und negative Auswirkungen auf das Landschaftsbild und den Naturhaushalt auf der anderen Seite. Es sei Aufgabe eines jeden Monitorings, belastbare Daten und Informationen zu beobachten, um auf sich abzeichnende Fehlentwicklung treffsicher reagieren zu können sehen (Frenz et al. 2018), § 98, Rn. 7) – konsequenterweise muss ein Monitoring daher auch diese Auswirkungen thematisieren.

Erstmals 2012 wurde ein Monitoringbericht verfasst (BMWi und BMU 2012), so dass inzwischen sechs Berichte vorliegen – fünf EEG-Monitoring Berichte und ein „Fortschrittsbericht“ aus dem Jahr 2014 (BMWi 2014). Der Fortschrittsbericht wird alle drei Jahre erstellt und umfasst neben dem Monitoringbericht Stellungnahmen einer unabhängigen vierköpfigen Expertenkommission. Im Vergleich zum jährlichen Monitoringbericht hat der Fortschrittsbericht damit einen auch zukunftsorientierten Blick, ob und inwieweit die Ziele des Energiekonzepts mittel- bis langfristig erreicht werden und welche neuen Maßnahmen ergriffen werden müssen. Da der jährliche Monitoringbericht aber Teil des Fortschrittsberichts ist, ist die jährliche Berichterstattung eingehalten.

Erstmals im Sechsten Monitoring-Bericht aus dem Jahr 2018 gibt es ein eigenständiges Kapitel zur „Umweltverträglichkeit der Energieversorgung“ und ein darauf ausgerichtetes Indikatorenfeld (BMWi 2018a, 142ff.). Bis dahin wurden die „Umweltwirkungen der Energiewende“ in einem zweiseitigen Unterkapitel abgehandelt, welches sich nicht auf Indikatoren bezog, sondern rein deskriptiv war. So wurde z. B. lapidar darauf verwiesen, dass „der Ausbau erneuerbarer Energien nicht selbst zur Belastung von Natur und Landschaft werden dürfe“. Als zentrale Maßnahme werden im Bericht die seit Juli 2016 laufenden Tätigkeiten des Kompetenzzentrums „Naturschutz und Energiewende“ (KNE) aufgeführt, welches Fachinformationen zur Verfügung stellt, Weiterbildung für Konfliktberatung anbietet und Fachdialoge zwischen den Akteuren im Themenfeld Naturschutz und Energiewende initiiert und koordiniert (BMWi 2016a, S. 66). Darüber hinaus wird die Absicht geäußert, zukünftig neben der Entwicklung der Treibhausgasemissionen, auch weitere Folgen der Energiewende für die Umweltverträglichkeit des Energiesystems quantitativ darzustellen. Eine weitere Tätigkeit, die hervorgehoben wird, sind laufende Forschungsarbeiten beim Umweltbundesamt und beim Bundesamt für Naturschutz, die sich mit Fragestellungen zur Umwelt- bzw. Naturverträglichkeit der Energiewende befassen.

Der Verweis auf laufende Forschungstätigkeiten ist auch im Sechsten Monitoring-Bericht der textliche Einstieg in das Kapitel zur Umweltverträglichkeit (BMWi 2018a, S. 142 ff.): *„Gegenwärtig laufen umfangreiche Forschungsarbeiten, um die ökologische Verträglichkeit und Entwicklung vorbeugender Maßnahmen beim Ausbau der erneuerbaren Energien und der Modernisierung der Infrastruktur zu bewerten. Aufbauend auf den Ergebnissen dieser Studien soll schrittweise ein umweltbezogenes Monitoring der Energiewende entwickelt werden“*. Allerdings wird bereits ein erster Systematisierungsversuch unternommen, indem die Auswirkungen der Energiewende, d. h. des Energiesystems und dessen Transformation, auf Wasser, Boden und Luft, Rohstoff- und Flächennutzung, Natur und Landschaft sowie die menschliche Gesundheit betrachtet werden.

### **7.2.2 Der Erfahrungsbericht nach § 97 EEG (EEG-Erfahrungsbericht)**

Nach § 97 EEG evaluiert die Bundesregierung das EEG und legt alle vier Jahre einen Erfahrungsbericht vor. Darin berichtet sie insbesondere über den Stand des Ausbaus der erneuerbaren Energien, die Erreichung der Ziele nach § 1 II EEG und die hierdurch eingesparte Menge Mineralöl und Erdgas sowie die dadurch reduzierten Emissionen von Treibhausgasen, die Erfahrungen mit Ausschreibungen sowie die Entwicklung und angemessene Verteilung der Kosten für Strom aus erneuerbaren Energien. Auf dieser Basis werden Handlungsempfehlungen für die Weiterentwicklung des EEG gemacht. Der Erfahrungsbericht wird – wie der dreijährliche Fortschrittsbericht (siehe 2.3.2.1) – bei der Erstellung durch begleitende wissenschaftliche, vertiefende Gutachten unterstützt.

Der Erfahrungsbericht wird seit dem Jahr 2000 erstellt. Ende Juni 2018 wurde der letzte veröffentlicht (BMWi 2018b), der – wie die Berichte vorher – mit gut 20 Seiten sehr kurz im Vergleich zu den EEG-Monitoringberichten nach § 98 EEG ist. Flankiert wird der Erfahrungsbericht allerdings durch umfangreiche wissenschaftliche Gutachten, die nicht Bestandteil des eigentlichen Erfahrungsberichts sind. Arten- oder naturschutzfachliche Fragen werden in dem Erfahrungsbericht nach § 97 EEG nicht thematisiert.

### **7.3 Ausblick**

In den vorangegangenen Kapiteln konnte nur schlaglichtartig gezeigt werden, dass das EEG sehr wohl in Einzelfällen Standortfragen und Naturschutzaspekte berücksichtigt. Es ist also nicht „raumblind“, sondern will durchaus räumliche Steuerungsakzente setzen. Eine solche

Steuerung erfolgt dabei hinsichtlich aller untersuchten Energieerzeugungsarten (Windenergie, Photovoltaikanlagen, Biomasseanlagen und Wasserkraft). Allerdings offenbart das ständige Nachjustieren der einzelnen naturschutz- und standortbezogenen Stellschrauben, dass es an einer grundlegenden und durchdachten Richtungsentscheidung fehlt (ebenso: Bruns et al. 2016, S. 275). So soll z. B. bei der Windenergie durch das Referenzmodell eine weiträumige, räumlich „gerechte“ Verteilung erzielt werden; diese wird durch das nunmehr eingefügte Ausschreibungsmodell aber wieder unterlaufen. Allerdings hat das EEG laut Gesetzesbegründung ja auch gar nicht den Anspruch, basale Vorgaben zu machen, sondern will nur punktuell Sonderbestimmungen zum Umwelt- und Naturschutz treffen; es mag auch etwas überambitioniert sein, das EEG mit einer differenzierten räumlichen Steuerung aufzuladen. Begleiterscheinung dieser nur halbherzigen Steuerung naturschutzfachlicher und räumlicher Belange ist allerdings auch, dass das EEG-Monitoring bisher nur ansatzweise diese beiden Aspekte aufgreift.

Als Reaktion auf die unvollkommene naturschutz- und standortbezogenen Steuerung im EEG und die Erkenntnis, dass die nachsteuernden, kleinteiligen Korrekturen im EEG hohe Kosten verursachen, wurde erstmals von Hermes die Diskussion über eine Energiefachplanung eröffnet (Hermes 2014). Idee einer solchen ist eine zielorientierte staatliche Bedarfsplanung, mit der Erzeugungsanlagen- und Netzausbau verzahnt werden. Treibendes Argument für ihn ist die Versorgungssicherheit, denn nur bei einer Koordinierung von Netzausbauplanung einerseits und Erzeugung und Verbrauch andererseits könne diese weiterhin gewährleistet werden. Die Idee einer an die vorhandene Struktur der Netzentwicklungsplanung anknüpfenden Energiefachplanung, wurde von weiteren Autorinnen und Autoren aufgegriffen (z. B. Akademie für Raumforschung und Landesplanung 2014; Fromme 2016). Kritik daran wurde von Grüner und Sailer (2016) formuliert, weil sie einen unüberwindbaren strukturellen Unterschied zwischen Stromtransport einerseits und Stromerzeugung andererseits sehen und in Frage stellen, ob es die Netze sein sollten, die das Allokationssignal für EE-Erzeugungsanlagen setzen. Diese Einwände werden aber auch von den Autorinnen und Autoren gesehen und beachtet, denn die Netzentwicklungsplanung soll ja lediglich als Modell verstanden werden. Auch Haaren et al. (2018) lehnen eine einfache Ergänzung des Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz (NABEG) ab und schlagen eine „Fachplanung Energieerzeugung“ vor, bei der bundesweite Zielvorgaben für die Erzeugung von erneuerbarer Energie den Ländern, Regionen und Gemeinden zugeordnet werden. In Köck (2016) werden Anforderungen formuliert, die eine solche umweltgerechte Bedarfsplanung generell erfüllen müsste. Dazu gehören insbesondere die eigenständige Bedarfsfeststellung inklusive Einbeziehung der Öffentlichkeit in die Bedürfnisprüfung, Ermittlung und Bewertung von (umweltschonenderen) Konzeptalternativen, materielle Orientierung der Bedarfsfeststellung an Umwelt- und Nachhaltigkeitszielen, eine transparente Prognoseerstellung sowie periodische Aktualisierung und Kontrollmöglichkeiten (Köck 2016; Köck et al. 2017). An diesem Anforderungsprofil müsste sich eine Energiebedarfsplanung messen lassen.

## 8 Diskussion Abschlussworkshop

*Katja Bunzel, Jana Bovet, Marcus Eichhorn, David Manske, Gunnar Oehmichen, Magdalena Sophia Sachs*

### 8.1 Abschlussworkshop Forschungsvorhaben EE-Monitor

Am 22. November 2018 fand von 10 bis 16 Uhr in den Räumlichkeiten des Bundesamts für Naturschutz (BfN) der Abschlussworkshop und somit das dritte projektbezogene Arbeitstreffen im Rahmen des EE-Monitor Forschungsvorhabens statt. Es nahmen über 25 ExpertInnen aus dem Bereich Naturschutz, Erneuerbare Energien, Forschung, Planung und Politik teil. Methodik

Ein Hauptziel des Abschlussworkshops war es, die zukünftige Implementierung des im EE-Monitor Forschungsvorhaben entwickelten naturschutzfachlichen Monitorings, dessen Potenziale und konzeptionelle Umsetzung aus dem Blickwinkel verschiedener Akteure (Verwaltung, Planung, Forschung, Politik usw.) zu diskutieren. Um hierfür bestmöglich vom Wissen und den Erfahrungen der anwesenden VertreterInnen aus Politik, Forschung und Wirtschaft zu profitieren, wurde auf die international anerkannte Workshop-Methode des moderierten „World Café“ zurückgegriffen. Die Dialog-Methode nach Brown (2010) wurde für die gemeinsame Arbeitsphase innerhalb des Abschlussworkshops als besonders zielführend und wertvoll eingeschätzt, da diese bei lockerer Kaffeehaus-Atmosphäre einen Raum für Begegnung und Beteiligung schafft und somit den inhaltlichen Austausch zwischen den Teilnehmenden anregt. Die methodischen Rahmenbedingungen des World Cafés unterstützen einen kollektiven Ideen- und Wissenstransfer zwischen den Teilnehmenden und davon abgeleitet die gemeinsame Entwicklung neuer Handlungsmöglichkeiten, als auch die Vernetzung der AkteurInnen (Brown 2010).

Von einer Beteiligung der Teilnehmenden an einer Gruppenarbeitsphase während des Abschlussworkshops versprachen sich die AutorInnen aus unterschiedlichen Perspektiven konstruktive Rückmeldungen insbesondere zu den folgenden drei Themenbereichen bzw. Monitoringelementen zu erhalten:

- Konflikt-Monitoring,
- Raum-Monitoring und
- Governance-Monitoring.

Dabei bildete jeder der drei Themenbereiche eine Arbeitsstation, an welcher die Teilnehmenden zur Reflexion und zum Austausch anhand von konkreten Fragen aufgefordert wurden. Die Workshop-Teilnehmenden wurden nach Zufallsprinzip in drei Kleingruppen, bestehend aus sieben bis acht Personen, eingeteilt, um für eine möglichst heterogene Gruppenzusammensetzung zu sorgen. In drei aufeinanderfolgenden Gesprächsrunden besuchte jede der drei Kleingruppen alle drei Stationen. Dabei wurde der jeweilige Dialog in der Kleingruppe durch eine feste Moderation begleitet. Nach 30 min erster Austauschphase rotierten die bestehenden Gruppen zur nächsten Station, an der sie von der Moderation empfangen und in das Erarbeitete der Vorgängergruppe eingeführt wurden, um so eine inhaltliche Verknüpfung der Erkenntnisse aus den unterschiedlichen Gesprächsrunden zu gewährleisten. Darauf aufbauend konnten entweder die vorhergegangenen Diskussionen aufgegriffen oder ganz neue Gedanken und Aussagen eingebracht werden. Über dieses Rotationssystem arbeitete jede der drei Gruppen an allen drei thematischen Stationen für jeweils 30 min. Gebrachte Anregungen, Kritikpunkte und Ideen wurden in jeder Runde auf Moderationskarten verschriftlicht.

Im Anschluß an die gemeinsame Arbeitsphase wurden die festgehaltenen Diskussions- und

Gesprächspunkte im Plenum von den ModeratorInnen zusammengefasst.

## **8.2 Ergebnisse der Diskussion**

### **8.2.1 Station 1: Konflikt-Monitoring**

Moderation: Jennifer Hauck, Protokoll: Gunnar Oehmichen

Vier Fragen in drei Gruppen:

1. Wie kann das Konflikt-Monitoring implementiert werden, insbesondere unter Betrachtung der für den / die Teilnehmenden interessanten Konflikte (Gruppe 1)?
2. Welche Hindernisse gibt es dabei (Gruppe 1)?
3. Was sind Stärken und Schwächen des Konflikt-Monitorings (Gruppe 2)
4. Wie ist mit der schwierigen Implementierung des Konflikt-Monitorings umzugehen und wie könnten Möglichkeiten der Implementierung aussehen (Gruppe 3)?

#### **Gruppe 1**

Wie kann das Konflikt-Monitoring implementiert werden, insbesondere unter Betrachtung der für den / die Teilnehmenden interessanten Konflikte? Welche Hindernisse gibt es dabei?

Unter den Teilnehmenden bestand große Einigkeit über die Notwendigkeit eines Konflikt-Monitorings zur Beschreibung der Konflikte und der Aussage über mögliche Auswirkungen des Ausbaus bestimmter Technologien. Für die Implementierung eines Konflikt-Monitorings sahen die Teilnehmenden allerdings eine Verengung des sehr umfangreichen vorgestellten Indikatorensatzes als hilfreich an. Dabei gilt es besonders, die Aussagekraft der Indikatoren aber auch die Umsetzbarkeit und den Erhebungsaufwand zu berücksichtigen. Die Teilnehmenden haben aber auch verstanden, dass es durchaus einige Konflikte gibt, für die bereits alle Indikatoren im DPSIR-Schema erhoben werden können. Außerdem wurde hervorgehoben, dass z. B. das Monitoring der Kollisionen von Fledermäusen mit Windenergieanlagen durch ein verbessertes Bestands- und Vorkommensmonitoring der betroffenen Fledermausarten erheblich verbessert werden könnte. Dies könne sogar zielführender sein als viele kostenaufwendige Schlagopfersuchen durchzuführen. Denn die Verbesserung des Kenntnisstandes über die Populationsgröße, deren Vorkommen und die Populationsbiologie der betroffenen Arten verbessert die Aussagekraft der Druck-, Zustand- und Auswirkung-Indikatoren.

Wenn die vorgeschlagenen Indikatoren zwar bei bestimmten Akteuren vorliegende, aber nicht frei verfügbare Daten benötigen, ergeben sich weitere Fragen. So müssten zur Ermöglichung der Pflichten zur Datenbereitstellung durch die jeweiligen Akteure, kompetenzrechtliche Fragen geklärt werden. Es muss also evaluiert werden, ob die Akteure mit welcher Rechtsgrundlage zur Datenbereitstellung verpflichtet werden können. Sind die bisher verfügbaren Daten nicht ausreichend, seien Pflichten ein gangbarer Weg. Die Teilnehmenden bezweifelten, dass freiwillige Vereinbarungen zur Datenbereitstellung eine ausreichende Wirkung erzielen würden.

## Gruppe 2

Was sind Stärken und Schwächen des Konflikt-Monitorings?

### *Stärken*

Die Teilnehmenden betonten einheitlich die Notwendigkeit der Fortführung des Konflikt-Monitorings zur naturschutzfachlichen Bewertung der Auswirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien. Die Grundlage hierfür sei mit der nachvollziehbaren Priorisierung nach der Konfliktrelevanz und der Indikatorherleitung gelegt. Die Teilnehmenden waren sich in der Anwendung des DPSIR-Schemas auf die Konflikte als Stärke des Konflikt-Monitorings einig. Denn dieses unterliege einer Kausalkette von Wirkungszusammenhängen und berücksichtigt den Konflikt verstärkende politische Entwicklungen (Treiber) und die Wirksamkeit von konfliktmindernden Handlungen (Reaktion). Hervorgehoben wurde der Vorteil der Systematisierung der Indikatoren durch das DPSIR-Schema. So seien die Indikatoren aufgrund der Einordnung in die Aspekte in der Kausalkette eindeutig. Die Nachvollziehbarkeit des Schemas sei außerdem sehr gut für den Dialog in Science-Policy Interfaces geeignet. Die vorgenommene Priorisierung der Konflikte wurde ebenso als wichtig und nachvollziehbar betont. Interessant sind einige weitere Beiträge. So sagten die Teilnehmenden, dass durch die vorgeschlagenen Indikatoren bisher eher gefühlte Informationen versachlicht würden und die Messung kumulativer Effekte ermöglicht würde. Dies zeigt, dass obwohl einige Studien zu den Auswirkungen der einzelnen Technologien vorliegen (siehe hierzu Abschn. 5.3), die Quantifizierung dieser Auswirkungen im Rahmen eines offiziellen, von Institutionen des Bundes durchgeführten Monitorings, ein wesentlich größeres Gewicht im öffentlichen Diskurs gewinnen könnten.

### *Schwächen*

Eine Schwäche des Konflikt-Monitorings sahen die Teilnehmenden in den gegenüber den weniger aussagekräftigen Bereichen Zielsystem- und Raum-Monitoring wahrscheinlich höheren Kosten des Konflikt-Monitorings. So sollten für die Umsetzung des Konflikt-Monitorings rechtliche Pflichten zur Datenerhebung und Auswertung implementiert und die Finanzierung geklärt werden. Zudem wurde die Frage nach der Erhebung bisher nicht verfügbarer, aber notwendiger Daten durch Freiwilligenarbeit aufgeworfen. Teilnehmende aus dem Bereich Naturschutz hielten diesem Vorschlag entgegen, dass das Monitoring eine staatliche Aufgabe sei, und der ehrenamtliche Naturschutz personell an die Grenzen des Machbaren gerate. Das Konflikt-Monitoring müsse sich außerdem auf klare Zielwerte, wie andere Monitoringvorhaben auch, beziehen. Die Herleitung dieser Zielwerte ist jedoch teilweise für einige vorgeschlagene Indikatoren, die mit statistischen Unsicherheiten und großer natürlicher Varianz einhergehen, eine große Herausforderung. Einfacher kann die Festlegung von Zielwerten besonders für die Reaktion-Indikatoren sein. Denn hier empfiehlt es sich, dass die diskutierten Minderungsmaßnahmen auf breiter Fläche und umfassend implementiert werden. Auch bei einer Umsetzung des Konflikt-Monitorings samt der Auswirkung-Indikatoren sahen einige Teilnehmende noch Schwächen, welche nicht auf die vorgeschlagenen Methoden zurückzuführen sind. Die Erhebung der naturschutzfachlichen Daten, welche in das Konflikt-Monitoring einfließen sollen und meist bereits im Rahmen anderer Monitorings erfolgt, benötigt gewisse Zeiträume. Die Zusammenstellung und Auswertung der Daten im EE-Monitoring bringt eine weitere Verzögerung gegenüber den tatsächlichen Entwicklungen mit sich. Bis also Aussagen über die Auswirkungen in einem bestimmten Jahr vorliegen, können also mehrere Jahre vergehen. In diesem Zeitraum kann sich der Druck auf die Schutzgegenstände bereits erhöht haben. Die Quantifizierung der Auswirkungen und Etablierung des Wissens im politischen Diskurs ist also gegenüber den tatsächlichen Entwicklungen verzögert. Dementsprechend müsse neben der Quantifizierung die Anerkennung des Vorsorgeprinzips

bei steigendem Druck auf die Schutzgegenstände ein größeres Gewicht einnehmen. Eine Schwäche sahen die Teilnehmenden außerdem in den zur Berechnung der Indikatoren teilweise noch nicht verfügbaren und erst zu erhebenden Daten. Hierauf wurde entgegnet, dass oftmals mehr Daten vorhanden sind, als dies scheint, diese jedoch oftmals nicht frei zugänglich seien. Dementsprechend sei es eher nötig, vorhandene Daten zugänglich zu machen (z. B. aus artenschutzrechtlichen Gutachten innerhalb des immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren oder aus den InVeKos Datenbeständen) als neue zu generieren.

### **Gruppe 3**

Wie ist mit der schwierigen Implementierung des Konflikt-Monitorings umzugehen und wie könnten Möglichkeiten der Implementierung aussehen?

Auch die Teilnehmenden dieser Gruppe hoben hervor, dass nur mit dem Konflikt-Monitoring valide Aussagen über die Auswirkungen des Ausbaus der EE auf die betroffenen Schutzgegenstände möglich seien. Sie verstanden das Konflikt-Monitoring auch als eine Methode zur Datensammlung um in Zukunft komplexere Auswirkungen exemplarisch zu untersuchen. Die Teilnehmenden erkannten außerdem die unterschiedliche Qualität der vorgestellten Indikatoren und schlugen vor, die vorgestellten Auswirkung-Indikatoren bei Uneinigkeiten in einem Peer Review Prozess einschätzen zu lassen. Auch in dieser Gruppe wurde die Notwendigkeit von Zielwerten zur Einordnung der Auswirkung-Indikatoren aufgeworfen. Voraussetzung für die Berechnung vieler Auswirkung-Indikatoren seien jedoch, wie der Konflikt um Fledermauskollisionen an Windenergieanlagen verdeutlicht, gute Zustandsdaten, also zum Vorkommen und Populationsbestand der betroffenen Arten. Wenn notwendige Daten noch nicht verfügbar sind, so sind rechtliche Evaluationen, wie von erhobene, aber nicht öffentliche Daten zugänglich gemacht werden können, notwendig. So wird von der Wissenschaft die bisherige Praxis der Frage nach Datenzusammenstellungen der Invekosdaten als nicht praktikabel angesehen. Ein Problem sahen die Teilnehmenden außerdem in dem wiederkehrenden Verweis auf weitere anthropogene Beeinträchtigungen betroffener Schutzgegenstände. Denn eine eindeutige, quantitative Zuordnung der Bestandsveränderungen betroffener Arten zu bestimmten Beeinträchtigungen sei quantitativ nur schwer möglich. Die Auswirkung-Indikatoren können lediglich aufzeigen, dass der Einfluss einer bestimmten Technologie ausreichend ist, um den Bestandstrend zu beeinträchtigen. Deswegen wurde auch hier auf die notwendige Akzeptanz bisher wissenschaftlich etablierter Zusammenhänge und der Anwendung des Vorsorgeprinzips verwiesen. Eine sehr genaue Berechnung der Auswirkungen und Abgrenzung gegen weitere anthropogene Einflüsse bei weiter zunehmenden Druck berge demnach wie oben erwähnt, auch die Gefahr notwendige Maßnahmen zum Schutz der betroffenen Schutzgegenstände zu spät vorzunehmen. Um die teils aufwendige Quantifizierung der Auswirkungen zu finanzieren, wurde außerdem auf das Energieforschungsprogramm des Bundes verwiesen, welches große Fördersummen ausschreibt.

## **8.2.2 Station 2: Raum-Monitoring**

Moderation und Protokoll: Marcus Eichhorn

Die zweite Station widmete sich dem Themenbereich Raum-Monitoring. Dabei wurden die Teilnehmenden nach ihrer persönlichen Einschätzung des Potenzials des Raum-Monitorings insbesondere in Hinblick auf ihr eigenes Arbeitsumfeld gefragt:

1. Wie lässt sich das hier vorgestellte Raum-Monitoring in Ihre tägliche Arbeit integrieren?
2. Welches konkrete Feedback bezüglich der bisherigen konzeptuellen Vorgehensweise haben Sie: Wie zielführend sind die Analysen? Was fehlt, insbesondere bezüglich des Webanwendung Geoinformationssystem (Web-GIS)?



Auffallend bei den jeweiligen Diskussionen in den drei Kleingruppen war, dass die ersten eingebrachten Aussagen und Rückmeldungen sich stets auf die vorab präsentierte Web-GIS-Anwendung bezogen. Davon ausgehend entwickelte sich die Gesprächsdynamik, dass die zwei vorangestellten Fragen zum Raum-Monitoring allgemein (siehe oben) fast ausschließlich im Bezug zur Web-GIS-Anwendung beantwortet wurden. Insgesamt wurde die Bereitstellung der räumlichen Analysen über eine kartographische Darstellung in einem web-basiertem Geoinformationssystem von nahezu allen Teilnehmenden als Besonderheit und Stärke des Raum-Monitorings bewertet.

Aufgrund der einfachen und intuitiven Handhabung der Oberfläche und möglichen Darstellungsanpassungen je nach Interesse der NutzerInnen identifizierten die Workshop-Teilnehmenden insbesondere Kommunalverwaltungen, Planungsverbände oder sonstige lokale Stakeholder als potenzielle Zielgruppen, die durch die niedrighschwellige Zugänglichkeit von den Raum-Monitoring-Analysen profitieren könnten. Für die potenzielle Zielgruppe „LokalpolitikerInnen“ wäre es nach Einschätzung einer Workshop-Teilnehmenden relevant, die räumlichen Analysen zusätzlich zur Bundesland- und Landkreisebene noch auf Gemeinde- bzw. Wahlkreisebene anzubieten.

Neben möglichen Ergänzungen bezüglich des Bezugsraums bzw. Maßstabs diskutierten die Teilnehmenden rege, welche Rolle das Raum-Monitoring bezüglich der Netzausbauplanung der Erneuerbaren Energien bzw. zukünftigen Standortwahl von Anlagen spielen könne und solle. Um hierfür als hilfreiches Tool zu fungieren, fehle es dem Raum-Monitoring-Konzept jedoch zum jetzigen Zeitpunkt an einer Form von Bewertungssystem. So ist beispielsweise aus planerischer Perspektive die Einführung eines Bewertungssystems sinnvoll, welches die einzelnen räumlichen Analysen zueinander in Bezug setzt, deren Ergebnisse summiert und somit Regionen naturschutzfachlich als konfliktarm bis konfliktreich identifiziert und beurteilt.

Um die Konfliktrichtigkeit oder naturschutzfachliche Gefährdung einer Region ausweisen zu können, wurden insbesondere die Distanzanalysen von Anlagen zu bzw. die Lage in Schutzgebieten als besonders aufschlussreich eingeschätzt. Um die Aussagekraft des Raum-Monitorings bezüglich planerischer Fragen zu stärken, wäre eine Erweiterung um zusätzliche Distanzanalysen wie beispielsweise Distanzentwicklung von Anlagen zu Siedlungsflächen (in Meter) zielführend. So können den Netzausbau betreffende Entscheidungsfindungen faktenbasiert diskutiert und unterstützt werden.

Gesprächsbeiträge wie das oben erwähnte Bewertungssystem oder andere ergänzende Messgrößen verdeutlichten, dass sich die Teilnehmenden für eine erfolgreiche Nutzung der abrufbaren räumlichen Analysen und deren kartografische Darstellung noch weitere Unterstützung insbesondere bezüglich der Interpretation der Analyseergebnisse wünschen.

So könne eine Kontextualisierung der bisher für sich allein stehenden Messgrößen über zusätzliche informative Layer wie beispielsweise Stromverbrauch (pro Kopf) pro Landkreis gewährleistet werden. Dazu zählt auch die vorgeschlagene Erweiterung der Web-GIS-Anwendung um Standort- und Anlageninformationen zu konventionellen Erzeugern wie beispielsweise Kohle- oder Gaskraftwerke. In Kombination mit den Informationen zu EE-Anlagen könnte somit ein umfassender Überblick über Stromerzeugung, Stromnetzausbau und damit verbundene räumliche Entwicklungen in Deutschland ab 1990 vermittelt werden.

Ziel des World Cafés war es u. a. möglichst konkrete Handlungsempfehlungen bezüglich der zukünftigen Implementierung des EE-Monitorings zu entwickeln. Dabei unterstrichen die Workshop-Teilnehmenden an unterschiedlichen Punkten der Diskussion die Notwendigkeit zur Kontinuität des Raum-Monitorings. Dies beinhalte neben einer regelmäßigen, am besten jährlichen Datengenerierung und -aktualisierung, auch Veröffentlichung über die Web-GIS-

Anwendung als öffentlichkeitswirksame Plattform zum Wissenstransfer. Nahezu alle Teilnehmenden vertraten diesbezüglich die Ansicht, dass es für die Sicherstellung des kontinuierlichen Weiterführens des Raum-Monitorings dessen Institutionalisierung bedürfe. Dabei biete sich an, dass z. B. das Bundesamt für Naturschutz auch weiterhin die administrative und finanzielle Verantwortung übernehme, da durch das gegenwertige Forschungsvorhaben EE-Monitor erste Erfahrungswerte zu erforderlicher Datenvielfalt und Verfügbarkeit aktueller Datensätze gesammelt wurden. Gerade diese beiden Punkte stellten nach Einschätzung der Teilnehmenden die größten Herausforderungen für ein umfassendes und realitätsabbildendes Raum-Monitoring dar.

Hinsichtlich der Frage wie sich das Raum-Monitoring in ihre alltägliche Arbeit integrieren ließe, wurde von den Anwesenden mehrfach bestätigt, dass die kartografische Darstellung der räumlichen Analysen grundsätzlich sehr informativ sei. Für das eigene Arbeiten wäre eine zusätzliche Downloadfunktion der entsprechenden georeferenzierten Daten als Shapefile jedoch von großem und entscheidendem Nutzen. Dabei steht diese Idee des Datendownloads ganz im Sinne des Open-Science-Anspruchs der Helmholtz-Gesellschaft, welcher den offenen, auch digitalen Zugang zu wissenschaftlichem Wissen als auch Transfer in die Gesellschaft impliziert (<https://www.ufz.de/index.php?de=36297>).

### **8.2.3 Station 3: Governance-Monitoring**

Moderation und Protokoll: Jana Bovet

An der dritten Station wurde zu der Frage diskutiert, in welche Richtung die Steuerung der Erneuerbaren Energien gehen sollte. Die drei Optionen, die in den Blick genommen wurden, waren:

1. Sollte die Steuerung mehr dem Markt, sprich dem EEG, überlassen werden?
2. Sollte es eine räumlich differenziertere Planung geben?
3. Sollte es eine bundesweite Energiefachplanung geben?

Auffällig war, dass in allen drei Runden des World-Cafés die ersten Diskussionen immer beim EEG ansetzten, obwohl die Fragen in keiner Reihung abzarbeiten waren. Grund dafür dürfte sein, dass es mit dem EEG bereits positive Erfahrungen gibt. Entsprechend plädierten die Diskutierenden dafür, dass der über das EEG geschaffene Anreiz zur Kostensenkungen erhalten bleiben müsse. Das EEG mit einer räumlichen Steuerung zu koppeln, wurde grundsätzlich als sinnvoll erachtet. Einschränkend wurde vorgebracht, dass die Durchsetzungsfähigkeit einer solchen gekoppelten Steuerung aus EEG-Förderung und räumlicher Steuerung spartenabhängig sei. So könne das EEG sehr gut eine räumliche Steuerung der Wasserkraft vornehmen, bei der Windenergie sei dies ungleich schwieriger. Einhellig befürwortet wurde die Forderung, dass über das EEG eine langfristige Planungssicherheit für Anlagen geschaffen werden müsse. Uneinig war man sich, ob Abschaltzeiten von Windenergieanlagen auf der Basis von Algorithmen als „Stand der Technik“ gesehen werden sollten und gleichsam als Voraussetzung für eine EEG-Förderung gelten könnten. Während einige der Teilnehmenden den Standpunkt vertraten, dies sei bereits ausgeübte Praxis, wurde dies von anderen verneint. Mit dem Hinweis, es müssten alle Steuerungsbedingungen betrachtet werden und nicht nur das EEG, wurde die Forderung formuliert, hierbei müsse auf eine übergeordnete Konsistenz aller Steuerungsansätze geachtet werden. Dabei wurde in allen drei Gesprächsrunden das Erfordernis betont, neben dem EEG sei insbesondere eine flankierende räumliche Planung unabdingbar.

Ob eine solche flankierende räumliche Planung regional ausdifferenziert werden dürfe,

wurde in den ersten beiden Gesprächsrunden bejaht. Sie sei sowohl für die regionale Energieversorgung als auch für die Abwägung von z. B. Artenschutzbelangen erforderlich. Explizit für die Windenergie wurde hervorgehoben, dass die Regionalplanung die richtige überörtliche Steuerungsebene für die Festlegung von Windenergiegebieten sei. Alle Teilnehmenden waren sich gleichwohl der Hürden einer gerichtsfesten Planung bewusst. Entsprechend wurde angemahnt, dass eine (rechtssichere) Konsistenz der Planung gerade bei der Steuerung von Windenergie wichtig sei. Als Beispiel für eine erfolgreiche Abarbeitung der Artenschutzproblematik in der Windenergieplanung wurde der Umgang mit der Rotmilanpopulation in Hessen und Thüringen erwähnt. Hier scheint es der Regionalplanung ganz gut zu gelingen, diesem Anspruch gerecht zu werden. Gleichsam als Argument gegen eine räumlich differenzierte Planung wurde dann in der dritten Gesprächsrunde die Frage aufgeworfen, ob es eine erfolgreiche Energiewende geben könne, an der ganze Regionen – hier wurde auf das Bundesland Bayern mit seiner 10 H-Regelung angespielt – nicht teilnehmen würden (Windrad muss mindestens das Zehnfache der Bauhöhe von der nächsten Wohnsiedlung entfernt sein). Dieses Beispiel würde zeigen, dass es nicht (immer) sinnvoll sei, den Ländern die Möglichkeit einzuräumen, eigene regionalplanerische Akzente zu setzen.

Hinsichtlich der Möglichkeiten einer bundesweiten Energiefachplanung gab es viel Klärungs- und Diskussionsbedarf. Dies resultierte zum einen sicherlich daher, dass der Begriff der Energiefachplanung (noch) nicht gesetzt, sondern heterogen und dynamisch ist. Daher wurden in allen drei Gesprächsrunden Ziele, Kriterien und Grenzen einer Energiefachplanung diskutiert. Leitend war dabei die Idee, eine solche Energiefachplanung müsse den Mittelweg finden zwischen Schranken setzender und Effizienz gewährender Planung. Konsens bestand auch insoweit, dass eine zentrale Energiefachplanung für das ganze Bundesgebiet oder für ganz Europa als nicht für sinnvoll erachtet wurde, zumal durch das Subsidiaritätsprinzip rechtliche Hürden gegeben seien. Eher ginge es darum, die Netzentwicklungsplanung um Bundesvorgaben für den Ausbau Erneuerbarer Energien zu ergänzen. Recht positiv wurde die Idee aufgenommen, dass der Bund eine Zielvorgabe für Erneuerbare Energien setzt – ob und inwieweit spartenbezogen, blieb offen -, welche auf die Länder und Regionen heruntergebrochen wird. Unklar blieb auch, welche Rolle dabei die Länder und Regionen haben; ob sie quasi bottom-up ihre eigenen Zielvorgaben rückmelden oder ob dies über eine top-down Verteilung erfolgen sollte. Es gab darüber hinaus unter den Diskutierenden eine grundsätzliche Zustimmung zur Festlegung von bundesweiten Standards. Allerdings sollten die Länder die Möglichkeit haben, von diesen Standards abzuweichen und sie an sozioökonomische Aspekte anzupassen oder sie entsprechend der Bedeutung vor Ort relativieren zu können. Nach Beispielen gefragt, schlugen die Diskutierenden vor, dass der Bund Vorgaben zur Planungsmethode, insbesondere für fachliche Gutachten, machen sollte. Ein zweites Beispiel, das genannt wurde, waren bundesweite Kriterien für die Festlegung von „No-Go“- und „Go“-Gebieten. In diesem Zusammenhang wurde als ein Beispiel auf die Nutzung von Windkraft im Wald verwiesen, die aktuell in den Bundesländern sehr unterschiedlich gehandhabt werde; hier könnte der Bund z. B. bestimmte Waldtypen einheitlich als harte Tabuzone („No-Go“-Gebiet) definieren. Abgelehnt wurde indes die bundesweite Vereinheitlichung von Abstandsregelungen. Die Frage, ob mit einer Standardisierung mehr Akzeptanz und eine höhere Durchsetzungsfähigkeit erzielt werden könne, blieb offen.

## 9 Empfehlungen für die Implementierung eines naturschutzfachlichen Monitorings des Ausbaus der erneuerbaren Energien im Strombereich

*Katja Bunzel, Gunnar Oehmichen, Daniela Thrän*

Im Forschungsvorhaben „Naturschutzfachliches Monitoring des Ausbaus der erneuerbaren Energien im Strombereich und Entwicklung von Instrumenten zur Verminderung der Beeinträchtigung von Natur und Landschaft“ wurde ein systematisches, mehrteiliges Monitoringkonzept entwickelt, das es erstmals ermöglicht, deutschlandweit Auswirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien auf Natur und Landschaft abzubilden.

Ziel des in diesem Forschungsvorhaben entwickelten naturschutzfachlichen Monitorings ist die Darstellung der zeitlichen Entwicklung des Ausbaus der Anlagen zur Erzeugung und Übertragung von Strom aus erneuerbaren Energien (Windenergie, Photovoltaik, Bioenergie, Wasserkraft, Freileitungen und Erdkabel) und den daraus resultierenden Konfliktintensitäten mit den auf die jeweiligen Schutzgegenstände gerichteten Schutzziele. Je größer die Abweichung der durch die Nutzung von erneuerbaren Energien hervorgerufenen Zustandsänderungen von Natur und Landschaft von den jeweiligen Zielvorstellungen sind, die durch die Ziele des Natur- und Umweltschutzes demokratisch legitimiert werden, und je gewichtiger der Status des Schutzgegenstandes ist, desto intensiver wird der Konflikt mit den angestrebten Schutzziele. Dabei gilt: je klarer die Ziele formuliert sind, desto einfacher lassen sie sich in Monitoringinhalte übersetzen. Im Laufe des Forschungsvorhabens zeigte sich jedoch, dass es kaum quantifizierte Ziele gibt, was die Entwicklung des naturschutzfachlichen Monitorings und die Ableitung konkreter Empfehlungen zur Umsetzung erschwerte. Die Konkretisierung eines naturverträglichen Ausbaus erneuerbarer Energien in messbare Ziele stellt damit eine wichtige Handlungsempfehlung dar, die über die mögliche Implementierung des Monitoringkonzeptes hinausgeht, dieses aber in der Perspektive vereinfachen könnte.

Für die perspektivische Implementierung der verschiedenen in diesem Projekt entwickelten Monitoringelemente lassen sich außerdem unterschiedliche Empfehlungen ableiten:

Am anschlussfähigsten und damit am schnellsten umsetzbar an bereits in der Politik etablierte Strukturen wie den Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“ der Bundesregierung ist das **Zielsystem-Monitoring** (Kapitel 4). In diesem wurden die auf politischer Ebene definierten fünf zentralen Elemente für eine naturverträgliche Energiewende 2050 mit quantifizierbaren Zielsystem-Indikatoren hinterlegt und Zielen für das Jahr 2050 gegenübergestellt. Zeigen die Zielsystem-Indikatoren eine gegensätzliche Entwicklung zum Ziel für das Jahr 2050 auf, sollte geprüft werden, welche Anpassungen in den Rahmenbedingungen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien notwendig sind. Aussagen zur Betroffenheit von Natur und Landschaft durch den Ausbau der erneuerbaren Energien können allein anhand der Zielsystem-Indikatoren jedoch nicht abgeleitet werden. Hierzu bedarf es weiterer Monitoringelemente, wie dem Konflikt- oder Raum-Monitoring.

Im Rahmen des Monitoringkonzeptes liegt das **Konflikt-Monitoring** (Kapitel 5) inhaltlich zwar am nächsten an der Problemstellung des naturverträglichen Ausbaus der EE, jedoch gibt es hier noch größere Herausforderungen hinsichtlich einer möglichen Implementierung:

1. Im Rahmen des Forschungsvorhabens gelang eine umfassende Zusammenstellung der **Konflikte**, welche sich zwischen dem Ausbau der erneuerbaren Energien und dem Naturschutz ergeben. Die 55 identifizierten Konflikte wurden einerseits aus dem gesetzlichen Anforderungsrahmen und andererseits aus den Wirkungszusammenhängen auf Ökosysteme abgeleitet. Zwar sollte ein bundesweites naturschutzfachliches Monitoring

die damit verbundenen potenziellen Konflikte möglichst umfassend berücksichtigen, jedoch ist die Praktikabilität und Kommunizierbarkeit des Monitorings angesichts von 55 Konflikten mit sehr unterschiedlicher Relevanz und Datenlage fraglich. Auch konnte im Rahmen des Forschungsvorhabens eine detaillierte Indikatorherleitung nicht für eine so hohe Anzahl an Konflikten erfolgen. Daher wurde, über eine Befragung der Mitglieder der projektbegleitenden Arbeitsgruppe, eine Priorisierung der Konflikte anhand der Konfliktrelevanz vorgenommen. Die weitere Indikatorherleitung und vertiefte Bearbeitung erfolgte dann für elf als am relevantesten identifizierte Konflikte. Dieses Vorgehen stellt einen ersten Annäherungsversuch an das Thema Konfliktpriorisierung bzw. -auswahl dar, da im Rahmen des Forschungsvorhabens keine weitergehenden Befragungen zur Einschätzung der Konfliktrelevanz vorgesehen waren sowie teilweise die entsprechende Literatur fehlte. Aus Sicht der AutorInnen sollte die im Forschungsvorhaben vorgenommene Priorisierung anhand der Konfliktrelevanz mit einer ausführlichen Literaturrecherche (deutsch- und englischsprachiger Raum) sowie einer anhand von wissenschaftlich fundierten Grundlagen konzipierten repräsentativen nationalen Expertenbefragung überprüft und ggf. unteretzt werden. Die Ergebnisse sollten dann im Rahmen eines nationalen Experten-Workshops diskutiert werden.

2. Die im Forschungsvorhaben identifizierten Konflikte stellen oftmals schwer zu quantifizierende Wirkzusammenhänge dar. Im Forschungsvorhaben wurde der DPSIR Ansatz der Europäischen Umweltagentur als geeignet identifiziert, um die gesamte kausale Kette (Treiber, Druck, Zustand, Auswirkung und Reaktion) in der Beschreibung und Messung der Konflikte zwischen dem Ausbau der erneuerbaren Energien und dem Naturschutz zu berücksichtigen. Im **Konflikt-Monitoring** wurden daher für jeden der elf Konflikte fünf Indikatoren/Indikatorenbereiche bearbeitet, wobei für alle Konflikte das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) als Treiber fungiert. Aus den Ergebnissen der Indikatorherleitung ist ersichtlich, dass der Großteil der Indikatoren, welche den Treiber und den Zustand der belasteten Schutzgegenstände beschreiben, mit Daten hinterlegt werden können bzw. die Daten mit sehr geringem Aufwand öffentlich verfügbaren Quellen entnommen werden können. Jedoch entfalten diese Indikatorbereiche in Bezug auf die naturschutzbezogenen Auswirkungen nur eine geringe bis mittlere Aussagekraft. Insbesondere die Entwicklung des Zustandes unterliegt meistens vielen weiteren Einflüssen als nur den Auswirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien. Den Indikatoren für die Bereiche Druck, Auswirkung und Reaktion wird eine höhere Aussagekraft zugeschrieben, jedoch können diese nur teilweise direkt berechnet werden, da die dafür notwendigen Daten entweder nicht vorliegen oder nicht öffentlich zugänglich sind. Insbesondere die Auswirkungs-Indikatoren sind unabdingbar für eine Quantifizierung der Auswirkungen, erfordern jedoch teilweise aufwendige Erhebungen und Berechnungen bzw. Modellierungen. Sie sind in ihrer Komplexität und unter der Berücksichtigung statistischer Unsicherheiten nur bedingt für die politische Kommunikation oder Ableitung von Maßnahmen geeignet.
3. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Aussagekraft und Datenverfügbarkeit sollte in einem weiteren Forschungsvorhaben geprüft werden, inwiefern das hier entwickelte Set an Indikatoren vereinfacht werden bzw. die Datenlage verbessert werden könnte. So sind die meisten Druck-Indikatoren räumlich aufgelöst, und es könnte überprüft werden, ob räumliche Korrelationen zwischen den Druck-Indikatoren des Konflikt-Monitorings und bestimmten Messgrößen des Raum-Monitorings bestehen. Bei engen Korrelationen könnte dann das Set der Druck-Indikatoren entsprechend verringert werden. Der im Forschungsvorhaben verwendete Konfliktbegriff basierte auf spezifischen Wirkzusammenhängen. Dies hatte zur Folge, dass z. B. die Verschlechterung landwirtschaftlich genutzter Flä-

chen als Lebensraum durch den Anbau nachwachsender Rohstoffe für die Biogaserzeugung durch drei Konflikte beschrieben wurde (Verlust von Biodiversität und Agrobiodiversität durch Verengung der Fruchtfolgen im Energiepflanzenanbau, Monokulturbildung und weitere Effekte; Verlust von Lebensräumen durch Grünlandintensivierung und –umbruch; Verlust von Brachflächen durch den Energiepflanzenanbau). Die vorgeschlagene Messung der Indikatoren für Treiber, Druck und Auswirkung ist jedoch für alle drei Konflikte sehr ähnlich. Zudem lassen sich die Wirkungszusammenhänge auf die betroffenen Lebensgemeinschaften der Agrarlandschaft (z. B. Vögel) kaum gegeneinander abgrenzen. Deshalb sollte insgesamt geprüft werden, ob bestimmte Konflikte für das Monitoring zusammengeführt werden könnten, um das Indikatorenset weiter zu verengen.

Im Bereich des „Druck“ bieten räumliche Analysen und Messgrößen die Möglichkeit, die potenziellen Belastungen auf die verschiedenen Schutzgegenstände zu beschreiben und damit auf Basis möglichst vollständiger Technologie-Datenbanken flächendeckende Informationen zum räumlichen und strukturellen Ausbau der erneuerbaren Energien und deren Stromnetzes im Zeitverlauf bereitzustellen. Dies wurde im Forschungsvorhaben im Rahmen des **Raum-Monitoring** umgesetzt (Kapitel 6). Die entwickelten Messgrößen ermitteln anhand von transparenten und reproduzierbaren Methoden u. a. wo die EE-Anlagen stehen, welchen Abstand sie z. B. zu Schutzgebieten (BNatSchG) einnehmen (Entfernungen) und wie viele Anlagen in einem Bezugsraum errichtet wurden. Die Messgrößen stehen zwar nicht in einem unmittelbar kausalen Zusammenhang mit den Auswirkungen, generieren dennoch wichtiges Grundwissen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien im Raum, was über die reine Berichterstattung von Anlagenbestandzahlen hinausgeht. Eine wesentliche Voraussetzung für die Bestimmung der Messgrößen bilden die im Forschungsvorhaben erstellten konsistenten, räumlich hoch aufgelösten Datenbanken der EE Anlagen (Wind, Photovoltaik, Biomasse, Wasserkraft) sowie der Freileitungen und Erdkabel in Deutschland. Die Datenbanken wurden in zwei Datenartikeln veröffentlicht und somit der Forschung und einer interessierten Öffentlichkeit frei zugänglich gemacht. Im Rahmen eines naturschutzfachlichen Monitorings sollten die Datenbanken aufbauend auf den bisherigen methodischen Ansätzen und erarbeiteten Daten kontinuierlich validiert, qualitätsgesichert, methodisch weiterentwickelt sowie fortgeschrieben werden. Auch gibt es noch Lücken im Datenbestand und wichtige Themen wie Repowering und Stilllegung der Anlagen konnten aufgrund der Datenlage bisher nur eingeschränkt bearbeitet werden.

Bisher können die Messgrößen des Raum-Monitorings die Frage „wo trifft die Technologie auf den Schutzgegenstand“ nur relativ unspezifisch beantworten. Es fehlt die für eine spezifische Bewertung notwendige bundesweite Raumkulisse wie z. B. Verbreitungsgebiete bestimmter Vogelarten oder aber auch Informationen zu „No-Go“- und „Go-Gebieten“ (z. B. Vorrang-, Vorbehalts- und Eignungsgebiete als Instrumente der Raumordnung). Erste Ansätze, wie die Berücksichtigung von Konfliktrisikoklassen für die Windenergie, konnten beispielhaft aufgezeigt werden und sollten einer weitergehenden Validierung für die Nutzung im EE-Monitoring unterzogen werden. In Verknüpfung mit solchen Informationen könnte das Raum-Monitoring im Zeitverlauf darstellen, ob „No-Go“- und „Go-Gebieten“ beim Ausbau Beachtung finden und damit auch Eingang finden in die energiepolitische Debatte um den geplanten Ausbau der erneuerbaren Energien.

Die Schnittstelle zwischen der politisch-administrativen Steuerung des Ausbaus der erneuerbaren Energien und der tatsächlichen Realisierung der Anlagen im Raum bildet das **Governance-Monitoring** (Kapitel 7). Im Rahmen dieses Monitoringteils sollte kontinuierlich überprüft werden, ob und wenn ja, wie eine räumliche Steuerung der erneuerbaren Energien

durch das Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG) erfolgt und wie die Interessen des Naturschutzes dabei Berücksichtigung finden. Das Governance-Monitoring erfolgt aktuell qualitativ und könnte, ggf. nach einer weitergehenden Standardisierung, umgehend als Monitoringelement in die bereits etablierte Berichterstattung zum Ausbau der erneuerbaren Energien aufgenommen werden.

Generell ist anzumerken, dass das hier vorgeschlagene Monitoringsystem als ein „lernendes System“ zu begreifen ist und nicht als starres abgeschlossenes Berichtssystem. Für den Fall der Etablierung des Monitorings ist eine regelmäßige Überprüfung in Hinblick auf die Indikatoreauswahl und –passfähigkeit sowie die notwendige Datenbasis unerlässlich.

Bei einer vorausschauenden und vorsorgeorientierten Planung sollten die Wechselwirkungen zwischen Anlagen zur Erzeugung und Übertragung von Strom aus erneuerbaren Energien und den Auswirkungen auf Natur und Landschaft berücksichtigt werden. Dazu bedarf es eines bundesweiten Zukunftsbildes des naturverträglichen Ausbaus der erneuerbaren Energien, das sich mit der notwendigen räumlichen Auflösung dazu äußert, wie der Komplettumstieg auf erneuerbare Energien realisiert werden soll. Szenarien und Bewertungsansätze zum naturverträglichen Ausbau der erneuerbaren Energien mit klarem Raumbezug könnten hier Abhilfe schaffen. Sie müssten zum einen hinreichend konkret sein, so dass man die Zielerreichung bestimmen kann. Zum anderen muss die Nutzung von Zielgrößen im Monitoring eine entsprechende Legitimierung durch den Gesetzgeber erfahren. Für die konfliktbezogenen Messgrößen des Monitoringsystems wurde in Teilen noch Forschungsbedarf ermittelt. Wenn sie entsprechend ausgearbeitet und mit Daten hinterlegt sind, können sie die Entwicklung eines solchen Zukunftsbildes unterstützen, jedoch den notwendigen fachlichen und politisch-gesellschaftlichen Diskurs zu diesem Bild keinesfalls ersetzen.

## Literaturverzeichnis

- 50Hertz (2019): compactLine. 50Hertz Transmission GmbH, zuletzt aktualisiert am <https://www.50hertz.com/Unternehmen/Innovation/compactLine>, zuletzt geprüft am 10.05.2019.
- AG Fledermausschutz (2017): Regenerative Energien & Fledermausschutz. Tübingen. Online verfügbar unter [https://www.agf-bw.de/30\\_praxistipps/34\\_reg\\_energien.html](https://www.agf-bw.de/30_praxistipps/34_reg_energien.html), zuletzt aktualisiert am 2017, zuletzt geprüft am 09.05.2019.
- Ahmels, Peter; Grünert, Judith; Hänlein, Rotraud; Palenberg, Anne; Rosenkranz, Gerd (2013): Plan N 2.0 – Politikempfehlungen zum Umbau der Stromnetze für die Energiewende. Forum Netzintegration Erneuerbare Energien. Deutsche Umwelthilfe e. V. (DUH). Radolfzell.
- Aigner, A.; Biertümpel, A.; Conrad, M.; Deiglmayr, K.; Diepolder, M.; Eder, B. et al. (2012): Energiepflanzen für Biogasanlagen. Hg. v. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). Online verfügbar unter [https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/f/n/fnr\\_brosch\\_energiepflanzen\\_bayern\\_web.pdf](https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/f/n/fnr_brosch_energiepflanzen_bayern_web.pdf), zuletzt geprüft am 09.05.2019.
- Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hg.) (2014): Leitbilder und Handlungsstrategien der Raumentwicklung in Deutschland 2013 (Positionspapier aus der ARL, 96). Online verfügbar unter [https://shop.arl-net.de/media/direct/pdf/pospaper\\_96.pdf](https://shop.arl-net.de/media/direct/pdf/pospaper_96.pdf), zuletzt geprüft am 09.05.2019.
- Albrecht, Harald; Mayer, Franziska; Wiesinger, Klaus (2009): Biodiversität und Artenschutz bei Ackerwildpflanzen. Biodiversity and species conservation of arable weeds. In: *Laufer Spezialbeiträge* 09 (2), S. 135–142. Online verfügbar unter [https://www.anl.bayern.de/publikationen/spezialbeitraege/doc/lsb2009\\_2\\_013\\_albrecht\\_et\\_al\\_biodiversitaet\\_ackerwildpflanzen.pdf](https://www.anl.bayern.de/publikationen/spezialbeitraege/doc/lsb2009_2_013_albrecht_et_al_biodiversitaet_ackerwildpflanzen.pdf), zuletzt geprüft am 15.05.2019.
- Albrecht, Rüdiger.; Mertens, Ismene.; Ziesemer, Fridjof (2013): Empfehlungen zur Berücksichtigung der tierökologischen Belange beim Leitungsbau auf der Höchstspannungsebene. Hg. v. Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR). Online verfügbar unter [https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/E/eingriffsregelung/Downloads/Empfehlungen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/E/eingriffsregelung/Downloads/Empfehlungen.pdf?__blob=publicationFile&v=1), zuletzt geprüft am 09.05.2019.
- Ammermann, Kathrin (2018): Das Erneuerbare-Energien-Gesetz 2017 - Was ist neu? Eine erste kritische Einschätzung aus Naturschutzsicht. In: *Natur und Landschaft* 93 (5), S. 208–214. DOI: 10.17433/5.2018.50153575.208-214.
- Amprion (2018): Vögel und Freileitungen. Vogelschutz bei Amprion. Hg. v. Amprion GmbH. Online verfügbar unter [https://www.amprion.net/Dokumente/Mensch-Umwelt/vogelschutz/AMP\\_17\\_012\\_BRO\\_Vogeschutz\\_Innen\\_DE\\_180404.pdf](https://www.amprion.net/Dokumente/Mensch-Umwelt/vogelschutz/AMP_17_012_BRO_Vogeschutz_Innen_DE_180404.pdf), zuletzt aktualisiert am 2018, zuletzt geprüft am 09.05.2019.
- Amprion (2019a): Erdkabel. Amprion GmbH. Online verfügbar unter <https://www.amprion.net/%C3%9Cbertragungsnetz/Technologie/Erdkabel/Erdkabel.html>, zuletzt geprüft am 24.10.2019.
- Amprion (2019b): Freileitungen. Amprion GmbH. Online verfügbar unter <https://www.amprion.net/%C3%9Cbertragungsnetz/Technologie/Freileitung/>, zuletzt geprüft am 10.05.2019.
- Anonymus (2019a): Liste von Pumpspeicherkraftwerken (Wikipedia). Online verfügbar unter [https://de.wikipedia.org/wiki/Liste\\_von\\_Pumpspeicherkraftwerken](https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_von_Pumpspeicherkraftwerken), zuletzt geprüft am 09.05.2019.



- Anonymus (2019b): Ockhams Rasiermesser. Online verfügbar unter [https://de.wikipedia.org/wiki/Ockhams\\_Rasiermesser](https://de.wikipedia.org/wiki/Ockhams_Rasiermesser), zuletzt geprüft am 15.10.2019.
- Anonymus (2019c): Statistische Signifikanz. Online verfügbar unter [https://de.wikipedia.org/wiki/Statistische\\_Signifikanz](https://de.wikipedia.org/wiki/Statistische_Signifikanz), zuletzt aktualisiert am 18.10.2019.
- Arnett, Edward B.; Hein, Cris D.; Schirmacher, Michael R.; Huso, Manuela M. P.; Szewczak, Joseph M. (2013): Evaluating the Effectiveness of an Ultrasonic Acoustic Deterrent for Reducing Bat Fatalities at Wind Turbines. In: *PLoS ONE* 8 (6), e65794. DOI: 10.1371/journal.pone.0065794.
- Aschwanden, Janine; Liechti, Felix (2016): Vogelzugintensität und Anzahl Kollisionsopfer an Windenergieanlagen am Standort Le Peuchapatte (JU). Bundesamt für Energie BFE. Bern (SI/50 1139-01). Online verfügbar unter <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/46367.pdf>, zuletzt geprüft am 09.05.2019.
- Baader, Wolfgang (2011): Entwicklung landwirtschaftlicher Biogasanlagen – 1944 bis 1990. In: *BIOGAS Journal, FACHverband Biogas e.V.* (1), S. 38–41, zuletzt geprüft am 25.07.2018.
- Baerwald, E. F.; D'Amours, Genevieve H.; Klug, Brandon J.; Barclay, R. M. R. (2008): Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. In: *Current Biology* 18 (16), R695–R696. DOI: 10.1016/j.cub.2008.06.029.
- Baier, H.; Erdmann, F.; Holz, R.; Waterstraat, A. (Hg.) (2006): Freiraum und Naturschutz. Die Wirkungen von Störungen und Zerschneidungen in der Landschaft. Berlin: Springer.
- Bairlein, Franz; Dierschke, Jochen; Dierschke, Volker; Salewski, Volker; Geiter, Olaf; Hüppop, Kathrin et al. (2014): Atlas des Vogelzugs. Ringfunde deutscher Brut- und Gastvögel. Wiebelsheim: Aula-Verlag.
- Barré, Kévin; Le Viol, Isabelle; Bas, Yves; Julliard, Romain; Kerbiriou, Christian (2018): Estimating habitat loss due to wind turbine avoidance by bats. Implications for European siting guidance. In: *Biological Conservation* 226, S. 205–214. DOI: 10.1016/j.biocon.2018.07.011.
- Bastian, Hans Valentin; Feulner, Jürgen (Hg.) (2015): Living on the edge of extinction in Europe. Proceedings of the 1st European Whinchat Symposium in Helmbrechts, 28.-29. Mai 2015. European Whinchat Symposium; Landesbund für Vogelschutz in Bayern e.V.: Landesbund für Vogelschutz Kreisgruppe Hof.
- Bastos, Rita; Pinhaños, Ana; Santos, Mário; Fernandes, Rui F.; Vicente, Joana R.; Morinha, Francisco et al. (2016): Evaluating the regional cumulative impact of wind farms on birds. how can spatially explicit dynamic modelling improve impact assessments and monitoring? In: *Journal of Applied Ecology* 53 (5), S. 1330–1340. DOI: 10.1111/1365-2664.12451.
- BDEW (2013): Neue Zahlen zum deutschen Stromnetz. Hg. v. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW). Online verfügbar unter [https://www.bdew.de/inter-net.nsf/id/8FE409A16ED16AC2C1257D2B0027B169/\\$file/140805%20BDEW%20neue%20Zahlen%20zum%20deutschen%20Stromnetz%20Anhang.pdf](https://www.bdew.de/inter-net.nsf/id/8FE409A16ED16AC2C1257D2B0027B169/$file/140805%20BDEW%20neue%20Zahlen%20zum%20deutschen%20Stromnetz%20Anhang.pdf), zuletzt geprüft am 15.04.2016.
- BDEW (2017): Entwicklung der Stromnetze in Deutschland. Hg. v. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW). Online verfügbar unter [https://www.bdew.de/media/documents/Stromkreislaengen\\_D\\_Entw\\_10J\\_o\\_online\\_jaehrlich\\_Ki\\_29032019.pdf](https://www.bdew.de/media/documents/Stromkreislaengen_D_Entw_10J_o_online_jaehrlich_Ki_29032019.pdf), zuletzt geprüft am 09.05.2019.
- Becker, Heike; Theis, Kristina (2017): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht 2016. Hg. v. Statistisches Bundesamt (DESTATIS). Online verfügbar unter

[https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Nachhaltigkeitsindikatoren/\\_inhalt.html#sprng243656](https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Nachhaltigkeitsindikatoren/_inhalt.html#sprng243656), zuletzt geprüft am 02.05.2019.

- Becker, Raik; Thrän, D. (2017): Completion of wind turbine data sets for wind integration studies applying random forests and k-nearest neighbors. In: *Applied Energy* 208, S. 252–262.
- Behr, Oliver; Brinkmann, Robert; Korner-Nievergelt, Fränzi; Nagy, Martina; Niermann, Ivo; Reich, Michael; Simon, Ralph (Hg.) (2015): Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II). Hannover: Institut für Umweltplanung - Leibniz Universität Hannover (Umwelt und Raum, 7). Online verfügbar unter <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Behr-et-al-2016.pdf>, zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Behr, Oliver; Brinkmann, Robert; Niermann, Ivo; Korner-Nievergelt, Fränzi (2011a): Akustische Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. In: Robert Brinkmann, Oliver Behr, Ivo Niermann und Michael Reich (Hg.): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen: Ergebnisse eines Forschungsvorhabens. Göttingen: Cuvillier (Umwelt und Raum, 4).
- Behr, Oliver; Brinkmann, Robert; Niermann, Ivo; Korner-Nievergelt, Fränzi (2011b): Fledermausfreundliche Betriebsalgorithmen für Windenergieanlagen. In: Robert Brinkmann, Oliver Behr, Ivo Niermann und Michael Reich (Hg.): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen: Ergebnisse eines Forschungsvorhabens. Göttingen: Cuvillier (Umwelt und Raum, 4).
- Behr, Oliver; Hochradel, Klaus; Mages, Jürgen; Naucke, Andreas; Nagy, Martina; Simon, Ralph et al. (2018a): Zeitliche und räumliche Variabilität der akustischen Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. In: Bestimmung des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen in der Planungspraxis (RENEBAT III). Endbericht des Forschungsvorhabens gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie/Endbericht des Forschungsvorhabens gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Förderkennzeichen 0327638E). Erlangen, S. 81–110.
- Behr, Oliver; Sutor, Alexander; Lerch, Reinhard; Korner-Nievergelt, Fränzi; Brinkmann, Robert; Reinhard, Heidje; Wolf, Boris de (2018b): Bestimmung des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen in der Planungspraxis (RENEBAT III). Universität Erlangen-Nürnberg. Lehrstuhl für Sensorik. Erlangen.
- Bellamy, P. E.; Croxton, P. J.; Heard, M. S.; Hinsley, S. A.; Hulmes, L.; Hulmes, S. et al. (2009): The impact of growing miscanthus for biomass on farmland bird populations. In: *Biomass and Bioenergy* 33 (2), S. 191–199. DOI: 10.1016/j.biombioe.2008.07.001.
- Bellebaum, J.; Korner-Nievergelt, F.; Dürr, T.; Mammen, U. (2013): Wind turbine fatalities approach a level of concern in a raptor population. In: *Journal for Nature Conservation* 21 (6), S. 394–400. DOI: 10.1016/j.jnc.2013.06.001.
- Benjamin, Emmanuel O.; Grabenweger, Giselher; Strasser, Hermann; Wesseler, Justus (2018): The socioeconomic benefits of biological control of western corn rootworm *Diatraea virgifera virgifera* and wireworms *Agriotes* spp. in maize and potatoes for selected European countries. In: *Journal of Plant Diseases and Protection* 125 (3), S. 273–285. DOI: 10.1007/s41348-018-0156-6.
- Benke, M. (2009): Evolution des systèmes fourragers en Allemagne: compétition ou complémentarité entre le lait et le biogaz? In: *Fourrages* 2009 (197), S. 1–9.

- Bennett, Victoria J.; Hale, Amanda M. (2014): Red aviation lights on wind turbines do not increase bat-turbine collisions. Bats are not attracted to aviation lighting. In: *Animal Conservation* 17 (4), S. 354–358. DOI: 10.1111/acv.12102.
- Benton, T. G.; Bryant, David M.; Cole, Lorna; Crick, Humphrey Q. P. (2002): Linking agricultural practice to insect and bird populations. a historical study over three decades: Farming, insect and bird populations. In: *Journal of Applied Ecology* 39 (4), S. 673–687. DOI: 10.1046/j.1365-2664.2002.00745.x.
- Benton, T. G.; Vickery, Juliet A.; Wilson, Jeremy D. (2003): Farmland biodiversity. is habitat heterogeneity the key? In: *Trends in Ecology & Evolution* 18 (4), S. 182–188. DOI: 10.1016/S0169-5347(03)00011-9.
- Berendonk, C. (2011): Vergleich von Gülle und Gärresten. Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland. Internationale Tagung Gülle 11. Kloster Reute, 17.10.2011.
- Berger, G.; Pfeffer, H.; Hoffmann, J.; Schobert, H.; Malt, St (2002): Kleinflächige Ackerstilllegung. als Vorrangflächen für den Naturschutz. Unter Mitarbeit von S. Dürr, T. Schönbrodt, H. Manteufel, I. Riedel und I. Wolf. Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung e.V. (ZALF); Bundesamt für Naturschutz (BfN). Müncheberg. Online verfügbar unter [http://www.zalf.de/de/forschung\\_lehre/projekte/AttachmentsFoPro/Broschuere%20Schlaginterne%20Segregation\\_80.pdf](http://www.zalf.de/de/forschung_lehre/projekte/AttachmentsFoPro/Broschuere%20Schlaginterne%20Segregation_80.pdf), zuletzt geprüft am 15.05.2019.
- Bernotat, Dirk; Dierschke, Voker (2016): Übergeordnete Kriterien zur Bewertung der Mortalität wildlebender Tiere im Rahmen von Projekten und Eingriffen. 3. Fassung - Stand 20.09.2016. Online verfügbar unter [http://www.gavia-ecoresearch.de/ref/pdf/Bernotat\\_Dierschke\\_2016.pdf](http://www.gavia-ecoresearch.de/ref/pdf/Bernotat_Dierschke_2016.pdf), zuletzt aktualisiert am 2016, zuletzt geprüft am 09.05.2019.
- Bernotat, Dirk; Rogahn, Sebastian; Rickert, Corinna; Follner, Klaus; Schönhofer, Christine (2018): Arbeitshilfe Arten- und gebietsschutzrechtliche Prüfung bei Freileitungsvorhaben. Hg. v. Bundesamt für Naturschutz (BfN) (BfN-Skripten 512). Online verfügbar unter <https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript512.pdf>, zuletzt geprüft am 09.05.2019.
- Bernshausen, F.; Kreuziger, J. (2012): Vogelschutz an Höchstspannungsfreileitungen. Gefährdungsanalyse und Lösungsmöglichkeiten. Präsentation der Planungsgruppe für Natur und Landschaft GbR im Rahmen der Informationstage zu den Entwürfen des Netzentwicklungsplans Strom 2012. Bonn, 20.09.2012.
- Bernshausen, F.; Kreuziger, J.; Krimkowski, J.; Menzel, A.; Reinhardt, A.; Rösner, B. (2017): Vogel-Kollisionsopfer an Hoch- und Höchstspannungsfreileitungen in Deutschland – eine Abschätzung. Online verfügbar unter [https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/170310-nabu-nabu\\_kollisionsstudie.pdf](https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/170310-nabu-nabu_kollisionsstudie.pdf), zuletzt geprüft am 03.05.2019.
- Bernshausen, F.; Kreuziger, Josef; Richarz, Klaus; Sudmann, Stefan R. (2014): Wirksamkeit von Vogelabweisern an Hochspannungsfreileitungen. In: *Naturschutz und Landschaftsplanung* 04/2014 (46), S. 107–115. Online verfügbar unter [https://www.nul-online.de/artikel.dll/NuL04-14-Inhalt-107-115-1\\_NDI3NzE5OQ.PDF?UID=F01F381C08A83151E5BF53252E839BD2FCE9BA8B944820](https://www.nul-online.de/artikel.dll/NuL04-14-Inhalt-107-115-1_NDI3NzE5OQ.PDF?UID=F01F381C08A83151E5BF53252E839BD2FCE9BA8B944820), zuletzt geprüft am 09.05.2019.
- BfN (Hg.) (2009a): Grünland im Umbruch. Naturschutz und Landwirtschaft im Dialog. Vilm, 28.04.2009. Bundesamt für Naturschutz (BfN).
- BfN (2009b): Where have all the flowers gone? Grünland im Umbruch. Hintergrundpapier und Empfehlungen des BfN. Unter Mitarbeit von Birgit Lind, Sabine Stein, Andreas Kärcher und Manfred Klein. Bundesamt für Naturschutz (BfN). Online verfügbar unter [https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/landwirtschaft/Gruenlandumbruch\\_end.pdf](https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/landwirtschaft/Gruenlandumbruch_end.pdf), zuletzt geprüft am 16.05.2019.

- BfN (2011): Fledermausschutz in Europa II. Beschlüsse der 5. und 6. EUROBATS-Vertragsstaatenkonferenzen und Berichte zum Fledermausschutz in Deutschland 2003-2009. Unter Mitarbeit von Ruth Petermann. Bundesamt für Naturschutz (BfN). Bonn - Bad Godesberg (BfN-Skripten, 296).
- BfN (2013a): Nationaler Bericht nach Art. 17 FFH-Richtlinie in Deutschland (2013), Teil Arten (Annex B) - Fledermäuse (A bis N). Bundesamt für Naturschutz (BfN). Bonn - Bad Godesberg.
- BfN (2013b): Nationaler Bericht nach Art. 17 FFH-Richtlinie in Deutschland (2013), Teil Arten (Annex B) - Fledermäuse (P bis V). Bundesamt für Naturschutz (BfN). Bonn - Bad Godesberg.
- BfN (2014): BfN-Kernforderungen Wasserkraft. Bundesamt für Naturschutz (BfN). Online verfügbar unter [https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/erneuerbareenergien/Strategie\\_Positionspapiere/Kernforderungen\\_BfN\\_WKA\\_17mrz14.pdf](https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/erneuerbareenergien/Strategie_Positionspapiere/Kernforderungen_BfN_WKA_17mrz14.pdf), zuletzt geprüft am 07.05.2019.
- BfN (2015): Artenschutz-Report 2015. Tiere und Pflanzen in Deutschland. Unter Mitarbeit von F. Emde, B. Jessel, R. Schedelbauer und D. Wolf. Hg. v. Bundesamt für Naturschutz (BfN). Bonn. Online verfügbar unter [http://www.bfn.de/fileadmin/BfN/presse/2015/Dokumente/Artenschutzreport\\_Download.pdf](http://www.bfn.de/fileadmin/BfN/presse/2015/Dokumente/Artenschutzreport_Download.pdf), zuletzt geprüft am 24.04.2015.
- BfN (2017a): Agrar-Report 2017. Bundesamt für Naturschutz (BfN). Bonn - Bad Godesberg. Online verfügbar unter [https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/landwirtschaft/Dokumente/BfN-Agrar-Report\\_2017.pdf](https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/landwirtschaft/Dokumente/BfN-Agrar-Report_2017.pdf), zuletzt geprüft am 09.05.2019.
- BfN (2017b): Position des BfN zur Nutzung der Solarenergie. Bundesamt für Naturschutz (BfN). Online verfügbar unter <https://www.bfn.de/themen/erneuerbare-energien/solarenergie/position-solarenergie.html>, zuletzt geprüft am 09.05.2019.
- BfN (2018): Monitoring und Indikatoren für den Naturschutz. Bundesamt für Naturschutz (BfN). Online verfügbar unter <https://www.bfn.de/themen/monitoring.html>, zuletzt geprüft am 07.05.2019.
- BfN; BLAK (2017): Bewertungsschemata für die Bewertung des Erhaltungsgrades von Arten und Lebensraumtypen als Grundlage für ein bundesweites FFH-Monitoring. Teil I: Arten nach Anhang II und IV der FFH-Richtlinie (mit Ausnahme der marinen Säugetiere). Hg. v. Bundesamt für Naturschutz (BfN) und Bund-Länder-Arbeitskreis (BLAK) FFH-Monitoring und Berichtspflicht (BfN-Skripten, 480). Online verfügbar unter <https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript480.pdf>, zuletzt geprüft am 15.05.2019.
- BfS (2018): Mögliche Wirkungen elektromagnetischer Felder auf Tiere und Pflanzen. Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). Online verfügbar unter <https://www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/stellungnahmen/emf/emf-tiere-pflanzen/emf-tiere-und-pflanzen.html>, zuletzt geprüft am 07.05.2019.
- Bieńkowski, Andrzej O.; Orlova-Bienkowskaja, Marina J. (2018): Alien leaf beetles (Coleoptera, Chrysomelidae) of European Russia and some general tendencies of leaf beetle invasions. In: *PLoS ONE* 13 (9), S. 1–23. DOI: 10.1371/journal.pone.0203561.
- Bloss, Werner H. (1980): Dünnschicht-Solarzellen. In: *Physik Journal* 36 (7), S. 203–206. DOI: 10.1002/phbl.19800360715.
- BMEL (2017): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2017. Hg. v. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Berlin. Online verfügbar unter [https://www.bmel-statistik.de/fileadmin/user\\_upload/010\\_Jahrbuch/Agrar-statistisches-Jahrbuch-2017.pdf](https://www.bmel-statistik.de/fileadmin/user_upload/010_Jahrbuch/Agrar-statistisches-Jahrbuch-2017.pdf).

- BMEL (2018): Zwischenbericht 2013 bis 2016. Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Online verfügbar unter [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/NAP-Zwischenbericht.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/NAP-Zwischenbericht.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 09.05.2019.
- BMU (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Vom Bundeskabinett am 7. November 2007. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Berlin. Online verfügbar unter [https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/biologischevielfalt/Dokumente/broschuere\\_biolog\\_vielfalt\\_strategie\\_bf.pdf](https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/biologischevielfalt/Dokumente/broschuere_biolog_vielfalt_strategie_bf.pdf), zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- BMU (2016): Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Berlin. Online verfügbar unter [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan\\_2050\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf), zuletzt geprüft am 09.05.2019.
- BMU (2017): Fünf Punkte für eine naturverträgliche Energiewende 2050. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Online verfügbar unter [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Naturschutz/5\\_punkte\\_energie\\_wende\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/5_punkte_energie_wende_bf.pdf), zuletzt geprüft am 09.05.2019.
- BMU / UBA (2017): Wasserwirtschaft in Deutschland. Grundlagen, Belastungen, Maßnahmen. Unter Mitarbeit von J. Arle, H. Bartel, C. Baumgarten, A. Bertram, K. Blondzik, S. Brandt et al. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU); Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/uba\\_wasserwirtschaft\\_in\\_deutschland\\_2017\\_web\\_aktualisiert.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/uba_wasserwirtschaft_in_deutschland_2017_web_aktualisiert.pdf), zuletzt geprüft am 09.05.2019.
- BMWi (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Berlin. Online verfügbar unter [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010.pdf?__blob=publicationFile&v=3), zuletzt geprüft am 09.05.2019.
- BMWi (2014): Die Energie der Zukunft. Erster Fortschrittsbericht zur Energiewende. Ein gutes Stück Arbeit. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Berlin. Online verfügbar unter [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/fortschrittsbericht.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=15](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/fortschrittsbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=15), zuletzt geprüft am 09.05.2019.
- BMWi (2015): Die Energie der Zukunft. Vierter Monitoring-Bericht zur Energiewende. Ein gutes Stück Arbeit. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Berlin. Online verfügbar unter [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/vierter-monitoring-bericht-energie-der-zukunft.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=24](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/vierter-monitoring-bericht-energie-der-zukunft.pdf?__blob=publicationFile&v=24), zuletzt geprüft am 19.03.2019.
- BMWi (2016a): Fünfter Monitoring-Bericht zur Energiewende. Berichtsjahr 2015. Fünfter Monitoring-Bericht zur Energiewende. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Online verfügbar unter [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/fuenfter-monitoring-bericht-energie-der-zukunft.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=34](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/fuenfter-monitoring-bericht-energie-der-zukunft.pdf?__blob=publicationFile&v=34), zuletzt geprüft am 09.05.2019.
- BMWi (2016b): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi).
- BMWi (2018a): Die Energie der Zukunft. Berichtsjahr 2016. Sechster Monitoring-Bericht zur Energiewende. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Online verfügbar unter [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/sechster-monitoring-bericht-zur-energie-wende.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=26](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/sechster-monitoring-bericht-zur-energie-wende.pdf?__blob=publicationFile&v=26), zuletzt geprüft am 04.01.2018.

- BMWi (2018b): Erfahrungsbericht nach § 97 EEG (EEG-Erfahrungsbericht). Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Online verfügbar unter [https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/bmwi\\_de/eeg-erfahrungsbericht.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/bmwi_de/eeg-erfahrungsbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=4), zuletzt geprüft am 01.04.2019.
- BMWi (2018c): Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2017. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Online verfügbar unter [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/erneuerbare-energien-in-zahlen-2017.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=27](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/erneuerbare-energien-in-zahlen-2017.pdf?__blob=publicationFile&v=27), zuletzt geprüft am 01.04.2019.
- BMWi (2018d): Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichts 2014 gemäß § 65 EEG. Vorhaben IId Wasserkraft. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi).
- BMWi (2019): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Online verfügbar unter [https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2018.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=20](https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2018.pdf?__blob=publicationFile&v=20), zuletzt geprüft am 23.05.2019.
- BMWi; BMU (2012): Erster Monitoringbericht "Energie der Zukunft". Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi); Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Online verfügbar unter [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/erster-monitoring-bericht-energie-der-zukunft.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=7](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/erster-monitoring-bericht-energie-der-zukunft.pdf?__blob=publicationFile&v=7), zuletzt geprüft am 09.05.2019.
- BNetzA (2006-2018): Monitoringberichte. Bundesnetzagentur (BNetzA). Online verfügbar unter [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/DatenaustauschundMonitoring/Monitoring/Monitoringberichte/Monitoring\\_Berichte\\_node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/DatenaustauschundMonitoring/Monitoring/Monitoringberichte/Monitoring_Berichte_node.html), zuletzt geprüft am 25.04.2019.
- BNetzA (2014): EEG in Zahlen. Bundesnetzagentur (BNetzA). Online verfügbar unter [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/zahlenunddaten-node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/zahlenunddaten-node.html), zuletzt geprüft am 25.04.2019.
- BNetzA (2016a): Bericht über die Flächeninanspruchnahme für Freiflächenanlagen nach § 36 Freiflächenausschreibungsverordnung (FFAV). Bundesnetzagentur (BNetzA). Online verfügbar unter [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen\\_Institutionen/ErneuerbareEnergien/PV-Freiflaechenanlagen/Bericht\\_Flaecheninanspruchnahme\\_2016.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/PV-Freiflaechenanlagen/Bericht_Flaecheninanspruchnahme_2016.pdf?__blob=publicationFile&v=2), zuletzt geprüft am 10.05.2019.
- BNetzA (2016b): Monitoring des Stromnetzausbaus. EnLAG / BBPIG / Netzoptimierungsmonitoring / Offshore-Anbindungen Drittes Quartal 2016. Bundesnetzagentur (BNetzA). Online verfügbar unter [https://data.netzausbau.de/Vorhaben/Monitoring/Gesamtbericht\\_2018\\_Q3.pdf](https://data.netzausbau.de/Vorhaben/Monitoring/Gesamtbericht_2018_Q3.pdf), zuletzt geprüft am 24.10.2019.
- BNetzA (2018a): Ergebnisse der Ausschreibungsrunden für Windenergie-Anlagen an Land 2017/2018. Bundesnetzagentur (BNetzA). Bonn. Online verfügbar unter [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/Ausschreibungen/Wind\\_Onshore/BeendeteAusschreibungen/BeendeteAusschreibungen\\_node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Ausschreibungen/Wind_Onshore/BeendeteAusschreibungen/BeendeteAusschreibungen_node.html), zuletzt geprüft am 10.05.2019.
- BNetzA (2018b): Veröffentlichung Anlagenregister August 2014 bis Januar 2019. Hg. v. Bundesnetzagentur (BNetzA). Bonn. Online verfügbar unter [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/EEG\\_Registerdaten/EEG\\_Registerdaten\\_node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/EEG_Registerdaten/EEG_Registerdaten_node.html), zuletzt aktualisiert am 10.05.2019.

- BNetzA (2019): Leitungsvorhaben. Bundesnetzagentur (BNetzA). Online verfügbar unter <https://www.netzausbau.de/leitungsvorhaben/de.html>, zuletzt geprüft am 25.04.2019.
- Boessenkool, Berry; Ittner, Sophie; Wahrenberg, Tim (2012): Schattenseite der erneuerbaren Energien. Maisanbau in Brandenburg. Thesis. Universität Potsdam.
- Börner, Marcus (2007): Wer Vielfalt sät, schafft Lebensräume! Lebensraum Brache Endbericht. Hg. v. Deutsche Wildtier Stiftung. Hamburg. Online verfügbar unter [https://lebensraum-brache.de/wp-content/uploads/2014/02/2007\\_Endbericht\\_Lebensraum\\_Brache.pdf](https://lebensraum-brache.de/wp-content/uploads/2014/02/2007_Endbericht_Lebensraum_Brache.pdf), zuletzt geprüft am 10.05.2019.
- Bosch & Partner; ZSW (2016): Potenziale für PV-Freiflächenanlagen – Fachliche Einführung in den Workshop (Vortragsfolien). Bosch & Partner GmbH; Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg. BMWi. Berlin, 23.02.2016.
- Bose, Anushika; Dürr, Tobias; Klenke, Reinhard A.; Henle, Klaus (2018): Collision sensitive niche profile of the worst affected bird-groups at wind turbine structures in the Federal State of Brandenburg, Germany. In: *Scientific Reports* 8 (1), S. 3777. DOI: 10.1038/s41598-018-22178-z.
- Bovet, Jana (2015): Steuerung der Windenergie durch Raumordnung. Aktuelle Rechtsprechung als Herausforderung für die Planung. In: *Informationen zur Raumentwicklung* (6), S. 591–602.
- Bovet, Jana; Kindler, Lars (2013): Wann und wie wird der Windenergie substanziell Raum verschafft? : Eine kritische Diskussion der aktuellen Rechtsprechung und praktische Lösungsansätze. In: *Deutsches Verwaltungsblatt* 128 (8), S. 488–496.
- Brandt, Karoline; Glemnitz, Michael (2014): Assessing the regional impacts of increased energy maize cultivation on farmland birds. In: *Environmental Monitoring and Assessment* 186 (2), S. 679–697. DOI: 10.1007/s10661-013-3407-9.
- Brauneis, Wolfram; Watzlaw, Wolfgang; Horn, Lothar (2003): Das Verhalten von Vögeln im Bereich eines ausgewählten Trassenabschnittes der 110 KV-Leitung Bernburg-Susigke (Bundesland Sachsen-Anhalt): Flugreaktionen, Drahtanflüge, Brutvorkommen. In: *Ökologie der Vögel* 25 (2003), S. 69–115.
- Breitsameter, Laura; Röder, Norbert (2015): Mais snahmen zum Schutz des Kiebitzes (*Vanellus vanellus*) in der ackerbaulich geprägten Landschaft - erste Ergebnisse aus der Region Braunschweig. In: *Aves Braunschweig* 6, S. 28–36.
- Briemle, G. (1997): Die Funktionen des Grünlandes. Unter Mitarbeit von M. Elsässer. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (Berichte über Landwirtschaft, 75).
- Briemle, G. (2015): Übergang von der maßnahmenorientierten zur erfolgsorientierten Grünlandförderung in Baden-Württemberg, am Beispiel des artenreichen Grünlandes. In: *Schriftenreihe der Deutschen Landeskulturgesellschaft* 2015 (Heft 03), S. 81–88. Online verfügbar unter [http://www.dlkg.de/media/files/schriftenreihe/dlkg\\_heft03.pdf](http://www.dlkg.de/media/files/schriftenreihe/dlkg_heft03.pdf), zuletzt geprüft am 10.05.2019.
- Brilha, José; Gray, Murray; Pereira, Diamantino; Pereira, Paulo (2018): Geodiversity: An integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. In: *Environmental Science & Policy* 86. DOI: 10.1016/j.envsci.2018.05.001.
- Brinkmann, Robert; Behr, Oliver; Niermann, Ivo; Reich, Michael (Hg.) (2011a): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. Göttingen: Cuvillier (Umwelt und Raum, 4).
- Brinkmann, Robert; Bontadina, Fabio (2006): Survey of possible operational impacts on bats by wind facilities in Southern Germany. Administrative District of Freiburg–Depart-

ment 56; Conservation and Landscape Management; Consultancy, Ecological. Gundel-  
fingen.

- Brinkmann, Robert; Kehry, Laura; Köhler, Clara; Schauber-Weisshahn, Horst; Schorcht, Wigbert; Hurst, Johanna (2016): Raumnutzung und Aktivität des Kleinabendseglers (*Nyctalus leisleri*) in einem Paarungs- und Überwinterungsgebiet bei Freiburg (Baden-Württemberg). In: Bundesamt für Naturschutz (BfN) (Hg.): Fledermäuse und Windkraft im Wald. Bonn - Bad Godesberg (Naturschutz und biologische Vielfalt, 153).
- Brinkmann, Robert; Korner-Nievergelt, Fränzi; Niermann, Ivo (2011b): Darf bezüglich des Kollisionsrisikos von einer Windenergieanlage auf bestehende oder geplante Anlagen in der Umgebung geschlossen werden? In: Robert Brinkmann, Oliver Behr, Ivo Niermann und Michael Reich (Hg.): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen: Ergebnisse eines Forschungsvorhabens. Göttingen: Cuvillier (Umwelt und Raum, 4), S. 406–424.
- Brown, Juanita (2010): The world café. Shaping our futures through conversations that matter: ReadHowYouWant. com.
- Bruns, E. (2015): Auswirkungen zukünftiger Netzinfrastrukturen und Energiespeicher in Deutschland und Europa. Übertragungs- und Ertüchtigungstechnologien - Einsatzbereiche, Flexibilitäten und Wirkfaktoren. Teilbericht (TB) 2. Unter Mitarbeit von S. Koch, J. Bauer, S. Garske, L. Hofmann, D. Kraetzschmer und J. C. Sicard. Bundesamt für Naturschutz (BfN). Online verfügbar unter [https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/erneuerbareenergien/Dokumente/Netze\\_Speicher\\_D\\_EU/TB2\\_einsatz\\_wirkng\\_netz\\_sp.pdf](https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/erneuerbareenergien/Dokumente/Netze_Speicher_D_EU/TB2_einsatz_wirkng_netz_sp.pdf), zuletzt geprüft am 10.05.2019.
- Bruns, E.; Futterlieb, Matthias; Wenzel, Bernd; Ohlhorst, Dörte; Wegner, Nils; Grüner, Anne-Marie; Sailer, Frank (2016): Instrumente für eine verbesserte räumliche Steuerung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien. Hg. v. Institut für nachhaltige Energie- und Ressourcennutzung und Stiftung Umweltenergierecht (FKZ: 0325599A /B). Online verfügbar unter [https://stiftung-umweltenergierecht.de/wp-content/uploads/2016/09/stiftung\\_umweltenergierecht\\_endbericht\\_irsee\\_2017.pdf](https://stiftung-umweltenergierecht.de/wp-content/uploads/2016/09/stiftung_umweltenergierecht_endbericht_irsee_2017.pdf), zuletzt geprüft am 10.05.2019.
- Bruns, E.; Ohlhorst, Dörte; Wenzel, Bernd (2010): 20 Jahre Förderung von Strom aus Erneuerbaren Energien in Deutschland - eine Erfolgsgeschichte. In: *Renews Spezial* (41), S. 2–59, zuletzt geprüft am 10.05.2019.
- Bruns, E.; Ohlhorst, Dörte; Wenzel, Bernd; Köppel, Johann (2009): Erneuerbare Energien in Deutschland. Eine Biographie des Innovationsgeschehens. Universitätsverlag der TU Berlin. Berlin. Online verfügbar unter [https://www.pressestelle.tu-berlin.de/fileadmin/a70100710/Newsportal/Erneuerbare\\_Energien\\_in\\_Deutschland.pdf](https://www.pressestelle.tu-berlin.de/fileadmin/a70100710/Newsportal/Erneuerbare_Energien_in_Deutschland.pdf), zuletzt geprüft am 10.05.2019.
- Bulling, Lea; Sudhaus, Dirk; Schuster, Eva; Biehl, Juliane; Tucci, Franziska; Dahmen, Marie (2015): Vermeidungsmaßnahmen bei der Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen. Bundesweiter Katalog von Maßnahmen zur Verhinderung des Eintritts von artenschutzrechtlichen Verbotstatbeständen nach §44 BNatschG. Fachagentur Windenergie an Land. Online verfügbar unter [https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Veroeffentlichungen/FA-Wind\\_Studie\\_Vermeidungs-massnahmen\\_10-2015.pdf](https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Veroeffentlichungen/FA-Wind_Studie_Vermeidungs-massnahmen_10-2015.pdf), zuletzt geprüft am 10.05.2019.
- BUND (2017): Rapsanbau ohne Neonikotinoide. Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland (BUND). Online verfügbar unter [https://www.bund.net/fileadmin/user\\_upload\\_bund/publikationen/umweltgifte/umweltgifte\\_neonikotinoide\\_raps.pdf](https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/umweltgifte/umweltgifte_neonikotinoide_raps.pdf), zuletzt geprüft am 16.05.2019.



- Bundesregierung (2017): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Neuauflage 2016, Stand 1. Oktober 2016, Kabinettsbeschluss vom 11. Januar 2017. Berlin: Die Bundesregierung. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975292/730844/3d30c6c2875a9a08d364620ab7916af6/deutsche-nachhaltigkeitsstrategie-neuauflage-2016-download-data.pdf>, zuletzt geprüft am 12.12.2018.
- Bunzel-Drüke, M.; Zimball, O.; Schütz, C. (2007): Untersuchung zum Einfluss naturnah umgestalteter Fluss-Abschnitte auf die Fischfauna ausgebauter Gewässer am Beispiel der Lippe. Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV). Düsseldorf. Online verfügbar unter [https://www.flussgebiete.nrw.de/system/files/atoms/files/bericht\\_-\\_strahlwirkung.pdf](https://www.flussgebiete.nrw.de/system/files/atoms/files/bericht_-_strahlwirkung.pdf), zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Burger, Joanna; Gochfeld, Michael (2012): A Conceptual Framework Evaluating Ecological Footprints and Monitoring Renewable Energy. Wind, Solar, Hydro, and Geothermal. In: *Energy and Power Engineering 4* (4), S. 303–314. DOI: 10.4236/epe.2012.44040.
- Busch, Malte; Trautmann, S.; Gerlach, Bettina (2017): Overlap between breeding season distribution and wind farm risks. a spatial approach. In: *Die Vogelwelt* 137 (2), S. 169–180.
- Busch, Rainer (2018): Sektorstudie zum Aufkommen und zur stofflichen Verwendung von Ölen und Fetten in Deutschland (2011-2016). Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). Online verfügbar unter <https://fnr.de/fileadmin/fnr/pdf/media-thek/22004416.pdf>, zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Camiña, Alvaro; May, R.; Bevanger, Kjetil (2011): The effect of wind farms on vultures in Northern Spain: Fatalities, behaviour and correction measures. In: *Proceedings Conference on Wind Energy and Wildlife Impacts, 2-5 May 2011* 693.
- Carrete, Martina; Sánchez-Zapata, José A.; Benítez, José Ramón; Lobón, Manuel; Donázar, José A. (2009): Large scale risk-assessment of wind-farms on population viability of a globally endangered long-lived raptor. In: *Biological Conservation* 142 (12), S. 2954–2961. DOI: 10.1016/j.biocon.2009.07.027.
- Chang, Yuan-Hsiou; Ku, Chen-Ruei; Yeh, Naichia (2014): Solar powered artificial floating island for landscape ecology and water quality improvement. In: *Ecological Engineering* 69 (Supplement C), S. 8–16. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2014.03.015.
- Cryan, Paul. M.; Gorresen, P. Marcos; Hein, Cris D.; Schirmacher, Michael R.; Diehl, Robert H.; Huso, Manuela M. et al. (2014): Behavior of bats at wind turbines. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111 (42), S. 15126–15131. DOI: 10.1073/pnas.1406672111.
- Cumming, Geoff (2010): Miners press to enter the green zone. In: *NZ Herald* 2010 (2010-03-05).
- DAFA (2015): Grünland innovativ nutzen und Ressourcen schützen. Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz. Hg. v. Deutsche Agrarforschungsallianz (DAFA). Fachforum Grünland. Braunschweig. Online verfügbar unter [https://literatur.thuenen.de/digbib\\_extern/dn056163.pdf](https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn056163.pdf), zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Dahl, Espen Lie; May, Roel; Hoel, Pernille Lund; Bevanger, Kjetil; Pedersen, Hans Chr; Røskoft, Eivin; Stokke, Bård G. (2013): White-tailed eagles (*Haliaeetus albicilla*) at the Smøla wind-power plant, Central Norway, lack behavioral flight responses to wind turbines. In: *Wildlife Society Bulletin* 37 (1), S. 66–74. DOI: 10.1002/wsb.258.
- Dahlmann, Christoph (2012): Aufbruch mit Leguminosen - Ein Projekt in Nordrhein-Westfalen entwickelt eine zukunftsweisende Eiweißfutter-Versorgung. In: Manuel Schneider, Andrea Fink-Keßler und Friedhelm Stodieck (Hg.): *Der kritische Agrarbericht*, Bd. 2012: AgrarBündnis e.V. Konstanz, S. 126–129.

- Daniel-Gromke, Jaqueline (2013): Flächenschätzung für die Biogasproduktion in Deutschland. DBFZ.
- Daniel-Gromke, Jaqueline; Rensberg, N.; Denysenko, Velina; Trommler, Marcus; Reinholz, Toni; Völler, Klaus et al. (2017): Anlagenbestand Biogas und Biomethan. Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland. DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH. Leipzig (DBFZ-Report, 30). Online verfügbar unter [https://www.dbfz.de/fileadmin/user\\_upload/Referenzen/DBFZ\\_Reports/DBFZ\\_Report\\_30.pdf](https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/DBFZ_Reports/DBFZ_Report_30.pdf), zuletzt geprüft am 14.05.2019.
- Dauber, Jens; Hirsch, Michaela; Simmering, Dietmar; Waldhardt, Rainer; Otte, Annette; Wolters, Volkmar (2003): Landscape structure as an indicator of biodiversity. Matrix effects on species richness. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 98 (1-3), S. 321–329. DOI: 10.1016/S0167-8809(03)00092-6.
- Dechmann, Dina K. N.; Wikelski, Martin; Varga, Katarina; Yohannes, Elisabeth; Fiedler, Wolfgang; Safi, Kamran et al. (2014): Tracking post-hibernation behavior and early migration does not reveal the expected sex-differences in a “female-migrating” bat. In: *PLoS ONE* 9 (12), e114810.
- Delzeit, R. (2011): Ökonomische Bewertung des Erneuerbare Energien Gesetzes zur Förderung von Biogas. Unter Mitarbeit von Holm-Müller, K., Britz, W. Kiel Institute for the World Economy (Kiel Working Paper, 1682). Online verfügbar unter <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/45882/1/647224224.pdf>, zuletzt geprüft am 14.05.2019.
- Der Rat der europäischen Gemeinschaft: Verordnung (EWG) Nr. 1765/92 des Rates vom 30. Juni 1992 zur Einführung einer Stützungsregelung für Erzeuger bestimmter landwirtschaftlicher Kulturpflanzen, vom <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/f52730d1-a89c-4239-8a6e-18446f09f853/language-de>.
- DESTATIS (1996 - 2017): Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland. Statistisches Bundesamt (DESTATIS). Online verfügbar unter [https://www.destatis.de/DE/Themen/Querschnitt/Jahrbuch/\\_inhalt.html](https://www.destatis.de/DE/Themen/Querschnitt/Jahrbuch/_inhalt.html), zuletzt geprüft am 14.05.2019.
- DESTATIS (2010a): Ausgewählte Zahlen der Landwirtschaftszählung. Agrarstrukturerhebung 2010. Statistisches Bundesamt (DESTATIS) (Reihe 1).
- DESTATIS (2010b): Methodische Grundlagen der Landwirtschaftszählung 2010. Statistisches Bundesamt (DESTATIS) (Reihe 2).
- DESTATIS (2017): Landwirtschaftliche Bodennutzung. Bodennutzung der Betriebe. Hg. v. Statistisches Bundesamt (DESTATIS). Wiesbaden.
- DESTATIS (2018): Online-Atlas Agrarstatistik aktualisiert – Landwirtschaft neu entdecken. Statistisches Bundesamt (DESTATIS). Online verfügbar unter <https://www.atlas-agrarstatistik.nrw.de/>, zuletzt aktualisiert am Januar 2018, zuletzt geprüft am 14.05.2019.
- Dietz, Christian; Dietz, Isabel; Hartmann, Stefanie; Hurst, Johanna; Kohnen, Annette; Steck, Claude; Brinkmann, Robert (2016a): Identifizierung von Schlüsselparametern für die Entwicklung von Populationsmodellen bei Fledermäusen. In: Bundesamt für Naturschutz (BfN) (Hg.): Fledermäuse und Windkraft im Wald. Bonn - Bad Godesberg (Naturschutz und biologische Vielfalt, 153).
- Dietz, Christian; Nill, Dietmar; Helversen, Otto von (2016b): Handbuch der Fledermäuse - Europa und Nordwestafrika. 2. Auflage. Stuttgart: Kosmos.
- DMK (2016): Karten zum Maisanbau. Deutsches Maiskomitee e.V. (DMK). Online verfügbar unter <https://www.maiskomitee.de/Fakten/Statistik/Deutschland/Maisanbau>, zuletzt aktualisiert am 2016, zuletzt geprüft am 14.05.2019.

- DMK (2017): Anbaufläche Silomais. Deutsches Maiskomitee e.V. (DMK). Online verfügbar unter [https://www.maiskomitee.de/Fakten/Statistik/Deutschland/Anbaufl%C3%A4che\\_Silomais](https://www.maiskomitee.de/Fakten/Statistik/Deutschland/Anbaufl%C3%A4che_Silomais), zuletzt aktualisiert am 2017, zuletzt geprüft am 14.05.2019.
- DMK (2018): Wie viel Mais verträgt unsere Land(wirt)schaft? Deutsches Maiskomitee e.V. (DMK). Online verfügbar unter [https://www.maisfakten.de/story/Wie%20viel%20Mais%20vertr%C3%A4gt%20unsere%20Land\(wirt\)schaft%3F](https://www.maisfakten.de/story/Wie%20viel%20Mais%20vertr%C3%A4gt%20unsere%20Land(wirt)schaft%3F), zuletzt geprüft am 16.05.2019v.
- Doxa, Aggeliki; Bas, Yves; Paracchini, Maria Luisa; Pointereau, Philippe; Terres, Jean-Michel; Jiguet, Frédéric (2010): Low-intensity agriculture increases farmland bird abundances in France. High nature value farmland birds. In: *Journal of Applied Ecology* 47 (6), S. 1348–1356. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2010.01869.x.
- Drobnik, J. (2012): Erweiterung der Literaturstudie zum „Management von (FFH) Grünland“ hinsichtlich Beibehaltung/Erhöhung der typischen Artenvielfalt. Unter Mitarbeit von P. Poschlod. Hg. v. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg.
- Dröschmeister, R.; Sukopp, U. (2009): Indicators and conservation policy. the German Sustainability Indicator for Species Diversity as an example. In: *Avocetta* 33, S. 149–156.
- DTBird (2018): DTBird in Germany (DTBird). Online verfügbar unter <https://www.dtbat.com/index.php/2016-05-09-15-49-50/item/71-dtbird-in-germany>, zuletzt geprüft am 14.05.2019.
- Dukes, Jeffrey S. (2003): Burning buried sunshine. Human consumption of ancient solar energy. In: *Climatic Change* 61 (1), S. 31–44. DOI: 10.1023/A:1026391317686.
- Dunn, Olive Jean (1964): Multiple comparisons using rank sums. In: *Technometrics* 6 (3), S. 241–252.
- Dürr, Tobias; Bach, Lothar (2004): Bat deaths and wind turbines-a review of current knowledge, and of the information available in the database for Germany. In: *Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz* 7.
- Durstewitz, Michael; Behem, Guillaume; Berkhout, Volker; Buchmann, Elisabeth; Cernusko, Robert; Faulstich, Stefan et al. (2018): Windenergie Report Deutschland 2017. Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE. Kassel. Online verfügbar unter [http://windmonitor.iese.fraunhofer.de/opencms/export/sites/windmonitor/img/Windmonitor-2017/WERD\\_2017\\_180523\\_Web\\_96ppi.pdf](http://windmonitor.iese.fraunhofer.de/opencms/export/sites/windmonitor/img/Windmonitor-2017/WERD_2017_180523_Web_96ppi.pdf), zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Dussling, Uwe (2009): Handbuch zu fiBS. Hilfestellungen und Hinweise zur sachgerechten Anwendung des fischbasierten Bewertungsverfahrens fiBS. Heft 15. Hg. v. Verband Deutscher Fischereiverwaltungsbeamter und Fischereiwissenschaftler e.V. (Schriftenreihe des Verbandes Deutscher Fischereiverwaltungsbeamter und Fischereiwissenschaftler e.V.). Online verfügbar unter [http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/static/LFP/Dateien/LAWA/AO/O\\_10.08\\_fiBS\\_Handbuch\\_2009\\_deutsch.pdf](http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/static/LFP/Dateien/LAWA/AO/O_10.08_fiBS_Handbuch_2009_deutsch.pdf), zuletzt geprüft am 15.05.2019.
- DWA (2005): Fischschutz-und Fischabstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle, 2. korrigierte Auflage. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA).
- DWA (2014): Merkblatt DWA-M 509 Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke - Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA).

- e3 consult (2014): Wasserspeicherkraftwerk Leutenberg / Probstzella. Energiewirtschaftliche Begründung. Gutachten im Auftrag der STRABAG AG. e3 consult GmbH. Innsbruck. Online verfügbar unter [https://www.thueringen.de/mam/th3/tlvwa/ti-rov\\_anl1\\_energiewirtschaftlichebegrundung.pdf](https://www.thueringen.de/mam/th3/tlvwa/ti-rov_anl1_energiewirtschaftlichebegrundung.pdf), zuletzt geprüft am 14.05.2019.
- EBCC (2019): State of common European breeding birds 2018. European Bird Census Council. Online verfügbar unter <https://pecbms.info/wp-content/uploads/2019/03/sate-of-common-european-birds-2018-download.pdf>, zuletzt geprüft am 13.05.2019.
- Ebel, Guntram (2013): Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen; Handbuch Rechen- und Bypasssysteme. Halle (Saale): Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie.
- Edwards, David P.; Sloan, Sean; Weng, Lingfei; Dirks, Paul; Sayer, Jeffrey; Laurance, William F. (2014): Mining and the African environment. In: *Conservation Letters* 7 (3), S. 302–311. DOI: 10.1111/conl.12076.
- EFZN; OECOS (2012): Ökologische Auswirkungen von 380-kV-Erdleitungen und HGÜ-Erdleitungen. Band 3. Energieforschungszentrum Niedersachsen (EFZN); OECOS GMBH. Online verfügbar unter <https://d-nb.info/1020733411/34>, zuletzt geprüft am 14.05.2019.
- Eichhorn, M.; Thylmann, M.; Peters, W.; Kinast, P.; Thrän, D.; Bauschmann, Martin et al. (2018): Spatial Distribution of Overhead Power Lines and Underground Cables in Germany in 2016. In: *Data* 3 (3), S. 34. Online verfügbar unter <https://www.mdpi.com/2306-5729/3/3/34>.
- Eichhorn, Marcus; Scheffelowitz, Mattes; Reichmuth, M.; Lorenz, Christian; Louca, Kyriakos; Schiffler, A. et al. (2019): Spatial Distribution of Wind Turbines, Photovoltaic Field Systems, Bioenergy, and River Hydro Power Plants in Germany. In: *Data* 4 (1). Online verfügbar unter <https://www.mdpi.com/2306-5729/4/1/29>.
- Eichstädt, H.; Bassus, W. (1995): Untersuchungen zur Nahrungsökologie der Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*). In: *Nyctalus (NF)* 5 (6), S. 561–584.
- Elsäßer, M. (2011): Effekte unterschiedlich häufig ausgebrachter Gülle in Kombination mit unterschiedlicher mineralischer Stickstoffdüngung. Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland. Internationale Tagung Gülle 11. Kloster Reute, 17.10.2011.
- Elsäßer, Martin (2015): Beeinflussung der Funktionalität von Grünlandböden. In: *Landinfo* (3), S. 14–22. Online verfügbar unter [https://www.landwirtschaft-bw.info/pb/site/pbs-bw-new/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lel/Abteilung\\_1/Landinfo/Landinfo\\_extern/03\\_2015/1\\_Elsaesser\\_3-2015.pdf](https://www.landwirtschaft-bw.info/pb/site/pbs-bw-new/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lel/Abteilung_1/Landinfo/Landinfo_extern/03_2015/1_Elsaesser_3-2015.pdf), zuletzt geprüft am 14.05.2019.
- Elsner, P.; Sauer, D. U. (2015): Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050. Technologien – Szenarien – Systemzusammenhänge. Analyse. Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V. (acatech). München (Energiesysteme der Zukunft). Online verfügbar unter [https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/6342/file/6342\\_Flexibilitaetskonzepte.pdf](https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/6342/file/6342_Flexibilitaetskonzepte.pdf), zuletzt geprüft am 14.05.2019.
- Emmerson, M.; Morales, Manuel B.; Oñate, Juan J.; Batáry, P.; Berendse, Frank; Liira, Jaan et al. (2016): How Agricultural Intensification Affects Biodiversity and Ecosystem Services. In: *Advances in Ecological Research*. Oxford: Academic Press (*Advances in Ecological Research*, 55), S. 43–99.
- enea (2012): Energy Storage. Issues, technical solutions and development opportunities. Facts & Figures. enea Consulting. Paris. Online verfügbar unter <http://www.enea-consulting.com/wp-content/uploads/2015/05/ENEA-Consulting-Energy-Storage.pdf>, zuletzt geprüft am 14.05.2019.

- Enercon (2015): Enercon kündigt neue Schwachwindspezialisten an. Vertrieb National Enercon GmbH. Online verfügbar unter <https://www.enercon.de/de/aktuelles/enercon-kuendigt-neue-schwachwind-spezialisten-an/>, zuletzt geprüft am 12.10.2016.
- Fachagentur Windenergie an Land (Hg.) (2016a): Dokumentation des 1. Runden Tisches Vermeidungsmaßnahmen. Runder Tisch Vermeidungsmaßnahmen. Hannover, 24.06.2016. Fachagentur Windenergie an Land. Online verfügbar unter [https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Veranstaltungen/Runder\\_Tisch\\_Vermeidungsmassnahmen/1.\\_Runder\\_Tisch\\_24.02.2016/FA\\_Wind\\_Dokumentation\\_des\\_1.\\_Runden\\_Tisches\\_am\\_24.02.2016.pdf](https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Veranstaltungen/Runder_Tisch_Vermeidungsmassnahmen/1._Runder_Tisch_24.02.2016/FA_Wind_Dokumentation_des_1._Runden_Tisches_am_24.02.2016.pdf), zuletzt geprüft am 14.05.2019.
- Fachagentur Windenergie an Land (Hg.) (2016b): Dokumentation des 2. Runden Tisches Vermeidungsmaßnahmen. Runder Tisch Vermeidungsmaßnahmen. Kassel, 23.11.2016. Fachagentur Windenergie an Land. Online verfügbar unter [https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Veranstaltungen/Runder\\_Tisch\\_Vermeidungsmassnahmen/2.\\_Runder\\_Tisch\\_23.11.2016/FA\\_Wind\\_Dokumentation\\_2.\\_Runder\\_Tisch\\_23.11.2016.pdf](https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Veranstaltungen/Runder_Tisch_Vermeidungsmassnahmen/2._Runder_Tisch_23.11.2016/FA_Wind_Dokumentation_2._Runder_Tisch_23.11.2016.pdf), zuletzt geprüft am 14.05.2019.
- Fachagentur Windenergie an Land (Hg.) (2017a): Dokumentation des 3. Runden Tisches Vermeidungsmaßnahmen. Runder Tisch Vermeidungsmaßnahmen. Kassel, 14.06.2017. Fachagentur Windenergie an Land. Online verfügbar unter [https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Veranstaltungen/Runder\\_Tisch\\_Vermeidungsmassnahmen/3.\\_Runder\\_Tisch\\_14.06.2017/FA\\_Wind\\_Dokumentation\\_3.Runder\\_Tisch\\_14.06.2017.pdf](https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Veranstaltungen/Runder_Tisch_Vermeidungsmassnahmen/3._Runder_Tisch_14.06.2017/FA_Wind_Dokumentation_3.Runder_Tisch_14.06.2017.pdf), zuletzt geprüft am 14.05.2019.
- Fachagentur Windenergie an Land (2017b): Rechtliche Anforderungen an ein Gütesiegel oder Prüfzeichen für die Planung Windenergieanlagen. Hintergrundpapier. Unter Mitarbeit von Sebastian Helmes, Hans-Peter Schwintowski und Mirko Sauer. Fachagentur Windenergie an Land. Berlin. Online verfügbar unter [https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Veroeffentlichungen/FA\\_Wind\\_Hintergrundpapier\\_Guetesiegel\\_2017-07.pdf](https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Veroeffentlichungen/FA_Wind_Hintergrundpapier_Guetesiegel_2017-07.pdf), zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Fachagentur Windenergie an Land (Hg.) (2018): Dokumentation des 4. Runden Tisches Vermeidungsmaßnahmen. Runder Tisch Vermeidungsmaßnahmen. Hannover, 20.02.2018. Fachagentur Windenergie an Land. Online verfügbar unter [https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Veranstaltungen/Runder\\_Tisch\\_Vermeidungsmassnahmen/4.\\_Runder\\_Tisch\\_20.02.2018/FA\\_Wind\\_Dokumentation\\_4.Runder\\_Tisch\\_20.02.2018.pdf](https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Veranstaltungen/Runder_Tisch_Vermeidungsmassnahmen/4._Runder_Tisch_20.02.2018/FA_Wind_Dokumentation_4.Runder_Tisch_20.02.2018.pdf), zuletzt geprüft am 14.05.2019.
- Felten, Daniel; Emmerling, Christoph (2011): Effects of bioenergy crop cultivation on earthworm communities - A comparative study of perennial (*Miscanthus*) and annual crops with consideration of graded land-use intensity. In: *Applied Soil Ecology* 49 (Supplement C), S. 167–177. DOI: 10.1016/j.apsoil.2011.06.001.
- Flade, M. (2014): Von der Energiewende zum Biodiversitäts-Desaster – zur Lage des Vogelschutzes in Deutschland. In: *Vogelwelt* 133, S. 149–158.
- Flade, M.; Schwarz, J.; Trautmann, S. (2012): Bestandsentwicklung häufiger deutscher Brutvögel 1991-2010. In: *Vogelwarte* 2012, 2012 (50), S. 307–309.
- Flade, Martin (1994): Die Brutvogelgemeinschaften Mittel- und Norddeutschlands. Grundlagen für den Gebrauch vogelkundlicher Daten in der Landschaftsplanung. Eching: IHW-Verl.
- Flade, Martin (2003): Naturschutz in der Agrarlandschaft. Ergebnisse des Schorfheide-Chorin-Projektes: Quelle & Meyer.

- Flade, Martin; Schwarz, Johannes (2013): Bestandsentwicklung von Vogelarten der Agrarlandschaft in Deutschland 1991-2010 und Schlüsselfaktoren. In: *Julius-Kühn-Archiv* 442. Tagungsband: Fachgespräch „Agrarvögel – ökologische Bewertungsgrundlage für Biodiversitätsziele in Ackerbaugebieten, S. 8–17. DOI: 10.5073/jka.2013.442.001.
- Flessa, Heinz; Müller, Daniela; Plassmann, Katharina (2012): Studie zur Vorbereitung einer effizienten und gut abgestimmten Klimaschutzpolitik für den Agrarsektor. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei (Landbauforschung Völknerode - Sonderheft, 361).
- Floecksmühle (2015): Marktanalyse zur Vorbereitung von Ausschreibungen. Vorhaben IId, Wasserkraft. Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichts 2014 gemäß § 65 EEG. Unter Mitarbeit von Rita Keuneke. Ingenieurbüro Floecksmühle; Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Online verfügbar unter [https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/bmwi\\_de/marktanalysen-studie-wasserkraft.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/bmwi_de/marktanalysen-studie-wasserkraft.pdf?__blob=publicationFile&v=4), zuletzt geprüft am 14.05.2019.
- FNR (2018): Entwicklung der Maisanbaufläche in Deutschland. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). Online verfügbar unter <https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/bioenergie/biogas/entwicklung-der-maisanbauflache-in-deutschland.html>, zuletzt geprüft am 03.05.2019.
- Frenz, Walter; Müggenborg, Hans-Jürgen; Cosack, Tilman; Henning, Bettina; Schomerus, Thomas (2018): EEG Kommentar. 5. Auflage. Berlin.
- Frick, W. F.; Baerwald, E. F.; Pollock, J. F.; Barclay, R. M. R.; Szymanski, J. A.; Weller, T. J. et al. (2017): Fatalities at wind turbines may threaten population viability of a migratory bat. In: *Biological Conservation* 209, S. 172–177. DOI: 10.1016/j.biocon.2017.02.023.
- Frid, Alejandro; Dill, Lawrence (2002): Human-caused Disturbance Stimuli as a Form of Predation Risk. In: *Conservation Ecology* 6 (1). DOI: 10.5751/ES-00404-060111.
- Fritze, Marcus; Lehnert, Linn S.; Heim, Olga; Lindecke, Oliver; Roeleke, Manuel; Voigt, Christian C. (2018): Fledermausschutz im Schatten der Windenergie. In: *Naturschutz und Landschaftsplanung* 51 (1), S. 20–27.
- Fromme, Jörg (2016): Energiesystemtransformation - räumliche Politik und Stromnetzplanung. In: *Raumforschung und Raumordnung* 74 (3), S. 229–242.
- Fuchs, G.; Lunz, B.; Leuthold, M.; Sauer, D. U. (2012): Technologischer Überblick zur Speicherung von Elektrizität – Überblick zum Potenzial und zu Perspektiven des Einsatzes elektrischer Speichertechnologien. Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe der RWTH Aachen. Online verfügbar unter [http://www.sefep.eu/activities/projects-studies/Ueberblick\\_Speichertechnologien\\_SEFEP\\_deutsch.pdf](http://www.sefep.eu/activities/projects-studies/Ueberblick_Speichertechnologien_SEFEP_deutsch.pdf), zuletzt geprüft am 14.05.2019.
- Furmankiewicz, Joanna; Kucharska, Monika (2009): Migration of bats along a large river valley in southwestern Poland. In: *Journal of Mammalogy* 90 (6), S. 1310–1317.
- FWT (2015): Höhere Hybridtürme für Windenergie-Anlagen versprechen mehr Ertrag. Hg. v. WINDKRAFT-JOURNAL.DE (Windkraft-Journal). Online verfügbar unter <https://www.windkraft-journal.de/2015/09/12/hoehere-hybridtuerme-fuer-windenergieanlagen-versprechen-mehr-ertrag/71325>, zuletzt geprüft am 24.04.2019.
- Gallegos, Daniela; Wedwitschka, Harald; Moeller, Lucie; Zehnsdorf, Andreas; Stinner, Walter (2017): Effect of particle size reduction and ensiling fermentation on biogas formation and silage quality of wheat straw. In: *Bioresource Technology* 245 (Pt A), S. 216–224. DOI: 10.1016/j.biortech.2017.08.137.

- Gatter, Wulf (2010): Vogelzug und Vogelbestände in Mitteleuropa. 30 Jahre Beobachtung des Tagzugs am Randecker Maar; mit 16 Farbtafeln. 2. Aufl.: Aula-Verlag.
- Gawel, Erik; Amberg, Maximilian (2018): Ausschreibungen im EEG - eine Auswertung der bisherigen Erfahrungen. In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 68 (7/8), S. 24–30.
- Gedeon, Kai; Grüneberg, Christoph; Mitschke, Alexander (2014): Atlas Deutscher Brutvogelarten. Atlas of German breeding birds. Unter Mitarbeit von Paschalis Dougalis. Münster, Westf.: Stiftung Vogelmonitoring Deutschland.
- Gedeon, Kai; Mitschke, Alexander; Sudfeldt, C. (2004): Atlas Deutscher Brutvogelarten – Dessauer Tagung gab Startschuss für 2005. In: *Vogelwelt* (125), S. 123–135.
- Gerbert, Philipp; Herhold, Patrick; Burchardt, Jens; Schönberger, Stefan; Rechenmacher, Florian; Kirchner, Almut et al. (2018): Klimapfade für Deutschland. München: BCG The Boston Consulting Group. Online verfügbar unter [https://www.zvei.org/fileadmin/user\\_upload/Presse\\_und\\_Medien/Publikationen/2018/Januar/Klimapfade\\_fuer\\_Deutschland\\_BDI-Studie\\_/Klimapfade-fuer-Deutschland-BDI-Studie-12-01-2018.pdf](https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2018/Januar/Klimapfade_fuer_Deutschland_BDI-Studie_/Klimapfade-fuer-Deutschland-BDI-Studie-12-01-2018.pdf), zuletzt geprüft am 25.04.2019.
- Gerowitt, B.; Feindt, P.; Dempfle, L.; Engels, E. M.; Engels, J.; Graner, A. et al. (2013): Biodiversität im Grünland – unverzichtbar für Landwirtschaft und Gesellschaft. Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats für Biodiversität und Genetische Ressourcen beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Online verfügbar unter [https://genres.de/fileadmin/SITE\\_MASTER/content/SITE\\_GENRES/downloads/docs/Beirat-GR/Gutachten\\_Stellungnahmen/beirat\\_11\\_2013\\_druck.pdf](https://genres.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/SITE_GENRES/downloads/docs/Beirat-GR/Gutachten_Stellungnahmen/beirat_11_2013_druck.pdf), zuletzt geprüft am 14.05.2019.
- Gesellschaft für Umweltrecht e. V. (Hg.) (2017): 41. Umweltrechtliche Fachtagung. Berlin, 9.-11.11.2017. Online verfügbar unter [https://www.gesellschaft-fuer-umweltrecht.de/wp-content/uploads/2018/11/Tagungsmappe\\_GfU\\_Fachtagung-41\\_2017.pdf](https://www.gesellschaft-fuer-umweltrecht.de/wp-content/uploads/2018/11/Tagungsmappe_GfU_Fachtagung-41_2017.pdf), zuletzt geprüft am 03.05.2019.
- Gevers, Jana; HøYe, Toke Thomas; Topping, Chris John; Glemnitz, Michael; Schröder, Boris (2011): Biodiversity and the mitigation of climate change through bioenergy. impacts of increased maize cultivation on farmland wildlife. In: *GCB Bioenergy* 3 (6), S. 472–482. DOI: 10.1111/j.1757-1707.2011.01104.x.
- Goetzke, Roland (2014): Flächenverbrauch, Flächenpotenziale und Trends 2030. Beiträge zum Siedlungsflächenmonitoring im Bundesgebiet. Bonn: Bundesinstitut für Bau- Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (BBSR-Analysen kompakt, 2014,7).
- Gossner, Martin M.; Lewinsohn, Thomas M.; Kahl, Tiemo; Grassein, Fabrice; Boch, Steffen; Prati, Daniel et al. (2016): Land-use intensification causes multitrophic homogenization of grassland communities. In: *Nature* 540, 266 EP -. DOI: 10.1038/nature20575.
- Grabmaier, J. G. (1983): Die Silicium-Solarzelle für terrestrische Anwendungen. In: *Naturwissenschaften* 70 (3), S. 127–132. DOI: 10.1007/BF00401596.
- Green, Martin A.; Hishikawa, Yoshihiro; Warta, Wilhelm; Dunlop, Ewan D.; Levi, Dean H.; Hohl-Ebinger, Jochen; Ho-Baillie, Anita W.H. (2017): Solar cell efficiency tables (version 50). In: *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 25 (7), S. 668–676. DOI: 10.1002/pip.2909.
- Grodsky, Steven M.; Behr, Melissa J.; Gendler, Andrew; Drake, David; Dieterle, Byron D.; Rudd, Robert J.; Walrath, Nicole L. (2011): Investigating the causes of death for wind turbine-associated bat fatalities. In: *Journal of Mammalogy* 92 (5), S. 917–925. DOI: 10.1644/10-MAMM-A-404.1.

- Grosse, H.; Sykora, W.; Steinbach, R. (1980): Eine 220-kV-Hochspannungstrasse im Überspannungsgebiet der Talsperre Windischleuba war Vogelfalle. In: *Der Falke* 27 (1980), S. 247–248.
- Grüner, Anne-Marie; Sailer, Frank (2016): Das EEG als Instrument des Bundes zur räumlichen Steuerung der erneuerbaren Energien - zugleich ein Beitrag zur Diskussion um eine Energiefachplanung. In: *Zeitschrift für neues Energierecht* (2), S. 122–131.
- Grünig, Max; Srebotnjak,, Tanja; Schock,, Michael; Porsch, Lucas; Möller-Gulland, Jennifer (2011): Plakative und schnelle Umweltinformation mittels hochaggrierter Kenngrößen zur nachhaltigen Entwicklung. Umweltbundesamt (UBA). Berlin. Online verfügbar unter [https://www.ecologic.eu/sites/files/project/2013/2349\\_umweltinformation\\_ecologic\\_institute.pdf](https://www.ecologic.eu/sites/files/project/2013/2349_umweltinformation_ecologic_institute.pdf), zuletzt geprüft am 02.05.2019.
- Grünkorn, Thomas; Poszig, Dörte; Diederichs, Ansgar; Stahl, Britta; Nehls, Georg (2005): Entwicklung einer Methode zur Abschätzung des Kollisionsrisikos von Vögeln an Windenergieanlagen. Endbericht. BioConsult-SH. Online verfügbar unter [https://www.umweltdaten.landsh.de/nuis/upool/gesamt/wea/voegel\\_wea.pdf](https://www.umweltdaten.landsh.de/nuis/upool/gesamt/wea/voegel_wea.pdf), zuletzt geprüft am 14.05.2019.
- Grünkorn, Thomas; Rönn, Jan von; Blew, Jan; Nehls, Georg; Weitekamp, Sabrina; Timmermann, Hanna et al. (2016): Ermittlung der Kollisionsraten von (Greif-)Vögeln und Schaffung planungsbezogener Grundlagen für die Prognose und Bewertung des Kollisionsrisikos durch Windenergieanlagen (PROGRESS). F&E-Vorhaben Windenergie, Abschlussbericht 2016 (FKZ 0325300A-D). Online verfügbar unter <https://bioconsult-sh.de/site/assets/files/1561/1561-1.pdf>, zuletzt geprüft am 14.05.2019.
- Guerrero, Irene; Morales, Manuel B.; Oñate, Juan J.; Geiger, Flavia; Berendse, Frank; Snoo, Geert de et al. (2012): Response of ground-nesting farmland birds to agricultural intensification across Europe. Landscape and field level management factors. In: *Biological Conservation* 152, S. 74–80. DOI: 10.1016/j.biocon.2012.04.001.
- Günther, André; Nigmann, U.; Achtziger, R.; Gruttke, H. (2005): Analyse der Gefährdungsursachen planungsrelevanter Tiergruppen in Deutschland. Münster: Bundesamt für Naturschutz (Naturschutz und biologische Vielfalt in Deutschland).
- Gutzler, C.; Helming, K.; Balla, D.; Dannowski, R.; Deumlich, D.; Glemnitz, M. et al. (2015): Agricultural land use changes – a scenario-based sustainability impact assessment for Brandenburg, Germany. In: *Ecological Indicators* 48 (Supplement C), S. 505–517. DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.09.004.
- Haaren, Christina von; Walter, A.; Wiehe, Julia; Schlömer, Gerrit; Hashemifarzad, Ali; Wenzel, Tim et al. (2018): Naturverträgliche Energieversorgung aus 100 % erneuerbaren Energien 2050 (BfN-Skript, 501). Online verfügbar unter <https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript501.pdf>, zuletzt geprüft am 14.05.2019.
- Haas, Dieter; Nipkow, Markus; Fiedler, Georg; Schneider, Richard; Haas, Waltraut; Schürenberg, Bernd (2003): Vogelschutz an Freileitungen. Tödliche Risiken für Vögel und was dagegen zu tun ist: ein internationales Kompendium. Hg. v. Naturschutzbund Deutschland e.V. (NABU). Bonn. Online verfügbar unter [http://birdsandpowerlines.org/cm/media/Vogelschutz\\_an\\_Freileitungen.pdf](http://birdsandpowerlines.org/cm/media/Vogelschutz_an_Freileitungen.pdf), zuletzt geprüft am 03.05.2019.
- Hahl, Michael (2015): Artenschutz und Windenergie. Grenzen der Ausnahmeregelung. In: *Naturschutz und Landschaftsplanung* 47 (11), S. 353–360.
- Hanagasioglu, Mehmet; Aschwanden, Janine; Bontadina, Fabio; de la Puente Nilsson, Marcos (2015): Investigation of the effectiveness of bat and bird detection of the DTBat and DTBird systems at Calandawind turbine. Bundesamt für Energie BFE. Bern.



- Heim, Olga; Treitler, Julia T.; Tschapka, Marco; Knörnschild, Mirjam; Jung, Kirsten (2015): The Importance of Landscape Elements for Bat Activity and Species Richness in Agricultural Areas. In: *PLoS ONE* 10 (7), e0134443. DOI: 10.1371/journal.pone.0134443.
- Heindl, Martin (2016): Brutbestandsentwicklung von Braunkehlchen *Saxicola rubetra* und Grauammer *Emberiza calandra* auf einer Photovoltaik-Freiflächenanlage bei Demmin. In: *Ornithol. Rundbr. Mecklenbg.-Vorpomm.* 48 (3), S. 303–307.
- Hellawell, John M. (1991): Development of a rationale for monitoring. In: F. B. Goldsmith (Hg.): *Monitoring for Conservation and Ecology*: Springer Netherlands (Conservation Biology), S. 1–14.
- Henle, Klaus; Potts, Simon; Kunin, William; Matsinos, Yiannis; Simila, Jukka; Pantis, John et al. (2014): Scaling in ecology and biodiversity conservation. In: *Advanced Books* 1, e1169.
- Hennig, Christiane; Gawor, Marek (2012): Bioenergy production and use. Comparative analysis of the economic and environmental effects. In: *Energy Conversion and Management* (Volume 63), S. 130–137.
- Hennings, Wilfried; Linssen, Jochen; Markewitz, Peter; Vögele, Stefan (2011): Energiespeicher. Institut für Energie- und Klimaforschung Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEK (STE Preprint, 06). Online verfügbar unter [https://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Downloads/IEK/IEK-STE/DE/Publikationen/preprints/2011/preprint\\_06\\_2011.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Downloads/IEK/IEK-STE/DE/Publikationen/preprints/2011/preprint_06_2011.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Hermes, Georg (2014): Planungsrechtliche Sicherung einer Energiebedarfsplanung - ein Reformvorschlag. In: *Zeitschrift für Umweltrecht*, S. 259–270.
- Hernandez, R. R.; Easter, S. B.; Murphy-Mariscal, M. L.; Maestre, F. T.; Tavassoli, M.; Allen, E. B. et al. (2014): Environmental impacts of utility-scale solar energy. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29, S. 766–779. DOI: 10.1016/j.rser.2013.08.041.
- Hochradel, Klaus; Adomeit, Uwe; Heinze, Nic; Nagy, Martina; Stiller, Florian; Behr, Oliver (2015): Wärmeoptische 3D-Erfassung von Fledermäusen im Rotorbereich von Windenergieanlagen. In: Oliver Behr, Robert Brinkmann, Fränzi Korner-Nievergelt, Martina Nagy, Ivo Niermann, Michael Reich und Ralph Simon (Hg.): *Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II)*, Bd. 7. Hannover: Institut für Umweltplanung - Leibniz Universität Hannover (Umwelt und Raum, 7), S. 81–100.
- Hodos, W. (2003): Minimization of Motion Smear: Reducing Avian Collision with Wind Turbines. Period of Performance: July 12, 1999 – August 31, 2002. National Renewable Energy Laboratory (NREL/SR-500-33249). Online verfügbar unter <http://citeserx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.486.885&rep=rep1&type=pdf>, zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Hoerschelmann (1988): Verluste und Verhalten von Voegeln an einer 380 - kV - Freileitung. In: *Oekologie der Voegel : Verhalten, Konstitution, Umwelt* 10 (1), S. 19.
- Hoffmann, Jörg; Wittchen, Udo; Berger, G.; Stachow, U. (2015): Vögel, Artenvielfalt und Landschaftsqualität. In: *Forschungs Report* (2), S. 36–39. Online verfügbar unter <http://publ.ext.zalf.de/publications/f89214eb-558b-48a0-bb4d-2b499867ef7a.pdf>, zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Hofmann, L.; Oswald, B. R. (2010): Vergleich Erdkabel – Freileitung im 110-kV-Hochspannungsbereich. Ministerium für Wirtschaft und Energie (MWE). Hannover. Online verfügbar unter <https://studylibde.com/doc/2878863/vergleich-erdkabel---freileitung-im-110-kv>, zuletzt geprüft am 16.05.2019.

- Hofmann, Lutz (2015): Einsatz von Erdkabeln und Freileitungen in Hochspannungs-Drehstrom- und –Gleichstrom-Übertragungssystemen. Institut für Energieversorgung und Hochspannungstechnik (IEH). Hannover, 2015. Online verfügbar unter [https://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/Veranstaltungen/2015/Infotage/Hannover\\_Freileitung\\_Erdkabel.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/Veranstaltungen/2015/Infotage/Hannover_Freileitung_Erdkabel.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Holz, Rainer (1987): Populationsentwicklung des Sandregenpfeifers (*Charadrius hiaticula*) im südwestlichen Ostseeraum. Ursachen und Konsequenzen veränderter Habitatnutzung. In: *Natur und Naturschutz in Mecklenburg - Schriftenreihe der Arbeitsgruppe Greifswald des Instituts für Landschaftsforschung und Naturschutz XXV*, S. 1–80.
- Hölzinger, Jochen (Hg.) (1987): Die Vögel Baden-Württembergs. Unter Mitarbeit von Kurt Andris. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
- Holzschuh, Andrea; Steffan-Dewenter, Ingolf; Tscharncke, T. (2010): How do landscape composition and configuration, organic farming and fallow strips affect the diversity of bees, wasps and their parasitoids? In: *The Journal of Animal Ecology* 79 (2), S. 491–500. DOI: 10.1111/j.1365-2656.2009.01642.x.
- Horváth, Gábor; Kriska, György; Malik, Péter; Robertson, Bruce (2009): Polarized light pollution. a new kind of ecological photopollution. In: *Frontiers in Ecology and the Environment* 7 (6), S. 317–325. DOI: 10.1890/080129.
- Hötker, Hermann; Nehls, Georg; Krone, Oliver (Hg.) (2017): Birds of prey and wind farms. Cham, Switzerland: Springer.
- Hötker, Hermann; Thomsen, Kai-Michael; Köster, Heike (2005): Auswirkungen regenerativer Energiegewinnung auf die biologische Vielfalt am Beispiel der Vögel und der Fledermäuse. Hg. v. Bundesamt für Naturschutz (BfN) (BfN-Skripten, 142). Online verfügbar unter [https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/skript\\_142.pdf](https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/skript_142.pdf), zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Hunt, W. Grainger; McClure, Christopher J.W.; Allison, Taber D. (2015): Do Raptors React to Ultraviolet Light? In: *Journal of Raptor Research* 49 (3), S. 342–343. DOI: 10.3356/JRR-14-71.1.
- Hurst, Johanna; Balzer, Sandra; Biedermann, Martin; Dietz, Christian; Dietz, Markus; Höhne, Elena et al. (2015): Erfassungsstandards für Fledermäuse bei Windkraftprojekten in Wäldern. In: *Natur und Landschaft* 90 (4), S. 157–196.
- Hurst, Johanna; Biedermann, Martin; Dietz, Christian; Dietz, Markus; Karst, Inken; Kranich, Elena et al. (2016): Untersuchungen zur Minderung der Auswirkungen von WKA auf Fledermäuse, insbesondere im Wald. In: Bundesamt für Naturschutz (BfN) (Hg.): *Fledermäuse und Windkraft im Wald*. Bonn - Bad Godesberg (Naturschutz und biologische Vielfalt, 153).
- Huso, Manuela M. P. (2011): An estimator of wildlife fatality from observed carcasses. In: *Environmetrics* 22 (3), S. 318–329. DOI: 10.1002/env.1052.
- IEH (2011): Ökologische Auswirkungen von 380-kV-Erdleitungen und HGÜ-Erdleitungen – Band 3. Institut für Energieversorgung und Hochspannungstechnik (IEH). Online verfügbar unter <https://d-nb.info/1020733411/34>, zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- IKSR (2017): Lachs 2020. Hg. v. Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR). Online verfügbar unter [www.iksr.org/de/internationale-zusammenarbeit/rhein-2020/lachs-2020/index.html](http://www.iksr.org/de/internationale-zusammenarbeit/rhein-2020/lachs-2020/index.html), zuletzt geprüft am 08.09.2017.
- IndexMundi (2019a): Palmöl monatlicher Preis. Online verfügbar unter <https://www.indexmundi.com/de/rohstoffpreise/?ware=palmol&monate=360>, zuletzt geprüft am 03.05.2019.

- IndexMundi (2019b): Rapsöl monatlicher Preis. Online verfügbar unter <https://www.indexmundi.com/de/rohstoffpreise/?ware=rapsol&monate=360>, zuletzt geprüft am 03.05.2019.
- Isselstein, J. (2005): Agronomic aspects of biodiversity targeted management of temperate grasslands in Europe – A review. In: *Agronomy Research* 2005 (3).
- Isselstein, Johannes (1998): Veränderungen in der Vegetation des Grünlandes – Perspektiven einer nachhaltigen Nutzung und Entwicklung. In: *Schriftenreihe für Vegetationskunde* (H. 29), S. 101–110.
- IWR (2016): Stromnetz-Ausbau und steigende Strompreise - Entwicklung der Netzentgelte. Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien (IWR). Online verfügbar unter <https://www.iwr-institut.de/de/presse/presseinfos-energiewende/stromnetz-ausbau-laesst-strompreise-steigen-entwicklung-der-netzentgelte>, zuletzt geprüft am 25.04.2019.
- Janss, Guyonne F. E. (2000): Avian mortality from power lines. a morphologic approach of species-specific mortality. In: *Biological Conservation* 95 (2000), S. 353–359.
- Jerrentrup, Jana Sabrina; Dauber, Jens; Strohbach, Michael W.; Mecke, Stefan; Mitschke, Alexander; Ludwig, Jürgen; Klimek, Sebastian (2017): Impact of recent changes in agricultural land use on farmland bird trends. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 239, S. 334–341. DOI: 10.1016/j.agee.2017.01.041.
- Jessel, Beate; Kuler, Bettina (2006): Naturschutzfachliche Beurteilung von Freilandphotovoltaikanlagen - Analysen und Vorschläge zur Beurteilung am Beispiel Brandenburgs. In: *Naturschutz und Landschaftsplanung* 38 (7), S. 225–232.
- Kalz, Beate; Knerr, Ralf; Brennenstuhl, Elke; Kraatz, Ulf; Dürr, Tobias; Stein, Andreas (2015): Wirksamkeit von Vogelschutzmarkierungen an einer 380-kV-Freileitung im Nationalpark Unteres Odertal. Minimierung des Anflugrisikos durch Montage von Vogelschutzmarkern. In: *Naturschutz und Landschaftsplanung* 47 (4), S. 109–116. Online verfügbar unter [https://www.nul-online.de/artikel.dll/NuL-2015-04-109-116-1\\_NDcwMDg0Mw.PDF?UID=53554C9C1164C3D586973F0FA1B8306F9EE125C47E0BE9](https://www.nul-online.de/artikel.dll/NuL-2015-04-109-116-1_NDcwMDg0Mw.PDF?UID=53554C9C1164C3D586973F0FA1B8306F9EE125C47E0BE9), zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Kappler, Olaf (1997): Some methods for the determination and the evaluation of non-fragmented and minimally disturbed landscape areas. In: *European Journal of Geography* (69). Online verfügbar unter <https://journals.openedition.org/cybergeog/1572>, zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Kappler, Olaf (2015): Landschaftsmaße. PhD Thesis. Humboldt-Universität zu Berlin, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät.
- Kern, Klaus (1994): Grundlagen naturnaher Gewässergestaltung. Berlin: Springer Verlag.
- Keuneke, R.; Dumont, U. (2010): Vergleich von Prognosemodellen zur Berechnung der Turbinen bedingten Fischmortalität. In: *Wasserwirtschaft* 9/2010, S. 39–42.
- Keuneke, Rita; Dumont, Ulrich (2011): Erarbeitung und Praxiserprobung eines Maßnahmenplans zur ökologisch verträglichen Wasserkraftnutzung. Umweltbundesamt (UBA) (Texte, 72). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4197.pdf>, zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Kießling, Friedrich; Nefzger, Peter; Kaintzyk, Ulf (2001): Freileitungen. Planung, Berechnung, Ausführung. 5., vollständig neu bearbeitete Auflage. Berlin: Springer.
- Klapp, E. (1966): Grünlandvegetation und Standort nach Beispielen aus West-, Mittel- und Süddeutschland. Berlin, Hamburg: Parey (112).

- Kleijn, D.; Kohler, F.; Báldi, A.; Batáry, P.; Concepción, E.D; Clough, Y. et al. (2009): On the relationship between farmland biodiversity and land-use intensity in Europe. In: *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 276 (1658), S. 903–909. DOI: 10.1098/rspb.2008.1509.
- Klenke, R.; Frey, B.; Zarzycka, A. (2017): Case study 5: The effects of increased rape and maize cropping on agricultural biodiversity. In: Service contract to support follow-up actions to the mid-term review of the EU biodiversity strategy to 2020 in relation to target 3A – Agriculture. Report to the European Commission. Insitute for European Environmental Policy. London, S. 147–183.
- Klobasa, Marian; Pfluger, Benjamin; Lux, Benjamin; Lerm, Verena; Schäfer-Stradowsky, Simon; Holzhammer, Uwe (2018): Wissenschaftlicher Gesamtbericht. EEG-Erfahrungsbericht 2018. Vorbereitung und Begleitung bei der Erstellung eines Erfahrungsberichts gemäß § 97 Erneuerbare-Energien-Gesetz 2017. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI; Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE; Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität (IKEM). Karlsruhe, Kassel, Berlin. Online verfügbar unter [https://www.ikem.de/wp-content/uploads/2018/06/20180719\\_WGB.pdf](https://www.ikem.de/wp-content/uploads/2018/06/20180719_WGB.pdf), zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Köck, Wolfgang (2016): Die Bedarfsplanung im Infrastrukturrecht - Über rechtliche Möglichkeiten der Stärkung des Umweltschutzes bei der Bedarfsfeststellung. In: *Zeitschrift für Umweltrecht*, S. 579–590.
- Köck, Wolfgang; Bovet, Jana; Fischer, Henrik; Ludwig, Grit; Möckel, Stefan; Faßbender, Kurt (2017): Das Instrument der Bedarfsplanung - Rechtliche Möglichkeiten für und verfahrensrechtliche Anforderungen an ein Instrument für mehr Umweltschutz. Umweltbundesamt (UBA) (Texte, 55). Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-09-05\\_texte\\_55-2017\\_bedarfsplanung\\_v2.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-09-05_texte_55-2017_bedarfsplanung_v2.pdf), zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Kohnen, Annette; Ebert, Cornelia; Schorcht, Wigbert; Dietz, Christian; Hurst, Johanna; Brinkmann, Robert (2016a): Verwandtschaftsverhältnisse und Populationsstruktur in Wochenstubenkolonien, Paarungs- und Überwinterungsgruppen des Kleinabendseglers. In: Bundesamt für Naturschutz (BfN) (Hg.): Fledermäuse und Windkraft im Wald. Bonn - Bad Godesberg (Naturschutz und biologische Vielfalt, 153).
- Kohnen, Annette; Steck, Claude; Hurst, Johanna; Brinkmann, Robert (2016b): Verbreitungsmodell windkraftempfindlicher Fledermausarten als Grundlage für die Risikobewertung. In: Bundesamt für Naturschutz (BfN) (Hg.): Fledermäuse und Windkraft im Wald. Bonn - Bad Godesberg (Naturschutz und biologische Vielfalt, 153).
- Köppen, Susanne; Fehrenbach, Horst; Markwardt, Stefanie; Hennecke, Anna (2014): Implementing the GBEP Indicators for Sustainable Bioenergy in Germany. Final Report. International Institute for Sustainability Analysis and Strategy; Insitut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH. Heidelberg. Online verfügbar unter [http://iinas.org/tl\\_files/iinas/downloads/bio/IFEU\\_IINAS\\_2014\\_GBEP\\_Application\\_indicators\\_in\\_Germany.pdf](http://iinas.org/tl_files/iinas/downloads/bio/IFEU_IINAS_2014_GBEP_Application_indicators_in_Germany.pdf), zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Korner, Pius; Nagy, Martina (2018): Populationsbiologische Kennzahlen von Fledermäusen aus der Literatur. In: Bestimmung des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen in der Planungspraxis (RENEBAT III). Endbericht des Forschungsvorhabens gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie/Endbericht des Forschungsvorhabens gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Förderkennzeichen 0327638E). Erlangen, S. 191–312.

- Korner-Nievergelt, Fränzi; Brinkmann, Robert; Niermann, Ivo; Behr, Oliver (2013): Estimating Bat and Bird Mortality Occurring at Wind Energy Turbines from Covariates and Carcass Searches Using Mixture Models. In: *PLoS ONE* 8 (7), e67997. DOI: 10.1371/journal.pone.0067997.
- Korner-Nievergelt, Fränzi; Korner-Nievergelt, Pius; Behr, Oliver; Niermann, Ivo; Brinkmann, Robert; Hellriegel, Barbara (2011): A new method to determine bird and bat fatality at wind energy turbines from carcass searches. In: *Wildlife Biology* 17 (4), S. 350–363. DOI: 10.2981/10-121.
- Korner-Nievergelt, Pius; Simon, Ralph; Behr, Oliver; Korner-Nievergelt, Fränzi (2018): Populationsbiologische Modellierung von Fledermauspopulationen. In: Bestimmung des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen in der Planungspraxis (RENEBAT III). Endbericht des Forschungsvorhabens gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie/Endbericht des Forschungsvorhabens gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Förderkennzeichen 0327638E). Erlangen, S. 313–342.
- Kost, Ch.; Shammugam, S.; Jülch, V.; Nguyen, H-T.; Schlegl, T. (2018): Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. Freiburg. Online verfügbar unter [https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2018\\_ISE\\_Studie\\_Stromgestehungskosten\\_Erneuerbare\\_Energien.pdf](https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2018_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf), zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Krijgsveld, Karen L.; Akershoek, Kirsten; Schenk, Femke; Dijk, Femke; Dirksen, Sjoerd (2009): Collision Risk of Birds with Modern Large Wind Turbines. In: *Ardea* 97 (3), S. 357–366. DOI: 10.5253/078.097.0311.
- Krühler, W. (1993): Solarzellen - Physikalische Grundlagen und Anwendungen in der Photovoltaik. In: Dieter Meissner (Hg.): Solarzellen: Physikalische Grundlagen und Anwendungen in der Photovoltaik. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, S. 129–136.
- LAG VSW (2015): Abstandsempfehlungen für Windenergieanlagen zu bedeutsamen Vogel Lebensräumen sowie Brutplätzen ausgewählter Vogelarten (Stand April 2015). Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten (LAG VSW). Online verfügbar unter [https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/vogelschutz/150526-lag-vsw\\_-\\_abstandsempfehlungen.pdf](https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/vogelschutz/150526-lag-vsw_-_abstandsempfehlungen.pdf), zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- LAG VSW (2017): Abschaltung von Windenergieanlagen (WEA) zum Schutz von Greifvögeln und Störchen bei bestimmten landwirtschaftlichen Arbeiten. Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten (LAG VSW). Online verfügbar unter <http://www.vogelschutzwarten.de/downloads/2017lagvsw1-1.pdf>, zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Laggner, Birgit; Orthen, Natascha; Osterburg, Bernhard; Röder, Norbert (2014): Ist die zunehmende Biogasproduktion die alleinige Ursache für den Grünlandschwund in Deutschland? – eine Analyse von georeferenzierten Daten zur Landnutzung. In: *Raumforschung und Raumordnung* 72 (3), S. 195–209. DOI: 10.1007/s13147-014-0278-7.
- LANUV (2012): Gewässerstrukturgüte in Nordrhein-Westfalen. Kartieranleitung für die kleinen bis großen Fließgewässer: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) (LANUV-Arbeitsblatt, 18). Online verfügbar unter [https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/4\\_arbeitsblaetter/40018.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/4_arbeitsblaetter/40018.pdf), zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Laskowski, Silke (2011): Wasserkraft im Energiekonzept der Bundesregierung nach dem Atomausstieg - zwischen Klima- und Gewässerschutz. In: *Zeitschrift für neues Energierecht* 15 (4), S. 396–401.

- LAWA (1999): Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland – Verfahren für kleine bis mittelgroße Fließgewässer. Hg. v. Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). Online verfügbar unter [https://www.lawa.de/documents/gewaesserstrukturguetekartierung\\_verfahren\\_kleine\\_mittelgrosse\\_fliessgewaesser\\_1552305499.pdf](https://www.lawa.de/documents/gewaesserstrukturguetekartierung_verfahren_kleine_mittelgrosse_fliessgewaesser_1552305499.pdf), zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- LAWA (2002): Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland. Übersichtsverfahren. Hg. v. Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). Online verfügbar unter [https://www.lawa.de/documents/gewaesserstrukturguetekartierung\\_bundesrepublik\\_deutschland\\_uebersichtsverfahren\\_1552305344.pdf](https://www.lawa.de/documents/gewaesserstrukturguetekartierung_bundesrepublik_deutschland_uebersichtsverfahren_1552305344.pdf), zuletzt geprüft am 13.05.2019.
- LAWA (2016): Daten der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser zum Bericht nach Art. 13 der EG-Richtlinie 2000/60/EG. Hg. v. Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA).
- LAWA (2017): Bewertung der Durchgängigkeit von Fließgewässern für Fische und Sedimente – Hintergrunddokument Fische. unveröffentlicht. Unter Mitarbeit von Rita Keuneke. Ingenieurbüro Floecksmühle GmbH; Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). Aachen.
- LBV (o. J.): In Maisschlägen mit Kiebitzen auf Herbizide verzichten. Hg. v. Landesbund für Vogelschutz in Bayern e.V. Online verfügbar unter <http://praxistipps.lbv.de/praxistipps/hilfe-fuer-den-kiebitz/massnahmen-in-mais.html>, zuletzt aktualisiert am 2017, zuletzt geprüft am 09.05.2019.
- Legg, Colin J.; Nagy, Laszlo (2006): Why most conservation monitoring is, but need not be, a waste of time. In: *Journal of environmental management* 78 (2), S. 194–199. DOI: 10.1016/j.jenvman.2005.04.016.
- Lehnert, Linn S.; Kramer-Schadt, Stephanie; Schönborn, Sophia; Lindecke, Oliver; Niermann, Ivo; Voigt, Christian C. (2014): Wind Farm Facilities in Germany Kill Noctule Bats from Near and Far. In: *PLoS ONE* 9 (8), e103106. DOI: 10.1371/journal.pone.0103106.
- Lenz, V.; Müller-Langer, F.; Denysenko, V.; Daniel-Gromke, J.; Rensberg, N.; Rönsch, C. et al. (2017): Jahresüberblick I: Erneuerbare Energien. In: *BWK - Das Energie-Fachmagazin* 2017 (05). Online verfügbar unter <https://www.energiefachmagazin.de/2017/Ausgabe-5/Jahresuebersichten-I/Erneuerbare-Energien?page=10>, zuletzt geprüft am 26.07.2018.
- Lewandowski, I.; Clifton-Brown, J. C.; Scurlock, J. M. O.; Huisman, W. (2000): Miscanthus. European experience with a novel energy crop. In: *Biomass and Bioenergy* 19 (4), S. 209–227. DOI: 10.1016/S0961-9534(00)00032-5.
- LfStat (2016): Unfälle beim Umgang mit und bei der Beförderung von wassergefährdenden Stoffen in Bayern 2015. Bayerisches Landesamt für Statistik (LfStat). Online verfügbar unter [https://www.statistik.bayern.de/mam/produkte/veroeffentlichungen/statistische\\_berichte/q4100c\\_201600\\_25805.pdf](https://www.statistik.bayern.de/mam/produkte/veroeffentlichungen/statistische_berichte/q4100c_201600_25805.pdf), zuletzt geprüft am 09.05.2019.
- LfU (2015): Zentrale Fundkartei über Anflugopfer an Windenergieanlagen (WEA). Landesanstalt für Umwelt Brandenburg (LfU). Online verfügbar unter <https://lfu.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.321381.de>, zuletzt geprüft am 14.05.2019.
- LfU (2018): Auswirkungen von Windenergieanlagen auf Vögel und Fledermäuse. Landesanstalt für Umwelt Brandenburg (LfU). Online verfügbar unter <https://lfu.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.312579.de>, zuletzt geprüft am 14.05.2019.

- Liechti, Felix; Guélat, Jérôme; Komenda-Zehnder, Susanna (2013): Modelling the spatial concentrations of bird migration to assess conflicts with wind turbines. In: *Biological Conservation* 162, S. 24–32. DOI: 10.1016/j.biocon.2013.03.018.
- Lindemann, Cosima; Runkel, Volker; Kiefer, Andreas; Lukas, Andreas; Veith, Michael (2018): Abschaltalgorithmen für Fledermäuse an Windenergieanlagen. Eine natur-schutzfachliche Bewertung. In: *Naturschutz und Landschaftsplanung* 50 (11), S. 418–425.
- Lindenmayer, David B.; Likens, Gene E. (2010): The science and application of ecological monitoring. In: *Biological Conservation* 143 (6), S. 1317–1328. DOI: 10.1016/j.biocon.2010.02.013.
- Lödl, Martin; Kerber, Georg; Witzmann, Rolf (2010): Abschätzung des Photovoltaik-Potentials auf Dachflächen in Deutschland. Graz. Online verfügbar unter <https://media-tum.ub.tum.de/doc/969497/969497.pdf>, zuletzt geprüft am 22.02.2019.
- Louwen, Atse; van Sark, Wilfried G. J. H. M.; Faaij, André P. C.; Schropp, Ruud E. I. (2016): Re-assessment of net energy production and greenhouse gas emissions avoidance after 40 years of photovoltaics development. In: *Nature Communications* 7 (13728). DOI: 10.1038/ncomms13728.
- Lovich, Jeffrey E.; Ennen, Joshua R. (2011): Wildlife Conservation and Solar Energy Development in the Desert Southwest, United States. In: *BioScience* 61 (12).
- Luick, Rainer; Jedicke, Eckhard; Metzner, Jürgen (2015): Extensive Beweidung von Grünland. In: *Natur und Landschaft* 90 (06).
- Lukas, Andreas (2016): Vögel und Fledermäuse im Artenschutzrecht. In: *Naturschutz und Landschaftsplanung* 48 (49), S. 289–296.
- LUWG (2008): Durchgängigkeit und Wasserkraftnutzung in Rheinland-Pfalz. Unter Mitarbeit von P. Anderer, U. Dumont, C. Bauerfeind, I. Drösser, R. Keuneke und E. Massmann. Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht des Landes Rheinland-Pfalz (LUWG). Mainz (LUWG-Bericht). Online verfügbar unter <https://www.edoweb-rlp.de/resource/edoweb:3898023/data>, zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Mackie, Iain J.; Racey, Paul A. (2007): Habitat use varies with reproductive state in noctule bats (*Nyctalus noctula*). Implications for conservation. In: *Biological Conservation* 140 (1-2), S. 70–77. DOI: 10.1016/j.biocon.2007.07.031.
- Majer, Stefan; Gawor, Marek; Thrän, D.; Bunzel, Katja; Daniel-Gromke, Jaqueline (2011): Optimierung der marktnahen Förderung von Biogas/ Biomethan. unter Berücksichtigung der Umwelt- und Klimabilanz, Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit. Biogasrat e.V. Berlin. Online verfügbar unter [http://www.biogasrat.de/wp-content/uploads/2017/12/eeg\\_2012\\_studie\\_biogasrat.e.v.\\_download-1.pdf](http://www.biogasrat.de/wp-content/uploads/2017/12/eeg_2012_studie_biogasrat.e.v._download-1.pdf), zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Mammen, Kerstin; Mammen, Ubbo; Resetaritz, Alexander (2017): Red Kite. In: Hermann Hötter, Hermann Krone und Oliver Nehls (Hg.): *Birds of Prey and Wind Farms - Analysis of Problems and Possible Solutions*. Cham: Springer, S. 13–95.
- Marques, Ana Teresa; Batalha, Helena; Rodrigues, Sandra; Costa, Hugo; Pereira, Maria João Ramos; Fonseca, Carlos et al. (2014): Understanding bird collisions at wind farms: An updated review on the causes and possible mitigation strategies. In: *Biological Conservation* 179, S. 40–52. DOI: 10.1016/j.biocon.2014.08.017.
- Marshall, E. J. P.; Brown, V. K.; Boatman, N. D.; Lutman, P. J. W.; Squire, G. R.; Ward, L. K. (2003): The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. In: *Weed Res* 43 (2), S. 77–89. DOI: 10.1046/j.1365-3180.2003.00326.x.

- Martin, Wietschel; Patrick, Plötz; Benjamin, Pfluger; Marian, Klobasa; Anke, Eßer; Michael, Haendel et al. (2018): Sektorkopplung - Definition, Chancen und Herausforderungen. Fraunhofer ISI. Karlsruhe (Working paper sustainability and innovation, No. S 01/2018). Online verfügbar unter [https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/sustainability-innovation/2018/WP01-2018\\_Sektorkopplung\\_Wietschel.pdf](https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/sustainability-innovation/2018/WP01-2018_Sektorkopplung_Wietschel.pdf), zuletzt geprüft am 21.10.2019.
- Matsunaka, T. (2011): Efficient use of digested cattle slurry from biogas plant with respect to nitrogen recycling in grassland. Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland. Internationale Tagung Gülle 11. Kloster Reute, 17.10.2011.
- Maxim, Laura; Spangenberg, Joachim; O'Connor, Martin (2009): An analysis of risks for biodiversity under the DPSIR framework. In: *Ecological Economics* 69, S. 12–23. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2009.03.017.
- May, R.; Masden, E. A.; Bennet, F.; Perron, M. (2019): Considerations for upscaling individual effects of wind energy development towards population-level impacts on wildlife. In: *Journal of environmental management* 230, S. 84–93. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.09.062.
- May, R.; Reitan, O.; Bevanger, K.; Lorentsen, S.-H.; Nygård, T. (2015): Mitigating wind-turbine induced avian mortality. Sensory, aerodynamic and cognitive constraints and options. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 42, S. 170–181. DOI: 10.1016/j.rser.2014.10.002.
- May, Roel; Bevanger, Kjetil (Hg.) (2011): Proceedings. Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway. Norwegian Institute for Nature Research (NINA). Trondheim (NINA Report, 693). Online verfügbar unter [https://te-thys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/NINA\\_Conference\\_Proceedings\\_2011.pdf](https://te-thys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/NINA_Conference_Proceedings_2011.pdf), zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- May, Roel; Hamre, Øyvind; Vang, Roald; Nygård, T. (2012): Evaluation of the DTBird video-system at the Smøla wind-power plant. Norwegian Institute for Nature Research (NINA). Trondheim (NINA Report, 910). Online verfügbar unter <https://www.nina.no/archive/nina/PppBasePdf/rapport/2012/910.pdf>, zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Mayer, Kristine; Hurst, Johanna; Niermann, Ivo; Reich, Michael; Brinkmann, Robert (2015): Planungsvorgaben bezüglich der Beachtung des Fledermausschutzes bei Planung und etrieb von Windenergieanlagen – eine Recherche bei Behörden und nicht-staatlichen Organisationen. In: Oliver Behr, Robert Brinkmann, Fränzi Korner-Nievergelt, Martina Nagy, Ivo Niermann, Michael Reich und Ralph Simon (Hg.): Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II). Hannover: Institut für Umweltplanung - Leibniz Universität Hannover (Umwelt und Raum, 7), S. 271–316.
- McGarigal, K.; Cushman, S. A.; Ene, E. (2012): FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts. Amherst. Online verfügbar unter <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>, zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- McKight, Patrick E.; Najab, Julius (2010): Kruskal-Wallis Test. In: Irving B. Weiner und W. Edward Craighead (Hg.): *The Corsini Encyclopedia of Psychology*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. Online verfügbar unter <https://online-library.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9780470479216.corpsy0491>, zuletzt geprüft am 16.05.2019.



- McManus, M. C. (2012): Environmental consequences of the use of batteries in low carbon systems. The impact of battery production. In: *Applied Energy* 93 (Green Energy - Special Section from papers presented at the 2nd International Energy 2030 Conference), S. 288–295. DOI: 10.1016/j.apenergy.2011.12.062.
- Meier, C.; Haase, P.; Rolauffs, P.; Schindehütte, K.; Schöll, F.; Sundermann, A.; Hering, D. (2006): Methodisches Handbuch Fließgewässerbewertung. Handbuch zur Untersuchung und Bewertung von Fließgewässern auf der Basis des Makrozoobenthos vor dem Hintergrund der EG-Wasserrahmenrichtlinie. [fliessgewaesserbewertung.de](http://www.fliessgewaesserbewertung.de). Online verfügbar unter [http://www.fliessgewaesserbewertung.de/downloads/abschlussbericht\\_20060331\\_anhang\\_IX.pdf](http://www.fliessgewaesserbewertung.de/downloads/abschlussbericht_20060331_anhang_IX.pdf), zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Meschede, Angelika (2012): Ergebnisse des bundesweiten Monitorings zum Großen Mausohr (*Myotis myotis*). Analysen zum Bestandstrend der Wochenstuben. Bonn (BfN-Skripten, 325). Online verfügbar unter [https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/Skript\\_325.pdf](https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/Skript_325.pdf), zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Meschede, Angelika; Schorcht, Wigbert; Biedermann, Martin; Fuchs, Martin; Bontadina, Fabio (2017): Wanderrouten der Fledermäuse. Naturschutz, Bundesamt für. Germany (BfN-Skripten, 453). Online verfügbar unter <https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript453.pdf>, zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Meyer, Rolf; Priefer, Carmen (2012): Ökologischer Landbau und Bioenergieerzeugung - Zielkonflikte und Lösungsansätze. Endbericht zum TA-Projekt. Berlin: TAB (Arbeitsbericht, Nr. 151). Online verfügbar unter <https://www.tab-beim-bundestag.de/de/pdf/publikationen/berichte/TAB-Arbeitsbericht-ab151.pdf>, zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Mischinger, S.; Limbacher, E.-L.; Seidl, H.; Ritzaus, M.; Nailis, D. (2017): Höhere Auslastung des Stromnetzes. Maßnahmen zur höheren Auslastung des Bestandsnetzes durch heute verfügbare Technologien. Ergebnispapier des dena-Stakeholder-Prozesses. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena); Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH (BET). Online verfügbar unter [https://shop.dena.de/fileadmin/denashop/media/Downloads\\_Dateien/esd/9209\\_Ergebnispapier\\_dena-Stakeholder-Prozess-Hoehere\\_Auslastung\\_Stromnetze.pdf](https://shop.dena.de/fileadmin/denashop/media/Downloads_Dateien/esd/9209_Ergebnispapier_dena-Stakeholder-Prozess-Hoehere_Auslastung_Stromnetze.pdf), zuletzt geprüft am 16.01.2019.
- Mischke, U.; Behrendt, H. (2007): Handbuch zum Bewertungsverfahren von Fließgewässern mittels Phytoplankton zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland. Berlin: Weißensee Verlag.
- Mitschang, Stephan (2009): Fachliche und rechtliche Anforderungen an die Zulassung und planerische Steuerung von Fotovoltaikfreiflächenanlagen. In: *Natur und Recht*, S. 821–830.
- Mitschke, A.; Sudfeldt, C.; Heidrich-Riske, H.; Dröschmeister, R. (2005): Das neue Brutvogelmonitoring in der Normallandschaft Deutschlands - Untersuchungsgebiete, Erfassungsmethode und erste Ergebnisse. In: *Vogelwelt* 126, S. 127–140.
- MLR (2012): Wie bewirtschafte ich eine FFH-Wiese? Infoblatt Natura 2000. Hg. v. Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg (MLR). Stuttgart. Online verfügbar unter [http://fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servelet/is/106302/Infoblatt\\_FFH-Wiese\\_2016.pdf?command=downloadContent&filename=Infoblatt\\_FFH-Wiese\\_2016.pdf](http://fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servelet/is/106302/Infoblatt_FFH-Wiese_2016.pdf?command=downloadContent&filename=Infoblatt_FFH-Wiese_2016.pdf), zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Möckel, Stefan (2013): Erfordernis einer umfassenden außenverbindlichen Bodennutzungsplanung auch für nichtbauliche Bodennutzungen. In: *Die öffentliche Verwaltung*, S. 424–436.
- Moharram, K. A.; Abd-Elhady, M. S.; Kandil, H. A.; El-Sherif, H. (2013): Enhancing the performance of photovoltaic panels by water cooling. In: *Ain Shams Engineering Journal* 4 (4), S. 869–877. DOI: 10.1016/j.asej.2013.03.005.

- Möller, Kurt; Schulz, Rudolf; Müller, Torsten (2011): Effects of setup of centralized biogas plants on crop acreage and balances of nutrients and soil humus. In: *Nutr Cycl Agroecosyst* 89 (2), S. 303–312. DOI: 10.1007/s10705-010-9395-z.
- MUNLV (2005): Handbuch Querbauwerke. Unter Mitarbeit von Ulrich Dumont, Pia Anderer und Ulrich Schwevers. Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV). Düsseldorf. Online verfügbar unter [https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/umwelt/Handbuch\\_Querbauwerke\\_2015.pdf](https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/umwelt/Handbuch_Querbauwerke_2015.pdf), zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- NABU (2009): NABU-Position Grünlandschutz. Naturschutzbund Deutschland e.V. (NABU). Online verfügbar unter [https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/landwirtschaft/gruenland/nabu-position\\_gruenlandschutz\\_0306.pdf](https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/landwirtschaft/gruenland/nabu-position_gruenlandschutz_0306.pdf), zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- NABU (2012): Artenreiches Grünland dauerhaft erhalten. Für mehr Vielfalt auf unseren Wiesen und Weiden. Naturschutzbund Deutschland e.V. (NABU).
- NABU (2013): Vögel der Agrarlandschaften. Gefährdung und Schutz. Naturschutzbund Deutschland e.V. (NABU). Berlin. Online verfügbar unter [https://www.umweltstiftung.com/fileadmin/archiv/foerderprojekte\\_ueberregional/nabu\\_feldvoegel\\_final.pdf](https://www.umweltstiftung.com/fileadmin/archiv/foerderprojekte_ueberregional/nabu_feldvoegel_final.pdf), zuletzt geprüft am 03.05.2019.
- NABU (2018): Kiebitze schützen. Ein Praxishandbuch. Unter Mitarbeit von Dominic Cimiotti, Jan Sohler, H Böhner, C Buschmann, A Förster, B Hönisch et al. Naturschutzbund Deutschland e.V. (NABU). Berlin. Online verfügbar unter <https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/vogelschutz/agrarvoegel/181127-nabu-kiebitzschutz-handbuch.pdf>, zuletzt geprüft am 14.05.2019.
- NABU; BUND; LNV-BW (2017): Gutachten-Check. Anonymisierte Darstellung der vogel- und fledermauskundlichen Gutachten aus acht Genehmigungsverfahren für Windenergieanlagen, die im Zeitraum November/Dezember 2016 in Baden-Württemberg abgeschlossen wurden. Naturschutzbund Baden-Württemberg (NABU); Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland (BUND); Landesnaturschutzverband Baden-Württemberg e.V. (LNV). Online verfügbar unter [https://www.bund-bawue.de/fileadmin/bawue/Dokumente/Themen/Klima\\_und\\_Energie/Windenergie\\_ausfuehrlichen\\_\\_anonymisierter\\_Gutachten-Check.pdf](https://www.bund-bawue.de/fileadmin/bawue/Dokumente/Themen/Klima_und_Energie/Windenergie_ausfuehrlichen__anonymisierter_Gutachten-Check.pdf), zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Nagy, Martina; Almasi, Bettina; Behr, Oliver; Ohlendorf, Nils; Schneider, Annkathrin; Stiller, Florian; Korner-Nievergelt, Fränzi (2018): Der Effekt der Eigenschaften von Windenergieanlagen auf das Kollisionsrisiko von Fledermäusen. In: Bestimmung des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen in der Planungspraxis (RENEBAT III). Endbericht des Forschungsvorhabens gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie/Endbericht des Forschungsvorhabens gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Förderkennzeichen 0327638E). Erlangen, S. 147–190.
- Newton, Ian (2010): Bird migration. London: Collins (Collins New Naturalist Library, 113).
- Niermann, Ivo; Brinkmann, Robert; Korner-Nievergelt, Fränzi; Behr, Oliver (2011): Systematische Schlagopfersuche - Methodische Rahmenbedingungen, statistische Analyseverfahren und Ergebnisse. In: Robert Brinkmann, Oliver Behr, Ivo Niermann und Michael Reich (Hg.): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen: Ergebnisse eines Forschungsvorhabens. Göttingen: Cuvillier (Umwelt und Raum, 4).
- Nitsch, Heike; Osterburg, Bernhard; Roggendorf, Wolfgang; Laggner, Birgit (2012): Cross compliance and the protection of grassland – Illustrative analyses of land use transitions between permanent grassland and arable land in German regions. In: *Land Use Policy* 29 (2), S. 440–448. DOI: 10.1016/j.landusepol.2011.09.001.

- NLT (2014): Naturschutz und Windenergie. Hinweise zur Berücksichtigung des Naturschutzes und der Landschaftspflege bei Standortplanung und Zulassung von Windenergieanlagen. Niedersächsischer Landkreistag e. V. Hannover. Online verfügbar unter [https://www.nlt.de/pics/medien/1\\_1414133175/2014\\_10\\_01\\_Arbeitshilfe\\_Naturschutz\\_und\\_Windenergie\\_\\_5\\_\\_Auflage\\_\\_Stand\\_Oktober\\_2014\\_Arbeitshilfe.pdf](https://www.nlt.de/pics/medien/1_1414133175/2014_10_01_Arbeitshilfe_Naturschutz_und_Windenergie__5__Auflage__Stand_Oktober_2014_Arbeitshilfe.pdf), zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Nowak, Bernd; Schulz, Bettina; Enders, Bettina (2002): Wiesen. Nutzung, Vegetation, Biologie und Naturschutz am Beispiel der Wiesen des Südschwarzwaldes und Hochrheingebietes: Regionalkultur (Naturschutz-Spectrum, 93).
- NREL (2018a): Research Cell Record - Explanatory Notes and Key to Label Names. Hg. v. National Renewable Energy Laboratory. Online verfügbar unter <https://www.nrel.gov/pv/assets/pdfs/pv-efficiency-chart-explanation.20181214.pdf>, zuletzt geprüft am 01.02.2018.
- NREL (2018b): Research Cell Record Efficiency Chart. Hg. v. National Renewable Energy Laboratory. Online verfügbar unter <https://www.nrel.gov/pv/assets/pdfs/pv-efficiency-chart.20190103.pdf>, zuletzt geprüft am 01.02.2018.
- OECD (2019): Renewable energy. OECD Data. Online verfügbar unter <http://data.oecd.org/energy/renewable-energy.htm>, zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Omann, Ines; Stocker, Andrea; Jäger, Jill (2009): Climate change as a threat to biodiversity: An application of the DPSIR approach. In: *Ecological Economics* 69 (1), S. 24–31. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2009.01.003.
- Oppermann, R.; Fried, A; Lepp, N; Lepp, T; Lakner, S (2016): Fit, fair und nachhaltig. Vorschläge für eine neue EU-Agrarpolitik. Naturschutzbund Deutschland e.V. (NABU). Online verfügbar unter <https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/landwirtschaft/agrarreform/161104-studie-neueeuagrarpolitik-langfassung.pdf>, zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Oppermann, R.; Neumann, Andrea; Huber, Silvia (2008): Bedeutung der Flächenstilllegung für die biologische Vielfalt. Fakten und Vorschläge zur Schaffung von ökologischen Vorrangflächen im Rahmen der EU-Agrarpolitik. Naturschutzbund Deutschland e.V. (NABU). Berlin. Online verfügbar unter [https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/landwirtschaft/flaechenstilllegung\\_langfassung.pdf](https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/landwirtschaft/flaechenstilllegung_langfassung.pdf), zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Padoa-Schioppa, Emilio; Baietto, Marco; Massa, Renato; Bottoni, Luciana (2006): Bird communities as bioindicators. The focal species concept in agricultural landscapes. In: *Ecological Indicators* 6 (1), S. 83–93. DOI: 10.1016/j.ecolind.2005.08.006.
- Pe'er, G.; Dicks, L. V.; Visconti, P.; Arlettaz, R.; Báldi, A.; Benton, T. G. et al. (2014): EU agricultural reform fails on biodiversity. In: *Science* 344 (6188), S. 1090–1092. DOI: 10.1126/science.1253425.
- Pe'er, G.; Zinngrebe, Yves; Hauck, Jennifer; Schindler, Stefan; Dittrich, Andreas; Zingg, Silvia et al. (2017): Adding Some Green to the Greening. Improving the EU's Ecological Focus Areas for Biodiversity and Farmers: Evaluation of EU's ecological focus areas. In: *Conservation Letters* 10 (5), S. 517–530. DOI: 10.1111/conl.12333.
- Peters, W. (2007): Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus auf Natur und Landschaft. Expertenworkshop. Protokoll. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Online verfügbar unter <https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/07-04-03ProtokollExpertenworkshopBiogasNaturschutz.pdf>.

- Peters, W.; Eisser, S.; Fritsche, U.; Grunow, B.; Hemke, S.; Hennenberg, K. et al. (2011): Naturschutzstandards Erneuerbarer Energien. Schlussbericht. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (FKZ: 0325016). Online verfügbar unter [https://www.clearingstelle-eeg-kwkg.de/files/110818\\_Endbericht%20NatSchStandards%20EE\\_final.pdf](https://www.clearingstelle-eeg-kwkg.de/files/110818_Endbericht%20NatSchStandards%20EE_final.pdf), zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Peters, W.; Schicketanz, S.; Hanusch, M.; Rohr, A.; Kothe, M.; Kinast, P et al. (2015): Räumlich differenzierte Flächenpotentiale für erneuerbare Energien in Deutschland. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Berlin (08). Online verfügbar unter [https://www.bbr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/ministerien/BMVI/BMVIOnline/2015/DL\\_BMVI\\_Online\\_08\\_15.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bbr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/ministerien/BMVI/BMVIOnline/2015/DL_BMVI_Online_08_15.pdf?__blob=publicationFile&v=2), zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Pfiffner, Lukas; Luka, Henryk (2000): Overwintering of arthropods in soils of arable fields and adjacent semi-natural habitats. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 78 (3), S. 215–222. DOI: 10.1016/S0167-8809(99)00130-9.
- Pfiffner, Lukas; Luka, Henryk; Schlatter, Christian (2005): Funktionelle Biodiversität, Schädlingsregulation gezielt verbessern. In: *Ökologie & Landbau* 2005 (2), S. 51–53.
- Philipps, S. P.; Bett, A. W.; Rau, B.; Schlatmann, R. (2017): Technologiebericht 1.3 Photovoltaik. Hg. v. Wuppertal Institut, ISI, IZES. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Technologien für die Energiewende, Teilbericht 2). Online verfügbar unter [https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/7043/file/7043\\_Photovoltaik.pdf](https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/7043/file/7043_Photovoltaik.pdf), zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Postel, Jan; Fischer, Erik; Barchmann, Tino; Rensberg, N.; Stur, Mathias (2017): Potenziale zur Steigerung der Leistungsfähigkeit von Biogasanlagen. Energetische Effizienz von Repoweringmaßnahmen. Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ). Leipzig (DBFZ-Report, 28).
- Pracheil, Brenda M.; DeRolph, C. R.; Schramm, M. P.; Bevelhimer, M. S. (2016): A fish-eye view of riverine hydropower systems: the current understanding of the biological response to turbine passage. In: *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 26 (2), S. 153–167. DOI: 10.1007/s11160-015-9416-8.
- Praus, Libor; Weidinger, Karel (2015): Breeding Biology of Skylarks *Alauda arvensis* in Maize and Other Crop Fields. In: *Acta Ornithologica* 50 (1), S. 59–68, zuletzt geprüft am 18.10.2016.
- Pulg, U.; Schnell, J.; Tombek, B.; Holzner, M. (2008): Untersuchung zur Effektivität alternativer Triebwerkstechniken und Schutzkonzepte für abwandernde Fische beim Betrieb von Kleinwasserkraftanlagen. im Auftrag des Landesfischereiverbands Bayern e.V. Landesfischereiverbands Bayern e.V (LFV BY); Geise & Partner; Büro für Gewässerökologie und Fischbiologie. Online verfügbar unter [http://www.ybbs-aesche.at/wp-content/uploads/2015/02/Bericht\\_Kraftwerksuntersuchung\\_LFV\\_Bayern\\_\\_verkleinerte\\_Dateigrosse\\_.pdf](http://www.ybbs-aesche.at/wp-content/uploads/2015/02/Bericht_Kraftwerksuntersuchung_LFV_Bayern__verkleinerte_Dateigrosse_.pdf), zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Quaschnig, Volker (2016): Sektorkopplung durch Energiewende. Anforderungen an den Ausbau erneuerbarer Energien zum Erreichen der Pariser Klimaschutzziele unter Berücksichtigung der Sektorkopplung. Hg. v. Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Berlin. Online verfügbar unter <https://www.volker-quaschnig.de/publis/studien/sektorkopplung/Sektorkopplungsstudie.pdf>, zuletzt geprüft am 21.10.2019.
- r2b energy consulting GmbH (2017): Mittelfristprognose zur deutschlandweiten Stromerzeugung aus EEG-geförderten Kraftwerken für die Kalenderjahre 2018 bis 2022. Endbericht. Im Auftrag der 50Hertz Transmission GmbH, Amprion GmbH, TenneT TSO GmbH, TransnetBW GmbH (Übertragungsnetzbetreiber). Köln. Online verfügbar unter [https://www.netztransparenz.de/portals/1/Content/EEG-Umlage/EEG-Umlage%202018/20171011\\_Abschlussbericht\\_EE\\_r2b.pdf](https://www.netztransparenz.de/portals/1/Content/EEG-Umlage/EEG-Umlage%202018/20171011_Abschlussbericht_EE_r2b.pdf), zuletzt geprüft am 17.05.2019.

- Rademacher, J.; Bayer, S.; Frieß, H.; Herzig, S.; Martone, O.; Orschinack, A. et al. (2018): 6. Erfahrungsbericht 2018 zu umweltbezogenen Nachhaltigkeitsindikatoren der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft „Klima, Energie, Mobilität – Nachhaltigkeit“ (BLAG KliNa). der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft „Klima, Energie, Mobilität – Nachhaltigkeit“ (BLAG KliNa). Online verfügbar unter <https://www.lanuv.nrw.de/liki/freidok/Erfahrungsbericht-06-2018.pdf>, zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Rasran, Leonid; Dürr, Tobias (2017): Collisions of Birds of Prey with Wind Turbines - Analysis of the Circumstances. In: Hermann Hötter, Hermann Krone und Oliver Nehls (Hg.): Birds of Prey and Wind Farms - Analysis of Problems and Possible Solutions. Cham: Springer.
- Rassmus, Jörg; Geiger, Sigrun; Herden, Christoph; Brakelmann, Heinrich; Stammen, Jörg; Dongping Zhang, Roland et al. (2009): Naturschutzfachliche Analyse von küstennahen Stromleitungen. Endbericht. Gesellschaft für Freilandökologie und Naturschutzplanung mbH; Universität Duisburg; Gesellschaft für Energie und Ökologie mbH. Online verfügbar unter [https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/erneuerbareenergien/endbericht\\_ausbau\\_stromleitung\\_kueste.pdf](https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/erneuerbareenergien/endbericht_ausbau_stromleitung_kueste.pdf), zuletzt geprüft am 14.05.2019.
- Raupert, Werner (2018): Rapool: Was Sie beim Rapsanbau beachten sollten. Hg. v. Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH. Online verfügbar unter <https://www.agrarheute.com/landundforst/betrieb-familie/pflanze/rapool-beim-rapsanbau-beachten-sollten-542484>, zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Redpath, M.; Young, Juliette; Evely, Anna; Adams, William M.; Sutherland, W. J.; Whitehouse, Andrew et al. (2013): Understanding and managing conservation conflicts. In: *Trends in Ecology & Evolution* 28 (2), S. 100–109. DOI: 10.1016/j.tree.2012.08.021.
- Rees, Eileen C. (2012): Impacts of wind farms on swans and geese: a review. In: *Wildfowl* 62 (62), 37-72-72. Online verfügbar unter <https://wildfowl.wwt.org.uk/index.php/wildfowl/article/view/1327>, zuletzt geprüft am 02.05.2019.
- Reinhard, Heidje; Brinkmann, Robert (2018): Zeitliche Einschränkungen des Betriebs von Windenergieanlagen als Maßnahme des Fledermausschutzes. In: Bestimmung des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen in der Planungspraxis (RENEBAT III). Endbericht des Forschungsvorhabens gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie/Endbericht des Forschungsvorhabens gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Förderkennzeichen 0327638E). Erlangen, S. 375–416.
- Reinhold, Gerd; Vollmer, Rainer (2003): Zur Geschichte der Biogaserzeugung in Thüringen. In: *Geschichtsheft* 9, S. 244–253.
- Rodrigues, L.; Bach, Lothar; Dubourg-Savage, Marie-Jo; Karapandza, B.; Kovac, D.; Kervyn, Thierry et al. (2016): Leitfaden für die Berücksichtigung von Fledermäusen bei Windenergieprojekten. Überarbeitung 2014. UNEP; EUROBATS. Bonn (Publication Series, 6). Online verfügbar unter [https://www.eurobats.org/sites/default/files/documents/publications/publication\\_series/EUROBATS\\_6\\_deu\\_2014\\_A4.pdf](https://www.eurobats.org/sites/default/files/documents/publications/publication_series/EUROBATS_6_deu_2014_A4.pdf), zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Roeleke, Manuel; Blohm, Torsten; Kramer-Schadt, Stephanie; Yovel, Yossi; Voigt, Christian C. (2016): Habitat use of bats in relation to wind turbines revealed by GPS tracking. In: *Scientific Reports* 6 (1). DOI: 10.1038/srep28961.
- Rollins, K. E.; Meyerholz, D. K.; Johnson, G. D.; Capparella, A. P.; Loew, S. S. (2012): A Forensic Investigation Into the Etiology of Bat Mortality at a Wind Farm. Barotrauma or Traumatic Injury? In: *Veterinary Pathology* 49 (2), S. 362–371. DOI: 10.1177/0300985812436745.

- Romundt, Heinrich (2014): Gras im Maisist echtes Greening. In: *dlz agrarmagazin* 2014, S. 38–43.
- Ronnenberg, Katrin; Strauß, Egbert; Siebert, Ursula (2016): Crop diversity loss as primary cause of grey partridge and common pheasant decline in Lower Saxony, Germany. In: *BMC Ecology* 16 (1). DOI: 10.1186/s12898-016-0093-9.
- Roser, F. (2013): Ist die Schönheit der Landschaft berechenbar? In: *Naturschutz und Landschaftsplanung*, S. 12.
- Roßberg, D.; Gutsche, V.; Enzian, S.; Wick, M. (2002): Neptun 2000 – Erhebung von Daten zum tatsächlichen Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel im Ackerbau Deutschlands. Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land und Forstwirtschaft (98). Online verfügbar unter [https://papa.julius-kuehn.de/dokumente/upload/b4ec0\\_neptun\\_2000\\_ackerbau.pdf](https://papa.julius-kuehn.de/dokumente/upload/b4ec0_neptun_2000_ackerbau.pdf), zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Roth, M.; Hildebrandt, S.; Roser, F.; Schwarz von Raumer, H.-G.; Borsdorff, M.; Peters, W. et al. (2018): Entwicklung eines Bewertungsmodells zum Landschaftsbild beim Stromnetzausbau. Endberichtsentswurf zum FuE-Vorhaben im Auftrag des BfN (FKZ 3515 82 2800). unveröffentlicht.
- Runge, K.; Baum, S.; Meister, P.; Rottgardt, E. (2012): Umweltauswirkungen unterschiedlicher Netzkomponenten. Im Auftrag der Bundesnetzagentur (BNetzA). Online verfügbar unter [https://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/2022/UB/Gutachten-Runge.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/2022/UB/Gutachten-Runge.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Rydell, Jens; Bach, Lothar; Dubourg-Savage, Marie-Jo; Green, Martin; Rodrigues, L.; Hedenström, Anders (2010): Bat mortality at wind turbines in northwestern Europe. In: *Acta Chiropterologica* 12, S. 261–274.
- Sage, Rufus; Cunningham, Mark; Haughton, Alison J.; Mallott, Mark D.; Bohan, David A.; Riche, Andrew; Karp, Angela (2010): The environmental impacts of biomass crops. use by birds of miscanthus in summer and winter in southwestern England. In: *Ibis* 152 (3), S. 487–499. DOI: 10.1111/j.1474-919X.2010.01027.x.
- Sahu, Alok; Yadav, Neha; Sudhakar, K. (2016): Floating photovoltaic power plant. A review. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 66 (Supplement C), S. 815–824. DOI: 10.1016/j.rser.2016.08.051.
- Sanz-Aguilar, Ana; Sánchez-Zapata, José A.; Carrete, Martina; Benítez, José Ramón; Ávila, Enrique; Arenas, Rafael; Donázar, José Antonio (2015): Action on multiple fronts, illegal poisoning and wind farm planning, is required to reverse the decline of the Egyptian vulture in southern Spain. In: *Biological Conservation* 187, S. 10–18. DOI: 10.1016/j.biocon.2015.03.029.
- Sauer, D. U.; Lunz, Benedikt; Magnor, Dirk (2013): Marktanzreizprogramm für dezentrale Speicher insbesondere für PV-Strom. ISEA Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe RWTH Aachen. Online verfügbar unter [https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/Gutachten/kurzgutachten\\_marktanreizprogramm\\_bf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/Gutachten/kurzgutachten_marktanreizprogramm_bf.pdf?__blob=publicationFile&v=2), zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Sauerbrei, Ralf; Ekschmitt, Klemens; Wolters, Volkmar; Gottschalk, Thomas K. (2014): Increased energy maize production reduces farmland bird diversity. In: *GCB Bioenergy* 6 (3), S. 265–274. DOI: 10.1111/gcbb.12146.
- Schaub, Michael (2012): Spatial distribution of wind turbines is crucial for the survival of red kite populations. In: *Biological Conservation* 155, S. 111–118. DOI: 10.1016/j.biocon.2012.06.021.

- Schaumburg, Jochen (2006): Verfahrensanleitung für die ökologische Bewertung von Fließgewässern zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie: Makrophyten und Phyto-benthos. Phylib. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU). Online verfügbar unter [https://www.lfu.bayern.de/wasser/gewaesserqualitaet\\_seen/phylib\\_deutsch/verfahrensanleitung/doc/verfahrensanleitung\\_fg.pdf](https://www.lfu.bayern.de/wasser/gewaesserqualitaet_seen/phylib_deutsch/verfahrensanleitung/doc/verfahrensanleitung_fg.pdf), zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Scheftelowitz, Mattes; Becker, Raik; Thrän, D. (2018): Improved power provision from biomass. A retrospective on the impacts of German energy policy. In: *Biomass and Bioenergy* 111, S. 1–12. DOI: 10.1016/j.biombioe.2018.01.010.
- Scheftelowitz, Mattes; Rensberg, N.; Denysenko, Velia; Daniel-Gromke, Jaqueline; Stinner, Walter; Hillebrand, Konrad et al. (2015): Stromerzeugung aus Biomasse (Vorhaben Ila Biomasse). DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH. Leipzig. Online verfügbar unter [https://www.dbfz.de/fileadmin/eeg\\_monitoring/berichte/01\\_Monitoring\\_ZB\\_Mai\\_2015.pdf](https://www.dbfz.de/fileadmin/eeg_monitoring/berichte/01_Monitoring_ZB_Mai_2015.pdf), zuletzt geprüft am 25.04.2019.
- Scheftelowitz, Mattes; Thrän, D.; Hennig, Christiane; Krautz, Alexander; Lenz, Volker; Liebetrau, Jan et al. (2014): Entwicklung der Förderung der Stromerzeugung aus Biomasse im Rahmen des EEG. Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ) (DBFZ Report, 21). Online verfügbar unter [https://www.dbfz.de/fileadmin/user\\_upload/Referenzen/DBFZ\\_Reports/DBFZ\\_Report\\_21.pdf](https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/DBFZ_Reports/DBFZ_Report_21.pdf), zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Schlegel, Stephanie; Kaphengst, Timo (2007): European Union policy on bioenergy and the role of sustainability criteria and certification systems. In: *Journal of Agricultural & Food Industrial Organization* 5 (2). DOI: 10.2202/1542-0485.1193.
- Schliep, Rainer; Bartz, Robert; Dröschmeister, Rainer; Dziock, Frank; Dziock, Silvia; Fina, Stefan et al. (2017): Indikatorensystem zur Darstellung direkter und indirekter Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt. Bundesamt für Naturschutz (BfN). Bonn - Bad Godesberg (BfN-Skripten, 470). Online verfügbar unter <https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript470.pdf>, zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Schmalz, Wolfgang (2010): Untersuchungen zum Fischabstieg und Kontrolle möglicher Fischschäden durch die Wasserkraftschnecke an der Wasserkraftanlage Walkmühle an der Werra in Meiningen. Abschlussbericht. FLUSS – Dipl.-Biol. Wolfgang Schmalz. Breitenbach. Online verfügbar unter [https://forum-fischschutz.de/sites/default/files/webform/WKA\\_Walkmuehle\\_Untersuchungen%20zum%20Fischabstieg%20und%20Kontrolle%20m%C3%B6glicher%20Fischsch%C3%A4den%20durch%20die%20Wasserkraftschnecke%20an%20der%20Wasserkraftanlage%20Walkm%C3%BChle%20an%20der%20Werra%20in%20Meiningen.pdf](https://forum-fischschutz.de/sites/default/files/webform/WKA_Walkmuehle_Untersuchungen%20zum%20Fischabstieg%20und%20Kontrolle%20m%C3%B6glicher%20Fischsch%C3%A4den%20durch%20die%20Wasserkraftschnecke%20an%20der%20Wasserkraftanlage%20Walkm%C3%BChle%20an%20der%20Werra%20in%20Meiningen.pdf), zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Schmidt, Jannick H. (2015): Life cycle assessment of five vegetable oils. In: *Journal of Cleaner Production* 87, S. 130–138. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.10.011.
- Scholles, F.; Putschky, M.; Hofmann, L.; Garske, S.; Günnewig, D.; Bäumer, C.; Gans, F. (2012): Ökologische Risikoeinschätzung zur strategischen Planung der Stromübertragungsnetze. Endbericht zum F+E-Vorhaben Konzepte und Inhalte der Ökologischen Risikoeinschätzung für den naturschutzverträglichen Ausbau der Energie-Netzinfrastruktur auf Generalplan- und Bundesebene (Hoch- und Höchstspannungsebene) (FKZ 3512 82 0900).
- Schorcht, Wigbert (2002): Zum nächtlichen Verhalten von *Nyctalus leisleri* (Kuhl, 1817). In: Bundesamt für Naturschutz (BfN) (Hg.): Ökologie, Wanderungen und Genetik von Fledermäusen in Wäldern – Untersuchungen als Grundlage für den Fledermausschutz, Bd. 71. Unter Mitarbeit von Angelika Meschede, Klaus G. Heller und Boye Peter (Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, 71), S. 141–162.

- Schorcht, Wigbert; Tress, C.; Biedermann, Martin; Koch, R.; Tress, J. (2002): Zur Ressourcennutzung von Flughäutflodermäusen (*Pipistrellus nathusii*) in Mecklenburg. In: Bundesamt für Naturschutz (BfN) (Hg.): Ökologie, Wanderungen und Genetik von Flughäutflodermäusen in Wäldern—Untersuchungen als Grundlage für den Flughäutflodermäusschutz, Bd. 71. Unter Mitarbeit von Angelika Meschede, Klaus G. Heller und Boye Peter (Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, 71), S. 191–212.
- Schwevers, Ulrich; Adam, Beate (1997): Arealverluste der Fischfauna am Beispiel der Zerschneidung des hessischen Gewässersystems der Lahn durch unpassierbare Querverbauungen. The loss of habitats of fish-fauna - a consequence of the. In: *Natur und Landschaft* 72 (9), S. 396–400. Online verfügbar unter [http://www.ifo.eu/pdf/Schwevers&Adam-1997\\_Arealverluste.pdf](http://www.ifo.eu/pdf/Schwevers&Adam-1997_Arealverluste.pdf), zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Seidl, H.; Heuke, R. (2014): Technologieübersicht. Das deutsche Höchstspannungsnetz. Technologien und Rahmenbedingungen. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). Berlin. Online verfügbar unter [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/technologieuebersicht.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=10](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/technologieuebersicht.pdf?__blob=publicationFile&v=10), zuletzt geprüft am 12.12.2018.
- Sellin, D. (2000): Ein Jahr unter Hochspannung - Untersuchungen zum Vogelschlag an Hochspannungsfreileitungen. In: *Ornithologischer Rundbrief für Mecklenburg-Vorpommern* (42), S. 53–68. Online verfügbar unter <http://www.oamv.de/literatur/ornithol-rundbrief/inhaltsverzeichnisse.html>, zuletzt geprüft am 03.05.2019.
- Simon, Matthias; Hüttenbügel, Sandra; Smit-Viergutz, Janna (2004): Ökologie und Schutz von Flughäutflodermäusen in Dörfern und Städten. Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitung des Erprobungs- und Entwicklungsvorhabens "Schaffung eines Quartierverbundes für Gebäude bewohnende Flughäutflodermäusen durch Sicherung und Ergänzung des bestehenden Quartierangebots in und an Gebäuden". Bonn - Bad Godesberg (Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, 76).
- Siriwardena, G.; Trucker, G. (2017): Service contract to support follow-up actions to the mid-term review of the EU biodiversity strategy to 2020 in relation to target 3A – Agriculture. Report to the European Commission. Institute for European Environmental Policy. London. Online verfügbar unter [http://ec.europa.eu/environment/nature/knowledge/pdf/Biodiversity\\_strategy\\_target\\_agriculture\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/environment/nature/knowledge/pdf/Biodiversity_strategy_target_agriculture_report.pdf), zuletzt geprüft am 16.05.2019.
- Siriwardena, Gavin; Tucker, Graham (2017): Service contract to support follow-up actions to the mid-term review of the EU biodiversity strategy to 2020 in relation to target 3A -- Agriculture. Hg. v. Institute for European Environmental Policy.
- Smallwood, K. S.; Karas, Brian (2009): Avian and Bat Fatality Rates at Old-Generation and Repowered Wind Turbines in California. In: *Journal of Wildlife Management* 73, S. 1062–1071.
- Smeets, Edith; Weterings, Rob (1999): Environmental indicators. Typology and overview. European Environment Agency (EEA). Copenhagen (Technical report, 25). Online verfügbar unter [http://ilm.geogr.uni-jena.de/fileadmin/Geoinformatik/projekte/brahmatwinn/Workshops/FEEM/Indicators/EEA\\_tech\\_rep\\_25\\_Env\\_Ind.pdf](http://ilm.geogr.uni-jena.de/fileadmin/Geoinformatik/projekte/brahmatwinn/Workshops/FEEM/Indicators/EEA_tech_rep_25_Env_Ind.pdf), zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Socher, Stephanie A.; Prati, Daniel; Boch, Steffen; Müller, Jörg; Baumbach, Henryk; Gockel, Sonja et al. (2013): Interacting effects of fertilization, mowing and grazing on plant species diversity of 1500 grasslands in Germany differ between regions. In: *Basic and Applied Ecology* 14 (2), S. 126–136. DOI: 10.1016/j.baae.2012.12.003.



- Spiekers, H.; Attenberger, E. (2013): Silagesickersaft und Gewässerschutz. Anfall und Verwertung von Silagesickersaft aus Futtermitteln und Biomasse für Biogasanlagen. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL); Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU). Online verfügbar unter [https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/silagesickersaft-gewaesserschutz\\_lfl-information.pdf](https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/silagesickersaft-gewaesserschutz_lfl-information.pdf), zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Steinborn, Hanjo; Timmermann, Hanna; Reichenbach, Marc (2006): Windkraft-Vögel-Lebensräume, Ergebnisse einer siebenjährigen Studie zum Einfluss von Windkraftanlagen und Habitatparametern auf Wiesenvögel. In: *Osnabrücker Naturwissenschaftliche Mitteilungen* 2006 (32), S. 243–259. Online verfügbar unter <http://www.naturwissenschaftlicher-verein-os.de/onm/onm32/243-259%20-%20Reichenbach%20&%20Steinborn.pdf>, zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Sterner, Michael; Stadler, Ingo (2014): *Energiespeicher. Bedarf, Technologien, Integration*. Berlin: Springer-Verlag.
- Stetz, T.; Braun, M.; Strauss, P. (2012): *Integration großer Anteile Photovoltaik in bestehende Verteilnetze*. Studie für den Bundesverband Solarwirtschaft e.V. Berlin, 01.06.2012. Online verfügbar unter [https://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/praes\\_iwes\\_pressefruestueck.pdf](https://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/praes_iwes_pressefruestueck.pdf), zuletzt geprüft am 17.01.2019.
- Südbeck, Peter; Andretzke, Hartmut; Fischer, Stefan; Gedeon, Kai; Schikore, Tasso; Schröder, Karsten; Sudfeldt, C. (Hg.) (2005): *Methodenstandards zur Erfassung der Brutvögel Deutschlands*.
- Sudfeldt, C.; Dröschmeister, C.; Flade, M.; Grüneberg, C.; Mitschke, A.; Schwarz, J.; Wahl, J. (Hg.) (2009): *Vögel in Deutschland 2009*. DDA, BfN, LAG VSW. Münster. Online verfügbar unter [https://www.dda-web.de/downloads/texts/publications/statusreport2009\\_e-book.pdf](https://www.dda-web.de/downloads/texts/publications/statusreport2009_e-book.pdf), zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Sudfeldt, C.; Dröschmeister, R.; Frederking, W.; Gedeon, K.; Gerlach, B.; Grüneberg, C. et al. (Hg.) (2013): *Vögel in Deutschland 2013*. DDA, BfN, LAG VSW. Münster. Online verfügbar unter [https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/monitoring/ViD\\_2013\\_internet\\_barrfr.pdf](https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/monitoring/ViD_2013_internet_barrfr.pdf), zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Sudfeldt, C.; Dröschmeister, Rainer; Wahl, J.; Berlin, Karsten; Gottschalk, Thomas (2012): *Vogelmonitoring in Deutschland. Programme und Anwendungen*. Bonn - Bad Godesberg (Naturschutz und biologische Vielfalt, 119).
- Sukopp, Herbert; Trautmann, W. (1976): *Veränderung der Flora und Fauna in der Bundesrepublik Deutschland* (Schriftenreihe für Vegetationskunde, 10).
- Tabassum-Abbasi; Premalatha, M.; Abbasi, Tasneem; Abbasi, S. A. (2014): Wind energy: Increasing deployment, rising environmental concerns. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 31, S. 270–288. DOI: 10.1016/j.rser.2013.11.019.
- Teller, O.; Nicolai, J. P.; Lafoz, M.; Laing, D.; Tamme, R.; Schroder Pedersen, A. et al. (2013): *Recommendations for a European energy storage technology development roadmap towards 2030*. Joint EASE/EERA. European Association for Storage of Energy (EASE); European Energy Research Alliance (EERA). Brussels. Online verfügbar unter <https://www.eera-set.eu/wp-content/uploads/148885-EASE-recommendations-Roadmap-04.pdf>, zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Tennet TSO GmbH (2016a): *Freileitungen im Bau*. Der Bauablauf einer Freileitung in wenigen Schritten erklärt. Online verfügbar unter [https://www.tennet.eu/fileadmin/user\\_upload/Our\\_Grid/Onshore\\_Germany/Allgemein/15-240\\_Freileitungen\\_im\\_Bau-V7\\_FINAL.pdf](https://www.tennet.eu/fileadmin/user_upload/Our_Grid/Onshore_Germany/Allgemein/15-240_Freileitungen_im_Bau-V7_FINAL.pdf), zuletzt geprüft am 15.01.2019.

- Tennet TSO GmbH (2016b): Regelgrabenprofil 380-kV-Kabelgraben. Online verfügbar unter <https://www.tennet.eu/de/netz-und-projekte/onshore-projekte/doerpen-west-nieder-rhein/trassenverlauf.html>, zuletzt geprüft am 19.04.2016.
- Thaysen, J. (2010): Verlustquellen Sickersaft bei der Maissilierung durch pflanzenbauliche und siliertechnische Maßnahmen sicher vermeiden. In: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hg.): DMK-Tagung. Futterkonservierung und Fütterung. Tagung des Ausschusses Futterkonservierung und Fütterung im Deutschen Maiskomitee e.V. Grub, 16./17. März 2010 (Schriftenreihe, 06), S. 33–43. Online verfügbar unter [https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/p\\_39378.pdf](https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/p_39378.pdf), zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Thrän, D.; Hennig, C.; Rensberg, N.; Denysenko, V.; Fritsche, U. R.; Eppler, U. (2015): IEA Bioenergy Task 40. Country report Germany 2014. Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ); Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ); International Institute for Sustainability Analysis and Strategy (IINAS). Online verfügbar unter [https://www.dbfz.de/fileadmin/user\\_upload/Referenzen/Studien/IEA\\_T40\\_Country\\_Report2014.pdf](https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/Studien/IEA_T40_Country_Report2014.pdf), zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Thrän, D.; Schaubach, Kay; Majer, Stefan; Horschig, Thomas (2019): Governance of Sustainability in the German biogas sector - Adaptive Management of the Renewable Energy Act between Agriculture and the Energy Sector. nicht veröffentlicht - im Reviewverfahren bei ESSO.
- Tilman, David; Cassman, Kenneth G.; Matson, Pamela A.; Naylor, Rosamond; Polasky, Stephen (2002): Agricultural sustainability and intensive production practices. In: *Nature* 418 (6898), S. 671–677. DOI: 10.1038/nature01014.
- Tissier, Mathilde L.; Handrich, Yves; Dallongeville, Odeline; Robin, Jean-Patrice; Habold, Caroline (2017): Diets derived from maize monoculture cause maternal infanticides in the endangered European hamster due to a vitamin B3 deficiency. In: *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 284 (1847). DOI: 10.1098/rspb.2016.2168.
- Tissier, Mathilde L.; Handrich, Yves; Robin, Jean-Patrice; Weitten, Mathieu; Pevet, Paul; Kourkgy, Charlotte; Habold, Caroline (2016): How maize monoculture and increasing winter rainfall have brought the hibernating European hamster to the verge of extinction. In: *Scientific Reports* 6 (25531).
- Tomé, Ricardo; Canário, Filipe; Leitão, Alexandre H.; Pires, Nadine; Repas, Miguel (2017): Radar Assisted Shutdown on Demand Ensures Zero Soaring Bird Mortality at a Wind Farm Located in a Migratory Flyway. In: Johann Köppel (Hg.): *Wind Energy and Wildlife Interactions*. Cham: Springer International Publishing, S. 119–133.
- Tröltzsch, Peter; Neuling, Eric (2013): Die Brutvögel großflächiger Photovoltaikanlagen in Brandenburg. In: *Vogelwelt* 134, S. 155–179.
- Tscherning, Karen; Helming, Katharina; Krippner, Bernd; Sieber, S.; Paloma, Sergio Gomez y. (2012): Does research applying the DPSIR framework support decision making? In: *Land Use Policy* 29 (1), S. 102–110. DOI: 10.1016/j.landusepol.2011.05.009.
- Tsoutsos, Theocharis; Frantzeskaki, Niki; Gekas, Vassilis (2005): Environmental impacts from the solar energy technologies. In: *Energy Policy* 33 (3), S. 289–296. DOI: 10.1016/S0301-4215(03)00241-6.

- UBA (2015): Monitoringbericht 2015. zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/monitoringbericht\\_2015\\_zur\\_deutschen\\_anpassungsstrategie\\_an\\_den\\_klimawandel.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/monitoringbericht_2015_zur_deutschen_anpassungsstrategie_an_den_klimawandel.pdf), zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- UBA (2016): Struktur der Flächennutzung. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/struktur-der-flaechennutzung>, zuletzt aktualisiert am 25.04.2018, zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- UBA (2017a): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger- Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2016. Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2016. Unter Mitarbeit von Michael Memmler, Thomas Lauf, Katharina Wolf und Sven Schneider. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-10-26\\_climate-change\\_23-2017\\_emissionsbilanz-ee-2016.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-10-26_climate-change_23-2017_emissionsbilanz-ee-2016.pdf), zuletzt geprüft am 25.04.2019.
- UBA (2017b): Gewässer in Deutschland. Zustand und Bewertung. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau.
- UBA (2018): Siedlungs- und Verkehrsfläche. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/siedlungs-verkehrsflaeche#textpart-1>, zuletzt geprüft am 08.01.2019.
- UBA (2019): Grünlandumbruch. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/gruenlandumbruch>, zuletzt aktualisiert am 11.10.2018, zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- UMSICHT; IWES (2014): Abschlussbericht Metastudie »Energiespeicher«. Fraunhofer-Institut für Umwelt, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT); Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES). Online verfügbar unter <https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/pressemitteilungen/2015/Metastudie-Energiespeicher-Kurzfassung-web.pdf>, zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- UNEP/EUROBATS (2018): Resolution 8.4. Wind Turbines and Bat Populations. 8th Resolution of the Meeting Parties. Monte Carlo. Online verfügbar unter [https://www.eurobats.org/sites/default/files/documents/pdf/Meeting\\_of\\_Parties/MoP8.Resolution%208.4.%20Wind%20Turbines%20and%20Bat%20Populations\\_0.pdf](https://www.eurobats.org/sites/default/files/documents/pdf/Meeting_of_Parties/MoP8.Resolution%208.4.%20Wind%20Turbines%20and%20Bat%20Populations_0.pdf), zuletzt geprüft am 10.05.2019.
- van Langevelde, Frank; Ettema, Jody A.; Donners, Maurice; WallisDeVries, Michiel F.; Groenendijk, Dick (2011): Effect of spectral composition of artificial light on the attraction of moths. In: *Biological Conservation* 144 (9), S. 2274–2281. DOI: 10.1016/j.biocon.2011.06.004.
- VDE (2018): Vogelschutz an Höchstspannungsfreileitungen. FNN-Unterlagen zu Vogelschutzmarkierungen an Hoch- und Höchstspannungsfreileitungen. Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (VDE). Online verfügbar unter <https://www.vde.com/de/fnn/themen/umwelt-naturschutz/vogelschutz-an-hoechstspannungsfreileitungen>, zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Voigt, Christian C.; Lehnert, Linn S.; Pētersons, Gunārs; Adorf, Frank; Bach, Lothar (2015): Wildlife and renewable energy. German politics cross migratory bats. In: *European Journal of Wildlife Research* 61 (2), S. 213–219. DOI: 10.1007/s10344-015-0903-y.

- Voigt, Christian C.; Popa-Lisseanu, Ana G.; Niermann, Ivo; Kramer-Schadt, Stephanie (2012): The catchment area of wind farms for European bats. A plea for international regulations. In: *Biological Conservation* 153, S. 80–86. DOI: 10.1016/j.biocon.2012.04.027.
- Voigt, Christian C.; Rehnig, Katharina; Lindecke, Oliver; Pētersons, Gunārs (2018): Migratory bats are attracted by red light but not by warm-white light. Implications for the protection of nocturnal migrants. In: *Ecology and Evolution*. DOI: 10.1002/ece3.4400.
- Wade, Paul R. (1998): Calculating Limits to the Allowable Human-Caused Mortality of Cetaceans and Pinnipeds. In: *Marine Mammal Science* 14 (1), S. 1–37. Online verfügbar unter <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1748-7692.1998.tb00688.x>, zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Wahl, J.; Dröschmeister, R.; König, C.; Langgemach, T.; Szdfeldt, C. (Hg.) (2015): Vögel in Deutschland. DDA, BfN, LAG VSW.
- Wahl, J.; Dröschmeister, R.; Langgemach, T.; Sudfeldt, C. (Hg.) (2011): Vögel in Deutschland 2011. DDA, BfN, LAG VSW. Münster.
- Wäldchen, J.; Pusch, J.; Luthardt, V. (2005): Zur Diasporen-Keimfähigkeit von Segetalpflanzen. Untersuchungen in Nord-Thüringen. In: *Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie* 38 (2), S. 145–156.
- Waldhardt, Rainer (2014): Flächenstillegungen und Extensivierungsmaßnahmen im Ackerbau - Flora, Vegetation und Stickstoff-Haushalt. PhD-Thesis. Georg-August-Universität Göttingen, Siegen.
- Waltman, Ludo; van Eck, Nees Jan; Noyons, Ed C. M. (2010): A unified approach to mapping and clustering of bibliometric networks. In: *Journal of Informetrics* 4 (4), S. 629–635. DOI: 10.1016/j.joi.2010.07.002.
- Walz, U.; Koldrack, N.; Bill, R. (2014): Flächeninanspruchnahme für erneuerbare Energien in Deutschland – Datengrundlagen und erste Ergebnisse. In: Gotthard Meinel, Ulrich Schumacher, Martin Behnisch (Hg.): Flächennutzungsmonitoring VI. Innenentwicklung – Prognose – Datenschutz. Band 65. Berlin: Rhombos Verlag (IÖR-Schriften), S. 45–53. Online verfügbar unter <http://slub.qucosa.de/api/qucosa%3A7538/attachment/ATT-0/>, zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Wanger, Thomas Cherico (2011): The Lithium future-resources, recycling, and the environment. In: *Conservation Letters* 4 (3), S. 202–206. DOI: 10.1111/j.1755-263X.2011.00166.x.
- Weißberger, D. (2012): Unfälle mit wassergefährdenden Stoffen in Baden-Württemberg 2011 (Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg, 5). Online verfügbar unter [https://www.statistik-bw.de/Service/Veroeff/Monatshefte/PDF/Beitrag13\\_05\\_07.pdf](https://www.statistik-bw.de/Service/Veroeff/Monatshefte/PDF/Beitrag13_05_07.pdf), zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Welcker, Jorg; Liesenjohann, Monique; Blew, Jan; Nehls, Georg; Grünkorn, Thomas (2016): Nocturnal migrants do not incur higher collision risk at wind turbines than diurnally active species. In: *Ibis*. DOI: 10.1111/ibi.12456.
- Wendland, M.; Lichti, F. (2011): Gülle und Gärreste - Dünger oder Problemstoff? Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland. Internationale Tagung Gülle 11. Kloster Reute, 17.10.2011.

- Wenz, K. (2017): BUND-Chronik Güllehavarien von Juli 2016 bis Juni 2017. Pannen, Pech und illegale Entsorgung – Güllehavarien gefährden Gewässer und Böden. Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland (BUND). Online verfügbar unter [https://www.bund.net/fileadmin/user\\_upload\\_bund/publikationen/massentierhaltung/massentierhaltung\\_guellehavarien\\_chronik\\_2016\\_2017.pdf](https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/massentierhaltung/massentierhaltung_guellehavarien_chronik_2016_2017.pdf), zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Wesseler, Justus; Fall, El Hadji (2010): Potential damage costs of *Diabrotica virgifera virgifera* infestation in Europe – the ‘no control’ scenario. In: *Journal of Applied Entomology* 134 (5), S. 385–394. DOI: 10.1111/j.1439-0418.2010.01510.x.
- WHO (2018): Was sind elektromagnetische Felder? Gesundheitliche Wirkungen im Überblick. Was passiert, wenn Menschen elektromagnetischen Feldern ausgesetzt werden? Hg. v. World Health Organization. Online verfügbar unter <https://www.who.int/peh-emf/about/en/whatareemfgerman.pdf?ua=1>, zuletzt geprüft am 07.05.2019.
- Wietschel, Martin; Ullrich, Sandra; Markewitz, Peter; Schulte, Friedrich; Genoese, Fabio (Hg.) (2015): *Energietechnologien der Zukunft: Erzeugung, Speicherung, Effizienz und Netze*: Springer Vieweg. Online verfügbar unter <https://www.springer.com/de/book/9783658071288>, zuletzt geprüft am 24.04.2019.
- Wirth, Harry (2017): Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Hg. v. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. Freiburg.
- Wirth, Harry (2019): Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. Online verfügbar unter <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf>, zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Wittig, Burghard; Kemmermann, Anne Richter gen.; Zacharias, Dietmar (2006): An indicator species approach for result-orientated subsidies of ecological services in grasslands – A study in Northwestern Germany. In: *Biological Conservation* 133 (2), S. 186–197. DOI: 10.1016/j.biocon.2006.06.004.
- Wöhrle, Dieter; Hild, Olaf R. (2010): Organische Solarzellen. Energie der Zukunft. In: *Chemie in unserer Zeit* 44 (3), S. 174–189. DOI: 10.1002/ciuz.201000516.
- Wronski, Rupert; Fiedler, Swantje (2017): Was Strom wirklich kostet. Vergleich der staatlichen Förderungen und gesamtgesellschaftlichen Kosten von konventionellen und erneuerbaren Energien. Langfassung, überarbeitete und aktualisierte Auflage Oktober 2017. Unter Mitarbeit von Luca Jansen. Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft (FÖS). Online verfügbar unter [https://www.greenpeace-energy.de/fileadmin/docs/publikationen/Studien/2017-10-Was\\_Strom\\_wirklich\\_kostet\\_lang.pdf](https://www.greenpeace-energy.de/fileadmin/docs/publikationen/Studien/2017-10-Was_Strom_wirklich_kostet_lang.pdf), zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Wulfert, Katrin; Köstermeyer, Heiko; Lau, Markus (2018): Arte- und Gebietsschutz auf vorgelagerten Planungsebenen. Online verfügbar unter <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:101:1-2018111512472452409917>, zuletzt geprüft am 03.05.2019.
- Yoshikawa, Kunta; Kawasaki, Hayato; Yoshida, Wataru; Irie, Toru; Konishi, Katsunori; Nakano, Kunihiro et al. (2017): Silicon heterojunction solar cell with interdigitated back contacts for a photoconversion efficiency over 26%. In: *Nature Energy* 2, 17032 EP -.
- Young, C.; Marzano, Mariella; White, M.; McCracken, I.; Redpath, M.; Carss, N. et al. (2010): The emergence of biodiversity conflicts from biodiversity impacts: characteristics and management strategies. In: *Biodiversity and Conservation* 19 (14), S. 3973–3990. DOI: 10.1007/s10531-010-9941-7.

- Young, D. P.; Erickson, Wallace P.; Good, Rhett E.; Strickland, M. Dale; Johnson, Gregory D. (2003): Avian and Bat Mortality Associated with the Initial Phase of the Foote Creek Rim Windpower Project, Carbon County, Wyoming. Online verfügbar unter [http://www.west-inc.com/reports/fcr\\_final\\_mortality.pdf](http://www.west-inc.com/reports/fcr_final_mortality.pdf), zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Zahn, Andreas; Lustig, Anika; Hammer, Matthias (2014): Potenzielle Auswirkungen von Windenergieanlagen auf Fledermauspopulationen. In: *Anliegen Natur* 36 (1), S. 21–35.
- Zapf, Martin (2017): Stormspeicher und Power-to-Gas im deutschen Energiesystem - Rahmenbedingungen, Bedarf und Einsatzmöglichkeiten. Wiesbaden: Springer.
- Zeymer, Martin; Herrmann, André; Oehmichen, Katja; Schmersahl, Ralf; Schneider, Roman; Heidecke, Patric et al. (2013): Kleintechnische Biomassevergasung. Option für eine nachhaltige und dezentrale Energieversorgung. Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ). Leipzig (DBFZ-Report, 18). Online verfügbar unter <https://www.dbfz.de/pressemediathek/publikationsreihen-des-dbfz/dbfz-reports/dbfz-report-nr-18/>, zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Zgrzendek, Martin (2012): Sammlung von Freileitungsmastbildern unterschiedlicher Regionen und Simulation in digitaler Netzberechnung. Bachelorarbeit. Fachhochschule Aachen.