

Berücksichtigung von biologischer Vielfalt und ökosystemarer Funktionsweise als Basis für eine nachhaltige Windenergieproduktion im Wald

Berichtszeitraum: 01.11.2019 - 28.02.2023



UNIVERSITÄT
LEIPZIG



Von Julia Ellerbrok, Prof. Dr. Nina Farwig, Prof. Dr. Paul Lehmann, Dr. Franziska Peter, Dr. Philip Tafarte und PD Dr. Christian Voigt

Marburg, 27.07.2023

**Projektkennblatt der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt**


Az 34123/01-33/2

Referat

Fördersumme 447.761€

Antragstitel	Berücksichtigung von biologischer Vielfalt und ökosystemarer Funktionsweise als Basis für eine nachhaltige Windenergieproduktion im Wald		
Stichworte	Windenergieanlagen, Erneuerbare Energien, Vögel, Fledermäuse, Trophische Kontrolle, Impact-Gradient-Design, Akustisches Monitoring		
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
3 Jahre (+ 4 Monate	01.11.2019	28.02.2023	3
kostenneutrale Verlängerung)			
Zwischenberichte	Berichtszeitraum 01.11.2019 – 28.02.2023		
Bewilligungsempfänger	Philipps-Universität Marburg		Tel +49(0)64212825707
	Karl-von-Frisch-Straße 8 35043 Marburg		Projektleitung: Prof. Dr. Nina Farwig Dr. Franziska Peter
			Bearbeiterinnen: Julia Ellerbrok, Dr. Philip Tafarte, Anna Delius, Dr. Finn Rehling
Kooperationspartner	PD Dr. Christian Voigt (Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung) Prof. Dr. Paul Lehmann (Universität Leipzig)		

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Windenergie spielt in der nachhaltigen Entwicklung und dem damit verbundenen Wechsel zur ressourcenschonenden und klimafreundlichen Energiegewinnung eine wesentliche Rolle. Die Standortauswahl für Windenergieanlagen (WEA) gestaltet sich jedoch häufig komplex und ist regelmäßig mit Kompromissen für Mensch und Natur verbunden. In einigen Bundesländern ist der Betrieb von WEA im Wald bereits gängige Praxis. Im Gegensatz zum Offenland sind die Effekte der Windenergieproduktion auf die biologische Vielfalt und ökosystemare Funktionsweise in Waldökosystemen bisher nur unzureichend erforscht. Ziel unseres Forschungsprojektes war es, zu untersuchen, wie sich WEA im Wald auf ganze Artengemeinschaften und auf die ökosystemare Funktionsweise auswirken. Dazu untersuchten wir Vögel und Fledermäuse, welche durch ihre insektivore Lebensweise und der damit einhergehenden Ökosystemleistung als natürliche Schädlingskontrolleure einen wichtigen Beitrag zur ökosystemaren Integrität des Waldes leisten. Wir verglichen die Zusammensetzung von Vogel- und Fledermausgemeinschaften sowie die Jagdaktivität in unterschiedlicher Entfernung von WEA und untersuchten, inwiefern sich Muster zwischen verschiedenen strukturierten Wäldern unterschieden. Mit unseren Erkenntnissen wollen wir zur Entwicklung einer nachhaltigeren Windenergienutzung in Wäldern beitragen.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Wir untersuchten den Einfluss von WEA auf Artengemeinschaften im Wald, indem wir in 22 Untersuchungsgebieten entlang eines Distanzgradienten Muster in der biologischen Vielfalt und der ökosystemaren Funktionsweise mit Fokus auf Singvögel, Fledermäuse und Arthropoden untersuchten. Die Datenerhebung besteht im Wesentlichen aus vier Arbeitspaketen: **AP Ia)** Der Artenreichtum, die Abundanz und Diversität der Artgemeinschaft der **Vögel** wurde mittels einer Punkt-Stopp-Kartierung in 80, 130, 250, 450 und 700 m Distanz zur nächsten WEA kartiert. Dabei wurde die Häufigkeit der Vögel akustisch anhand ihrer Rufe und Gesänge erfasst. **AP Ib)** Die Aktivität von **Fledermäusen** verschiedener ökologischer Gilden wurde mit Hilfe von automatisierten Ultraschalldetektoren in 80, 130, 250 und 450 m Distanz zur nächsten WEA aufgenommen. Hierbei wurden Echoortungsrufe passiv aufgezeichnet, was eine nachfolgende Identifizierung und Quantifizierung ermöglichte. **AP II)** Um herauszufinden, wie sich der Betrieb von WEA im Wald auf die **trophische Regulierung** von herbivoren Insekten durch insektivore Vögel und Fledermäuse

auswirkt, erfassten wir die Abundanz, Diversität und Biomasse der **Artengemeinschaft der Arthropoden** in direkter Nähe und größerer Entfernung (80 und 450 m Distanz) zur nächsten WEA mit Hilfe von SLAM-Traps (hängende Malaisiefallen). **AP III**) In einer sozioökonomischen **Konfliktanalyse** wurde die deutschlandweite Windenergieproduktion (MW/Jahr) ökologischen und sozioökonomischen Proxies gegenübergestellt. Es wurde untersucht, unter welchen Standortbedingungen die Windenergieproduktion im Wald unter gleichzeitigem Schutz der Biodiversität und der Funktion des Ökosystems effizient gelingen kann.

Ergebnisse und Diskussion

Wir fanden heraus, dass WEA im Wald einen negativen Einfluss sowohl auf die lokale Singvogel- als auch Fledermausgemeinschaft ausübten. Die erfasste Abundanz und Diversität von Singvögeln war an WEA mit großen Rotordurchmesser reduziert und sank ebenfalls, wenn die WEA während der Erfassungen in Betrieb waren. Verschiedene Vogelarten waren jedoch unterschiedlich stark beeinträchtigt, sodass die WEA auch die Zusammensetzung der Artgemeinschaft beeinflussten. Letztendlich waren sowohl Vogel- als auch die Fledermausgemeinschaft jedoch am stärksten von Waldstrukturparametern wie der vertikalen Vegetationsheterogenität geprägt, welche die lokale Habitatqualität widerspiegeln. Bei Fledermäusen war besonders die Aktivität von Arten, welche auf Waldstrukturen spezialisiert sind (v.a. *Myotis* spp.), in der Nähe von WEA reduziert. Dieser Meidungseffekt ließ sich noch in einer Distanz von 450 m Distanz zur WEA messen. Große Rotordurchmesser und der Betrieb der WEA während hoher Windgeschwindigkeiten wirkten sich ebenfalls negativ auf *Myotis ssp.* aus. Folglich geht durch den Bau und den Betrieb von WEA direkt und indirekt Lebensraum für Vögel und Fledermäuse verloren. Dies sollte durch einen Ausschluss strukturreicher Wälder als WEA-Standorte vermieden oder durch Flächenkompensation ausgeglichen werden. Das Vorhandensein einer baumfreien Zone um die WEA hatte auf einige Fledermausgilden eine anlockende Wirkung. Diese Lichtungen wurden vor allem von Offenraumjägern (z.B. *Nyctalus* spp.) und Randstrukturjägern (*Pipistrellus* spp.) genutzt. Daraus ergibt sich für diese Arten ein erhöhtes Schlagrisiko im Wald im Vergleich zum Offenland. An Waldstandorten sollten daher Abschaltalgorithmen als bewerte Methode zur Kollisionsminimierung an WEA genutzt werden. Die für das Offenland etablierten Verfahren müssen gegebenenfalls an Waldstandorte angepasst werden. Bis dahin sollten Vögel und Fledermäuse in Wäldern dadurch geschützt werden, dass WEA nicht an Standorten mit hoher Habitatqualität, d.h. mit reich strukturierter Vegetation, errichtet werden. Es konnte nicht nachgewiesen werden, dass sich negative Effekte auf Vögel oder Fledermäuse über die trophische Kontrolle auf die Insektengemeinschaft auswirken. Die sozioökonomische Konfliktanalyse ergab, dass der Energiebedarf für Deutschland theoretisch unter Ausschluss aller Waldflächen als WEA-Standorte gedeckt werden könnte. Dabei würden sich allerdings erhebliche Konflikte mit Offenlandgebundenen Brutvögeln sowie mit Anwohnenden ergeben, welche bei einem Teilausschluss von z.B. nur Laub- und Mischwäldern deutlich geringer ausfallen würden. Hier muss also eine Abwägung von Interessen stattfinden.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Unsere Ergebnisse wurden bzw. werden in Form von deutsch- und englischsprachigen Publikationen in Fachzeitschriften der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Des Weiteren wurden Ergebnisse bereits auf verschiedenen wissenschaftlichen, nationalen und internationalen Konferenzen präsentiert. Unser Austausch mit der Projektarbeitsgruppe (PAG) über die gesamte Projektlaufzeit hinweg sowie die Ausrichtung einer gut besuchten digitalen Abschlussveranstaltung sorgten dafür, dass unsere Erkenntnisse mit einer Reihe Wissenschaftler*innen und Praktiker*innen aus dem Themenbereichen Windenergie, Natur- und Artenschutz geteilt und somit weitergegeben werden konnten.

Fazit

Im Rahmen des Projekts konnten wir das Wissen über die Auswirkungen von Windenergieanlagen (WEA) auf die biologische Vielfalt, insbesondere auf Vögel und Fledermäuse, erheblich erweitern. Beide Tiergruppen reagieren empfindlich auf WEA im Wald. Unter Umständen können diese Arten verdrängt werden. Unsere Forschung füllt eine Lücke im Verständnis des Konflikts zwischen Biodiversität und legt nahe, dass ein nachhaltiger, biodiversitätsfreundlicher Ausbau von WEA im Wald sich auf bewirtschaftete, strukturarme Standorte beschränken sollte und indirekte Habitatverluste ausgeglichen werden müssen. Zudem können habitatspezifische Abschaltalgorithmen Verdrängungseffekte und Kollisionsrisiken für Vögel und Fledermäuse verringern.

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis.....	6
Abkürzungsverzeichnis.....	6
Zusammenfassung	7
1. Anlass und Zielsetzung des Projekts	8
2. Projektergebnisse.....	10
2.1 Vögel.....	10
2.1.1 Methoden	10
2.1.2 Ergebnisse	11
2.1.3 Diskussion.....	13
2.2 Fledermäuse.....	13
2.2.1 Methoden	13
2.2.2 Ergebnisse	15
2.2.3 Diskussion.....	17
2.3 AP Insekten	18
2.3.1 Methoden	18
2.3.2 Ergebnisse & Diskussion	18
2.4 Sozioökonomische Konfliktanalyse.....	19
2.4.1 Methoden	19
2.4.2 Ergebnisse	20
2.4.3 Diskussion.....	21
3. Projektbezogene Diskussion	22
4. Öffentlichkeitsarbeit	23
5. Fazit	26
Literatur.....	27
Anhang	28

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: a) Windenergieanlagen in bewirtschafteten Wäldern fernab von Siedlungen und Zugrouten von Tieren als Modell, um Landnutzungskonflikte zwischen Gesellschaft, Naturschutz sowie Klimaschutz zu minimieren. Foto: Sascha Rösner b) Karte von Hessen mit den Landkreisen, in denen sich die 22 Untersuchungsflächen befanden..... 9
- Abbildung 2: Schematisches Studiendesign für das Singvogelmonitoring entlang eines Distanzgradienten. Punkt-Stopp-Zählungen wurden an fünf Distanzpunkten zwischen 80 und 700 m Distanz zur nächsten WEA durchgeführt. 10
- Abbildung 3: Während Punkt-Stopp-Zählungen wurden alle akustisch oder visuell identifizierbaren Waldvögel erfasst. Alle Erfassungen wurden von der gleichen, erfahrenen Kartiererin durchgeführt. (Foto: Julia Ellerbrok) 11
- Abbildung 4: Zusammenhang zwischen der Anzahl an Vögeln und ausgewählten Eigenschaften der untersuchten Wälder sowie der WEA: a) Flächenanteil des Nadelwalds, b) vertikaler Strukturreichtum, c) mittlerer Brusthöhendurchmesser (BHD) der Bäume, d) Betriebsstatus der WEA, e) Distanz zur WEA, f) Rotordurchmesser der WEA. Die schwarzen Kurven zeigen Mittelwerte, die grau hinterlegten Bereiche an den Kurven und die Antennen an den schwarzen Kreisen den Bereich von $\pm 95\%$ des Vorhersageintervalls. Die transparenten, schwarzen Kreise zeigen die Werte der einzelnen Punkt-Stopp-Zählungen. 12
- Abbildung 5: Schematisches Studiendesign für das Fledermausmonitoring entlang eines Distanzgradienten. Aufnahmen mit Ultraschallrekordern wurden an sechs Punkten mit maximal 450 m Distanz zur nächsten WEA durchgeführt. 14
- Abbildung 6: Graphische Darstellung eines in WEA-Nähe aufgenommen Rufes der Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*). Aus solchen Spektrogrammen lassen sich die Fledermausart bzw. Artgruppe und die Rufaktivität ableiten. 14
- Abbildung 7: Zusammenhang zwischen der Distanz zur nächstgelegenen WEA und der Rufaktivität von Fledermäusen aus drei ökologischen Gilden. Rot steht für Randstrukturjäger, die bevorzugt entlang linearer Strukturen jagen. Grün steht für Waldspezialisten, die bevorzugt in dichter Vegetation jagen. Blau steht für Offenraumjäger, die bevorzugt oberhalb der Baumkronen oder in großen Lichtungen jagen. Die Kurven zeigen Mittelwerte, der farbig hinterlegte Bereich zeigt den $\pm 95\%$ des Vorhersageintervalls für die jeweiligen Gruppen. „***“ markiert einen hoch signifikanten Zusammenhang mit einem P-Wert < 0.005 , „n.s.“ markiert nicht signifikante Zusammenhänge mit einem P-Wert > 0.05 16
- Abbildung 8: Auswirkungen der Windgeschwindigkeit auf die Rufaktivität von waldspezialisierten Fledermäusen in Abhängigkeit vom Betriebsstatus (ein- oder ausgeschaltet) der nächstgelegenen WEA. Die Kurven zeigen Mittelwerte, der farbig hinterlegte Bereich zeigt den $\pm 95\%$ des Vorhersageintervalls für die jeweiligen Gruppen. 16

Abbildung 9: Zusammenhang zwischen den Habitattypen im Umkreis einer WEA und der Rufaktivität von Fledermäusen aus drei ökologischen Gilden. Blau steht für Offenraumjäger, rot steht für Randstrukturjäger und grün steht für Waldspezialisten. Die schwarzen Punkte zeigen Mittelwerte, die farbigen Linien zeigen den $\pm 95\%$ Bereich des Vorhersageintervalls für die jeweiligen Gruppen. Sternchen markieren signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen, „***“ mit einem P-Wert < 0.005 , „**“ mit einem P-Wert < 0.01 , „*“ mit einem P-Wert < 0.05 17

Abbildung 10: Methoden aus dem AP3 „Trophische Kontrolle“. Flugfähige Arthropoden wurden mit SLAM-Traps (a) gefangen, um WEA-Effekte auf die Zusammensetzung der Gemeinschaft und Biomasse zu untersuchen. Um Kaskadeneffekte auf untere trophische Ebenen zu untersuchen, wurden Prädationsspuren auf grünen Knetraupen (b) und Herbivorie an eingescannten Buchenblättern (c) quantifiziert. (Fotos: Julia Ellerbrok & Anna Delius) 18

Abbildung 11: Räumliche Verteilung des Windenergieausbaus bei einem Strommengenziel von 300 TWh/a unter verschiedenen Landnutzungsrestriktionen..... 21

Abbildung 12: Auswirkung des Waldausschlusses auf die unterschiedlichen Bewertungskriterien bei einem Strommengenziel von 300 TWh/a. 21

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auswirkungen von Waldausschluss als WEA-Standort auf das Ausbaupotential in Deutschland. 20

Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
GIS	Geoinformationssystem
GLMM	Generalisierte lineare gemischte Modelle
PAG	Projektarbeitsgruppe
WEA	Windenergieanlage

Zusammenfassung

Der Ausbau der Windenergie gewinnt als ressourceneffiziente und klimafreundliche Energiequelle zunehmend an Bedeutung. Wälder in Deutschland, insbesondere in waldreichen Bundesländern wie Hessen, werden nun und vor allem in Zukunft als Standorte für Windenergieanlagen (WEA) in Betracht gezogen und genutzt. Die Errichtung von WEA in Wäldern kann jedoch zu Veränderungen des Lebensraums führen und sich auf Vogel- und Fledermauspopulationen auswirken. Deshalb wurde im Rahmen dieses Projekts eine umfassende Studie durchgeführt, um den Einfluss von WEA auf insektivore Vögel und Fledermäuse sowie die Ökosystemleistungen der trophischen Kontrolle entlang eines Distanzgradienten zu WEA in 22 hessischen Wäldern zu untersuchen. Zudem wurde eine sozioökonomische Analyse durchgeführt, welche Konflikte zwischen Artenschutz und z.B. Interessen von Anwohnenden unter Einbezug oder Ausschluss von Wald als WEA-Standort betrachtete.

Mit einem Brutvogelmonitoring basierend auf Punkt-Stopp-Zählungen wurden WEA-Einflüsse auf die Gemeinschaft der Singvögel untersucht. Dabei zeigte sich, dass weniger Arten und Individuen an angeschalteten sowie an größeren WEA aktiv waren. Ein akustisches Fledermausmonitoring mit Ultraschallrekordern zeigte, dass vor allem waldspezialisierte Fledermäuse aus der Gattung *Myotis* ihre Rufaktivität mit zunehmender Nähe insbesondere v.a. großen WEA reduzierten. Dieser Effekt war unabhängig von der Waldstruktur entlang des Transekts. Demnach können Vögel und Fledermäuse indirekte Habitatverluste durch WEA im Wald erleiden. Es zeigte sich jedoch auch, dass die Vegetationsstruktur der Wälder einen stärkeren Einfluss auf Vogel- und Fledermausaktivität hatte als die WEA. Zusätzlich fanden wir Hinweise, dass *Myotis*-Fledermäuse durch den Betrieb von WEA bei hoher Windgeschwindigkeit beeinträchtigt werden, was darauf hinweisen könnte, dass Geräuschemissionen der WEA ursächlich für das Meideverhalten der Fledermäuse sind. Der aufgelichtete Bereich rund um die WEA wurde von den Fledermäusen nicht gemieden. Vielmehr schienen diese Lichtungen sogar auf einige - in Bezug auf Kollisionen mit den Rotorblättern – Hochrisikoarten (z.B. *Nyctalus* spp., *Pipistrellus* spp.) anziehend zu wirken. Zusammengefasst zeigen unsere Ergebnisse, dass WEA im Wald negative Auswirkungen auf Vögel und Fledermäuse haben. Für einen nachhaltigen Ausbau der Windenergie im Wald müssen solche Auswirkungen vermieden bzw. minimiert werden. Die Konfliktanalyse bezüglich der Standortwahl von WEA zeigte, dass sowohl der Einbezug von Waldstandorten als auch der komplette Ausschluss zu ökologischen Risiken, letzteres aber vor allem auch zu hohen Kosten für Anwohnende führen würde. Basierend auf unseren Ergebnissen empfehlen wir für eine nachhaltige Windenergienutzung im Wald einen Ausschluss von Waldflächen mit hohem ökologischem Wert als WEA-Standorte. Entstehende indirekte Habitatverluste für Vögel und Fledermäuse sollten durch gleichwertige Ersatzflächen ausgeglichen und negative Effekte von WEA auf die lokale Biodiversität durch waldspezifische Abschaltalgorithmen und geräuscharme Anlagen reduziert werden.

Das Forschungsprojekt hat unseren Wissensstand zu WEA-Effekten auf Biodiversität im Wald erheblich erweitert, insbesondere in Bezug auf Singvögel und Fledermäuse. Bei einigen Fragen hat sich weiterer Forschungsbedarf aufgetan, z.B. dazu, welche Eigenschaften der WEA oder des Habitats eine Verminderung der Vogelabundanz und Fledermausaktivität hauptsächlich verursachen bzw. begünstigen. Die Projektergebnisse wurden bzw. werden in Form von sechs Fachartikeln veröffentlicht. Außerdem wurden bisher zwölf Beiträge auf Fachtagungen/Konferenzen präsentiert, die die Ergebnisse dem Fachpublikum und der allgemeinen Bevölkerung zugänglich machen sollten. Zudem haben wir während einer digitalen Abschlussveranstaltung unsere Ergebnisse mit anderen Forschenden und Praxisvertreter*innen geteilt und diskutiert. Zusammenfassend betrachten wir das Projekt als Erfolg, da die Ergebnisse unserer Veröffentlichungen zukünftig einen Beitrag zu einer nachhaltigeren Gestaltung der Windenergiegewinnung leisten können.

1. Anlass und Zielsetzung des Projekts

Mit dem Wechsel zur ressourcenschonenden und klimafreundlichen Energieproduktion gewinnt der Ausbau von Windenergie immer mehr an Bedeutung (Jung & Schindler, 2018). Zeitgleich werden Wälder in Deutschland nicht mehr kategorisch als Standorte für Windenergieanlagen (WEA) ausgeschlossen und rücken insbesondere in waldreichen Bundesländern wie Hessen (42% der Landesfläche) in den Fokus (FA Wind, 2023). Ähnlich zu anderen anthropogenen Einflüssen auf Waldökosysteme (z.B. Abholzung, Fragmentierung) führt die Errichtung von WEA im Wald zu Veränderungen von Habitat- und Landschaftsstrukturen, die u.a. für Vögel und Fledermäuse negative Konsequenzen in Form von Habitatverlusten haben können (Schöll & Nopp-Mayr, 2021). Zudem ist für Offenlandhabitats bekannt, dass Vögel und Fledermäuse manchmal mit WEA kollidieren, was Verletzungen und Todesfälle zur Folge hat (Thaxter et al., 2017). Andererseits zeigten einige Vogel- und Fledermausarten ein Meidungsverhalten gegenüber WEA im Offenland und im Offshore-Bereich, was auf eine Lebensraumdegradierung schließen lässt (Barré et al., 2018; Pearce-Higgins et al., 2009; Garthe et al., 2023).

Im Wald ist der Einfluss von WEA auf das sie umgebende Ökosystem nur unzureichend erforscht, sodass für den Ausbau der Windenergie im Wald häufig auf Analogieschlüsse aus Offenlandstudien zurückgegriffen wird. Grundlegende Unterschiede zwischen Offenlandsystemen und Wäldern, habitatspezifische Artengemeinschaften, andersartige bauliche Eingriffe und betriebsbedingte Einflussnahme deuten jedoch an, dass für eine nachhaltige Windenergieproduktion im Wald möglicherweise eine evidenzbasierte und waldspezifische Herangehensweise erforderlich ist. Zu dieser Wissenslücke wurde im Projekt „Berücksichtigung von biologischer Vielfalt und ökosystemarer Funktionsweise als Basis für eine nachhaltige Windenergieproduktion im Wald“ geforscht, welches von November 2019 bis Februar 2023 an der Philipps-Universität Marburg unter gemeinsamer Leitung mit der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel und in Kooperation mit dem Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung Berlin sowie der Universität Leipzig durchgeführt wurde.

Ziel des Forschungsprojekts war es, (1) anhand insektivorer Vögel und Fledermäuse den Einfluss von WEA im Wald auf der Ebene ökosystemrelevanter Artgemeinschaften zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurden Abundanz, Artenvielfalt und Zusammensetzung dieser Gemeinschaften in zunehmender Distanz zu WEA betrachtet, wobei unterschiedliche Charakteristika der WEA und des Waldhabitats Berücksichtigung fanden. Ein weiterer Fokus lag (2) auf der Ökosystemleistung der trophischen Regulation, da Vögel und Fledermäuse durch Prädation herbivore Insekten und Kalamitäten reduzieren können. WEA im Wald könnten das Interaktionsgefüge jedoch beeinflussen. Ein weiteres Ziel war (3) die Betrachtung von WEA im Wald aus einer sozioökonomischen Perspektive mittels einer Konfliktanalyse bei unterschiedlichen Ausbauszenarien. Ziel unseres Forschungsprojektes ist es, zukünftig eine faktenbasierte WEA-Standortabwägung für Wälder zu ermöglichen, welche auch die Artenvielfalt und die ökosystemare Funktionsweise berücksichtigt. Projektbegleitend wurde ein Beirat gegründet, welcher sich aus praxiserfahrenen Vertreter*innen verschiedener Interessengruppen zusammensetzt und dem Projekt beratend beistand.

Die Studie wurde in Hessen durchgeführt, das sich durch seine Mittelgebirgslage und hohen Waldanteil von 42% der Landesfläche auszeichnet. Die meisten Wälder sind ein gemischter Bestand aus Laubbäumen (v.a. Buche und Eiche) und Nadelbäumen (v.a. Fichte). Aufgrund dieser landschaftlichen Gegebenheiten werden in hessischen Wäldern regelmäßig Windenergieanlagen errichtet, so dass Ende 2022 insgesamt 485 WEA in Wäldern in Betrieb waren (FA Wind, 2023). Das Forschungsprojekt konzentrierte sich auf 22 Waldstandorte mit Windparks, die sich auf 12 laubbaum- und 10 nadelbaumdominierte Wälder verteilten und an denen jeweils durchschnittlich 6,3 Windkraftanlagen stehen (**Abb. 1**). Größe (Gesamthöhe, Rotordurchmesser) und Alter der WEA wurden aus öffentlich zugänglichen Datenbanken ermittelt (HLNUG 2019).

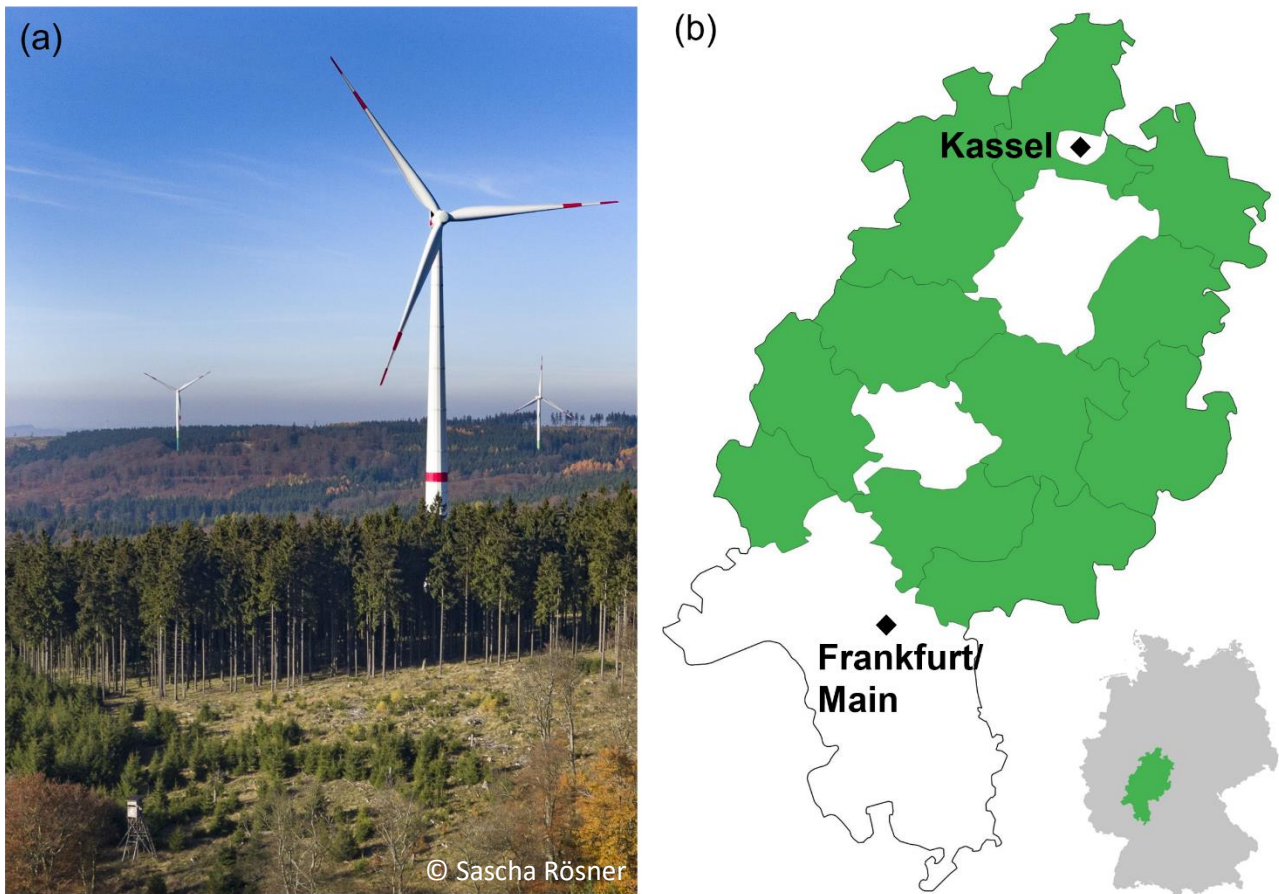


Abbildung 1: a) Windenergieanlagen in bewirtschafteten Wäldern fernab von Siedlungen und Zugrouten von Tieren als Modell, um Landnutzungskonflikte zwischen Gesellschaft, Naturschutz sowie Klimaschutz zu minimieren. Foto: Sascha Rösner b) Karte von Hessen mit den Landkreisen, in denen sich die 22 Untersuchungsflächen befanden.

2. Projektergebnisse

2.1 Vögel

2.1.1 Methoden

Singvogelmonitoring

Im Rahmen der Studie wurden die Abundanz, der Artenreichtum, die Zusammensetzung und das Vorkommen von Singvögeln in Abhängigkeit von der Entfernung zu WEA untersucht. Das Monitoring wurde an fünf Punkten mit zunehmendem Abstand zur WEA (80, 130, 250, 450 und 700 m) mittels Punkt-Stopp-Zählungen durchgeführt, die viermal verteilt über die Monate März bis Juni stattfanden (**Abb. 2 & 3**). Dabei wurden alle Vögel aufgenommen, die innerhalb eines 10-Minuten-Zeitraums und eines 20-Meter-Radius gesehen oder gehört wurden. Das Studiendesign konzentrierte sich auf häufige Singvögel und schloss Greifvögel (z.B. Rotmilane), nachtaktive Vögel (z.B. Eulen) und gegenüber menschlicher Störung empfindliche Arten (z.B. Waldschnepfen) aus. Der Betriebsstatus der WEA (Rotor in Bewegung oder stillstehend) wurde während der Zählungen dokumentiert.

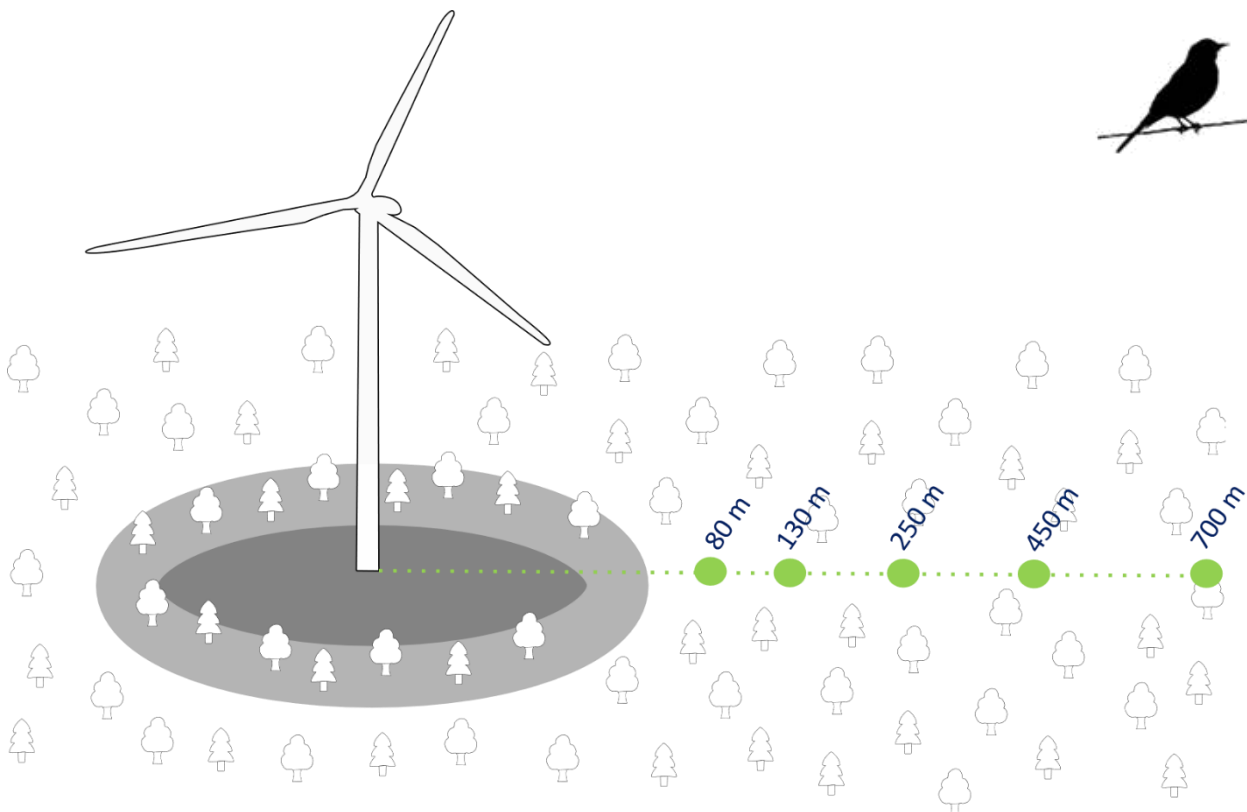


Abbildung 2: Schematisches Studiendesign für das Singvogelmonitoring entlang eines Distanzgradienten. Punkt-Stopp-Zählungen wurden an fünf Distanzpunkten zwischen 80 und 700 m Distanz zur nächsten WEA durchgeführt.



Abbildung 3: Während Punkt-Stopp-Zählungen wurden alle akustisch oder visuell identifizierbaren Waldvögel erfasst. Alle Erfassungen wurden von der gleichen, erfahrenen Kartiererin durchgeführt. (Foto: Julia Ellerbrok)

Aufnahme von Waldvariablen

An jedem Untersuchungspunkt wurden drei Waldmerkmale aufgenommen: die Waldzusammensetzung (Nadel-, Laub- oder Mischwald), die vertikale Vegetationsheterogenität und das Bestandsalter. Die Waldzusammensetzung innerhalb eines Radius von 200 m um jeden Aufnahmepunkt wurde auf der Grundlage der Copernicus Land Cover Map (ESA, 2018) in GIS bestimmt. Die vertikale Vegetationsheterogenität wurde durch Messung der Vegetationsbedeckung in verschiedenen Höhen über dem Boden geschätzt und die Diversität der Schichten mittel des Shannon-Weaver-Indexes wiedergegeben. Das Bestandsalter wurde durch Messung des Brusthöhendurchmessers der Bäume im Umkreis von 10 m um jeden Zählpunkt bestimmt.

Datenanalyse

Bei der Datenanalyse wurde die Beziehung zwischen der Abundanz von Vögeln sowie ihrem Artenreichtum und den aufgenommenen WEA- und Habitatvariablen anhand statistischer Modelle untersucht. Es wurden generalisierte lineare gemischte Modelle (GLMM) und Permutationsanalysen der Varianzen (Permanova) verwendet. In den Modellen wurden die Entfernung zu den WEA, die Waldzusammensetzung, die vertikale Vegetationsheterogenität, das Bestandsalter, die Jahreszeit, der Betriebsstatus und der Rotordurchmesser der WEA berücksichtigt. Ziel der Analyse war es, den Einfluss dieser Faktoren auf die Vogelgemeinschaft, deren Abundanz und Artenreichtum zu verstehen.

2.1.2 Ergebnisse

Während der zweijährigen Studie wurden im Laufe von 860 Punkt-Stopp-Zählungen 2 231 Vögel aus 45 Arten erfasst, mit einem Durchschnitt von 3,6 Vögeln und 2,8 Vogelarten pro Punkt-Stopp-Zählung. Die häufigste Vogelart war der Buchfink (*Fringilla coelebs*, 10,5%), gefolgt von der Blaumeise (*Parus caeruleus*, 8,9%), der Kohlmeise (*P. major*, 8,9%), der Tannenmeise (*P. ater*, 8,2%) und dem Rotkehlchen (*Erithacus rubecula*, 7,7%).

Es bestand kein Zusammenhang zwischen der Abundanz oder dem Artenreichtum von Singvögeln und der Entfernung zu den WEA (**Abb. 4e**). Allerdings waren die Anzahl der Vögel um 21,7% und der Artenreichtum um 22,8% geringer, wenn die WEA während der Punkt-Stopp-Zählung in Betrieb war

als wenn diese ausgeschaltet war (**Abb. 4d**). Außerdem nahm die Abundanz und der Artenreichtum der Vögel in Laubmischwäldern mit zunehmendem Rotordurchmesser der WEA um 24% bzw. 13% ab (**Abb. 4f**). Auch die Zusammensetzung der Vogelgemeinschaften hing vom Rotordurchmesser der WEA ab. So waren bspw. die beiden sehr häufigen Vogelarten Buchfink (*F. coelebs*) und Sumpfmeise (*P. palustris*) vor allem mit WEA mit kleinen Rotoren assoziiert. Im Gegensatz dazu waren mit WEA mit großen Rotoren verschiedene, teilweise weniger häufige Vogelarten assoziiert, wie z.B. dem Kernbeißer (*Coccothraustes coccothraustes*).

Des Weiteren stand die Anzahl und der Artenreichtum der Vögel in Wäldern mit WEA in engem Zusammenhang mit dem Beobachtungszeitraum (Monat und Jahr) und der Waldstruktur (Waldzusammensetzung, Struktureichtum und Bestandsalter **Abb. 4a-c**). So war bspw. die Anzahl der Vögel in Wäldern, in denen entweder nur Laub- oder nur Nadelbäume dominierten, um 41% geringer als in Mischwäldern. Die Anzahl der Vögel verringerte sich außerdem in strukturarmen gegenüber strukturreichen Wäldern um 38% und mit abnehmendem Alter der Laubmischwälder um 36%. In gleicher Weise war auch die Zusammensetzung der Vogelgemeinschaften von der Waldzusammensetzung, dem Struktureichtum und dem Bestandsalter der Wälder abhängig. Während zum Beispiel der Fichtenkreuzschnabel (*Loxia curvirostra*) mit relativ jungen Nadelwäldern assoziiert war, kamen der Waldlaubsänger (*Phylloscopus sibilatrix*) und der Kleiber (*Sitta europaea*) vor allem in älteren Laubmischwäldern vor.

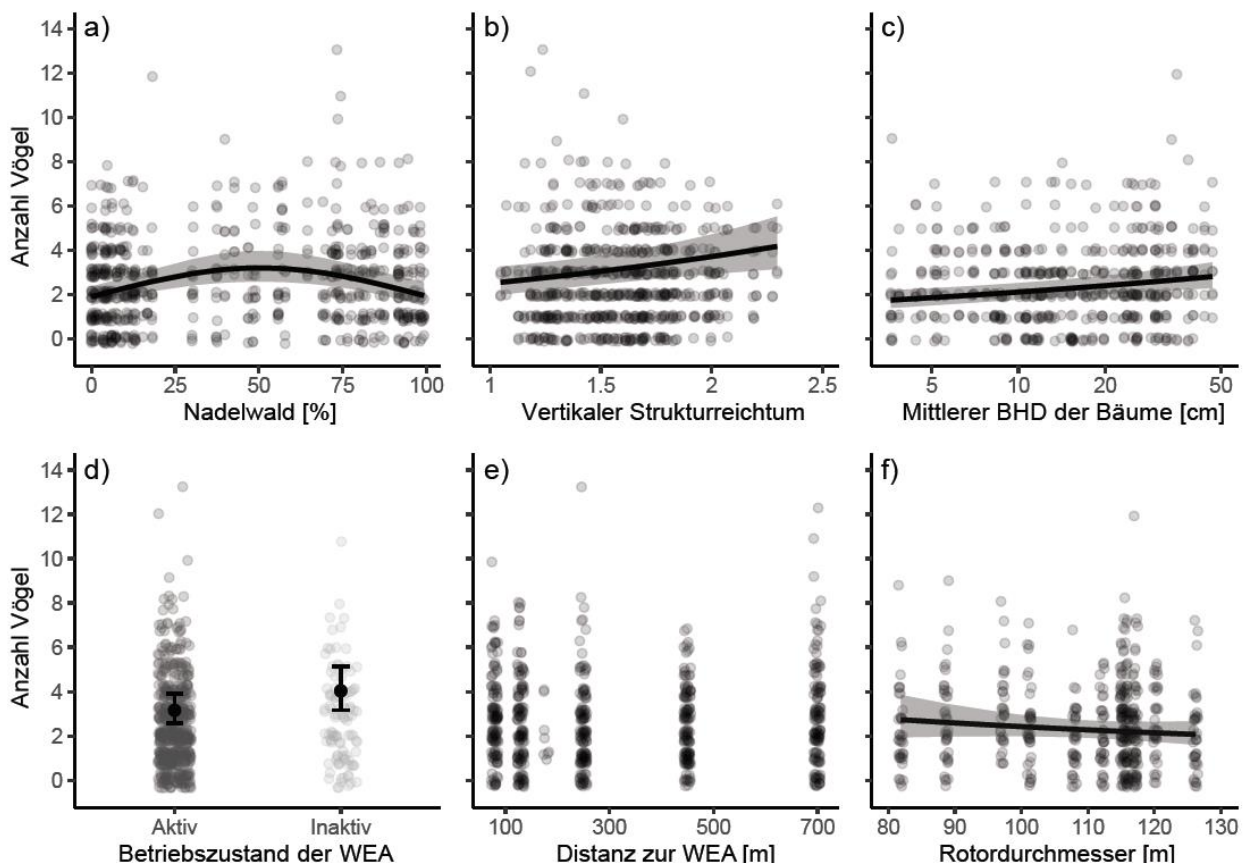


Abbildung 4: Zusammenhang zwischen der Anzahl an Vögeln und ausgewählten Eigenschaften der untersuchten Wälder sowie der WEA: a) Flächenanteil des Nadelwalds, b) vertikaler Struktureichtum, c) mittlerer Brusthöhendurchmesser (BHD) der Bäume, d) Betriebsstatus der WEA, e) Distanz zur WEA, f) Rotordurchmesser der WEA. Die schwarzen Kurven zeigen Mittelwerte, die grau hinterlegten Bereiche an den Kurven und die Antennen an den schwarzen Kreisen den Bereich von $\pm 95\%$ des Vorhersageintervalls. Die transparenten, schwarzen Kreise zeigen die Werte der einzelnen Punkt-Stopp-Zählungen.

2.1.3 Diskussion

Die Studie ergab, dass die lokale Waldstruktur die Abundanz und die Artenvielfalt der Waldvögel stark beeinflusst. Gemischte, strukturell vielfältige und alte Wälder wiesen die höchste Vogelabundanz und den größten Artenreichtum auf. Größere Rotordurchmesser wurden mit Veränderungen in der Vogelzusammensetzung und einem Rückgang der Abundanz und Artenvielfalt in bewirtschafteten Wäldern in Verbindung gebracht. Dies war hauptsächlich auf die Verdrängung häufiger Vogelarten in Wäldern mit WEA mit größeren Rotoren zurückzuführen. Eine solche Verdrängung kann ökologisch schwerwiegende Folgen haben, da die verbleibenden Wälder oft klein und fragmentiert sind. Künftige Studien sollten sich auf die Nist- und Reproduktionsaktivität in den von WEA beeinflussten Gebieten konzentrieren, um die ökologischen Auswirkungen zu bewerten. Die Ergebnisse stimmen mit anderen Studien aus dem Offenland und Offshore-Bereich überein, aber die Auswirkungen der WEA auf Waldvögel in unserer Studie waren geringer (-24%) als die Auswirkungen der Lebensraumqualität auf die Vögel (-36% bis -41%). Die geringere Auswirkung insbesondere auch in Bezug auf die Distanz zu WEA könnte auf waldspezifische Habitatmerkmale, das Fehlen empfindlicher Arten in bewirtschafteten Wäldern und die Dominanz von Generalisten zurückzuführen sein.

2.2 Fledermäuse

2.2.1 Methoden

Akustisches Fledermausmonitoring

Für die Erfassung der akustischen Fledermausaktivität im Umkreis der WEA nutzten wir Ultraschallrekorder, welche wir auf einen Aufnahmezeitraum von 21 Uhr bis 5 Uhr programmierten. Rekorder wurden an den Lichtungen mit WEA, am angrenzenden Waldrand sowie im umliegenden Wald in festgelegten Distanzen von 80, 130, 250 und 450 m zur WEA installiert (**Abb. 5**). Die Aufnahmen wurden im Jahr 2020 und 2021 jeweils von Mai bis September durchgeführt. In diesem Zeitraum wurde die Fledermausaktivität in jedem Untersuchungsgebiet und an jeden Aufnahmepunkt viermal aufgenommen. Im Anschluss wandelten wir die aufgenommenen Rufe in Spektrogramme um (**Abb. 6**) und ordneten jede Rufsequenz einer Jagdhabitatgilde zu. Dabei unterschieden wir zwischen Waldspezialisten, welche bevorzugt in dichter Vegetation jagen (Gattungen *Myotis* und *Plecotus*), Randstrukturjägern, welche v.a. entlang linearer Strukturen wie etwa Waldrändern zu finden sind (Gattungen *Pipistrellus* und *Barbastella*) und Offenraumjägern, die auf Flug und Jagd oberhalb der Baumkronen und in vegetationsfreien Bereichen spezialisiert sind (Gattungen *Nyctalus*, *Eptesicus* und *Vespertilio*). Für jede Gilde ermittelten wir pro nächtliche Aufnahme die akustische Aktivität, indem wir Minuten mit Echoortungsrufen zählten. Zudem zählten wir sog. *Feeding Buzzes*, typische Rufsequenzen mit Frequenzabfall, die auf Jagdaktivität durch die Fledermäuse schließen lassen. Für einen Teildatensatz von zwölf WEA wurden uns Protokolle über den Betrieb der WEA während der Aufnahmeächte zur Verfügung gestellt. Aus diesen Protokollen leiteten wir für jedes 10 min-Intervall der Nacht ab, ob die betreffende WEA in Betrieb war oder nicht.

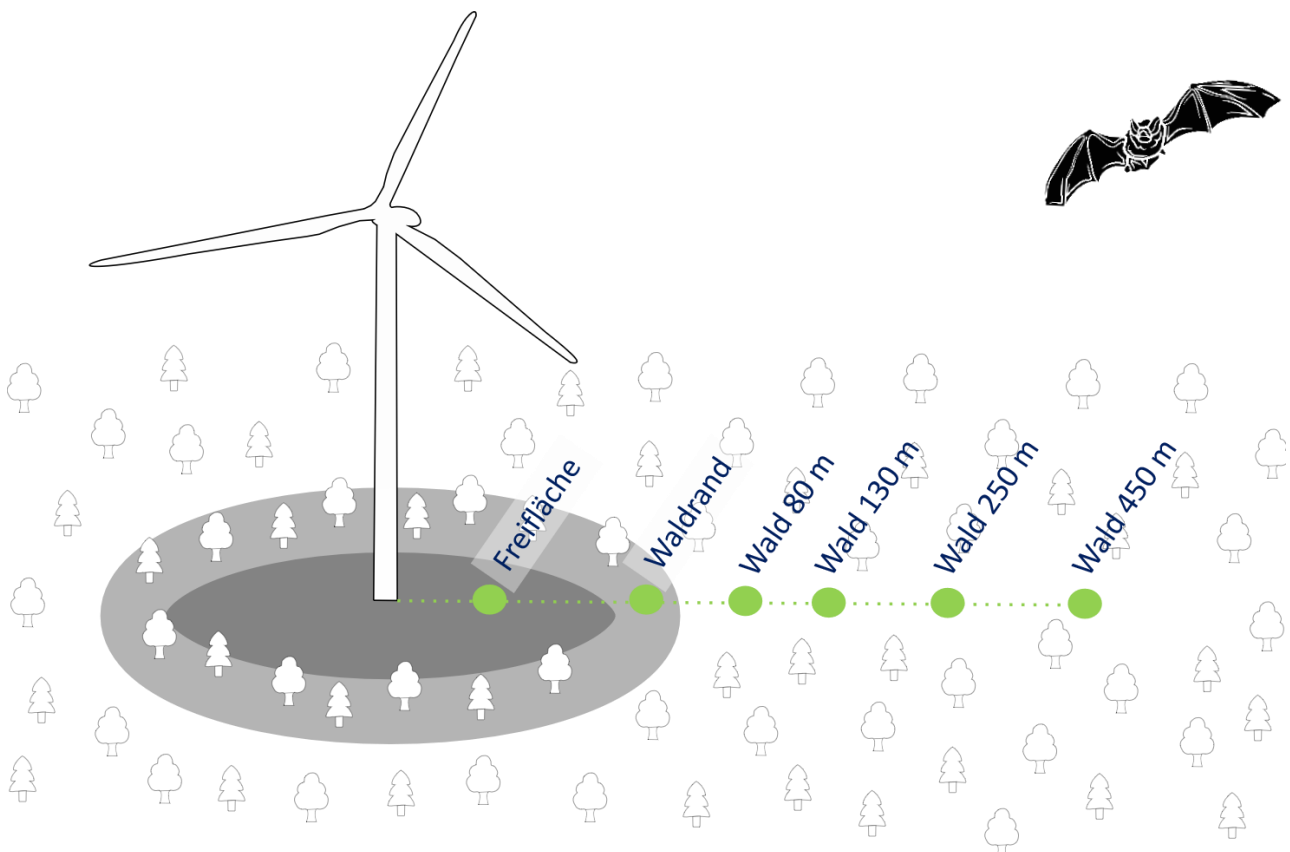


Abbildung 5: Schematisches Studiendesign für das Fledermausmonitoring entlang eines Distanzgradienten. Aufnahmen mit Ultraschallrekordern wurden an sechs Punkten mit maximal 450 m Distanz zur nächsten WEA durchgeführt.

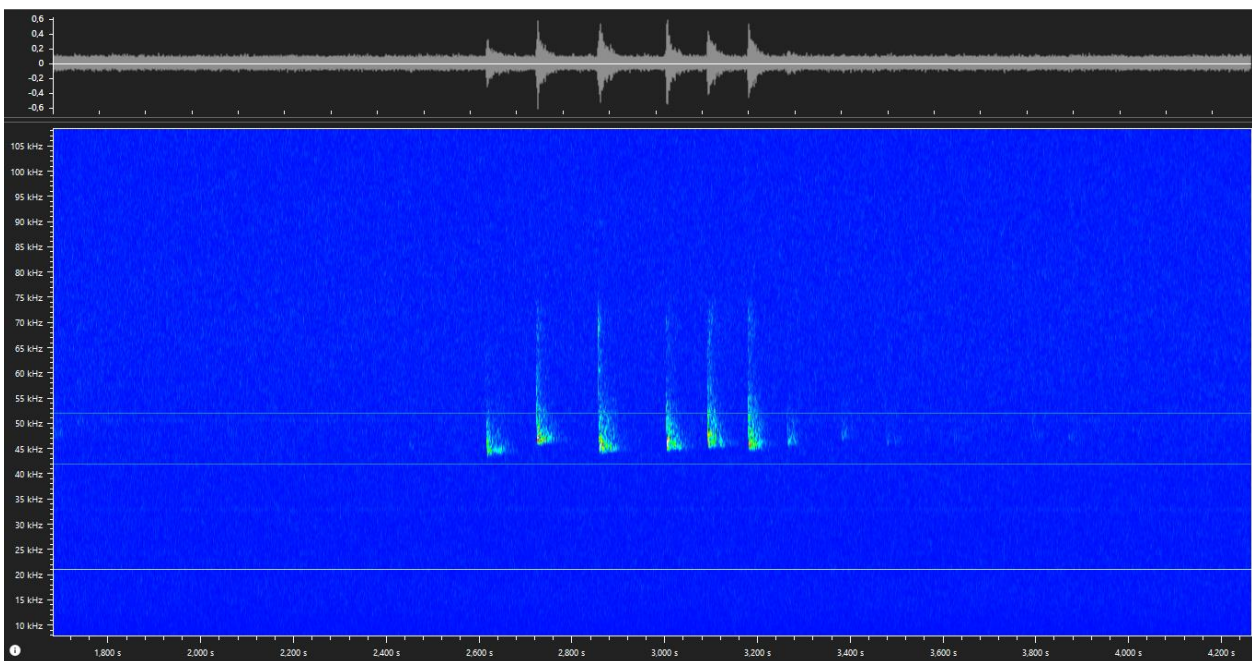


Abbildung 6: Graphische Darstellung eines in WEA-Nähe aufgenommen Rufes der Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*). Aus solchen Spektrogrammen lassen sich die Fledermausart bzw. Artgruppe und die Rufaktivität ableiten.

Aufnahme von Waldvariablen

An jedem Untersuchungspunkt wurden zur Beschreibung der Waldstruktur vier Merkmale aufgenommen. In einem 10 m-Radius schätzten wir die Vegetationsdeckung in verschiedene Höhenstufen über dem Waldboden. Basierend darauf berechneten wir die vertikale Vegetationsheterogenität mittels des Shannon-Weaver-Index. Darüber hinaus wurde die durchschnittliche Höhe der Baumkronen in der unmittelbaren Umgebung der Stichprobenpunkte mit Hilfe eines Laser-Entfernungsmessers (Forestry 550, Nikon, Tokio, Japan) gemessen. Außerdem wurden Luftaufnahmen (Google Ireland Limited, Dublin, Irland) verwendet, um die Entfernung zwischen den Stichprobenpunkten und dem nächstgelegenen äußeren Waldrand zu messen. Schließlich berechneten wir die Waldzusammensetzung auf der Grundlage der Copernicus Land Cover Map (ESA, 2018) innerhalb eines Radius von 200 m um die Aufnahmepunkte. Für jeden Untersuchungsstandort wurden simulierte Klimadaten vom Copernicus Climate Change Service in stündlicher Auflösung heruntergeladen (Muñoz Sabater, 2019). Auf der Grundlage der simulierten Daten berechneten wir die Lufttemperatur, die Windgeschwindigkeit und die Windrichtung für jeden Untersuchungsstandort und jede Aufnahmenacht.

Datenanalyse

Der Einfluss von Wald- und WEA-Variablen auf die akustische Fledermausaktivität wurde mittels GLMM ermittelt. Dabei lag in einer ersten Analyse der Fokus auf dem Einfluss von Rotorgröße und Vegetationsstrukturparametern auf die Rufaktivität der Fledermäuse in zunehmender Distanz zu WEA. In einer zweiten Analyse prüften wir den Einfluss von verschiedenen Habitattypen in Wäldern mit WEA (Lichtung, Waldrand, Wald) auf die Echoortungs- und Jagdaktivität von Fledermäusen. In einer letzten Analyse lag der Schwerpunkt auf dem Effekt des Betriebsstatus der WEA im Zusammenspiel mit verschiedenen Wettervariablen.

2.2.2 Ergebnisse

Insgesamt wurden 61 988 Minuten mit Fledermausaktivität im Jahr 2020 und 28 155 Minuten im Jahr 2021 aufgezeichnet. Der höchste Anteil an Aktivitätsminuten entfiel dabei auf die Randstrukturjäger mit jeweils etwa 83% an der Gesamtzahl aller Aktivitätsminuten.

Es zeigte sich, dass vor allem Fledermäuse aus der Gilde der Waldspezialisten (überwiegend Gattung *Myotis*) ihre Aktivität mit zunehmender Nähe zur WEA reduzierten (**Abb. 7**). Dies war v.a. an WEA mit größeren Rotoren der Fall. Bei dieser Fledermausgilde konnte außerdem ein Zusammenhang zwischen Aktivitätslevel und Betriebsstatus der WEA festgestellt werden: Unabhängig von der Distanz zur WEA waren die Waldspezialisten weniger aktiv, wenn die WEA in Betrieb waren und zeitgleich hohe Windgeschwindigkeiten vorherrschten (**Abb. 8**). Es konnte kein bedeutender Unterschied zwischen der Echoortungs- und Jagdaktivität von Waldspezialisten in der WEA-Lichtung und im umgebenden Wald festgestellt werden (**Abb. 9**).

Randstrukturjäger und Offenraumjäger zeigten keine veränderte Aktivität entlang des Distanzgradienten zur WEA. Lediglich im Spätsommer zeigte sich eine Aktivitätszunahme in der Aktivität der Offenraumjäger in Richtung der WEA. Fledermäuse beider Gilden waren in der Freifläche bzw. am Waldrand um die WEA aktiver als in der Baumkrone des umliegenden Waldes (**Abb. 9**). Für Randstrukturjäger konnte zudem eine erhöhte Jagdaktivität am Waldrand um die WEA im Vergleich zu Lichtung und Baumkrone des Waldes nachgewiesen werden.

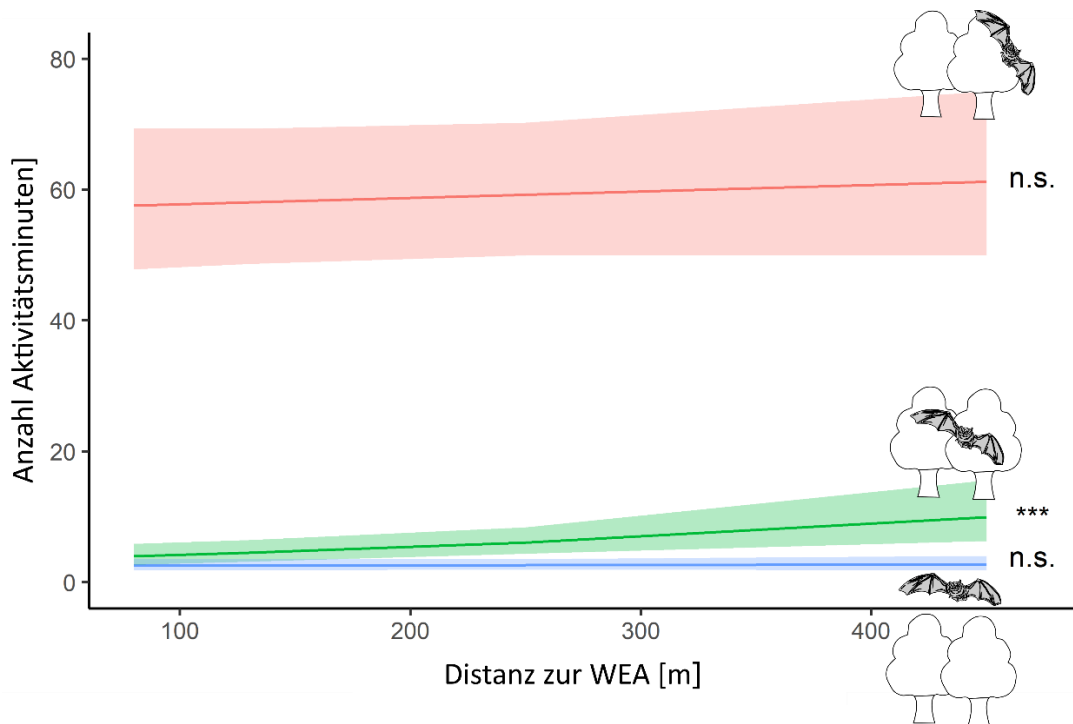


Abbildung 7: Zusammenhang zwischen der Distanz zur nächstgelegenen WEA und der Rufaktivität von Fledermäusen aus drei ökologischen Gilden. Rot steht für Randstrukturjäger, die bevorzugt entlang linearer Strukturen jagen. Grün steht für Waldspezialisten, die bevorzugt in dichter Vegetation jagen. Blau steht für Offenraumjäger, die bevorzugt oberhalb der Baumkronen oder in großen Lichtungen jagen. Die Kurven zeigen Mittelwerte, der farbig hinterlegte Bereich zeigt den $\pm 95\%$ des Vorhersageintervalls für die jeweiligen Gruppen. „***“ markiert einen hoch signifikanten Zusammenhang mit einem P-Wert < 0.005 , „n.s.“ markiert nicht signifikante Zusammenhänge mit einem P-Wert > 0.05 .

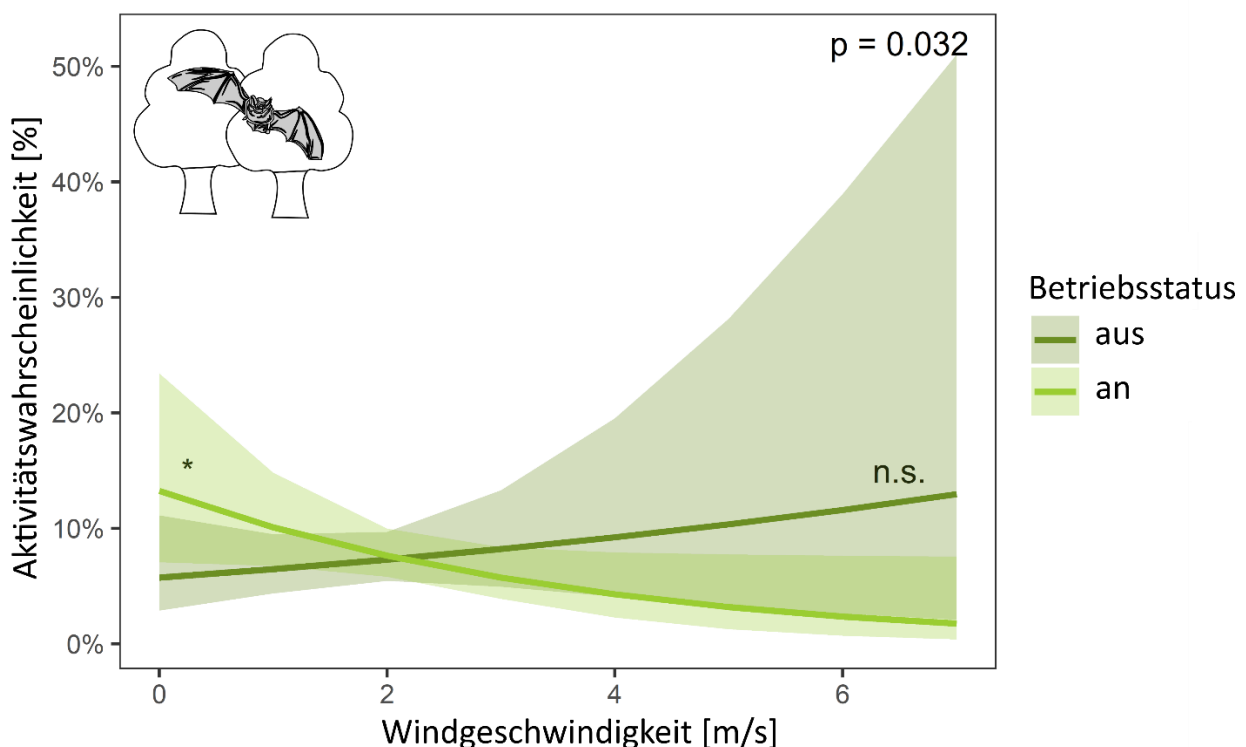


Abbildung 8: Auswirkungen der Windgeschwindigkeit auf die Rufaktivität von waldspezialisierten Fledermäusen in Abhängigkeit vom Betriebsstatus (ein- oder ausgeschaltet) der nächstgelegenen WEA. Die Kurven zeigen Mittelwerte, der farbig hinterlegte Bereich zeigt den $\pm 95\%$ des Vorhersageintervalls für die jeweiligen Gruppen.

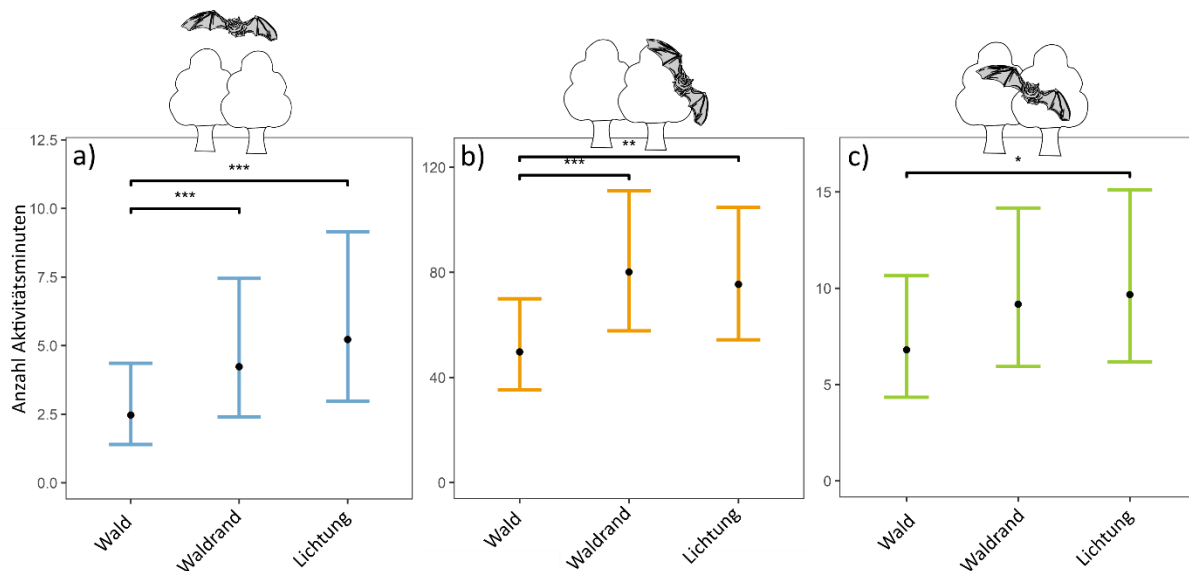


Abbildung 9: Zusammenhang zwischen den Habitattypen im Umkreis einer WEA und der Rufaktivität von Fledermäusen aus drei ökologischen Gilden. Blau steht für Offenraumjäger, rot steht für Randstrukturjäger und grün steht für Waldspezialisten. Die schwarzen Punkte zeigen Mittelwerte, die farbigen Linien zeigen den $\pm 95\%$ Bereich des Vorhersageintervalls für die jeweiligen Gruppen. Sternchen markieren signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen, „***“ mit einem P-Wert < 0.005 , „**“ mit einem P-Wert < 0.01 , „*“ mit einem P-Wert < 0.05 .

2.2.3 Diskussion

Wir konnten zeigen, dass Fledermäuse, insbesondere aus der Gilde der Waldspezialisten, die Nähe von WEA meiden und somit einen indirekten Lebensraumverlust erleiden. Dies deckt sich mit Forschungsergebnissen aus dem Offenland (Barré et al., 2018) und konnte im Rahmen unserer Studie nun erstmalig auch für WEA im Wald nachgewiesen werden. Dementsprechend sollten WEA in Wäldern von Habitatstrukturen ferngehalten werden, die für waldspezialisierte Fledermäuse wichtig sind, um eine Verdrängung zu vermeiden bzw. möglichst gering zu halten. Sollte eine Habitatverschlechterung für Fledermäuse durch den Betrieb der WEA unvermeidlich sein, müssten als Kompensation Waldflächen mit vergleichbarer Habitatqualität als Fledermausschutzgebiete ausgewiesen werden. Des Weiteren wies eine verringerte Aktivität von Waldspezialisten während des WEA-Betriebs und gleichzeitigem starken Wind auf Geräuschemissionen als zugrundeliegende Ursache der Meidung hin. WEA-Betrieb generiert Breitbandgeräusche, deren Wahrnehmbarkeit über die Distanz mit Windstärke zunimmt und Fledermäuse nachhaltig verschrecken könnte (Katinas et al., 2016). Folglich könnte eine Reduzierung der Geräuschemissionen, z.B. durch technische Anpassungen, die Verdrängungseffekte auf Waldspezialisten reduzieren.

Auch Randstruktur- und Offenraumjäger sollten bei der Etablierung von Naturschutzmaßnahmen nicht vernachlässigt werden. Obwohl sie von WEA in Wäldern nicht eindeutig verdrängt werden, sind sie dennoch betroffen, da wir für diese Gilden eine höhere Aktivität an der WEA-Lichtung im Vergleich zum umliegenden Wald vorfanden. Dies weist auf eine anziehende Wirkung der WEA-Freiflächen hin, was problematisch sein könnte, da für Fledermäuse der Randstruktur- und Offenraumjäger Flüge bis zur Nabenhöhe typisch sind und diese daher als Hochrisikoarten für Kollisionen mit WEA eingestuft werden (Rodrigues et al., 2014, Roemer et al., 2017). Habitatspezifische Abschaltalgorithmen könnten das Schlagrisiko reduzieren. Es ist jedoch eine weitere, gezieltere Forschung zu den zugrundeliegenden Mechanismen von WEA-Effekten auf Fledermausaktivität im Wald notwendig, um konkretere und effektive Naturschutzmaßnahmen zu formulieren.

2.3 AP Insekten

2.3.1 Methoden

Datenaufnahme

Nach einer Pilotstudie im Frühjahr 2020 wurden im Mai und Juni 2021 auf allen zwölf laubwalddominierten Flächen unserer Studie Datenerhebungen zur Analyse von trophischen Interaktionen in Wäldern mit WEA durchgeführt. Erhebungen zur Arthropodengemeinschaft, Prädation von Raupen und Herbivorie wurden jeweils in 80 und 450 m Distanz zur WEA durchgeführt. Zur Untersuchung der Arthropodengemeinschaft wurden pro Erfassungspunkt zwei Insektenfallen auf verschiedenen Höhenstufen aufgehängt (Bodennähe und Baumkrone), welche wir alle 10 Tage leerten (**Abb. 10a**). Wir führten fünf Fallenleerungen durch und erhielten auf diese Weise 480 Insektenproben. Im Nachgang wurde im Labor das Abtropfgewicht der Fänge ermittelt und eine manuelle Bestimmung bis auf Familienebene durchgeführt. Mitte Juni 2021 wurden im Umkreis der Insektenfallen 20 Knetraupen an lebender Vegetation angebracht und parallel zu den Fallenleerungen alle 10 Tage auf Prädationsspuren kontrolliert (**Abb. 10b**). Angefressene Knetraupen wurden eingesammelt und gegen frische Raupen ausgetauscht. Insgesamt erfolgten drei Kontrollen auf Bissspuren. Zeitgleich sammelten wir jeweils im Umkreis der Fallen 60 Buchenblätter, um die Herbivorie zu bestimmen. Nach dem Einscannen der Blätter wurde mit der Software WinFolia der gefressene Anteil der Blattfläche errechnet (**Abb. 10c**). Als zusätzliche Umweltvariablen ermittelten wir mit Datenloggern für jedes 10-tägige Erfassungsintervall die durchschnittliche Lufttemperatur und Lichtintensität. Zudem wurden im 10 m-Radius um jeden Erfassungspunkt die vertikale Vegetationsheterogenität bestimmt.

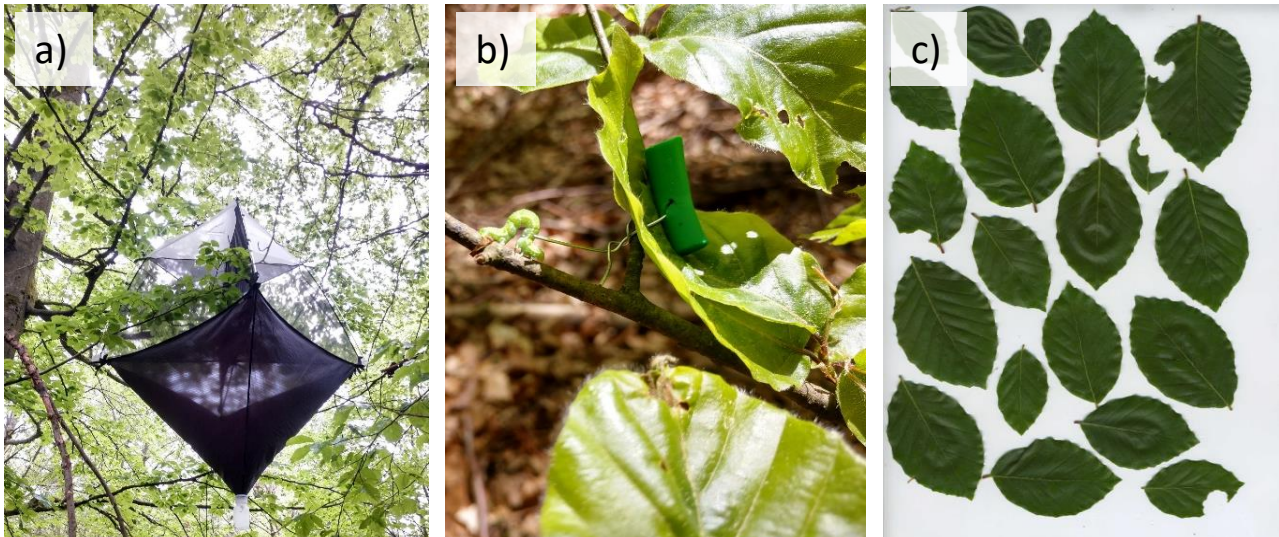


Abbildung 10: Methoden aus dem AP3 „Trophische Kontrolle“. Flugfähige Arthropoden wurden mit SLAM-Traps (a) gefangen, um WEA-Effekte auf die Zusammensetzung der Gemeinschaft und Biomasse zu untersuchen. Um Kaskadeneffekte auf untere trophische Ebenen zu untersuchen, wurden Prädationsspuren auf grünen Knetraupen (b) und Herbivorie an eingescannten Buchenblättern (c) quantifiziert. (Fotos: Julia Ellerbrok & Anna Delius)

Datenanalyse

Obgleich der Stichprobenumfang für die Datenerhebung zur Herbivorie und Prädation im Vergleich zur Pilotstudie verdoppelt wurde, war die Menge an Prädationsspuren und Herbivorie letztendlich zu klein für eine statistische Auswertung. Mit GLMM untersuchten wir, wie sich die Distanz zur nächsten WEA sowie die vertikale Vegetationsheterogenität, Lufttemperatur und Lichtintensität auf die Arthropodenbiomasse auswirkten. Des Weiteren ermittelten wir mittels einer Permanova die Effekte dieser Faktoren auf die Gemeinschaft der Arthropoden.

2.3.2 Ergebnisse & Diskussion

Vorläufige Analysen der Insektenbiomasse deuten an, dass diese stark mit zunehmender Lichtverfügbarkeit und Temperatur zunimmt, aber mit höherer Vegetationsheterogenität abnimmt. Zusammenhänge mit der Distanz zur WEA oder ihren Eigenschaften waren nicht signifikant. Es konnten keine Korrelationen zwischen Fledermausaktivität und Insektenbiomasse festgestellt werden. Tiefergehende Analysen stehen noch aus. Ebenfalls vorläufige Analysen zur Artgemeinschaft der Arthropoden legen nahe, dass sich deren Zusammensetzung entlang der Variablen Fallenhöhe und Rotordurchmesser verschieben. Zum Beispiel waren Diptera häufiger an WEA mit größeren als mit kleineren Rotoren und Coleoptera häufiger in Bodennähe als in der Baumkrone zu finden. Tiefergehende Untersuchungen der Insektengemeinschaft und -biomasse konnten aufgrund des sehr großen Probenumfangs nicht mehr innerhalb der Projektlaufzeit durchgeführt werden. Die bisherigen, vorläufigen Ergebnisse geben keinen Hinweis darauf, dass ein Monitoring von Vögeln und Fledermäusen an WEA direkte Aussagen über die trophische Kontrolle in den betroffenen Wäldern zulässt.

2.4 Sozioökonomische Konfliktanalyse

2.4.1 Methoden

Um ökonomische, soziale und auch inner-ökologische Zielkonflikte zu ermitteln, die mit einem möglichen Ausschluss der Windenergienutzung im Wald einhergehen könnten, wurde ein räumlich explizites Standortoptimierungsmodell weiterentwickelt. Das Modell umfasste GIS-Daten für mehr als 100.000 potenzielle Standorte für WEA in Deutschland. Alle Standorte wurden dabei hinsichtlich von fünf Kriterien bewertet: Stromgestehungskosten sowie lokale Auswirkungen auf Anwohnende, Landschaftsbildqualität (nach Universität Hannover), windkraftsensible Greif- und Großvögel (nach Helgoländer Papier und ADEBAR-Brutvogelatlas) und allgemeine ökologische Konfliktrisiken (nach Bosch & Partner).

Mithilfe des Optimierungsmodells wurden anschließend die Auswirkungen von verschiedenen Politikszenerarien bestimmt. Dabei war stets die Annahme, dass ein politisch festgelegtes Strommengenziel von 300 TWh/a für die Windenergie durch Ausschreibungen erreicht werden soll. Das entspricht ungefähr der Stromerzeugung aus WEA, die mindestens als notwendig erachtet wird, um die energiepolitischen Ziele der Bundesregierung zu erreichen. Um die Wirkung des Ausschreibungsmechanismus zu simulieren, wählte das Modell aus den verfügbaren Standorten immer jene mit den geringsten Stromgestehungskosten aus. Die Verfügbarkeit der Standorte hing von den jeweils angenommenen Landnutzungsrestriktionen ab. Unterschieden wurden drei Fälle: a) kein pauschaler Waldausschluss, b) Ausschluss von Laub- und Mischwäldern, c) kompletter Ausschluss von Waldstandorten.

2.4.2 Ergebnisse

Die GIS-Analyse zeigt, dass sich das gesamte Ausbaupotenzial von ursprünglich 779 TWh/a auf 654 TWh/a im Fall eines pauschalen Ausschlusses von Laub- und Mischwäldern beziehungsweise auf 469 TWh/a im Fall eines pauschalen Ausschlusses jeglicher Waldstandorte reduziert (**Tab. 1**).

Tabelle 1: Auswirkungen von Waldausschluss als WEA-Standort auf das Ausbaupotential in Deutschland.

		Anzahl potenzieller WEA-Standorte	Ausbaupotenzial [TWh/a]
Ohne pauschalen Waldausschluss		106.497	779
Waldausschluss	Laub- und Mischwälder	87.461	654
	Laub-, Misch- und Nadelwälder	60.478	469

Die Optimierungsergebnisse zeigen, dass bei Einführung eines teilweise bzw. vollständigen Waldausschlusses, die großräumige Verteilung des Windenergieausbaus relativ ähnlich ist (Abb. 11). Räumliche Verschiebungen ergeben sich eher auf der lokalen Skala. Schon diese kleinräumigen Verschiebungen haben jedoch teilweise erhebliche Auswirkungen auf die betrachteten Bewertungskriterien. Die Auswirkungen können dabei in zwei Effekte zerlegt werden. Zum einen führt ein Waldausschluss dazu, dass sich die WEA-Standorte räumlich verschieben (Substitutionseffekt). Je nach betrachtetem Bewertungskriterium kann dies zu einer positiven oder negativen Auswirkung führen. Zusätzlich führt ein Waldausschluss auch dazu, dass insgesamt mehr Standorte benötigt werden, um das Strommengenziel zu erreichen (Mengeneffekt). Das liegt daran, dass durch einen Waldausschluss immer auch einige sehr windhöfliche Standorte ausgeschlossen werden. Der Mengeneffekt führt notwendigerweise dazu, dass sich die negativen Auswirkungen auf Mensch und Natur in der Summe verstärken. **Abb. 12** stellt Substitutions-, Mengen- und Nettoeffekt für die betrachteten Bewertungskriterien dar. Es wird deutlich, dass sozioökonomische Konflikte v.a. auftreten, wenn die Windenergienutzung im Wald komplett ausgeschlossen wird. Insbesondere die negativen Auswirkungen auf Anwohnende steigen – verglichen zu einem Szenario ohne Waldausschluss – um fast 40% an. Das liegt naturgemäß daran, dass ein Waldausschluss WEA ins Offenland verschiebt, wo mehr Menschen wohnen (Substitutionseffekt). Noch stärker sind jedoch die Zusatzkosten, weil insgesamt mehr Anlagen errichtet werden müssen (Mengeneffekt). Der Anstieg der Stromgestehungskosten durch Waldausschluss fällt hingegen mit unter 5% relativ moderat aus. Innerökologische Zielkonflikte können in begrenztem Umfang hinsichtlich des Schutzes von windkraftsensiblen Greif- und Großvögeln auftreten – insbesondere durch den Mengeneffekt bei einem kompletten Waldausschluss.

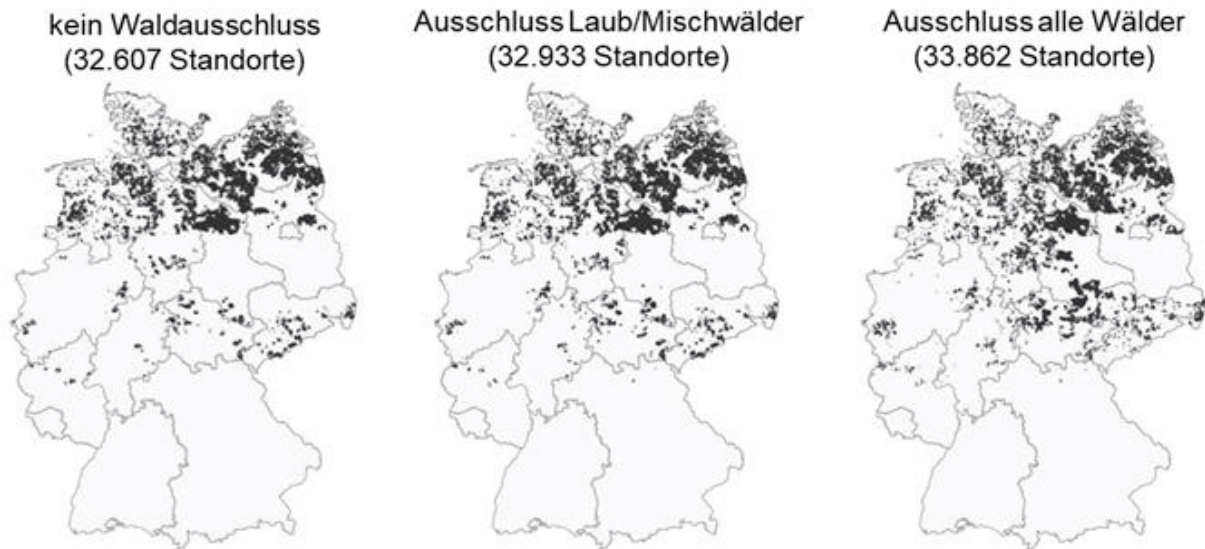


Abbildung 11: Räumliche Verteilung des Windenergieausbaus bei einem Strommengenziel von 300 TWh/a unter verschiedenen Landnutzungsrestriktionen.

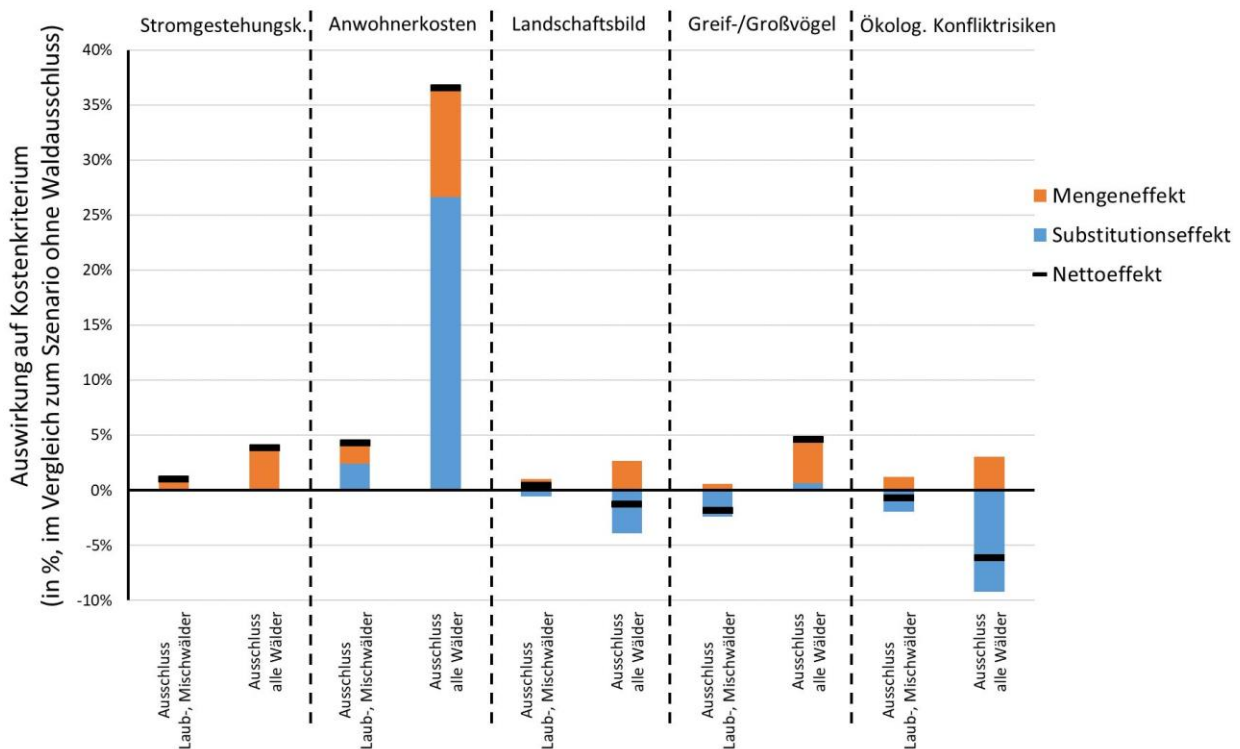


Abbildung 12: Auswirkung des Waldausschlusses auf die unterschiedlichen Bewertungskriterien bei einem Strommengenziel von 300 TWh/a.

2.4.3 Diskussion

Unsere Analyse zeigt, dass die Erreichung der Energiewendeziele zwar theoretisch auch ohne Windenergienutzung im Wald erreicht werden können. Das gilt jedoch nur für den eher hypothetischen Fall, dass die Windenergienutzung im Offenland nicht durch weitere Flächennutzungsrestriktionen eingeschränkt wird. Zudem darf der Bedarf für Stromerzeugung aus WEA im Zuge der Dekarbonisierung nicht über 469 TWh/a steigen. Darüber hinaus verursacht ein pauschaler Waldausschluss für die Windenergienutzung Nachhaltigkeitskonflikte, insbesondere mit

dem Anwohnerschutz. Bei der Entscheidung, in welchem Umfang der Wald für die Windenergienutzung gesperrt oder geöffnet wird, müssen Naturschutzinteressen (die in unserer Analyse nur unvollständig abgebildet werden) daher sorgfältig mit anderen gesellschaftlichen Zielen abgewogen werden. Einen Ausweg kann hier ein differenzierter Waldschutz darstellen. Zielkonflikte können bereits erheblich reduziert werden, wenn die Windenergienutzung im Wald nicht pauschal, sondern nur in ökologisch besonders wertvollen Bereichen ausgeschlossen wird. Eine solche Differenzierung kann etwa im Zuge der planerischen Ausweisung von Windflächen erfolgen.

3. Projektbezogene Diskussion

Im Laufe des Projekts haben wir Daten erhoben und analysiert, welche zeigten, dass Vögel und Fledermäuse im Wald durch WEA in ihrem Lebensraum beeinträchtigt werden. Im Detail konnten wir zeigen, dass in Wäldern häufige Singvogelarten, welche bisher bei der Bewertung von WEA-Projekten nicht im Fokus standen, von WEA mit großen Rotoren negativ beeinträchtigt wurden. Wir fanden zudem heraus, dass insbesondere Fledermäuse, welche auf Waldhabitats spezialisiert sind, v.a. *Myotis* spp., die Nähe von WEA mieden. Folglich wurde das Hauptziel des Projekts, Forschungslücken zu WEA-Effekten auf Biodiversität im Wald zu schließen, erfüllt.

Ein weiteres Ziel war, Variablen ausfindig zu machen, welche die negativen Effekte auf Vögel und Fledermäuse steuern, und basierend darauf Handlungsempfehlungen für einen nachhaltigen Ausbau der Windenergie im Wald zu formulieren. Wir zeigten auf, dass WEA mit größeren Rotoren in unserem Untersuchungsgebiet größere negative Auswirkungen auf Vögel und Fledermäuse hatten als WEA mit kleineren Rotoren. Allerdings waren Rotorgröße, sowie Höhe und Alter der WEA miteinander korreliert, weswegen letztendlich unklar bleibt, welche Variable ausschlaggebend war. Eine plausible Erklärung, welche aber noch fokussiert untersucht werden muss, ist ein abschreckender Einfluss von Geräuschemissionen, welche sich durch technische Anpassungen an der WEA einschränken ließe. Wir konnten nachweisen, dass WEA im Wald zu indirektem Habitatverlust für lokale Vögel und Fledermäuse führen, woraus sich einige Handlungsempfehlungen ableiten lassen: Bei der Planung von neuen Anlagen sollte großräumig Abstand zu gut geeigneten Vogel- und Fledermaushabitats gewahrt werden. Das bedeutet, dass v.a. Waldgebiete mit hoher vertikaler Vegetationsheterogenität ausgespart werden sollten. Falls ein direkter oder indirekter Verlust solch strukturreicher Habitats durch WEA-Projekte im Wald nicht vermieden werden kann, sollte dies durch gleichwertige Kompensationsflächen ausgeglichen werden. Darüber hinaus sind technische Anpassungen bzw. Anpassungen des Betriebsregimes der WEA denkbar, um Verdrängungseffekte zu vermeiden oder zu verringern. Dafür wird es aber zuerst notwendig sein, die zugrundeliegenden Mechanismen für die beobachteten Effekte auf Vögel und Fledermäuse zu ermitteln. Hier besteht also weiterer Forschungsbedarf.

Die sozioökonomische Standort- und Konfliktanalyse wurde nicht wie ursprünglich geplant auf Basis der projekteigenen Daten durchgeführt, da diese u.a. aufgrund der kleinteiligen und variablen Waldstruktur in unseren Untersuchungsgebieten nicht für eine Verschneidung mit sozioökonomischen Parametern geeignet waren. Stattdessen entschieden wir uns für einen allgemeineren Ansatz, in welchem die Effekte eines kompletten Waldausschlusses oder partiellen Nadelwaldausschlusses als WEA-Standorte in Deutschland untersucht wurden. Im Laufe des Projektes ergab sich zudem ein Schwerpunkt auf dem AP Fledermäuse, für die wir nach den ersten vielversprechenden Ergebnissen zu negativen WEA-Effekten schon erste Untersuchungen zu möglichen kausalen Ursachen anstellen konnten. Im AP Trophische Kontrolle warfen die Erfassungen zu Herbivorie und Prädation nicht genug Daten für eine eingehende Analyse ab. Im Gegenteil dazu kamen bei den Athropodenfängen sehr viele Proben und Individuen zusammen.

Insbesondere die Bestimmung der Tiere durch studentische Hilfskräfte nahm mit einem gesamten Arbeitsumfang von 17 Monaten deutlich mehr Zeit in Anspruch als zuvor angenommen. Umfassende Untersuchungen zur Insektengemeinschaften in Wäldern mit WEA auf Grundlage dieser Daten sind noch geplant, mussten aber aufgrund des Verzugs auf eine Zeit nach offiziellem Projektende verschoben werden.

Das Projekt kann vor allem aufgrund der guten Kooperation zwischen den verschiedenen Projektbeteiligten als Erfolg verbucht werden. Im Laufe des Projekts standen wir zudem häufig im Austausch mit Forstbehörden und Jagdpächter*Innen, um die Arbeit im Wald zu koordinieren. Die Zusammenarbeit war bis auf wenige Ausnahmen gut und effizient. Lediglich der Austausch mit den WEA-Betreibenden bezüglich der Betriebsprotokolle war zum Teil schwierig. Unserer Einschätzung nach fehlte es hier noch an Transparenz und Vertrauen. Daher wäre in Erwägung zu ziehen, bei zukünftigen Projekten die Seite der WEA-Betreibenden und Projektierenden noch besser von Beginn an einzubeziehen, um Konflikten vorzubeugen. Die Kommunikation innerhalb des Projektteams gelang trotz der räumlichen Distanz hervorragend. Wir stiegen früh im Projekt anlässlich der beginnenden Corona-Pandemie auf digitale Kommunikationswege um und konnten auf diese Weise besonders in den ersten Jahren einen regelmäßigen Austausch bezüglich Feldarbeitsplanungen und der Interpretation erster Ergebnisse aufrechterhalten. In der späteren Projektphase konzentrierte sich die Zusammenarbeit verstärkt auf thematische gegliederte Kleingruppen, die die abschließende Datenanalyse und das Verfassen von Publikationen für die jeweiligen Themenbereiche übernahmen. Wir veranstalteten jährliche Treffen mit der PAG, welche von großem beidseitigem Interesse und einem regen Ideen- und Informationsaustausch geprägt waren.

4. Öffentlichkeitsarbeit

Wir haben die Ergebnisse dieses Projektes in verschiedenen wissenschaftlich begutachteten, englischsprachigen Fachjournalen publiziert. Zusätzlich werden wir unsere Ergebnisse auch in deutschsprachigen Fachjournalen veröffentlichen, um möglichst vielen Menschen aus Wissenschaft und Praxis die Teilhabe an den Ergebnissen und unseren Interpretationen zu gewähren. Darüber hinaus haben wir die Ergebnisse im Zuge von insgesamt zehn Vorträgen oder Postern auf Fachtagungen präsentiert. Wir haben aus separaten Mitteln ein Animationsvideo jeweils in deutscher und englischer Sprache entwickelt, welche unsere Ergebnisse aus Ellerbrok et al. (2022) in vereinfachter Sprache darstellen.

Besonders hervorzuheben ist die öffentliche Projektabschlussveranstaltung, welche wir am 21. März 2023 in Form einer deutschsprachigen Online-Tagung mit etwa 300 Teilnehmern abhielten. Auf dieser Tagung, federführend organisiert vom Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung, wurde der aktuelle Wissensstand zum Thema Windenergie im Wald und ihre Wirkung auf Biodiversität zusammengetragen. Nach einem einleitenden Vortrag von Nina Farwig wurden – unterteilt in die Blöcke „Einfluss auf Vögel“, „Einfluss auf Fledermäuse“ und „Regulatorische Herausforderungen und Lösungsansätze“ – die Erkenntnisse präsentiert, die im Laufe des Forschungsprojekts gewonnen worden waren. Aus dem Projektteam wurden Vorträge von Finn Rehling, Julia Ellerbrok und Philip Tafarte gehalten. Das Programm wurde außerdem durch Präsentationen von weiteren, eingeladenen Forschenden ergänzt. Die externen Vortragenden waren Theresa Spatz (Philipps-Universität Marburg), Hendrik Reers (OekoFor, Freiburg), Christine Reusch (Leibniz-IZW, Berlin), Jessica Hillen (BFL, Rummelsheim), Frank Adorf (BFL Rummelsheim), Christoph Rheinschmitt (Helmholtz-UFZ, Leipzig), Jessica Weber (TU Berlin) und Holger Ohlenburg (KNE, Berlin). Nach jedem Themenblock hatten die Teilnehmenden die Möglichkeit Fragen zu stellen. Dies wurde im Wechsel von Franziska Peter, Christian Voigt und Paul Lehman moderiert und

angeleitet. Da nicht alle Fragen in der begrenzten Zeit behandelt werden konnten, wurden diese außerdem im Nachgang schriftlich beantwortet und an die Teilnehmenden versandt. Zum Abschluss der Tagung wurde eine offene Diskussion mit allen Vortragenden abgehalten. Die Tagung wurde ausgesprochen gut angenommen, was sich in der hohen Teilnehmendenzahl, der regen Beteiligung an Diskussionen sowie einigen Rückmeldungen im Anschluss an die Tagung zeigten.

Im Folgenden werden alle Konferenzbeiträge und Publikationen aufgelistet, die im Rahmen des Forschungsprojekts entstanden sind.

Publikationen

Ellerbrok, J. S., Delius, A., Peter, F., Farwig, N., & Voigt, C. C. (2022). Activity of forest specialist bats decreases towards wind turbines at forest sites. *Journal of Applied Ecology*, 59(10), 2497–2506. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14249>

Ellerbrok, J. S., Rehling, F., Peter, F., Farwig, N., & Voigt, C. C. (in Begutachtung). Forest gaps around wind turbines attract bat species with high collision risk.

Ellerbrok, J. S., Peter, F., Farwig, N., & Voigt, C. C. (in Begutachtung). Wind turbines operating at high wind speeds have a negative impact on the activity of forest bats.

Rehling, F., Delius, A., Ellerbrok, J. S., Farwig, N., & Peter, F. (2023a). Wind turbines in managed forests partially displace common birds. *Journal of Environmental Management*, 328, 116968. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116968>

Rehling, F., Ellerbrok, J. S., Delius, A., Farwig, N., & Peter, F. (2023b). Windenergieanlagen in Wirtschaftswäldern verdrängen häufige Vogelarten. *Natur und Landschaft*, 98 (8). <https://doi.org/10.19217/NuL2023-08-01>

Tafarte, P., & Lehmann, P. (2023). The opportunity costs of environmental exclusion zones for renewable energy deployment. UFZ Discussion Paper 2/2023, Helmholtz Zentrum für Umweltforschung - UFZ, Leipzig. https://www.ufz.de/export/data/2/277243_DP_2023_2_LehmannTafarte.pdf

Konferenzbeiträge

Fachtagung „Naturschutz: Von der Forschung in die Praxis“ - Schwerpunkt: Klima.Landschaft.Energie, Freising, geplant für 26/09/2023.

- Rehling, F., Vortrag „Windenergieanlagen in Wirtschaftswäldern verdrängen häufige Vogelarten“
- Voigt, C. C., Vortrag „Fledermausschutz an Windkraftanlagen: aktueller Stand und Herausforderungen“

Lehmann, P. Vortrag „The opportunity costs of environmental exclusion zones for renewable energy deployment“, 18th IAEE European Conference, Mailand, Italien, 24-27/07/2023.

Lehmann, P., Vortrag „The opportunity costs of environmental exclusion zones for renewable energy deployment“, Helmholtz Energy Conference, Koblenz, 12 - 13/06/2023.

Abschlussveranstaltung des DBU-Projekts „Biodiversität als Basis für einen nachhaltige Windenergieproduktion im Wald“, online, 21/02/2023.

- Rehling, F., Vortrag „Windenergieanlagen in Wirtschaftswäldern verdrängen häufige Vogelarten“
- Ellerbrok, J. S., Vortrag „Auswirkungen von Windenergieanlagen im Wald auf die Aktivität von Fledermäusen verschiedener ökologischer Gilden“
- Tafarte, P., Vortrag „Zielkonflikte bei der Windenergienutzung mit und ohne Wald“

Rehling, F., Poster „Scale-dependent displacement effects of wind turbines on bats and birds in managed forests“; 51. GfÖ Jahrestagung, Metz, 21 - 25/11/2022.

Rehling, F., Vortrag „Wind Turbines in Managed Forests Partially Displace Common Birds“; FEaA-Konferenz “Biodiversity and Human Well-Being – Europe’s Role in Shaping Our Future“, online, 09 - 11/11/2022

Ellerbrok, J. S., Vortrag „Fledermausaktivität in Wäldern mit Windkraftanlagen“; 30. Internationale Naturschutztagung, Jena, 05 - 06/11/2022.

Ellerbrok, J. S., Vortrag „Effects of wind turbines in forests on bats“; Treffen der deutschen Fledermausforschenden (TDFf), Greifswald, 21 - 23/10/2022.

Lehmann, P., Vortrag „The opportunity costs of environmental exclusion zones for renewable energy deployment“, BioEcon Conference, Exeter (UK), 06/09/2022.

Ellerbrok, J. S., Vortrag „Effects of wind turbines in forests on bats“; 19. International Bat Research Conference (IBRC), Austin, Texas, USA, 08 - 12/08/2022.

Lehmann, P., Vortrag „The opportunity costs of environmental exclusion zones for renewable energy deployment“, European Conference of Environmental and Resource Economists, Rimini (I), 28/06 - 01/07/2022

Animationen

Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung (IZW): Fledermausschutz und Energiewende - Aktuelle Herausforderungen: <https://www.youtube.com/watch?v=kYPMenWe84M>

Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung (IZW): Bat conservation and the energy transition - current challenges: <https://www.youtube.com/watch?v=s5Owe45gipk>

5. Fazit

Mit dem Forschungsprojekt „Berücksichtigung von biologischer Vielfalt und ökosystemarer Funktionsweise als Basis für eine nachhaltige Windenergieproduktion im Wald“ wurde unser Wissen bezüglich der Einflüsse von WEA im Wald auf Biodiversität, im Speziellen: Vögel und Fledermäuse, erheblich erweitert. Wir konnten zeigen, dass beide Tiergruppen sensibel auf WEA reagieren und von diesen verdrängt werden können. Insbesondere konnten wir zeigen:

- Vögel und Fledermäuse werden negativ durch große WEA beeinflusst oder aber durch WEA-Eigenschaften, die mit der Rotorgröße korrelieren.
- Vögel und Fledermäuse sind weniger aktiv, wenn WEA in Betrieb sind. Bei Fledermäusen ist dies nur bei hoher Windgeschwindigkeit der Fall.
- Waldspezialisierte Fledermäuse meiden die Nähe zu WEA über eine Distanz von mindestens 450 m.
- Die Freiflächen, auf denen WEA im Wald errichtet werden, stellen attraktive Habitate für Fledermausarten da, welche aufgrund ihrer Flughöhe einem hohen Risiko ausgesetzt sind, mit WEA-Rotoren zu kollidieren.
- Vögel und Fledermäuse werden stärker vom Strukturreichtum der Vegetation als von WEA-Eigenschaften beeinflusst.
- Ein pauschaler Ausschluss von Waldflächen als WEA-Standorte hätte zur Folge, dass insgesamt mehr WEA benötigt würden, um die energiepolitischen Ziele zu erreichen und dass es zu einem erhöhten Konfliktpotential mit Anwohnenden käme.

Zuvor war wenig zu dem Zielkonflikt zwischen Biodiversität und Windenergie im Wald geforscht worden. Unsere Forschungsergebnisse leisten einen wichtigen Beitrag dazu, eine Forschungslücke zu schließen und unterstützen einen evidenzbasierten, im Sinne des Biodiversitätsschutzes nachhaltigeren WEA-Ausbau. Wir haben verdeutlicht, dass auch im Lebensraum Wald die Interessen des Biodiversitätsschutzes mit denen des Ausbaus von Erneuerbaren Energie leicht in Konflikt geraten können. Das Auflösen dieses Grün-Grün-Dilemmas ist kompliziert und weitere Forschung zu ursächlichen Mechanismen von Verdrängungseffekten werden notwendig sein. Unsere Ergebnisse bieten jedoch bereits Ansatzpunkte für Maßnahmen zum Biodiversitätsschutz bei gleichzeitigem Betrieb von WEA im Wald:

1. Anstatt eines pauschalen Waldausschlusses sollten vorrangig Wälder als WEA-Standorte genutzt werden, die über eine geringe Strukturvielfalt der Vegetation verfügen, z.B. Wälder, die bereits stark durch menschliche Aktivitäten degradiert oder geschädigt wurden. Um Wälder mit geringer Strukturvielfalt standardisiert zu identifizieren, können Fernerkundungsmethoden (z.B. Daten von Sentinel-2) oder Daten der Bundeswaldinventur herangezogen werden.
2. Ausgleichsmaßnahmen für den Bau von WEA im Wald sollten nicht nur die direkten Habitatverluste, sondern auch die indirekten Verluste durch Verdrängungseffekte berücksichtigen.
3. Bei bestehenden Anlagen sollten Möglichkeiten der Nachrüstung in Bezug auf eine Minderung von Geräuschemissionen geprüft werden. Zudem sollten automatisierte Abschaltzeiten für den Fledermausschutz auf die Artgemeinschaft und Bedingungen im Wald angepasst werden.

Literatur

- Barré, K., Le Viol, I., Bas, Y., Julliard, R., & Kerbiriou, C. (2018). Estimating habitat loss due to wind turbine avoidance by bats: Implications for European siting guidance. *Biological Conservation*, 226, 205–214. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.07.011>
- ESA/ European Space Agency (2018). *Copernicus Open Access Hub*. <https://scihub.copernicus.eu/>
- FA Wind. (2023). Entwicklung der Windenergie im Wald: Ausbau, planerische Vorgaben und Empfehlungen für Windenergiestandorte auf Waldflächen in den Bundesländern. 8. Auflage. https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Windenergie_im_Wald/FA-Wind_Analyse_Wind_im_Wald_8Auflage_2023.pdf
- Garthe, S., Schwemmer, H., Peschko, V., Markones, N., Müller, S., Schwemmer, P., & Mercker, M. (2023). Large-scale effects of offshore wind farms on seabirds of high conservation concern. *Scientific Reports*, 13(1), 4779. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31601-z>
- HLNUG/ Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (2019). Windenergie in Hessen. <https://www.hlnug.de/themen/luft/windenergie-in-hessen>
- Jung, C., & Schindler, D. (2018). On the inter-annual variability of wind energy generation – A case study from Germany. *Applied Energy*, 230, 845–854. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.019>
- Katinas, V., Marčiukaitis, M., & Tamašauskienė, M. (2016). Analysis of the wind turbine noise emissions and impact on the environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 825–831. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.140>
- Muñoz Sabater, J. (2019). *ERA5-Land hourly data from 1981 to present*. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). 10.24381/cds.e2161bac
- Pearce-Higgins, J. W., Stephen, L., Langston, R. H. W., Bainbridge, I. P., & Bullman, R. (2009). The distribution of breeding birds around upland wind farms. *Journal of Applied Ecology*, 46(6), 1323–1331. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01715.x>
- Rodrigues, L., Bach, L., Dubourg-Savage, M.-J., Karapandža, B., Kovac, D., Kervyn, T., Dekker, J., Kepel, A., Bach, P., Collins, J., Harbusch, C., Park, K., Micevski, B., & Minderman, J. (2014). *Leitfaden für die Guidelines for consideration of bats in wind farm projects*.
- Roemer, C., Disca, T., Coulon, A., & Bas, Y. (2017). Bat flight height monitored from wind masts predicts mortality risk at wind farms. *Biological Conservation*, 215, 116–122. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.09.002>
- Schöll, E. M., & Nopp-Mayr, U. (2021). Impact of wind power plants on mammalian and avian wildlife species in shrub- and woodlands. *Biological Conservation*, 256, 109037. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109037>
- Thaxter, C. B., Buchanan, G. M., Carr, J., Butchart, S. H. M., Newbold, T., Green, R. E., Tobias, J. A., Foden, W. B., O'Brien, S., & Pearce-Higgins, J. W. (2017). Bird and bat species' global vulnerability to collision mortality at wind farms revealed through a trait-based assessment. *Proceedings. Biological Sciences*, 284(1862). <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.0829>

Anhang

- Programm der Projektabschlussveranstaltung „Biodiversität als Basis für eine nachhaltige Windenergieproduktion im Wald“
- Tagungsband der Projektabschlussveranstaltung „Biodiversität als Basis für eine nachhaltige Windenergieproduktion im Wald“



Online-Workshop, 21.02.2023:

Biodiversität als Basis für eine nachhaltige Windenergieproduktion im Wald

Abschlussveranstaltung eines DBU-Projekts der Philipps-Universität Marburg in Zusammenarbeit mit dem Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung (Leibniz-IZW) und der Universität Leipzig

08:30 - 08:35	Begrüßung: <i>Volker Wachendörfer (DBU)</i>
08:35 - 08:40	Willkommen & Housekeeping: <i>Christian Voigt (Leibniz-IZW)</i>
08:40 - 08:50	<i>Nina Farwig (Uni Marburg)</i> : Windkraft im Wald: Im Spannungsfeld zwischen Naturschutz und Energiewende
Einfluss von Windenergie im Wald auf Vögel	
08:50 - 09:10	<i>Finn Rehling (Uni Marburg)</i> : Einflüsse von Windenergieanlagen in bewirtschafteten Wäldern auf häufige Vogelarten
09:10 - 09:40	<i>Theresa Spatz (Uni Marburg)</i> : Einfluss von Windgeschwindigkeit auf die Aktivität und Flughöhe von Rotmilanen
09:40 - 09:55	<i>Hendrik Reers (OekoFor)</i> : Betriebsmonitoring von Windenergieanlagen im Wald - Auswirkungen auf die Avifauna
09:55 - 10:15	Generelle Diskussion - Moderation: <i>Franziska Peter (Uni Kiel)</i>
10:15 - 10:30	Kaffeepause
Einfluss von Windenergie im Wald auf Fledermäuse	
10:30 - 11:00	<i>Julia Ellerbrok (Uni Marburg)</i> : Auswirkungen von Windenergieanlagen im Wald auf die Aktivität von Fledermäusen verschiedener ökologischer Gilden
11:00 - 11:30	<i>Christine Reusch (Leibniz-IZW)</i> : Interaktionen von Großen Abendseglern mit Windenergieanlagen im Küstenbereich und an waldreichen Binnenstandorten

11:30 - 11:45	<i>Jessica Hillen (Büro für Faunistik und Landschaftsökologie BFL):</i> Quartier- und Raumnutzung von Waldfledermäusen in einem Bestandswindpark
11:45 - 12:00	<i>Frank Adorf (Büro für Faunistik und Landschaftsökologie BFL):</i> Ökologische Anwendung der akustischen Fledermausüberwachung an Windkraftanlagen
12:00 - 12:20	Generelle Diskussion - Moderation: <i>Christian Voigt (Leibniz-IZW)</i>
12:20 - 13:30	Mittagspause
Regulatorische Herausforderungen und Lösungsansätze für eine naturverträgliche Windenergienutzung im Wald	
13:30 - 13:50	<i>Christoph Rheinschmitt (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung):</i> Rechtliche Zulässigkeit der Windenergienutzung auf Waldflächen
13:50 - 14:10	<i>Philip Tafarte (Uni Leipzig):</i> Zielkonflikte bei der Windenergienutzung mit und ohne Wald
14:10 - 14:30	<i>Jessica Weber (TU Berlin):</i> Wie vertragen sich unsere Flächenziele für Windenergie mit Wald unter Dichtezentren-Ansätzen? Ein multikriterielles Szenarien-Modell für Entscheidungsträger
14:30 - 14:50	<i>Holger Ohlenburg (Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende):</i> Naturverträgliche Windenergienutzung auf Waldstandorten – Ansätze zur Vermeidung und Kompensation
14:50 - 15:10	Generelle Diskussion - Moderation: <i>Paul Lehmann (Uni Leipzig)</i>
15:10 - 15:25	Kaffeepause
15:25 - 16:30	Abschlussdiskussion

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

Biodiversität als Basis für eine nachhaltige Windenergieproduktion im Wald

Abschlussveranstaltung eines DBU-Projekts der Philipps-Universität Marburg in
Zusammenarbeit mit dem Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung
(Leibniz-IZW) und der Universität Leipzig

21. Februar 2023

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

INHALTSVERZEICHNIS

ORGANISATOR:INNEN	3
VORTRÄGE	4
Windkraft im Wald: Im Spannungsfeld zwischen Naturschutz und Energiewende	5
Windenergieanlagen in Wirtschaftswäldern verdrängen häufige Vogelarten	6
Einfluss von Windgeschwindigkeit auf die Aktivität und Flughöhe von Rotmilanen	7
Betriebsmonitoring von WEA im Wald - Auswirkungen auf die Avifauna	8
Auswirkungen von Windenergieanlagen im Wald auf die Aktivität von Fledermäusen verschiedener ökologischer Gilden	9
Interaktion von Großen Abendseglern mit Windenergieanlagen im Küstenbereich und an waldreichen Binnenstandorten	10
Quartier- und Raumnutzung von Waldfledermäusen in einem Bestandswindpark	11
Ökologische Anwendung der akustischen Fledermausüberwachung an Windkraftanlagen	12
Rechtliche Zulässigkeit der Windenergienutzung auf Waldflächen	13
Zielkonflikte bei der Windenergienutzung mit und ohne Wald	14
Wie vertragen sich unsere Flächenziele für Windenergie auch im Wald und mit Schwerpunkträumen für den Artenschutz? Ein multi-kriterielles Szenarien-Modell	15
Naturverträgliche Windenergienutzung auf Waldstandorten – Ansätze zur Vermeidung und Kompensation	16

ORGANISATOR:INNEN

Philipps-Universität Marburg
Arbeitsgruppe Naturschutz
Fachbereich Biologie
Karl-von-Frisch-Str. 8
35032 Marburg

Nina Farwig
E-Mail: farwig@uni-marburg.de

Julia Ellerbrok
E-Mail: julia.ellerbrok@biologie.uni-marburg.de

Finn Rehling
E-Mail: finn.rehling@nature.uni-freiburg.de

Universität Leipzig
Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät
Institut für Infrastruktur und Ressourcenmanagement
Ritterstr. 12
04109 Leipzig

Paul Lehmann
E-Mail: lehmann@wifa.uni-leipzig.de

Philip Tafarte
E-Mail: tafarte@wifa.uni-leipzig.de

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät
Institut für Natur- und Ressourcenschutz
Olshausenstr. 75
24118 Kiel

Franziska Peter
E-Mail: franziska.peter@posteo.net

Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung
im Forschungsverbund Berlin e.V.
Alfred-Kowalke-Straße 17
10315 Berlin

Christian C. Voigt
Abteilungsleiter Evolutionäre Ökologie
E-Mail: voigt@izw-berlin.de

Evangelia Layla Mpinou & Josepha Prügel
Leibniz-IZW-Akademie
E-Mail: akademie@izw-berlin.de



UNIVERSITÄT
LEIPZIG



Leibniz-Institut für Zoo-
und Wildtierforschung

IM FORSCHUNGSVERBUND BERLIN E.V.

VORTRÄGE

Windkraft im Wald: Im Spannungsfeld zwischen Naturschutz und Energiewende

PROF. DR. NINA FARWIG

Philipps-Universität Marburg, AG Naturschutz, Karl-von-Frisch-Str. 8, 35043 Marburg

Email: farwig@uni-marburg.de

Deutschland verfolgt das ehrgeizige Ziel, die Energieproduktion bis 2050 vollständig aus erneuerbaren Energien zu decken. Um dieses Ziel zu erreichen, sind bundesweit mindestens zwei Prozent der Landfläche erforderlich, wofür zunehmend Standorte in Wäldern ausgewählt werden. Studien in der Agrarlandschaft haben allerdings gezeigt, dass Windenergieanlagen die Biodiversität gefährden können. Um eine nachhaltige Windenergieproduktion im Wald zu gewährleisten, muss das Gefahrenpotential für die Biodiversität von Windenergieanlagen in Wäldern berücksichtigt werden. Um die wichtigsten Konfliktpunkte und mögliche Lösungsansätze im Spannungsfeld Naturschutz und Energiewende herauszuarbeiten, werden im Rahmen des Workshops aktuelle Ergebnisse aus verschiedenen Forschungsprojekten vorgestellt, welche sich mit dem Einfluss von Windenergieproduktion im Wald auf die Biodiversität und mit den sozioökonomischen Herausforderungen des Windenergieanlagen-Ausbaus beschäftigen.

Windenergieanlagen in Wirtschaftswäldern verdrängen häufige Vogelarten

DR. FINN REHLING^{1,2,3}, JULIA ELLERBROK^{1,4}, ANNA DELIUS¹, PROF. DR. NINA FARWIG¹, DR. FRANZISKA PETER⁵

¹Arbeitsgruppe Naturschutz, Fachbereich Biologie, Philipps-Universität Marburg, Karl-von-Frisch-Str. 8, 35032 Marburg.

²Arbeitsgruppe Tierökologie, Fachbereich Biologie, Philipps-Universität Marburg, Karl-von-Frisch-Str. 8, 35032 Marburg.

³Abteilung Naturschutz und Landschaftsökologie, Fakultät Umwelt und Natürliche Ressourcen, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Tennenbacherstr. 4, 79106 Freiburg.

⁴Abteilung für Evolutionäre Ökologie, Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung (IZW) im Forschungsverbund Berlin e. V., Alfred-Kowalke-Str. 17, 10315 Berlin.

⁵Abteilung für Landschaftsökologie, Institut für Natur- und Ressourcenschutz, Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät, Christian-Albrechts-Universität Kiel, Olshausenstr. 75, 24118 Kiel.

Immer mehr Windenergieanlagen (WEA) werden in Deutschland in Wirtschaftswäldern errichtet. Bisher ist wenig darüber bekannt, ob WEA in Wäldern häufige, nicht durch das Gesetz geschützte Vogelarten verdrängen. Um diese Wissenslücke zu füllen, haben wir mittels Punkt-Stopp-Zählungen ein Singvogelmonitoring in unterschiedlichen Distanzen zu WEA in 24 Wirtschaftswäldern in Hessen, Deutschland, durchgeführt. Unsere Ergebnisse zeigten, dass Vogelmenschen in Wirtschaftswäldern stark mit der Qualität des Waldes, der Jahreszeit der Zählung und dem Rotordurchmesser der WEA zusammenhingen, nicht aber mit der Entfernung zur WEA. Beispielsweise nahm die Anzahl von Vögeln in strukturarmen Wäldern (-38%) und Monokulturen (-41%), sowie in jungen Laubwäldern (-36%) mit großen WEA (-24%) ab. Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass WEA in Wirtschaftswäldern häufige Vögel verdrängen. Allerdings reagierten Vogelmenschen empfindlicher auf lokale Unterschiede in der Qualität von Wäldern als auf Einflüsse der WEA. Um eine weitere Verdrängung von Vögeln in Wirtschaftswäldern zu verhindern, sollten strukturarme Wälder mit niedriger Habitatqualität als Standorte für WEA bevorzugt werden.

Publikation: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116968>

Kontakt:

Dr. Finn Rehling
Tennenbacherstr. 4
79106 Freiburg
E-Mail: finn.rehling@nature.uni-freiburg.de
Tel.: +49 (0)761 203-3630
ORCID iD: [0000-0003-0403-8009](https://orcid.org/0000-0003-0403-8009)
Web of Science ResearcherID: [AAV-2241-2021](https://orcid.org/AAV-2241-2021)



Einfluss von Windgeschwindigkeit auf die Aktivität und Flughöhe von Rotmilanen

DR. THERESA SPATZ

Philipps-Universität Marburg, Fachbereich Biologie, Arbeitsgruppe Naturschutz, Karl-von-Frisch Str. 8, 35043 Marburg

E-Mail: spatz@staff.uni-marburg.de

Um Folgen des Klimawandels zu mindern, hat der Ausbau erneuerbarer Energien, wie z.B. der Bau von Windenergieanlagen (WEA) in den letzten Jahrzehnten stark zugenommen. WEA stellen jedoch insbesondere für hochmobile und großräumig-agierende Arten wie Greifvögel ein Kollisionsrisiko dar. Um effiziente Vermeidungsmaßnahmen zu entwickeln, ist ein besseres Verständnis der Flugaktivität und Flughöhe von Greifvögeln von entscheidender Bedeutung.

Wir analysierten daher die Flugaktivität ($> 3\text{m/s}$) und die Flughöhe von 26 GPS-besenderten, adulten Rotmilanen (*Milvus milvus*) in Hessen, einem der Verbreitungszentren der Art, über einen Zeitraum von drei Jahren. Wir setzten die Flugaktivität und Flughöhe in Beziehung zu den auftretenden Windgeschwindigkeiten in 10 m Höhe über dem Boden und ermittelten den Anteil der Aktivität auf der kritischen Rotorhöhe von in Betrieb befindlichen und derzeit geplanten, höheren WEA im Untersuchungsgebiet.

Die Rotmilane zeigten über die gesamte Spanne der auftretenden Windgeschwindigkeiten eine hohe Flugaktivität unabhängig von der gegebenen Windgeschwindigkeit. Die geringste Flugaktivität zeigte sich bei geringen Windgeschwindigkeiten. Mit zunehmenden Windgeschwindigkeiten nahm auch die Flughöhe zu. Die mittlere Flughöhe der Rotmilane war sehr konstant und nahm erst bei höheren Windgeschwindigkeiten ab. Der Anteil der Flüge auf Rotorhöhe der in Betrieb befindlichen WEA änderte sich mit der Windgeschwindigkeit kaum und lag abhängig von der individuellen Anlagenhöhe bis zu über 50 %. Bei derzeit geplanten, höheren WEA reduzierte sich der Anteil der Flüge auf Rotorhöhe, blieb jedoch auf einem nicht vernachlässigbarem hohen Niveau.

Daher sind auch zukünftig Vermeidungsmaßnahmen unerlässlich für einen nachhaltigen Ausbau der Windenergie. Da ein signifikanter Anteil der Aktivität bei geringen Windgeschwindigkeiten stattfand, könnten durch die Anhebung der Einschalt-Windgeschwindigkeit von WEA wesentliche Teile der Rotmilan-Aktivitäten in Rotorhöhe ohne Kollisionsrisiko stattfinden. Die Anhebung der Einschaltgeschwindigkeiten würde somit den nachhaltigen Ausbau der Windenergie unterstützen und gleichzeitig eine kollisionsgefährdete Vogelart von internationaler Bedeutung aktiv schützen.

Betriebsmonitoring von WEA im Wald - Auswirkungen auf die Avifauna

DR. HENDRIK REERS

OekoFor GbR, Kartäuserstr. 39a, D-79102 Freiburg i. Breisgau

E-Mail: reers@oekofoor.de

In Windparks in Rheinland-Pfalz, Saarland und Hessen wurde mit Hilfe von automatisierten akustischen Erfassungen in 11 Gebieten untersucht, inwieweit bestimmte Vogelarten in Wäldern in der Nähe von WEA ein Meideverhalten zeigen. Im Fokus standen Spechte, Waldkauz und Waldschnepfe, da für diese Arten keine ausreichenden Untersuchungen vorliegen und sie für eine akustische Erfassung geeignet sind. Ergänzend erfolgten für Spechte in einem Windpark eine Revierkartierung und eine Brutplatzsuche.

Für die Auswertung der Datensätze wurden maschinelle Lernverfahren eingesetzt. Das hierfür entwickelte neuronale Netzwerk ist in der Lage, die Geräusche zu identifizieren und einer Vogelart und Vokalisation (z.B. Flugruf des Schwarzspecht) zuzuordnen. Dazu mussten vorab händisch entsprechende Trainingsdatensätze generiert werden. Anhand typischer Frequenzmuster wurden die Vogelarten bestimmt und die Tonaufnahmen entsprechend klassifiziert.

Die Ergebnisse zeigten, dass die Aktivität der Arten bis zu einer Entfernung von 150m zur WEA anstieg. Ab einer Entfernung von 150 m ist dieser Effekt jedoch kaum bis nicht signifikant. Die in einem Windpark durchgeführten Kartierungen durch Ornithologen unterstützen dieses Ergebnis. Dabei ist jedoch unklar, ob die gemessene, geringere Aktivität im Bereich bis 150 m tatsächlich auftritt oder Folge einer Maskierung durch einen höheren Lärmpegel der WEA ist. Eine erhebliche Störung von Nahrungshabitaten ab einer Entfernung von 150 m ist somit für die untersuchten Spechte wenig wahrscheinlich. Für die Rufaktivität des Waldkauzes wurde auch für Entfernungen von mehr als 150 m zur WEA ein leicht signifikanter Effekt mit allerdings nur geringer statistischer Effektgröße festgestellt. Die vorliegenden Ergebnisse lassen eine Einschätzung hinsichtlich des Störungsverbotes (§ 44 Abs. 1 Nr. 2 BNatSchG) nicht zu. Die Methode der automatisierten akustischen Erfassung hingegen ist eine wertvolle Erweiterung bisheriger Erfassungsmethoden.

Generell erscheint es sinnvoll, bei den erforderlichen Kompensationsmaßnahmen im Wald, die Maßnahmen an den Habitatansprüchen baumhöhlenbewohnender Vögel auszurichten, wovon auch zahlreiche andere Arten (insbesondere auch Fledermäuse) profitieren.

Publikation: <https://doi.org/10.19217/skr643>



Auswirkungen von Windenergieanlagen im Wald auf die Aktivität von Fledermäusen verschiedener ökologischer Gilden

JULIA ELLERBROK^{1,2}

¹Philipps-Universität Marburg, AG Naturschutz, Karl-von-Frisch-Str. 8, 35043 Marburg

²Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung, Abteilung für Evolutionäre Ökologie, Alfred-Kowalke-Str. 17, 10315 Berlin

E-Mail: julia.ellerbrok@biologie.uni-marburg.de

Im Rahmen der Energiewende nimmt die Anzahl der Windenergieanlagen in Wäldern aktuell zu, doch die Folgen für die Biodiversität im Wald sind unklar. Insbesondere Fledermäuse könnten von Lebensraumverlust und Verdrängung durch Windenergieanlagen im Wald betroffen sein, da viele Fledermäuse ihre Tagesquartiere oder Jagdlebensräume in Waldökosystemen haben.

Wir untersuchten an 22 Waldstandorten im Hessischen Mittelgebirge die akustische Aktivität von Fledermäusen in der Nähe von Windenergieanlagen. Im Rahmen eines Impact-Gradient-Designs erfassten wir an jedem Untersuchungsstandort entlang eines 450 m langen Transekts die Aktivität von Fledermäusen mit Hilfe automatischer Ultraschalldetektoren. Darüber hinaus ermittelten wir an jedem Erfassungsstandort die Habitatstruktur. Bei der Analyse der akustischen Aufnahmen wurde basierend auf den Echoortungsrufen zwischen Fledermäusen folgender funktioneller Gilden unterschieden: Offenraumjäger, Randstrukturjäger und Waldspezialisten. Über statistische Modelle wurde der Einfluss von Entfernung und Größe der Windenergieanlagen auf die Fledermausaktivität der Gilden unter Berücksichtigung der verschiedenen Habitateigenschaften geprüft.

Wir fanden heraus, dass sich eine strukturreiche Vegetation innerhalb des Waldes positiv auf die Aktivität von Fledermäusen aller Gilden auswirkte. Jedoch zeigte sich, dass sich die Aktivität von Waldspezialisten (insbesondere *Myotis* spp.) unabhängig von lokalen Habitatstrukturen innerhalb des Waldes in Richtung der Windenergieanlage halbierte, insbesondere bei Anlagen mit großen Rotoren. Darüber hinaus stellten wir fest, dass Freiflächen rund um Windenergieanlagen attraktiv auf Offenraumjäger und Randstrukturjäger wirkten.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass Windenergieanlagen im Wald potenziell waldspezialisierte Fledermäuse verdrängen und damit einen indirekten Habitatverlust für Fledermäuse dieser Gilde bedeuten. Dieser indirekte Habitatverlust sollte dadurch kompensiert werden, dass entsprechend große, strukturreiche Waldflächen aus der Nutzung genommen werden. Unsere Ergebnisse zeigen darüber hinaus, dass die Freiflächen um Windenergieanlagen anziehend auf Offenraumjäger und Randstrukturjäger wirken, was zu einer höheren Aktivität von Fledermäusen an Windenergieanlagen im Wald und zu einem erhöhten Kollisionsrisiko dieser Fledermausarten führen könnte. Eine mögliche Maßnahme zur Risikominderung wäre eine striktere Betriebssteuerung, was den Energieertrag von Windenergieanlagen an Waldstandorten reduzieren würde.

Publikation: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14249>



Interaktion von Großen Abendseglern mit Windenergieanlagen im Küstenbereich und an walddreichen Binnenstandorten

CHRISTINE REUSCH^{1,*}, STEPHANIE KRAMER-SCHADT^{1,2}, ANA A. PAUL^{1,3}, MAYA LOZAR^{1,3}, MARCUS FRITZE¹, CHRISTIAN C. VOIGT^{1,3}

¹Leibniz Institute for Zoo and Wildlife Research, Alfred-Kowalke-Str. 17, 10315, Berlin, Germany

²Institute of Ecology, Technische Universität Berlin, Rothenburgstr. 12, 12165, Berlin

³Institute of Biology, Freie Universität Berlin, Takustr. 6, 14195, Berlin, Germany

*E-Mail: reusch@izw-berlin.de

In Deutschland wird die Windenergieerzeugung vor allem an der Küste und in Wäldern ausgebaut. Küstengebiete sind insbesondere für migrierende Fledermäuse als Migrationskorridore von Bedeutung und in Wäldern befinden sich die Tagesquartiere vieler Arten, daher kann der Ausbau der Windenergie an der Küste und in Wäldern mit dem Fledermausschutz in Konflikt geraten. Wir haben das Bewegungsverhalten von mehr als 70 Großen Abendseglern (*Nyctalus noctula*) mit Hilfe von leichtgewichtigen GPS-Sendern erfasst, um die räumlichen Interaktionen einer Fledermausart mit hohem Kollisionsrisiko in küstennahen Landschaften und an von Wäldern dominierten Binnenlandstandorten zu beleuchten. Am Küstenstandort analysierten wir die Flugpfade von 11 Großen Abendseglern auf der Grundlage von >6.000 Positionen und am Waldstandort im Binnenland die von 60 Individuen auf der Basis von >8.000 Positionen. Wir verwendeten verschiedene räumliche Ansätze, um Rückschlüsse auf die bevorzugten und gemiedenen Landschaftsmerkmale in Wechselwirkung mit Windenergieanlagen zu ziehen. Am Binnenstandort waren Große Abendsegler besonders an solchen Windenergieanlagen im Wald aktiv, die sich näher als 500 m an einem Tagesquartier befanden. Dieser Umstand könnte dazu führen, dass Anlagen in der Nähe von Fledermausquartieren häufiger abgeschaltet werden müssen, um das Kollisionsrisiko zu verringern. Jenseits der Tagesquartiere beobachteten wir an beiden Untersuchungsstandorten, dass die Mehrheit der Fledermäuse Windenergieanlagen über Entfernungen von mehreren Kilometern mied. Dies geschah unabhängig von der Habitatstruktur in der Umgebung der Anlagen. Deshalb könnten Geräuschemissionen der Windenergieanlagen für dieses Meideverhalten verantwortlich sein. In aktuellen Genehmigungsverfahren wird das Meideverhalten von Fledermäusen gegenüber Windenergieanlagen nicht berücksichtigt. Das Meideverhalten kann jedoch zu einem erheblichen Lebensraumverlust durch den Betrieb von Windenergieanlagen führen. Dieser meidungsbedingte Lebensraumverlust sollte über Kompensationsmaßnahmen zukünftig berücksichtigt werden. Turbinenbedingte Lebensraumverluste können für betroffene Fledermäuse kritisch werden, wenn die Dichte der Windenergieanlagen hoch ist.

DOI zugehöriger Veröffentlichungen:

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114715>

<https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.12.050>

Quartier- und Raumnutzung von Waldfledermäusen in einem Bestandwindpark

FRANK ADORF¹, THOMAS GRUNWALD¹, JANNIS GOTTWALD², ANNA JENAL¹, MIRIAM BENNING¹, JESSICA HILLEN^{1,*}

¹Büro für Faunistik und Landschaftsökologie, Burg Layen 1, 55452 Rummelsheim

²Fachbereich Geographie, Philipps-Universität Marburg, info@trackit-system.de

*E-Mail: jessica.hillen@bflnet.de

Die hier vorgestellte Studie zeigt den aktuellen Kenntnisstand zur Quartier- und Raumnutzung zweier Waldfledermausarten, hier vorrangig Mopsfledermaus und Bechsteinfledermaus, in einem Bestandwindpark. Der seit mehr als 15 Jahren in Betrieb befindliche Windpark umfasst sowohl Anlagen im Waldbestand als auch im angrenzenden Offenland. Es handelt sich um Anlagen mit Nabenhöhen zwischen 85 m und 113 m. Das Büro für Faunistik und Landschaftsökologie führte im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) 2020-2021 umfangreiche Erfassungen zur Phänologie kollisions-gefährdeter Arten wie auch zur Raumnutzung von Waldfledermäusen mittels Bioakustik, Netzfang und automatisierter Telemetrie durch. Hier werden aus dieser UVS die Ergebnisse zu den Aspekten Quartiernutzung im Wald sowie deren Raumnutzung gezeigt, d.h. die Fledermausaktivität im nahen Umfeld um die Bestandsanlagen, am Beispiel besonderer Tiere aus vier Arten (Bechsteinfledermaus, Mopsfledermaus, Kleinabendsegler und Braunes Langohr). Zu den wichtigsten Erkenntnissen zählt die Erfassung von Baumquartieren im Nahbereich zwischen 50 m und 300 m um die Anlagenstandorte. Mopsfledermaus- und Bechsteinfledermausweibchen nutzten Quartiere in minimal 71 m Abstand zu Bestandsanlagen, Kleinabendseglerweibchen in minimal 213 m Abstand. Die Wochenstube des Braunen Langohrs wurde in rund 1400 m Abstand verortet. Die Raumnutzung wurde sowohl in händischer Telemetrie mittels Kreuzpeilung als auch automatisiert mittels fest installierter Telemetriestationen (tRackIT-System) untersucht. Beide Methoden zeigten übereinstimmend Erkenntnisse zur Bedeutung von Sommerlebensräumen als Streifgebiet, Transferflugbereich oder Kernjagdgebiet im Nahbereich von Windenergieanlagen für die untersuchten Waldfledermausarten.

Ökologische Anwendung der akustischen Fledermausüberwachung an Windkraftanlagen

FRANK ADORF^{1*}, THOMAS GRUNWALD¹, KATHRIN JÄCKEL¹, CARSTEN BRAUN¹, LIAM BAILEY², KSENIJA KRAVCHENKO^{1,3*}

¹Büro für Faunistik und Landschaftsökologie BFL, Burg-Layen 1, 55452 Rummelsheim, Germany

²Leibniz Institute for Zoo and Wildlife Research IZW, Alfred-Kowalke- Str. 17, 10315 Berlin, Germany

³University of Lausanne, CH-1015 Lausanne, Switzerland

*E-Mail: frank.adorf@bflnet.de
kсениia.a.kravchenko@gmail.com

Die akustische Überwachung von Fledermäusen ist eine gängige Praxis bei der Umweltrisikobewertung von Windkraftanlagen. Sie dient dazu, das Risiko von Fledermauskollisionen abzuschätzen und den Algorithmus für die Einschränkung von Windkraftanlagen anzupassen. Zusätzlich kann das akustische Fledermausmonitoring auch eine wertvolle Quelle für Informationen über die Phänologie der Fledermäuse sein. Der rapide Klimawandel beeinflusst die Phänologie vieler Arten erheblich. Die Fähigkeit, Umweltreize zu erkennen und darauf zu reagieren, ist für das Überleben der Arten von entscheidender Bedeutung, da sie Auswirkungen auf die Fitness haben. Allerdings haben wir für viele Fledermausarten nur begrenzte Kenntnisse über ihre spezifischen Reaktionen auf jährliche Wetterschwankungen.

Um dieses Problem zu lösen, haben wir die Langzeitdaten von 185 Windenergieanlagen in Südwestdeutschland analysiert. Dabei wurden alle akustischen Aufzeichnungen auf standardisierte Weise erfasst und ausgewertet. Auf Grundlage dieser Daten untersuchten wir mehrjährige Muster der saisonalen Aktivität von sesshaften und ziehenden Arten. Unsere Ergebnisse zeigen, dass der Höhepunkt der akustischen Aktivität von *Pipistrellus pipistrellus* im Juli lag, während *Pipistrellus nathusii* im September am häufigsten auftrat. Diese Spitzenwerte haben wir mit saisonalen Ereignissen wie Brut und Migration in Verbindung gebracht. Obwohl die Aktivitätsspitzen zeitlich und räumlich schwankten, wurde bei *P. nathusii* und *P. pipistrellus* eine allgemeine Verschiebung hin zu späteren Aktivitätsspitzen im Herbst festgestellt.

Zusätzlich haben wir die Phänologie in Abhängigkeit von der Art der Lebensräume geschätzt, wobei wir Offenland und Waldgebiete berücksichtigt haben. Unsere Studie verknüpft die Umweltbedingungen mit dem zeitlichen Verlauf des saisonalen Ereignisses und öffnet die Tür für Studien zur phänologischen Fehlanpassung bei Fledermäusen. Darüber hinaus werfen unsere Ergebnisse ein Licht auf potenzielle Hinweise, die von Fledermäusen genutzt werden könnten, um das Timing der saisonalen Ereignisse anzupassen. Praktisch gesehen zeigen wir, wie standardisierte akustische Überwachungsdaten in der Forschung zum Klimawandel genutzt werden können. Obwohl das akustische Fledermausmonitoring seine Grenzen hat, liefert die standardisierte Art der Datenerfassung an einer zunehmenden Zahl von Windkraftanlagen eine wachsende Menge an Daten. Die regelmäßige Analyse dieser Langzeit-Monitoringdaten eignet sich für Vergleiche und Prognosen in ökologischen Studien.

Rechtliche Zulässigkeit der Windenergienutzung auf Waldflächen

CHRISTOPH RHEINSCHMITT

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ Leipzig, Permoserstraße 15, 04138 Leipzig

E-Mail: christoph.rheinschmitt@ufz.de

Die Flächen für die Windenergienutzung sind knapp, so dass in einigen Bundesländern vermehrt auf Waldflächen zurückgegriffen wird. Die Bedeutung der Waldflächen für die Windenergienutzung ist daher gestiegen. Gleichzeitig befindet sich der Klimaschutz in einem Spannungsfeld mit dem Waldschutz. Für die Frage der rechtlichen Zulässigkeit von Windenergieanlagen im Wald sind zunächst die planerischen Grundlagen der Landnutzung für Windenergie in den Blick zu nehmen. Die Windenergienutzung erfolgt in der Regel auf zuvor planerisch ausgewiesenen Flächen. Des Weiteren spielen sowohl auf der Planungs- als auch auf der Zulassungsebene im Rahmen des immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahrens die zwingenden Vorgaben des Naturschutzrechts eine Rolle, weil Waldflächen vielfach als Schutzgebiete im Sinne des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG) ausgewiesen sind und auch sehr viele Natura 2000-Gebiete in Waldgebieten liegen. Auch streng geschützte Arten befinden sich häufig in Waldgebieten, sodass eine Prüfung des besonderen Artenschutzrechts nach §§ 44 ff. BNatSchG geboten ist. Darüber hinaus haben die Bundesländer eigene spezifische Regelungen für Windenergieanlagen in Waldgebieten in ihren Landeswaldgesetzen aufgestellt. Während einige, vor allem solche mit einem hohen Waldanteil, zur Erreichung ihrer Energiewende- und Klimaziele generell Windparks im Wald zulassen, halten andere Bundesländer ihre Wälder davon frei.

Zielkonflikte bei der Windenergienutzung mit und ohne Wald

PHILIP TAFARTE^{1,2}

¹Universität Leipzig, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Institut für Infrastruktur und Ressourcenmanagement, Ritterstr. 12, 04109 Leipzig, Raum 210a
Tel. ++49-341-97 33608
E-Mail: tafarte@wifa.uni-leipzig.de

²Gastwissenschaftler am Department Ökonomie, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ, Department Ökonomie, Permoserstraße 15, 04318 Leipzig, Haus 1, Raum 001, www.ufz.de
E-Mail: philip.tafarte@ufz.de

Der pauschale Ausschluss von Wald fand in vielen Bundesländern einen breiten Einsatz als Instrument um den Windenergieausbau an Land räumlich zu steuern und ungewünschte Umweltauswirkungen im Ökosystem Wald zu vermeiden. Während man dieses Ziel durch einen pauschalen Ausschluss von Waldstandorten möglicherweise erreicht, können damit jedoch Zielkonflikte verursacht werden, etwa aufgrund der deutlichen Einschränkung der Ausbaupotenziale für die erneuerbare Energieerzeugung als auch die Verschiebung von Windkraftanlagenstandorte in die Nähe von Siedlungen. Somit stellt sich die Frage welche weiteren gesellschaftlichen Auswirkungen mit dem pauschalen Ausschluss von Waldstandorten verbunden sein können.

In einer räumlich expliziten Modellierung untersuchen wir anhand von fünf ausgewählten Nachhaltigkeitskriterien inwiefern Zielkonflikte mit dem pauschalen Ausschluss der Windenergienutzung in Wäldern verbunden sein können und dadurch negative Effekte auf andere Schutzgüter oder Standorte verschoben werden.

Wie vertragen sich unsere Flächenziele für Windenergie auch im Wald und mit Schwerpunkträumen für den Artenschutz? Ein multi-kriterielles Szenarien-Modell

M.SC. JESSICA WEBER

Technische Universität Berlin (TU Berlin), Straße des 17. Juni 135, 10623 Berlin

E-Mail: j.weber@campus.tu-berlin.de

Angesichts der Energie- und Biodiversitätskrise treten zunehmend *Trade-offs* zwischen der Energieversorgung durch Erneuerbare Energien und dem Biodiversitätsschutz auf. Insbesondere die Flächenkonkurrenz mit anderen Landnutzungen, ein verändertes Landschaftsbild und mögliche Auswirkungen auf Arten und Lebensräume führen zu vielfältigen Abwägungsfragen. Im Zuge der Flächensicherung für Windenergie wurden bisher viele Gebiete durch eine weitgehende Negativplanung ausgeschlossen (z.B. Abstände zu Siedlungen, Landschaftsschutzgebiete). Dies führte jedoch anhand der teilweise nicht mehr hinreichenden Flächen für den Ausbau der Windenergie zu Diskussionen, ob die energie- und klimapolitischen Ziele zukünftig erreicht werden können. Mit dem Windenergiebedarfsgesetz sollen nun landesspezifische Flächenziele für die Windenergie im Sinne einer Positivplanung erreicht werden. In einigen Bundesländern sind weitere Planungskriterien bekannt, wie z.B. die Berücksichtigung des Artenschutzes bereits auf der Planungsebene und nicht erst auf der Genehmigungsebene über Ansätze zu „Schwerpunkträumen“ für Vogelarten. Dabei handelt es sich in der Regel um Flächen mit hoher Habitateignung und Brutvorkommen. Bei Planungsansätzen, die Energie- und Artenschutzziele gleichermaßen über Planungskriterien berücksichtigen, können jedoch Unsicherheiten hinsichtlich der gegenseitigen Effekte auf Flächenbedarf und Zielerreichung auftreten. Um Entscheidungsträger und Verfahrensbeteiligte zu unterstützen, ausreichende Flächen für die Energiewende zu identifizieren, die es jedoch derzeit mit der verzwickten Aushandlung und Abwägung derartiger Nachhaltigkeitskonflikte nicht leicht haben, haben wir einen multi-kriteriellen Szenariorahmen entwickelt und analysiert. Dazu wurde auf Techniken der *intuitive logic scenario*-Methode zurückgegriffen, sowie ein Habitatmodell zu Schwerpunkträumen für den Artenschutz integriert. Es zeigt sich, dass so Kosten und Nutzen von Abwägungsentscheidungen in der Windenergieplanung, z.B. in Bezug auf den Flächenbedarf und Waldflächen, quantifiziert und transparent im Sinne einer Mehrzieloptimierung bewertet werden können.

Das Projekt wurde im DBU-geförderten Promotionsvorhaben „Chancen und Grenzen einer Mehrzieloptimierung bei der Standortsuche für Erneuerbare Energieträger unter Berücksichtigung der Sustainable Development Goals (SDGs)“ und in Zusammenarbeit mit dem DBU-Projekt „Schwerpunkträume für den Artenschutz“ (TU Berlin, BOKU Wien, ARSU GmbH, FA Wind) durchgeführt.

Eingereichte Publikation: Weber, Jessica; Steinkamp, Tim; Reichenbach, Marc (2023): Is there room for two? - A multi-criteria scenario framework to model the energy-species-land nexus for regional renewable energy planning.

Naturverträgliche Windenergienutzung auf Waldstandorten – Ansätze zur Vermeidung und Kompensation

HOLGER OHLENBURG

Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende KNE gGmbH, KNE c/o Scaling Spaces, Cuvrystraße 53, Haus F, 10997 Berlin, www.naturschutz-energiewende.de

Zur Erreichung der Klimaschutzziele soll die Windenergienutzung in Deutschland deutlich ausgebaut werden. Ziel der Bundesregierung ist eine Verdopplung der installierten Windenergieleistung bis 2030 auf dann zirka 115 Gigawatt. Für Windenergieanlagen an Land sollen dafür bundesweit durchschnittlich zwei Prozent der Landesfläche bereitgestellt werden. Um dies zu erreichen und den Ausbau zu beschleunigen, wurden 2022 auf Bundesebene bereits umfangreiche Gesetze verabschiedet, die auch Änderungen beim Natur- und Artenschutz mit sich bringen. Durch die Energiekrise in Folge des Ukrainekrieges und dem Bestreben Deutschlands (und der EU), sich möglichst schnell von russischen fossilen Energielieferungen unabhängig zu machen, sollen weitere folgen.

In den Bundesländern mit hohen Waldanteilen werden bereits seit einigen Jahren Windenergieanlagen auf Waldstandorten realisiert. Vor dem Hintergrund der Ausbau- und Beschleunigungsziele ist in diesen Ländern davon auszugehen, dass Forstflächen auch weiterhin für die Windenergienutzung verfügbar gemacht werden, weil nicht ausreichend geeignete bzw. konfliktarme Offenlandstandorte zur Verfügung stehen. Auch in weiteren Ländern werden Waldflächen zukünftig stärker als potenzielle Standorte in den Blick genommen.

Insbesondere vor dem Hintergrund, dass Wälder zahlreiche Schutz- und Nutzfunktionen erfüllen und auch in der Klimakrise von zunehmender Bedeutung sind, ist umso dringlicher eine möglichst naturverträgliche Planung, Umsetzung und Betrieb der Windenergienutzung auf Waldstandorten notwendig. Möglichkeiten zur Vermeidung und Verminderung von natur- und artenschutzrechtlichen Konflikten bestehen sowohl auf planerischer Ebene als auch auf Ebene der Zulassung. Unvermeidbare Beeinträchtigungen müssen zudem naturschutzrechtlich und waldrechtlich kompensiert werden. Im Vortrag werden die unterschiedlichen Ansätze zur Vermeidung und zur Kompensation bei der Windenergienutzung auf Waldstandorten dargestellt. Dabei wird auch der Kontext mit den aktuellen rechtlichen Entwicklungen zur Beschleunigung des Windenergieausbaus hergestellt, einschließlich der damit verbundenen Herausforderungen und Chancen.



©: KNE gGmbH

Herausgeber: Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung (Leibniz-IZW)
im Forschungsverbund Berlin e.V.
Alfred-Kowalke-Straße 17
10315 Berlin

Bearbeitung und Layout: Evangelia Layla Mpinou, Josepha Prügel