



Auswirkungen von Windkraftanlagen im Wald auf Säugetiere und Vögel

Eine Literaturrecherche

WWF Österreich

Mai 2022

Impressum

Erstellt von WWF Österreich | Karin Enzenhofer, Magdalena Bauer

Fachbetreuung vonseiten der Universität für Bodenkultur Wien durch Dr.nat.techn. Eva Maria Schöll und Ass.Prof. DI. Dr.nat.techn. Ursula Nopp-Mayr, Department für Integrative Biologie und Biodiversitätsforschung, Gregor-Mendel Straße 33, 1180 Wien

Kontakt: Karin Enzenhofer karin.enzenhofer@wwf.at | Eva Maria Schöll eva.schoell@boku.ac.at

Stand: Mai 2022

Vorliegender Bericht basiert auf

Schöll EM, Nopp-Mayr U. 2021. Impact of wind farms on forest-dwelling mammalian and avian wildlife species. Biological Conservation Volume 256, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109037>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320721000896>

Inhalt

Vorwort	4
WWF-Position und Kriterien für Windenergie im Wald	5
Zusammenfassung der Studie.....	7
Ausgangssituation	8
Zielsetzung und Methoden	10
Ergebnisse.....	11
Veränderungen des Lebensraumes durch Errichtung einer Windkraftanlage	12
Veränderungen des Lebensraumes durch akustische und visuelle Reize.....	12
Veränderungen des Lebensraumes durch erhöhte Mortalitätsrisiken.....	13
Auswirkungen von Windkraftanlagen im Wald auf Säugetiere	14
Veränderung des Verhaltens hinsichtlich Habitatwahl und Aktivität	14
Kollisionsbedingte Mortalität bei Fledermäusen.....	15
Auswirkungen von Windkraftanlagen im Wald auf Vögel	15
Veränderung des Verhaltens hinsichtlich Habitatwahl und Aktivität	15
Kollisionsbedingte Mortalität bei Vögeln.....	16
Auswirkungen von Windkraftanlagen im Wald auf weitere Tiergruppen	16
Wissenslücken.....	17
Studiendesign und Datenaufnahme	18
Lösungsansätze und Empfehlungen für den Windkraftbau im Wald	19
Standortwahl der Windkraftanlagen	19
Einschränkung der Betriebszeiten und farbliche Markierung der Windkraftanlagen	19
Literaturverzeichnis	20

Vorwort

Die Begrenzung der Klimaerhitzung auf einen durchschnittlichen Anstieg der globalen Oberflächentemperatur von 1,5 Grad Celsius ist nicht nur international, sondern auch national eine der größten gesellschaftlichen Herausforderungen der nächsten Jahre und Jahrzehnte. Gleichzeitig und gleichwertig ist der immer dramatischer voranschreitenden Biodiversitätskrise mit massiven Verlusten an Arten, Populationen und Lebensräumen zu begegnen. Österreich als hoch entwickelter, reicher Industriestaat steht in der Pflicht seine globale Verantwortung wahrzunehmen und mit entsprechenden Zielen, Strategien, Maßnahmen und daraus folgenden Treibhausgasreduktionen zum Klimaschutz beizutragen. (WWF, 2018) Bisher hat Österreich hier völlig versagt, die Treibhausgas-Emissionen sind auf gleicher Höhe wie 1990.

Der WWF Österreich hat dazu in den vergangenen Jahren wesentliche Lösungsvorschläge zur Transformation des Energiesystems erarbeitet. Die wichtigste Klimaschutzmaßnahme, insbesondere in Industriestaaten (wie Österreich), ist die **Reduktion des Energieverbrauches** und damit einhergehend die **Vermeidung von Emissionen**. Zusätzlich ist eine 100 Prozent erneuerbare Energiezukunft mit einem breiten Mix aus nachhaltigen erneuerbaren Energiequellen notwendig. Jede erneuerbare Energie muss dabei entsprechend sozialer und ökologischer Kriterien (sowie nach dem Kriterium der Wirtschaftlichkeit) ausgebaut und bereitgestellt werden. Denn die notwendige verstärkte Nutzung von erneuerbaren Energien kann auch negative Auswirkungen auf die Natur verursachen. Vorausschauende Planung, naturschutzfachlich definierte No-Go-Zonen sowie die frühzeitige Einbindung aller gesellschaftlichen Gruppen ist wichtig, um ein gutes Miteinander von Natur und Energieversorgung zu ermöglichen. **Es darf zu keinem weiterem Verlust an wertvollen Lebensräumen, keiner weiteren Beeinträchtigung gefährdeter Arten und von Schutzgebieten und keinem Nettoverlust von natürlicher, un bebauter Fläche kommen.** Das gilt auch für alle indirekten Effekte durch Änderungen bzw. Verschiebungen der Landnutzung und Auswirkung im Herstellungsland bei Energieimporten.

Der WWF beschäftigt sich schon seit vielen Jahren mit der Frage, wie eine nachhaltige Windkraftnutzung gestaltet werden kann und muss. Hierfür wurde im Zuge der Erstellung eines umfangreichen Positionspapiers zur naturverträglichen Nutzung von Windkraftanlagen ein Acht Punkte-Programm entwickelt (WWF, 2013), das aktuell überarbeitet wird. Da aufgrund der großen Waldbedeckung Österreichs Windkraftprojekte zukünftig auch im Wald Relevanz haben werden, sieht der WWF Österreich die Notwendigkeit, Erfahrungen und Expertisen aus Projekten und anderen Ländern zusammenzuführen und einen **Überblick über den aktuellen Kenntnisstand der Auswirkungen von Windkraftanlagen im Wald auf Säugetiere und Vögel** zu bieten. Dementsprechend wurde eine Forschungsstudie beauftragt, die eine Meta-Analyse bestehender Studien zu den Auswirkungen von Windkraftanlagen auf wildlebende Tiere im Wald durchführt. Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse dieser Metaanalyse zusammen.

WWF-Position und Kriterien für Windenergie im Wald

Ein naturverträglicher Ausbau der Windenergie ist möglich und notwendig, da die Windkraft zum Erreichen der Ziele der Energiewende benötigt wird.

Dabei ist der Ausbau von Windenergie im Wald nicht grundsätzlich auszuschließen, denn das könnte die langfristigen Ausbauziele, insbesondere in den walddreichen Bundesländern gefährden. Der Ausbau muss aber auf naturferne Forste begrenzt bleiben. Für einen naturverträglichen Ausbau der Windenergie im Wald müssen jedoch die Auswirkungen auf waldbewohnende Arten, Naturschutz und Landschaftsbild besonders sensibel behandelt werden. Die vielfältigen Funktionen des Waldes (Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktion) müssen bewahrt und die Verletzbarkeit des Ökosystems (z.B. Verdichtung der Waldböden, Verlust des Waldinnenklimas) muss berücksichtigt werden.

Insbesondere naturferne Wälder mit niedrigem naturschutzfachlichem Wert wie z. B. reine Fichtenmonokulturen mit hohem Erschließungsgrad kommen als Standorte für Windenergieanlagen in Betracht. (WWF Deutschland, 2019)

Da die Auswirkungen von Windkraftanlagen in Wäldern nicht ausreichend erforscht und die bisherigen Ergebnisse eher widersprüchlich sind, ist bei der Standortauswahl große Sorgfalt und Rücksicht auf die regionalen Gegebenheiten zu nehmen. Eine (am besten österreichweit nach einheitlichen Kriterien durchgeführte) Zonierung in Ausschluss-Zonen, Eignungszonen und Vorrangzonen soll rasch und unter Einbeziehung von Naturschutzexpert*innen der Länder, des Bundes und von Umweltschutzorganisationen sowie den Gemeinden durchgeführt werden. Diese Zonierung ist durch eine Strategische Umweltprüfung (SUP) abzusichern.

Ausschluss-Zonen

Ausschluss-Zonen müssen klar, nach naturschutzfachlichen Kriterien und in einem transparenten Prozess definiert und **rechtlich vor Verbauung geschützt** werden. Die zuständigen Behörden werden auch Ausschlusszonen auf Basis von Abstandsregelungen zu Gebäuden oder anderen Kriterien erlassen, die nicht Gegenstand unseres Positionspapieres sind. Die Erfahrung zeigt, dass diese Ausschlusszonen wesentlich größere Flächen betreffen als die bestehenden Naturschutzflächen.

Als Ausschlussgebiete in Wäldern sind folgende Flächen festzulegen:

- Wälder in Schutzgebieten der Kategorien Nationalparks, Wildnisgebiete und Naturschutzgebiete.
- Darüber hinaus sind Ur- und Naturwälder auszuschließen. Auch Landschaftsteile, die der Vernetzung wertvoller Lebensräume dienen, wie zum Beispiel Wildtierkorridore oder Alt- und Totholzverbundsysteme in Wäldern.

Eignungszonen

In Eignungszonen können Projekte eingereicht werden, die wie üblich nach dem UVP-Verfahren zu prüfen sind. Sind in einer Region mehrere Windparks geplant muss auch die Summenwirkung berücksichtigt werden.

Alle Flächen, die keine Ausschluss- oder Vorrangzonen sind, sind als Eignungszonen zu definieren. Hier können Windkraft-Projekte **nach positiven Umwidmungs- und Genehmigungsverfahren (UVP)** errichtet werden.

Eignungszonen in denen besondere Vorsicht geboten ist:

- In Natura-2000-Gebieten, Biosphärenreservaten, UNESCO-Welterbe-Gebieten, Ramsar-Gebieten (Feuchtgebiete von internationaler Bedeutung), Landschaftsschutzgebieten sowie im Bereich von regionalen und überregionalen Wildtierkorridoren sind Windkraft-Projekte nur auf jenen Teilflächen zuzulassen, in denen nach einer strengen Prüfung feststeht, dass keine Schutzziele und Schutzgüter gefährdet sind. Diese Prüfung muss vergleichbar einer Naturverträglichkeitsprüfung für Natura-2000-Gebiete erfolgen.

Vorrangzonen

In Vorrangzonen sind **sofort (auch ohne eingereichte Projekte) naturschutzfachliche Untersuchungen durchzuführen** um eine Projektierung und UVP möglichst zu unterstützen und eine Entscheidung rasch, aber ohne Qualitätsverlust, zu ermöglichen. Diese Vorrangzonen sind vom Bundesland (natürlich in Abstimmung mit den Gemeinden) als überörtliche Widmungsfestlegung ersichtlich zu machen, wodurch ein zusätzliches Widmungsverfahren durch die Gemeinde hinfällig wird, und trotzdem eine umfassende Betrachtung durch die UVP gewährleistet ist. Das kann wesentlich zu einer Verfahrensbeschleunigung ohne einen Qualitätsverlust in der Prüfung beitragen.

Das heißt, dass am ehesten artenarme Monokulturstandorte mit möglichst bestehenden Zufahrtswegen in Lagen ohne Zugkorridore (Vögel, Fledermäuse, Säugetiere) für Windkraftanlagen geeignet sind. Diese Flächen müssen genau erfasst werden und hier können Vorrangzonen definiert werden.

Außerdem sind folgende Punkte zu beachten:

- Eine neue oder auch nur zusätzliche Öffnung von Wäldern durch Zufahrtsstraßen und Lager- bzw. Bauplätze ist nur in begründeten Ausnahmefällen zuzulassen.
- Der Flächenverbrauch ist auf ein Minimum zu reduzieren.
Durch die Errichtung von Windkraftanlagen in bereits gut erschlossenen Gebieten wird das Ausmaß von benötigter Infrastruktur (Wegenetz, Stromnetz) reduziert und Lebensraumverlust und -fragmentierung verhindert.
- Einschränkungen des Betriebes sind einzuplanen/festzulegen.
Eine Betriebseinschränkung bei niedrigen Windgeschwindigkeiten führt zu deutlich weniger tödlichen Kollisionen mit Fledermäusen, da die Aktivität von Fledermäusen an warmen, windschwachen Tagen erhöht ist. Darüber hinaus müssen die Haupt-Migrationszeiträume einbezogen werden.
- Windräder werden farblich markiert.
Durch die farbliche Markierung der Windräder, z.B. durch das Schwärzen eines Rotorblattes, geht die Sterblichkeit vor allem bei Greifvögeln stark zurück (May R. et al., 2020).
- Bei der Errichtung einer Windkraftanlage wird ein standardisierter Monitoringprozess etabliert.
Um die Forschung im Bereich Windkraft und dessen Auswirkungen zu unterstützen und voranzutreiben, werden relevante Daten erhoben und gesammelt.

Zusammenfassung der Studie

Um die schlimmsten Folgen der Klimakrise zu verhindern muss die Erderhitzung auf 1,5 Grad Celsius gegenüber vorindustriellen Werten beschränkt werden. Dazu braucht es, laut aktuellem Weltklimabericht (IPCC, 2022) bis 2050 eine wirksame Reduktion der **weltweiten** Treibhausgas-Emissionen um 84 Prozent (im Vergleich zu 2010). **Das bedeutet vor allem einen deutlich sparsameren Umgang mit Energie und eine zügige Umgestaltung des derzeitigen Energiesystems, weg von fossilen hin zu naturverträglichen erneuerbare Energiequellen.** Für eine nachhaltige Energiezukunft und einen wirksamen Klimaschutz muss Österreich zur Gänze mit regionalen, erneuerbaren Energien versorgt werden. Gleichzeitig ist es dabei äußerst wichtig die wertvollen Naturschätze des Landes zu bewahren. Das heißt konkret, dass **die Nutzung der Energiequellen mit den größten potentiellen Naturschutzkonflikten, wie Wasserkraft und Biomasse, nicht mehr gesteigert werden darf. Bei allen anderen erneuerbaren Energiequellen ist ein unterschiedlich großer Ausbau notwendig, der klare Naturschutzkriterien einzuhalten hat.**

Verglichen mit anderen europäischen Ländern nimmt Österreich in Bezug auf die Nutzung erneuerbarer Energieträger bereits eine Führungsposition ein. Durch die forcierte Nutzung von erneuerbaren Energien und der damit einhergehenden Suche nach zusätzlichen Standorten wurde die Errichtung von Windkraftanlagen in Wäldern oder entlang von Bergrücken in den letzten Jahren attraktiv. Der Sicherstellung der Naturverträglichkeit kommt beim Ausbau eine entscheidende Rolle zu. Während eine Vielzahl von Studien die Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Wildtiere im Offenland untersuchte, wurde in bewaldeten Gebieten bisher wenig zu diesem Thema geforscht. Um den Verlust der biologischen Vielfalt aufhalten zu können, ist es jedoch von grundlegender Bedeutung, die Auswirkungen menschlicher Aktivitäten auf Wildtiere und ihre Lebensräume zu erfassen und zu verstehen.

Leider bestehen durch die geringe Anzahl an Publikationen, die sich dem Einfluss von Windkraftanlagen im Wald auf Säugetiere und Vögel widmen, noch große Wissenslücken. Eine aktuelle Analyse wissenschaftlicher Studien (Schöll & Nopp-Mayr, 2021) zeigt jedoch bereits, dass ein Großteil der im Wald lebenden Wildtiere auf unterschiedliche Weise (z.B. Verhalten, Vorkommensdichten, Kollisionen) von Windkraftanlagen beeinflusst wird. Die Folgen für Wildtiere können positiv und negativ sein und sind unter anderem stark von artspezifischen Lebensraumsprüchen, (jahreszeitlichen) Lebensabschnitten und damit einhergehendem Verhalten (Migration, Fortpflanzung etc.) abhängig. Direkte Sterblichkeit durch Kollision mit Windturbinen und dazugehöriger Infrastruktur ist ein offensichtliches Problem, das in Zusammenhang mit der Errichtung von Windkraftanlagen auftritt. Darüber hinaus kann Windkraftbau zu Habitatverlust und -fragmentierung führen, unter anderem wenn Flächen in der Nähe von Windkraftanlagen durch Arten weniger genutzt oder gänzlich gemieden werden.

Um mögliche negative Auswirkungen von Windkraftanlagen im Wald auf wildlebende Tiere zu reduzieren, müssen bereits bei der Wahl des Standortes erste Maßnahmen getroffen werden. Eine Einschränkung der Betriebszeiten während Migrationsereignissen von Vögeln und Fledermäusen kann zu einer Reduktion der Anzahl von Kollisionen führen. Darüber hinaus kann eine kurzfristige Abschaltung von Windkraftanlagen bei niedrigen Windgeschwindigkeiten das Risiko von Fledermauskollisionen deutlich verringern. Da die Leistung von Windkraftanlagen überproportional von der Windgeschwindigkeit beeinflusst wird, ist die Abschaltung bei niedrigen Windgeschwindigkeiten nicht mit großen Einbußen vonseiten der Windanlagenbetreibenden verbunden. Die farbliche Markierung von Rotorblättern und Windkraftmasten scheint einen positiven Einfluss auf die Anzahl der Kollisionen zu haben. Es bestehen jedoch noch große Wissenslücken bezüglich der Risikominimierung von Kollisionen, vor allem auf Grund von Schwierigkeiten bei der Datenerhebung, da das

Auffinden von Totfunden unter Windrädern von vielen Faktoren (u.a. Kadavergröße, Vegetationsbedeckung) abhängig ist.

Deshalb sollte jede zusätzliche, neu gebaute Windkraftanlage, die in Wäldern errichtet wird, für die Erhebung weiterer Daten genutzt werden, um Erkenntnisse über die Auswirkungen von Windkraftanlagen im Wald auf Wildtiere ausbauen zu können. Sowohl Datenaufnahmen als auch sorgfältig ausgewählte Studiendesigns sind notwendig, um langfristig die Reaktionen von Wildtieren auf Windkraftbau im Wald untersuchen und verstehen zu können.

Ausgangssituation

Neben der Reduktion des Energieverbrauchs ist der Ausbau von erneuerbaren Energien eine wichtige Maßnahme für den Klimaschutz. In Österreich bestanden z.B. im Jahr 2020 etwa 85 Prozent der inländischen Primärenergieerzeugung aus erneuerbare Energien (siehe Abbildung 1, Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 2021). Zwei Drittel unserer gesamten Energieversorgung bestehen immer noch aus fossilen Energieträgern, die importiert werden. Nur ein Drittel des Gesamtenergieverbrauches in Österreich wird von erneuerbaren Energien abgedeckt (siehe Abbildung 1).

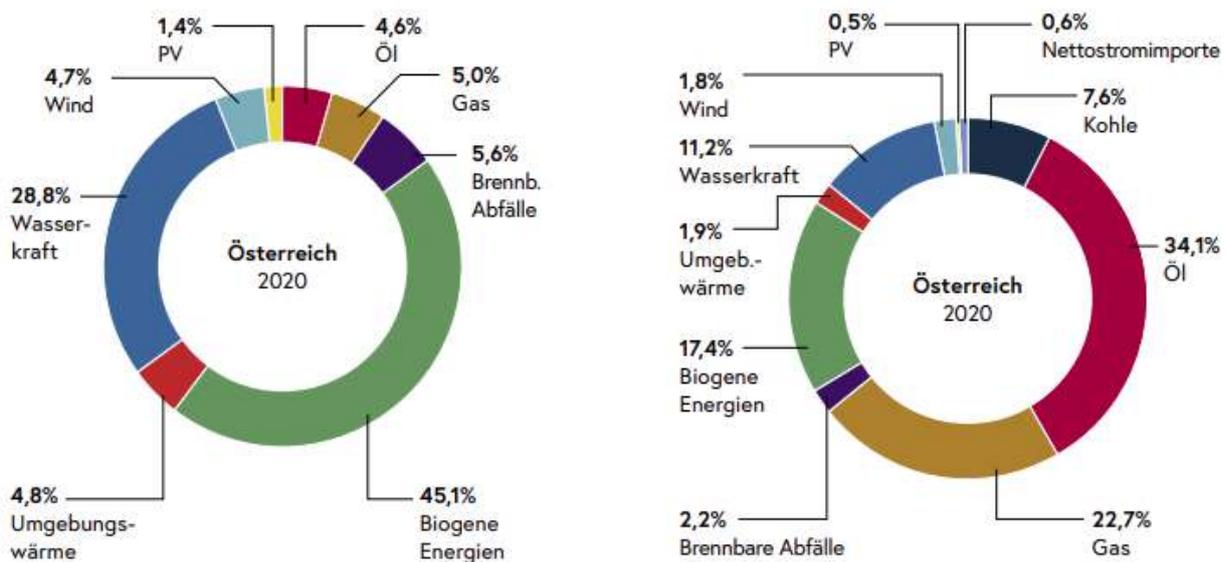


Abbildung 1: Anteile der Energieträger an der Primärenergieerzeugung (links) und dem Bruttoinlandsverbrauch (rechts) in Österreich (Quelle: . Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 2021)

Im europäischen Vergleich nehmen erneuerbare Energieträger in Österreich bereits einen überdurchschnittlich hohen Stellenwert ein (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 2021).

Zum Erreichen der Ziele der Energiewende tragen neben Wasserkraft und Bioenergie (gewonnen aus biogenen Brenn- und Treibstoffen und fester Biomasse) auch Photovoltaik und Windkraft bei (siehe Abbildung 2). Vor allem in den letzten 10 Jahren ist der Anteil der Windenergie zur österreichischen Stromerzeugung deutlich angestiegen (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 2021).

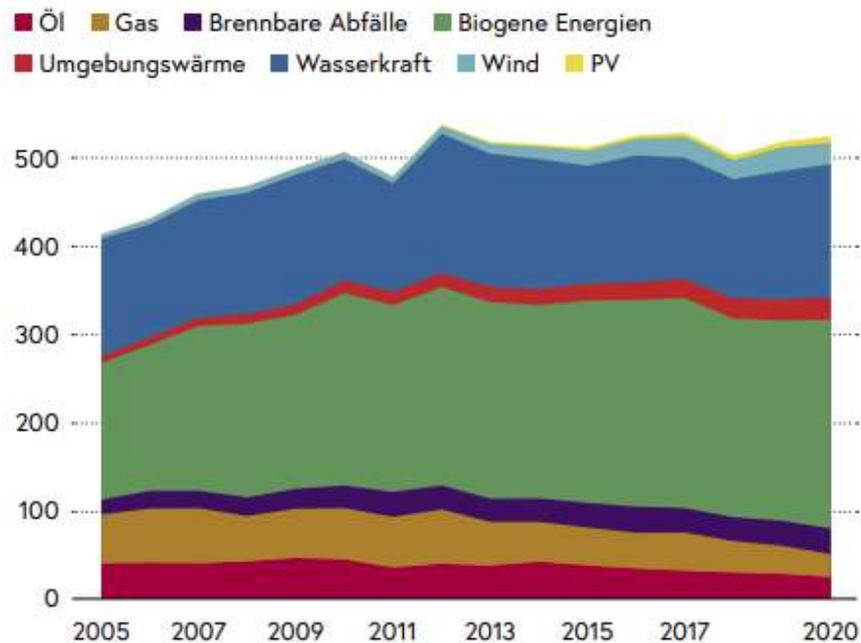


Abbildung 2: Entwicklung der Primärenergieerzeugung aus erneuerbaren Energien in Österreich nach Energieträger in Petajoule (Quelle: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 2021)

Während in den letzten Jahrzehnten Windkraftanlagen vor allem im Offenland (Grünland und Ackerbau) errichtet wurden, rücken bei der Suche nach weiteren geeigneten Standorten auch Waldflächen in zunehmendem Ausmaß in den Fokus. Erhebungen der Fachagentur „Windenergie an Land“ (2017) aus Deutschland zeigen, dass der Anteil der Windenergieanlagen in Wäldern aktuell bei nur etwa 5 Prozent liegt. Allerdings wurden fast 82 Prozent dieser Windparks zwischen den Jahren 2010 und 2016 installiert, was auf eine rasante Entwicklung des Ausbaus in Waldstandorten in jüngerer Zeit hindeutet (FA Wind, 2017; siehe auch Bunzel et al., 2019). Darüber hinaus scheinen hochgelegene, alpine Landschaften ein hohes Potential für die Windenergieproduktion zu bieten (Winkelmeier et al., 2014; Hastik et al., 2015). Der Ausbau der Windenergie muss jedoch immer naturverträglich erfolgen, und in sensiblen Gebieten mit erhöhter Vorsicht stattfinden, um negative Auswirkungen auf die Artenvielfalt zu vermeiden.

In einer Vielzahl wissenschaftlicher Studien wird der Einfluss von Windenergie auf unterschiedliche Tierarten untersucht. Diese Studien beziehen sich vor allem auf Standorte in weitläufige Agrarlandschaften, wohingegen es noch deutliche Wissenslücken über die Auswirkungen auf die Tierwelt in Waldlebensräumen und alpinen Landschaften gibt. Darüber hinaus fehlt bislang eine zusammenfassende Analyse der Erkenntnisse von Windkraftanlagen im Wald.

Zielsetzung und Methoden

Im Rahmen eines vom WWF Österreich finanzierten Forschungsprojektes wurde an der Universität für Bodenkultur Wien untersucht, inwieweit Einflüsse von Windkraftanlagen im Wald auf dort lebende Säugetier-, Vogel- und Insektenarten in der wissenschaftlichen Literatur dokumentiert sind. Aufbauend auf Erkenntnisse, die im Rahmen einer systematischen Literaturrecherche gewonnen wurden, wurde abschließend diskutiert, inwieweit Windkraftanlagen im Wald aus ökologischer Sicht vertretbar sind.

Die systematische Literatursuche ist eine weitverbreitete Methode, um Kenntnisse aus der Wissenschaft zu bewerten und zusammenzufassen. Objektivität und Transparenz bei der Erarbeitung darauf aufbauender Schlussfolgerungen sind von größter Notwendigkeit, da Entscheidungen auf Grundlage der vorliegenden Daten gezogen werden (Collaboration for Environmental Evidence, 2013). Für die Erstellung von systematischen Literaturrecherche stehen Richtlinien zur Verfügung, deren Einhaltung eine Wiederholbarkeit gewonnener Erkenntnisse gewährleistet (Pullin & Stewart, 2006).

Die Recherche wurde mithilfe zweier Datenbanken für wissenschaftliche Literatur durchgeführt. Die Beschränkung auf wissenschaftliche Literatur fand statt, da Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Zeitschriften einer Qualitätskontrolle (engl. *peer-review process*) unterliegen, wohingegen Berichte im Rahmen von Windkraftbau zwar mitunter wichtige Ergebnisse liefern können, aber vor der Veröffentlichung nicht von anderen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus dem spezifischen Forschungsbereich auf Validität geprüft werden.

Um die Auswahl der Publikationen sinnvoll einzugrenzen, wurden für das Projekt relevante Suchbegriffe ausgewählt und kombiniert. Die Suchwörter umfassten Begriffe aus den Bereichen Windkraft, Waldlebensräume und Wildtiere, sowie direkte und indirekte Einflüsse. Eine detaillierte Beschreibung der Vorgehensweise und die Ergebnisse der Literaturrecherche wurden in einer international anerkannten wissenschaftlichen Zeitschrift veröffentlicht (für Details zur Literaturrecherche siehe Schöll & Nopp-Mayr, 2021).

Ergebnisse

Insgesamt wurden im Rahmen der Literaturrecherche 928 Artikel gefunden (Stand 23.04.2020). Nach einer ersten Sichtung der Zusammenfassungen und Volltexte mussten 901 Artikel von der weiteren Begutachtung ausgeschlossen werden, da u.a. Standorte der Windkraftanlagen nicht detailliert beschrieben waren oder im Offenland lagen. Der Einfluss von Windkraftanlagen im Wald auf Wildtiere wurde in den verbliebenen 27 Artikeln dokumentiert.

Innerhalb einzelner Veröffentlichungen wurden teilweise mehrere Untersuchungen durchgeführt (siehe Abbildung 3). In einem Großteil der Veröffentlichungen wurden Vorkommensdichten, Aktivitäten und Anwesenheit von Vögeln (n = 10 Artikel) und Säugetieren (n = 13 Artikel) an Windkraftstandorten untersucht. Deutlich weniger Studien (n = 8 Artikel) erfassten den Einfluss von Windkraftanlagen auf das Kollisionsrisiko bzw. Flugverhalten von Vögeln und Fledermäusen; und in lediglich zwei Studien wurde der Einfluss von Windkraftanlagen auf Artenzusammensetzungen von Vögeln und Kleinsäugetern untersucht. Es konnten keine Veröffentlichungen gefunden werden, die sich mit dem Einfluss von Windkraftanlagen auf im Wald lebende Invertebraten beschäftigten.

	Negativer Effekt	Positiver Effekt	Konträrer Effekt	Kein Effekt
Habitatwahl, Vorkommensdichte, Aktivität				
	Zeiler & Grünschachner-Berger 2009; Dorka et al. 2014; Gonzáles et al. 2016; Fernández-Bellon et al. 2019; Coppes et al. 2020b	Łopucki et al. 2017	De Lucas et al. 2008; Garcia et al. 2015; Lemaître & Lamarre 2020	De Lucas et al. 2005
	Apoznański et al. 2018; Barré et al. 2018	Horn et al. 2008; Foo et al. 2017		
	Skarin et al. 2015; Sirén et al. 2016; Skarin & Alam 2017; Skarin et al. 2018		Łopucki et al. 2017; Sirén et al. 2017	De Lucas et al. 2005; Łopucki & Mrol 2016; Tsegaye et al. 2017
Biodiversität				
				Battisti et al. 2016
				Łopucki & Mrol 2016
Kollisionen, Flugverhalten				
	Barrios & Rodriguez 2004; De Lucas et al. 2008; Johnston et al. 2014		De Lucas et al. 2005	
	Horn et al. 2008; Arnett et al. 2011; Pylant et al. 2016; Apoznański et al. 2018;			

Abbildung 3: Überblick der Veröffentlichungen, in welchen der Einfluss von Windkraftanlagen auf Vögel , Fledermäuse  und terrestrische Säugetiere  untersucht wurde (n = 27) (Schöll & Nopp-Mayr, 2021).

Im Rahmen einer weiteren Studie wurde die Aktivität von Fledermäusen während unterschiedlicher Jahreszeiten und Wetterbedingungen an einem Windkraftstandort untersucht (Reynolds, 2006). Da die Datenerhebung lediglich nach Errichtung der Windkraftanlagen stattfand und keine Vergleiche mit Kontrollflächen durchgeführt wurden, konnten direkte Einflüsse von Windkraftanlagen auf die Fledermausaktivität nicht untersucht werden, weshalb diese Studie nicht in Abbildung 3 aufgelistet ist.

Veränderungen des Lebensraumes durch Errichtung einer Windkraftanlage

Der Bau von Windkraftanlagen zieht generell Veränderungen in Lebensräumen nach sich, denn Flächen werden für die Errichtung von Windrädern, aber auch der dazu gehörenden Infrastruktur verbaut (Diffendorfer et al., 2019). Das Ausmaß der Modifikationen ist jedoch stark davon abhängig, in welchem konkreten Lebensraum die Windkraftanlagen errichtet werden. Maßgeblich ist unter anderem, inwieweit notwendige Strukturen (z.B. Wegenetz, Stromnetz, Wettermasten) bereits am geplanten Standort vorhanden sind. Deshalb sind Anlagen, die im Offenland (Grünland und Ackerbau) errichtet werden, oftmals mit deutlich geringeren Lebensraumveränderungen verbunden als Windparks, die inmitten von Wäldern oder entlang von Bergrücken gebaut werden (Diffendorfer & Compton, 2014).

Die mit Windkraftanlagen einhergehenden Veränderungen der Lebensräume vieler waldbewohnender Tierarten beziehen sich nicht nur auf den Zeitraum der Errichtung der Windräder (Sirén et al., 2016), sondern auch auf den darauffolgenden Betrieb der Anlagen (Skarin et al., 2015). In unzugänglichen Gebieten ist zudem im Vorfeld der Bau bzw. Ausbau von Straßen unumgänglich. Regelmäßige Störungen durch verstärkte menschliche Präsenz (ganzjährige Wartung, aber auch vermehrte sekundäre Nutzung durch Tourismus und Erholungssuchende (Zeiler & Grünschachner-Berger, 2009)) entlang des Wegenetzes treten somit schon vor der eigentlichen Errichtung der Windräder auf. Nach Abschluss der Bautätigkeiten werden Straßen oftmals nicht zurückgebaut, da das Wegenetz für laufende Instandhaltungsarbeiten benötigt wird. Für Wildtiere kann der Bau (inklusive dazugehöriger Infrastruktur) und Betrieb von Windkraftanlagen deshalb zu Lebensraumverlust und -fragmentierung führen (Battisti et al., 2016). Im Folgenden werden die Wirkungspfade auf Lebensraumebene dargestellt.

Veränderungen des Lebensraumes durch akustische und visuelle Reize

Erste Untersuchungen zeigen, dass akustische und visuelle Reize (z.B. Schattenwurf, Rotorblattbewegung) Wildtiere beeinflussen können (Bayne et al., 2008; Zwart et al., 2016; Skarin et al., 2018). Verkehrslärm kann sich z.B. negativ auf die Anwesenheit von Vogelarten (z.B. Buschland-Schnäppertyrann *Empidonax oberholseri*, Wanderdrossel *Turdus migratorius*) auswirken (McClure et al., 2013). Der Einfluss von Infrastruktur (z.B. Straßen, Stromtrassen und Windkraftanlagen) auf die Anwesenheit von Säugetieren und Vögel ist jedoch stark vom Lebensraum abhängig und nimmt mit steigender Entfernung ab (Benitez-Lopez et al., 2010). Infrastruktur im Offenland wird über größere Entfernungen als in bewaldeten Gebieten gemieden, was auf die geringere Sichtbarkeit der Infrastruktur in bewaldeten Gebieten zurückzuführen sein könnte (Benitez-Lopez et al., 2010).

Für manche Tierarten wurden bereits Schwellenwerte bestimmt, in welchen Entfernungen der Einfluss von Windkraftanlagen im Wald auf Vogel- und Säugetierarten nachgewiesen werden konnte (siehe Abbildung 4). Auswirkungen auf die Vorkommenshäufigkeit von im Wald lebenden Vogelarten waren in einem Umkreis von 100 m (bei Singvögeln, z.B. Kohlmeise *Parus major*, Wintergoldhähnchen *Regulus regulus*, Fernández-Bellon et al., 2019), bzw. 650 m (bei Auerhuhn *Tetrao urogallus*, Coppes et al., 2020b) nachweisbar. Die Aktivität von Fledermäusen (z.B. Kleiner Abendsegler *Nyctalus leisleri*, Barré et al., 2018) bzw. die Bewegungsmuster von Rentieren *Rangifer tarandus* (Skarin et al., 2015) waren in einem Umkreis von 1 bzw. 5 km um Windkraftstandorte beeinflusst.

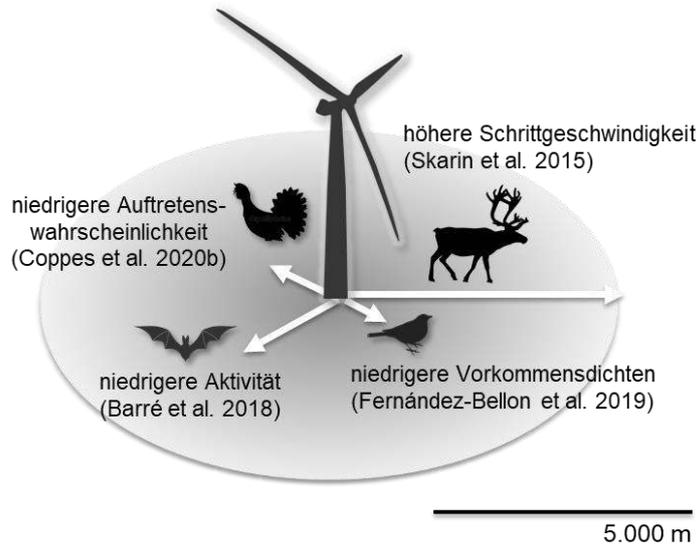


Abbildung 2: Dokumentiere Entfernungen des Einflusses von Windkraftanlagen auf waldbewohnende Vogel- und Säugetierarten (Schöll & Nopp-Mayr, 2021).

Veränderungen des Lebensraumes durch erhöhte Mortalitätsrisiken

Während markante Strukturen, wie z.B. Windräder, dem Menschen besonders auffällig erscheinen, kommt es bei Fledermäusen (Hayes, 2013; Thompson et al., 2017) und Vögeln (Drewitt & Langston, 2008; Loss et al., 2013; Erickson et al., 2014) häufig zu Kollisionen mit Windkraftanlagen (Martin, 2011). Mortalitätsursachen an Windrädern umfassen sowohl Kollisionen mit sich bewegenden und stationären Turbinenblättern als auch mit Windkraftmasten (Smallwood & Bell, 2020). Darüber hinaus können Kollisionen an Wettermasten, Gebäuden und Stromleitungen (Bevanger, 1998; Rioux et al., 2013) auftreten; allesamt künstliche Strukturen, welche für den Betrieb von Windkraftanlagen benötigt werden. Zudem können neben Vögeln und Fledermäusen auch terrestrisch lebende Wildtiere mit Fahrzeugen kollidieren (z.B. Familie Hirsche, Cervidae, Steiner et al., 2014; Ha & Shilling, 2018), die das Wegenetzes während der Baumaßnahmen oder für Instandhaltungsarbeiten nutzen.

Die vielfältigen Einflüsse von Windkraftanlagen auf waldbewohnende Säugetier- und Vogelarten werden im Folgenden detaillierter beschrieben und veranschaulicht.

Auswirkungen von Windkraftanlagen im Wald auf Säugetiere

Veränderung des Verhaltens hinsichtlich Habitatwahl und Aktivität

Terrestrische Säugetiere

Ein Großteil der Publikationen untersuchte, inwieweit Windkraftanlagen im Wald das Verhalten von Säugetieren beeinflussen. Während ein Teil der Studien zeigen konnte, dass der Bau von Windkraftanlagen zu einer Veränderung in der Wahl und Nutzung des ursprünglichen Lebensraumes mancher Arten, z.B. Rentieren, führte (Skarin et al., 2015; Sirén et al., 2016; Łopucki et al., 2017; Sirén et al., 2017; Skarin & Alam, 2017; Tsegaye et al., 2017; Skarin et al., 2018), scheint die Habitatwahl anderer Arten (z.B. Waldmäuse *Apodemus* spp.) nicht vom Windkraftbau beeinflusst zu sein (De Lucas et al., 2005; Łopucki & Mroz, 2016).

Es wird vermutet, dass der Einsatz von schwerem Gerät während der Errichtung der Windkraftanlagen eine Störung für manche Wildtiere darstellt, weshalb Flächen in der Nähe der Windräder gemieden werden (Skarin et al., 2015; Sirén et al., 2016). Darüber hinaus können sich akustische Faktoren (Baugeräusche, Geräuschemissionen laufender Windräder) auf die Bewegungsmuster vieler Tierarten auswirken, da Feindvermeidung (z.B. bei Reh *Capreolus capreolus*, Feldhase *Lepus europaeus*) oder Jagderfolg (z.B. Rotfuchs *Vulpes vulpes*) beeinflusst sein können (Łopucki et al., 2017).

Das Ausmaß der Auswirkungen von Windkraftanlagen auf die Habitatwahl kann auch stark von jahreszeitlichen Aspekten abhängen. Vor allem während der Aufzucht der Jungtiere im Frühjahr werden Flächen in Windkraftnähe gemieden (z.B. Rentier *Rangifer tarandus*, Tsegaye et al., 2017). Es wird vermutet, dass sich im Besonderen während dieser sensiblen Phase sowohl akustische als auch visuelle Reize (verursacht durch Windturbinen) störend auswirken (Tsegaye et al., 2017; Skarin et al., 2018) und Habitatfragmentierung nach sich ziehen (Skarin et al., 2015; Skarin & Alam, 2017).

Doch während einige Arten in ihrer Habitatwahl negativ von Windkraftanlagen beeinflusst werden (siehe oben), können andere davon profitieren, da durch die Habitatveränderungen der Zugang zu neuen Lebensräumen erleichtert wird. Entlegene Gebiete können so zum Beispiel unter anderem durch den Bau von Straßen erreichbar werden (z.B. von Kojoten *Canis latrans* und amerikanischen Rotfüchsen *Vulpes fulva*, Sirén et al., 2017). Im Zuge der Besiedlung neuer Lebensräume kann es jedoch zu verstärkter Konkurrenz um vorhandene Nahrungsressourcen kommen (Sirén et al., 2017). Im Laufe der Zeit können sich Arten auch an veränderte Umgebungen anpassen, indem sie ihr Meideverhalten reduzieren und sich an Windkraftanlagen gewöhnen (Perrow, 2017). Das scheinbar unveränderte Verhalten von Wildtierarten darf jedoch nicht als fehlende Reaktion auf die Errichtung der Windkraftanlage interpretiert werden (Cockrem, 2007). Selbst einige Jahre nach Inbetriebnahme weisen hohe Kortisol-Werte auf erhöhten physiologischen Stress in der Nähe von Windkraftanlagen hin (z.B. Europäischer Dachs *Meles meles*, Agnew et al., 2016) und machen deutlich, dass eine Gewöhnung an neue Umweltbedingungen nicht immer stattfindet (z.B. Feldmaus *Microtus arvalis*, Łopucki et al., 2018).

Fledermäuse

Windkraftstandorte können von verschiedenen Fledermausarten als Nahrungs- und Rasthabitat genutzt werden (Horn et al., 2008; Foo et al., 2017). Die Nahrung scheint unter anderem in der Rotorzone aufgenommen zu werden (z.B. Weißgraue Fledermaus *Lasiurus cinereus*, Foo et al., 2017). Ob Windkraftanlagen jedoch eine anziehende Wirkung auf Fledermäuse haben, ist noch nicht hinreichend belegt und scheint von den Lebensraumanforderungen einzelner Arten abzuhängen (siehe Apoznański et al., 2018). So konnte unter anderem nachgewiesen werden, dass die Aktivität von anderen Fledermausarten in der Nähe von Windkraftanlagen im Wald reduziert ist. Tritt bei stark von Waldflächen abhängigen Arten

aktive Meidung von Flächen mit Windkraftanlagen auf, führt die Errichtung eben dieser in Lebensräumen zu Habitatverlust. (z.B. Mausohrfledermäuse *Myotis* spp., Barré et al., 2018).

Kollisionsbedingte Mortalität bei Fledermäusen

Mit der Nutzung der Windkraftanlagen gehen auch tödliche Kollisionen mit Windturbinenblättern einher (Arnett et al., 2011; Foo et al., 2017; Apoznański et al., 2018). Vor allem in Nächten mit geringen Windgeschwindigkeiten, in welchen die Aktivität von Insekten besonders hoch ist, gibt es viele Kollisionen von Fledermäusen mit Windrädern (Horn et al., 2008). Die erhöhte Anzahl der Totfunde steht in direktem Zusammenhang mit einer verstärkten Aktivität der Fledermäuse an warmen Tagen mit geringen Windgeschwindigkeiten (während der Migration: Reynolds, 2006; während der Nahrungsaufnahme: Horn et al., 2008).

Es konnte nachgewiesen werden, dass getötete Fledermäuse sowohl aus lokal ansässigen als auch nicht-lokalen Populationen stammen (Pylant et al., 2016). Abgesehen von direkten Kollisionen mit Turbinenblättern wurden auch andere Mortalitätsursachen dokumentiert. Eine Studie an Fledermauskadavern ergab, dass Gewebeschäden an inneren Organen (z.B. Lunge) durch raschen Luftdruckabfall in der Nähe von sich bewegenden Turbinenschaufeln eine Hauptursache für Todesfälle bei Fledermäusen sind („Barotrauma“, Baerwald et al., 2008).

Auswirkungen von Windkraftanlagen im Wald auf Vögel

Veränderung des Verhaltens hinsichtlich Habitatwahl und Aktivität

Die Habitatwahl von im Wald lebenden Vogelarten kann vom Bau und Betrieb von Windkraftanlagen beeinflusst werden. Während manche Arten Windkraftflächen meiden (z.B. Waldschnefpe *Scolopax rusticola*, Dorka et al., 2014; Auerhuhn *Tetrao urogallus*, González et al., 2016), halten sich andere in unmittelbarer Nähe auf (z.B. Fasan *Phasianus colchicus*, Łopucki et al., 2017). Ein niedriger Prädationsdruck in der Nähe von Windkraftanlagen kann unter anderem dazu führen, dass Windkraftstandorte für manche Arten hinsichtlich dieses spezifischen Aspektes auch positive Effekte bringen (Łopucki et al., 2017).

Nicht nur der Bau von Windkraftanlagen verursacht Störungen (Lemaître & Lamarre, 2020), auch der Betrieb von Windkraftanlagen (und damit verbunden Schattenwurf und Drehgeräusche) kann sich negativ auf die Lebensraumwahl auswirken (Coppes et al., 2020b). Deshalb scheinen vor allem Flächen in direkter Nähe zu Windkraftanlagen z.B. von Singvogelarten (Kohlmeise *Parus major*, Tannenmeise *Periparus ater*, Buchfink *Fringilla coelebs*, Wintergoldhähnchen *Regulus regulus*, Bicknelldrossel *Catharus bicknelli*) gemieden zu werden (Fernández-Bellon et al., 2019; Coppes et al., 2020b; Lemaître & Lamarre, 2020).

Störungen während der Errichtung der Windkraftanlagen führen bei einigen Singvogelarten (z.B. Ringeltaube *Columba palumbus*, Rotkehlchen *Erithacus rubecula*) zu rückläufigen Populationstrends (Garcia et al., 2015). Steigende Populationstrends in den Jahren nach Fertigstellung der Windräder zeigen jedoch, dass die Erhaltung der Singvogelbestände nicht grundsätzlich durch Windkraftbau bedroht ist (Garcia et al., 2015).

Veränderungen in der Zusammensetzung von Vogelarten-Gemeinschaften im Wald konnten bislang nicht nachgewiesen werden (De Lucas et al., 2005; Battisti et al., 2016). Es wird jedoch vermutet, dass Auswirkungen nicht erfasst werden konnten, da die Lebensraumveränderungen in Zusammenhang mit dem Bau der Windkraftanlagen im betreffenden Untersuchungsgebiet gering waren (unter zehn Prozent des Lebensraumes waren modifiziert, Battisti et al., 2016).

Neben direkten Veränderungen des Lebensraumes (z.B. durch Rodung oder Versiegelung von Flächen), können auch Faktoren ausschlaggebend sein, die indirekt mit der Errichtung von Windkraftanlagen einhergehen, wie z.B. eine verstärkte Freizeitnutzung durch die Erschließung von bislang schwer zugänglichen Gebieten (Zeiler & Grünschachner-Berger, 2009).

Kollisionsbedingte Mortalität bei Vögeln

Neben Fledermäusen laufen auch Vögel Gefahr, mit Windrädern zu kollidieren. Während hoch über dem Grund fliegende Vogelarten (z.B. Steinadler *Aquila chrysaetos*, Johnston et al., 2014) für gewöhnlich mit Rotorblättern kollidieren, sind niedrig fliegende Arten vor allem von Kollisionen mit Windrattürmen betroffen (z.B. Birkhuhn *Lyrurus tetrix*, Zeiler & Grünschachner-Berger, 2009; Coppes et al., 2020a). Die Abundanz erfasster Vogelarten an Windkraftstandorten steht nicht notwendigerweise in direktem Zusammenhang mit der Anzahl der Kollisionen bzw. der Totfunde. Die Wahrscheinlichkeit mit Windkraftanlagen zu kollidieren ist vielmehr stark vom Flugverhalten einzelner Vogelarten (Smallwood et al., 2009; Marques et al., 2014), sowie der Lebensraumwahl im Jahresverlauf (Barrios & Rodríguez, 2004; De Lucas et al., 2008) beeinflusst. So konnte z.B. beobachtet werden, dass Greifvögel während der Migration die Rotorzone der Windturbinen meiden (Johnston et al. 2014). Die intensive Nutzung der Windkraftstandorte während des Brutzeitraums zur Nahrungssuche kann jedoch erhöhte Kollisionsrisiken nach sich ziehen (Barrios & Rodríguez, 2004; Johnston et al., 2014). Zusätzliche Kollisionsopfer können auch unter Hochspannungsleitungen oder entlang des Wegenetzes gefunden werden, welche im Rahmen des Windkraftbaus erstellt werden (Lovich & Ennen, 2013; Jones et al., 2015).

Auswirkungen von Windkraftanlagen im Wald auf weitere Tiergruppen

Die Errichtung von Windkraftanlagen kann Auswirkungen auf Bodenqualität und Vegetation haben (Tang et al., 2017) und sollte deshalb auch einen Einfluss auf in Bodennähe lebende Organismen haben. Obwohl im Rahmen der systematischen Literaturrecherche gezielt nach Studien gesucht wurde, die sich mit dem Einfluss von Windkraftanlagen auf im Wald lebende Invertebraten beschäftigen, scheinen diesbezüglich keine detaillierten Untersuchungen vorzuliegen.

Windkraftanlagen in Berggebieten haben auch das Potential, die Wasserqualität und Hydrologie zu beeinträchtigen (Millidine et al., 2015). Somit können auch Süßwasser-Ökosysteme, die eine Vielzahl von Tierarten (u.a. Makroinvertebraten, Fische, Amphibien) beherbergen, vom Bau von Windkraftanlagen beeinflusst werden. Im Rahmen einer Studie konnte nachgewiesen werden, dass die Rufaktivität von männlichen Geburtshelferkröten *Alytes obstetricans* während der Paarungszeit von Vibrationen beeinflusst ist, welche von Windturbinen erzeugt werden (Caorsi et al., 2019). Eine Reduzierung der Rufaktivität hat einen negativen Einfluss auf den Fortpflanzungserfolg, da weibliche Kröten Männchen mit hoher Rufaktivität bevorzugen (Caorsi et al., 2019).

Wissenslücken

Die geringe Anzahl an wissenschaftlichen Publikationen, die sich dem Einfluss von Windkraftanlagen im Wald widmet, ist ein erster Hinweis darauf, dass noch große Wissenslücken vorhanden sind. Verschiedene Wildtierarten scheinen sehr unterschiedlich auf Windkraftanlagen zu reagieren, weshalb keine allgemein gültigen Aussagen getroffen werden können. Außerdem sind Auswirkungen von Windkraftanlagen auf im Wald lebende Wildtiere sehr standortspezifisch und unter anderem von Topographie oder Vegetationsstruktur abhängig. Verallgemeinernde Aussagen können deshalb nur gemacht werden, wenn vergleichende Studien an mehreren Standorten (engl. *multi-site studies*) durchgeführt werden, da die räumliche Heterogenität berücksichtigt werden kann (Johnson, 2002).

Direkte Sterblichkeit, Habitatverlust und -fragmentierung werden in einem Großteil der Studien untersucht. Es gibt jedoch nur wenige Studien, die den direkten Einfluss von visuellen oder akustischen Reizen im Freiland erforschen (siehe Experimente von Zwart et al., 2016 und Caorsi et al., 2019). Dies geschieht stattdessen häufig unter Verwendung räumlich expliziter Modelle, bei welchen z.B. die Sichtbarkeit von Windkraftanlagen im Freiland modelliert wird (Jones et al., 2015; Skarin et al., 2018). Eine neue, verifizierte methodische Vorgehensweise, um die Sichtbarkeit rotierender Windkraftanlagen in Waldgebieten zu erfassen (siehe Nopp-Mayr et al., 2021), ermöglicht in Zukunft auch standardisierte Untersuchungen, um festzustellen, inwieweit visuelle Effekte Wildtiere im Wald beeinflussen können.

Darüber hinaus gibt es bislang keine Untersuchungen, die sich mit der Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten infolge des Windkraftbaus beschäftigen, welche ebenfalls die Habitatqualität für im Wald lebende Wildtiere beeinflussen könnten (Jones et al., 2015; Gasparatos et al., 2017).

Ein unverändertes Verhalten von Wildtieren auf den Bau von Windkraftanlagen muss nicht notwendigerweise auf einen fehlenden Einfluss hinweisen. Nicht offensichtliche Beeinträchtigungen umfassen z.B. Veränderungen der Glucocorticoid-Konzentration im Blut (Sheriff et al., 2011), welche einen schädlichen Effekt auf das Wohlbefinden eines Tieres haben können (Moberg, 2000).

Eine umfassende Datengrundlage ist jedoch notwendig, um abschließend bewerten zu können, ob und inwieweit Windkraftanlagen im Wald naturverträglich sein können. Daher besteht ein dringender Bedarf an zusätzlichen Studien, die über den Umfang einzelner Falluntersuchungen hinausgehen. Diese Studien sollten unterschiedlichste Waldtypen, Waldstandorte und Wildtierarten umfassen; und über ein sorgfältig geplantes und robustes Studiendesign verfügen, um schwerwiegende Verzerrungen und Falschinterpretationen der Ergebnisse zu vermeiden (Christie et al., 2019).

Studiendesign und Datenaufnahme

Es gibt viele praktische Probleme bei der Durchführung der Datenaufnahme, die dazu führen, dass Reaktionen von Wildtieren auf Windkraftbau im Wald nicht detektiert werden können. Probenaufnahmen auf lange Sicht sind notwendig, um Veränderung in der Zusammensetzung von Artengemeinschaften (Battisti et al., 2016) und Größe von Wildtierpopulationen (De Lucas et al., 2005) erfassen zu können. Vor allem für Tierarten mit ausgeprägten Schwankungen der Populationszahlen (z.B. Kleinsäuger) ist eine umfassende Datenaufnahme an gepaarten Windkraft- und Kontrollstandorten notwendig, um Einflüsse von Windkraftanlagen feststellen können (Łopucki & Mroz, 2016).

Die komplexeste Art der Datenaufnahme ist ein Studiendesign, bei welchem Daten sowohl vor Beginn der Bauarbeiten als auch nach Inbetriebnahme der Windkraftanlagen erhoben und mit Aufnahmen aus Kontrollflächen verglichen werden (engl. *before-after control-impact study design*, BACI). Im Gegensatz zu einfacheren Studiendesigns, bei welchen z.B. Einflüsse nur vor und nach Windkraftbau untersucht werden, sind diese robusten Untersuchungen um ein Vielfaches feiner und ermöglichen genauere Schätzungen der Auswirkungen (Christie et al., 2019) von Windkraft auf Wildtiere. Orts- und zeitspezifische Unterschiede zwischen Untersuchungs- und Kontrollflächen können dazu führen, dass gewonnene Erkenntnisse fälschlicherweise auf Windkraftanlagen zurückgeführt werden (Underwood, 1992). Deshalb muss bei der Auswahl der Kontrollflächen darauf geachtet werden, dass sie in Bezug auf ihre Lebensraumeigenschaften (Vegetation, Seehöhe, etc.) sehr ähnlich sind, um eine Vergleichbarkeit gewährleisten zu können (Hurlbert, 1984).

Um die Mortalität aufgrund von Kollisionen an Windkraftanlagen abschätzen zu können, wird die Anzahl toter Tiere aufgenommen, welche unter Windrädern gefunden werden. Eine Anpassung dieser Rohdaten ist jedoch notwendig, um z.B. bezüglich der Entfernung von Kadavern durch Aasfresser einzubeziehen (DeVault et al., 1994; Smallwood et al., 2010; Paula et al., 2014). Schätzungen müssen darüber hinaus auch an die Gegebenheit angepasst werden, dass die Fundwahrscheinlichkeit unter anderem von der Größe der Kadaver und der Vegetationsbedeckung abhängig ist (Smallwood, 2007; Barrientos et al., 2018). Vor allem Kadaver kleiner Arten (z.B. Singvögel, Fledermäuse) werden von Menschen häufig übersehen; hier können trainierte Fährtensuchhunde eine deutlich bessere Arbeit bei der Fundsuche leisten (Smallwood et al., 2020). In bisherigen Studien wurde wahrscheinlich ein Großteil der Kollisionsopfer nicht erfasst, da sich diese Erfassungen auf von Menschen durchgeführte Totfundsuchen verließen (Smallwood et al., 2020).

Lösungsansätze und Empfehlungen für den Windkraftbau im Wald

Standortwahl der Windkraftanlagen

Eine zielgerichtete Auswahl von Standorten für die Errichtung von Windkraftanlagen kann einen großen Einfluss darauf haben, inwieweit im Wald lebende Tierarten von Auswirkungen betroffen sind (Gasparatos et al., 2017). Modellierungen des Lebensraumpotentials verschiedener Tierarten können einen ersten Einblick geben, inwieweit Standorte mit ihrer spezifischen Lebensraumausstattung für einzelne Arten geeignet sind (Roscioni et al., 2014). Auf gefährdete und seltene Arten mit niedrigen Fortpflanzungsraten kann somit weitgehend Rücksicht genommen werden (Pearse et al., 2016). Die Errichtung von Windkraftanlagen in bereits gut erschlossenen Gebieten reduziert darüber hinaus das Ausmaß von benötigter Infrastruktur (Wegenetz, Stromnetz) und somit potentiell Lebensraumverlust und -fragmentierung (Diffendorfer et al., 2019).

Einschränkung der Betriebszeiten und farbliche Markierung der Windkraftanlagen

Eine Einschränkung des Betriebes von Windturbinen bei niedrigen Windgeschwindigkeiten führt zu einer starken Verringerung der Anzahl der Todesopfer bei Fledermäusen, da die Aktivität von Fledermäusen an warmen, windschwachen Tagen erhöht ist (Baerwald et al., 2009; Arnett et al., 2011). Eine darüberhinausgehende, vorübergehende Einschränkung der Laufzeiten während des Zeitraums der stärksten Migrationsbewegungen hat ebenfalls positive Auswirkungen auf die Anzahl der Kollisionen von Fledermäusen mit Windturbinenblättern (Northrup & Wittemyer, 2013; Smallwood & Bell, 2020).

Im Gegensatz dazu scheint die Einschränkung von Betriebszeiten keinen starken Einfluss auf die Anzahl der Kollisionsopfer bei Vögeln zu haben, da viele Vogelarten anfällig für Kollisionen mit stationären Turbinenteilen sind (Smallwood & Bell, 2020). Nichtsdestotrotz deuten erste Untersuchungen darauf hin, dass automatisierte Abschaltungen von Windkraftanlagen mithilfe von am Windrad installierten Kameras ein wirksames Mittel sein können, um Kollisionen von Greifvögeln zu reduzieren (McClure et al., 2018). Vor allem aufgrund von ständigen Weiterentwicklungen im Bereich Technik und Software können automatisierte Systeme in Zukunft wichtige Bestandteile zur Überwachung des Luftraumes im Bereich um Windkraftanlagen werden (McClure et al., 2018).

Außerdem können Windräder farblich markiert (Stokke et al., 2020; May et al., 2020) und Stromtrassen unter der Erde verlegen werden (Tabassum et al., 2014). Im Rahmen zweier Studien wurden die Auswirkungen farblicher Markierungen von unteren Bereichen der Windradmasten (Stokke et al., 2020) und einzelner Rotorblättern (May et al., 2020) auf Kollisionsrisiken untersucht. Die Studien, die in Norwegen durchgeführt wurden, sind lediglich als erste Pilotstudien zu sehen, da es sich um kleine Stichproben (10 Turbinen mit markierten Masten, Stokke et al., 2020 bzw. 4 Turbinen mit markierten Rotorblättern, May et al., 2020) handelt. Um einen guten Einblick in die Wirksamkeit dieser Risikominimierungsmethoden zu bekommen müssen jedoch weitere Studien an zusätzlichen Standorten durchgeführt werden.

Literaturverzeichnis

Im Rahmen der systematischen Literaturrecherche wurden 27 Artikel gefunden (für Details siehe Schöll & Nopp-Mayr 2021), welche im Literaturverzeichnis mit * gekennzeichnet sind.

AGNEW RCN, SMITH VJ, FOWKES RC. 2016. Wind turbines cause chronic stress in badgers (*Meles meles*) in Great Britain. *Journal of Wildlife Diseases* 52:459-467.

* APOZNAŃSKI G, SÁNCHEZ-NAVARRO S, KOKUREWICZ T, PETTERSSON S, RYDELL J. 2018. Barbastelle bats in a wind farm: are they at risk? *European Journal of Wildlife Research* 64:43.

* ARNETT EB, HUSO MMP, SCHIRMACHER MR, HAYES JP. 2011. Altering turbine speed reduces bat mortality at wind-energy facilities. *Frontiers in Ecology and the Environment* 9:209-214.

BAERWALD EF, D'AMOURS GH, KLUG BJ, BARCLAY RMR. 2008. Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. *Current Biology* 18:R695-R696.

BAERWALD EF, EDWORTHY J, HOLDER M, BARCLAY RMR. 2009. A large-scale mitigation experiment to reduce bat fatalities at wind energy facilities. *Journal of Wildlife Management* 73:1077-1081.

* 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.

BARRIENTOS R, MARTINS RC, ASCENSÃO F, D'AMICO M, MOREIRA F, BORDA-DE-ÁGUA L. 2018. A review of searcher efficiency and carcass persistence in infrastructure-driven mortality assessment studies. *Biological Conservation* 222:146-153.

* BARRIOS L, RODRÍGUEZ A. 2004. Behavioural and environmental correlates of soaring-bird mortality at on-shore wind turbines. *Journal of Applied Ecology* 41:72-81.

* BATTISTI C, FORTUNATI L, FERRI V, DALLARI D, LUCATELLO G. 2016. Lack of evidence for short-term structural changes in bird assemblages breeding in Mediterranean mosaics moderately perforated by a wind farm. *Global Ecology and Conservation* 6:299-307.

BAYNE EM, HABIB L, BOUTIN S. 2008. Impacts of chronic anthropogenic noise from energy-sector activity on abundance of songbirds in the boreal forest. *Conservation Biology* 22:1186-1193.

BENITEZ-LOPEZ A, ALKEMADE R, VERWEIJ PA. 2010. The impacts of roads and other infrastructure on mammal and bird populations: A meta-analysis. *Biological Conservation* 143:1307-1316.

BEVANGER K. 1998. Biological and conservation aspects of bird mortality caused by electricity power lines: A review. *Biological Conservation* 86:67-76.

BUNDESMINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, ENERGIE, MOBILITÄT, INNOVATION UND TECHNOLOGIE, 2021. Energie in Österreich - Zahlen, Daten, Fakten. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. Wien. 68 Seiten.

BUNZEL K, BOVET J, THRÄN D, EICHHORN M. 2019. Hidden outlaws in the forest? A legal and spatial analysis of onshore wind energy in Germany. *Energy Research and Social Science* 55:14-25.

- CAORSI V, ET AL. 2019. Anthropogenic substrate-borne vibrations impact anuran calling. *Scientific Reports* DOI: 10.1038/s41598-019-55639-0.
- CHRISTIE AP, AMANO T, MARTIN PA, SHACKELFORD GE, SIMMONS BI, SUTHERLAND WJ. 2019. Simple study designs in ecology produce inaccurate estimates of biodiversity responses. *Journal of Applied Ecology* DOI: 10.1111/1365-2664.13499.
- COCKREM JF. 2007. Stress, corticosterone responses and avian personalities. *Journal of Ornithology* **148**:169-178.
- COLLABORATION FOR ENVIRONMENTAL EVIDENCE. 2013. Guidelines for systematic review and evidence synthesis in environmental management. Version 4.2. Collaboration for Environmental Evidence, Bangor University, UK. pp. 81.
- COPPE J, BRAUNISCH V, BOLLMANN K, STORCH I, MOLLET P, GRÜNSCHACHNER-BERGER V, TAUBMANN J, SUCHANT R, NOPP-MAYR U. 2020a. The impact of wind energy facilities on grouse: a systematic review. *Journal of Ornithology* DOI: 10.1007/s10336-019-01696-1.
- * COPPE J, KÄMMERLE JL, GRÜNSCHACHNER-BERGER V, BRAUNISCH V, BOLLMANN K, MOLLET P, SUCHANT R, NOPP-MAYR U. 2020b. Consistent effects of wind turbines on habitat selection of capercaillie across Europe. *Biological Conservation* DOI: 10.1016/j.biocon.2020.108529.
- * DE LUCAS M, JANSS GFE, FERRER M. 2005. A bird and small mammal BACI and IG design studies in a wind farm in Malpica (Spain). *Biodiversity and Conservation* **14**:3289-3303.
- * DE LUCAS M, JANSS GFE, WHITFIELD DP, FERRER M. 2008. Collision fatality of raptors in wind farms does not depend on raptor abundance. *Journal of Applied Ecology* **45**:1695-1703.
- DEVULT TL, SEAMANS TW, LINNELL KE, SPARKS DW, BEASLEY JC. 1994. Scavenger removal of bird carcasses at simulated wind turbines: Does carcass type matter? *Ecosphere* DOI: 10.1002/ecs2.1994.
- DIFFENDORFER JE, COMPTON RW. 2014. Land cover and topography affect the land transformation caused by wind facilities. *PLoS ONE* DOI: 10.1371/journal.pone.0088914.
- DIFFENDORFER JE, DORNING MA, KEEN JR, KRAMER LA, TAYLOR RV. 2019. Geographic context affects the landscape change and fragmentation caused by wind energy facilities. *Peerj* DOI: 10.7717/peerj.7129.
- * DORKA U, STRAUB F, TRAUTNER J. 2014. Wind power above forest - Courtship of the woodcock at risk? Findings from a case study in Baden-Wuerttemberg (Northern Black Forest). *Naturschutz und Landschaftsplanung* **46**:69-78.
- DREWITT AL, LANGSTON RHW. 2008. Collision effects of wind-power generators and other obstacles on birds. Pages 233-266. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1134:233-266.
- ERICKSON WP, WOLFE MM, BAY KJ, JOHNSON DH, GEHRING JL. 2014. A comprehensive analysis of small-passerine fatalities from collision with turbines at wind energy facilities. *PLoS ONE* DOI: 10.1371/journal.pone.0107491.
- FA WIND. 2017. Entwicklung der Windenergie im Wald - Ausbau, planerische Vorgaben und Empfehlungen für Windenergiestandorte auf Waldflächen in den Bundesländern. Land FWa, Berlin, Germany. 46 Seiten.

- * FERNÁNDEZ-BELLON D, WILSON MW, IRWIN S, O'HALLORAN J. 2019. Effects of development of wind energy and associated changes in land use on bird densities in upland areas. *Conservation Biology* **33**:413-422.
- * FOO CF, BENNETT VJ, HALE AM, KORSTIAN JM, SCHILDT AJ, WILLIAMS DA. 2017. Increasing evidence that bats actively forage at wind turbines. *PeerJ* DOI: 10.7717/peerj.3985.
- * GARCIA DA, CANAVERO G, ARDENGHI F, ZAMBON M. 2015. Analysis of wind farm effects on the surrounding environment: Assessing population trends of breeding passerines. *Renewable Energy* **80**:190-196.
- GASPARATOS A, DOLL CNH, ESTEBAN M, AHMED A, OLANG TA. 2017. Renewable energy and biodiversity: Implications for transitioning to a Green Economy. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* **70**:161-184.
- * GONZÁLEZ MA, GARCÍA-TEJERO S, WENGERT E, FUERTES B. 2016. Severe decline in Cantabrian Capercaillie *Tetrao urogallus cantabricus* habitat use after construction of a wind farm. *Bird Conservation International* **26**:256-261.
- GRABHERR G, KOCH G, KIRCHMEIR H & REITER K. 1998. Hemerobie österreichischer Waldökosysteme. Veröffentlichungen des Österreichischen MaB-Programms, Band **17**, 493 pp. Universitätsverlag Wagner, Innsbruck.
- HA H, SHILLING F. 2018. Modelling potential wildlife-vehicle collisions (WVC) locations using environmental factors and human population density: A case-study from 3 state highways in Central California. *Ecological Informatics* **43**:212-221.
- HASTIK R, BASSO S, GEITNER C, HAIDA C, POLJANEC A, PORTACCIO A, VRSCAJ B, WALZER C. 2015. Renewable energies and ecosystem service impacts. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* **48**:608-623.
- HAYES MA. 2013. Bats killed in large numbers at United States wind energy facilities. *BioScience* **63**:975-979.
- * HORN JW, ARNETT EB, KUNZ TH. 2008. Behavioral responses of bats to operating wind turbines. *Journal of Wildlife Management* **72**:123-132.
- HURLBERT SH. 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs* **54**:187-211.
- IPCC. 2022. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_FullReport.pdf (Zugriff Mai 2022)
- JOHNSON DH. 2002. The importance of replication in wildlife research. *Journal of Wildlife Management* **66**: 919-932.
- * JOHNSTON NN, BRADLEY JE, OTTER KA. 2014. Increased flight altitudes among migrating golden eagles suggest turbine avoidance at a rocky mountain wind installation. *PLoS ONE* DOI: 10.1371/journal.pone.0093030.
- JONES NF, PEJCHAR L, KIESECKER JM. 2015. The energy footprint: how oil, natural gas, and wind energy affect land for biodiversity and the flow of ecosystem services. *Bioscience* **65**:290-301.

- * LEMAÎTRE J, LAMARRE V. 2020. Effects of wind energy production on a threatened species, the Bicknell's Thrush *Catharus bicknelli*, with and without mitigation. *Bird Conservation International* **30**:1-16.
- * ŁOPUCKI R, KLICH D, GIELAREK S. 2017. Do terrestrial animals avoid areas close to turbines in functioning wind farms in agricultural landscapes? *Environmental Monitoring and Assessment* **189**:343.
- ŁOPUCKI R, KLICH D, ŚCIBIOR A, GOŁĘBIEWSKA D, PERZANOWSKI K. 2018. Living in habitats affected by wind turbines may result in an increase in corticosterone levels in ground dwelling animals. *Ecological Indicators* **84**:165-171.
- * ŁOPUCKI R, MROZ I. 2016. An assessment of non-volant terrestrial vertebrates response to wind farms-a study of small mammals. *Environmental Monitoring and Assessment* DOI: 10.1007/s10661-016-5095-8.
- LOSS SR, WILL T, MARRA PP. 2013. Estimates of bird collision mortality at wind facilities in the contiguous United States. *Biological Conservation* **168**:201-209.
- LOVICH JE, ENNEN JR. 2013. Assessing the state of knowledge of utility-scale wind energy development and operation on non-volant terrestrial and marine wildlife. *Applied Energy* **103**:52-60.
- MARQUES AT, BATALHA H, RODRIGUES S, COSTA H, PEREIRA MJR, FONSECA C, MASCARENHAS M, BERNARDINO J. 2014. Understanding bird collisions at wind farms: An updated review on the causes and possible mitigation strategies. *Biological Conservation* **179**:40-52.
- MARTIN GR. 2011. Understanding bird collisions with man-made objects: A sensory ecology approach. *Ibis* **153**:239-254.
- MAY R, NYGARD T, FALKDALEN U, ASTROM J, HAMRE O, STOKKE BG. 2020. Paint it black: Efficacy of increased wind turbine rotor blade visibility to reduce avian fatalities. *Ecology and Evolution* **10**:8927-8935. DOI: 10.1002/ece3.6592.
- MCCLURE CJW, MARTINSON L, ALLISON TD. 2018. Automated monitoring for birds in flight: Proof of concept with eagles at a wind power facility. *Biological Conservation* **224**:26-33.
- MCCLURE CJW, WARE HE, CARLISLE J, KALTENECKER G, BARBER JR. 2013. An experimental investigation into the effects of traffic noise on distributions of birds: Avoiding the phantom road. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* DOI: 10.1098/rspb.2013.2290.
- MILLIDINE KJ, MALCOLM IA, MCCARTNEY A, LAUGHTON R, GIBBINS CN, FRYER RJ. 2015. The influence of wind farm development on the hydrochemistry and ecology of an upland stream. *Environmental Monitoring and Assessment* DOI: 10.1007/s10661-015-4750-9.
- MOBERG GP. 2000. Biological response to stress: Implication for animal welfare. In Moberg GP, and Mench JA, editors. *The Biology of Animal Stress*. CAB International, Wallingford, Oxon, UK.
- NOPP-MAYR, U., KUNZ, F., SUPPAN, F. ET AL. 2021. Novel Application and Validation of a Method to Assess Visual Impacts of Rotating Wind Turbine Blades Within Woodland Areas. *PFG* (2021). <https://doi.org/10.1007/s41064-021-00141-4>
- NORTHROP JM, WITTEMYER G. 2013. Characterising the impacts of emerging energy development on wildlife, with an eye towards mitigation. *Ecology Letters* **16**:112-125.

- PAULA JJS, BISPO RMB, LEITE AH, PEREIRA PGS, COSTA HMRG, FONSECA CMMS, MASCARENHAS MRT, BERNARDINO JLV. 2014. Camera-trapping as a methodology to assess the persistence of wildlife carcasses resulting from collisions with human-made structures. *Wildlife Research* **41**:717-725.
- PEARSE AT, BRANDT DA, KRAPU GL. 2016. Wintering sandhill crane exposure to wind energy development in the central and southern Great Plains, USA. *Condor* **118**:391-401.
- PERROW MR. 2017. *Wildlife and wind farms, conflicts and solutions. Volume 1 Onshore: Potential effects.* Pelagic Publishing, Exeter, UK.
- PULLIN A, STEWART G. 2006. Guidelines for systematic review in conservation and environmental management. *Conservation Biology* **20**:1647-1656.
- * PYLANT CL, NELSON DM, FITZPATRICK MC, GATES JE, KELLER SR. 2016. Geographic origins and population genetics of bats killed at wind-energy facilities. *Ecological Applications* **26**:1381-1395.
- * REYNOLDS DS. 2006. Monitoring the potential impact of a wind development site on bats in the northeast. *Journal of Wildlife Management* **70**:1219-1227.
- RIOUX S, SAVARD JPL, GERICK AA. 2013. Avian mortalities due to transmission line collisions: A review of current estimates and field methods with an emphasis on applications to the Canadian electric network. *Avian Conservation and Ecology* DOI: 10.5751/ACE-00614-080207.
- ROSCIONI F, REBELO H, RUSSO D, CARRANZA ML, DI FEBBRARO M, LOY A. 2014. A modelling approach to infer the effects of wind farms on landscape connectivity for bats. *Landscape Ecology* **29**:891-903.
- SCHÖLL EM, NOPP-MAYR U. 2021. Impact of wind farms on forest-dwelling mammalian and avian wildlife species. *Biological Conservation* Volume 256, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109037>
- SHERIFF MJ, DANTZER B, DELEHANTY B, PALME R, BOONSTRA R. 2011. Measuring stress in wildlife: techniques for quantifying glucocorticoids. *Oecologia* **166**:869-887.
- * SIRÉN APK, MAYNARD DS, KILBORN JR, PEKINS PJ. 2016. Efficacy of remote telemetry data loggers for landscape-scale monitoring: A case study of American martens. *Wildlife Society Bulletin* **40**:570-582.
- * SIRÉN APK, PEKINS PJ, KILBORN JR, KANTER JJ, SUTHERLAND CS. 2017. Potential influence of high-elevation wind farms on carnivore mobility. *Journal of Wildlife Management* **81**:1505-1512.
- * SKARIN A, ALAM M. 2017. Reindeer habitat use in relation to two small wind farms, during preconstruction, construction, and operation. *Ecology and Evolution* **7**:3870-3882.
- * SKARIN A, NELLEMAN C, RÖNNEGÅRD L, SANDSTRÖM P, LUNDQVIST H. 2015. Wind farm construction impacts reindeer migration and movement corridors. *Landscape Ecology* **30**:1527-1540.
- * SKARIN A, SANDSTROM P, ALAM M. 2018. Out of sight of wind turbines-Reindeer response to wind farms in operation. *Ecology and Evolution* **8**:9906-9919.
- SMALLWOOD KS. 2007. Estimating wind turbine-caused bird mortality. *Journal of Wildlife Management* **71**:2781-2791.
- SMALLWOOD KS, BELL DA. 2020. Effects of wind turbine curtailment on bird and bat fatalities. *The Journal of Wildlife Management* **84**:685-696.

- SMALLWOOD KS, BELL DA, STANDISH S. 2020. Dogs Detect Larger Wind Energy Effects on Bats and Birds. *The Journal of Wildlife Management* **84**:852-864.
- SMALLWOOD KS, BELL DA, SNYDER SA, DIDONATO JE. 2010. Novel Scavenger removal trials increase wind turbine caused avian fatality estimates. *Journal of Wildlife Management* **74**:1089-1096.
- SMALLWOOD KS, RUGGE L, MORRISON ML. 2009. Influence of behavior on bird mortality in wind energy developments. *Journal of Wildlife Management* **73**:1082-1098.
- STATISTIK AUSTRIA. 2020. Energiebilanzen, Available from https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html [aufgerufen am 03.08.2020].
- STEINER W, LEISCH F, HACKLÄNDER K. 2014. A review on the temporal pattern of deer-vehicle accidents: Impact of seasonal, diurnal and lunar effects in cervids. *Accident Analysis and Prevention* **66**:168-181.
- STOKKE BG, NYGARD T, FALKDALEN U, PEDERSEN HC, MAY R. 2020. Effect of tower base painting on willow ptarmigan collision rates with wind turbines. *Ecology and Evolution* **10**:5670-5679.
- TABASSUM A, PREMALATHA M, ABBASI T, ABBASI SA. 2014. Wind energy: Increasing deployment, rising environmental concerns. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **31**:270-288.
- TANG B, WU D, ZHAO X, ZHOU T, ZHAO W, WEI H. 2017. The observed impacts of wind farms on local vegetation growth in northern China. *Remote Sensing* DOI: 10.3390/rs9040332.
- THOMPSON M, BESTON JA, ETTERTSON M, DIFFENDORFER JE, LOSS SR. 2017. Factors associated with bat mortality at wind energy facilities in the United States. *Biological Conservation* **215**:241-245.
- * TSEGAYE D, COLMAN JE, EFTESTØL S, FLYDAL K, RØTHE G, RAPP K. 2017. Reindeer spatial use before, during and after construction of a wind farm. *Applied Animal Behaviour Science* **195**:103-111.
- UNDERWOOD AJ. 1992. Beyond BACI: the detection of environmental impacts on populations in the real, but variable, world. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **161**:145-178.
- WINKELMEIER H, KRENN A, ZIMMER F. 2014. Das realisierbare Windpotential Österreichs für 2020 und 2030. Publikationsbericht. Energiewerkstatt, Friedburg. 37 Seiten.
- WWF. 2013. WWF-Position zur Windenergie. Wien. 4 Seiten.
- WWF. 2018. Energiewende und Gewässerschutz. WWF-Szenario für eine naturverträgliche Energiewende in den Bundesländern Österreichs. Gesamtbericht für Österreich. Erstellt von Thomas Steffl, scenario editor Innsbruck. 87 Seiten.
- WWF DEUTSCHLAND. 2019. Windenergie an Land. Den Ausbau beschleunigen und mit Rücksicht auf Mensch und Natur gestalten! Berlin. 37 Seiten.
- * ZEILER HP, GRÜNSCHACHNER-BERGER V. 2009. Impact of wind power plants on black grouse, *Lyrurus tetrix* in Alpine regions. *Folia Zoologica* **58**:173-182.
- ZWART MC, DUNN JC, MCGOWAN PJK, WHITTINGHAM MJ. 2016. Wind farm noise suppresses territorial defense behavior in a songbird. *Behavioral Ecology* **27**:101-108.



Wir wollen die weltweite Zerstörung der Natur und Umwelt stoppen und eine Zukunft gestalten, in der Mensch und Natur in Harmonie miteinander leben.

together possible. wwf.at

Umweltverband WWF Österreich (WORLD WIDE FUND FOR NATURE)
Ottakringerstraße 114-116, 1160 Wien
ZVR-Zahl: 751753867
Spendenkonto: AT26 2011 1291 1268 3901
wwf@wwf.at