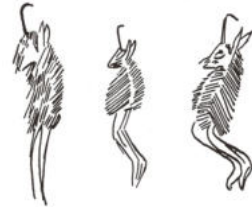


Büro für Wildbiologie Österreich
Dr. Christine Miller
Allgemein beeidete und
gerichtlich zertifizierte Sachverständige
Salzmannstr. 4-6
A – 5700 Zell am See



Gutachten

Zu den möglichen Auswirkungen von Windkraftanlagen auf die heimische Tier- und Umwelt in Tirol unter besonderer Berücksichtigung artenschutzrechtlicher Aspekte

Februar 2025

1 Inhaltsverzeichnis

1	ZIELSETZUNG DES GUTACHTEN.....	3
2	AUSGANGSLAGE	4
2.1	RAHMENBEDINGUNGEN FÜR DEN AUSBAU VON WINDKRAFTANLAGEN.....	4
2.1.1	<i>Flächen- und Rohstoffbedarf für den Bau von WKA</i>	<i>7</i>
2.1.2	<i>Potential und Kapazität von Windkraftanlagen.....</i>	<i>11</i>
2.1.3	<i>Recycling von Windkraftanlagen</i>	<i>14</i>
3	WINDENERGIEPOTENZIAL IN TIROL	18
4	AUSWIRKUNGEN VON WINDKRAFTANLAGEN AUF NATUR UND TIERWELT..	23
4.1	AUSWIRKUNGEN AUF PFLANZENPRODUKTION UND ÖKOSYSTEME	28
4.2	AUSWIRKUNGEN AUF BODENLEBEN UND KLEINTIERE	31
4.3	AUSWIRKUNGEN AUF INSEKTEN.....	35
4.4	AUSWIRKUNGEN AUF VÖGEL	37
4.4.1	<i>Singvögel, Waldschnepfen</i>	<i>38</i>
4.4.2	<i>Raufußhühner.....</i>	<i>42</i>
4.4.3	<i>Greifvögel</i>	<i>50</i>
4.5	AUSWIRKUNGEN AUF SÄUGETIERE.....	53
4.5.1	<i>Fledermäuse.....</i>	<i>54</i>
4.5.2	<i>Kleine und mittelgroße Wildtiere (Marder, Hasen, Dachse).....</i>	<i>64</i>
4.5.3	<i>Huftiere (Schalenwild)</i>	<i>69</i>
5	ANFORDERUNGEN AN TIERÖKOLOGISCHE VERBINDUNGSACHSEN UND	
KORRIDORE	73	
6	SCHLUSSFOLGERUNG UND STELLUNGNAHME	77
7	ZITIERTER UND VERWENDETE LITERATUR	82
7.1	WEBSEITEN MIT ZITIERTEN INHALTEN:	82
7.2	ZITIERTER VERÖFFENTLICHUNGEN	83

1 Zielsetzung des Gutachten

Das vorliegende Gutachten stellt die Grundlagen und Rahmenbedingungen für den Bau und den Betrieb von Windkraftanlagen (WKA) im Bundesland Tirol dar und die möglichen Auswirkungen auf die heimische Tierwelt. Ein besonderer Schwerpunkt wird dabei auf die Auswirkungen auf geschützte Arten und Konfliktfelder mit Umwelt- und Naturschutz gelegt.

Das Gutachten wird erstellt im Auftrag des Klubs der Freiheitlichen Partei Österreichs im Tiroler Landtag.

Insgesamt werden die Rahmenbedingungen für die Errichtung von Windkraftanlagen in Tirol vorgestellt sowie die in verschiedenen wissenschaftlichen Studien belegten, möglichen Beeinträchtigungen und Konflikte während des Baus, des Betriebs und ggf. des Rückbaus von WKAs im Allgemeinen. Auf die spezifischen Bedingungen im alpinen Raum und insbesondere in Tirol wird im Einzelnen eingegangen.

Das Gutachten wurde erstellt auf der Grundlage der bekannten, evaluierten und veröffentlichten wissenschaftlichen Erkenntnisse zum Einfluss von WKA auf die Umwelt und verschiedene Organismengruppen, zum Verhalten und Raumnutzung ausgewählter Wildarten, dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand zu Störungsbiologie verschiedener Tierarten, besonders geschützten Arten und den Erfahrungen aus Regionen mit bereits gebauten WKA.

Dazu wurden die eigenen wild- und störungsbiologischen Kenntnisse und Erfahrungen der Sachverständigen sowie deren einschlägige Ortskenntnisse in den betroffenen Regionen Tirols, die Auswertung der zitierten Literatur und Interviews mit Wissenschaftlern aus Behörden und Institutionen herangezogen.

2 Ausgangslage

Das Gutachten bezieht sich auf die besonderen naturräumlichen Gegebenheiten in Tirol, seinen Lebensräumen und den darin vorkommenden Tierarten insbesondere von gemeinschaftlicher Bedeutung sowie die in enger ökologischer Beziehung dazu stehenden Tierarten. Dabei können vor allem die windkraftsensiblen Vogelarten als ökologische Leitarten für das gesamte Untersuchungsgebiet angesehen werden. Die Lebensraumcharakteristika und Wanderkorridore für diese Arten decken sich mit denen anderer Arten, die zum Teil von EU-weiter Bedeutung und durch die nationale und regionale Gesetzgebung geschützt sind.

2.1 Rahmenbedingungen für den Ausbau von Windkraftanlagen

Österreich strebt für das Jahr 2040 die sogenannte „Klimaneutralität“ an, 10 Jahre früher als das europäische Klimagesetz, das eine „Klimaneutralität“ der Mitgliedstaaten bis 2050 vorsieht. Die vorgezogene „Klimaneutralität“ Österreichs wird in dem am 17.03.2021 verabschiedeten Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz (EAG) festgeschrieben. Bis zu diesem Zeitpunkt soll die in Österreich eingesetzte und verbrauchte Energie ausschließlich aus sogenannten „erneuerbaren Energieträgern“ kommen und der durch Verbrennung von fossilen Energieträgern entstehende Ausstoß von CO₂ soll bis zu diesem Zeitpunkt auf Null gesenkt werden. Das EAG formuliert auch in §4 Abs 2 verbindlich das Ziel, dass bis 2030 der Gesamtstromverbrauch Österreichs zu 100% aus „erneuerbaren Energiequellen“ zu produzieren sei. Dabei soll der Anteil des durch Windkraftanlagen erzeugten Stroms auf 10 TWh (10 Milliarden kWh) gesteigert werden.

Die derzeitige, jährliche Stromproduktion und der jährliche Strombedarf in Österreich betragen etwa 70 TWh. Das entspricht der Leistung von 10 Kernkraftwerken mit einer elektrischen Leistung von 1 GW und bei Betrieb über 7000 Stunden pro Jahr (sogenannte „Volllast“). Für 1 TWh würden andererseits 100 große Windkraftanlagen mit jeweils 4 MW_{peak} benötigt. Watt_{peak} ist eine im Bereich erneuerbarer Energieanlagen gebräuchlicher Ausdruck für die Spitzenleistung einer Anlage (siehe dazu Prof. Dr. Liebert, Impulsreferat und Podiumsdiskussion bei „Windkraft verstehen“ 15.3.2022 BOKU Energie Cluster).

Aktuell sind in Österreich etwa 1400 WKA mit einer Durchschnittsleistung von 2,4 MW installiert. Diese liefern im Jahr etwa 8,2 TWh Strom und decken damit rund 11% des derzeitigen Strombedarfs (siehe: [https://windfakten.at/?xmlval_ID_KEY\[0\]=1234](https://windfakten.at/?xmlval_ID_KEY[0]=1234)). Zur Erfüllung, des im EA-Gesetz formulierten Ziels müssten bei gleichbleibendem jährlichen Strombedarf weitere 1000 WKA mit einer fast doppelt so hohen Leistung gebaut werden.

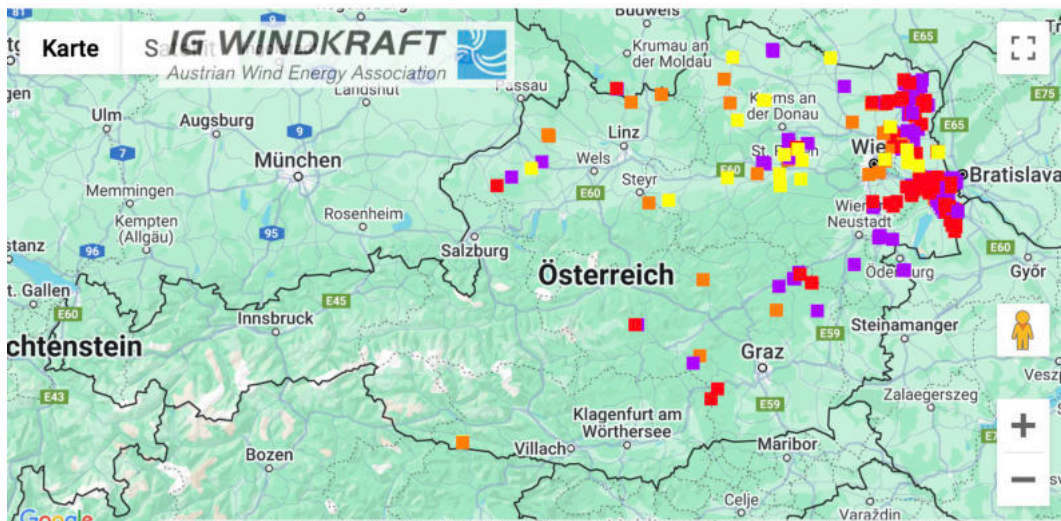


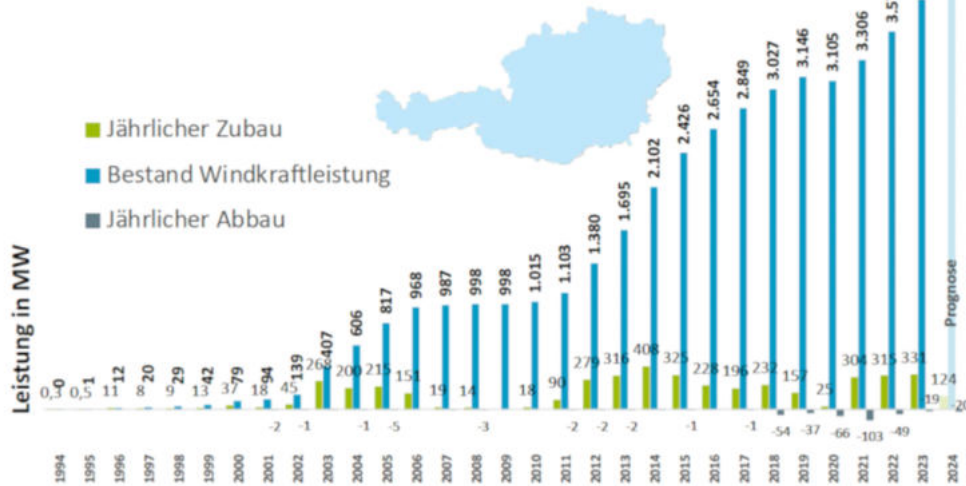
Abbildung 1 Verteilung von Windkraftanlage unterschiedlicher Leistung (Farbcodierung) in Österreich (Quelle: IG Windfakten.at)

Insgesamt werden in Österreich bereits mehr als 77% des Strombedarfs aus erneuerbaren Energiequellen gedeckt, vor allem durch Wasserkraftanlagen. Ausweislich der Tiroler Umweltanwaltschaft wurden 2021 in Tirol insgesamt 7.113,2 GWh (Gigawattstunden) Strom erneuerbar produziert. Rund 95 Prozent dieses Stroms stellte die Wasserkraft bereit (Tiroler Umweltanwaltschaft 2023). Knapp 72 Prozent des aus Wasserkraft erzeugten Stroms wird dabei von 22 Anlagen mit jeweils mehr als 10 MW bereitgestellt. 876 Biomasseanlagen mit über 1000 kW Leistung erzeugen heute etwa 2,71 Prozent Stroms aus erneuerbaren Quellen. Als Biomasse wird dabei in erster Linie Holz eingesetzt.

Eine zu erwartende Steigerung des jährlichen Strombedarfs durch Umstellung des privaten Verbrauchs auf E-Mobilität und Strom-Heizung (z.B. durch Wärmepumpen) wird den prognostizierten Bedarf deutlich erhöhen. Ebenso würde die angestrebte Dekarbonisierung der Industrie in Österreich zu einem massiv erhöhten Strombedarf führen. Allein für die Stadt Wien würde es bis zum Jahr 2050 zum Beispiel den Bau von weiteren 2000 großen WKA bedürfen, um den Strombedarf allein der Metropole auf diese Weise zu decken.

Windkraftleistung in Österreich

Ende 2023 und Prognose 2024



Quelle: IG Windkraft, Jänner 2024. Die Summendifferenz ergibt sich aufgrund abgebauter Anlagen.

www.igwindkraft.at

Abbildung 2 Zubau von WKA in Österreich (Quelle: IG Windkraft.at)

Um diesen Bedarf in dem gewünschten Maße durch WKA zu decken fordern deshalb Politik und Lobbyverbände eine Änderung der Umweltgesetzgebung, die nicht mehr darauf abzielt etwaige schädliche Auswirkungen des WKA Ausbaus auf die Umwelt zu vermindern oder zu kompensieren („Das Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz (EAG) und die Novelle des Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetzes (UVP-G) haben das Potenzial den Ausbau-Turbo zu starten.“ Zitiert auf: [https://windfakten.at/?xmlval_ID_KEY\[0\]=1234](https://windfakten.at/?xmlval_ID_KEY[0]=1234)).

2.1.1 Flächen- und Rohstoffbedarf für den Bau von WKA

Die Auswirkungen von Windkraftanlagen auf die Umwelt müssen in drei Schritten bewertet werden: den Eingriffen beim Bau einer Anlage, die zu erwartenden Emissionen und Auswirkungen beim Betrieb der Anlage (siehe Kap. 4) und die Umweltfolgen beim Rückbau und Recycling von Anlagen.

Zum Bau einer großen Windkraftanlage muss mit etwa folgendem Bedarf an zu überbauender Fläche gerechnet werden:

Fundament	etwa 500 m ² (je nach Rotorradius)
Kranstellfläche beim Bau	etwa 1400 m ²
Betriebsflächen	etwa 4000 m ²
Zuwegung (je nach Standort)	im Schnitt 3000 m ²

Zusätzlich zu den rund 10.000m² verbauter Fläche pro individuellem Windrad müssen die überschatteten und überschallten Störfächen im Umfeld einer WKA sowie die Störzonen entlang der Industrie- und Wegeflächen berechnet werden, die zwar noch anderweitig nutzbar sind, jedoch von der WKA beeinflusst werden. Das Institut für Sicherheits- und Risikowissenschaft der Universität für Bodenkultur geht in einer Prognose von einem Flächenbedarf von rund 500 km² aus, der beim Ausbau von 1000 Anlagen zum Erreichen der geforderten gesetzlichen Leistung von 10 TWh (das entspricht 1000 große WKA) erforderlich wäre (siehe dazu Prof. Dr. Liebert, Impulsreferat und Podiumsdiskussion bei „Windkraft verstehen“ 15.3.2022 BOKU Energie Cluster).

Je höher eine Anlage gebaut wird, desto effizienter kann sie Wind ausbeuten und desto lukrativer ist in der Folge die Anlage. Der Rotordurchmesser ist hier von entscheidender Bedeutung. Aktuelle Anlagen im onshore Bereich (Windkraftanlagen an Land) haben Nabenhöhen von 140 m bis über 160 m bei einem Rotorradius von 70 m bis 112 m. Die Gesamthöhe einer derartigen Anlage beträgt daher über 240 m. Die Leistung derartigen großen WKA liegen bei etwa 4,2-4,6 MW, abhängig von dem verwendeten Turbinentyp.

Die Anlagen sind auf maximale Leistung zu Zeiten von Spitzenwindgeschwindigkeiten optimiert, da die aktuelle Tarifgestaltung dies fördert. Dies führt jedoch zu erheblichen Fluktuationen in der Leistung der jeweiligen Anlage. Grundsätzlich könnten Betreiber und Konstrukteure die Anlagen auch auf eine stabilere, dann aber geringere Maximalleistung hin optimieren und die als Folge des Windaufkommens unvermeidlichen Netzschwankungen auf diese Weise verringern. Entsprechende Anreize, z.B. für den Einsatz anderer Materialien (Seltenerd-Magnete) oder Designs für effizientere und kompaktere Anlagen, gibt es zur Zeit jedoch nicht (Zajicek et al 2023).

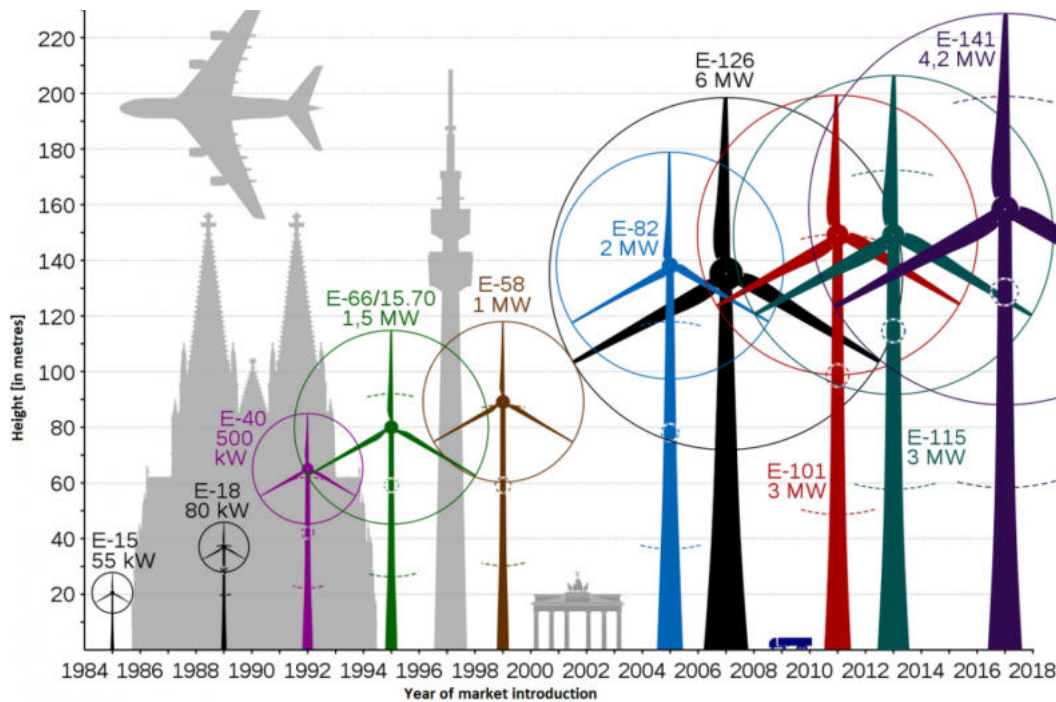


Abbildung 3 Nabenhöhe, Rotorradius und Leistung von enercon WKA (Quelle: Jahobr-CC, Wikimedia.org)

Die Umstellung der Energiewirtschaft auf Solar- und Windkraftanlagen und der damit einhergehende deutlich steigende Bedarf an Batterien führt auch dazu, dass sich die Nachfrage nach Rohstoffen global entscheidend verändert hat. Österreich muss daher seine Bedarfe aufgrund des schnellen Umbau in der Energie- und Verkehrswirtschaft auf einem sich weiter veränderndem Rohstoffmarkt decken. Dabei können Versorgungsengpässe und kritische Abhängigkeiten entstehen, bzw. sind vorhersehbar. Die für Bau und Betrieb von WKA notwendigen Rohstoffe stammen zum überwiegenden Teil aus einigen wenigen, nicht-demokratischen Staaten. Die entsprechende Abhängigkeit von den Förder- und Produktionsländern dürfte daher nicht weniger sein als bei den bisher verwendeten fossilen Energieträgern.

Zu den kritischen Mineralien, die für die Umstellung der Energieerzeugung und Energiespeicherung essentiell sind, gehört unter anderem **Kobalt**. – Dieses Element ist für die gesamte Elektroindustrie ein wichtiger Katalysator. Kobalt wird in E-Autos verbaut, da es ein kritisches Element in vielen Lithium-Ionen Batterien ist. Sein zukünftiger Bedarf ist von der weiteren Entwicklung der Batterietechnik abhängig. Drei Viertel des weltweit geförderten Kobalts wird in der Demokratischen Republik Kongo gewonnen. Daneben sind auch Indonesien, Russland und Australien wichtige Förderländer. Jedoch werden mehr als drei Viertel des geförderten Kobalts anschließend in China raffiniert. Daneben erzeugen auch Finnland, Kanada und Norwegen das Reinmetall jedoch in deutlich geringerer Menge.

Refined cobalt production as a share of the global total, 2021

Our World
in Data

Production of refined cobalt as a share of global refined cobalt production. The amounts of refined and raw materials differ because refining removes impurities and adjusts the composition to meet specific standards.

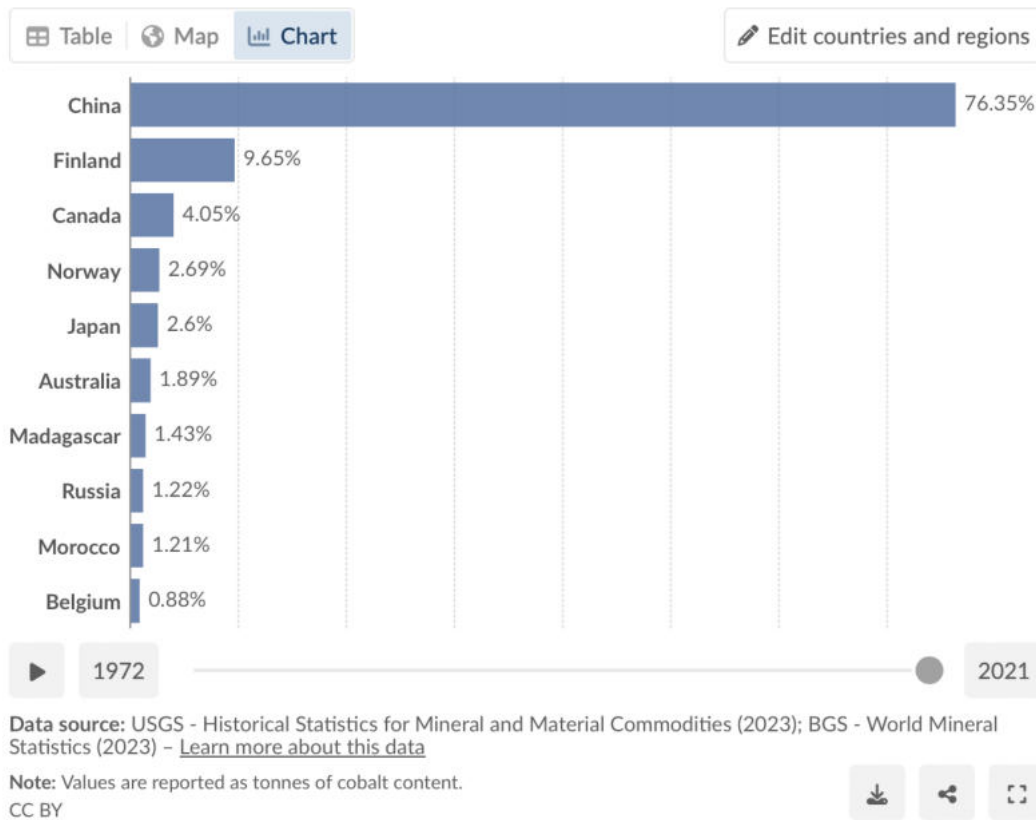


Abbildung 4 Aufbereitung des (hauptsächlich im Kongo geförderten) Kobalts im Ländervergleich (Quelle Ritchie et Rosado 2024)

Wegen seiner hohen elektrischen Leitfähigkeit wird **Molybdenium** in Solar- und Windkraftanlagen verbaut. 40% des weltweit verfügbaren Minerals wird in China gefördert. Die größten förderfähigen Lagerstätten liegen ebenfalls in China, das zusammen den USA zwei Drittel der weltweiten Lagerstätten besitzt.

Das wichtige Kathodenmaterial **Nickel** in Lithium-Ionen-Batterien erfährt eine riesige Nachfrage durch den Ausbau der e-Mobilität und den Bedarf an Energiespeicherung in Batterien. Nickel ist auch ein wichtiges Metall für Legierungen, die in Photovoltaik- und Windkraftanlagen eingesetzt werden. Zur Zeit produziert Indonesien etwa die Hälfte des weltweit gehandelten Lithiums, gefolgt von den Philippinen, Neukaledonien, Russland, Kanada und Australien. Aufbereitet wird das geförderte Metall zu 37% in Indonesien und zu fast einem Drittel in China.

Lithium ist Kernbestandteil der heute eingesetzten Batterien und daher für die Energiewende ein essentielles Element. Die Hälfte des Minerals wird heute in Australien gefördert, ein Viertel in Chile

sowie anderen südamerikanischen Staaten. In diesen Ländern, sowie in China liegen auch noch große, förderfähige Reserven.

Die sogenannten „**Seltenen Erden**“ umfassen 17 Elemente, von denen vier für erneuerbare Energieanlagen genutzt werden: Neodym, Praseodym, Dysprosium und Terbium. In WKA sind diese Elemente Kernbestandteil der Magnete im Getriebe des Rotors. China dominiert die Förderung – etwa zwei Drittel der jährlichen, weltweiten Fördermenge stammen aus diesem Land. USA (12%), Myanmar (11%) und Australien (5%) stellen ebenfalls eine größere Fördermenge auf dem Weltmarkt zur Verfügung. Die Lagerstätten konzentrieren sich nur zu einem Drittel in China, jedoch werden andere Lagerstätten, so etwa in Vietnam oder Brasilien, kaum ausgebeutet.

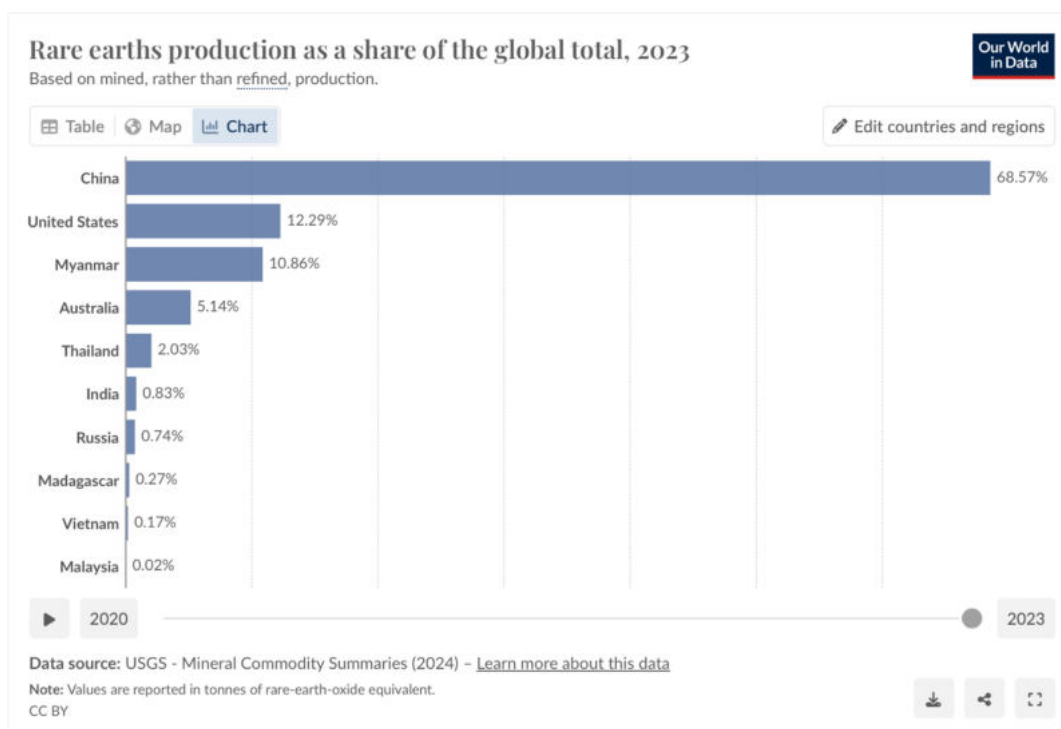


Abbildung 5 Verteilung der Förderung und Produktion von Seltenen Erden nach Ländern (Quelle: Ritchie et Rosado 2024)

Als Primärquelle für Aluminium ist **Bauxit** ein notwendiger Rohstoff für den Bau von WKA, Batterien und den Ausbau von Stromnetzen. Australien, Guinea und China dominieren weltweit zu je einem Viertel die Fördermenge.

Das zu 40% in Südafrika geförderte **Chrom** wird ebenfalls in Solar- und Windkraftanlagen verbaut. Zusammen mit Kasachstan beherbergt Südafrika auch 75% der förderfähigen Lagerstätten.

Mit Ausnahme von Uran, liegen die Förderung und Aufbereitung weiterer kritischer Mineralien, wie **Silber**, **Mangan** und **Graphit** überwiegend in China sowie kleineren Anteilen in Australien und afrikanischen Ländern. (Für Übersicht siehe Ritchie und Rosado 2024).

2.1.2 Potential und Kapazität von Windkraftanlagen

Je größer dimensioniert die WKA werden, desto eher können sie auch ein bescheidenes Windangebot nutzen. Eine Abwägung von Windangebot, zu erwartender Leistung und möglichen Auswirkungen auf Natur und Umwelt würde möglicherweise in vielen Fällen zu Ungunsten des Baus neuer Anlagen ausfallen. Daher wurden derartige gesetzliche Regeln zur Folgenabwägung in jüngster Zeit verändert oder außer Kraft gesetzt. Das geschieht oft auch in diesen Fällen, wo neue, größere Anlagen ältere und kleinere Anlagen ersetzen sollen („Repowering“). Die größeren Anlagen würden zu anderen, vermutlich weitreichenderen Umweltauswirkungen führen, die aber nicht mehr einem eigentlich vorgeschriebenen Prüfprozess unterworfen werden müssen..

Die Interessensgemeinschaft Windkraft Österreich, ein Zusammenschluss von Unternehmen, die derartige Anlagen herstellen und betreiben, hatte zum Beispiel die Abschaffung des Masterplans der Oberösterreichischen Landesregierung gefordert, in dem wichtige Wanderkorridore und Lebensräume von einer industriellen Entwicklung frei gestellt worden waren. In einer Presseaussendung vom 30. März 2023 verkündete die IG Windkraft: *„So bedarf es Änderungen bei der Widmung bei bestehenden Windrädern, einer Abschaffung des Windmasterplanes und eines Aufstockens des Personals bei der Behörde, damit die Projekte auch rasch umgesetzt werden können.“* (Digitale Pressemappe: <http://www.ots.at/pressemappe/110/aom>).

Die Auslastung einer WKA und damit deren Wirtschaftlichkeit wird als sogenannter Kapazitätsfaktor angegeben. Dieser Faktor berechnet sich aus der jährlich produzierten Strommenge in kWh geteilt durch das Produkt aus der Nennleistung der Anlage in kW und den Gesamtstunden eines Jahres, also 8760 Stunden. Tatsächlich waren zum Beispiel in Deutschland (wo derartige Daten ausgewertet werden konnten) die installierten WKA im Durchschnitt zu weniger als 20% ausgelastet. Nur 15% der Anlagen hatten die vergangenen Jahre eine Auslastung von mehr als 30% und arbeiten rentabel. Solche rentablen Anlagen stehen in Deutschland überwiegend (83%) in Küstennähe im Norden Deutschlands. Auch neue, sehr große Anlagen mit einer Gesamthöhe von 300 m und mehr erreichen die Auslastungsschwelle über 30% (siehe dazu die Recherche von Simon Haas auf der Webseite der NZZ <https://www.nzz.ch/visuals/windkraft-in-deutschland-grosse-versprechen-kleine-ertraege-ld.1710681>).

Für derartige leistungsstarke Windparks muss mit einem großen Flächenbedarf gerechnet werden. Der Abstand zwischen einzelnen Windkraftanlagen soll in Hauptwindrichtung mindestens fünfmal den Rotordurchmesser (etwa 400m) betragen und in Nebenwindrichtung mindestens dreimal den Rotordurchmesser, um eine gegenseitige Behinderung des Luftstroms zu vermeiden.

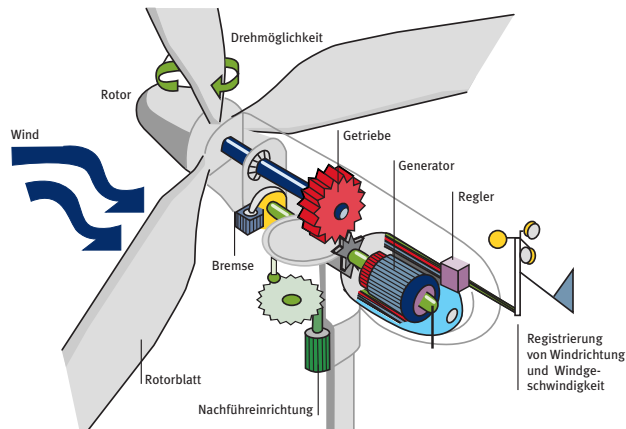


Abbildung 6 Aufbau des Rotors und Getriebes (Quelle: <https://www.weltderphysik.de/gebiet/technik/energie/windenergie/technik-der-windkraft/>)

Bei Windgeschwindigkeiten unter 4m/sec (etwa Windstärke 2-3) drehen sich Rotoren im Leerlauf, darüber werden WKA üblicherweise eingeschaltet. Die optimale Leistung wird bei Windgeschwindigkeiten zwischen 11 -15 m/sec (Windstärke 6-7) erreicht. Bei böigen Winden oder Sturm wird die Drehzahl der Rotoren immer weiter reduziert. Bei zu hohen Windgeschwindigkeiten, etwa 25 m/sec (Windstärke 9), die wegen der hohen Zentrifugalkräfte zu Beschädigungen der Rotoren führen könnten, wird die Anlage automatisch durch Verstellen der Rotorblätter aus dem Wind genommen und abgeschaltet.

Die monatliche Kapazität von WKA hat Sebastian Wehrle vom Inst. für Nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung der Universität für Bodenkultur in Wien für Österreich errechnet und dabei auch die Opportunitätskosten verschiedener erneuerbarer Energiequellen bewertet. In den Sommermonaten liefert die Windenergie einen geringen Anteil an Energie, während im Winter bei hohen Windgeschwindigkeiten deutliche Überkapazitäten produziert werden, deren „Verklappung“ (Einspeisen des erzeugten Stroms in transnationale Stromnetze gegen Strafgebühren) mit einkalkuliert wird. Diese Kosten übernimmt die Allgemeinheit, während aufgrund der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für den Betreiber der Bau von Windkraftanlagen immer die kostengünstigste Variante ist. Den Wert einer unveränderten, nicht „verspargelten“ Landschaft beziffert Wehrle in seinem Modell mit etwa 3 Mio € pro WK-Anlage (Wehrle et al 2021). Auch diese Kosten trägt die Allgemeinheit.

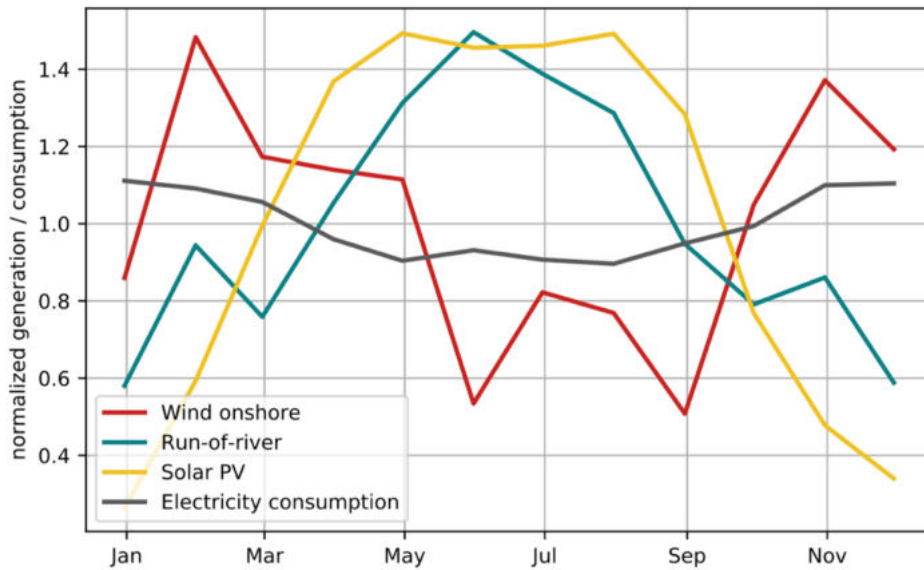


Abbildung 7 Jahreszeitliches Muster der Stromproduktion unterschiedlicher Quellen und des Stromverbrauchs als monatlicher Durchschnitt im Verhältnis zum Jahresmittel in Österreich (Quelle: Wehrle et al 2021)

Auf ihrem Onlineportal modellieren Stefan Pfenninger von der TU Delft und Iain Staffell vom Imperial College London aus den Klimadaten unterschiedlicher Standorte und möglichen Turbinentypen und Rotorenformate die Auslastung von Windkraftanlagen (<https://www.renewables.ninja>). Auf diese Weise kann bereits im Vorfeld auch von unabhängiger Seite geprüft werden, ob die geplanten Anlagen überhaupt eine Mindestauslastung erreichen können. In Tirol sind bisher keine WKA gebaut, da sich das Bundesland aufgrund einer geringen Windhöffigkeit nicht als Standort für derartige Anlagen angeboten hat.

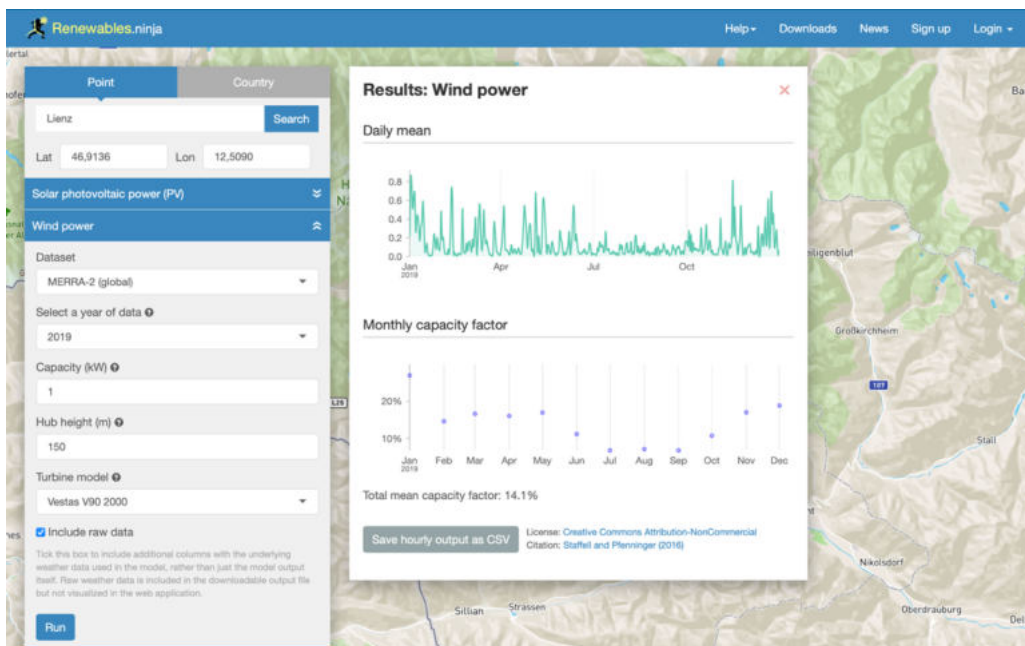


Abbildung 8 Simulation der Kapazität einer WKA im Bereich Lienz, Osttirol (Quelle renewables.ninja)

2.1.3 Recycling von Windkraftanlagen

Die funktionelle Lebensdauer von WKA liegt bei rund 20 Jahren bis höchstens 30 Jahren. Europaweit wird damit gerechnet, dass etwa 60.000 t Abfall beim Rückbau der Windkraftanlagen der ersten und zweiten Generation anfallen werden. Doch beim Rückbau von WKA und beim Abbau von Altanlagen beim Repowering stellen sich heute noch eine Reihe von ungelösten Problemen.

Sobald die Anlage vom Netz genommen wird, können die im Getriebe befindlichen Öle, Fette und Schmiermittel entnommen und entsprechend entsorgt, bzw. verwertet werden. Die Rückgewinnung des in den Schaltanlagen enthaltenen Gases Schwefelhexafluorid, kurz SF₆, darf nur durch zertifiziertes Personal erfolgen (FA Windenergie, 2023). SF₆ wird seit den 1960er Jahren in Hoch- und Mittelspannungsanlagen und Umspannwerken als Schutzmittel verwendet, weil es Überspannungen und Lichtbögen verhindern kann. Aufgrund seiner sehr langen Halbwertszeit wird es auch als „Ewigkeits-Gas“ bezeichnet. SF₆ ist ein äußerst potentes Treibhausgas, das in seiner Wirkung CO₂ um ein 25.184-faches übertrifft. Pro Jahr und Windkraft-Anlage entweichen etwa drei bis sieben Kilogramm SF₆, das entspricht durchschnittlich dem Austausch von 100 Tonnen CO₂ in seiner Klimawirkung (Klein 2023). Die weitere Entsorgung von SF₆-Gas, das beim Abbau von alten WKA anfällt, ist äußerst energieintensiv. In neue Generatoren können auch weniger klimaschädliche Gasgemische verbaut werden oder mit einer Vakuum-Isolierung, die jedoch größeren Platzbedarf erfordert, betrieben werden. In Europa wird es ein Verbot für Neuanlagen bis 24kV mit SF₆ ab 2026, für Anlagen bis 52 kV ab 2030 geben. (Boya Zhang et al 2020, Klein 2023, Laufmann, 2023).

Drei Viertel der Masse einer herkömmlichen WKA besteht aus dem Beton im Fundament. Der Turm besteht aus Stahl (Stahlgittertürme) oder Stahl und Beton; dabei ist von einem Gewicht von 2800 t bei einem 135m hohen Turm auszugehen. Betonhybridtürme werden in der Regel gesprengt und dann weiter verwertet. Sowohl der Beton, wie auch die Stahl und Aluminium Schrotte sind gut wiederverwertbar. (FA Windkraft 2023a).

Turbine (Maschinenhaus mit Generator etwa 220 t) und Rotorblätter (Rotoren mit Nabe etwa 320 t) tragen zu rund 22% zum Gesamtgewicht bei. Da der Rotorradius die Ausmaße des Fundaments bestimmen und der Rotorradius auch zur Leistung einer Anlage im Verhältnis steht, gehen verschiedene Autoren von einem Gesamtgewicht von etwa 564 t pro MW Leistung der WKA aus (Vestas, 2017, Hischler et al 2017 a und b, Garrett et Ronde 2013).

Bei einer großen WKA mit 135 m Nabenhöhe muss das Fundament einen Durchmesser von 20-30 m und eine Tiefe von mindestens 4 m haben. Die Tragfähigkeit des Bodens bestimmt, ob ein Flachfundament oder eine Tiefgründung mit 15 m langen Betonpfeilern erforderlich ist. Ein Flachfundament einer großen WKA hat etwa ein Gewicht von 3500 t. Die Stahlbetonfundamente müssen beim Rückbau einer WKA wieder vollständig aus dem Boden entfernt werden. Beton und Stahl werden getrennt und verwertet, die Fundamentgrube mit Boden, meist aus entfernten Deponien

verfüllt. Pfahlgründungen sind kaum sinnvoll rückzubauen. Das ist nur bis einige Meter unter der Bodennarbe möglich. Der Rest der Ankerpfähle bleiben im Boden, bzw. Gestein (FA Windenergie 2023).

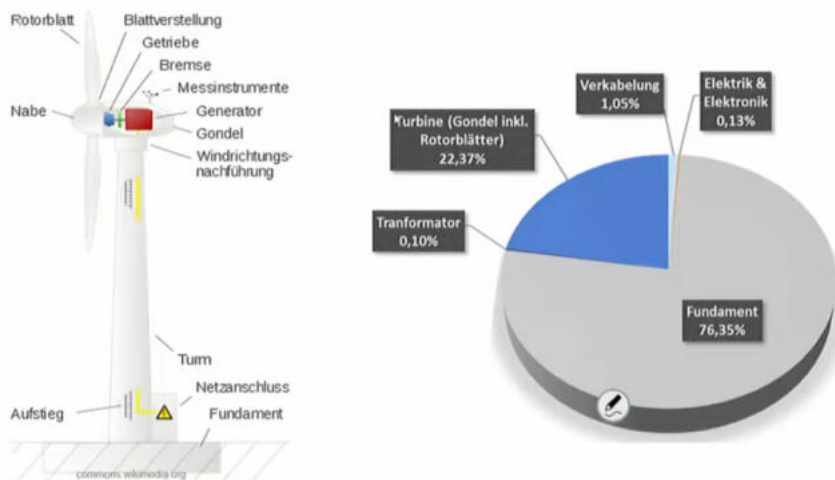


Abbildung 9 Zusammensetzung der Hauptkomponente einer WKA (Quelle: Part, S., „Windkraft verstehen“ 2022)

Die Rotorenblätter und die in der Turbine verbauten Komponenten bestehen größtenteils aus Composit-Materialien, die zur Zeit nur schwer getrennt werden können. Rotorblätter sind in der Regel aus Glasfaser- und zum Teil auch Kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (GFK, bzw. CFK) in Sandwichbauweise mit Kunststoffschäum oder Balsaholz als Füllstoff. Zu etwa einem Drittel bestehen Rotorblätter aus Harzen, Klebstoffen und Balsaholz. Zwei Drittel sind aus faserverstärkten Kunststoffen. In älteren Anlagen wurden vor allem Glasfaser in Epoxidharze eingebettet. Neuere Rotorblätter bestehen aus Carbonfasern in einer Kunststoffmatrix (FA Windkraft 2023, Kühne 2023). Als Blitzableiter werden große Metallbolzen und Kupferleitungen verbaut. Insgesamt summieren sich die organischen Bestandteile (Harze, Füll- und Sandwich-Materialien) auf etwa 30 % der Gesamtmasse. Damit übertreffen sie den Grenzwert für Ablagerungen in Deponien in Europa.

Die Rotorblätter werden am Boden auf sechs bis zwölf Meter lange Stücke zersägt, die dabei entstehenden Stäube müssen mit Wasser gebunden, aufgefangen und ausgefiltert werden. Epoxidharze werden zum Teil verbrannt, zum Teil deponiert. Das Balsaholz kann zurückgewonnen und als Dämmstoff weiter verwendet werden. Verbundstoffe und Glas- und Karbonfasern in den Rotoren werden jedoch zur Zeit nicht zurückgewonnen. Beim Verbrennen der Rotorblätter entstehen Fasersplitter, ähnlich wie Asbestfasern, die als krebserregend eingestuft werden. Diese Fasern verstopfen zudem leicht die Filteranlagen der Verbrennungsanlage. Insgesamt sind die Verbundstoffe der Rotorblätter für die Verbrennung ungeeignet. Chemische Recyclingverfahren wie Pyrolyse oder Solvolyse sind noch nicht genügend entwickelt, um in der Praxis eingesetzt zu werden. Daher werden heute Rotorblätter entweder einbetoniert oder deponiert (Albers et al 2009, Scherhauser et al 2021). Die Entwicklung eines anderen, recyclingfähigen Rotorblatt-Aufbaus wird angemaht, ist aber noch weitgehend unerforscht (Kühne 2023).



Abbildung 10 Die Entsorgung von Rotorblättern erfolgt heute üblicherweise in Deponien (Quelle: Albers et al 2009)

Zur Zeit werden die zersägten Rotorblätter überwiegend deponiert. Da dies in einigen europäischen Ländern jedoch verboten ist, haben sich einige international tätige Unternehmen für die Entsorgung von Rotorblättern auf dem Markt etabliert. In Österreich und weltweit ist durch den Ausbau von WKA mit einem stark steigenden Anfall an nicht recycelbaren Roh- und Verbundstoffen zu rechnen.

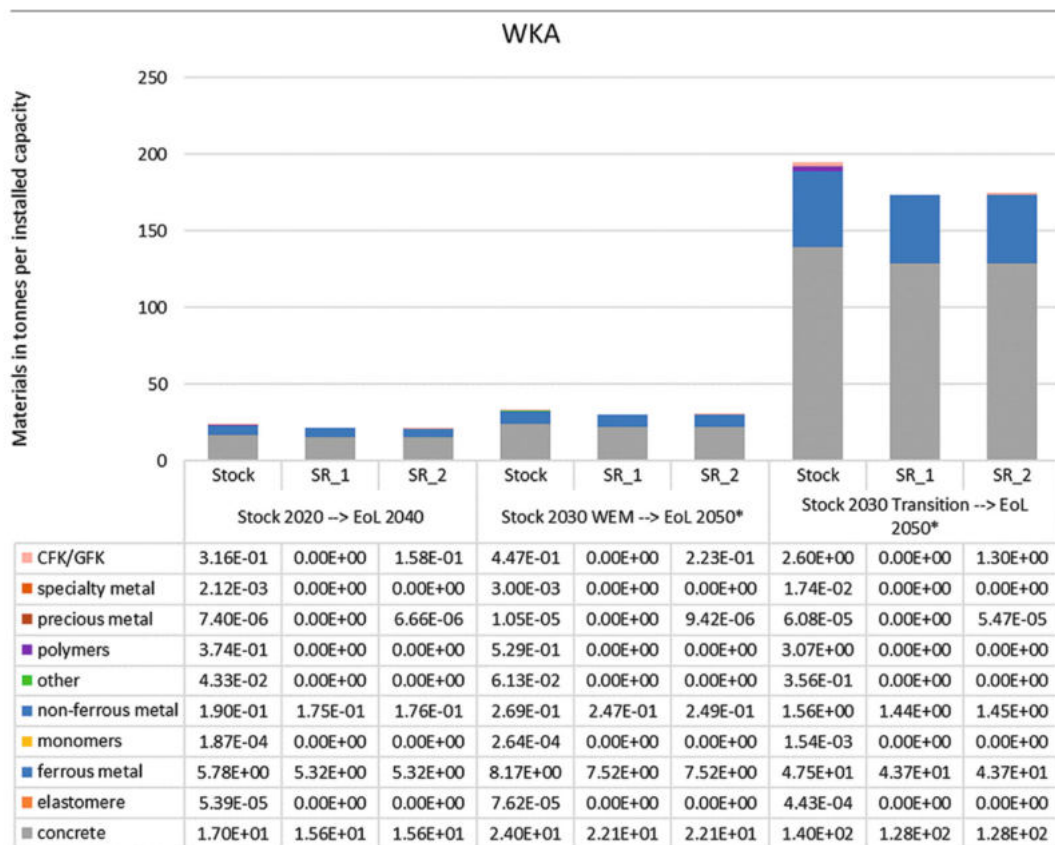


Abbildung 11 Ermitteltes Sekundärressourcenpotenzial in Tonnen der jährlich installierten Menge an WKA in Österreich (Quelle: Scherhauser et al 2021)

Neben den bisher nicht recycelbaren Rotoren, ist auch die Rückgewinnung von in den Generatoren verbauten Rohstoffen bisher sehr gering. Aktuell werden nur rund 70% des eingesetzten Aluminiums, 43% des Kupfers, kaum Gold, Silber und Selen und nur 7% des kritischen Rohstoffs Neodym, der in den NdFeB Permagneten enthalten ist, zurückgewonnen. Neodym steht auf der EU-Liste für kritische Rohstoffe (European Commission 2020b), zählt zu den seltenen Erden und wird in Form von Neodym-Eisen-Bor (NdFeB) in getriebelosen Windenergieanlagen eingesetzt. Die spezifische Masse dieser Magneten liegt zwischen 0,5 und 1 Tonnen pro MW. Der Neodym-Gehalt beträgt im Magneten rund 30 % und ergibt umgerechnet eine spezifische Masse von 0,15 bis 0,30 Tonnen Neodym pro MW (Luidold 2013). Laut IG Windkraft sind diese NdFeB Generatoren zur Zeit nur in wenigen Generatoren in Österreich in Betrieb. Dies entspricht trotzdem einer Menge von ca. 5 t Neodym, das in geringem Ausmaß wiederverwertet werden könnte. (Scherhauser et al 2021).

3 Windenergiepotenzial in Tirol

Die bisherigen Berechnungen von Windkraftpotenzialen in Österreich hatten nur wenige Flächen ausgewiesen, meist die üblichen Kammlagen der Alpen, die ausreichend Potential für einen effektiven Ausbau von WKA geboten hätten.

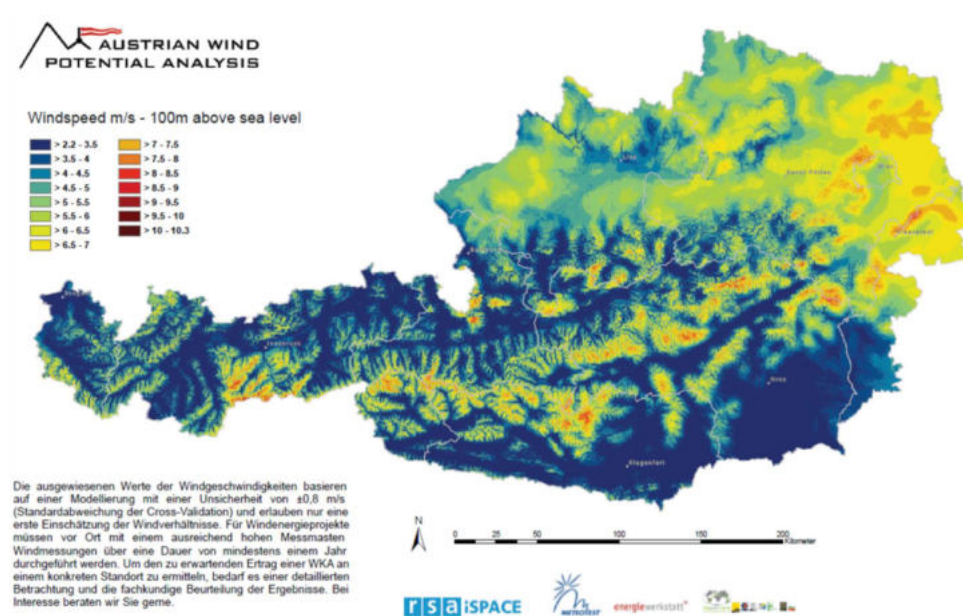


Abbildung 12 Windgeschwindigkeiten in Österreich in 100 m über Boden (Quelle: Winkelmeier et Pfannhofer 2023, www.windatlas.at)

Unter der Annahme einer durchschnittlichen Generatorleistung von 4,2 MW und einem Rotordurchmesser von 139,1 m (Normanlage in der Simulation) wurde eine Leistungsdichte 100 m über Grund für die potentiellen Standorte abgeleitet. Ebenso wurden in der Simulation die Verteilung von Infrastruktureinrichtungen und Siedlungen, Geländedaten, Netzinfrastruktur und Naturschutzgebiete berücksichtigt.

Güteklasse	Vmed Nabe [m/s]	Leistungsdichte [W/m ²]
A	7,00	350
B	6,50	280
C	6,00	220

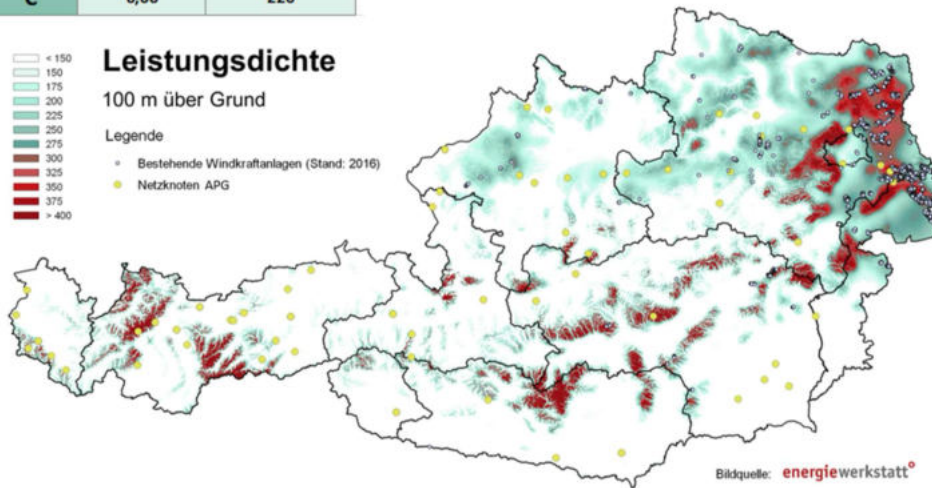


Abbildung 13 Regionale Verteilung der Windgüteklassen und Netzknoten in Österreich (Quelle: Krenn et al 2011)

Vor allem die ausgewiesenen Naturschutzgebiete zeigen in Westösterreich einen hohen Deckungsgrad mit den Regionen ausreichender Windhöffigkeit für den betrieb von WKA. Die in der folgenden Abbildung unterschiedenen Naturschutzgebiets-Kategorien sind wie folgt:

- Kategorie A: Nationalparks, Naturschutzgebiete, Sonderschutzgebiete Wien
- Kategorie B: Geschützte Landschaftsteile, Pflanzenschutzgebiet, Sonderschutzgebiet Tirol, Natura 2000 Habitatrictlinie, Natura 2000, Vogelschutzrichtlinie
- Kategorie C: Geschützter Landschaftsraum, Landschaftsschutzgebiete
- Kategorie D: Naturparks, Naturgebilde (nur Salzburg), Naturdenkmal (nur Salzburg)

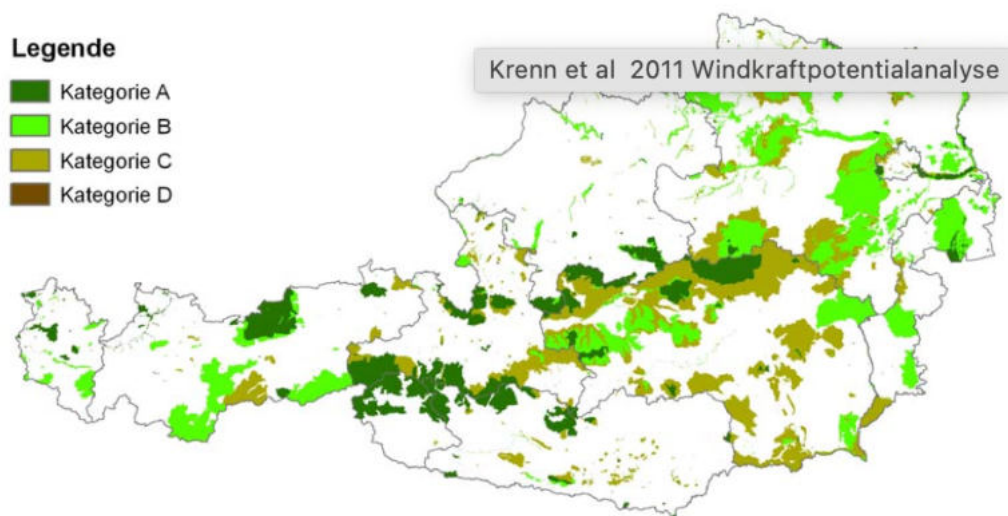


Abbildung 14 Darstellung von Schutzgebieten unterschiedlicher Kategorien (Quelle: Krenn et al 2011)

Weitere mögliche naturschutzfachliche Konflikte, wie überregional bedeutsame Vogelzug- und Wildtierkorridore, oder Lebensräume von geschützten Arten und Arten überregionaler Bedeutung wurde in dieser und auch folgenden Österreichweiten Analysen nicht berücksichtigt (Winkelmeier et Pfannhofer 2023).

Auf Tiroler Ebene hat die Tiroler Landesregierung 2021 ein Energie-Zielszenario „Tirol 2025 und 2024 mit Zwischenziel 2030“ formuliert, das auch den beschleunigten Ausbau von WKA in Tirol vorsieht. Das Amt der Tiroler Landesregierung hat dazu eine Neubewertung von Windpotentialen für den Ausbau von WKA in Auftrag gegeben. In der 2023 vorgelegten Studie werden Flächen für den Ausbau von vornehmlich Hochgebirgs-WKA vorgeschlagen. Dabei wird ausdrücklich davon ausgegangen, dass die Errichtung von WKA vornehmlich in Kammlagen erfolgen wird und hier ein geringerer Flächenverbrauch anfallt als bei vergleichbaren Anlagen im Flachland. Unabhängig davon wird pauschal ein Flächenbedarf von 5,2 ha pro MW Leistung unterstellt. Die in gebirgigen Hochlagen zwangsläufig längere Zuwegung und der notwendige Netzausbau, finden in der Berechnung der Tiroler Studie nur im Rahmen der Bewertung des realisierbaren technischen Potential einen geringen Niederschlag (Neubarth 2023).

Durch die Nutzung eines veränderten Windenergiepotential Modells (BIOCLIM) werden nach Berücksichtigung verschiedener Ausschlusskriterien (siehe unten) in der Studie eine Reihe von Potentialflächen ausgewiesen.

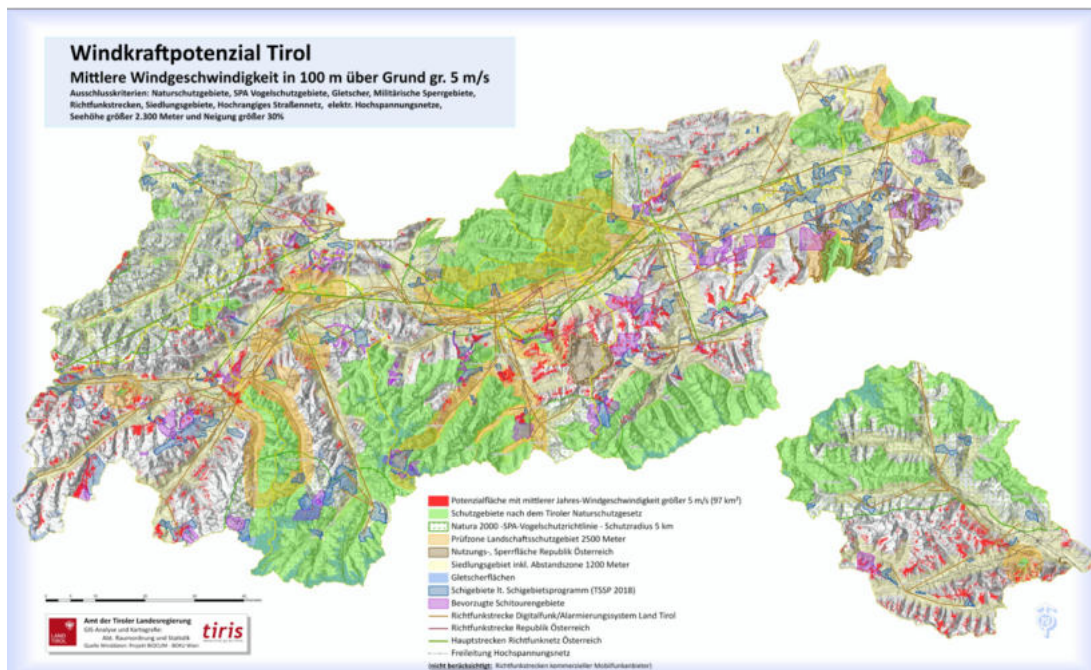


Abbildung 15 Ausschlussflächen und Pufferzonen zur Ableitung des realisierbaren technischen Windenergiepotentials (Quelle: Neubarth 2023)

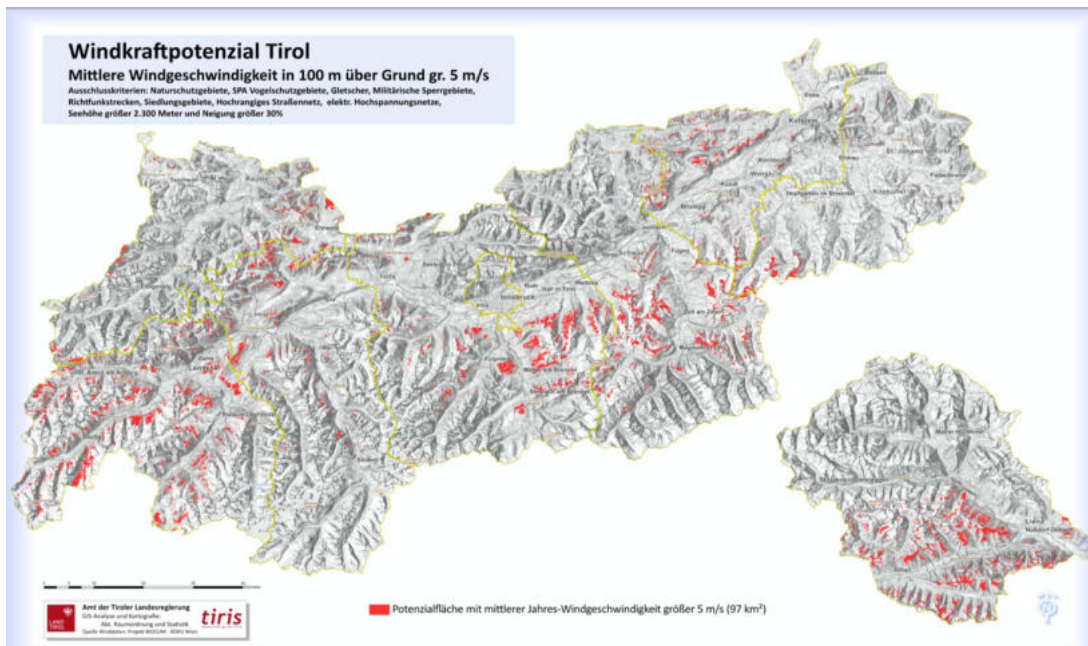


Abbildung 16 Windpotentialflächen ohne Ausschlussflächen auf Basis der Winddaten BIOCLIM (Quelle: Neubarth 2023)

Die Unterschiede zu den Windpotentialflächen auf der Basis des Windatlas Österreich sind augenfällig, vor allem im Bereich Osttirol.

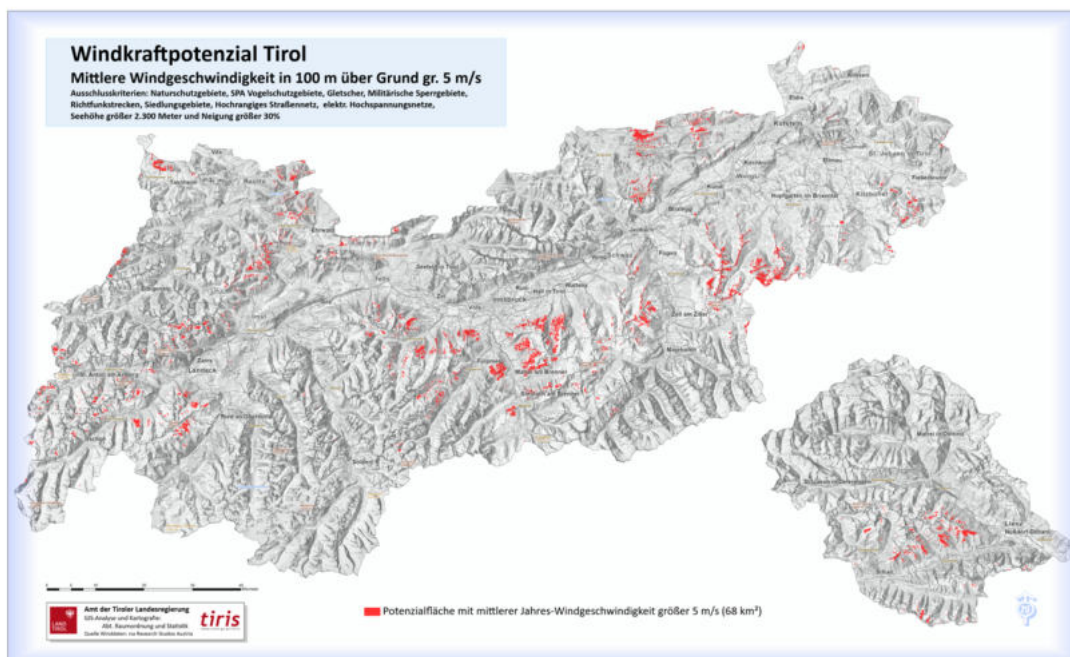


Abbildung 17 Windpotentialflächen auf der Basis Windatlas Österreich (Quelle: Neubarth 2023)

Die Windpotentialflächen sind durch Anwendung eines anderen Winddatensatzes als im Windatlas Österreich zugrunde gelegt werden fast doppelt so groß (statt 838 km² Windpotentialfläche werden mit dem veränderten Datensatz 1563 km² ausgewiesen; das technisch-wirtschaftliche Potential wird verdreifacht. Ein Teil der höheren potentiellen theoretischen „Windausbeute“ wird durch Veränderungen der Modellparameter erreicht, z.B. erhöhte Hangneigung, erhöhte Seehöhe, veränderte Rotorkreisflächenspezifische Jahresproduktion und größere Nabenhöhe. Ob diese Modellannahmen auch tatsächlich in der technischen Realisierung zutreffen, kann nicht überprüft werden.

Auf jeden Fall werden aber andere wichtige Ausschlusskriterien, wie technischer Aufwand beim Bau von Hochgebirgsanlagen und naturschutzfachliche Ausschlusskriterien (Vorkommen windkraftsensibler Arten, Störungen geschützter Arten, Korridore und überregional bedeutsame Korridore und Flugrouten) nicht berücksichtigt; ebenso wenig wie Veränderungen im ökologischen Gefüge von Lebensräumen und Lebensraumverbunden (siehe dazu Kapitel 4).

Die Auswirkungen von WKA in den Berggebieten auf das touristische Potential wird in der Studie von Neubarth nur dahingehend diskutiert, dass in Schigebieten auf 2300 -2800 m Seehöhe bereits vorhandene Zuwegung vorhanden sei und sich derartige touristische Gebiete auch für eine industrielle Nutzung anbieten würden. Lediglich die Gefahr des „Eiswurfs“ (Rotorblätter können im Winter Eis ansetzen und dieses durch die Drehung über größere Entfernung und Geschwindigkeit wegschleudern) wird thematisiert. Dieser Gefahr wird in der Regel durch eine Erhöhung des Mindestabstands der WKA von Straßen, Wegen oder Pisten begegnet, z.B. von mindestens der Strecke aus der Summe Nabenhöhe und halber Rotordurchmesser). Das Windkraftpotential (unabhängig von einer touristischer Akzeptanz) in den Tiroler Schigebieten wird je nach zugrunde gelegtem Windmodell auf weitere 50-88 km² in der Studie geschätzt (Neubarth 2023). Dagegen bewertet die Gruppe Umwelt, Raumordnung und Verkehr des Amtes der Tiroler Landesregierung in einer Stellungnahme 2022 zu den Windkraft Ausbauplänen des Landes Salzburg auf Bergkämmen an der Grenze zu Tirol als schwerwiegende Beeinträchtigungen für Tiroler Schutzinteressen wie das Landschaftsbild sowie als erhebliche Beeinträchtigung für Vögel und deren Lebensräume und überregional für den Vogelzug (Amt der Tiroler Landesregierung UVP-13/104-2022).

Mit Beginn des Jahres 2024 hat die Tiroler Landesregierung eine Landesförderung für potentielle Erbauer von WKA in Tirol aufgelegt und einen Rahmen von 140 bis 160 Windkraftanlagen in Tirol als realistisch und wünschenswert angesehen. Für die Betreiber der ersten großen WKA in Tirol wurde zudem von Landeshauptmann Anton Mattle eine Prämie von 100.000 € ausgelobt, unabhängig von weiteren Fördermitteln und Tarifgarantien für die Stromabnahme (www.tirol.gv.at/energiefoerderungen).

4 Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Natur und Tierwelt

Die vorgelegten Pläne und Szenarien zum Ausbau von Windkraftanlagen in Tirol konzentrieren sich auf Lagen zwischen 1000 m bis 2300 m, bis hin zu 2800 m Seehöhe. Zur Bewertung der möglichen Auswirkungen von WKA auf den Naturhaushalt und insbesondere die heimische Tierwelt müssen verschiedenen Kategorien von Einflussfaktoren berücksichtigt werden, die auch im Rahmen des Prüfschemas bei Verträglichkeitsprüfungen in Flora-Fauna-Habitat Gebieten (FFH-Gebieten) bearbeitet werden müssen:

- a. Direkter Flächenentzug
- b. Veränderung der Habitatstruktur und Änderungen der Nutzung und der Pflege von Lebensräumen
- c. Veränderungen der abiotischen Standortfaktoren, wie Bodenstruktur, morphologische, hydrologische Verhältnisse, Veränderungen der Temperaturverhältnisse und anderer klima- und standortrelevanter Faktoren
- d. Nichtstoffliche Einwirkungen durch Schall, Bewegung, Licht, Vibrationen oder andere mechanische Einwirkungen
- e. Stoffliche Einwirkungen, zum Beispiel den Austritt von Gasen, Abrieb oder Schadstoffen
- f. Barriere- und Fallenwirkung und Individuenverluste beim Bau und Betrieb der Anlagen
- g. Und schließlich die direkten Einflüsse auf Arten und Artengefüge.

Zu a) und b) Flächen- und Lebensraumverlust: Die Auswirkungen von Flächen- und Lebensraumverlusten auf einzelne Tierartengruppen wird in den folgenden Kapiteln detaillierter eingegangen. Der Entzug und die Veränderung von Lebensräumen vor der eigentlichen Bauphase führt nicht nur zum Verlust, der tatsächlich beeinflussten Fläche, sondern hat auch weitreichende Folgen für das Lebensraumgefüge. Zum Beispiel werden ehemals geschlossene Waldgebiete geöffnet und gerodet, um die Baustelle zugänglich zu machen und vorzubereiten (Kranstellplätze). Etwa 10.000 m² Infrastrukturfläche müssen pro WKA vorbereitet, das heißt in bewaldeten Gebiete, gerodet werden. Dabei werden Straßen neu gebaut oder bereits bestehende Straßen und Wege für den Schwerlastverkehr ertüchtigt.; Baustellen werden teilweise oder komplett abgezaunt, was aus Versicherungstechnischen Gründen notwendig ist und entlang der Wege und Baustellen entstehen Störzonen. Neben der anlagenbedingten Überbauung (Mastfuß, Fundament, Kranstellfläche) müssen auch notwendige Einspeisepunkte in das Stromnetz (Umspannwerke) und die erwähnten Zuwegungen in der Flächenbilanz berücksichtigt werden. Die Straßen- und Wegeführung zum Standort muss in der Art ausgebaut werden, dass sowohl Kurvenradien wie Breite und Belastbarkeit der Zuwegung für Schwertransporte dauerhaft geeignet sind.

Zuwegung und Infrastrukturfläche führen daher dauerhaft während der Betriebsdauer einer WKA zu einem Verlust des Lebensraums und Störwirkungen in den vergrößerten Randstrukturen sowie den im Folgenden beschriebenen Störwirkungen einer WKA im Betrieb.

Insgesamt hat eine einzige Windkraftanlage einen Effektradius von 300 Hektar allein durch Störung und veränderter Landnutzung. Ein Windpark von 10 WKA beeinflusst unmittelbar eine Fläche von rund 1000 ha, dazu kommen Leitungstrassen, Zuwegung und menschliche Störung, die ebenfalls zu berücksichtigen sind (Schöll et Nopp-Mayr 2021, 2023; Tolvanen et al 2023).

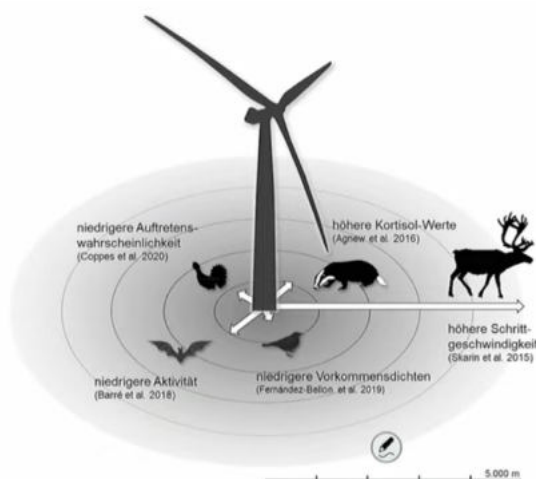


Abbildung 18 Effektradien von WKA auf räumlicher Ebene (Quelle: Nopp-Mayr 2022, Schöll et Nopp-Mayr 2021)

Aus einer aktuellen Literaturübersicht ermittelten Tolvanen et al (2023) 160 wissenschaftlich nachgewiesene Fälle von Lebensraumverlust und Verdrängung durch Windkraftanlagen an Land. Insgesamt wurden 63% der untersuchten Vogelarten, 72% der Fledermausarten und 67% der Säugetierarten aus ihren jeweiligen Lebensräumen verdrängt, teilweise in bis zu 5 km Entfernung von der jeweiligen WKA. Die darauf folgenden Populationsrückgänge könnten nach Ansicht der Autoren abgemildert werden, wenn Windkraftanlagen nur in wenig für Wildtiere attraktive Lebensräume gelegt werden würden. Wohingegen oft gerade derartige Lebensräume für die Ansiedlung von Windkraftindustrie bevorzugt werden, weil gerade in störungsarmen Lebensräumen wenig Menschen leben.

Neben den Verlusten an Lebensraum wirken weitere Effekte, zunehmende Störungen, Aufenthalt in weniger geeigneten oder unsicheren Lebensräume, kumulativ. Heimische Wildtiere, gerade die größeren und mobileren, kommen durchweg in einem sogenannten Metapopulationsgefüge vor. Das heißt, einzelne, lokale Populationen stehen mit anderen in einem größerem Raum in Verbindung. Auf diese Weise wird ein genetischer Austausch und damit auch die Überlebensfähigkeit und Widerstandskraft der gesamten Metapopulation ermöglicht. Lokale Verdrängungen können

mittelfristig auch großräumig das „Populationsnetzwerk“ einer Art beeinträchtigen und zum Schwund oder Verlust der Art führen (Nopp-Mayr 2022)

Zu c) Veränderung abiotischer Standortfaktoren: Während des ersten Bauabschnitts müssen die Fundamente für ein Windrad gebaut und Kabelgräben und andere Flächen gegraben werden. Dazu muss Erdreich abgegraben werden. In Gebieten mit geringer Bodenauflage, z.B. Hochgebirge müssen für Fundamente ggf. auch Pfähle in Gesteinsschichten gebohrt oder gesprengt werden. Der Boden wird für die Jahrzehnte des Betriebs, entfernt, umgegraben und außerhalb des Fundaments durch Zuwegung und Betriebsflächen verdichtet. Auch beim Rückbau eines Windrades kann der Boden nur mit externem Bodenaushub verfüllt werden. Die Bodenstruktur des Fundamentbereichs bleibt dadurch dauerhaft gestört (siehe auch Kap. 4.2). Die Folgen von veränderten Standortfaktoren sind in Kap. 4.1 beschrieben.

Zu d) Nichtstoffliche Einwirkungen: Im Betrieb einer Windkraftanlage sind optische Reize in verschiedener Hinsicht relevant. Sie ergeben sich einerseits durch die Anlagenhöhe und die große, weiträumige Sichtbarkeit. Dies hat nicht nur ästhetische Auswirkungen, sondern beeinflusst auch Wildtiere in ihrer Wahrnehmung der Landschaft und ihrem Verhalten. Die Rotationsbewegung einer Anlage sowie die Reflexionen und im Nahbereich das „Zerhacken“ des Sonnenlichts bei tiefstehender Sonne führt zu einem „Diskoeffekt“. Zusammen mit dem Schattenschlag eines laufenden Windrades entstehen so Störwirkungen auf das Verhalten und ggf. die Physiologie von Wildtieren. Aus humanmedizinischer Sicht wird vor allem der Schattenschlag als gesundheitsschädlich bezeichnet.

Windenergieanlagen ab einer Gesamthöhe von 100 m müssen mit optischen Kennzeichen (Signallichter) an Gondel, Turm und Rotorblätter ausgestattet sein. Ebenso wie eine dauerhafte Baustellenbeleuchtung kann das zu relevanten Störeinflüssen auf verschiedene Artengruppen, vor allem auf Insekten und Fledermäuse sowie nachts fliegende und ziehende Vogelarten haben.

Bereits in der Bauphase gehen von dem WKA Standort Erschütterungen, Vibrationen und Schallemissionen aus, die störende Auswirkungen auf Tiere und das Bodenleben haben kann. Während des Betriebs beeinflusst eine WKA die Umgebung mit einem Schalldruckpegel von mehr als 100dB im hörbaren Spektrum. Dabei handelt es sich sowohl um die mechanischen Geräusche des Triebstrangs wie auch aerodynamische Laufgeräusche durch Luftwirbelablösungen am Rotorblattende. Neben den für Menschen hörbaren Geräuschen erzeugt eine Windkraftanlage auch Schallemissionen außerhalb des akustisch erkennbaren Bereichs (Carlile et al 2018, FA Wind 2023b). Bei jedem Durchgang eines Rotorblatts vor dem Mast wird eine Druckwelle erzeugt, die als Infraschall nahezu verlustfrei über große Entfernung transportiert wird. Der Infraschallpegel von 60 Windrädern ist noch in etwa 90 km Entfernung messbar (Lenzen-Schulte 2019).

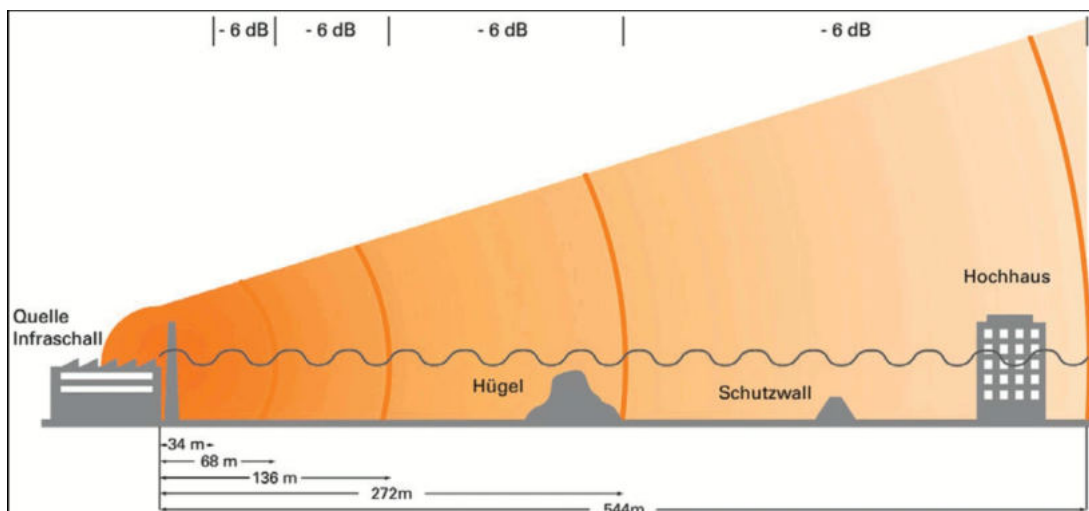


Abbildung 19 Darstellung der Ausbreitung von Infraschall von 10 Hz mit einer Wellenlänge von 34 Metern (Quelle: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz)

Schallwellen unterhalb des Frequenzbereichs von 20 Hz werden als Infraschall bezeichnet. Natürliche Infraschallquellen sind Erdbeben, Vulkanausbrüche, Lawinen, Gewitter oder Meeresbrandung. Technische Infraschallquellen, die meist dauerhaft emittieren, sind Industrieanlagen, Kompressoren, Klimaanlage und natürlich Windkraftanlagen. Auch wenn er für Menschen nicht hörbar ist, hat Infraschall doch eindeutig biophysiological Wirkung, die umfangreich untersucht sind. Teilweise wird lauter Infraschall als periodisches „Wummern“ oder als Vibration wahrgenommen. Die geschilderten Beeinträchtigungen reichen von Benommenheit, Ermüdung, Schlafstörungen, Beeinträchtigungen des Herz-Kreislaufsystems und Stressgefühlen (Stiller 2017, Lenzen-Schulte 2019, Carlile 2018, Myck 2021). In Laborversuchen mit Tiermodellen und Zellkulturen wurden Veränderungen in Ohr und Gehirnbereichen nachgewiesen und verringerte Leistungsfähigkeit von Herzmuskelzellen. Jedoch konnten bisher keine belastbaren Nachweise für die Ursache von WKA-emittierten Infraschall auf Menschen mit entsprechenden Symptomen belegt werden (Carlile et al 2018, Myck 2021). Vergleichbar mit dem Phänomen der Seekrankheit scheinen nicht alle Menschen gleich sensibel für Infraschall zu sein. Aus diesem Grund sind große Querschnittstudien oder mit nur wenigen Teilnehmern zu dem Thema wenig aussagekräftig. In der Folge werden Bedenken bezüglich der Infraschall-Belastung durch WKA oft als „Nocebo-Effekte“ (nur „eingebildet“) angesehen (FA Wind 2023b, Myck 2021). Angesichts des Mangels an belastbaren Messungen zur tatsächlichen Infraschall Emission von Windkraftanlagen und der unterschiedlichen Sensibilität von Menschen für Infraschall, fordern Mediziner und andere Wissenschaftler gezielte, systematische Studien zu dieser Frage (Carlile 2018, Lenzen-Schulte 2019).

Zu e) Stoffliche Einwirkungen:

Die verschiedenen Verbundmaterialien in den Rotorblättern und Getriebe verschleifen unter den Witterungseinflüssen, wie UV-Strahlung, Wind, Hagel, Regen, Blitzschlag. Der starke Abrieb an den exponierten Teilen summiert sich auf etwa 30 bis 150 kg Materialverlust pro Windrad und Jahr

(Blackout News 2025). Der ernsthafte Schadstoffeintrag vor allem durch Rotorblatt-Abrieb in Gebieten, die zuvor weitgehend unbelastet waren, führt zu langanhaltenden Belastungen in Boden, Gewässer und entlang der Nahrungskette. Per- und Polyfluoralkylsubstanzen, kurz PFAS genannt, sind inzwischen weit verbreitete und sehr langlebige Industriechemikalien, die sich in vielen Verbraucherprodukten finden (BfR 2024). PFAS werden praktisch in Organismen nicht abgebaut. Daher definiert die EFSA (Europäische Agentur für Nahrungsmittel Sicherheit) eine tolerierbare wöchentliche Aufnahmemenge von nicht mehr als 4,4 Nanogramm pro Kilogramm Körpergewicht (EFSA 2020). Auch wenn der Abrieb von Autoreifen und Schuhsohlen ebenso Mikropartikel und PFAS freisetzen, sind inzwischen Windkraftanlagen als Quelle von Umweltkontamination mit den als „Ewigkeitschemikalien“ bezeichneten Chemikalien in den Fokus geraten, vor allem in Gebieten, die weitab von Städten und Industriezentren liegen.

In zwei Bundesländern Deutschlands wurden Wildschweine auf Spuren von PFAS untersucht. Alle untersuchten Proben von Wildschweinlebern erwiesen sich als so hoch mit perfluorierten und polyfluorierten Alkylsubstanzen belastet, dass nicht mehr verkaufsfähig sind. Die Höchstwerte wurden teilweise um das mehr als sechsfache überschritten. Das Landesuntersuchungsamt Rheinland-Pfalz (2024) rät daher dringend vom Verzehr von Wildschweinleber und Produkten daraus ab – ebenso wie inzwischen auch das deutsche Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR 2024). Als Quelle für diese Kontamination stehen WKA im Verdacht.

Zu f und g) Barriere-, Fallenwirkung und Individuenverlust: Sowohl während des Baus wie beim Betrieb einer Windkraftanlage kommt es zu baubedingten Barrierewirkungen und dem Verlust von Individuen der betroffenen Populationen. Bereits im Rahmen der Baufeldfreimachung, bzw. -räumung kommt es zum Verlust von einzelnen Tieren. Baugruben, Schächte und Kanalgrabungen können sowohl als Barriere wie als Fallen wirken. Zusammen mit den errichteten und ausgeweiteten Baustraßen und dem intensiven Baustellenverkehr, bzw. späterem Wartungsverkehr können bedeutende Individuenverluste bei bodengebundenen Arten auftreten. Für Insekten, Fledermäuse und Vögel besteht ein direktes Kollision und Verletzungsrisiko im Umfeld der Rotoren beim Betrieb der WKA. An den Spitzen, die sich bereits bei 50 m langen Rotorblättern mit einer Geschwindigkeit von 340 km/h drehen, treten Fliehkräfte auf, die dem 18-fachen der Erdbeschleunigung entsprechen. Weitere Auswirkungen auf verschiedenen Artengruppen sind in den folgenden Kapiteln dargestellt.

4.1 Auswirkungen auf Pflanzenproduktion und Ökosysteme

Die Auswirkungen von Windkraftanlagen auf die Vegetationsdynamik und die Produktion pflanzlicher Biomasse ist bisher kaum untersucht worden und war eher Thema theoretischer Überlegungen und Modellrechnungen (Nazir et al 2020, Thaker et al 2018, Gibson et al 2017). Vor allem die Öffnung von vorher geschlossenen Waldgebieten führt zu den bereits bekannten Veränderungen des Waldklimas, die sich auch in veränderten Wuchsbedingungen, Konkurrenzsituationen und in der Regel verminderter Resilienz der Waldgebiete niederschlägt (Ibisch et al .2021). Der rasche Bau von Windkraftanlagen in China hat inzwischen Gelegenheit gegeben, großflächig empirische Daten über eine Reihe von Lebensräumen zu sammeln und auszuwerten. Auf 0,08 Prozent des chinesischen Festlandes stehen mit Stand 2023 2404 Windparks mit einer Gesamtheit von 108.361 Windrädern (Li Gao et al. 2023). China hat aktuell die größte Menge an Windkraftanlagen weltweit mit einer installierten Kapazität von über 350 GW (zum Vergleich: USA 132 GW, jeweils Stand 2023).

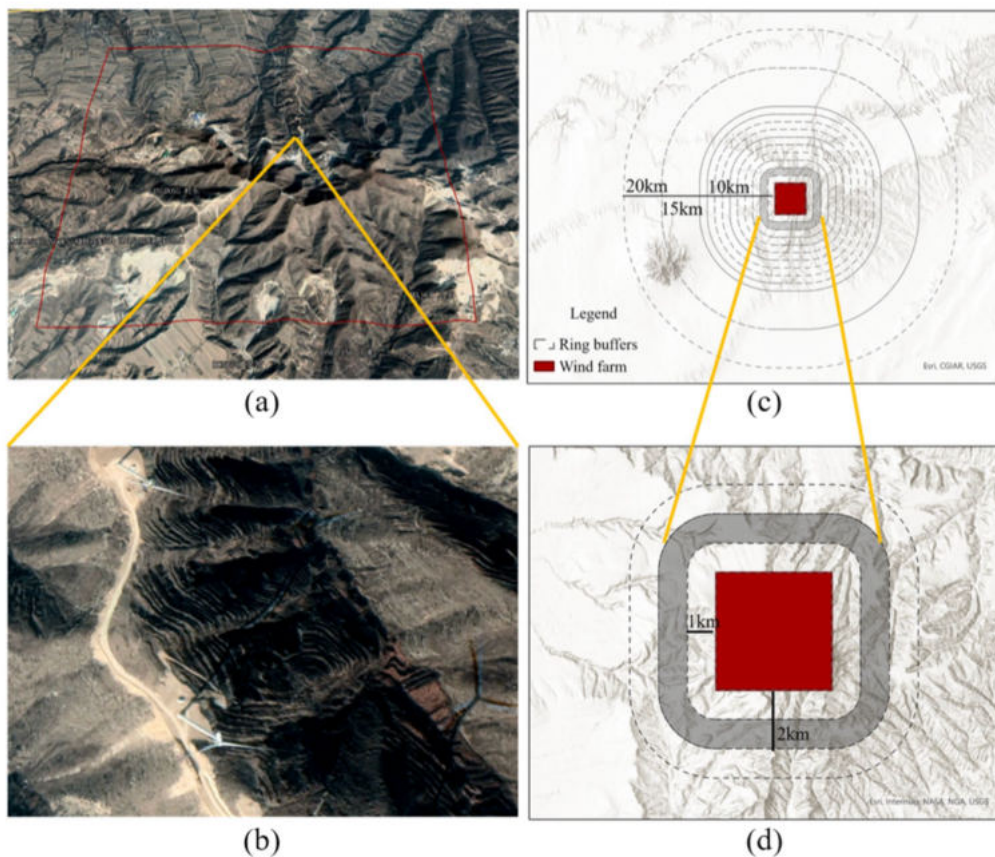


Abbildung 20 Design für die empirische Evaluation von Windkraftanlagen: a) Satelliten Aufnahme von Windparks und b) einzelner Windrädern, c und d) das rote Quadrat umfasst jeweils den Windpark, bzw. das Windrad. Die untersuchten Einflussphasen sind konzentrisch mit gestrichelten Linien markiert (Quelle: Li Gao et al 2023).

Diese hohe Dichte an Windparks und Windrädern erlaubte einem Wissenschaftler Team chinesischer und US-amerikanischer Universitäten Veränderungen in Vegetation, Pflanzenproduktion und Vegetationsdynamik in Kilometer-Schritten Entfernung um eine WKA zu erfassen und zu vergleichen. Dabei wurden verschiedene Parameter zur Vegetationsbedeckung, der Pflanzen-Biomasse und

Pflanzenproduktion über Fernerkundungs-Methoden mittels Satelliten-Aufnahmen erfasst. Derartige Verfahren werden auch bei den gängigen Klimamodellen und Kohlenstoff-Senken-Berechnungen angewandt und die Ergebnisse ausgewertet, bzw. weiter modelliert.

Folgende Werte wurden in der zitierten Arbeit (Li Gao et al 2023) ermittelt:

- **NDVI**: Normierte Differenz Vegetations Index. Je vitaler (grüner) eine Pflanze ist, desto größer ist der Anstieg des Reflexionsgrades im nahen Infrarot-Bereich.
- **EVI**: Erweiterter Vegetations Index. Wird in Bereichen mit sehr dichtem Pflanzenwachstum angewandt
- **FPAR**: Photosynthetisch aktive Strahlung, die tatsächlich von der Vegetation absorbiert wird und theoretisch für die Photosynthese Pflanze verfügbar ist.
- **LAI**: Blattflächen Index (leaf area index). Die Menge an grüner Blattoberfläche im Vergleich zur Bodenfläche.
- **GPP**: Brutto-primärproduktion. Die gesamte Produktion von Biomasse (fixierte Menge an Kohlenstoff) durch Pflanzen.
- **NP**: Netto-Photosynthese.
- **NPP**: Netto-Primärphotosynthese: Die gesamte Biomasse, die von Pflanzen durch Photosynthese gewonnen wird (GPP minus der von Pflanzen veratmete Kohlenstoff).
- **PTC**: Prozent-Baum-Bedeckung (Waldflächenanteil).
- **PNTV**: Prozent-Offenland Fläche.
- **PNV**: Prozent Flächenanteil ohne Vegetation.

Dass WKA Auswirkungen auf die Vegetation im Umkreis von bis zu zehn Kilometer haben kann, wurde bereits in früheren Arbeiten gezeigt (Zhou et al. 2013). Insgesamt bestätigen auch die aktuellen Ergebnisse, dass Windkraftanlagen deutliche Effekte auf die Vegetation haben. Die Produktion pflanzlicher Biomasse (PBP) wird durch WKA erkennbar reduziert; ebenso nimmt der NDVI in einem bis acht Kilometer Umkreis um eine WKA dramatisch ab. Dieser Einfluss ist erst in einer Entfernung von 15 km nicht mehr erkennbar. Die absorbierte photosynthetisch aktive Strahlung (FPAR) nimmt in einem Umkreis von einem bis sieben Kilometer um eine Anlage ebenso ab wie die Brutto-Primärproduktion. Der Blattflächen- Index (LAI) ist bis zu drei Kilometer um eine WKA reduziert. Die folgende Abbildung zeigt die entsprechenden Veränderungen der genannten Indices mit zunehmendem Abstand zu einer Windkraftanlage.

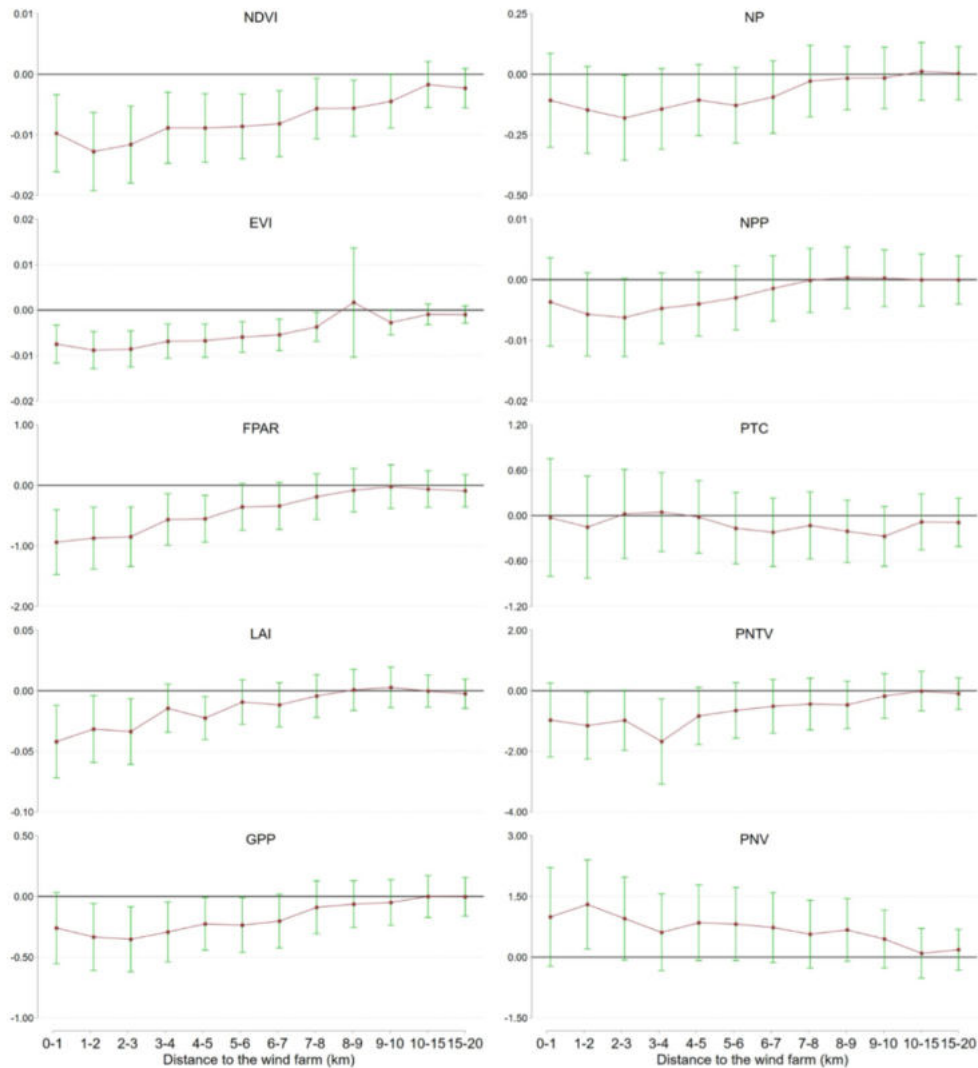


Abbildung 21 Durchschnittliche Auswirkungen von Windkraftanlagen auf verschiedene Parameter (Erklärung im Text) im Abstand von den Anlagen. Die grünen Balken geben die 95% Vertrauensintervalle der ermittelten Werte an (Quelle: Li Gao et al 2023)

Ursache für die ermittelten Veränderungen sind neben den direkten Eingriffen in die Vegetation (Rodungen für Anlagen und Zuwegung) auch Veränderungen der Topographie (z.B. durch Erdbewegungen, Einebnungen) und Veränderungen der Wachstumsbedingungen von Pflanzengesellschaften. Durch veränderte Luftbewegungen werden unter anderem die örtliche Oberflächentemperatur und Luftfeuchtigkeit, Niederschlagsmengen und hydrologischen Bedingungen verändert. Vibrationen und Schall können Auswirkungen sowohl auf den Boden wie auf Pflanzen haben. Auch die starken Windströme durch die Rotoren können, je nach Vegetationstyp, zu erhöhter Evaporation der Blätter bis hin zu Blattschäden führen (Spillias et al. 2020, Abbasi et al. 2000).

Li Gao et al. (2023) schätzen, dass innerhalb eines 20 km Radius um Windkraftanlagen die Kohlenstoffsinken im Wald um durchschnittlich 12.034 Tonnen reduziert werden. Daraus errechnen sie nach den zur Zeit üblichen Kompensationsmethoden für Kohlenstoff (C-Senken Verlust) einen durchschnittlichen wirtschaftlichen Verlust von 1,81 Millionen Dollar pro WKA.

4.2 Auswirkungen auf Bodenleben und Kleintiere

Die Auswirkungen von Windkraftanlagen auf das Bodenleben sowie Bodeneigenschaften in den vom Bau derartiger Anlagen betroffenen Flächen wurden bisher ebenso wenig detailliert untersucht. Nachdem immer eine beträchtliche Grundfläche entweder komplett abgetragen werden muss (Fundament) oder für Zuwegung, Kranstellflächen und Betriebsgelände verdichtet und / oder überbaut wird, muss mit beträchtlichen und großräumigen Verlusten der Bodenfunktionen gerechnet werden. Durch die Verdichtung bei Baumaßnahmen sinkt das Porenvolumen der verbliebenen Böden um das Fundament und Kranstellflächen deutlich, was sich in einer geringen Wasserspeicherfähigkeit und einer verringerten Aufnahme von CO₂ auswirkt. Dementsprechend eingeschränkt ist auch das Bodenleben, von Regenwurm bis Kleinstlebewesen. Die Auswirkungen der Vibrationen, die über das Fundament in den Boden übertragen werden, wurden bisher nicht systematisch untersucht. Es wird in verschiedenen Studien zwar darüber spekuliert, dass diese Vibrationen zu Veränderungen der Aktivität von Bodenlebewesen (Agnew et al. 2016) oder auch zu Schäden im Feinwurzelsystem führen können (Li Gao et al. 2023), entsprechende Untersuchungen fehlen jedoch bis zu diesem Zeitpunkt.

Mit steigender Höhenlage sinkt zudem die Regerationsfähigkeit und die Neubildung von Boden und die Humusakkumulation. Bei der Ansiedlung von WKAs in den hochmontanen bis alpinen Lagen Tirols ist somit von einem mehrhundertjährigen Verlust der Bodenfunktion in den betroffenen Gebieten auszugehen. Nachdem gerade die Wasserrückhaltefähigkeit von Böden (auf ausreichend beweideten Almflächen und in Bergwäldern) auch eine entscheidende Rolle beim Abwasserabfluss ins Tal spielt, kommt dem Bodenschutz in den Hochlagen der Alpen (unabhängig von der Vegetation, ob Wald oder Offenland) eine entscheidende Bedeutung zu. (Hegg et al. 2004, Rickli et Graf 2009, Lüscher et Zürcher 2003, Seifert et al 2008). Zum Thema Oberflächenabfluss und Bodenerosion bei künstlichen Starkniederschlägen siehe auch KARL et. al. 1985. Eindeutig wirkt sich zudem der Einsatz schwerer Maschinen, der zu einer Bodenverdichtung führt, negativ auf das Speichervolumen im Boden aus, während der „Dachrinneneffekt“ von Straßen (Forststraßen und Zuwegung) zu einem erhöhten Wasserabfluss talwärts führen (Zusammenfassung in: Seifert 2008).

Für kleine Tiere, wie Reptilien und Amphibien und Kleinsäuger sind bereits schmale Wege und Straßen unüberwindliche Hindernisse, die bisher zusammenhängende Lebensräume oder saisonale Wanderrouten von Laich- in Winterquartiere trennen. Durch die europaweit gültige Flora-Fauna-Habitatrichtlinie (FFH-Richtlinie) sind alle Reptilien- und Amphibienarten des Anhangs IV der FFH-Richtlinie streng geschützt. Baumaßnahmen und andere Eingriffe in den Lebensraum dieser Arten dürfen nur erfolgen, wenn entsprechende Vorkommen entweder geschützt oder, was angesichts des Bauvolumens bei WKAs der Fall ist, derart umgesiedelt werden können, dass die gesamte Population nicht abnimmt oder gar erlischt. Diese Fragen sind vor der möglichen Bewilligung einer WKA entsprechend zu prüfen.

Im Falle hochmontaner, sub- und alpiner Vorkommen ist jedoch davon auszugehen, dass sämtliche noch zur Verfügung stehenden Lebensräume besiedelt sind und es keine freien, bisher nicht genutzten „Ausweich-Lebensräume“ gibt, in die umgesiedelt werden könnte.

Auch während der Bauphase muss sichergestellt werden, dass der Baustellenbetrieb und Baustellenverkehr nicht zu Verlusten bei wandernden Amphibien führt. In diesem Fall müsste während der Hauptwanderzeit im Frühjahr täglich in den Morgenstunden eine Kontrolle der Baustellenbereiche sowie der Zuwegung zum und im Windpark und ggf. von Amphibienschutzzäunen auf vorkommende Amphibien durchgeführt werden. Die Ergebnisse der täglichen Kontrolle müssen zudem dokumentiert werden. Alle diese Maßnahmen sind vom Bauträger durchzuführen.

Der Alpensalamander kommt in Höhenlagen ab 600 m bis 2300 m Seehöhe vor und damit grundsätzlich auch in den potentiellen WKA Gebieten Tirols und Osttirols. Vor Baubeginn muss daher sichergestellt werden, ob Vorkommen dieser streng geschützten Art tangiert werden und entsprechende Anpassungen der Planungen oder Umsiedlungsmaßnahmen angeordnet werden (s.o.).



Abbildung 22 Alpensalamander (Quelle: herpetofauna.at)

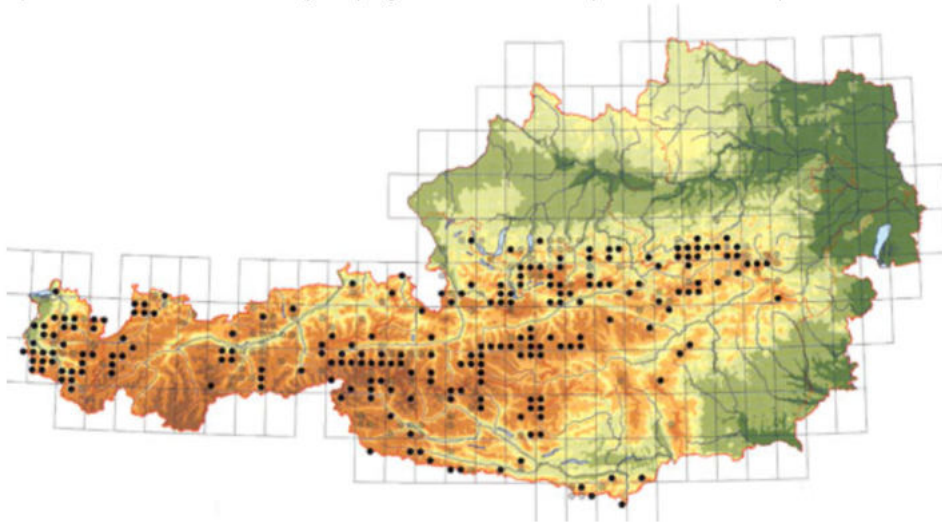


Abbildung 23 Verbreitung des Alpsalamanders in Österreich (Quelle: <https://www.herpetofauna.at/index.php/alpensalamander>)

Auch der Bergmolch, um nur eine weitere Art zu nennen, besiedelt Bereiche ab 300 m üNN, hauptsächlich Regionen zwischen 1300 m und 2100 m Seehöhe. Er kommt auf Feuchtwiesen, in alpinem und subalpinem Gras- und Krautbestand sowie Laub-Nadel-Mischwäldern vor. Im Vergleich zu anderen Amphibien lebt er häufiger auch in Nadelwäldern.



Abbildung 24 Bergmolch (Quelle herpetofauna.at)

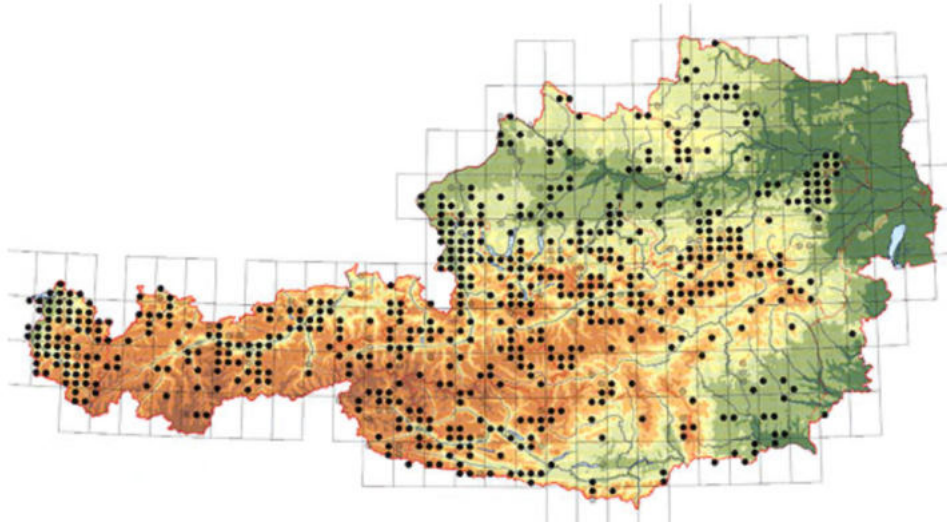


Abbildung 25 Vorkommensgebiete des Bergmolchs (Quelle: <https://www.herpetofauna.at/index.php/bergmolch>)

Ebenso überschneidet sich das Verbreitungsgebiet weiterer geschützter Amphibien- und Reptilienarten mit den ausgewiesenen Standorten für Windkraftanlagen in Tirol. Auf eine detaillierte Aufzählung aller zu beachtenden Arten wird hier verzichtet. Für alle Arten gilt jedoch die Pflicht zur Kartierung vor dem Beginn, einer Abwägung der Eingriffe und möglicher Kompensationen und im Fall der Genehmigung einer WKA in dem Bereich, dem Schutz bei Baumaßnahmen.

4.3 Auswirkungen auf Insekten

Die Betrachtung der Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Insekten hat bisher nur vereinzelt Beachtung gefunden. Bereits 2018 untersuchten verschiedene Forschungsgruppen die möglichen und tatsächlich nachweisbaren Effekte. Franz Trieb (2018) vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) zeigte in Modellrechnungen, dass die Verluste des „Aeroplanktons“ also fliegender Insekten durch Kollisionen mit WKAs beträchtlich sein und die Stabilität von lokalen Insektenpopulationen beeinträchtigen können. Vor allem während der Wanderphasen, die bestimmte Insektenarten zeigen, gibt es Konzentrationen der Tiere in 20 m bis 220 m Höhe. Das ist auch der Bereich, in denen sich Rotorblätter von WKA bewegen. Derart getroffene Insektenschwärme können sogar zu einer Reduktion der Energieausbeute der Anlage führen.

Für Deutschland werden die jährlichen Verluste an Insekten-Biomasse durch WKA auf 1200 t geschätzt, das entspricht etwa 1,2 Trillionen Insekten pro Jahr, oder etwa 40 Millionen Insekten pro einzelne Anlage (Voigt 2021). Besonders betroffen sind schwärmende Insektenarten oder Arten, die sich bevorzugt entlang von Hangkanten und Bergrücken aufhalten. Die warmen Turbinen-Oberflächen werden von manchen Insekten auch gerne in der abendlichen Dämmerung als Rastplatz genutzt.

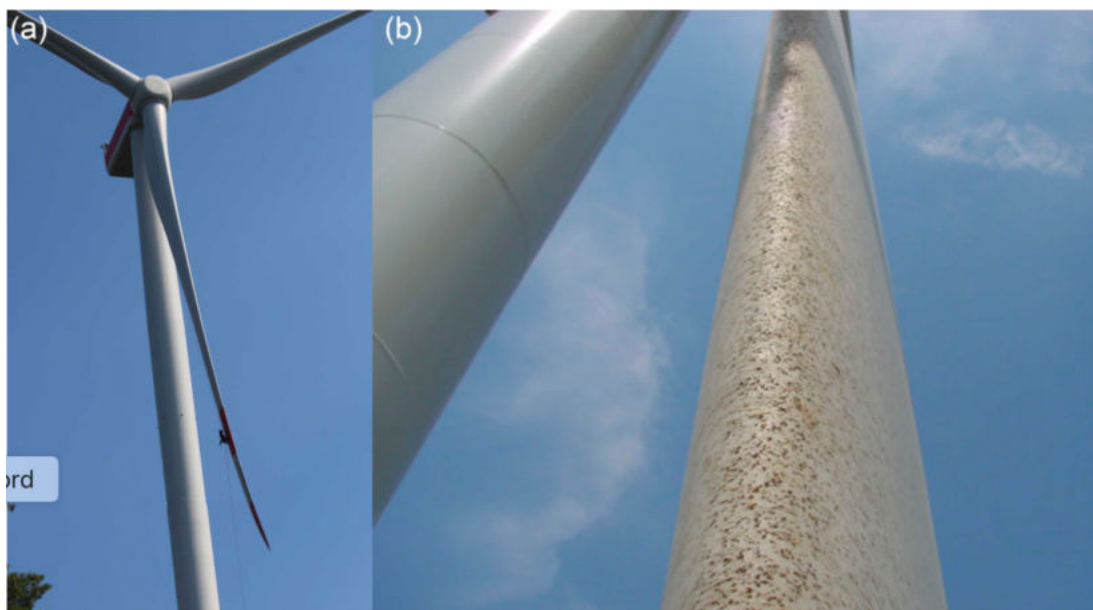


Abbildung 26 Windanlage a) mit Reinigung des Rotors, b) Insektenablagerung an der führenden Luv-Seite des Rotorblattes (Quelle: aus Voigt 2021; Jose Luis Ruiz, Bladecleaning S.A.)

Der Verlust von substantieller Insektenmasse führt weiter zu Kaskadeneffekten, da von Insekten abhängige Arten in großem Umkreis betroffen werden (Thaker et al 2018).

Der Standort einer WKA, ihre Farbe, Form, die Hitzeabstrahlung und die Beleuchtung der Anlage beeinflussen insgesamt das Kollisionsrisiko für Insekten. Eine Übersicht über den derzeit bekannten Wissensstand liefert Weschler (2023) in seiner Abschlussarbeit.

Werden WKA auf Höhenzügen und Gebirgskämmen errichtet, über die sich wandernde Insekten mit der aufsteigenden Luftströmung tragen lassen, dann kann das zu bedeutsamen Verlusten bei diesen Arten führen, deren Ursachen in den Sommerlebensräumen kaum erkannt werden.



Abbildung 27 Der Admiral gehört zu den wandernden Schmetterlingsarten (Quelle: Kurt F. Domnik, pixelio)

Im Frühjahr ziehen zum Beispiel Tagfalter wie Admiral, Postillion oder Distelfalter über die Alpen von den Winterquartieren in Afrika zu den Sommerlebensräumen nördlich der Alpen und im Herbst wieder zurück. Einige Arten fliegen tagsüber, wobei sie eher von Windströmungen getragen werden. Andere Arten fliegen aktiv relativ schnell. Diese Arten sind vor allem nachts und in der Dämmerung unterwegs. Für die 2000 km bis 3000 km lange Strecke von Nordafrika oder Südeuropa bis zu uns brauchen diese Falter etwa zwei Wochen. In Europa lassen sich große Schwärme wandernder Tag- und Nachtfalter in den Alpenpässen beobachten, wenn sie im Frühling aus dem Süden einfliegen. Für sie stellen WKA in den Hochlagen eine große Gefährdung dar.

4.4 Auswirkungen auf Vögel

Kollidieren Fledermäuse oder Vögel mit Windkraftanlagen, dann sind zumindest für kurze Zeit die Kadaver am Fuß der Anlage zu sehen. Daher wurde bereits vor 20 Jahren erkannt, dass es zu Konflikten beim Artenschutz durch den Ausbau von Windenergieanlagen kommen kann. Die Schweizerische Vogelwarte Sempach hat 2005 eine erste Studie dazu durchgeführt (Horch et Keller 2005). Sie zeigte, dass nicht nur lokale Vogelpopulationen durch Verluste beeinträchtigt werden können. Ziehende Vogelarten erleiden entweder Verluste durch Kollisionen mit einer WKA oder ihre Zugwege werden vor allem entlang der Kammlagen von Bergzügen umgeleitet. Das führt zu einem erhöhten Energieverbrauch der Vögel und in der Folge zu einer erhöhten Mortalität im weiteren Zugverlauf. Um grundsätzlich das Ausmaß der Risiken, denen tag- und nachtaktive Vögel und Fledermäuse durch WKA ausgesetzt sind, zu bestimmen, müssen nicht nur die potentiell möglichen Einflüsse bekannt sein, sondern auch die tatsächlich auftretenden Verluste von residenten Arten und von ziehenden Arten erfasst werden sowie die Gründe für diese Verluste ermittelt werden (Kunz et al 2010). Diese Daten sind jedoch, trotz des rasanten Ausbaus von WKA weltweit nicht vorhanden.

Auch Hötter (2006) weist in einer Übersichtsstudie auf den Einfluss des Standorts von WKA und Windparks und ihre jeweiligen Auswirkungen auf verschiedenen Vogelgruppen hin. Vögel der offenen Landschaft (Gänse, Enten, Watvögel) hielten in der Mehrzahl der Fälle Mindestabstände zu den Anlagen von mehreren hundert Metern ein. Auch Flugrouten – sowohl von großen Arten, wie Schwäne, Gänse, Störche wie auch von kleinen Arten (s.u.) – werden verlegt, wenn auf der Zugroute Windparks errichtet werden, vor allem an den kritischen Alpenübergängen. Die Vögel nutzen hier Aufwinde an den Gebirgszügen aus und geraten so direkt in den Bereich von WKA. Gerade bei den hohen Anlagen leistungsstarker WKA entstehen so große Verluste bei den Zugvögeln. Umwege wirken sich auf die knapp kalkulierten Energiereserven während des Zuges negativ aus. Nachtzieher haben zudem kaum Chancen die Rotoren zu erkennen und zu umfliegen. (Rees 2012).

Während die ersten WKA hauptsächlich in bereits gut erschlossenen Regionen gebaut wurden, konnte der Einfluss von WKA, die in bisher kaum oder wenig berührten Gebieten (Waldgebiete, Berglagen) errichtet wurden, noch wenig systematisch untersucht werden. Inzwischen ist klar, dass größere, d.h. höhere Anlagen auch zu signifikant höheren Verlusten bei den Vögeln führen. Besonders sensibel sind Gebiete, mit einer hohen Anzahl an Arten und Bereiche, in denen Zugrouten verlaufen (Thaxter et al 2017). Alle diese Kriterien treffen auf die in Tirol ausgewiesenen Potentialgebiete für Windkraft zu.

4.4.1 Singvögel, Waldschneepfen

Neben der Untersuchung von Schlagopfern und Kollisionsschäden gibt es weitere Auswirkungen, die WKA auf Vögel haben können. Vor allem kleine Singvogelarten meiden das Umfeld von WKA signifikant, wie Untersuchungen in verschiedenen Ländern zeigte (Fernandez-Bellon et al 2018, Shaffer et Buhl 2015). Vor allem Waldvögel nehmen im Umkreis bis etwa 100 m von einer WKA deutlich in der Dichte ab. Dies ist nach Ansicht der Autoren vor allem auf die Rodungen und Auflichtungen im Zuge der Errichtung von WKAs zurückzuführen. Arten des Offenlandes reagierten vor allem auf die Größe der Anlagen sensibel. Hier wurden Verdrängungs- und Ausdünnungseffekte bis zu 300 m von einer Anlage ermittelt.

Neben Lebensraumeffekten sind auch Lärmemissionen durch WKA für alle Arten von Bedeutung, die über Gesang kommunizieren (Lehnhardt et al 2023). Balzgesänge von Waldvogelarten liegen oft in einem begrenzten „Schallfenster“, das zwischen den Frequenzen natürlicher Geräusche (Windgeräusch, Rauschen der Blätter) liegt (Teff-Seker et al. 2022). Verschiedene Lärmquellen können Balzgesänge beeinträchtigen, z.B. Straßen- oder Betriebslärm. Um moderaten Lärmquellen stimmlich auszuweichen, singen Vögel in Städten durchweg lauter und versuchen Zeitfenster mit wenig Umgebungslärm zu nutzen. Das gelingt bei dem Lärm, der von WKA erzeugt wird nicht. Die Schallemissionen eines Windrades kann die akustische Kommunikation zwischen Vögeln „maskieren“. Auch außerhalb der Brutzeit wirkt die Lärmkulisse von Windkraftanlagen erheblich auf Vögel. Untersucht wurde dies, indem immer wieder auf einem Vogel-Rastplatz während der Zugzeit, der Lärm einer WKA über Lautsprecher übertragen wurde. An Tagen mit dieser Beschallung sank die Zahl der rastenden Vögel um ein Drittel bis zu knapp der Hälfte, verglichen mit den ruhigen Zeiträumen davor und danach. Vor allem für Vögel auf dem Zug sind zusätzliche Flucht- und Ausweichflüge negativ und stellen einen typischen Sterblichkeitsfaktor auf dem Vogelzug dar. Auch der Schattenwurf durch die sich drehenden Rotorblätter kann zu einem Meideverhalten von Vögeln führen (Reichenbach et al 2022).



Abbildung 28 Waldschnepfe mit Regenwurm und von hinten (Quelle: Ronald Slabke, CC BY-SA 3.0 (li), [Tapani Hellman](#) auf [Pixabay](#) (re))

Waldschnepfen sind in Tirol weit verbreitet, aber nur wenig kartiert. Der Großteil der Reviere wurde in Höhenlagen von 900m bis 1600m üNN nachgewiesen. Die höchst gelegenen Nachweise fanden sich auf 1960m üNN. Der geschätzte Bestand an Waldschnepfen Männchen in Tirol liegt bei 1100 bis 1500 Individuen (Lentner et al. 2022).

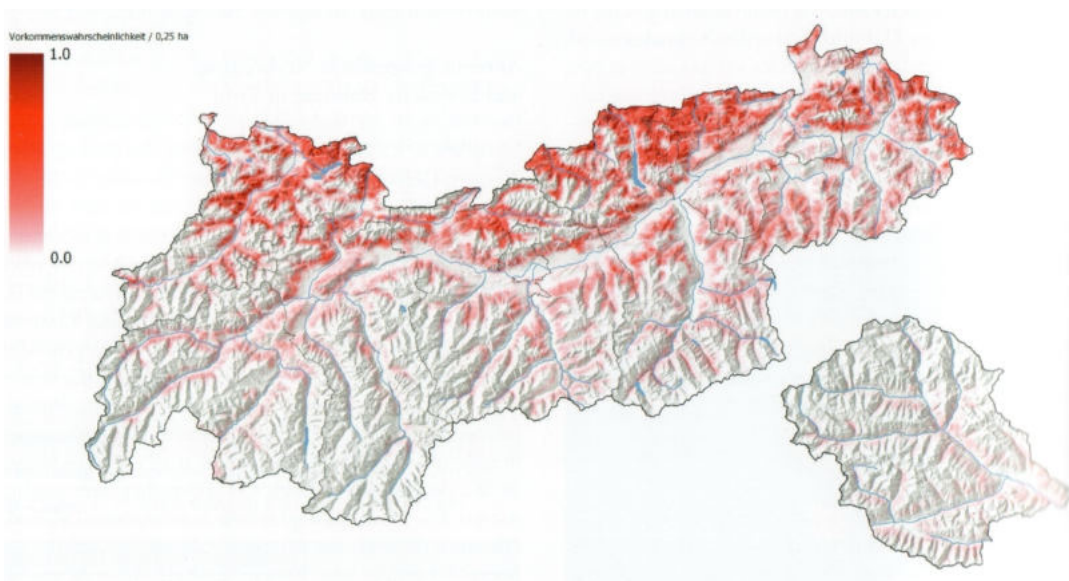


Abbildung 29 Vorkommenswahrscheinlichkeit von Waldschnepfen in Tirol (Quelle: Lentner et al 2022)

Der unscheinbare Waldvogel ist vor allem durch sein auffälliges Balzverhalten im zeitigen Frühjahr bekannt. Feuchte Laub- und Mischwälder, mindestens 50 Hektar groß und mit aufgelockerter, mal mehr, mal weniger dichtem Bedeckungsgrad bestimmen den Lebensraum und das Brutgebiet der Art. Ab Mitte Oktober bis Mitte November verlassen Waldschnepfen ihre Brutgebiete und ziehen nach Süden und Westen. Der beobachtete drastische Populationsrückgang in Mittel- und Westeuropa geht auf einen geringen Bruterfolg und eine hohe Sterblichkeit im Sommer zurück. Wie viele Boden

gebundene Vogelarten sind Waldschnepfen äußerst störungsempfindlich und zeigen ebenso hohe Fluchtdistanzen wie die notorisch empfindlichen Raufußhühner. Sie reagieren nicht nur auf Störungen durch Menschen, sondern auch auf Bewegungen, Schlagschatten und Sichthindernisse. Auch Freileitungen können so eine Stör- und Barrierewirkung ausüben. Darüber sind sie Lärm-sensibel. Während der Balz können bereits laute Anlagen oder Straßenverkehr oberhalb „gehobener Zimmerlautstärke“, die Balz stören (Schöller 2024, Dorka et al 2014, Brauneis 2014). Doch gerade ruhige Schnepfen-Kerngebiete auf Bergrücken und Plateaulagen sind auch bevorzugte Standorte für den Ausbau von WKA. Auch in Tirol überlappen sich die Vorkommensgebiete der Art mit den projektierten WKA Standorten.



Abbildung 30 Waldschnepfe Schlagopfer (Quelle: Popmuseum, CC BY-SA 3.0 DE)

Dabei sind es nicht nur mögliche Schlagopfer durch Kollisionen mit den Rotorblättern, die den Waldschnepfen-Besatz bedrohen. Zu Beginn der Balzflüge fliegen die Männchen sehr hoch, bis zu 100 Meter und damit im Bereich der Rotorblätter und kollidieren leicht mit den Rotoren. Weitreichender ist dazu die Beeinträchtigung des gesamten Balz- und damit Brutgeschäftes der Schnepfen im Umkreis von mindestens 300 m bis 400 m um Windkraftanlagen. Die Rotorgeräusche maskieren den Balzgesang, besonders das leise sogenannte „Quorren“. Auch der Flügelschlag, als Teil des Balzrituals ist nicht mehr hörbar. Der Schlagschatten sich drehender Rotoren beeinträchtigt die Vögel ebenso wie die Barrierewirkung der Bauwerke selbst – sogar bei abgeschalteten Rotoren. Und schließlich lenkt die Zuwegung und der Verkehr zu den Betriebsstätten zusätzlich Menschen in ehemalige ungestörte

Schnepfen-Kerngebiete. Habitatverluste und Störungen bei der Balz schlagen sich in immer geringeren Bruterfolgen nieder (Schöller 2024, Brauneis 2019, Reichenbach et al 2022).

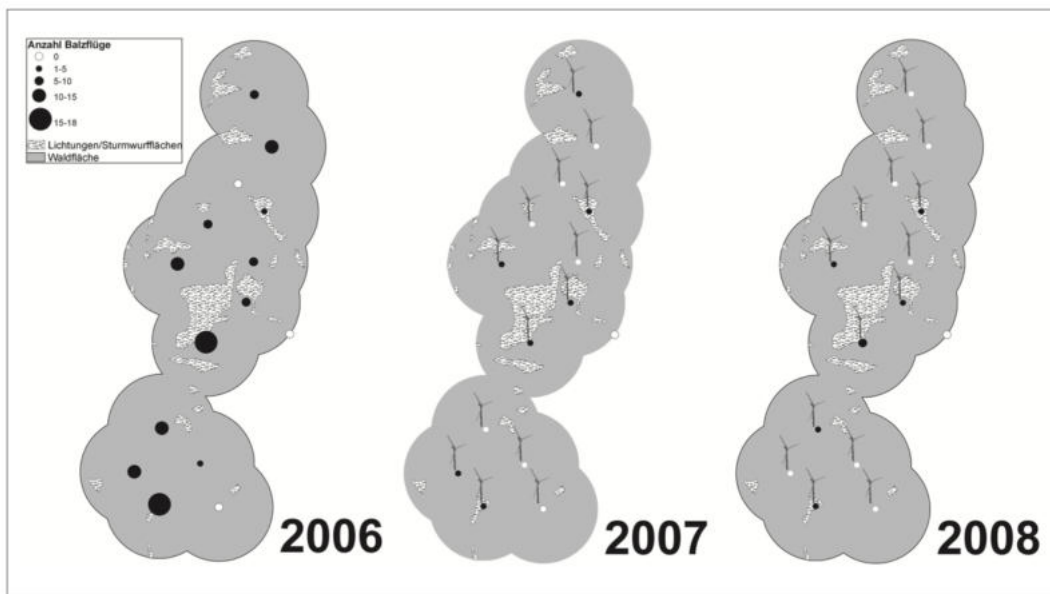


Abbildung 31 Räumliche Verteilung der registrierten Balzflüge an den Zählstandorten in den Jahren 2006-2008 (Quelle: Dorka et al 2014).

In einem hessischen Kern-Vorkommensgebiet von Waldschnepfen wurden im Sommer 2006 WKA errichtet und 2007 in Betrieb genommen. Die Veränderung der Balzaktivität in dem Gebiet und damit des Bruterfolgs der regionalen Population dokumentierte Dorka et al. Derartige Ergebnisse wurden auch in anderen Standorten von WKA gefunden (Schöller 2024, Reichenbach et al. 2022).

4.4.2 Raufußhühner

Alle in Tirol vorkommenden Waldhuhnarten (Tetraonidae), ebenso alle Greifvögel, sind geschützt (§ 25 TNSchG) und von nationaler und EU-weiter Bedeutung. Haselhuhn, Auerhuhn, Birkhuhn und Schneehuhn dürfen in ihren Vorkommen nicht beeinträchtigt werden. Nach Artikel 2 der Vogelschutz-Richtlinie (SPA-RL), haben die Mitgliedstaaten „die erforderlichen Maßnahmen, um die Bestände aller unter Artikel 1 fallenden Vogelarten auf einem Stand zu halten oder auf einen Stand zu bringen, der insbesondere den ökologischen, wissenschaftlichen und kulturellen Erfordernissen entspricht, wobei den wirtschaftlichen und freizeitbedingten Erfordernissen Rechnung getragen wird“ zu treffen. .

Artikel 3 der SPA-RL verpflichtet die Mitgliedstaaten „unter Berücksichtigung der in Artikel 2 genannten Erfordernisse die erforderlichen Maßnahmen, um für alle unter Artikel 1 fallenden Vogelarten eine ausreichende Vielfalt und eine ausreichende Flächengröße der Lebensräume zu erhalten oder wieder herzustellen.“ Dazu werden zum Beispiel sogenannte SPA-Gebiete ausgewiesen. Sie werden zusammen mit Gebieten, die im Rahmen der sogenannten Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie ausgewiesen wurden, als „Natura2000-Gebiete“ bezeichnet. Obwohl nicht alle Vorkommensgebiete der vier Raufußhuhnarten in Tirol als eigene SPA-Schutzgebiete ausgewiesen sind, gilt der Schutz dieser Lebensräume und der vorkommenden Populationen sowie deren Vernetzung auch außerhalb der Natura2000-Flächen.

Dies formuliert auch die Tiroler Landesregierung in ihrem Webauftritt: „Wesentlich ist dabei (Schutz der Raufußhühner), dass keine aktuellen Lebensräume mehr verloren gehen oder gestört werden. Aber auch dazwischenliegende potentiell geeignete Habitats sind wichtig. Sie können zu sogenannten „Trittsteinen“ werden. Durch verbessernde Maßnahmen entsteht ein notwendiger Lebensraumverbund für Raufußhühner. Dieser Verbund wirkt der genetischen Verarmung zersplitterter Inselpopulationen entgegen.“ (<https://www.tirol.gv.at/umwelt/wald/wald-und-naturraum/raufusshuehner/>).

Praktisch in allen in Tirol ausgewiesenen potentiellen WKA-Flächen kommen auch Raufußhühner auf dort oder im weiteren Umfeld vor. Die Abbildungen sowie Angaben zu Verbreitung und Bestandesgröße stammen aus dem Atlas der Brutvögel Tirols (Lentner et al 2022). Sie zeigen, dass alle Windvorranggebiete mit den Haupthabitats der genannten Raufußhuhn-Arten überlappen.

Haselhühner leben in einem Höhenbereich von 680m bis 2220 m üNN. Zur Zeit wird ihr Bestand auf 1200 bis 2000 Brutpaare in Tirol geschätzt.

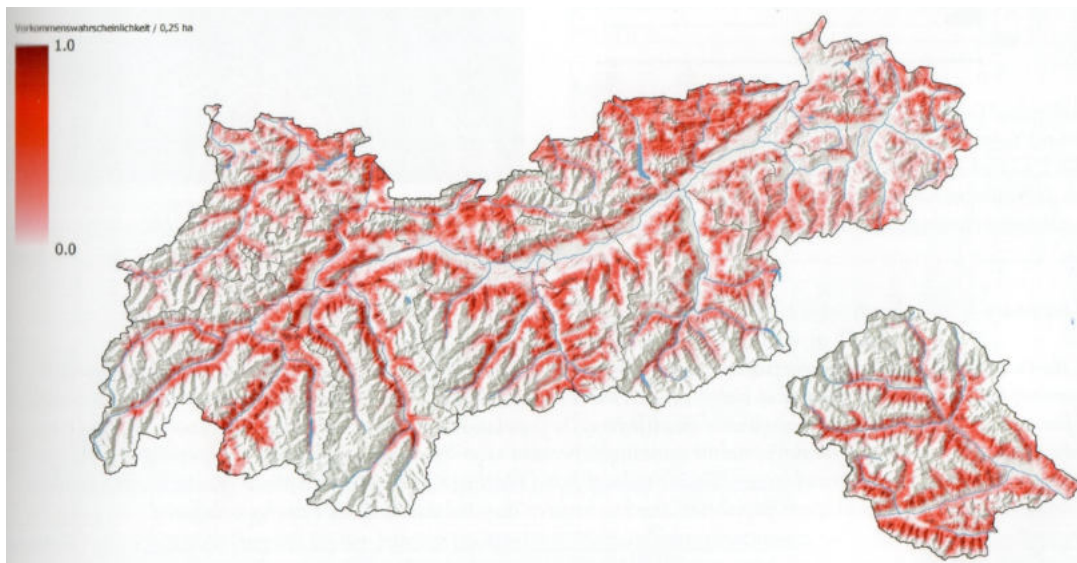


Abbildung 32 Vorkommenswahrscheinlichkeit von Haselhühnern in Tirol (Quelle: Lentner et al 2022)

Das Auerhuhn lebt in einer ähnlichen vertikalen Verbreitung. Seine Lebensraumsprüche sind gut bekannt. Alle möglichen Vorkommensgebiete, die passende Habitate und störungsfreie Balz- und Brutgebiete bieten, dürften in Tirol besetzt sein. Der Bestand (Hähne) wird auf 1700 bis 2300 Individuen geschätzt.

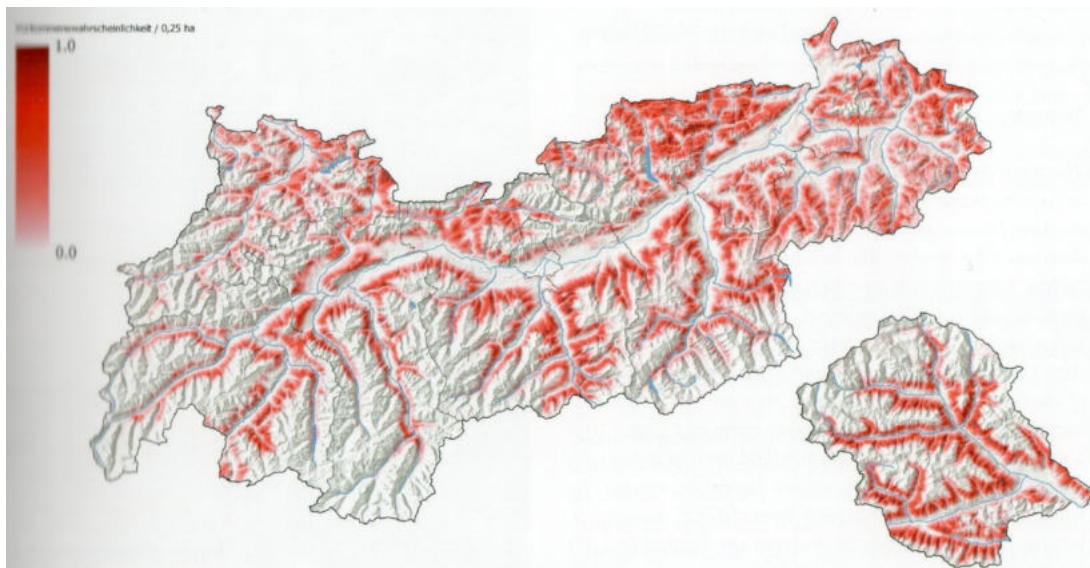


Abbildung 33 Vorkommenswahrscheinlichkeit des Auerhuhns in Tirol (Quelle: Lentner et al 2022)

Birkhühner bewohnen den Grenzbereich von Wald und Offenland entlang der Waldgrenze und ausgedehnten Lichtalmflächen. Es wird in bis zu 2630 m üNN in Tirol nachgewiesen. Seine Bestand wird auch 10.000 bis 15.000 Tausend Hähne geschätzt.



Abbildung 34 Vorkommenswahrscheinlichkeit von Birkhühnern in Tirol (Quelle: Lentner et al. 2022)

Der Großteil der Alpenschneehühner in Tirol kommt in einer Höhe von 2000 m bis 2600 m üNN vor. Wobei es auch Nachweise auf über 3000 m üNN gibt. Schneehühner kommen sowohl in der Nordkette wie in den Zentralalpen vor in einer Dichte von 9000 bis 10.000 Brutpaaren.



Abbildung 35 Vorkommenswahrscheinlichkeit des Alpenschneehuhns in Tirol (Quelle: Lentner et al. 2022)



Abbildung 36 Steinhuhn (Quelle: FokusNatur - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0)

Deutlich seltener als die genannten Raufußhuhn-Arten ist das Steinhuhn. Diese Art besiedelt vorzugsweise strukturreiche, sonnenexponierte Steilhänge in Höhen von 2000m bis 2400m üNN. Die Vorkommen in der Nordkette liegen etwas tiefer. Insgesamt wird die Tiroler Steinhuhn-Population auf etwa 800 bis 1100 Brutpaare geschätzt. Neben Kärnten trägt Tirol die Hauptverantwortung für den Gesamtbestand dieser Vogelart in Österreich.

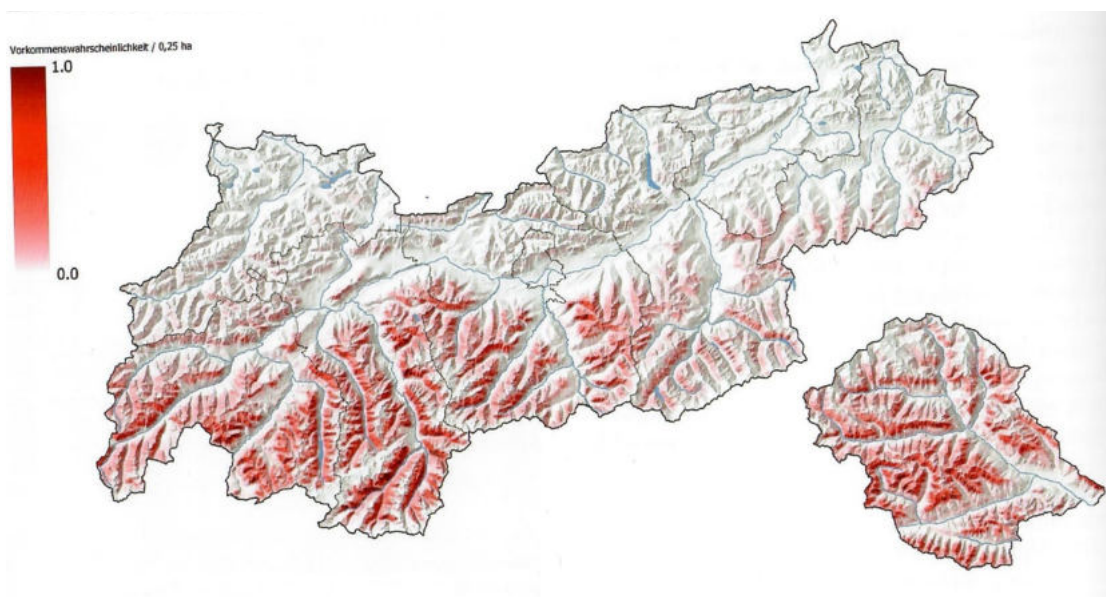


Abbildung 37 Vorkommenswahrscheinlichkeit von Steinhühnern in Tirol (Quelle: Lentner et al. 2022)

Der Einfluss von Windkraftanlagen auf einige dieser Arten wurde bereits systematisch untersucht. Coppes et al (2020c) verglich die Vorkommen und Habitatstrukturen von Auerhühner vor und nach dem Bau von WKA in sechs Untersuchungsgebieten in Deutschland, Österreich und Schweden. Bis in Entfernungen von 1000 m von einer WKA wurden in weiteren Studien Beeinträchtigungen nachgewiesen (Taubmann et al. 2021, Gonzales und Ena 2011, Gonzales et al. 2016). Derartig große Mindestabstände werden auch für Haselhühner beim Bau von WKA gefordert (Richarz 2021).

Auch die Auswirkungen von WKA in Gebirgslagen auf das Vorkommen von Birkwild in führte zu intensiven Diskussionen über die dadurch erfolgte Beeinträchtigung der sensiblen und geschützten Vogelarten (Deutz et Grünschachtner-Berger 2006, Zeiler et Grünschachtner-Berger 2009, Grünschachtner-Berger et Krainer 2011).

Der sogenannte „Tauernwindpark“ auf 1800 m und 1900 m Seehöhe wurde 2002 im Bereich eines Balzplatzes von Birkwild („Tanzstatt“) errichtet. Fünf Jahre nach Inbetriebnahme des Windparks war die Birkhuhnpopulation praktisch zusammengebrochen. Ähnliche Entwicklungen traten auch in zwei anderen WKA Gebieten in Gebirgsstandorten in der Steiermark auf (Zusammenstellung siehe Zeiler et Grünschachtner-Berger 2009). Verluste traten auf, weil Birkhühner im Nebel mit den Stützen oder Rotoren kollidierten und durch innere Verletzungen verendeten, der Bruterfolg einbrach, die Balz gestört wurde und die Vögel das Gebiet weiträumig mieden.



Abbildung 38 Blick auf den Tauernwindpark“. Die weiße Ellipse markiert das zentrale Gebiet des ehemaligen Balzplatzes „Tanzstatt“ (Quelle Zeiler et Grünschachtner-Berger 2009)

Der Windpark bestand im Zeitraum der Untersuchung aus insgesamt 13 WKA mit einem Rotorradius von 66 m. Aktuell wird der Windpark erneuert mit neuen WKA von deutlich größerem Rotorradius.

Das Vorkommen von Birkwild zur Balzzeit vor und die Jahre nach Errichtung und Inbetriebnahme der WKA wurde erfasst und zeigt das weitgehende Erlöschen dieses Balzplatzes. Von einem Erlöschen der Population ist inzwischen ebenfalls auszugehen

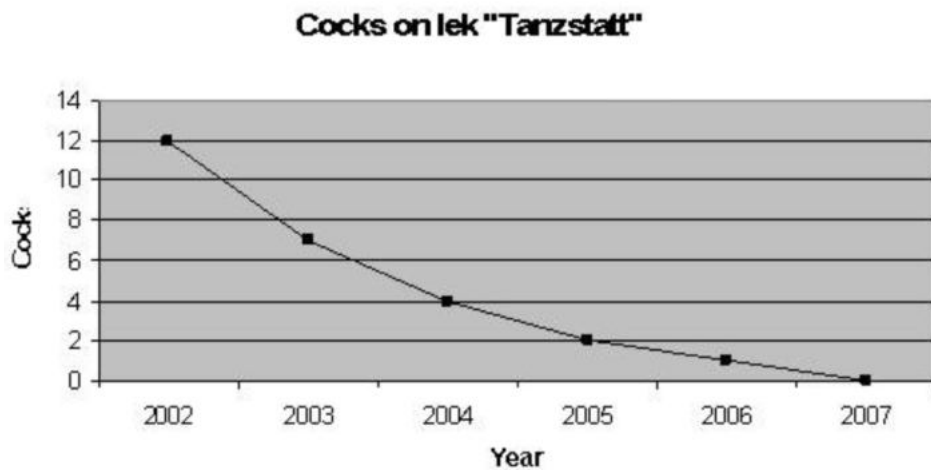


Abbildung 39 Zahl der balzenden Birkhahnen im Bereich des „Tauernwindparks“ (Quelle Zeiler et Grünschtner-Berger 2009)

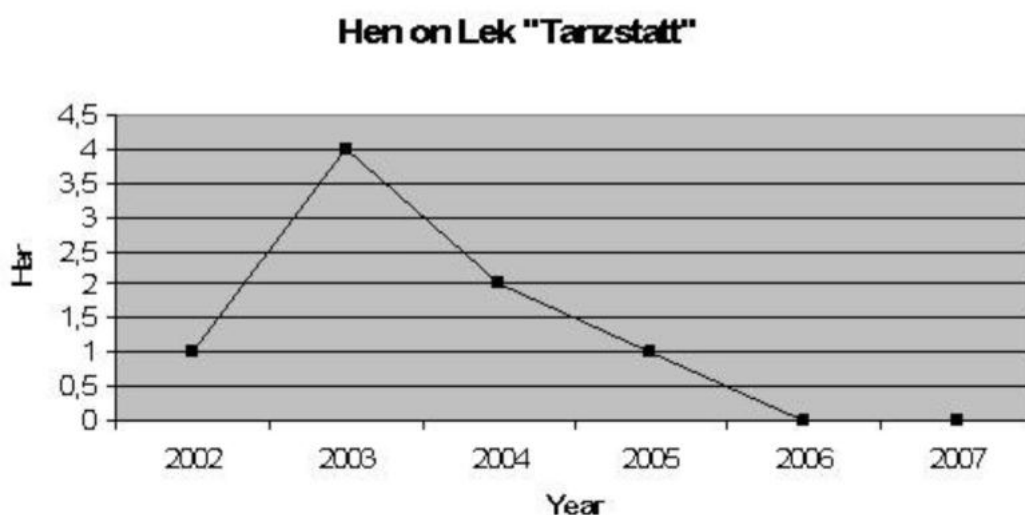


Abbildung 40 Zahl der Birkhennen am Balzplatz des „Tauernwindparks“ (Quelle Zeiler et Grünschtner-Berger 2009)

Im westlichen Bereich des Windparks waren auch Schneehühner vor dem Bau der Industrieanlage nachgewiesen worden. Auch dieser Bestand erlosch nach der Inbetriebnahme der WKAs. Eine ähnliche Entwicklung wurde auch bei einem weiteren Windpark, der 2005 und 2006 in der Steiermark errichtet wurde, belegt. Die Forscher vermuteten, dass eine Reihe von Faktoren zu dem Zusammenbruch dieser Raufußhuhnpopulationen führten: Durch Kollisionen sterben in erster Linie adulte Vögel, die in der Fortpflanzung fehlen. Vor allem während Nebel, der in den Hochlagen häufig auftritt, ist die Sicht der Hühnervögel eingeschränkt und das Risiko von Kollisionen der niedrig über den Bergrücken streichenden Vögel mit dem Pfeiler einer WKA ist hoch.

Der Lärm der WKA maskiert die Balzrufe der Hähne und führt zu einer massiven Störung des Balzgeschehens. Auch der Schlagschatten der sich drehenden Rotoren übt eine starke Störwirkung aus. Vor allem die Hennen reagieren empfindlich auf schnellen Schattenwurf, der auch das Herannahen eines Greifvogels bedeuten könnte und deshalb genetisch festgelegt ist. Eine Gewöhnung kann nicht stattfinden.

Und nicht zuletzt beeinträchtigen die zwangsläufigen Störungen durch das Wartungspersonal der WKA sowie durch Touristen, die die ausgedehnte Zuwegung des Berggebiets nutzen und in größerer Zahl sich in vorher unerschlossene oder wenig frequentierte Bereiche bewegen können (Zeiler et Grünschachtner-Berger 2009, Grünschachtner-Berger et Krainer 2011, Grünschachtner-Berger 2013).

Im Laufe des stetigen Ausbaus von WKAs im Laufe der vergangenen 20 Jahre liegen inzwischen weitere und detaillierte Untersuchungen über die Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Raufußhühner vor, die die Befürchtungen, der ersten Studien in der Steiermark bestätigen. Raufußhühner kollidieren mit den Anlagen, vor allem den Türmen. In den untersuchten Gebieten wurde das Balzverhalten massiv gestört, die Vögel gaben Balz- und Brutplätze auf. Die Störungen durch Schlagschatten und menschliche Störungen führte zu Verhaltensänderungen vor allem der Hennen und zu dauerhaftem Stress. Teilweise brachen die lokalen Vorkommen auch komplett ein. Die Einflussosphäre einer WKA beträgt mindestens 500 m und teilweise noch deutlich weiter. Bei Auerwild konnten Abstände von über 800m bestätigt werden, in denen eine WKA noch Störwirkung auf die Vögel ausübte (Coppes et al 2020a und 2020b).

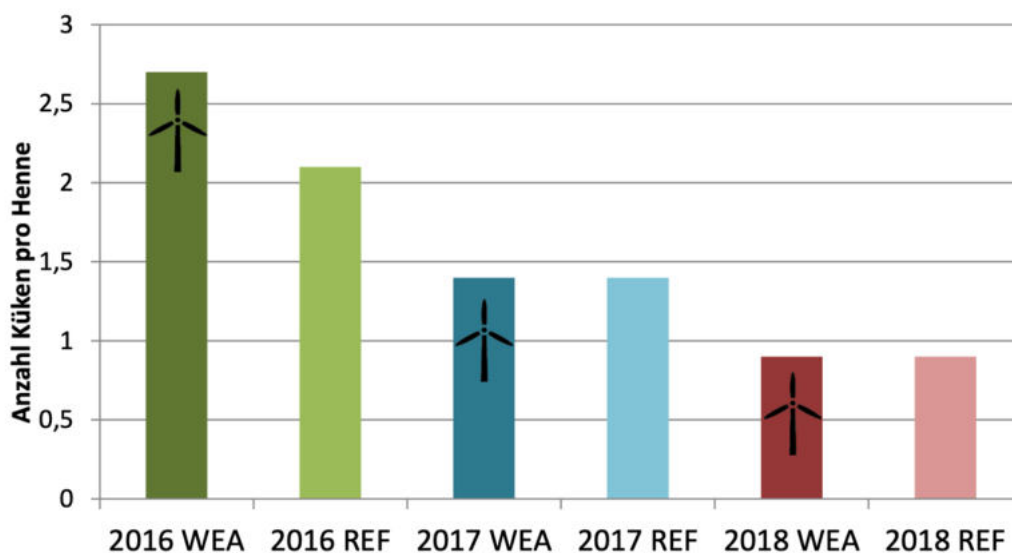


Abbildung 41 Die durchschnittliche Anzahl Küken pro Henne (Index für den Fortpflanzungserfolg), aufgeteilt nach Jahren und Gebieten (WEA = Windpark, REF = Referenzfläche) (Quelle: Coppes et al 2020b)

Insgesamt ist die Störwirkung von WKA auf Hühnervögel deutlich am sinkenden Reproduktionserfolg der Populationen abzulesen, nachdem Windenergieanlagen in einem Vorkommensgebiet errichtet wurden.

Die kumulative Wirkung von dauerhaftem und wiederholten Stressreaktionen durch Störungen (Schallemission, Schlagschatten, Störungen) beeinträchtigt direkt den Aufzuchterfolg. So brauchen aufgeschreckte Schneehuhnfamilien bis zu 1,5 Stunden, um wieder zusammen zu finden. Anschließend müssen die Küken gehudert werden, um den Wärmeverlust auszugleichen. Experimentell regelmäßig aufgeschreckte Birkhuhngesperre (Henne und Küken) erleiden nach sechs bis sieben Tagen einen Totalverlust. Vor der Eiablage häufig gestörte und gestresste Hennen können diesen Stress auch „vererben“. Die Hormonkonzentrationen im Körper der Henne beeinflussen die Zusammensetzung des Dotters. Die Nachkommen gestresster Hennen sind ängstlicher und haben ein geringeres Körpergewicht als die Küken nicht gestresster Hennen. Als erwachsene erleiden leichtere Hennen mehr Gelegeverluste als schwerere (Coppes et al 2018).

4.4.3 Greifvögel

Bereits seit langem ist bekannt, dass Greifvogelarten typische Opfer von Kollisionen mit Windkraftanlagen sind. Als durchweg große Arten werden sie auch leicht gefunden, bevor Nachnutzer, wie Fuchs oder Krähen die Kadaver verschleppen. Viele große Greifvögel nutzen zudem geschickt Aufwinde und halten sich daher bevorzugt in Gebieten auf, deren Windaufkommen auch industriell ausgebeutet werden kann. Kleine Arten wie der Turmfalke nutzen andererseits offene Landschaften, bzw. Rodungsinseln, die auch Standorte von WKA sind. Das Zusammenspiel aus artgemäßen Flugverhalten, Wetterbedingungen und Standort bestimmt daher zum großen Teil das Risiko eines Greifvogels an einer WKA verletzt zu werden oder zu Tode zu kommen (Barrios et Rodriguez 2004, Stokke et al. 2024, Aschwanden et al 2024, Langgemach 2024). Daher ist es kaum möglich bestimmte Konstellationen vorherzusagen, in denen ein Kollisionsrisiko durch Abschalten verhindert werden kann. Selbst wenn nur eine Art betrachtet wird, z.B. der Rotmilan, wie in der Studie von Aschwanden, lassen sich keine Zeiten erkennen, in denen der Betrieb der WKA gefahrlos für die in der Region lebenden Vögel wäre.

Das zeigen auch Untersuchungen von Huso et Dalthorp (2023), die Berichte über angebliche Erfolge mit automatischen Abschaltvorrichtungen (McClure et al 2021) re-evaluierten. So sei beispielsweise eine bemerkenswerte Reduktion der Schlagopfer bei Adlern von über 80% nach Einbau einer derartigen Abschaltvorrichtung aufgetreten. Huso und Dalthorp stellten fest, dass diese Ergebnisse nur rechnerisch zustande kamen, nachdem die Autoren sowohl die jährliche Variation der Adler in dem untersuchten Gebiet ignorierten. Da noch weitere methodische Fehler in der Studie vorlagen (keine Wiederholung, Unschärfen bei den Daten) und ein Mangel an Kausalität auftrat, schlossen sie, dass die beschriebene Abschalteinrichtung nicht wirkt und eher zufällige Effekte hervorruft.

Nachdem unterschiedliche Vogel, zu unterschiedlichen Zeiten in unterschiedlicher Weise im Umfeld von WKA fliegen, würde selbst eine effektive Abschaltvorrichtung für eine Art nicht automatisch zu einer Reduktion bei anderen betroffenen Arten führen.

Selbst wenn zu Zeiten des Hauptzugs im Herbst oder Frühjahr an den wichtigen Zugrouten über den Alpenhauptkamm die Anlagen abgestellt werden würden, entlastet das nicht die saisonal oder ganzjährig in den Berg- und Hochlagen der Alpen lebenden Vögel.

Eine weitere Möglichkeit der Minderung der Auswirkungen von WKA auf Greifvögel wäre es, für einzelne Arten Ausschlussgebiete zu definieren. Diesen Ansatz verfolgte eine Arbeitsgruppe der Universität Bern und der Schweizer Stiftung Pro Bartgeier. Der imposante Bartgeier besiedelt immer weiter sein ursprüngliches Verbreitungsgebiet im Alpenraum. Sowohl in den österreichischen Alpen wie auch in der Schweiz wurden schon in den 1980er Jahren Bartgeier ausgewildert. Im Bereich der Tiroler Nordalpen wie im entlang des Hauptalpenkamms und seiner südlichen Gebirgsstöcke sind häufig Bartgeier im Flug zu sehen. Sie nutzen die Aufwinde an den Bergkämmen geschickt für ihre

Erkundungs- und Jagdflüge. Inzwischen tauchen auch andere Geierarten, z.B. Lämmergeier, regelmäßig in West-Österreich auf. Unfälle von Geiern an WKA erreichen schnell die überregionale Presse, auch angesichts der laufenden Bemühungen und aufwendigen Projekte zur Wiederbesiedlung und Bestandsstützung dieser Arten.

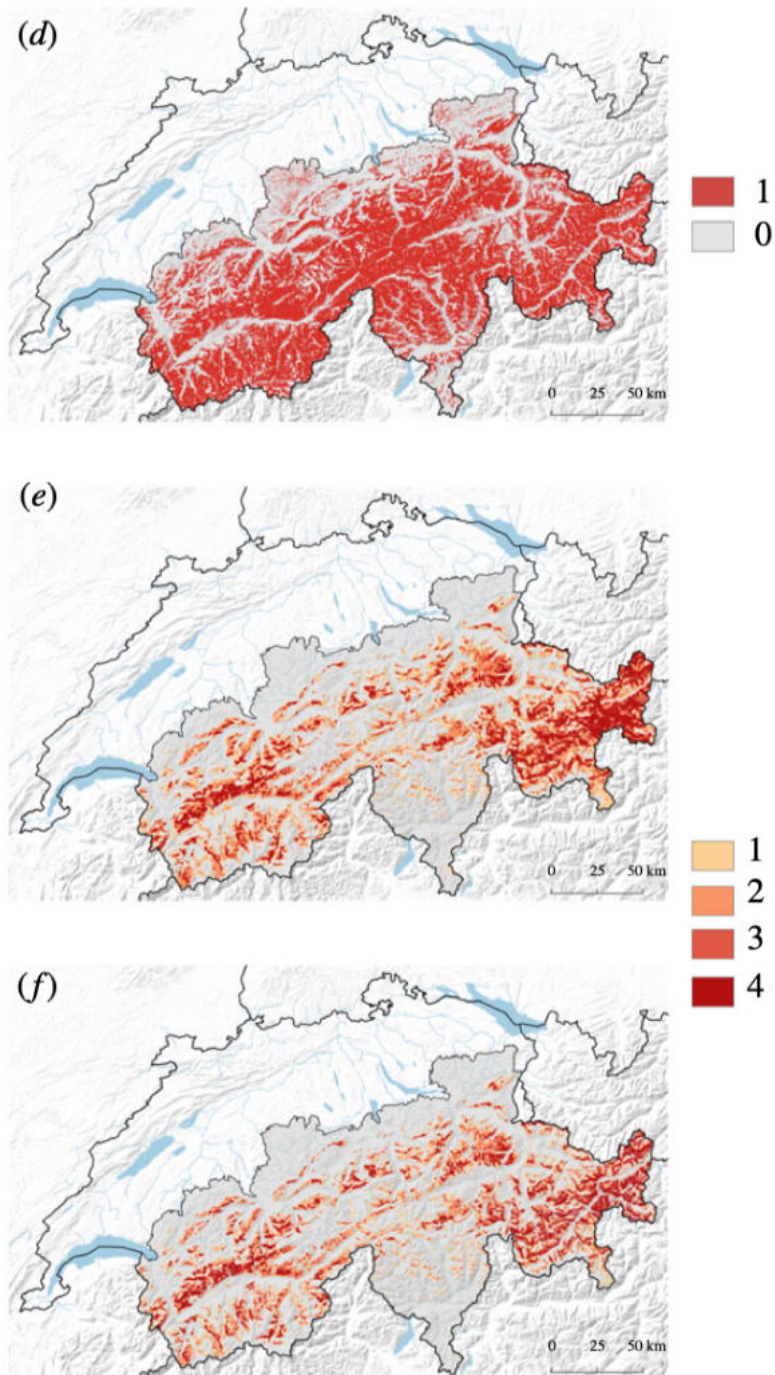


Abbildung 42 Darstellung der Kollisionsrisikogebiete für Bartgeier in der Schweiz; Erklärung im Text. (Quelle: Vignali et al 2022)

Die Abbildungen aus Vignali et al 2022 zeigen in drei Karten das Kollisionsrisiko von Bartgeiern mit WKA, die auf der Basis von Flugdaten telemetrisch markierter Bartgeier erstellt wurden. In Karte d)

wird das von Bartgeiern genutzte Gebiet in der Schweiz dargestellt. Karte e) weist alle Flächen aus, in denen ein Risiko von Kollisionen mit WKA bestünde, wenn dort WKA betrieben würden. Und Karte f) weist die Gebiete mit hohem Risiko von Konflikten aus. Die Intensität der Farbe Rot nimmt mit steigendem Risiko zu.

In Gebieten, in denen das Kollisionsrisiko für Bartgeier hoch ist, sollten daher nach Ansicht der Autoren der Studie keine WKA gebaut und betrieben werden. Hochlagen, in denen die hauptsächlichsten Beutetiere, Steinbock und Gämsen, vorkommen und steile Südhänge mit starken Aufwinden kennzeichnen derartige, besonders konfliktrichtige Gebiete.

In Tirol sind Bartgeier, sowie in zunehmenden Maße auch Lämmergeier, zunehmend in den Hohen Tauern, den Lechtaler-, Allgäuer-, Öztaler-, Stubai- und Zillertaler Alpen sowie im Paznauntal anzutreffen (Lentner et al 2022). Inzwischen werden auch regelmäßig Bruten von Bartgeiern gemeldet. Aufgrund der Sensibilität der Art werden keine Detail zu den Brutgebieten veröffentlicht. Die Beobachtungen zu den Bartgeiern liegen größtenteils ab 980 m üNN bis in die höchsten Gipfelregionen. Aufgrund der Seltenheit dieser Art und den international koordinierten Bemühungen diese ehemals ausgestorbene Art wieder im Alpenraum heimisch zu machen, verbietet es, in den genutzten und überflogenen Gebieten zusätzliche Kollisionsrisiken zu schaffen.



Abbildung 43 Streifgebiete um die bekannten Brutgebiete von Bartgeiern in Tirol (Quelle: Lentner et al 2022)

4.5 Auswirkungen auf Säugetiere

Mit Ausnahme von Fledermäusen wurden lange nur selten die Auswirkungen von WKA auf Vorkommen, Aktivität und mögliche negative Beeinträchtigungen von Säugetieren untersucht. Dieser Mangel ist inzwischen behoben, da viele Studien der letzten Jahre gezielt den Einfluss von Störungen im Lebensraum von Wildtieren betrachten (Helldin et al 2012, Tosh et al 2014, Boldt 2014).

Die folgende Abbildung zeigt einen Überblick über Verdrängungswirkungen von WKA auf verschiedene Säugergruppen (Tolvanen et al 2023).

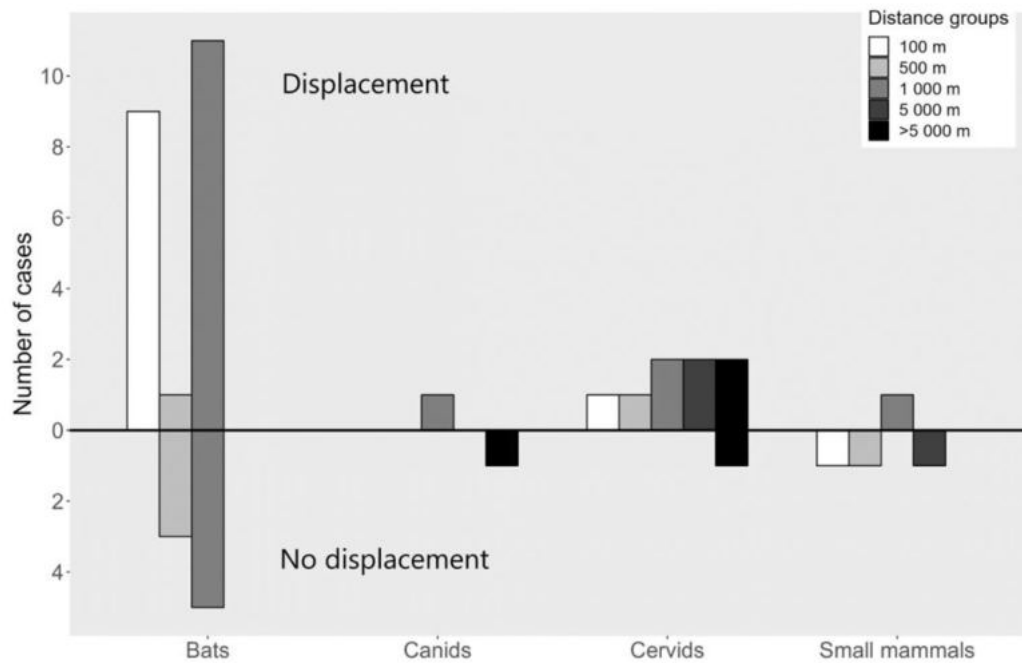


Abbildung 44 Verdrängungswirkung von WKAs auf vier Säugetiergruppen: Fledermäuse, Hundartige, Hirsche, Kleinsäuger (Quelle: Tolvanen et al 2023)

4.5.1 Fledermäuse

Dass die nacht- und dämmerungsaktiven Fledermäuse besonders von Windkraftanlagen betroffen sein können, war bereits vor 20 Jahren bekannt. Kollisionen und Verluste durch innere Verletzungen waren augenfällig jeden Morgen am Fuß von WKA erkennbar und konnten teilweise Waschkorbweise aufgesammelt werden. Inzwischen gehen Wissenschaftler davon aus, dass weltweit regelmäßig Millionen von Fledermäusen an Windkraftanlagen sterben. Was diese Tiergruppe so anfällig macht, hängt von einer Reihe von Eigenschaften von Fledermäusen ab (Jonasson et al 2024, Weggler 2024)). Als spezialisierte Insektenjäger suchen sie gezielt Regionen auf, in denen sich Insekten aufhalten. Deshalb werden sie auch nachts kilometerweit von Lichtquellen angelockt (Voigt und Lewanczik 2023). Während der Jagdflüge und auch beim saisonalen Zug orientieren sich die Tiere mittels Gehör und teilweise Echo-Ortung. Im Bereich von 6-250 kHz reagieren sie besonders empfindlich auf Schallwellen. WKA wiederum geben je nach Windaufkommen Schallwellen im Infra- bis Ultraschallbereich ab. Zudem lenkt der Lärmpegel einer Windturbine das Echo der Fledermausrufe ab. Turbinen können deshalb sowohl die kleinräumige Echoortung von jagenden Fledermäusen stören, als auch das Zugverhalten (Jonasson et al 2024). Die möglichen Einflüsse von WKA auf verschiedene Sinneswahrnehmungen von Fledermäusen ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Sowohl die Schallemission von WKA, wie die Beleuchtung oder Silhouette tagsüber beeinflussen die Orientierung und das Verhalten der Tiere. Besonders die Veränderung von Windströmungen und Wärmeabstrahlung können die Orientierung der jagenden Fledermäuse beeinflussen (Jonasson et al 2024).

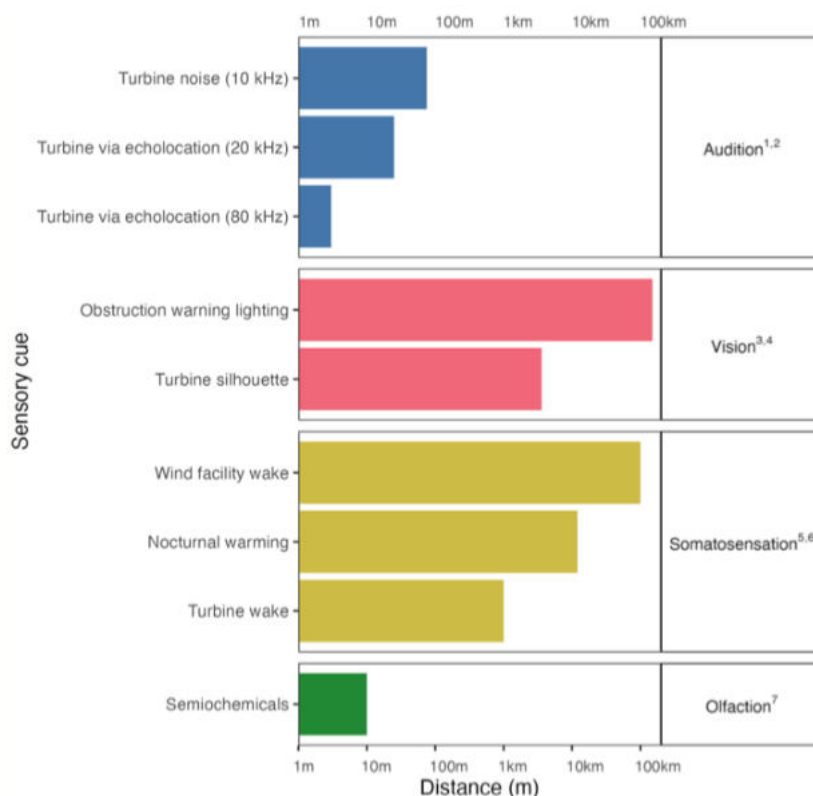


Abbildung 45 Störungen der Sinneswahrnehmungen von Fledermäusen durch WKA (Quelle: Jonasson et al 2024)

Neben diesen direkten Einflüssen können auch die Folgen von Habitatverlusten entscheidend Fledermauspopulationen beeinträchtigen (Gaultier et al 2023). Eine Studie über 11 Fledermausarten unterschiedlicher Lebensweise zeigte, dass die Auswirkungen von WKA weitreichend sind. Während immer noch eine allgemein Empfehlung gilt, dass WKA einen Abstand von 200 m zum nächsten Waldrand einhalten sollen, um Kollisionen mit Fledermäusen zu verhindern, zeigten Barré und Kollegen (2018), dass noch in einem Umkreis von 1000 m die Aktivitäten von schnellfliegenden Fledermausarten um bis zu 50% verringert sind, im Vergleich zu Lebensräume ohne Windturbinen (Barré et al 2018, Leroux et al 2022, Veith et al 2023, Weggler 2024).

Der Verlust von Lebensraum entsteht bei den Wald-Fledermäusen im Zuge der Rodung von Waldflächen für den Bau von WKA, indirekt aber auch durch die Vergrämungswirkung einer Windkraftanlage in Betrieb. Vor allem die Waldarten werden nachhaltig aus einem weiten Umfeld der Windkraftanlage von mehreren hundert Metern vertrieben (Voigt et al 2024, Leroux et al 2023, Ellerbrok et al 2022, Weggler 2024). Für Fledermäuse ergaben Waldstandorte deutlich höhere Verlustraten. Standorte von Anlagen an Gewässern und vor allem auf Bergrücken fordern signifikant die höchsten Kollisionsopfer.

Die an Waldrändern und Offenflächen jagenden Fledermausarten werden durch die Öffnung des Waldes für den Anlagenstandort in die Nähe des Windrades gelockt. Nachdem sich auch gerne Insekten an den warmen Metallkonstruktionen niederlassen, ist das unmittelbare Umfeld einer WKA für Fledermäuse attraktiv – aber auch tödlich. Stehende Windräder werden nicht gemieden, bei kleineren WKA wurde sogar ein Erkundungsverhalten bei stehenden Rotor beobachtet (Hartmann et al. 2021).

Die bisher diskutierten Maßnahmen zur Verringerung von Fledermaus-Kollisionen, Schäden und Habitatverlusten sind uneinheitlich und teils widersprüchlich. Vor allem Abschaltvorrichtungen für den Nachtbetrieb oder die bei bestimmten Windgeschwindigkeiten können bisher kaum eine signifikante Verringerung der Fledermausopfer erreichen. Zudem müsste in jedem Fall vor etwaigen Planungen Vorprüfungen durchgeführt werden, um sicher zu stellen, dass der Erhaltungszustand der lokalen Population und des gesamten Populationsgefüges nicht beeinträchtigt wird (Veith et al. 2023, Wellig et al. 2018, Weggler 2024).

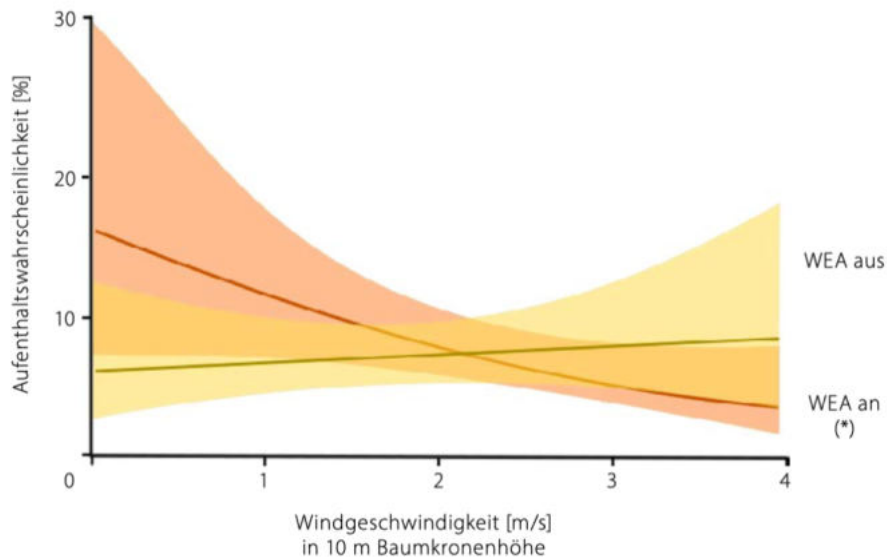


Abbildung 46 Waldfledermäuse meiden WKA bei hohen Windgeschwindigkeiten und wenn diese in Betrieb sind (Quelle: Voigt et al 2024).

Ab einer Windgeschwindigkeit 7 m/sec reduzieren Fledermäuse ihre Jagdflüge, ab 10-11 m/sec gehen sie nicht mehr zur Jagd. In dem Bereich der Windgeschwindigkeit zwischen 4 m/sec und 7-8 m/sec treten daher die größten Verluste auf, wenn die WKA hochgefahren werden (Voigt et al 2024).

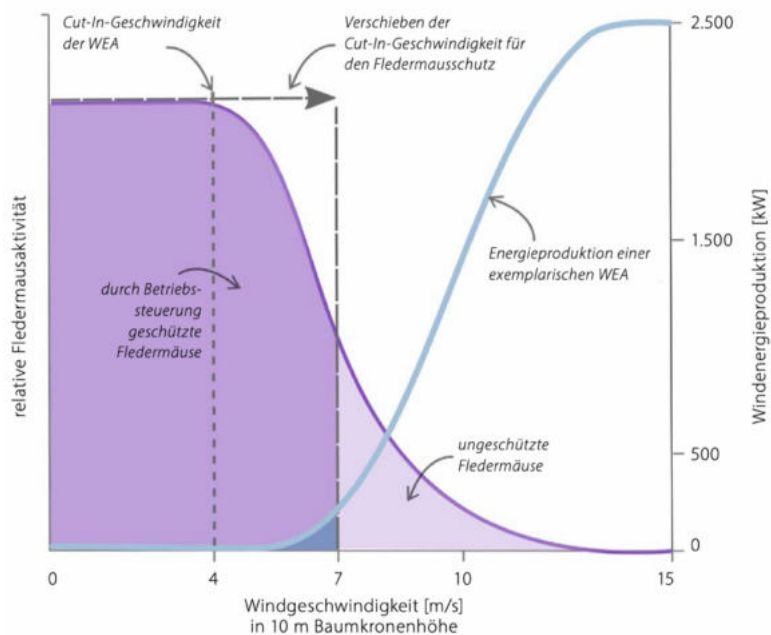


Abbildung 47 Fledermausaktivität und Windenergieproduktion in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit (Quelle: Voigt et al 2024)

Dabei führt nicht nur der Kontakt mit einem sich schnell bewegenden Rotorblatt zu Verletzung und Tod der Fledermäuse. Durch die Spitzengeschwindigkeiten von über 200 km/h an den Spitzen der Rotoren entstehen dort Wirbel, die zu plötzlichen Druckabfällen führen. Der Unterdruck führt in den

Lungen der Fledermäuse zu einem Barotrauma, das heißt die feinen Blutgefäße in den Lungen platzen (Baerwald et al 2008, Tosh et al 2014).

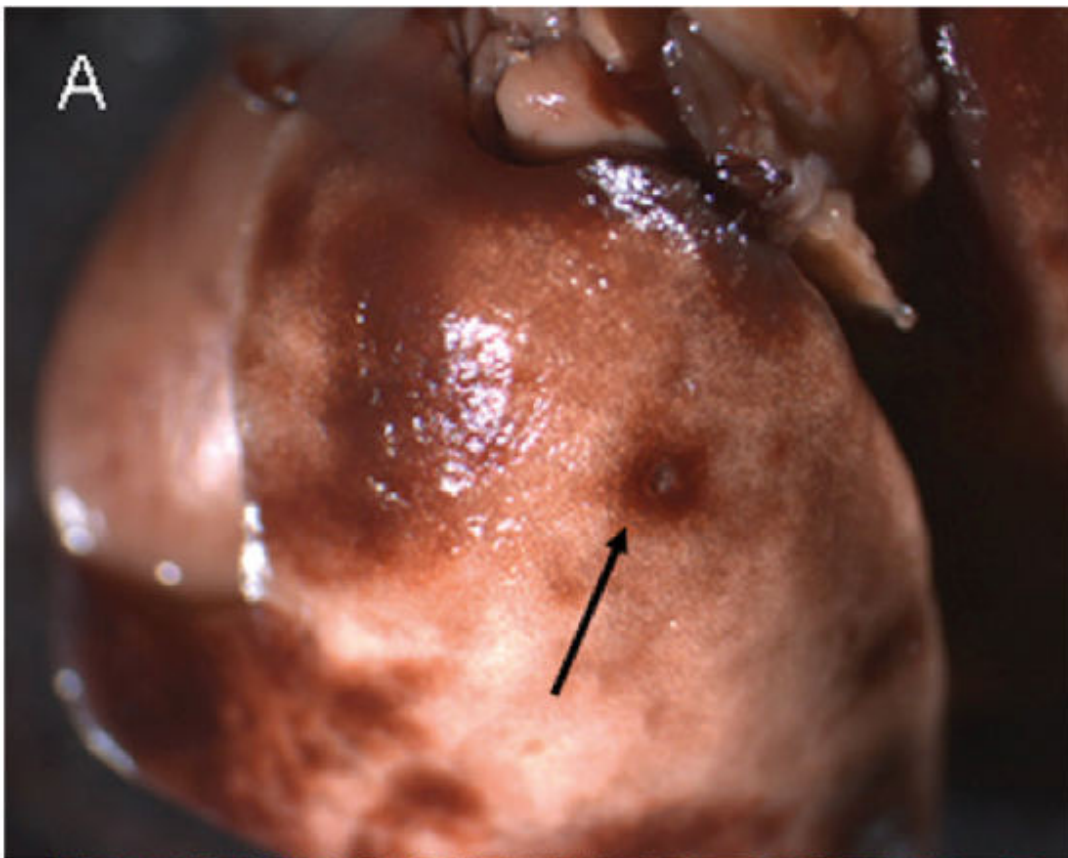


Abbildung 48 In Formalin fixierte Lunge einer unter einer Turbine tot gefundenen Fledermaus zeigt eine Reihe von Einblutungen und Blasenbildung (Pfeil) (Quelle: Baerwald et al 2008)

Obwohl die meisten Fledermausvorkommen in tieferen Lagen, in Dorfnähe und in Laubwäldern oder Laubmischwäldern vorkommen, können doch eine Reihe von Arten auch in den für den Windkraft Ausbau ausgewiesenen Regionen auftreten (Walder et Vorauer 2014).

Raufußfledermaus, Nordfledermaus, Braunes Langohr, Alpenlangohr und Europäische Bulldoggfledermaus, kommen auch in höheren Berglagen vor und nutzen Almflächen oder Felsenregionen. Die Nachweise von nur fünf Arten sind in den folgenden Abbildungen (aus Walder et Vorauer 2014) gezeigt und machen deutlich, dass hinsichtlich des Vorkommens dieser Arten in den ausgewiesenen Windkraft-Ausbaugebieten Klärungsbedarf besteht.

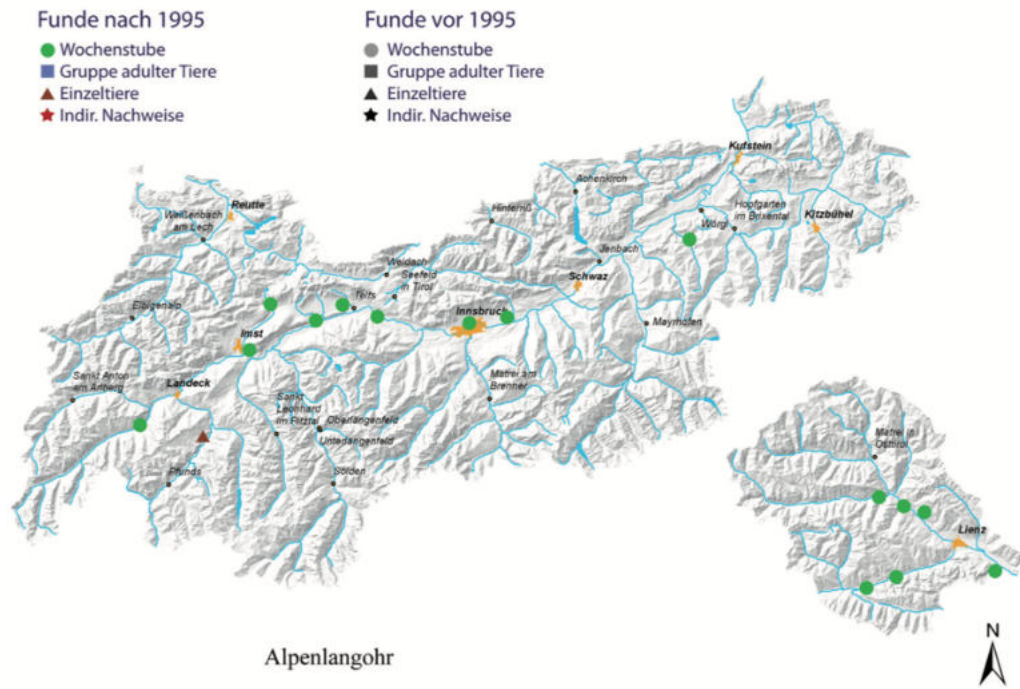


Abbildung 49 Tiroler Nachweise von Vorkommen des Alpenlangohr (Quelle Walder et Vorauer 2014)



Abbildung 50 Alpenlangohr Fledermaus *Plectotus alpinus* (Quelle: Karol Tabarelli de Fatis/MUSE)

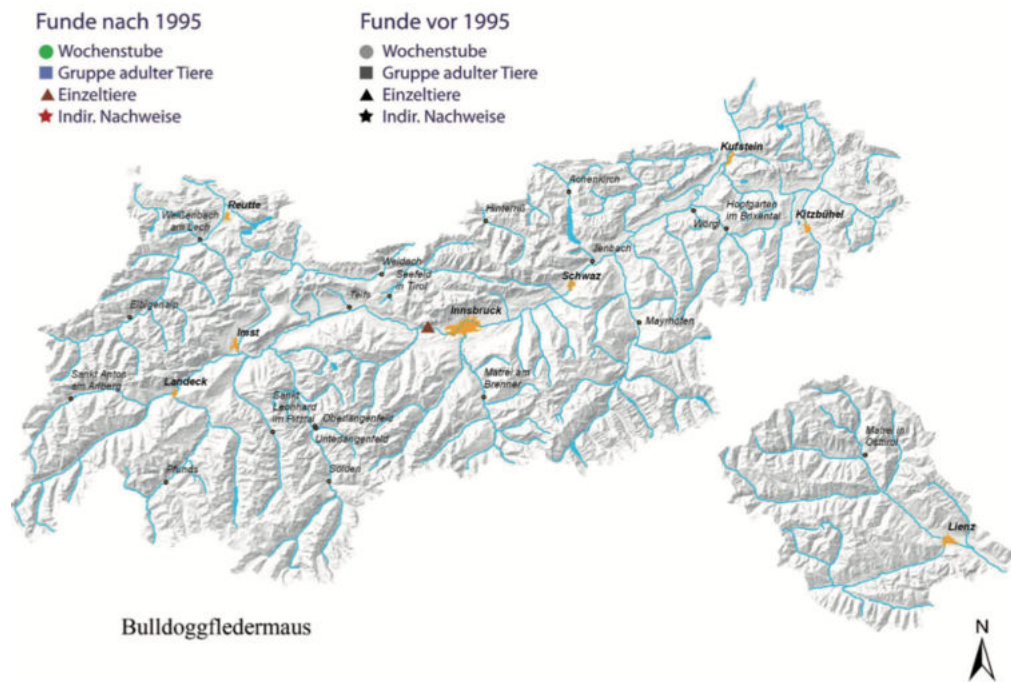


Abbildung 51 Tiroler Nachweise von Vorkommen der Bulldoggfledermaus (Quelle Walder et Vorauer 2014)



Abbildung 52 Bulldoggfledermaus *Tadarida tenotis* (Bild: Ramón Caballero García, GPL <<http://www.gnu.org/licenses/gpl.html>, via Wikimedia Commons)

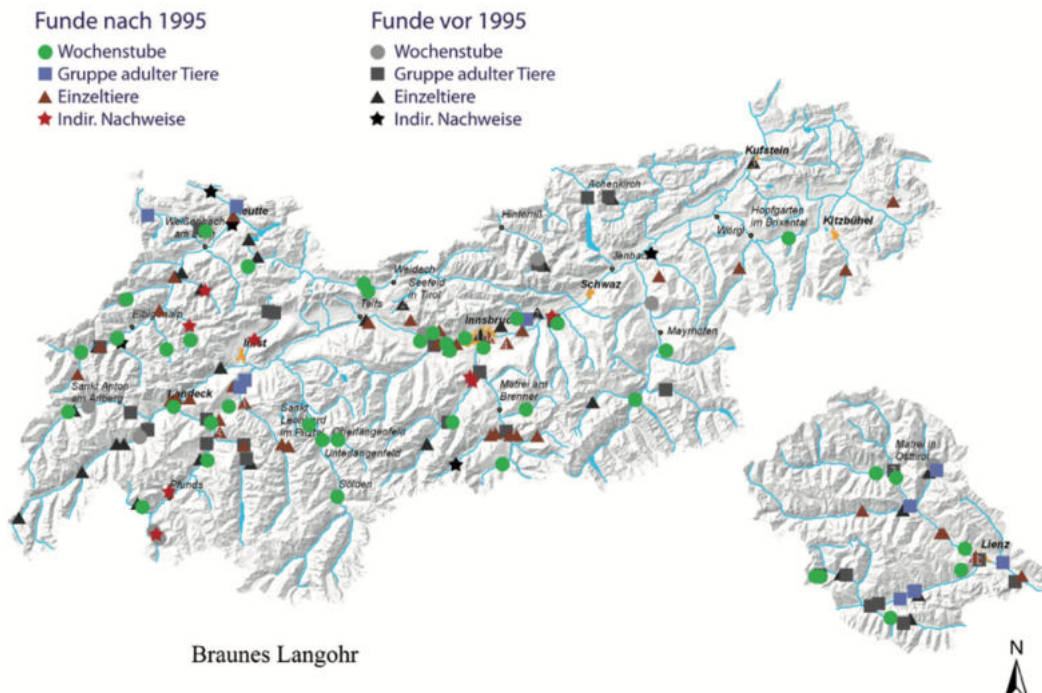


Abbildung 53 Tiroler Nachweise von Vorkommen des Braunen Langohr (Quelle Walder et Vorauer 2014)



Abbildung 54 Braunes Langohr *Plecotus auritus* (Bild: imageBROKER.com / Alamy Stock Photo)

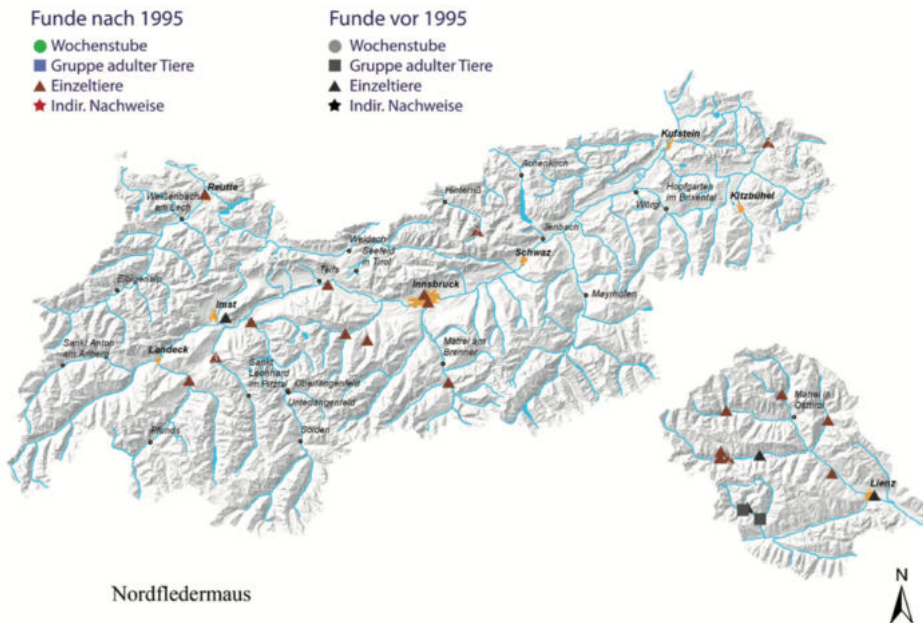


Abbildung 55 Tiroler Nachweise von Vorkommen der Nordfledermaus (Quelle Walder et Vorauer 2014)



Abbildung 56 Nordfledermaus im Winterschlaf *Cnephaeus nilssonii* (Bild: Magne Flåten, CC BY-SA 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>>, via Wikimedia Commons)

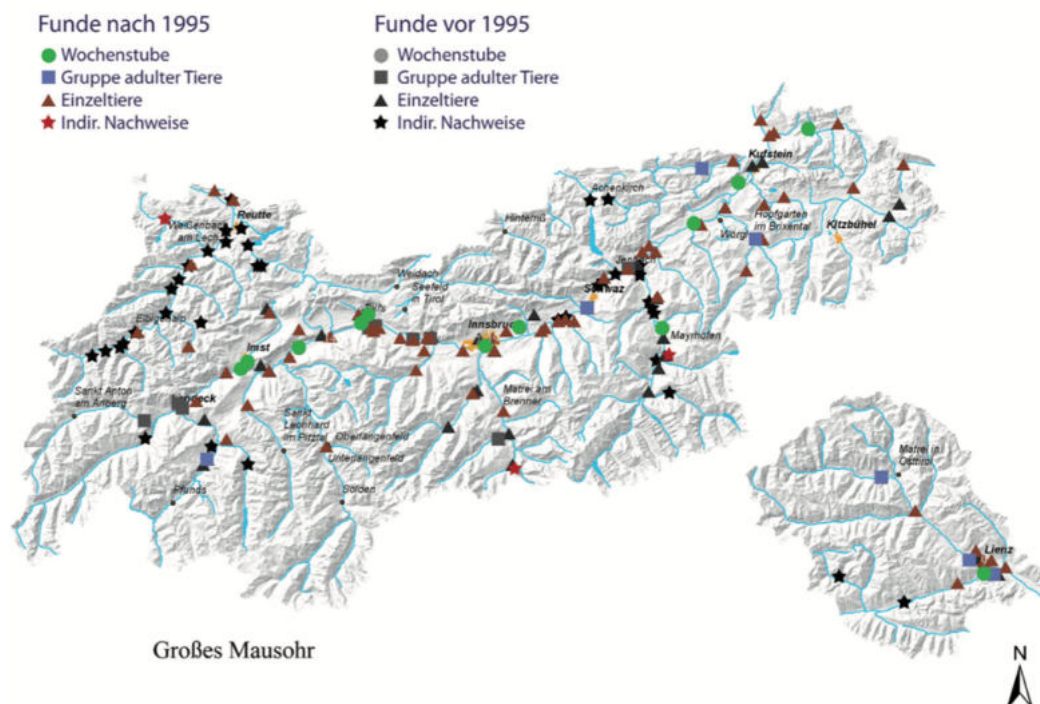


Abbildung 57 Tiroler Nachweise von Vorkommen des Großen Mausohr (Quelle Walder et Vorauer 2014)



Abbildung 58 Großes Mausohr *Myotis myotis* (Bild: C. Robiller / Naturlichter.de, CC BY-SA 3.0 DE <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/deed.en>>, via Wikimedia Commons)

Natürlich können in den jeweiligen Windkraft Potenzialgebieten weitere Einzelnachweise möglich sein, die in den Verbreitungskarten noch nicht abgebildet werden konnten. Dies wäre bei einer fortschreitenden Planung ebenso zu eruieren, wie mögliche Überschneidungen mit Zugrouten von

Fledermäusen. Besonders die südlichen Flanken des Alpenhauptkammes und die Hänge des Drautales in Osttirol wären hier insbesondere zu untersuchen.

Insgesamt weist Tirol sechs Fledermaus Hotspots auf. Deren Unversehrtheit vor weiterer Entwicklung, die das Potential hat, die dort lebenden Fledermauspopulation negativ zu beeinträchtigen, muss bei allen Planungsvorhaben unbedingte Priorität haben. Vor allem die Hotspots 1, 3, 4 und 6 liegen im Bereich der ausgewiesenen Windkraftpotenzialgebiete von Neubarth.

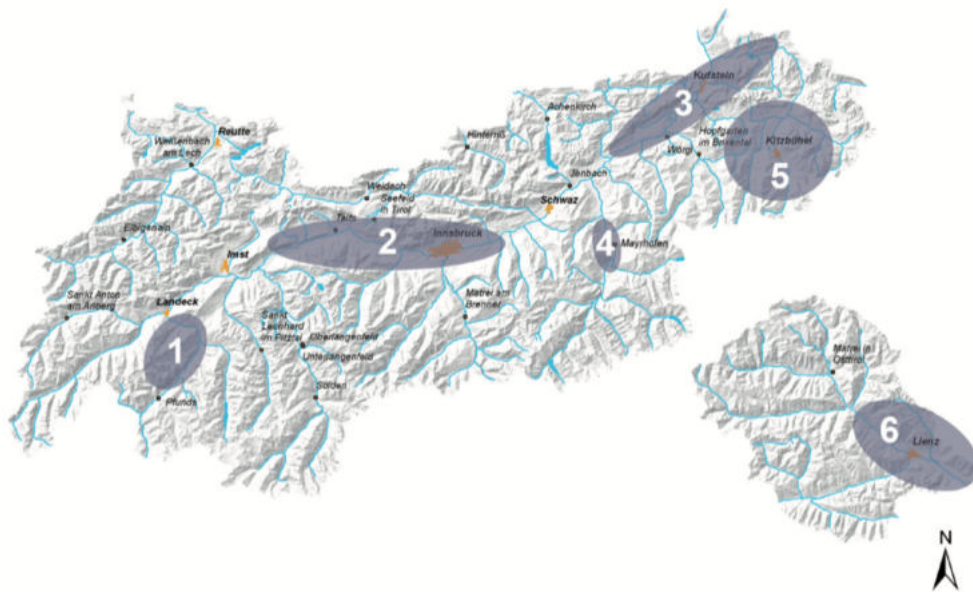


Abbildung 59 Fledermaus Hotspots in Tirol (Quelle Walder et Vorauer 2014)

4.5.2 Kleine und mittelgroße Wildtiere (Marder, Hasen, Dachse)

Nicht fliegende Säugetiere sind selten Opfer direkter Mortalität durch WKA. Deshalb sind die Auswirkungen von derartigen Anlagen im Lebensraum der Tiere wenig augenfällig und wenig untersucht, im Vergleich zu den offensichtlichen und gravierenden Auswirkungen auf Vogel- und Fledermausbesätze.

Trotzdem sind auch bei Säugetieren entsprechende Beeinträchtigungen erkennbar. Habitatverluste, Zertrennen von Habitaten und Vernetzungsstrukturen sowie Verschlechterung des verbleibenden Lebensraums sind in einer Reihe von Arten nachgewiesen (s.u.). Im Rahmen einer Untersuchung verschiedener Säugetierarten fanden Santos et al (2013), dass der Artenreichtum grundsätzlich in der Nähe von WKA zurückgeht, auch wenn Fleischfresser wie der Fuchs von den verunfallten Vögeln und Fledermäusen im Umfeld von WKA profitieren können (zitiert in Boldt und Hummel 2013). Zudem nutzen Füchse im Winter auch gezielt die geräumten Zufahrtsstraßen zur energiesparenden Fortbewegung. Auf diese Weise können sich auch etablierte Artbeziehungen verändern. Sirén et al. (2017) berichtet zum Beispiel, dass Rotfüchse über die Zuwegung von WKA in größere Höhen vordringen konnte und so zum Nahrungskonkurrent des Baumarders wurde (s.u.).

Die Schallemissionen beim Betrieb von WKA wirken sich auf eine Reihe von kleinen und großen Säugetieren gravierend aus (Barber et al. 2009, Lopucki et al. 2017). Der von WKA ausgehende Infraschall ist für den Menschen gesundheitsschädlich (Lenzen-Schulte et Schenk 2019). Es ist anzunehmen, dass die beim Menschen auftretenden körperlichen Effekte auch bei Tieren wirken, da Gehör und Reizverarbeitung ähnlich verlaufen (s.u.).

Und schließlich sind die Schlagschatten sich drehender Rotoren für viele Arten, vor allem typische Beutetierarten Ursache für Verhaltensänderungen und dauerhaftem Stress (Tosh et al 2014). Lang anhaltender Stress führt zu einem erhöhten Stresshormon-Spiegel im Körper, was eine Reihe von Organen und das Immunsystem nachhaltig schädigt (Palme et al 2005).

Boldt (2014) fasst die bekannten Auswirkungen von Windkraftanlagen auf wildlebende Säugetiere in der folgenden Tabelle zusammen. Dabei steht „+“ für nachgewiesene negative Auswirkungen; „+,-“ für Auswirkungen, die nur teilweise in einzelnen Studien oder einzelnen Individuen belegt sind; „-“ weist darauf hin, dass keine Auswirkungen in den verglichenen Studien gefunden wurden; „?“ steht bei Fällen, in denen nur Hinweise auf Auswirkungen vorhanden waren. Zu allen leeren Feldern gibt es keine Untersuchungen.

	Reh	Rothirsch	Rentier	Wapiti	Maultierhirsch	Gabelbock	Schwarzbär	Rotfuchs	Wolf	Kojote	Silberdachs	Vielfrass	Feldhase	Kleinsäuger
Direkte Auswirkungen (Geräusche, Schatten)	?	±										?	?	
Direkter Lebensraumverlust														+
Indirekter Lebensraumverlust (Meidung)	- ±	+ ±	- ± +	-	-	-	+ ±	- ±	-	-	-	+ ±	- ±	-
Störung während Bauphase	+	+	+	±		+	+	+				+	+	
Störung während Betrieb	- ±		±			±	-							
Einfluss auf Bestand/Dichte	-	+				+		+				+	-	
Nutzung von Korridoren		+	±	±	±	±								
Änderung Verhalten	?	- ±	-				+	+					+	

Abbildung 60 Übersicht der bekannten Auswirkungen von WKA auf Wildtiere (Quelle: Boldt 2014)

Füchse, Dachse, Marderartige und Kojoten wurden auf ihre Reaktion auf WKA in ihrem Lebensraum untersucht. Eine amerikanische Studie (Sirén et al 2017) verglich Raumnutzung und Verhalten von Marder (Amerikanischer Marder), Fuchs und Koyote, die alle in schneereichen Hochlagen der östlichen USA leben. Alle drei Arten haben ein ähnliches Beutespektrum: im Winter Schneeschuhhasen, im Sommer bevorzugt Kleinsäuger. Die ausgebaute Zuwegung und das häufige Befahren der Wege zu den WKA wurde vor allem von Fuchs und Koyote, der ähnliche groß ist und eine ähnliche ökologische Nische besetzt wie der europäische Goldschakal, genutzt, um in höhere Lagen zu kommen. Dort war der Amerikanische Marder mit der Konkurrenz der größeren Beutegreifer konfrontiert und musste diesem Druck ausweichen. In europäischen Untersuchungen wurden unterschiedliche Reaktionen beobachtet. Einerseits wichen Füchse WKA aus, was aber durch ein geringeres Beuteangebot (s.u.) verursacht sein konnte. Andererseits suchten Füchse gezielt das Umfeld von WKA nach Schlagopfern ab (Tolvanen et al 2017). Vermutlich sind gerade die opportunistischen mobilen Generalisten (Fuchs, Schakal, Wolf) unter den Beutegreifern die Arten, die vom Ausbau von WKA profitieren. Was wiederum zu einem erhöhten Bejagungsdruck auf die mittelgroßen Beutetierarten führt, die meist bereits aus anderen Ursachen und in der Folge des WKA Ausbaus beeinträchtigt sind.

Dachse dagegen zeigten in einer Studie in England dauerhaft erhöhte Stresswerte, was mittels eines höheren Cortisol-Spiegel in den Haarfollikeln nachgewiesen wurde. Im Umkreis von 1 km um eine WKA waren die Cortisolwerte um 264% höher als bei Dachsen in einer Entfernung von 10 km von den WKA. Auch bei bereits lange bestehenden WKA wurde der gleich große Unterschied gefunden, wie bei neueren Anlagen. Dies ist ein Hinweis darauf, dass keine Gewöhnung auftritt. Vermutet wird auch hier eine Belastung durch die Lärmemission der WKA (Agnew et al. 2016). Höhere Stresswerte im Umfeld von WKA wurden auch bei Gänsen in Geflügelhaltungen nachgewiesen (Mikolajczak et al. 2013). Nachdem Langzeitstress auch die Immunreaktion beeinträchtigt, kann ein durch Stress verursachter dauerhaft hoher Spiegel an Cortisol (und anderen Hormonen) auch zu einem Ausbruch latenter Krankheiten führen (Mostl und Palme 2002). Dachse gehören zu den bekannten Trägern der Erreger von boviner Tuberkulose, die in England an der Verbreitung von Rindertuberkulose im Viehbestand beteiligt waren. Verringerte Immunkompetenz von Dachsen im Umfeld von WKA kann nach Agnew et al. (2016) zu einem höheren Übertragungsrisiko der Krankheit auf Nutztierbestände führen.

Für kleine Säugetierarten ist es schwierig Effektstudien zur Auswirkung von WKA durchzuführen. Kleinsäuger, Nager und auch kleine Beutegreifer, die auf Mäuse spezialisiert sind, wie zum Beispiel Wiesel, zeigen von Natur aus große Schwankungen in der Populationsdichte von Jahr zu Jahr.

Anders dagegen die Situation bei **Hase, Schneehase** und Murmeltier. Feldhasen wurden zum Beispiel über 700 m Entfernung aus ihrem ursprünglichen Lebensraum verdrängt, wenn WKA errichtet wurden (Tolvanen et al 2017). Die Mechanismen, die zu dieser Verdrängung führen, dürften auch bei Feld- wie bei Schneehasen in ihrer Störanfälligkeit liegen. Beide Arten reagieren mit schnellen Fluchten, sobald sich eine potentielle Gefahrquelle vom Boden oder aus der Luft nähert. Die Schallemissionen von WKA

maskieren mögliche Geräusche beim Annähern eines Beutegreifers und können zu einer wie auch beim Dachs beschriebenen dauerhaften Stressbelastung führen (Lopucki et al. 2017). Der schnelle Schlagschatten der Rotoren kann als Schatten beim Anflug eines Greifvogels „missverstanden“ werden. Während Feldhasen möglicherweise mit der Verschiebung ihres Kern-Lebensraumes reagieren können, wenn WKA dort errichtet werden, sind die räumlichen Ausweichmöglichkeiten für den hochalpinen Schneehasen begrenzt. Vor allem im Winter ist dieser auf bestimmte Geländeformen und -merkmale angewiesen. Stress durch wiederholt empfundene Gefahr und ggf. Fluchtreaktionen verringert die Energiebilanz und damit mittelfristig die Überlebenschancen. In kontrollierten Untersuchungen wurde gezeigt, wie Störungen zu Boden und aus der Luft (mittels Papierdrachen) auf die Stressbelastung von Schneehasen wirkt und die Energiebilanz nachhaltig belastet. Gestresste Tiere wechseln öfter die Verstecke, essen seltener ihren Blinddarmkot, den sie zur Nährstoff-, Vitamin- und Energieversorgung benötigen, haben weniger Ruhezeit und weniger Zeit zur Nahrungsaufnahme (Rehnus et al 2014).

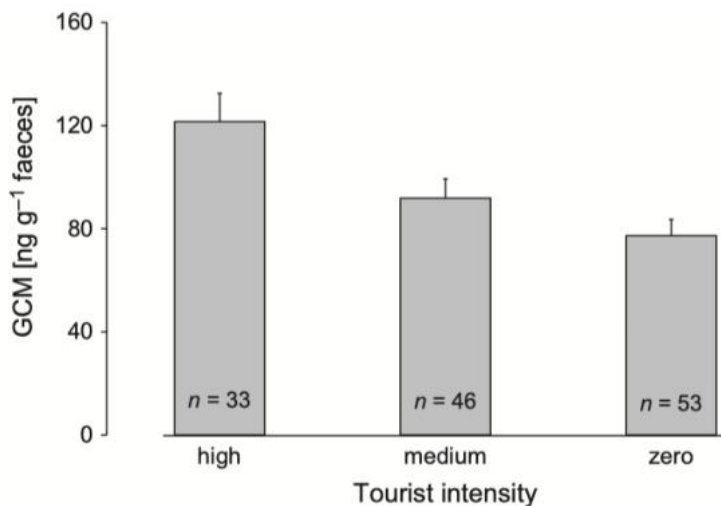


Abbildung 61 Konzentration von Glucocorticoid Abbauprodukten im Kot von Schneehasen bei unterschiedlicher Störungsintensität (Quelle: Rehnus et al 2014)

Der Ausbau von WKA im Lebensraum von Schneehasen ab 1300 m Seehöhe wird voraussichtlich zu einer Erhöhung der Störungen führen. Einerseits ist mit einer Zunahme von Menschen im Gebiet zu rechnen, die als Touristen über ausgebaute Zuwegung dorthin gelenkt werden oder sich dort zur Wartung der Anlagen befinden. Andererseits dürften auch beim Schneehasen die Schallemission und der Schlagschatten zu einer deutlichen Beeinträchtigung der Art in ihrem ursprünglichen Lebensraum führen. Schneehasen sind im Anhang V der FFH-RL gelistet und dürfen daher nicht in ihrem Lebensraum dauerhaft nachhaltig beeinträchtigt werden. Die Art leidet bereits jetzt durch andere Faktoren wie zunehmendem Tourismus und klimatischen Veränderungen, die die Zeiten ausdehnt, in denen die Tarnfärbung des Hasen nicht zu einem entsprechenden Untergrund passt. Wenn die Schneedecke immer später geschlossen ist und früher schmilzt, sitzen die Hasen mit weißem Winterfell sehr auffällig auf grünem oder braunem Untergrund. Eine Zunahme der Prädation ist die

Folge. Eine weitere Beeinträchtigung von Schneehasen in ihrem Lebensraum muss daher vermieden werden. Alle Planungen von Eingriffen in seinen Lebensraum müssen einer entsprechenden Prüfung unterzogen werden, die darstellt, ob der Erhaltungszustand der Art durch die geplanten Anlagen beeinträchtigt wird.

Es ist anzunehmen, dass negative Auswirkungen durch WKA in den Tiroler Gebirgslagen auch für das **Murmeltier** zu erwarten sind. Untersuchungen bei einer verwandten Art, dem Kalifornischen Erdhörnchen, einer Ziesel-Art, lassen darauf schließen, dass auch Murmeltiere in ähnlicher Weise reagieren. Die Erdhörnchen zeigten im Umfeld von WKA erhöhte Wachsamkeit und Fluchtverhalten. Die Kommunikation zwischen den Hörnchen, zum Beispiel über die typischen Warnpfeife, wurde durch die Schallemissionen der WKA beeinträchtigt. Die Forscher vermuteten, dass sogar dauerhafte Hörschäden bei den Tieren auftraten (Rabin et al 2006). Auch Murmeltiere halten über Warnpfeife Kontakt zueinander. Negative Langzeitfolgen durch WKA, die die bereits vorhandenen Veränderungen im Lebensraum (zu milde Winter mit zu geringer, isolierender Schneedecke oder Trockensommer mit geringem Nahrungsangebot) verstärken und kumulieren, sind auch bei dieser Art zu erwarten und müssen vor der Ausweisung von WKA- Potenzialgebieten berücksichtigt werden.

4.5.3 Huftiere (Schalenwild)

Lange wurde angenommen, dass Huftiere als mobile Arten, einfach den Windkraftanlagen ausweichen. Das geht aber nur großräumig und auch dann nur, wenn ausreichender günstiger Lebensraum zur Verfügung steht, den die jeweilige Population, die betroffenen Tiere besiedeln können. Völlig außer Acht lässt die pauschale Ansicht „Huftiere weichen aus und passen sich an“, dass viele Arten, vor allem im Hochgebirge sehr spezifische Anforderungen an ihren saisonalen Lebensraum haben.

Sowohl **Gämsen** wie **Steinwild** (beide Arten sind im Anhang V der FFH-RL gelistete) sind im Winter auf Einstände angewiesen, in denen die Sonneneinstrahlung hoch (Süd-Exposition), das Gelände steil und exponiert (geringe Schneeeauflage) und weitgehend ungestört ist, damit im Winter der Energieverbrauch so weit wie möglich minimiert wird (Miller et Corlatti, 2014). Aufgrund des winterlich reduzierten Stoffwechsels wirken Störungen, sei es durch frei laufende Hunde, Bejagung, touristische Aktivitäten und Überfliegungen, besonders negativ auf die Gams (Boldt & Ingold 2005, Haymerle 2013, Arnold et al. 2015). Überfliegungen wirken deshalb so gravierend, weil Gämsen – ebenso wie Steinwild auf mögliche Angriffe von Steinadler auf Kitze empfindlich reagieren. Flugobjekte führen zu den gleichen Verhaltensmustern wie das Erscheinen einer Silhouette am Himmel oder deren Schattenwurf auf den Boden und deshalb zu einer Flucht und dem Verlassen des Gebietes. Im Winter reduziert dies die ohnehin knappen Energiereserven der Tiere. Im Sommer führt es zu einem Verlust an Äsungszeit und Äsungsfläche, der sich negativ auf die Wachstumsrate der Kitze und in der Folge deren Überlebensfähigkeit im Winter auswirkt.

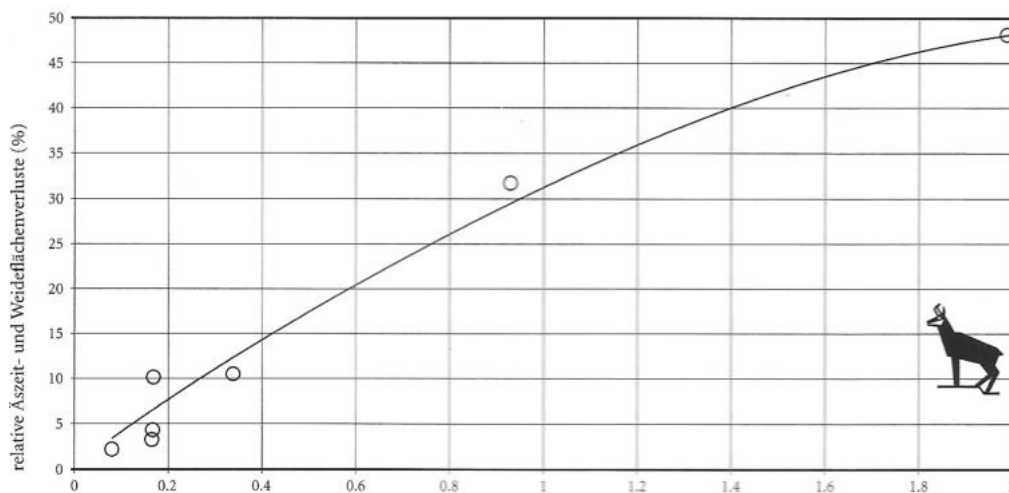


Abbildung 62 Verlust von Äsungszeit und Weidefläche in Abhängigkeit von Hängegleiterstunden (Quelle: Boldt et Ingold 2005)

Der kontinuierliche, sich bewegende Schlagschatten von Rotoren dürfte vor allem bei diesen Arten zu erhöhten Stresswerten, Wachsamkeit und / oder dem Verlassen des Gebietes führen. Gerade in Hochlagen kann das zum Verlust lebenswichtiger Habitatbereiche führen.

Sowohl der Schlagschatten des WKA Betriebs, Störungen auf den Zuwegen und im Umfeld der WKA sowie unter Umständen auch die Schallemissionen (Helldin et al. 2012, Barber et al. 2009) führen ebenfalls zu erhöhten Stressreaktionen der Tiere, obwohl dies im Einzelfall noch nicht untersucht wurde. Aufgrund ähnlicher Befunde bei anderen Arten in ähnlichen Lebensräumen und ähnlicher Lebensweise ist jedoch eine derartige Reaktion anzunehmen. Dauerhafter Stress führt in der Folge zu einer Beeinträchtigung der Immunreaktion, die wiederum die Krankheitsanfälligkeit der Tiere erhöht. Der Bau und die Erweiterungen der Zuwegungen zu den WKA Standorten wird eine zunehmende Nutzung der Flächen durch Wanderer, Radfahrer und anderer Bergsportler zu erwarten lassen. Diese zunehmende menschliche Störung führt in der Folge zu weiteren Ausweichbewegungen und Stressreaktionen der Gämser mit den bereits bekannten negativen Auswirkungen auf die betroffenen Populationen (Kati et al. 2020).

Nachdem die beiden Hochgebirgsarten Gams und Steinwild bereits durch verschiedene Faktoren, wie touristische Störungen, Klimawandel und neue Krankheitserreger betroffen sind und Bestände teilweise bereits eine verminderte Resilienz zeigen und / oder abnehmen, muss eine weitere mögliche Beeinträchtigung dieser Arten und kumulative Effekte (geschwächte Immunreaktion) durch den Bau von WKA in ihren Lebensräumen besonders kritisch geprüft werden.

Rotwild meidet während der Bauphase von WKA die durch Baustellenverkehr und Arbeiten beeinflussten Bereiche und auch Wildwechsel wurden in dem Gebiet nicht mehr genutzt, bzw. verlegt (Übersicht zu den Studien siehe Boldt und Hummel 2013). Die Kerneinstände wurden ebenso deutlich um mindestens 700 m entfernt von der neuen WKA verlegt. Dies wurde auch in dem im Kapitel Raufußhühner erwähnten „Tauern-Windpark beobachtet (Hasslacher und Seifert 2004 und Kusstatscher 2005, beide zitiert in Boldt und Hummel 2013). Wanderkorridore, die vor allem für diese großräumig mobile Art von hoher Bedeutung sind, können durch Windkraftanlagen beeinträchtigt sein, wenn diese zu nahe an einem Windpark vorbeiführen (Tosh et al 2014). Der Einfluss von Schlagschatten auf das Verhalten und die Raumnutzung der Tiere ist bei Rotwild nicht geklärt, ein Einfluss wird vermutet (Petrač 2016). Eine zunehmende Besucherfrequenz in vormals ruhigen Gebieten, die durch den Bau einer WKA mit dem damit verbundenen Ausbau der Zuwegung, führt zu den stärksten nachgewiesenen Beeinträchtigungen auf Rotwild und seine Raumnutzung. Weitere Aspekte, wie Verhaltensänderung durch die Wahrnehmung von Schlagschatten bei Sonnenlicht und Vollmond (Petrač 2016), veränderte Reproduktionsrate (Phillips und Alldredge 2000) oder erhöhte Stresslevel, die zu einer erhöhten Infektionsanfälligkeit führen wurden bisher nicht systematisch erforscht.

Bei den ebenfalls saisonal wandernden Rentieren wurde die Meidung von Gebieten mit WKA ebenso nachgewiesen, wie Verschiebungen der Kerneinstände, bis zu 15 km weg von WKA (Tolvanen et al 2023, Eftestol et al 2023)). Vor allem während der Setzzeit reagieren Rentiere besonders sensibel. Hier wurde vermutet, dass vor allem die Schallemissionen die Kommunikation zwischen Mutter und Kalb

stören und die Wahrnehmung von Beutegreifern erschweren. Das fehlende Sicherheitsgefühl der Tiere wirkt sich dann in hohen Stresswerten und einer Verlagerung der Einstände aus. Nachdem auch Setzeinstände und „Kinderstuben“ viele geeignete Merkmale aufweisen müssen, sind die Einstandsverlagerungen in diesem Fall besonders weiträumig (Tolvanen et al 2023, Skarin et al 2018). Der Baulärm und die menschlichen Störungen während der Bauphase wirkten sich dagegen weniger stark aus als die Dauerbeschallung beim Betrieb der WKA.

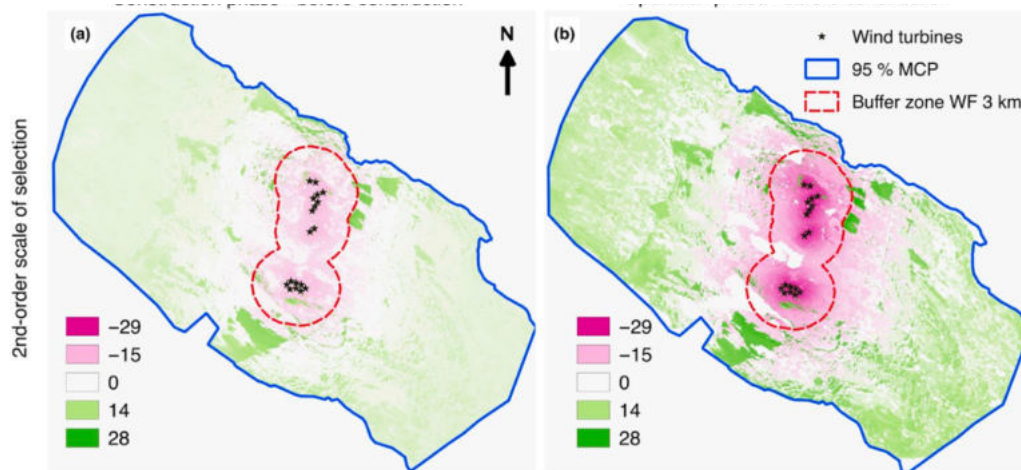


Abbildung 63 Verlagerung der Einstandsgebiete von Rentieren während Bau (links) und bei Betrieb (rechts) der WKA. grün: Zunahme der Nutzung, rot: Abnahme der Nutzung (Quelle: Skarin et al 2018)

Das Sozialverhalten und die Raumnutzung von Rotwild ist durchaus mit dem von Rentieren vergleichbar, so dass davon ausgegangen werden muss, dass auch Hirschkühe ähnlich von Schallemissionen beeinflusst werden wie Renkühe und ähnlich reagieren.

In Tirol, wie in anderen Rotwildgebieten Österreichs sind die Populationen gezwungen in ihren jeweiligen Sommerlebensräumen zu überwintern. Die Wanderungen zu den natürlichen Wintereinständen in ausgedehnten Auegebieten im Tiefland ist heute nicht mehr möglich. Deshalb kommt einer kompakten Steuerung der Rotwildbestände und ihre Lenkung an ruhige und wenig Wildschadens anfälligen Wintereinständen eine überragende Bedeutung zu. Wird das Wild gezwungen, in den Berglagen neue Wintereinstände zu suchen, in denen es dann auch nicht durch Futtergaben gehalten und schadensarm durch den winterlichen Nahrungsengpass geführt werden kann, ist mit einer deutlichen Zunahme an Schäden in Berg- und Schutzwaldbereichen zu rechnen (Gerhardt et al 2013). Dabei wirkt sich nicht nur das Ausweichen in ungünstige Wintereinstände negativ aus.

Auch Störungen und das Gefühl der Unsicherheit führen zu dauerhaft erhöhten Stresswerten, die wiederum in ein verändertes Äsungsverhalten münden. Gestresste Tiere äsen mehr und kohlehydratreichere Äsung. Gerade die Zunahme von Schälungen (Abziehen der Baumrinde durch das Wild) nimmt bei gestressten Tieren deutlich zu (Sauerwein et al 2004, Völk 1997). Erhöhte Stresswerte

führen auch beim Rotwild dauerhaft zu einer verringerten Immunkompetenz der Tiere. Dies ist angesichts von im Lebensraum gelegentlich auftretenden Infektionen mit Erregern wie Mycobacterien (bovine TB) auch aus seuchenprophylaktischen Gründen von Bedeutung.

Für **Rehwild** sind bereits Untersuchungen durchgeführt worden in wie weit WKA das Stressniveau dieser Tiere verändern kann. Im weiteren und näheren Umfeld von sieben Windparks mit je 12-27 Turbinen im Osten Polens wurden die jeweiligen Stresswerte in der Losung der Rehe ermittelt. Innerhalb eines weiträumigen Gebiets um einen Windpark war das Stressniveau der Rehe deutlich erhöht. Es entsprach etwa dem Niveau, den die Tiere auch bei einer dauerhaften Wolfspräsenz im Lebensraum haben (Klich et al 2020). Auch in diesem Fall vermuten die Wissenschaftler, dass die dauerhaften Schallemissionen es den Rehen erschweren frühzeitig Raubtiere oder andere Gefahren zu erkennen. Das versetzt die Tiere in eine dauerhafte Alarmbereitschaft. Und wie bei den anderen Schalenwildarten muss davon ausgegangen werden, dass dauerhaft gestresste Tiere einerseits einen höheren Einfluss auf die Waldvegetation haben und andererseits eine verringerte Immunreaktion zeigen.

5 Anforderungen an tierökologische Verbindungsachsen und Korridore

Die Vielfalt der Arten, Lebensräume und der genetischen Ausstattung der Arten und Populationen wird als „Biodiversität“ bezeichnet. Österreich gehört auch zu den Unterzeichnerstaaten des Übereinkommen über die biologische Vielfalt (Convention on Biological Diversity, CBD). Die 2010 bei der Vertragsstaatenkonferenz festgelegten sogenannten „Aichi-Ziele“ verpflichten sich die Staaten zu verbindlichen Zielen unter anderem dazu für eine „Bessere Umsetzung von Artenschutz durch Planung, Wissensmanagement und Kapazitätsaufbau“ Sorge zu tragen (<https://www.cbd.int/doc/strategic-plan/2011-2020/Aichi-Targets-EN.pdf>).

Um beiden Übereinkommen gerecht zu werden, müsste auch in Österreich, bzw. allen Bundesländern durch entsprechende gesetzliche Regelungen und Vorschriften sicher gestellt werden, dass bei Planungsvorhaben und Landschaftseingriffen die Durchlässigkeit der Landschaft gewährleistet wird. Populationen von großräumig ziehenden Arten müssen vernetzt bleiben. Dazu sind Wanderkorridore offengehalten, bzw. geschaffen werden und Wanderbarrieren beseitigt werden.

Aufgrund der großen Raumannsprüche, der polygynen Sozialstruktur (Rudel von Hirschkühen und ihren Kälbern bestimmen die Raumnutzung; wenige Hirsche können sich erfolgreich an der Forstpflanzung beteiligen) und der weiträumigen Wandertendenzen einzelner, in der Regel der männlicher Tiere, ist Rotwild eine Modellart, um Biotopverbundsysteme zu definieren und zu planen. Neben der Planung für Wanderachsen, die auch von anderen Arten genutzt werden können, fungiert Rotwild unter anderem selbst als bedeutender Transporteur von Pflanzensamen (Genmaterial) und Insekten (Albert et al. 2015). Ebenso schaffen Rotwild und andere große Pflanzenfresser Kleinstbiotop, die für die Verbreitung von anderen Arten hilfreich sind (Herbst et al 2016, Reck et al. 2009).

Der Lebensraum einer Wildtierart ist ein multidimensionales System, in dem die Individuen der jeweiligen Art die artspezifischen Ressourcen – Nahrung, Deckung vor Feinden und Schutz vor Witterungsunbill – finden können. Ebenso müssen in artgerechten Lebensräumen auch die Möglichkeiten gegeben sein, die artspezifischen Sozialkontakte und Verhaltensweisen ausüben zu können. Sind diese Lebensbedingungen und die Vermeidung von Stress nicht gegeben, versuchen Tiere diese durch Ausweichbewegungen zu erreichen. Ebenso lösen Störungen und als risikoreich eingestufte Orte Flucht- und Ausweichbewegungen aus. Wo das nicht möglich ist, geraten die Tiere in einen Stresszustand. Dauert dieser physiologisch messbare Stresszustand lange an, werden dadurch auch andere Funktionen des Körpers beeinflusst: Dauerstress schwächt das Immunsystem und führt zu Anfälligkeit gegenüber Krankheitserregern und Parasiten. Die Jagdrechtsinhaber sind bei den jagdbaren Wildarten (alle Huftierarten, Hasen, Marder, Fuchs etc.) gesetzlich verpflichtet für „gesunde Wildbestände“ Sorge zu tragen. Damit sind sie implizit auch dazu gezwungen Lebensräume und

Lebensbedingungen der Wildtierarten in den jeweiligen Revieren im Vorkommensgebiet der jeweiligen Art zu optimieren, um dauerhafte Stresszustände zu vermeiden.

Um diesen biologischen und ökologischen Erfordernissen in der Praxis umsetzen zu können, sollte die Behandlung der Lebensräume und der Wildtierpopulationen auf der Ebene von sogenannten Wildräumen erfolgen. Dieser Bereich umfasst die Lebensräume aller Teilpopulationen, die in einem kontinuierlichen Austausch stehen (Reimoser und Reimoser 2018). Diesem Konzept muss auch bei der Planung größerer Anlagen in der Natur, das heißt außerhalb des besiedelten Raumes entsprochen werden.

Um langfristig überleben zu können, müssen Wildtierpopulationen ausreichend groß sein, bzw. der Austausch zwischen kleinen Teilpopulationen muss über wandernde Einzeltiere gewährleistet sein (Westekämper 2021). Die Beeinträchtigungen von funktionalen Verbindungen zwischen Teillebensräumen von Individuen und Populationen gehört zu den stärksten Auswirkungen, die Umwelteingriffe, Landnutzung und Raumplanung durch den Menschen mit sich bringen (Herrmann und Müller-Stieß 2003). Die Zerschneidung von Landschaftsteilen durch Infrastrukturbauten (Straßen, Bahntrassen, Energieanlagenflächen etc.) und die Ausdehnung von Siedlungen sind die Hauptverursacher der Abtrennung von Teilpopulationen und Behinderung von klein- und großräumigen Wanderachsen (Herrmann und Müller-Stieß 2003).

Grundsätzlich gelten nach einfachen Modellen mindestens etwa 100 fortpflanzungsfähige Individuen als der Schwellenwert dafür, dass eine Population wenigstens kurzfristig verhindern kann ihre genetische Vielfalt durch den Verlust einzelner Genvarianten einzubüßen. Für das langfristige Überleben gelten 500 fortpflanzungsfähige Individuen als Mindestgröße. Im Falle von Rotwild, bei denen nur wenige männliche Tiere überhaupt die Gelegenheit haben ihre Gene in die nächste Generation weiterzugeben, dürfte die untere Populationsgrenze bei mindestens 500 Tieren liegen und der Schwellenwert für langfristige Überlebenschancen bei 5000 bis 10.000 Individuen liegen. Dies ist besonders bei den großen Huftierarten nur in einem Netz von Teilpopulationen möglich (Metapopulationssystem). Diese Arten sind auf einen ungehinderten Austausch mit anderen Teilpopulationen angewiesen (Kunz et al 2021, Vucetich et al 2001, Zachos et al 2016).

Ein Verbund von Teilpopulationen, die sich mit je einem fortpflanzungsfähigen Tier pro Generation austauschen kann diese theoretischen biologischen Anforderungen erfüllen. Sind Wildtierpopulationen bereits auf nur kleinere Bestandsgrößen zusammengeschrumpft und ist der Austausch mit anderen Populationen nicht mehr gegeben, müssen komplexere Modelle, wie Populationsgefährdungsanalysen, die verschiedene weitere Faktoren (Heterozygotiegrade, Populationsstruktur, Populationsentwicklungen etc.) berücksichtigen (Herrmann und Müller-Stieß 2003).

Jedoch ist das Wissen über die Umweltauswirkungen auf den Genfluss und die Konnektivität von Arten oft nicht groß genug. Die Daten, die zur Schätzung von Korridormodellen verwendet werden, erfassen häufig die effektive, tatsächliche Abwanderung nicht, da sie auf allgemeinem Expertenwissen, kleinräumig erhobenen Bewegungsdaten oder Habitatmodellen beruhen. Landschaftsgenetische Analysen dagegen können die effektive Abwanderung berücksichtigen, da sie genetische Daten, Informationen über die Heterogenität der Landschaft und räumliche Statistiken kombinieren, um die Auswirkungen von Landschaftselementen auf den Genfluss zu ermitteln. Darüber hinaus können aus landschaftsgenetischen Analysen abgeleitete Modelle verwendet werden, um Korridornetzwerke abzuschätzen (aus: Westekämper 2021). Derartige Untersuchungen wurden jedoch bisher in den Rotwildpopulationen Österreichs nicht durchgeführt.

Verbindungskorridore und Vernetzungsstrukturen dienen dem Erhalt vernetzter Teillebensräume von Einzeltieren und Gruppen. Sie dienen ebenso dem Erhalt von Vernetzungskorridoren für saisonale Wanderungen, Wanderungen zwischen Metapopulationen (das sind die Populationen eines Wildraumes) und sie ermöglichen den großräumigen genetischen Austausch (Herrmann und Müller-Stieß 2003).

Barrieren für den Lebensraumverbund sind in der Regel lineare Strukturen (Straßen, Wasserwege, Zäune), große Rodungsinseln oder Industriegebieten, die nicht umgangen werden können. Diese Strukturen durchtrennen Wanderkorridore. Ebenso sind ausgeräumte Agrarlandschaften, Siedlungsgebiete und unter Umständen auch geschlossene, dichte Waldgebiete Migrationsbarrieren, je nach den Lebensraumansprüchen verschiedener Arten.

Dagegen sind traditionelle Kulturlandschaften mit kleinräumigen Strukturen für die meisten heimischen Arten sehr durchlässig. Zudem bieten Hecken, Feldgehölze, kleine Wiesen und Offenbereiche in Waldgebieten sowie Almflächen mit Gehölzgürtel und ein verzahnter Übergang von Wald- zu Almflächen mit kleinräumig wechselnden Standorteigenschaften für alle Arten Deckung, Sicht- und Witterungsschutz, Nahrung und Ruheplätze.

Bei der Umsetzung des erforderlichen Biotopverbundsystems im Rahmen örtlicher Entwicklungskonzepte und Planungen dürfen nicht nur die definierten Korridorareale nicht bebaut werden. Es ist auch bei der Erschließung von Bebauungs- und Gewerbegebieten zu berücksichtigen, dass diese durch Erschließungsstrukturen (Zuwege etc.) eine weitreichende Wirkung auf die Korridorsysteme haben. Verändertes Verkehrsaufkommen, unterschiedliche tageszeitliche Nutzungen (z.B. Abend-, Nachtbetrieb) können Barrierewirkungen aufbauen.

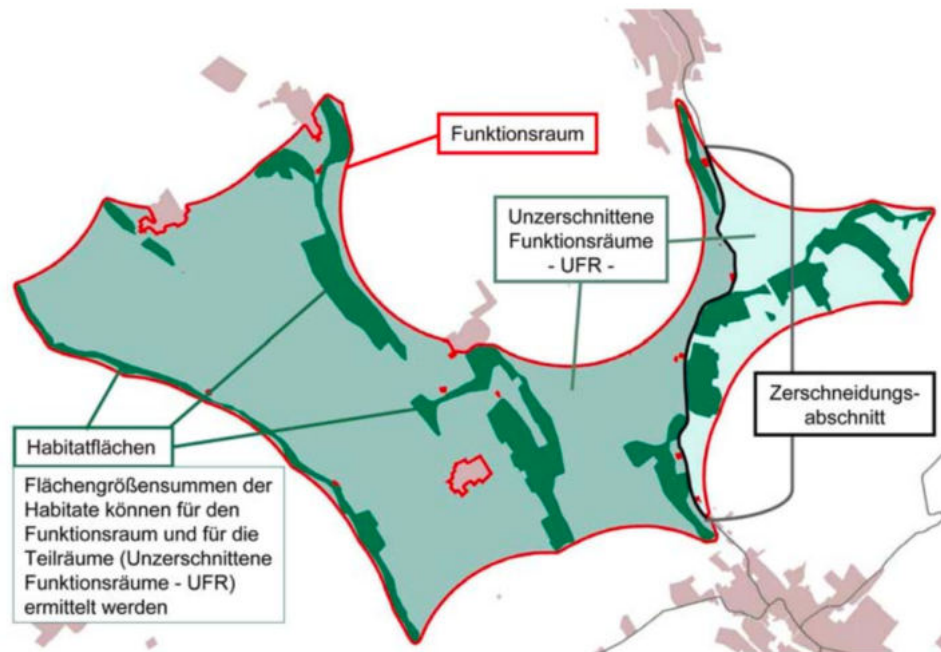


Abbildung 64 Begriffe im Zusammenhang mit Unzerschnittenen Funktionsräumen (Hänel 2007)

Die Flächenscharfe Darstellung der Verbindungsachsen (siehe Abb.) erlaubt es bei Planungen nicht nur die betroffenen Grundstücke zu erkennen, sondern auch die bisher unzerschnittenen Funktionsräume. Es muss auch darauf geachtet werden, dass im Umfeld der kartierten Verbindungsstrukturen eine Hinführung zu den Wanderkorridoren erfolgt.

In dieser Weise müssten auch bei den Planungen zu Energiestandorten regionale und überregionale Korridore ermittelt und berücksichtigt werden. Der Einfluss von Gewerbeanlagen in bisher weitgehend natürlichen Lebensräumen und die Barrierewirkung dieser Anlagen zusammen mit den notwendigen Stromleitungen und Straßen wurden in einigen Studien zum Einfluss von WKA auf Landsäugetiere untersucht. Eine erste Übersicht dazu, vor allem in nordischen Lebensräumen, gibt Helldin et al 2012.

6 Schlussfolgerung und Stellungnahme

Der Ausbau von Windkraftanlagen erfolgt in Österreich aufgrund einer Zielsetzung durch das 2021 verabschiedete Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz. Die Zeitrahmen zur Erreichung verschiedener Zielsetzungen sind darin willkürlich gewählt. Der Strombedarf wird durch entsprechende politische Weichenstellung und Förderungen sowie widersprüchliche Anreize massiv erhöht, so dass ein drastischer Ausbau von großen WKA zur Erreichung der gesetzten Zielvorgaben erforderlich wäre. Die tatsächlichen, zukünftigen Bedarfe an Energie sind weder national noch für einzelne Regionen wirklich geklärt.

Eine Verknappung und Verteuerung der dafür notwendigen eingesetzten Rohstoffe mit einhergehender Abhängigkeit von wenigen Staaten, die diese Nachfrage bedienen können ist angesichts des auch in anderen europäischen Staaten forcierten Ausbaus von Windkraftanlagen vorhersehbar. Das Problem des Recyclings von Altanlagen ist weitgehend ungelöst und verspricht eine weitere Zuspitzung der Umweltprobleme.

Prof. Liebert vom Institut für Sicherheits- und Risikowissenschaften der Universität für Bodenkultur in Wien fasst dies in einer Podiumsdiskussion zum Thema „Windkraft verstehen“ wie folgt zusammen: „Wir ersetzen eine Technologie, die in die Sackgasse geraten ist, durch eine Technologie, die sehr schnell und voraussehbar ebenso in die Sackgasse gerät.“ Sowohl die Knappheit von für WKA benötigten Rohstoffe, die Abhängigkeit von externen Rohstofflieferanten und die ungeklärte Situation beim Recycling von Windkraftanlagen zeigen, dass es sich dabei keinesfalls um eine „Zukunftstechnologie“ handeln kann.

Angesichts der globalen und auch nationalen Biodiversitätskrise erscheint es unverantwortlich, dass mit einer Art Tunnelblick auf den vermeintlichen Schutz des Klimas die natur- und artenschutzrechtlichen Folgen eines massiven Windkraftausbaus in den gesetzlichen Vorgaben und Rahmenbedingungen keinen Niederschlag finden. Mit dem Argument durch nationale Klimaschutzmaßnahmen das globale Klimageschehen positiv beeinflussen zu können, wird der nationale Biodiversitätsschwund rasant vorangetrieben.

Tirol und insbesondere seine Berglagen weisen eine hohe Biodiversität aus und sind Lebensraum vieler geschützter Arten von nationaler und Europa-weiter Bedeutung. Hier hat das Land eine besondere Verantwortung für die Vorkommen einer Vielzahl von Arten. Dazu gehören die regionalen Vorkommen verschiedener Amphibien sowie Säugetierarten, die auf verschiedenen Anhängen der FFH-RL gelistet sind. Raufußhühner finden nur noch in alpinen Regionen ausreichende Kernlebensräume in Mitteleuropa. Auch die Tiroler Greifvogelarten sind auf gebirgige Vorkommen mit entsprechender Thermik angewiesen. Sie alle sowie weitere in Tirol heimische Vogelarten sind in der SPA-RL aufgeführt.

Nicht nur in den ausgewiesenen SPA-Gebieten, sondern überall in ihren Vorkommensgebieten muss das Land Tirol jegliche Maßnahmen unterlassen, diese Vorkommen negativ zu beeinträchtigen. Diese Verpflichtungen durch das EU-Recht können nicht durch nationale Regelungen ausgehebelt werden. Dies wurde auch in einer Reihe von Entscheidungen des Europäischen Gerichtshofes bestätigt.

Ebenso sind von den Windkraftanlagen-Potentialflächen in Höhenlagen ab 1300 m Seehöhe auch Waldflächen mit Vorkommen von Fledermausarten betroffen. Alle Fledermausarten sind im Anhang IV der Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie (FFH-RL) gelistet, eine Reihe von Arten auch in Anhang II. Auch für Fledermausarten gilt das Verbot Lebensräume zu zerstören und Vorkommen negativ zu beeinträchtigen. Eine Reihe von Fledermausarten können durchaus in den ausgewiesenen WKA-Potentialgebieten vorkommen. Hochlagen WKA wiederum werden vermutlich wichtige Zugrouten beeinträchtigen. Ohne eine Abklärung, in welchen ausgewiesenen Potenzialgebieten auch Konflikte mit den streng geschützten Fledermaus-Arten zu erwarten sind, kann keine Genehmigung des Planungsbeginns erfolgen.

Die Mehrzahl der übrigen heimischen Säugetierarten, vor allem in den Gebirgslagen zwischen 1000 m und 2300 / 2800 m Seehöhe sind bereits durch verschiedene Faktoren (Störungen, Lebensraumverluste, Klimaveränderungen) beeinträchtigt. Sowohl Schneehasen, Gämser und das Steinwild sind auf bestimmte Lebensraumelemente angewiesen (z.B. südseitige steile Grasfluren). Werden diese Flächen überbaut oder durch die Auswirkungen von WKA (Schallemission, Schlagschatten) für die jeweiligen Populationen nicht mehr nutzbar, drohen diese Bestände langfristig zu erlöschen. Die Auswirkungen von Baumaßnahmen und den Betrieb von WKA auf diese Arten wurden bisher in den Planungen weder erwähnt noch berücksichtigt. Die Änderung der Raumnutzung von Rotwild – dessen Management durch die Berner Konvention ein verbindlicher Rahmen gesetzt wird – kann einerseits zu einer Verringerung der Resilienz dieser Art führen und andererseits unerwünschte Folgen bei der Raumnutzung der Art haben. Dies würde dann unter anderem auch eine Erhöhung negativer Wildauswirkungen (Wildschaden) bedeuten, für die wiederum Dritte (Jagdrechtinhaber) haftbar gemacht werden können.

Darüber hinaus laufen über Tirol verschiedene Zugrouten von wandernden Arten, seien es Insekten, Fledermäuse oder migrierende Vogelarten. Beeinträchtigungen dieser Zugrouten und Rastplätze vor allem entlang von Gipfellagen und Plateaus der Gebirgskämme durch den Bau von Windparks sind nach den Übereinkommen zum Schutz migrierender Arten (Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals; CMS oder kurz „Bonner Konvention“) und der nationalen Naturschutzgesetzgebung nicht ohne weiteres möglich.

In der Potenzial-Analyse der von der Tiroler Landesregierung in Auftrag gegebenen Studie wird dazu folgendes angegeben: „Windenergiepotenzial in Tirol hat eine energiewirtschaftlich relevante Größenordnung. Trotz der Berücksichtigung von Ausschlussflächen entsprechend europarechtlicher

Vorgaben sowie einer restriktiven Festlegung von Mindestabständen zu bspw. Siedlungsgebieten nach fachlichen Vorgaben kann für Tirol auf Grundlage eines vereinfachenden Modellansatzes ein technisch-wirtschaftliches Windenergiepotenzial von 0,8 bis 1,2 TWh/a abgeleitet werden. Zur Umsetzung dieses Potenzials wären etwa 410-480 MW an Windkraftleistung zu installieren, was bei einer beispielhaften Anlagengröße von 3 MW etwa 140-160 Windkraftanlagen entsprechen würde. Da die Windkraft ihren Erzeugungsschwerpunkt im Winterhalbjahr hat, kann der Windkraftausbau aus Sicht der Versorgungssicherheit Vorteile gegenüber einem Ausbau der Photovoltaik und Laufwasserkraft mit einem Erzeugungsschwerpunkt im Sommer haben.“

Und weiter: „In Schigebieten liegen etwa 15% der Tiroler Windenergiepotenziale Vor dem Hintergrund der gestiegenen Strompreise wird die mögliche energiewirtschaftliche Nutzung der Windkraft innerhalb von Tiroler Schigebieten verstärkt diskutiert. Das technisch-wirtschaftliche Windenergiepotenzial in Tiroler Schigebieten liegt dabei in einer Bandbreite von 150 bis 180 GWh/a. Dieses Potenzial entspricht einer Windkraftleistung von rd. 60 bis 70 MW bzw. 20 bis 23 Windkraftanlagen bei einer Anlagengröße von 3 MW.“ (Neubarth 2023).

Bislang wurden weder die Vorkommensgebiete geschützter Arten (Amphibien, Fledermäuse, Vögel, Säugetiere) noch die Zugrouten wandernder Arten (Insekten, Vögel, Fledermäuse) bei der Ausweisung der Windkraft-Ausbaugebieten berücksichtigt.

Die ausgewiesenen potentiellen WKA-Flächen in Tirol befinden sich praktisch vollständig in Vorkommensgebieten von Arten des Anhangs I der SPA-RL. Da Raufußhühner in Tirol auf der Grundlage eines intensiven fachlichen Monitorings auch gejagt werden dürfen, liegen den Behörden in Tirol umfangreiche Daten über das Vorkommen und die Entwicklung von Raufußhuhnpopulationen vor. Aus diesen Daten müsste zwingend eine Modellierung der sensiblen Lebensräume für die durch WKA betroffenen Vogelarten des Anhangs I der SPA-RL erfolgen, z.B. für alle Raufußhühner, alle Greifvögel, vor allem Steinadler und Wanderfalke sowie Bartgeier. Erst auf Grundlage dieser Modellierung, die alle Vorkommensgebiete der windkraftsensiblen Vogelarten aufnimmt, können Ausschlussgebiete für WKA definiert werden (z.B. nach dem Vorbild Grünschachtner-Berger 2013 oder Vignali et al 2023). Desgleichen muss mit den bekannten oder noch nachzuweisenden Vorkommen von geschützten Amphibien, Fledermäusen und Säugetierarten wie Schneehase, Gämßen, Steinwild und Rotwild (geschützt im Rahmen der Berner Konvention) verfahren werden.

In der von der Tiroler Landesregierung in Auftrag gegebenen Windkraftpotential Analyse von Neubarth werden nur Ausschlussgebiete von Schutzgebieten nach dem TNSchG und Natura2000 Flächen berücksichtigt. Dies entspricht nicht der Rechtslage, da alle Vorkommensgebiete und die Vernetzungsstrukturen zwischen den Vorkommen allein der Raufußhühner zu schützen – und damit von WKA und nicht kompensierbaren Erschließungen zu verschonen sind. Die gilt ebenso für

Greifvögel und andere windkraftsensible Vogelarten sowie die weiteren genannten Arten (Amphibien, Säugetiere).

Zu den zu kartierenden und bestätigenden Vorkommensgebieten geschützter Arten wären dann entsprechende Mindestabstände einzuhalten, z.B. den Abstandsempfehlungen verschiedener Fachbehörden (LAG VSW 2015).

Vogellebensraum	Empfohlener Mindestabstand der WEA (Prüfbereiche in Klammern)
Europäische Vogelschutzgebiete (SPA) mit WEA-sensiblen Arten im Schutzzweck	10-fache Anlagenhöhe, mind. jedoch 1.200 m
Alle Schutzgebietskategorien nach nationalem Naturschutzrecht mit WEA-sensiblen Arten im Schutzzweck bzw. in den Erhaltungszielen	10-fache Anlagenhöhe, mind. jedoch 1.200 m
Feuchtgebiete internationaler Bedeutung entsprechend Ramsar-Konvention mit Wasservogelarten als wesentlichem Schutzgut	10-fache Anlagenhöhe, mind. jedoch 1.200 m
Gastvogellebensräume internationaler, nationaler und landesweiter Bedeutung (Rast- und Nahrungsflächen; z. B. von Kranichen, Schwänen, Gänsen, Kiebitzen, Gold- und Mornellregenpfeifern sowie anderen Wat- und Schwimmvögeln)	10-fache Anlagenhöhe, mind. jedoch 1.200 m
Regelmäßig genutzte Schlafplätze: Kranich, Schwäne, Gänse (mit Ausnahme der Neozoen) jeweils ab 1 %-Kriterium nach WAHL & HEINICKE (2013) sowie Greifvögel/Falken und Sumpfohreule	Kranich: 3.000 m (6.000 m) Schwäne, Gänse (mit Ausnahme der Neozoen): 1.000 m (3.000 m) Greifvögel/Falken* & Sumpfohreule: 1.000 m (3.000 m)
Hauptflugkorridore zwischen Schlaf- und Nahrungsplätzen bei Kranichen, Schwänen, Gänsen (mit Ausnahme der Neozoen) und Greifvögeln	Freihalten
Überregional bedeutsame Zugkonzentrationskorridore	Freihalten
Gewässer oder Gewässerkomplexe >10 ha mit mindestens regionaler Bedeutung für brütende und rastende Wasservögel	10-fache Anlagenhöhe, mind. jedoch 1.200 m
* Weihen, Milane, Seeadler und Merlin	

Abbildung 65 Übersicht über fachlich empfohlene Mindestabstände von WKA zu bedeutenden Vogellebensräumen. Prüfbereiche sind im Klammern angegeben (Quelle LAG VSW 2015)

In der Windpotenzialanalyse wurden lediglich die ausgewiesenen Schutzgebiete als Ausschlusskriterium gewählt und nur zu den Natura2000-Gebieten wurde eine Pufferzone definiert.

Eine Prüfung von Biotopverbundsystemen, dem Erhalt von Trittsteinbiotopen und der notwendigen Vernetzung einzelner Vorkommen von Wildtieren, die in dem Bereich der Windkraft Ausbaugelände leben, wurde nicht durchgeführt und findet in der vom Land in Auftrag gegebene Studie auch keinerlei Beachtung.

Art, Artengruppe	Mindestabstand der WEA (Prüfbereich in Klammern)
Raufußhühner: Auerhuhn (<i>Tetrao urogallus</i>), Birkhuhn (<i>Tetrao tetrix</i>), Haselhuhn (<i>Tetrastes bonasia</i>), Alpenschneehuhn (<i>Lagopus muta</i>)	1.000 m um die Vorkommensgebiete, Freihalten von Korridoren zwischen benachbarten Vorkommensgebieten
Rohrdommel (<i>Botaurus stellaris</i>)	1.000 m (3.000 m)
Zwergdommel (<i>Ixobrychus minutus</i>)	1.000 m
Schwarzstorch (<i>Ciconia nigra</i>)	3.000 m (10.000 m)
Weißstorch (<i>Ciconia ciconia</i>)	1.000 m (2.000 m)
Fischadler (<i>Pandion haliaetus</i>)	1.000 m (4.000 m)
Wespenbussard (<i>Pernis apivorus</i>)	1.000 m
Steinadler (<i>Aquila chrysaetos</i>)	3.000 m (6.000 m)
Schreiadler (<i>Aquila pomarina</i>)	6.000 m
Kornweihe (<i>Circus cyaneus</i>)	1.000 m (3.000 m)
Wiesenweihe (<i>Circus pygargus</i>)	1.000 m (3.000 m); Dichtezentren sollten insgesamt unabhängig von der Lage der aktuellen Brutplätze berücksichtigt werden.
Rohrweihe (<i>Circus aeruginosus</i>)	1.000 m
Rotmilan (<i>Milvus milvus</i>)	1.500 m (4.000 m)
Schwarzmilan (<i>Milvus migrans</i>)	1.000 m (3.000 m)
Seeadler (<i>Haliaeetus albicilla</i>)	3.000 m (6.000 m)
Baumfalke (<i>Falco subbuteo</i>)	500 m (3.000 m)
Wanderfalke (<i>Falco peregrinus</i>)	1.000 m, Brutpaare der Baumbrüterpopulation 3.000 m
Kranich (<i>Grus grus</i>)	500 m
Wachtelkönig (<i>Crex crex</i>)	500 m um regelmäßige Brutvorkommen; Dichtezentren sollten insgesamt unabhängig von der Lage der aktuellen Brutplätze berücksichtigt werden.
Großtrappe (<i>Otis tarda</i>)	3.000 m um die Brutgebiete; Wintereinstandsgebiete; Freihalten aller Korridore zwischen den Vorkommensgebieten
Goldregenpfeifer (<i>Pluvialis apricaria</i>)	1.000 m (6.000 m)
Waldschnepfe (<i>Scolopax rusticola</i>)	500 m um Balzreviere; Dichtezentren sollten insgesamt unabhängig von der Lage der aktuellen Brutplätze berücksichtigt werden.
Uhu (<i>Bubo bubo</i>)	1.000 m (3.000 m)
Sumpfohreule (<i>Asio flammeus</i>)	1.000 m (3.000 m)
Ziegenmelker (<i>Caprimulgus europaeus</i>)	500 m um regelmäßige Brutvorkommen
Wiedehopf (<i>Upupa epops</i>)	1.000 m (1.500 m) um regelmäßige Brutvorkommen
Bedrohte, störungssensible Wiesenvogelarten: Bekassine (<i>Gallinago gallinago</i>), Uferschnepfe (<i>Limosa limosa</i>), Rotschenkel (<i>Tringa totanus</i>), Großer Brachvogel (<i>Numenius arquata</i>) und Kiebitz (<i>Vanellus vanellus</i>)	500 m (1.000 m), gilt beim Kiebitz auch für regelmäßige Brutvorkommen in Ackerlandschaften, soweit sie mindestens von regionaler Bedeutung sind
Koloniebrüter: Reiher	1.000 m (3.000 m)
Möwen	1.000 m (3.000 m)
Seeschwalben	1.000 m (mind. 3.000 m)

Abbildung 66 Übersicht über fachlich empfohlene Mindestabstände von WKA (=WEA) zu Brutvorkommen Windkraft-sensibler Vogelarten; Prüfbereiche in Klammern (Quelle: LAG VSW 2015)

Insgesamt ist diese von der Tiroler Landesregierung in Auftrag gegebenen Windkraftpotential Analyse fachlich unzureichend, weil sie wesentliche Belange des Natur- und Artenschutzes bei der Suche nach Windkraft-Ausbaugebieten nicht berücksichtigt. Die in der Studie dargestellten Potenzialgebiete können daher keine Grundlage für Planungs- und Genehmigungsverfahren von WKA darstellen. Sie ist deshalb dringend unter den genannten naturschutzfachlichen Gesichtspunkten nachzubessern.

Bereits vorab erscheint bei Einbeziehung der naturschutzfachlichen und artenschutzrechtlichen Kriterien der Bau von großen Windkraftanlagen in den sensiblen und biodiversitätsreichen Bergregionen Tirols weder möglich noch wünschenswert noch erforderlich.

7 Zitierte und verwendete Literatur

7.1 Webseiten mit zitierten Inhalten:

Biodiversitäts-Konvention (aufgerufen am 18. Juli 2028); <https://www.cbd.int/doc/strategic-plan/2011-2020/Aichi-Targets-EN.pdf>.

Haas, Simon Windkraft in Deutschland (aufgerufen am 1.7.2024) <https://www.nzz.ch/visuals/windkraft-in-deutschland-grosse-versprechen-kleine-ertraege-ld.1710681>

Herpetofauna Österreich gibt einen Überblick über Vorkommensgebiete und Lebensweise der in Österreich lebenden Amphibien: <https://www.herpetofauna.at/index.php>

IG Windfakten.at gibt einen Überblick über die installierte Leistung von WKA in Österreich und andere Informationen (aufgerufen am 10.9.2024): [https://windfakten.at/?xmlval_ID_KEY\[0\]=1234](https://windfakten.at/?xmlval_ID_KEY[0]=1234)

Pfenninger et Staffel, Simulation der Auslastung von WKA an verschiedenen Standorten (aufgerufen am 21. 09. 2024): <https://www.renewables.ninja>

Vestas.de und Vestas.com stellen Lebenszyklenanalysen verschiedener WKA an: <https://www.vestas.de/de-de/Nachhaltigkeit/environment/lifecycle-assessments> (aufgerufen am 31. 08. 2024).

Windatlas.at. https://windatlas.at/disclaimer_windkarte.html (Aufgerufen am 5.7.2024)

“Windkraft verstehen” veranstaltet vom Energie Cluster der Universität für Bodenkultur Wien, 15. 03. 2022 (aufgerufen 15. 08. 2024); <https://boku.ac.at/oeffentlichkeitsarbeit/news-container/windkraft-verstehen-integrative-forschung-an-der-boku>

7.2 Zitierte Veröffentlichungen

Abbasi, S. A. & Abbasi, N. 2000, The likely adverse environmental impacts of renewable energy sources. *Appl. Energy* 65(1–4), 121–144.

Agnew, Roseanna C.N., Smith, V.J., Fowkes, R.C. 2016. Wind Turbines Cause Chronic Stress in Badgers (*Meles meles*) in Great Britain. *J. Wildl. Diseases* 53(3) DOI: 10.7589/2015-09-231.

Albers, Henning, S. Greiner, H. Seifert. 2009. Recycling von Rotorblättern aus Windenergieanlagen – Fakt oder Fiktion *DEWI-Magazin* 34:32–41

ALBERT, A.; AUFFRET, A.G.; COSYNS, E.; COUSINS, S.A.O.; D’HONDT, B.; EICHBERG, C.; EYCOTT, A.E.; HEINKEN, T.; HOFFMANN, M.; JAROSZEWICZ, B.; MALO, J.E.; MARELL, A.; MOUISSIE, M.; PAKEMAN, R.J.; PICARD, M.; PLUE, J.; POSCHLOD, P.; PROVOOST, S.; SCHULZE, K.A. & BALTZINGER, C. (2015): Seed dispersal by ungulates as an ecological filter: a trait-based meta-analysis. *Oikos* 124: 1109-1120.

Arnold, W., Beiglböck, C., Burmester, M., Guschlbauer, M., Lengauer, MA., Schröder, B., Wilkens, M. R. & Breves, G. (2015): Contrary seasonal changes of rates of nutrient uptake, organ mass, and voluntary food intake in red deer (*Cervus elaphus*). – In: *AJP Regulatory Integrative and Comparative Physiology* 309: R277-R285. DOI: 10.1152/ajpregu.00084.2015.

Aschwanden, Janine, Stark, H., Liechti, F. 2024. Flight behaviour of Red Kites within breeding area in relation to local weather variables: Conclusions with regard to wind turbine collision mitigation. *J. Appl. Ecology* DOI: 101111/1365-2664.14739.

Baerwald, Erin F., D’AMours, G.H., Klug, B.J., Barclay, R.M.R. 2008. Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. *Current Biology* Vol 18 No 16 R696.

Barber, J.R., Crooks, K.R., Fristrup, K.M. 2009. The costs of chronic noise exposure for terrestrial organisms. *Trends in Ecology and Evolution* 25:180-189.

Barré, Kévin, Le Viol, I., Bas, Y., Juillard, R., Kerbiriou, C. 2018. Estimating habitat loss due to wind turbine avoidance by bats: Implications for European siting guidance. *Biological Conservation* DOI: 10.1016/j.biocon.2018.07.011.

Barrios, Luis et Rodriguez A. 2004. Behavioural and environmental correlates of soaring-bird mortality at on-shore wind turbines. *J Appl. Ecology* 41: 72-81

BfR. 2024. Der Verzehr von Wildschweinleber trägt zu einer hohen Aufnahme von PFAS bei. BfR – Bundesinstitut für Risikobewertung. Stellungnahme 036/2024. Doi.org/10.17590/20240802-101947-0.

Blackout News. 2025. Hohe Mikroplastikbelastung bei Wildschweinen – Abrieb von Windkraftanlagen im Verdacht. <https://blackout-news.de/aktuelles/hohe-mikroplastikbelastung-bei-wildschweinen-abrieb-von-windkraftanlagen-im-verdacht/>

Boldt, A. & Ingold, P. (2005): Effects of air traffic, snow cover and weather on altitudinal short-term and medium-term movements of female Alpine chamois *Rupicapra rupicapra* in winter. *Wildlife Biology* 11(4): 351-362.

Boldt, A. und Hummel, S. 2013. Windenergieanlagen und Landsäugetiere. Literaturübersicht und Situation in der Schweiz. FaunAlpin, Bern. www.faunalpin.ch/files/u2/Windenergieanlagen_Saeuger_Boldt_Hummel_2013.pdf

Boldt, A. 2014. Säugetiere & Windenergieanlagen – ein zunehmend relevantes Thema. *Fauna Focus Windkraft* 12/2014.

Boya Zhang, Xiong, J., Chen, L., Li, X., Murphy, A.B. 2020. Fundamental physicochemical properties of SF6-alternative gases: a review of recent progress. *J. Physics D: Applied Physics* **53**(17) 173001. doi.org/10.1088/1361-6463/ab6ea1.

Brauneis, Jörg 2014. Beobachtungen und Betrachtungen zur Frühjahrsbalz der Waldschnepfe *Scolopax rusticola* im nordosthessischen Bergland. *Ornithologische Mitteilungen* 66 (9/10): 223-232.

Brauneis, Jörg 2019. Wie „windkraftsensibel“ ist die Waldschnepfe *Scolopax rusticola* wirklich? – Beobachtungen und Bemerkungen aus dem nordosthessischen Bergland. *Ornithologische Mitteilungen* 71 (5/6): 139-148.

Carlile, S., Davy, J.L., Hillman, D., Burgemeister, K. 2018. A Review of the Possible Perceptual and Physiological Effects of Wind Turbine Noise. *Trends in Hearing* **22**:1-10. Doi.org/10.1177/2331216518789551.

Coppes, Joy, Kämmerle, J.-L., Willert, M., Kohnen, A., Palme, R., Braunisch, V. 2018. The importance of individual heterogeneity for interpreting faecal glucocorticoid metabolite levels in wildlife studies. *J Appl. Ecology* 55:2043–2054 DOI: 10.1111/1365-2664.13140.

Coppes, Joy, Braunisch, V., Bollmann, K., Storch, I., Mollet, P., Grünschachtner-Berger, V., Taubmann, J., Suchant, R., Nopp-Mayr, U. 2020a. The impact of wind energy facilities on grouse: a systematic review. *J. of Ornithology* 161:1-15 DOI:10.1007/s10336-019-01696-1.

Coppes, Joy, Bollmann, K., Braunisch, V., Fiedler, W., Grünschachtner-Berger, V., Mollet, V., Nopp-Mayr, U., Schroth, K.-E., Storch, I., Suchant, R. 2020b. Forschungsprojekt Auerhuhn und Windenergie. Projektabschlussbericht. Forstliche Forschungs- und Versuchsanstalt Baden-Württemberg.

Coppes, J., Kämmerle, J.-L., Grünschachtner-Berger, V., Braunisch, V., Bollmann, K., Mollet, P., Suchant, R., Nopp-Mayr, U. 2020c. Consistent effects of wind turbines on habitat selection of capercaillie across Europe. *Biological Conservation* doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108529.

Deutz, Armin et Grünschachtner-Berger, V. 2006. Birkhahnenverluste im Bereich einer Windkraftanlage. *Der Anblick* 1/2006, pp. 16-17.

Dorka, Ulrich, Straub, F., Trautner, J. 2014. Windkraft über Wald – kritisch für die Waldschnefpenbalz? *Natur und Landschaft* 46(3):69-78.

EFSA (European Food Safety Authority. 2020. Scientific Opinion on the risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. *EFSA Journal* 18(9) 6223, 391 pp. doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6223.

Eftestol, Sindre, Tsegaye, D., Flydal, K., Colman, J.E. 2023. Effects of Wind Power Development on Reindeer: Global Positioning System Monitoring and Herders' Experience. *Rangeland Ecol. & Managmt.* 87: 55-68 DOI: 10.1016/j.rama.2022.11.011.

Ellerbrok, Julia S., Delius, A., Peter, F., Farwig, N. 2022. Activity of forest specialist bats decreased toward wind turbines at forest sites. *J. Appl. Ecology* 59: 2497-2506 DOI: 10.1111/1365-2664.14249.

European Commission 2020a. Circular Economy Action Plan. For a cleaner and more competitive Europe. #EUGreenDeal.

FA Wind. 2023a. Kompaktwissen Rückbau und Recycling. Fachagentur Windenergie an Land e.V., Berlin. www.fachagentur-windenergie.de.

FA Wind. 2023b. Infraschall und Windenergie. Fachagentur Windenergie an Land e.V.

Fernandez-Bellon, Dario, Wilson, M.W., Irwin, S., O'Halloran, J. 2018. Effects of development of wind energy and associated changes in land use on bird densities in upland areas. *Conservation Biology* 33(2): 413-422. DOI: 10.1111/cobi.13239.

Garret, Peter, Ronde, K. 2012. Life cycle assessment of wind power: comprehensive results from a state-of-the-art approach. *LCA for Energy Systems* vol 18:37-48.

Gauthier, Simon P., Lilley, T.M., Vesterinen, E.J., Brommer, J.E. 2023. The presence of wind turbines repels bats in boreal forests. *Landscape and Urban Planning* 231 (2023) 104636 DOI: 10.1016/j.landurbplan.2022.104636.

Gerhardt, P., Arnold, J.M., Hackländer, K., Hochbichler, E. 2013. Determinants of deer impact in European forests – A systematic literature analysis. *Forest Ecology and Management* 310:173-186.

Gibson, L., Wilman, E. N. & Laurance, W. F. 2017. How green is 'green'energy?. *Trends Ecol. Evol.* 32(12), 922–935.

Gonzales, M.A., Ena Alvarez, V. 2011. Cantabrian Capercaillie signs disappeared after a wind farm construction. *Chioglossa* 3:65-74.

Gonzales, M.A., Garcia-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. Doi.org/10.1017/S0959270914000471.

Grünschachtner-Berger, Veronika et Kainer M. 2011. Birkhühner *Tetrao tetrix* (Linnaeus 1758): Ein Leben zwischen Windrädern und Schiliften. *Egretta* 52:46-54.

Grünschachtner-Berger, Veronika 2013. Ausscheidung von bedeutenden Raufußhuhnlebensräumen als Entscheidungsgrundlage für die Planung, Errichtung und den Betrieb von Großprojekten in alpinen Gebieten. Studie im Auftrag der A10-Landesforstdirektion des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung.

Hänel, K. (2007): Methodische Grundlagen zur Bewahrung und Wiederherstellung großräumig funktionsfähiger ökologischer Beziehungen in der räumlichen Umweltplanung. Dissertation, Universität Kassel, 380 S.: <http://urn.fi/urn:nbn:de:hebis:34-2007121319883>

Hänel, K., Reck, H: Bundesweite Prioritätensetzung zur Wiedervernetzung von Ökosystemen. – Endbericht zum F+E-Vorhaben FKZ 3507 82 090, 325 S.

Hartmann, Stefanie, Hochradel, K., Greule, S., Günther, F., Reers, H., Lüdtke, B., Brinkmann, R. 2021. Experimentelle Untersuchungen des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Kleinwindenergieanlagen. *Natur und Landschaft* 96(7): 338-351.

Haymerle, A. (2013): Physiological adaptations to extreme climates in Alpine chamois. – In: International Workshop on Chamois, 26. Nov. 2013, Parco Nazionale Gran Paradiso.

Hegg, C., Badoux, A., Lüscher, P., Witzig, J. (2004): Zur Schutzwirkung des Waldes gegen Hochwasser. – In: Forum für Wissen 2004: 15-20, WSL, Birmensdorf

Helldin, J.O., Jung, J., Neumann, W., Olsson, M., Skarin, A., Widemo, F. 2012. The impacts of wind power on terrestrial mammals. Report Nr. 6510, Swedish Environmental Protection Agency, Stockholm. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1613973&dswid=8748>

Herbst, C.; Kinser, A. & Münchhausen, H.Frhr.v. (2016): ÖkoArtCervus. Eine Literaturstudie zur ökologischen Funktion von Rotwild und anderen wildlebenden Huftieren. Deutsche Wildtier Stiftung (Hrsg.), ISBN 978-3-936802-20-7, 6 S.

Herrmann, M. und Müller-Stieß, H. 2003. Methodische Ansätze zur Erhebung und Einbeziehung wildbiologischer Daten in ein Wildtierkorridorsystem. In: M. Stubbe und A. Stubbe: Methoden feldökologischer Säugetierforschung Bd. 2 S. 11-31.

Hischler, R., M. Classen, M. Lehmann, W. Scharnhorst. 2007a. Life cycle inventories of Electric and Electronic Equipment: Production Use and Disposal. Part I components. ecoinvent report No. 18. Empa / Technology & Society Lab, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland.

Hischler, R., M. Classen, M. Lehmann, W. Scharnhorst. 2007b. Life cycle inventories of Electric and Electronic Equipment: Production Use and Disposal. Part II modules. ecoinvent report No. 18. Empa / Technology & Society Lab, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland.

Horch, Petra und Keller, V. 2005. Windkraftanlagen und Vögel – ein Konflikt? Schweizerische Vogelwarte Sempach, Sempach.

Hötker, Hermann 2006. Auswirkungen des "Repowering" von Windkraftanlagen auf Vögel und Fledermäuse. Michael-Otto-Inst. im NABU. Im Auftrag des Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein.

Huso, Manuela et Dalthorp, D. 2023. Reanalysis indicates little evidence of reduction in eagle mortality rate by automated curtailment of wind turbines. *J. Appl. Ecology* DOI: 10.1111/1365-2664.14196.

Ibisch, P. L., Blumröder, J.S., Gohr, C., Schmidt, L. 2021. Konzept zur Förderung der Funktion und Leistungen von Waldökosystemen in Deutschland. Eberswalde. Doi.org/10.13140/R.G.2.2.19841.38246.

Jonasson, Kristin A., Adams, A.M., Brokaw, A.F., Whitby, M.D., O'Mara, M.T., Frick, W.F. 2024. A multisensory approach to understanding bat responses to wind energy developments. Mammal Review DOI: 10.1111/mam.12340.

Karl, J., Porzekt, M., G. Bunza. 1985. Oberflächenabfluß und Bodenerosion bei künstlichen Starkniederschlägen: 37-102, - in: Beiträge zu Oberflächenabfluß und Stoffabtrag bei künstlichen Starkniederschlägen. DVWK, Schriften 71, Verlag Parey Hamburg u. Berlin. (http://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/beregnungsanlage/doc/18.pdf).

Kati, V., Kassara, C., Vassilakis, D., Papaioannou, H. 2020. Balkan Chamois (*Rupicapra rupicapra balcanica*) Avoid Roads, Settlements, and Hunting Grounds: An Ecological Overview from Timfi Mountain, Greece. Diversity **2020**, 12, 124; Doi.org/10.3390/d12040124.

Klein, H. 2023. SF6 – Recycling und zukünftige Entwicklungen. In: In. Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen. Erfahrungsaustausch, 8.11. 2023 FA Windenergie an Land e.V.

Klich, Daniel, Lopucki, R., Scibor, A., Golebiowska, D. 2020. Roe deer Stress response to a wind farm: Methodological and practical implications. Ecol. Indicators DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106658.

Krenn, Andreas, J. Winkelmeier, C. Tiefgraber, R. Cattin, S. Müller, H. Truhetz, M. Biberacher, S. Gadocha. 2011. Windatlas und Windpotentialstudie Österreich. Endbericht (digital unter: <https://windatlas.at/downloads/Endbericht.pdf>)

Kühne, C. Entwicklung von Rückbau- und Recyclingstandards für Rotorblätter. In. Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen. Erfahrungsaustausch, 8.11. 2023 FA Windenergie an Land e.V.

Kunz, Thomas H., Arnett, E.B.A., Cooper, B.M., Erickson, W.P., Larkin, R.P., Mabee, T., Morrison, M.L., Strickland, M.D., Szewczak J.M. 2010. Assessing Impacts of Wind-Energy Development on Nocturnally Active Birds and Bats: A Guidance Document. J Wildl. Management 71(8): 2449-2486.

Kunz, F., A. Kohnen, U. Nopp-Mayr, J. Coppes. 2021. Past, present, future: tracking and simulating genetic differentiation over time in a closed metapopulation system. Conservation Genetics DOI: 10.1007/s10592-021-01342-5.

Landesuntersuchungsamt Rheinland-Pfalz. 2024. „Ewigkeitschemikalien“ PFAS: Wildschweinleber stark belastet. <https://lua.rlp.de/presse/pressemitteilungen/detail/ewigkeitschemikalien-pfas-wildschweinleber-stark-belastet>.

Länderarbeitsgemeinschaften der Vogelschutzwarten (LAG VSW) 2015. Abstandsempfehlungen für Windenergieanlagen zu bedeutsamen Vogellebensräumen sowie Brutplätzen ausgewählter Vogelarten. In der Überarb. Vom 15. April 2015. Vogelschutzwarte Neschwitz (www.vogelschutzwarten.de).

Langgemach, T. 2024. Bartgeier und Windkraft. Ornithologischer Beobachter **121** (1) März 2024:10-11.

Laufmann, P. 2023. Faktencheck: Wie gefährlich ist das SF6 Gas in Windrädern? Agrarheute 2.12.2023. <https://www.agrarheute.com/energie/strom/faktencheck-gefaehrlich-sf6-gas-windraedern-613731>.

Lehnhardt, Yael, Barber, J.R., Berger-Tal, O. 2024. Effects of wind turbine noise on songbird behavior during nonbreeding season. Conservation Biology 38(2):e14188. DOI: 10.1111/cobi.14188.

Lentner, R., Lehne, F., Danzl, A., Eberhard, B. 2022. Atlas der Brutvögel Tirols. Berenkamp Buch- und Kunstverlag, Wattens.

Lenzen-Schulte, Martina et Schenk, M. 2019. Windenergieanlagen und Infraschall: Der Schall, den man nicht hört. Dtsch. Ärzteblatt 116(6): A-264 / B-219 / C-219.

Leroux, Camille, Kerbiriou, C., Le Viol, I., Valet, N., Barré, K. 2022. Distance to hedgerows drives local repulsion and attraction of wind turbines on bats: Implications for spatial siting. J. Appl. Ecology 2022;00:1-12 DOI: 10.1111/1365-2664.14227.

Li Gao et al. 2023. The impact of wind energy on plant biomass production in China. Scientific reports 13:22366. Doi.org/10.1038/s41598-023-49650-9.

Lopucki, 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. Doi.org/10.1007/s10661-017-6018-z.

Luidold, S. 2013. Kritische Rohstoffe für die Hochtechnologieanwendung in Österreich. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien.

Lüscher, P. et Zürcher, K. (2003): Waldwirkung und Hochwasserschutz: Eine differenzierte Betrachtungsweise ist angebracht. – In: Hochwasserschutz im Wald, LWF (Hrsg.), S. 30-33.

McClure, Christopher J.W., Rolek, B., Dunn, L., McCabe, J.D., Martinson, L., Katzner, T., Suryawanshi, K. 2021. Eagle fatalities are reduced by automated curtailment of wind turbines. *J. Appl. Ecology* 58(3): 446-452.

Mikolajczak, J., Boowski, S., Marc-Pienkowska, J., Odowaz-Sypniewska, G., Bernacki, Z., Siodmiak, J., Szterk, P. 2013. Preliminary studies on the reaction of growing geese (*Anser anser f. domestica*) to the proximity of wind turbines. *Pol J. Vet. Sci* 16:679-686.

Miller, C. & Corlatti, L. (2014): *Das Gamsbuch*, 2. überarb. Auflage, Verlag Neumann-Neudamm, Melsungen.

Mostl, e und Palme, R. 2002. Hormones as indicators of stress. *Domest. Anim. Endocrinol.* 23:67-74.

Myck, T. Wothge, J. 2021. *Infraschall von Windenergieanlagen*. Umid Nr. 1/2021. Umweltbundesamt, Dessau (Hrsg.)

Nazir, M. S., Ali, N., Bilal, M. & Iqbal, H. M. N. 2020. Potential environmental impacts of wind energy development: A global perspective. *Curr. Opin. Environ. Sci. Health* 13, 85–90.

Neubarth, J. 2023. *Windenergiepotenzial in Tirol*. Studie im Auftrag des Amtes der Tiroler Landesregierung. Innsbruck.

Nopp-Mayr, Ursula, 2022. *Wildtiere – ein Leben zwischen Biodiversitäts- und Klimakrise*. Vortrag gehalten bei "Windkraft verstehen" veranstaltet vom Energie Cluster der Universität für Bodenkultur Wien, 15. 03. 2022 (aufgerufen 15. 08. 2024); <https://boku.ac.at/oeffentlichkeitsarbeit/news-container/windkraft-verstehen-integrative-forschung-an-der-boku>

Palme, R., Rettenbacher, S., Touma, C., El-Bahr, S.M., Möstl, E. 2005. Stress Hormones in Mammals and Birds. Comparative Aspects Regarding Metabolism, Excretion, and Noninvasive Measurement in Fecal Samples. *Ann. NY Acad. Science* 1040: 162-171.

Petrak, M. 2016. *Windenergie – Rotwild – Naturschutz*. Ergebnisse, Empfehlungen und Erfahrungen aus der Eifel. *Säugetierkundliche Informationen* 51:179-188-

Phillips, G.E. und Alldredge, A.W. 2000. Reproductive Success of Elk Following Disturbance by Humans during Calving Season. *J Wildl. Management* 64(2):521-530.

Rabin, L.A., Cross, R.G., Owings, D.H. 2006. The effects of wind turbines on anti-predator behaviour in California ground squirrels (*Spermophilus beecheyi*). Biol. Conservation 131: 410-420

Reck, H., Huckauf, A., Thiel-Egenter, C. 2009. Pilotstudie „Wild + Biologische Vielfalt“ NATUR und MENSCH, S. (Hrsg), 145.

Rees, Eileen C. 2012. Impacts of wind farms on swans and geese: a review. Wildfowl 62: 37–72.

Rehnus, Maik, Wehrle, M., Palme, R. 2014. Mountain hares *Lepus timidus* and tourism: stress events and reactions. J Appl. Ecology 51: 6-12 DOI: 10.1111/1365-2664.12174.

Reichenbach, M., Reers, H., Günther, F., Menke, K., Grimm, J., Martin, R. 2022. Auswirkungen von WEA auf die akustische Aktivität ausgewählter Waldvogelarten. BfN-Schriften 643. Bundesamt für Naturschutz.

Reimoser, S. und Reimoser F. (2018). Evaluierung der Wildökologischen Raumplanung im Bundesland Salzburg. Forschungsinstitut für Wildtierkunde und Ökologie. Veterinärmedizinische Universität Wien. 254 S.

Richarz, K. 2021. Windenergie im Lebensraum Wald, Gefahr für die Artenvielfalt, Situation und Handlungsbedarf. Deutsche Wildtier Stiftung (Hrsg.), Hamburg, D.

Rickli, C. et Graf, F. 2009. Effects of forests on shallow landslides – case studies in Switzerland. – In: For. Snno Landsc. Res. 82(1): 33-44.

Ritchie, Hannah et P.Rosado. 2024. "Which countries have the critical minerals needed for the energy transition?" Published online at OurWorldinData.org. Retrieved from: 'https://ourworldindata.org/countries-critical-minerals-needed-energy-transition' [Online Resource]

Santos, H., Rodrigues, L., Jones, G., Rebelo, H. 2013. Using species distribution modelling to predict bat fatality risk at wind energy. Biol. Conservation 157: 178-186,

Sauerwein, H., U. Müller, H. Brüssel, W. Lutz, E. Möstl. 2004. Establishing baseline values of parameters potentially indicative of chronic stress in red deer (*Cervus elaphus*) from different habitats in western Germany. Eur. J Wildlife Res. 50: 168–172.

Shaffer, Jill A., Buhl, D.A. 2015. Effects of wind-energy facilities on breeding grassland bird distribution. Conservation Biology 30 (1): 59-71 DOI: 10.1111/cobi.12569.

Scherhauer, Silvia, S. Part, P. Beigl. 2021. Das Sekundärressourcenpotenzial aus Windkraft- und Photovoltaikanlagen. Österr. Wasser- und Abfallwirtschaft 73(1): 36-48.

Schöll, Eva Maria, Nopp-Mayr, U. 2021. Impact of wind power plants on mammalian and avian wildlife species in shrub- and woodlands. Biological Conservation 256 DOI: 10.1016/j.biocon.2021.109037.

Schöll, Eva Maria, Nopp-Mayr, U. 2023. Energiewende und Wildlebensraum. In: Österr. Jägertagung, 2023: 73-74.

Schöll, Jens 2024. Gefährden Windkraftanlagen das Vorkommen der Waldschnepfe?. Der Falke 71(4): 38-42.

Seifert, D. 2008. Datenerhebung und statistische Auswertung zur Erfolgsbilanzierung der Schutzwaldsanierung. – Diplomarbeit, Universität der Bundeswehr München.

Skarin, Anna, Sandström, P., Alam, M. 2018. Out of sight of wind turbines – Reindeer response to wind farms in operation. Ecology and Evolution 2018; 1-14 DOI: 10.1002/ece3.4476.

Siren, Alexej P.K., Pekins, P.J., Kilborn, J.R., Kanter, J.J., Sutherland, C.S. 2017. Potential Influence of High-Elevation Wind Farms on Carnivore Mobility. The J. Wildl. Managemt. DOI: 10.1002/jwmg.21317.

Spillias, S., Kareiva, P., Ruckelshaus, M. & McDonald-Madden, E. 2020. Renewable energy targets may undermine their sustainability. Nature Clim. Change 10(11), 974–976.

Stiller, T.C. 2017. Infraschall – Bumerang der Energiewende. Deutscher Arbeitgeberverband. https://deutscherarbeitgeberverband.bxserver.com/00_Import/energiefrage/2017/2017_03_27_dav_aktuelles_energiefrage.html

Stokke, B.G., Dahl, E.L., Kleven, O., May, R., Nygard, T., Pavon-Jordan, D., Sandercock, B.K. 2024. Long-term impacts of the Smola wind farm on a local population of white-tailed eagles (*Haliaeetus albicilla*). NINA Report 2333. Norwegian Inst. For Nature Research.

Taubmann, J., Coppes, J., Andren, H. 2021. Capercaillie and Wind Energy – an international research project. Vindal Report 6977. The Swedish Environmental Protection Agency. doi.org/10.2981/wlb.00737.

Teff-Seker, Y., Berger-Tal, O., Lehnardt, Y., Teschner, N. 2022. Noise pollution from wind turbines and its effects on wildlife: A cross-national analysis of current policies and planning regulations. Renewable and Sustainable Energy Reviews 168, 112801, doi.org/10.1016/j.rser..2022.112801.

Thaker, Maria, Zambre, A., Bhosale, H. 2018. Wind farms have cascading impacts on ecosystems across trophic levels. *Nature Ecology & Evolution* 2: 1854-1858

Thaxter, Chris 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. *Proc. R. Soc. B* 284: 20170829 DOI:10.6098/rspb.2017.0828.

Tiroler Umweltschutz. 2023. Tiroler Fließgewässer unter Strom. <https://www.tiroler-umweltschutz.gv.at/naturschutz/positionen/tiroler-fluessgewaesser-unter-strom/> (abgerufen am 15.02.2025).

Tolvanen, Anne, Routavaara, H., Jokikokko, M., Rana, P. 2023. How far are birds, bats, and terrestrial mammals displaced from onshore wind power development? – A systematic review. *Biological Conservation* 288 Doi: 10.1016/j.biocon.2023.110382.

Tosh, David, Montgomery, W.I., Reid, N. 2014. A review of the impacts of wind energy developments on biodiversity. Report prepared by the Natural Heritage Research Partnership (NHRP) between Quercus, Queen's University Belfast and the Northern Ireland Environment Agency (NIEA) for the Research and Development Series No. 14/02.

Trieb, Franz 2018. Interference of Flying Insects and Wind Parks. Study Report Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR.

Veith, M., Lindemann, C., Kiefer, A., Koch, M. 2023. Windkraft und Fledermausschutz im Wald – eine kritische Betrachtung der Planungs- und Zulassungspraxis. In Voigt, C.C. (Hrsg.) *Evidenzbasiertes Wildtiermanagement*. Springer Spektrum. Doi.org/10.1007/978-3-662-65745-4_7.

Vestas. 2017. Life Cycle Assessment of Electricity Production from an onshore V112-3.45 MW Wind Plant. Version 1.1. Vestas Wind Systems A/S, Aarhus, Denmark.

Vignali, Sergio, Lörcher, F., Hegglin, D., Arlettaz, R., Braunisch, V. 2022. A predictive flight-altitude model for avoiding future conflicts between an emblematic raptor and wind energy development in the Swiss Alps. *R. Soc. Open Sci.* 9: 211041. DOI: 10.1098/rsos.211041.

Voigt, Christian C. 2021. Insect fatalities at wind turbines as biodiversity sinks. *Conservation Science and Practice* DOI: 10.1111/csp2.366.

Voigt, C.C. und Lewanzik, D. 2023. Evidenzbasierter Fledermausschutz bei Beleuchtungsvorhaben im Außenbereich. In Voigt, C.C. (Hrsg.) Evidenzbasiertes Wildtiermanagement. Springer Spektrum. Doi.org/10.1007/978-3-662-65745-4_8.

Voigt, Christina C., Scholz, C., Ellerbrok, J.S., Melber, M. 2024 Die Auswirkungen von Windenergieanlagen an Waldstandorten auf Fledermäuse. Anliegen Natur 46(2): 111-118.

Völk, F. 1997. Schälschäden und Rotwildmanagement in Abhängigkeit von Jagdgesetz und Waldaufbau in Österreich. Dissertation, Inst. f. Wildbiologie und Jagdwirtschaft. Univ. f. Bodenkultur Wien.

Vucetich, J.A., T. A. Waite. 2001. Migration and inbreeding: the importance of recipient population size for genetic management. Conserv. Genetics 2: 167-171.

Walder, Christoph et Vorauer, A. 2014. Die Fledermäuse Tirols. Amt der Tiroler Landesregierung, Abteilung Umweltschutz. 2. Auflage (https://www.zobodat.at/pdf/Natur-in-Tirol_6_0001-0168.pdf).

Weggler, M. 2024. Fledermäuse und Windturbinen in Wäldern. Gutachten im Auftrag der Naturwaldstiftung. Ornithologiebüro Weggler, CH-8815 Horgenberg; <https://igwow.ch/wp-content/uploads/2024/05/Gutachten-Fledermaeuse-und-Windturbinen-im-Wald-ZH-TG-SH-Dr-Weggler-2024.pdf>

Wellig, S.D., Nusslé, S., Miltner, D., Kohle, O., Glazot, O., Braunisch, V., Obrist, M.K., Arlettaz, R. 2018. Mitigating the negative impacts of all wind turbines on bats: Vertical activity profiles and relationships to wind speed. PLoS ONE 13(3):e0192493. Doi.org/10.1371/journal.pone.0192493.

Weschler, M. 2023. Wind Energy and Insects: Reviewing the State of Knowledge and Identifying Potential Interactions. Master's Thesis, Univ. Wyoming.

Westekämper, K. 2021. Impacts of landscape fragmentation on red deer (*Cervus elaphus*) and European wildcat (*Felis silvestris silvestris*): a nation-wide landscape genetic analysis. Diss. Georg-August-Univ. Göttingen.

Winkelmeier, Hans et Pfannhofer, F. 2023. Österreichs Windpotential bei unterschiedlichem Ausmaß der Flächennutzung. Publikationsbericht im Auftrag der IG Windkraft

Zachos, F. E. , A. C. Frantz, R. Kuehn, S. Bertouille, M. Colyn, M. Niedzialkowska, J. Perez-Gonzales, A. Skog, N. Sprem, M-C. Flamand. 2016. Genetic Structure and Effective Population Sizes in Red Deer (*Cervus elaphus*) at a Continental Scale: Insights from Microsatellite DNA. J. Heredity 197(4): 318-326.

Zajicek, Larissa, M. Drapalik, I. Kral, W. Liebert. 2023. Energy efficiency and environmental impacts of horizontal small wind turbines in Austria. Sustainable Energy Technologies and Assessments 59. doi.org/10.1016/j.seta.2023.103411

Zeiler, Hubert P. et Grünschachtner-Berger V. 2009. Impact of wind power plants on black grouse, *Lyrurus tetrix* in Alpine regions. Folia Zool. 58(2): 173-182.

Zhang, H., Li, Y. & Zhu, J. K. 2018. Developing naturally stress-resistant crops for a sustainable agriculture. Nature Plants 4(12), 989–996.

Zell am See, 27. Februar 2025



Dr. Christine Miller