

Rotmilane und Windkraft

Erhöhung der Einschaltwindgeschwindigkeiten von Windenergieanlagen kann zum effektiveren Schutz der Art beitragen

Von Marcel Becker, Theresa Spatz, Sascha Rösner, Christian Heuck, Simon Thorn, Nina Farwig und Dana G. Schabo

Eingereicht am 18.04.2024, angenommen am 21.07.2024.

Abstracts

Zur Reduktion klimaschädlicher CO₂-Emissionen wurden in den letzten Jahrzehnten verstärkt Windenergieanlagen errichtet. Dabei zeigt sich, dass insbesondere Greifvögel, unter diesen besonders Rotmilane, durch Kollisionen an Windenergieanlagen bedroht sind. Unsere Ergebnisse sollen einen Beitrag leisten, das Kollisionsrisiko von Rotmilanen nachhaltig zu verringern. Dazu haben wir die Flugaktivität und Flughöhe von 37 GPS-besenderten Rotmilanen in unterschiedlichen Naturräumen in ganz Hessen untersucht. Mehr als 582.800 Ortungspunkte über 127 Individuenjahre hinweg wurden in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeiten und Landnutzung – in Form von Offenland, Wald und anthropogenen Strukturen – über einen Zeitraum von sieben Jahren analysiert.

Die Flughöhen variierten stark zwischen Individuen und Landnutzungstypen, wobei mit circa 62 % der Großteil aller Flüge über Offenland stattfand. Mehr als ein Viertel der Flugbewegungen fand im von den Rotorblättern aktueller Windenergieanlagen überstrichenen Höhenbereich statt. Zukünftige Anlagen werden durch Verschiebung der Rotorbereiche in größere Höhen wahrscheinlich zu einer Abnahme dieses Anteils führen. Zudem zeigte sich eine gleichbleibend hohe Flugaktivität über den gesamten Bereich der vorkommenden Windgeschwindigkeiten. Einen vielversprechenden Ansatz für die Minderung des Kollisionsrisikos sehen wir in der Erhöhung der Einschaltwindgeschwindigkeiten von Windenergieanlagen. Ein Einschalten ab mittleren Windgeschwindigkeiten von mindestens 7,4 m/s über Offenland und 7,6 m/s über Wald würde dabei 90 % aller Flugbewegungen aus dem Kollisionsrisiko mit sich drehenden Rotoren nehmen, deren Rotorblattunterkanten Höhen von 80 m über Grund übersteigen.

Red kites and wind power: Increasing the cut-in wind speeds of wind turbines can contribute to more effective protection of the species

To reduce climate-changing CO₂ emissions, more and more wind turbines have been built in recent decades. It has been shown that birds of prey, especially red kites, are particularly vulnerable to collisions with wind turbines. Our results should help to reduce the risk of collision for red kites in the long term. To this end, we analysed the flight activity and altitude of 37 GPS-tagged red kites in different natural areas in Hessen, Germany. Over a period of seven years, more than 582800 location points from 127 individual years were analysed as a function of wind speed and land use – in the form of open land, forest, and anthropogenic structures.

Flight altitudes varied greatly between individuals and land-use types, with the majority of flights (approximately 62 %) occurring over open land. More than a quarter of the flight movements took place at the rotor height of current wind turbines. Future turbines will reduce this proportion due to increased rotor heights. We also found a consistently high level of flight activity across the entire range of occurring wind speeds. One promising approach to minimising the risk of collision is to increase the cut-in wind speeds of wind turbines. An average cut-in wind speed of at least 7.4 m/s over open land and 7.6 m/s over forest would eliminate 90 % of all flight movements from the risk of collision with rotors turning more than 80 m above the ground.

1 Einleitung

Der Klimawandel gilt als einer der Hauptbedrohungsfaktoren der Biodiversität (Díaz et al. 2019, IPBES 2019). Um die klimaschädlichen CO₂-Emissionen durch fossile Brennstoffe trotz stetig steigenden Energiebedarfs zu minimieren, wurden Entwicklung und Ausbau erneuerbarer Energien in den letzten Jahrzehnten vorangetrieben und zum Beispiel die Anzahl der Windenergiean-

lagen stark erhöht (Berkhout et al. 2019, Tabassum-Abbasi et al. 2014). Der notwendige Ausbau der Windenergienutzung geht dabei mit einer Reihe von zu erwartenden Auswirkungen auf die Umwelt einher. Verschiedene Studien konnten zeigen, dass es für Tiere zu Lebensraumverlusten, Barriereneffekten und Kollisionen kommt, wobei insbesondere hochmobile Fledermäuse und Vögel kollisionsgefährdet sind (Drewitt & Langston 2006, Ellerbrok et al. 2024, Garvin

et al. 2011, Schöll & Nopp-Mayr 2021, Voigt et al. 2015).

Unter den Vögeln sind, neben anderen großen, segelfliegenden Arten wie Schwarzstorch (*Ciconia nigra*) und Kranich (*Grus grus*), besonders Greifvögel einem hohen Kollisionsrisiko ausgesetzt (Hötker et al. 2013). Viele Greifvögel jagen ihre Beute im Flug, konzentrieren sich dabei auf den Boden oder entfernte Beute und nehmen so Bedrohungen von oben nicht wahr (Péron et al. 2017). Zusätzlich be-

hindert der als Sonnenschutz fungierende Überaugenwulst die Sicht auf die sich schnell drehenden Rotorblätter von Windenergieanlagen (Clark 2000, Potier et al. 2016). Greifvögel, die ihre Beute im Segelflug jagen, sind zudem besonders kollisionsgefährdet, da ihre Manövriertfähigkeit eingeschränkt ist (Péron et al. 2017). Die meisten Greifvogelarten weisen unter anderem durch ihre großen Raumansprüche natürlicherweise geringe Bestandszahlen und vergleichsweise niedrige Fortpflanzungsraten auf (Diffendorfer et al. 2021). Diese Umstände führen dazu, dass für viele Greifvögel seit Jahrzehnten immer wieder Bestandsrückgänge aufgrund von Bedrohungsfaktoren wie illegale Jagd, Vergiftung oder die Auswirkungen von Umweltschadstoffen verzeichnet werden (Gómez-Ramírez et al. 2014, González-Rubio et al. 2021, Kovács et al. 2008, Ogada et al. 2012). Das erhöhte Kollisionsrisiko an Windenergieanlagen ist ein weiterer Faktor, der die Bestände von Greifvogelarten bedrohen könnte (Beston et al. 2016, Diffendorfer et al. 2021, Heuck et al. 2019 a, Umweltministerkonferenz 2020). Aus diesem Grund liegt in der Naturschutzgesetzgebung hinsichtlich eines naturverträglichen Ausbaus der Windenergienutzung ein besonderer Fokus auf windkraftsensiblen Greifvogelarten (Umweltministerkonferenz 2020).

Im Vorfeld eines Anlagenbaus stehen die genannten windkraftsensiblen Arten dabei im Fokus artenschutzrechtlicher Prüfungen, die gefordert werden, um artenschutzrechtliche Verbotstatbestände auszuschließen (BNatSchG §§ 44, 45). Unter der Berücksichtigung der sogenannten EU-Notfallverordnung (Verordnung EU 2022/2577) werden auf der Grundlage dieser Prüfungen vor dem Bau gegebenenfalls artspezifische Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen ergriffen, die zum Beispiel die Optimierung des Standorts von Windenergieanlagen in Bezug auf vorhandene Greifvogelbrutplätze oder Nahrungshabitate umfassen (Allison et al. 2019, Hanssen et al. 2020, Watson 2018). Im laufenden Betrieb der Anlagen gewinnen technische Lösungen zur Kollisionsvermeidung immer größere Bedeutung (Allison et al. 2019, De Lucas et al. 2012, Garcia-Rosa & Tande 2023, Gradolewski et al. 2021). So sind inzwischen zum Beispiel erste automatisierte Abschaltvorrichtungen im Einsatz, die bei Detektion kollisionsgefährdeter Vogelarten die Windenergieanlage abbremsen. Zudem kann der Einsatz von Betriebs- und Abschaltzeiten, die das Verhalten windkraftsensibler Arten gegenüber dem Wetter berücksichti-

gen, helfen, das Kollisionsrisiko zu reduzieren (Schreiber 2017).

Ein fundiertes Wissen zum Flugverhalten windkraftsensibler Arten ist für zielgerichtete Maßnahmen zur Minimierung des Kollisionsrisikos unerlässlich. Sowohl die Flugaktivität als auch die Flughöhe sind wichtige Faktoren, da das Risiko der Kollision mit zunehmender Flugaktivität im Rotorbereich der Windenergieanlagen steigt. Aktive Suchflugjäger, wie zum Beispiel Rotmilan (*Milvus milvus*) und Seeadler (*Haliaeetus albicilla*), die häufig in Höhen fliegen, welche dem Rotorbereich von Windenergieanlagen entsprechen, sind hier auf andere Weise zu berücksichtigen als ansitzjagende oder niedrige Flughöhen nutzende Arten wie Mäusebusard (*Buteo buteo*) und Wiesenweihe (*Circus pygargus*) (Heuck et al. 2019 a, Krone et al. 2009, Mammen et al. 2017, Schaub et al. 2020).

Im Zusammenhang mit dem Windenergieausbau in Deutschland ist der Rotmilan eine der am intensivsten diskutierten Vogelarten. Deutschland beherbergt 37–50 % der globalen Brutpopulation und trägt damit eine große Verantwortung für den Schutz und Erhalt der Art (Grüneberg & Karthäuser 2019). In Relation zu den Bestandszahlen ist der Rotmilan eines der häufigsten Kollisionsopfer (Langgemach & Dürr 2023; Stand August 2023: 751 in Deutschland, 72 in Hessen). Basierend auf GPS-telemetrierten Rotmilanen zeigen Ergebnisse aus unterschiedlichen Regionen Deutschlands, dass die Flugaktivität positiv mit der Windgeschwindigkeit korreliert zu sein scheint, während die Flughöhen tendenziell mit zunehmender Windgeschwindigkeit abnehmen (Fiedler et al. 2021, Heuck et al. 2019, Linder et al. 2022, Pfeiffer & Meyburg 2022, Reichenbach et al. 2023). Eine vielversprechende Vermeidungsmaßnahme für den Rotmilan könnte demnach zum Beispiel eine bedarfsgerechte Abschaltung von Anlagen bei Windgeschwindigkeiten mit erhöhter Flugaktivität in den entsprechenden Rotorhöhenbereichen sein. Je nach Jahreszeit liegen dabei über ein Viertel der Flüge potenziell im von den Rotorblättern überstrichenen kritischen Bereich zwischen 80 und 250 m über Grund (Heuck et al. 2019). Die Variation der Flughöhe in Relation zur zugrunde liegenden Landnutzung in Form von Wald und Offenland wird jedoch in bisherigen Studien nicht differenziert betrachtet (Fiedler et al. 2021, Hötker et al. 2017, Pfeiffer & Meyburg 2022). Wälder stellen für Rotmilane etwa zur Balzzeit im Frühjahr vor allem Über-

flugsgebiete dar. So könnten Flughöhen über Wäldern unabhängig von der Windgeschwindigkeit deutlich höher sein als im Jagdhabitat Offenland, was in bisherigen Abwägungen zu Empfehlungen von Minimierungsmaßnahmen von Kollisionsrisiken nicht einbezogen wird.

Um einen Beitrag zur Entwicklung von Schutzmaßnahmen für den Rotmilan und damit zur nachhaltigen Nutzung von Windenergie zu leisten, untersuchten wir die Flughöhe sowie die Flugaktivität von 37 adulten, mit GPS-Sendern ausgestatteten Rotmilanen in Hessen. Basierend auf 582.800 Ortungspunkten aus über 127 Individuenjahren analysierten wir das Flugverhalten in Abhängigkeit der lokal vorherrschenden Windgeschwindigkeit getrennt nach Wald- und Offenlandgebieten. Unsere Ergebnisse sollen einen Beitrag dazu leisten, konkrete Richtwerte für etwaige Abschaltalgorithmen von Windenergieanlagen basierend auf lokalen Standortparametern zu definieren.

2 Material und Methoden

2.1 Untersuchungsart und Untersuchungsgebiet

Das Hauptverbreitungsgebiet des Rotmilans liegt in Mitteleuropa, mit einem Verbreitungsschwerpunkt des Brutgebiets in Deutschland (Aebischer & Scherler 2023, Mattsson et al. 2022). Der Rotmilan ist reviertreu und errichtet seinen mehrjährig genutzten Horst vorwiegend in Altbäumbeständen an Waldrändern oder Baumreihen. Die Art ernährt sich opportunistisch von Aas, Kleinsäugern und Vögeln sowie von Insekten, Amphibien und Fischen (BirdLife Internatio-



Abb. 1: GPS-GSM-Sender wird mittels Rucksackgeschirr an einem Rotmilan angebracht.
Bild: Sascha Rösner

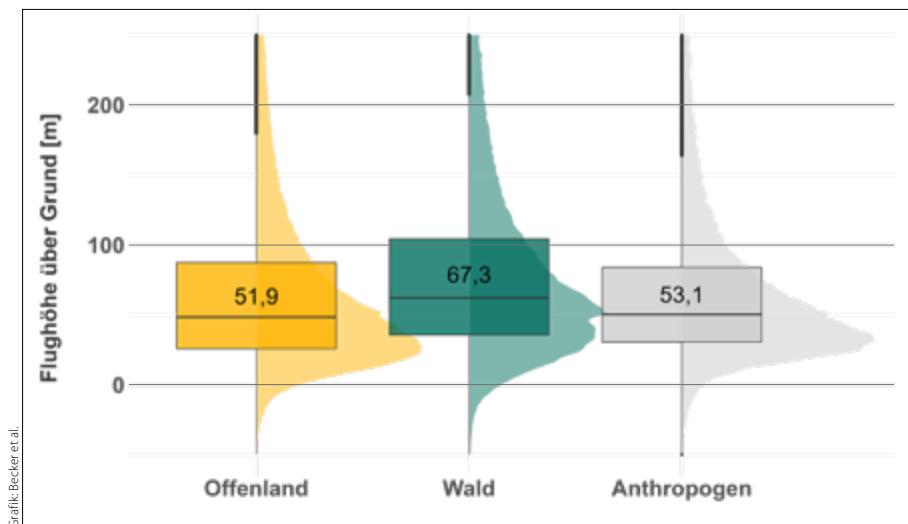


Abb. 2: Die medianen Flughöhen telemetrierter Rotmilane ($N = 37$) unterschieden sich signifikant je nach Landnutzungstyp ($p < 0,001$, $R^2 = 0,045$, $ICC = 0,038$, $N = 582756$). Die Y-Achse ist bei 250 m beschnitten, da der deutliche Großteil der Flughöhen unter 100 m über Grund lag.

nal 2020). Aufgrund der relativ hohen Lebensorwartung (Katzenberger et al. 2021, Pfeiffer 2009) bei einer durchschnittlichen jährlichen Reproduktion von nur 1–3 Jungvögeln stellt die Sterblichkeit von adulten Tieren einen bedeutenderen populationserhaltenden Faktor als die Fortpflanzung dar (Sergio et al. 2021). Zur Überwinterung zieht der Großteil der Tiere in losen Trupps nach Frankreich, Spanien und Nordafrika (Aebischer & Scherler 2023, Mattsson et al. 2022), während ein kleinerer Teil der Population von circa 1.900–2.900 Tieren in Deutschland überwintert (Kunz & Katzenberger 2023). Neben anthropogenen Mortalitätsursachen im Brutgebiet ist daher auch die Sterblichkeit auf dem Zug beziehungsweise im Überwinterungsgebiet ein wichtiger Einflussfaktor für die Brutbestände.

2.2 Untersuchungsraum

Die vorliegende Studie wurde im Bundesland Hessen durchgeführt (21.115 km², 75–950 m ü. NN). Der Rotmilan ist nahezu landesweit verbreitet und zeigt Siedlungsdichten von im Mittel sechs und maximal bis zu elf Brutpaaren pro 100 km² (Gelpke & Stübing 2010, Stübing et al. 2010).

In Hessen sind derzeit 1.177 Windenergieanlagen in Betrieb; weitere 63 Anlagen stehen vor der Inbetriebnahme und zusätzliche 379 Anlagen befinden sich aktuell im Genehmigungsverfahren (HLNUG 2023, Stand November 2023). Die in Betrieb befindlichen Anlagen weisen durchschnittliche Höhen von 56,7 m (Rotorblattunterkante) beziehungsweise 126,7 m (Rotorblattoberkante) über Grund im Offenland ($n = 698$) auf und von 82,6 m beziehungsweise 199,8 m im Wald ($n = 587$) (HLNUG 2023). Zukünftige Windenergieanlagen (Status: vor Inbetriebnahme oder geplant) sind mit Rotorblattunter- beziehungsweise -oberkanten von circa 85,7 m beziehungsweise 243,6 m Höhe im Offenland ($n = 205$) und von 86,2 m beziehungsweise 242,8 m Höhe im Wald ($n = 346$) höher als in Betrieb befindliche Anlagen (HLNUG 2023). Eine Übersicht der Horststandorte und der Aktionsräume der telemetrierten Tiere zeigt Abb. A4 im Online-Supplement zu dieser Ausgabe.

hungsweise 126,7 m (Rotorblattoberkante) über Grund im Offenland ($n = 698$) auf und von 82,6 m beziehungsweise 199,8 m im Wald ($n = 587$) (HLNUG 2023). Zukünftige Windenergieanlagen (Status: vor Inbetriebnahme oder geplant) sind mit Rotorblattunter- beziehungsweise -oberkanten von circa 85,7 m beziehungsweise 243,6 m Höhe im Offenland ($n = 205$) und von 86,2 m beziehungsweise 242,8 m Höhe im Wald ($n = 346$) höher als in Betrieb befindliche Anlagen (HLNUG 2023). Eine Übersicht der Horststandorte und der Aktionsräume der telemetrierten Tiere zeigt Abb. A4 im Online-Supplement zu dieser Ausgabe.

2.3 Landnutzungsdaten

Mit dem Ziel, Flugmuster des Rotmilans über verschiedenen Landnutzungstypen zu analysieren, haben wir die gesamte Landesfläche Hessens anhand von ATKIS-Daten (ATKIS® Basis-DLM 2022) in Offenland, Wald und anthropogene Flächen unterteilt und den Bewegungsdaten besedenterer Milane zugeordnet. Zum Offenland zählten hierbei sämtliche landwirtschaftlich genutzten Flächen sowie Grünland, Obstwiesen, Heide, Feuchtgebiete, Wasserflächen und anderes unbebautes Offenland. Anthropogene Flächen umfassen Siedlungen, Industriegebiete, Verkehrsinfrastruktur, Sportanlagen und Abbauflächen. Da anthropogene Flächen für den Bau von Windenergieanlagen nicht infrage kommen, ist dieser Landnutzungstyp für die Auswertungen zu den Flughöhen der Milane von nachrangigem Interesse.

2.4 Winddaten

Zur Analyse der Flugmuster in Bezug zur Windgeschwindigkeit haben wir die jeweils lokal vorherrschenden Windgeschwindigkeiten am Aufenthaltsort der Milane mittels ERA5- sowie ERA5-Land-Daten ermittelt (Copernicus Climate Change Service – C3S – 2023 a, 2023 b). Die Daten liegen in einer horizontalen Auflösung von circa 9 x 9 km (10 m über Grund, ERA5-Land) und 31 x 31 km (100 m über Grund, ERA5) vor. Lokale Gegebenheiten wie Landschaftsrelief und Vegetationsstrukturen werden in diesen Modellen berücksichtigt. Um die Windgeschwindigkeiten auf der Nabenhöhe moderner Windenergieanlagen abilden zu können, haben wir die Windgeschwindigkeiten auf 160 m über Grund extrapoliert (vergleiche Gualtieri 2021) (Details siehe Angaben im Online-Supplement). Da vergleichbare Studien die Daten auf 10 m über Grund abbilden, stellen wir zudem beispielhaft dar, wie sich die Geschwindigkeiten auf 10 m durch die Extrapolation auf 160 m verändern (Abb. A3 im Online-Supplement). Um die Windbedingungen des Studiengebiets und die repräsentative Verteilung unserer GPS-Positionen über diesen Gradienten darzustellen, berechneten wir des Weiteren aus den ERA5-Daten die mittleren Windgeschwindigkeiten über ganz Hessen entsprechend der Aktivitätszeiten der Rotmilane (Sonnenaufgang bis -untergang im Zeitraum Februar bis November, Abb. A4 im Online-Supplement). Zur weiteren Analyse teilten wir die Windgeschwindigkeiten in Bereiche von je 0,1 m/s ein.

2.5 Bewegungsdaten

Die Studie basiert auf den Bewegungsdaten von 37 adulten, in Hessen brütenden Rotmilanen. Während der Brutsaison der Jahre 2017–2019 fingen wir 19 Weibchen und 18 Männchen mithilfe von Jappannetzen und einem Uhu-Präparat (Dho-Gaza-Methode, Bloom et al. 2007). Wir haben alle Tiere vermessen, ihr Geschlecht bestimmt, sie beringt und nach dem Rucksackprinzip mit GPS-GSM-Sendern ausgestattet. Der eingesetzte Sendertyp (Ornitela E-25-B, Abb. 1) erfasst neben Beschleunigungswerten und GPS-Positionen auch barometrische Daten und übermittelt diese über das GSM-Funknetz. Die Sender verfügen über eine solargestützte Stromversorgung und können über Mobilfunknetze variabel konfiguriert werden. Je nach Ladezustand wurden die Zeitintervalle der Datenerfassung automatisch angepasst.

Für die vorliegenden Analysen nutzten wir ausschließlich Bewegungsdaten innerhalb Hessens, welche in der Zeit zwischen Februar bis März (Heimkehr aus dem Überwinterungsgebieten) und September bis November (Abzug aus Hessen) tagsüber und mit einem zeitlichen Mindestabstand von 4,5 Minuten erfasst wurden. In die Analysen nahmen wir weiterhin ausschließlich Signale von Individuen auf, die im Verlauf der Untersuchung an mindestens 30 aufeinanderfolgenden Tagen Daten lieferten hatten.

GPS-Positionen mit Geschwindigkeiten über 35 m/s (fehlerhafte GPS-Erfassung) sowie Positionen mit einer aufgezeichneten horizontalen Genauigkeitsverschlechterung (HDOP) über 4,0 haben wir entfernt. Darüber hinaus schlossen wir die Daten aller weiblichen Individuen in der Brutzeit (April und Mai) aus, da die Weibchen in dieser Zeit unabhängig von den Wetterbedingungen wenig fliegen (Aebischer 2009). Insgesamt haben wir 1.646.500 Ortungspunkte aus sieben vollständigen Brutsaisons von 37 Tieren (127 Individuenjahre) über einen Zeitraum von 1–7 Jahren pro Tier aufgearbeitet. Im Mittel (\pm Standardabweichung) sendeten die Sender im Jahr für 192 ± 53 Tage.

2.6 Flughöhe und Flugaktivität

GPS-Positionen mit einer Bodengeschwindigkeit von über 2,0 m/s sowie Signale mit einer Bodengeschwindigkeit zwischen 0,5 und 2,0 m/s sowie einer Flughöhe von mehr als 50 m über Grund klassifizierten wir als „sicher fliegend“. Um den Anteil der Flüge an allen aufgenommenen GPS-Positionen (= Flugaktivität) über den Bereich der auftretenden Windgeschwindigkeiten zu bestimmen, teilten wir die Anzahl der „sicher fliegenden“ GPS-Positionen durch die Anzahl der gesamten GPS-Positionen für jedes Individuum und jeden Windgeschwindigkeitsbereich (0,1 m/s-Bereich, siehe oben). Für die Analysen der Flughöhen verwendeten wir nur GPS-Positionen, die als „sicher fliegend“ klassifiziert wurden ($n = 582.800$).

Zur Ermittlung der Flughöhen verwendeten wir die aufgezeichneten Barometerdaten, da diese nach einer Korrektur der Messwerte eine bessere Abschätzung der Höhen liefern als die Bestimmung über GPS (Lato et al. 2022). Die barometrischen Flughöhen wurden entsprechend der lokalen Wetterbedingungen (Luftdruck und Temperatur) neu berechnet (Details siehe Online-Supplement). Hierzu nutzten wir stündliche Luftdruckdaten der den GPS-Posi-

tionen nächstgelegenen Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes (Deutscher Wetterdienst 2023) sowie stündliche Temperaturwerte der Wettermodelle ERA5 single levels und ERA5 pressure levels (Copernicus Climate Change Service – C3S – 2023 a, 2023 b) unter Zuhilfenahme des von Movebank zur Verfügung gestellten Environmental Data Automated Track Annotation System Env-Data (Dodge et al. 2013). Zudem wurden alle Sender vor dem Anbringen in einem mehrtägigen Testlauf auf einer Referenzhöhe über Meeresspiegel ausgebracht und anschließend die Sender-individuellen Messfehler bestimmt und korrigiert (Details siehe Online-Supplement). Um final die Flughöhe über dem Boden für jede GPS-Position zu erhalten, ordneten wir jedem Signal die topografische Höhe über dem mittleren Meeresspiegel zu und zogen diese von der korrigierten barometrischen Höhe ab (EU-DEM – European Environment Agency 2022). Mittels der so bestimmten Flughöhe für jede GPS-Position konnten wir den Anteil der Flüge in einer bestimmten Höhenstufe innerhalb der jeweiligen Landnutzungsklasse ermitteln. Mithilfe eines gemischten linearen Modells mit den Vogelindividuen als gruppierender Variable (random intercept) testeten wir, ob sich die Flughöhen zwischen den

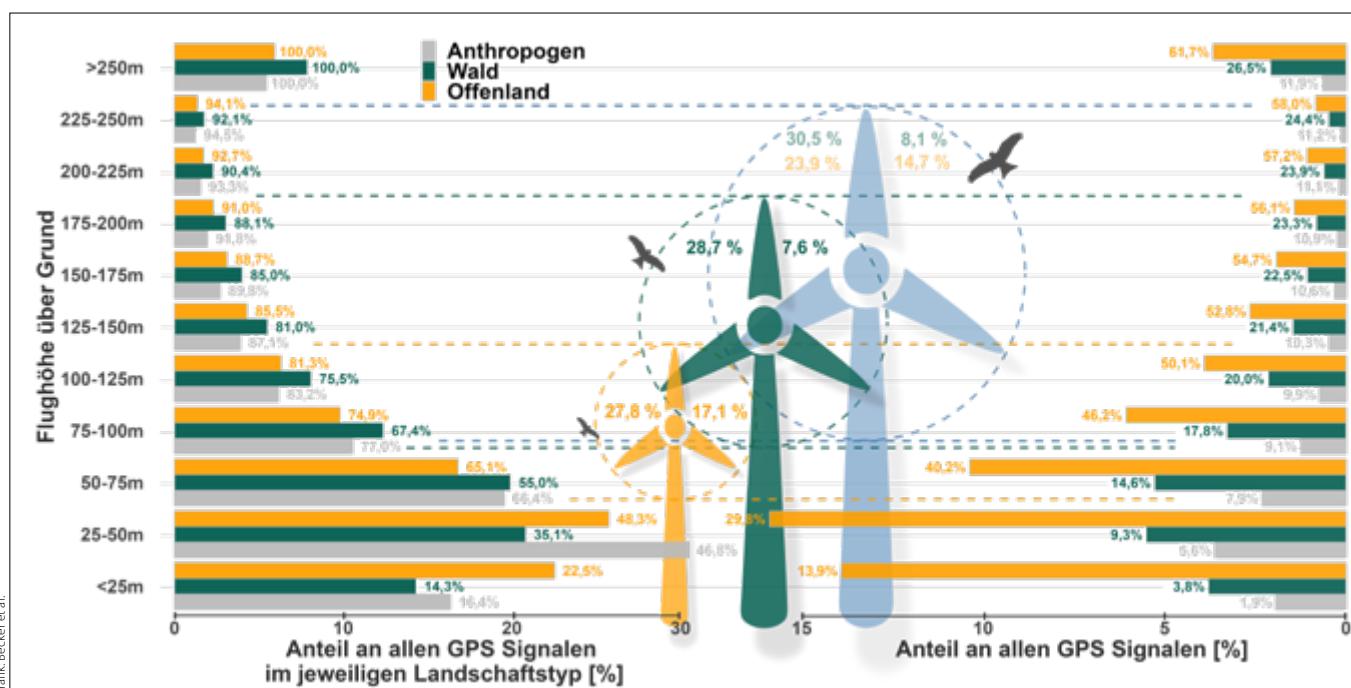


Abb. 3: Verteilung der GPS-Positionen fliegender Rotmilane über verschiedene Flughöhen – bezogen auf die Gesamtzahl aller als „sicher fliegend“ klassifizierten GPS-Positionen innerhalb eines Landnutzungstyps (linke Seite) und auf die Gesamtzahl aller als sicher fliegend klassifizierten Positionen über alle Landnutzungstypen hinweg (rechte Seite). Die Balken geben den Anteil der Flüge in der jeweiligen Höhenstufe an. Die Prozentwerte zeigen die akkumulierten Anteile der Flüge bis zu der jeweiligen Flughöhe, links bezogen auf Flüge im jeweiligen Landnutzungstyp, rechts bezogen auf alle Flüge. Die Windenergieanlagen stellen zurzeit aktive Anlagendimensionen im Offenland (orange) und Wald (grün) sowie zukünftig geplante und im Bau befindliche Anlagen (blau) in Hessen dar. Die zugeordneten Prozentwerte stellen den Anteil der Flüge im Rotorbereich (gestrichelte Linien) dieser Anlagen dar, links bezogen auf Flüge innerhalb des jeweiligen Landnutzungstyps, rechts bezogen auf alle Flüge über sämtliche Landnutzungstypen hinweg.

Landnutzungstypen unterschieden. Um den Modellanforderungen gerecht zu werden, rechneten wir mit logarithmierten Werten. Da sich auch negative Werte der Flughöhe im Datensatz befanden, addierten wir vor der Transformation den Minimalwert aller Flughöhen zu jeder aufgenommenen Flughöhe. Um zudem die unterschiedliche Flugaktivität der Rotmilane über den verschiedenen Landnutzungstypen darzustellen, ermittelten wir darüber hinaus den Anteil der Flüge in einer bestimmten Höhenstufe in Relation zu allen Flugpositionen über allen Landnutzungstypen. Zudem setzten wir diese Anteile in Relation zu den jeweils den GPS-Positionen zugeordneten Windgeschwindigkeiten.

Alle Analysen und grafischen Darstellungen wurden mithilfe von R (Version 4.2.1, R Core Team 2022) in R-Studio (RStudio Team 2020) bearbeitet.

3 Ergebnisse

3.1 Flugaktivität und -höhe über verschiedenen Landnutzungstypen

Insgesamt befanden sich 35,4 % der GPS-Positionen der besiedelten Rotmilane im Flug (individuelle Streuung: 17,2–46,9 %). Der Großteil der Rotmilanflüge (61,7 %) fand über Offenland statt, während 26,5 % der Flüge über Wald erfolgten. Über anthropogenen Strukturen fand sich der übrige Teil der Flugpunkte (11,9 %). Je nach Landnutzungstyp flogen Rotmilane in signifikant unterschiedlichen Hö-

hen ($p < 0,001$), im Median in einer Höhe von 51,9 m (Q25–Q75: 27,1 m–100,0 m) über Offenland, von 67,3 m (38,0–123,0 m) über Wald und von 53,1 m (31,7–93,9 m) über anthropogenen Strukturen (Abb. 2). Grundsätzlich zeigten die Rotmilane eine hohe Individualität und eine starke Streuung in den Flughöhen. Die medianen Flughöhen der einzelnen Tiere streuten zwischen 18,3 und 85,4 m über Grund, bis auf zwei Individuen zeigten alle Vögel größere Flughöhen über Wald.

Gemessen an allen Flügen im jeweiligen Landnutzungstyp fand im Offenland mit 75,6 % der Großteil aller Flüge unter 100 m Höhe statt, über Wald lag dieser Wert mit 68,2 % etwas niedriger und über anthropogenen Strukturen mit 77,3 % am höchsten (Abb. 3 links). Ein Anteil von 27,8 % der Flüge über Offenland und von 28,7 % der Flüge über Wald wurden in Höhen aufgezeichnet, in denen sich die Rotoren der derzeit in Hessen aktiven Windenergieanlagen drehen (Abb. 3 links). Beträgt man die Dimensionen zukünftiger Anlagen, lägen 23,9 % der Flüge im Offenland beziehungsweise 30,5 % der Flüge im Wald im Bereich der Rotoren (Abb. 3 links).

Bei den GPS-Ortungen im Flug war der Anteil im Rotorbereich derzeit aktiver Windenergieanlagen über Wald mit 7,6 % deutlich geringer als mit 17,1 % über Offenland, da über Wald grundsätzlich weniger Flüge stattfanden (Abb. 3 rechts). Insgesamt läge aufgrund der niedrigeren Flugaktivität über Wäldern bei zukünftigen Anlagen der Anteil der Flugbewegungen im Rotorbereich über Wald

mit 8,1 % deutlich unter dem Anteil im Offenland von 14,7 % (Abb. 3 rechts).

Für aktuell geplante und im Bau befindliche Windenergieanlagen ergäbe sich bei den Flugbewegungen im Rotorbereich über Wald eine Zunahme um 6,2 % und über Offenland ein Rückgang um 13,8 %. Insgesamt entspricht dies einem Rückgang um 7,6 % über beide Landnutzungstypen hinweg, da mehr Flüge über Offenland stattfinden.

3.2 Flugaktivität in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit

Der Bereich der Windgeschwindigkeiten auf 160 m Höhe über Grund, bei denen Rotmilane im Flug erfasst wurden, reichte von 0,0 m/s (windstill nach Beaufort-Skala) bis 23,8 m/s (Sturm), mit einem Mittelwert von $4,8 \pm 2,7$ m/s (leichte Brise bis mäßiger Wind). Beim Anteil der sicher fliegenden Positionen an allen Positionen der Rotmilane zeigte sich ein gleichbleibendes Aktivitätsniveau über die gesamte Spannweite der im Untersuchungszeitraum ermittelten Windgeschwindigkeiten (Abb. 4). Dieses Aktivitätsniveau lag über Offenland deutlich höher als über Wald.

Von den erfassten GPS-Flugortungen beim jeweiligen Landnutzungstyp wurden 90 % der Flugbewegungen über Offenland bei Windgeschwindigkeiten unter 8,4 m/s aufgezeichnet, über Wald erfolgten 90 % der Flugbewegungen bei Windgeschwindigkeiten unter 8,6 m/s, über anthropogenen Strukturen bei Windgeschwindigkeiten unter 8,3 m/s (Abb. 5 links, Abb. 6, Tab. 1). Windgeschwindigkeiten über 8,0 m/s waren dabei im Untersuchungsgebiet weniger vorherrschend. Über alle Windstärken hinweg war der Anteil der Flugbewegungen über Offenland deutlich höher als über Wald und über anthropogenen Strukturen (Abb. 5 rechts).

Die Grenzwerte der Windgeschwindigkeit, die bei 90 % der Flugbewegungen unterschritten wurden, änderten sich, betrachtet man ausschließlich GPS-Positionen, die mindestens 70, 80 oder 90 m über Grund lagen (Abb. 6, Tab. 1).

4 Diskussion

Unsere Analysen zu Flugaktivität und Flughöhe hessischer Rotmilane über einen Zeitraum von sieben Jahren ergaben, dass der Großteil der Flüge wie zu erwarten über Offenland stattfand. Innerhalb der Landnutzungstypen Offenland und Wald fand der Großteil der Flüge in Höhen unter 100 m statt, dennoch lagen

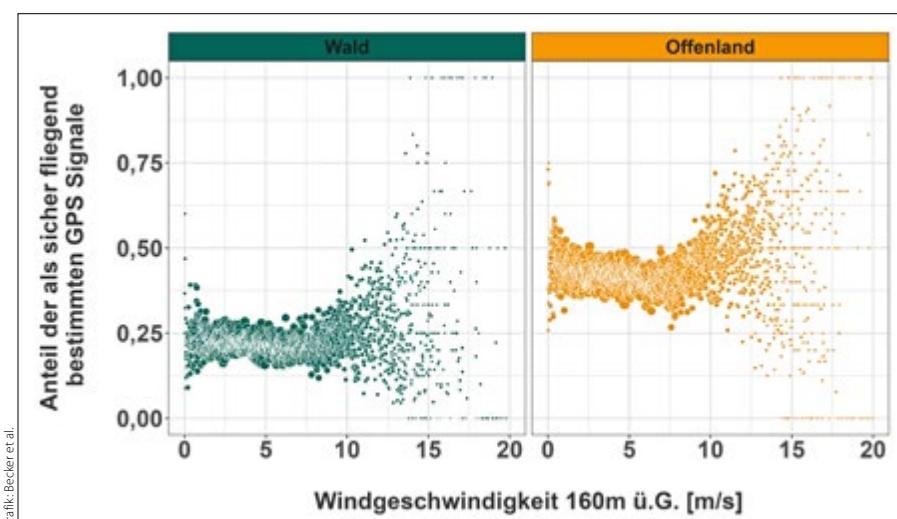


Abb. 4: Für Windgeschwindigkeitsbereiche von je 0,1 m/s gemittelte Anteile der als sicher fliegend klassifizierten GPS-Positionen an allen Ortungen in diesen Bereichen, verstanden als Maß für die Aktivität der telemetrierten Rotmilane. Das Aktivitätsniveau war über den gesamten Bereich der vorherrschenden Windgeschwindigkeiten relativ gleichbleibend. Bis zu Windgeschwindigkeiten von circa 10 m/s nahm der Anteil der als sicher fliegend klassifizierten GPS-Positionen leicht ab. Die Größe der Punkte spiegelt die Anzahl an Datenpunkten im jeweiligen Windgeschwindigkeitsbereich wider.

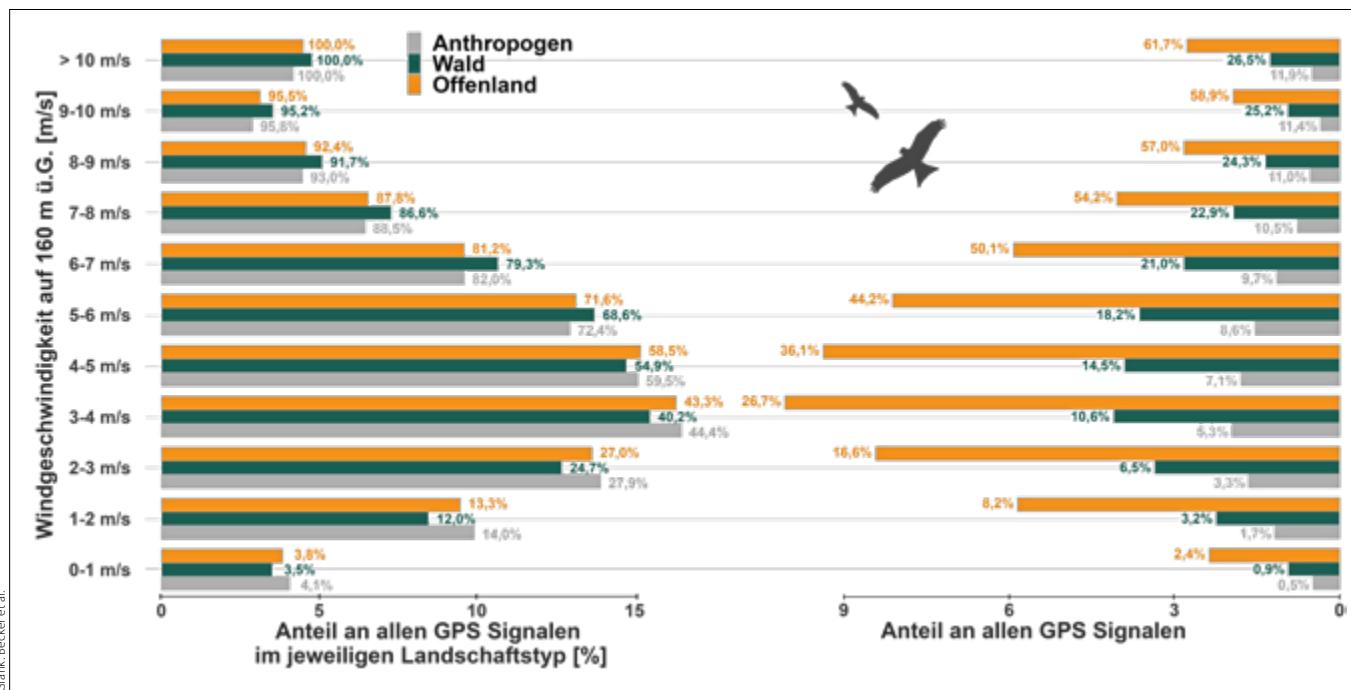


Abb. 5: Verteilung der GPS-Positionen über alle Windgeschwindigkeiten – bezogen auf die Gesamtzahl aller als sicher fliegend klassifizierten GPS-Positionen innerhalb eines Landnutzungstyps (linke Seite) und auf die Gesamtzahl aller als sicher fliegend klassifizierten Positionen über alle Landnutzungstypen hinweg (rechte Seite). Die Balken geben den Anteil der Flüge im jeweiligen Windgeschwindigkeitsbereich an. Die Prozentwerte an den Balken stellen die akkumulierten Anteile der Flüge bis zu dem Windgeschwindigkeitsbereich dar, links bezogen auf den jeweiligen Landnutzungstyp, rechts bezogen auf alle Flüge.

über ein Viertel der Flüge innerhalb des Rotorbereichs aktiver Windenergieanlagen. Mit zukünftigen, höheren und größeren Anlagen würde dieser Anteil an Flügen in dieser Höhe um circa 8% abnehmen, da sich der von den Rotorblättern überstrichenen Bereich aufgrund der zunehmenden Nabenhöhen nach oben verschiebt. Unter Berücksichtigung der insgesamt höheren Flugaktivität des Rotmilans über Offenland läge der Anteil der Flugbewegungen im Rotorbereich zukünftiger Anlagen hier mit 14,7% deutlich höher als über Wald (8,1%), wäre jedoch in beiden Landnutzungstypen ein nicht zu vernachlässigender Risikofaktor für Kollisionen. Mögliche Schutzmaßnahmen, wie zum Beispiel Betriebsalgorithmen in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeiten, scheinen vielversprechend, da die Rotmilane zwar entlang der gesamten im Untersuchungsraum vorherrschenden Windgeschwindigkeiten eine hohe Flugaktivität zeigten, jedoch 90% der Flüge bei Windgeschwindigkeiten bis zu 8,6 m/s stattfanden.

4.1 Flugaktivität und Flughöhe über verschiedenen Landnutzungstypen

Insgesamt zeigten die telemetrierten Rotmilane dieser Studie die für die Art bekannte relativ hohe Flugaktivität (24–44%) und eine mediane Flughöhe von 56,1 m (über alle Ge-

schlechter und Landnutzungstypen). Die gefundene hohe Flugaktivität des Rotmilans ist vergleichbar mit der anderer aktiver Suchflugjäger wie Seeadler und Wiesenweihe (Diesel 1984, Krone et al. 2009, Rutz 2006, Schaub et al. 2020). Auch die Flughöhen entsprechen weitestgehend denen verschiedener Rotmilan-Studien aus Hessen und Deutschland, liegen jedoch in unserem Fall etwas höher (Fiedler et al. 2021, Heuck et al. 2019, Hötker et al. 2017, Pfeiffer & Meyburg 2022). Die gefundenen Flughöhen unterscheiden sich erwartungsgemäß von denen anderer kollisionsgefährdeter Arten. So fliegt der Rotmilan höher als die bevorzugt in Bodennähe jagende Wiesenweihe, weist jedoch niedrigere Flughöhen als der Seeadler auf (Schaub et al. 2020, Tikkanen et al. 2019).

Rotmilane in unserer Studie flogen über Wäldern etwas höher als über Offenland (67,2 versus 53,7 m). Dies entspricht der Ökologie der Art, da über Wäldern vorwiegend Revier-, Balz- und Futterflüge in größeren Höhen stattfinden, über Offenland jedoch in niedrigeren Höhen aktiv nach Nahrung gesucht wird (Aebischer & Scherler 2023, Spatz et al. 2021). Sowohl im Offenland als auch im Wald fanden dabei mehr als ein Viertel der Flüge im kritischen Rotorbereich aktiver Windenergieanlagen statt. Dieser Prozentsatz unterstreicht die Ergebnisse vergleichbarer Studien und liegt zum Teil sogar etwas höher, was je-

doch wiederum durch unterschiedliche zugrundeliegende Rotorhöhen begründet sein kann (Grünkorn et al. 2016, Heuck et al. 2019 b, Hötker et al. 2017, 2013). Dies verdeutlicht das Kollisionsrisiko an bestehenden Windenergieanlagen sowohl im Offenland als auch im Wald. Die Auswertung der Flughöhen in Anbetracht zukünftig größerer Anlagenhöhen ergab, dass der Anteil der Flüge innerhalb des Rotorbereichs für das Offenland moderat niedriger sein wird, während im Wald eine leichte Zunahme zu erwarten wäre. Wenn man berücksichtigt, dass die deutliche Mehrzahl der Flüge des Rotmilans im Offenland stattfindet, so würde die aktuelle Entwicklung hin zu modernen höheren Anlagen mit höher gelegenen Rotorblattunterkanten bei reiner Betrachtung der Flughöhen zu einer Verringerung der Kollisionsgefährdung für den Rotmilan führen. Während verschiedene Studien für höher fliegende Greifvogelarten wie den Gänsegeier eine Steigerung der Kollisionsgefährdung mit zunehmender Anlagenhöhe erwarten (De Lucas et al. 2008), wird ein abnehmendes Kollisionsrisiko auch für andere niedrigfliegende Arten, wie zum Beispiel Wiesenweihen oder Uhu (*Bubo bubo*), angenommen (Grünkorn & Welcker 2019, Hötker et al. 2013, Miosga et al. 2019). Unberücksichtigt bleibt dabei jedoch, dass die Rotordurchmesser und damit die potenziellen Kollisionsflächen neuer Anlagen grō-

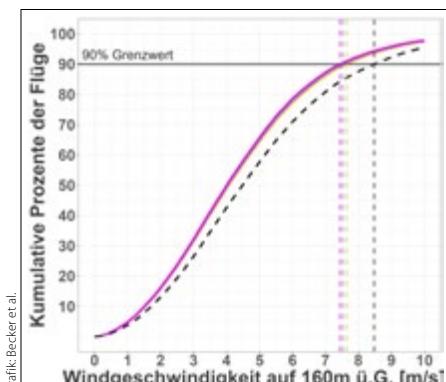


Abb. 6: Kumulative Anteile der Flüge bei Windgeschwindigkeiten auf 160 m ü. G. für alle Flüge (schwarz gestrichelt) sowie für Flüge über 70 m ü. G. (orange), 80 m ü. G. (blau) und 90 m ü. G. (violett). Vertikale gestrichelte Linien zeigen die Windgeschwindigkeiten an, unterhalb derer 90% der Flugbewegungen stattfinden. Da sich die Landnutzungstypen wenig unterscheiden, wurde zur besseren Anschaulichkeit auf eine entsprechende Unterteilung verzichtet (siehe Tab. 1).

Bei sind, was wiederum zu einer Erhöhung des Kollisionsrisikos führt. Zudem bedeuten neue, hinzukommende Anlagen natürlicherweise immer eine grundsätzliche Risikosteigerung, wenn es nicht zum gleichzeitigen Rückbau alter Anlagen kommt.

Es ist wichtig zu beachten, dass sich unsere Schlussfolgerungen zum Flugverhalten über Wald auf mit Forstpflanzen bestockte Gebiete beziehen, was auch Schlagfluren und Störstellen beinhaltet (Definition des ATKIS-Datenkatalogs für Waldflächen). Dies ist daher nicht äquivalent zu dem Terminus „geschlossener Waldkomplex“ zu sehen. Denn weiterer Forschungsbedarfs besteht in der

Tab. 1: Windgeschwindigkeiten auf 160 m ü. G., bis zu welchen 90% der Flugbewegungen über Offenland oder Wald aufgezeichnet wurden. Zur Vergleichbarkeit mit anderen Studien sind zudem die Grenzwerte für Windgeschwindigkeiten auf 10 m ü. G. dargestellt.

GPS-Positionen		Windgeschwindigkeit 160 m ü. G. [m/s]	Windgeschwindigkeit 10 m ü. G. [m/s]
Alle	Offenland	8,4	4,5
	Wald	8,6	4,5
> 70 m ü. G.	Offenland	7,5	4,3
	Wald	7,9	4,3
> 80 m ü. G.	Offenland	7,4	4,3
	Wald	7,6	4,3
> 90 m ü. G.	Offenland	7,4	4,2
	Wald	7,6	4,2

Quelle: Becker et al.

Frage, wie sich das Flugverhalten der Milane über größeren Störfächern (Rodungen, Waldwiesen, Zerfallsphasen nach Borkenkäferbefall oder Ähnlichem) gestaltet. Durch ihre Attraktionswirkung als Nahrungshabitat könnten sich Flughöhe und Aktivität gegenüber dem umliegenden Wald deutlich verändern.

4.2 Flugaktivität über vorherrschende Windgeschwindigkeiten und Cut-In Geschwindigkeiten

Zu bedenken bleibt jedoch, dass auch bei höheren Anlagen eine Flugaktivität von 8,1% beziehungsweise 14,7% innerhalb des Rotorbereichs ein nicht zu vernachlässigendes Kollisionsrisiko mit sich bringt. Dies unterstreicht die Notwendigkeit standortspezifischer Bewertungen und die Anpassung von Minderungsmaßnahmen an die lokalen Bedingungen und Vorkommen kollisionsgefährdeter Arten. Ein vielversprechender Ansatz zum Schutz der Fokusart ist die konkrete Berücksichtigung der standortspezifischen Windgeschwindigkeiten. Zwar zeigen unsere Daten, dass die Rotmilane entlang der gesamten im Untersuchungsgebiet vorherrschenden Windgeschwindigkeiten aktiv sind. Jedoch könnte ein erheblicher Teil der Aktivität von Rotmilanen in Höhen innerhalb des kritischen Rotorbereichs ohne Kollisionsgefahr stattfinden, wenn im Untersuchungsgebiet betriebene Windenergieanlagen erst bei entsprechenden mittleren Windgeschwindigkeiten eingeschaltet werden (sogenannte Cut-in-Geschwindigkeiten). In einer vergleichbaren Studie in Baden-Württemberg wurden 77% der GPS-Positionen im Flug bei Windgeschwindigkeiten bis 5 m/s (10 m über Grund) gemessen (Fiedler et al. 2021). Zu beachten ist, dass wir im Gegensatz zu anderen Studien die Windgeschwindigkeiten auf einer Höhe von 160 m über Grund berechnet haben (Fiedler et al. 2021, Heuck et al. 2019 b, Linder et al. 2022, Pfeiffer & Meyburg 2022).

Die Hessische Verwaltungsvorschrift „Naturschutz/Windenergie“ (HMUKLV & HMWEVW 2021) nennt auf Basis der Ergebnisse von Heuck et al. (2019 b) konkrete Grenzwerte der Windgeschwindigkeiten für verschiedene Anlagenhöhen (Rotorunterkante von 70, 80 und 90 m über Grund) in hochwertigen Habitaten für ein Schutzniveau von 90% der Rotmilan-Flüge, die unterhalb dieser Windgeschwindigkeiten stattfinden. In unserer Untersuchung fanden etwa 90% aller Flüge bei Windgeschwindigkeiten von bis zu 8,4 m/s über Offenland beziehungsweise von bis zu 8,6 m/s über Wald statt (bezogen auf 160 m über Grund). Bezo- gen auf Flughöhen von mehr als 70, 80 oder 90 m über Grund lagen diese Windgeschwindigkeiten bei jeweils mindestens 7,5, 7,4 und 7,4 m/s und waren somit deutlich höher als in der Hessischen Verwaltungsvorschrift, welche für diese Höhenstufen Grenzwerte von jeweils 5,8, 5,2 und 4,8 m/s listet. Auch die Windgeschwindigkeiten für ein Schutzniveau von 50–85% der Rotmilan-Flüge lagen in unserer Studie höher als in der Hessischen Verwaltungsvorschrift. Hierbei ist es wichtig zu be- achten, dass sich die Angaben der Verwaltungsvorschrift auf Windgeschwindigkeiten in Gondelhöhe beziehen. Die Gondelhöhen beziehen sich dabei auf 18 Windenergieanlagen aus drei Windparks im Vogelsbergkreis, Hessen (Heuck et al. 2019 b). Da sich die durchschnittliche Nabenhöhe dieser Anlagen von circa 140 m über Grund wenig von den von uns genutzten 160 m über Grund unterscheidet, ist eine gute Vergleichbarkeit mit unseren Ergebnissen gegeben. Konkrete Empfehlungen für Einschaltgeschwindigkeiten müssten die jeweilige Bauhöhe der Anlagen berücksichtigen, da die Windgeschwindigkeit mit der Höhe über Grund zunimmt. Wir empfehlen hier für die Zukunft einen Standard, der eine definierte Gondelhöhe ausweist, welche der Höhe aktueller Anlagen entspricht. Insgesamt waren die Unterschiede zwischen den Grenzwerten für Offenland und Wald recht gering.

Die Erhöhung der Einschaltgeschwindigkeit von Windenergieanlagen hat sich bereits als nützliche Minderungsmaßnahme für andere Arten erwiesen (Allison et al. 2019). So konnte gezeigt werden, dass die nächtli-

Fazit für die Praxis

- Der Großteil (62%) der Rotmilan-Flüge findet über Offenland statt.
- Auch bei zukünftigen, höheren Windenergieanlagen wird mit fast einem Viertel aller Flüge ein signifikanter Teil der Bewegungen von Rotmilanen über Wald und Offenland im Bereich der Rotoren liegen.
- Für einen nachhaltigen Schutz von Rotmilanen empfiehlt es sich, Windenergieanlagen erst ab bestimmten Windgeschwindigkeiten einzuschalten (sogenannte Cut-in-Geschwindigkeiten).
- Aktuelle Empfehlungen in Hessen für Cut-in-Geschwindigkeiten zum Schutz eines Großteils der Rotmilan-Flüge sind nach vorliegenden Erkenntnissen zu niedrig.

che Sterblichkeitsrate von Fledermäusen durch eine Cut-in-Windgeschwindigkeit der Anlagen von 5–6,5 m/s um 44–93 % reduziert wurde, während sich technisch nur ein geringer jährlicher Leistungsverlust (< 1 %) zeigte (Arnett et al. 2011). Dass die von Windenergieanlagen erzeugte Leistung nicht linear mit der Windgeschwindigkeit zunimmt und die Verluste bei einer Cut-in-Geschwindigkeit im niedrigen bis mäßigen Geschwindigkeitsbereich somit relativ gering sein könnten, sollte in der Diskussion um die Einschaltgeschwindigkeiten besonders berücksichtigt werden (Lydia et al. 2014). Auch für den Rotmilan und andere windkraftsensible Arten könnte dies daher ein vielversprechender Ansatz sein, um den nachhaltigen Ausbau der erneuerbaren Energien weiter zu fördern und gleichzeitig kollisionsgefährdete Arten konsequenter zu schützen. Das Bundesnaturschutzgesetz mutet den Betreibenden von Windenergieanlagen dabei für den Vogelschutz durch Abschaltungen bis zu 8 % Ertragseinbuße zu (BNatSchG § 45 b).

4.3 Saisonale und individuelle Variabilität

In der vorliegenden Untersuchung blieb unberücksichtigt, dass sich Flugaktivität, Flughöhe und zum Beispiel auch die täglichen Flugdistanzen oder die mittlere Entfernung vom Horst im Jahresverlauf ändern. So konnten verschiedene Studien an Rotmilan und anderen Greifvogelarten zeigen, dass die Flughöhen in der Balzzeit oder auf dem Zugweg größer sind als in der Brut- und Nachbrutzeit (Heuck et al. 2019 b, Katzner et al. 2012). Minderungsmaßnahmen müssten diese jahreszeitliche Variation berücksichtigen, um einen effektiven Schutz windkraftsensibler Arten im gesamten Jahresverlauf zu gewährleisten.

Auffällig war in der vorliegenden Studie auch die hohe individuelle Varianz der Flughöhen. So streuten die medianen Flughöhen pro Rotmilan-Individuum mit Werten zwischen 18 und 85 m beachtlich. Dieses hohe Maß an individueller Variation im Bewegungsverhalten scheint auch für andere Vogelarten ein gängiges Muster zu sein (Baert et al. 2021, Smetzer et al. 2021). Die Ermittlung der Gründe für diese großen individuellen Unterschiede ist ein weiterer wichtiger Faktor, um Minderungsmaßnahmen zielgerichtet an lokale Bedingungen anpassen zu können.

5 Schlussfolgerung

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Analyse mehrjähriger Bewegungsdaten hessischer Rotmilane über verschiedene Landnutzungstypen Ansatzmöglichkeiten eröffnet, wie ein nachhaltiger Ausbau erneuerbarer Energien unterstützt und gleichzeitig diese windkraftsensible Art geschützt werden kann. Die Entwicklung hin zu höheren Anlagen wird das Kollisionsrisiko für den Rotmilan im Offenland leicht verringern. Minderungsmaßnahmen vor und nach dem Bau werden aber auch in Zukunft unverzichtbar sein. Einen vielversprechenden Ansatz sehen wir in der Erhöhung der Einschaltwindgeschwindigkeiten von Windenergieanlagen, die an die lokalen Gegebenheiten angepasst werden sollten und zum Beispiel die lokal auftretenden Windgeschwindigkeiten, die umgebende Landschaft und möglichst auch die Variation der Flughöhe im Jahresverlauf berücksichtigen. Forschungsbedarf sehen wir weiterhin im Zusammenhang der Flugaktivität mit anderen standortspezifischen Faktoren wie Wetter oder lokalen Schutzmaßnahmen sowie im Umgang mit der hohen Individualität der Flugmuster. Auch jahreszeitliche Muster etwa im Zugverhalten der Fokusarten (An-/Abwesenheit von Vögeln in ziehenden Populationen, Schlaf- und Überwinterungstendenzen) sollten zukünftig bei technischen Lösungen berücksichtigt werden.

Dank

Wir bedanken uns für die finanzielle Förderung des Projekts „RoniaH“ durch das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) im Rahmen des Lore-Steuering-Instituts, die finanzielle Förderung der Besonderungen durch ein Promotionsstipendium der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für T. Spatz sowie der Philipps-Universität Marburg. Zudem danken wir der Hessischen Gesellschaft für Ornithologie und Naturschutz e.V. (HGON), HessenForst und Christian Gelpke für ihre Unterstützung und die Bereitstellung von Daten. Den Projektmitgliedern Julia Karpa (Regierungspräsidium Gießen) und Dr. Tobias Reiners (HGON) sowie den Mitgliedern des Projektbeirats, Martin Fichtler (JUWI GmbH), Holger Ohlenburg (KNE), Thomas Isselbächer und Dr. Christian Dietzen (Kompetenzzentrum Staatliche Vogelschutzwarte und Artenvielfalt in der Energiewende, Rheinland-Pfalz) sowie Dr. Barbara Helm (Vogelwarte Schweiz) danken wir für die Unterstützung des Projekts.

Literatur

Aus Umfangsgründen finden Sie das Literaturverzeichnis sowie Online-Supplements in der Digitalversion dieses Beitrags. Sie finden diese über die DOI oder über den nebenstehenden QR-Code.



KONTAKT



M. Sc. Marcel Becker ist seit 2019 technischer Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Naturschutz der Uni Marburg. Arbeitsschwerpunkte: angewandter Naturschutz, Wildtierökologie und die Bewegungsökologie von Vögeln. B. Sc. in Biologie an der Philipps-Universität Marburg, M. Sc. in Ökologie an der Friedrich-Schiller-Universität Jena.

> marcel.becker@biologie.uni-marburg.de



Dr. Theresa Spatz ist promovierte Biologin. Doktorarbeit zur Bewegungsökologie hessischer Rotmilane. Landnutzung, Bruterfolg und Zugwege wurden mittels GPS-GSM-Telemetrie adulter Rotmilane erforscht. Mitarbeit am Faktencheck Artenvielfalt im Rahmen der BMBF-Forschungsinitiative FEdA.

> theresa.spatz@googlemail.com



Dr. Sascha Rösner ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Philipps-Universität. Seine Forschungs- und Lehrtätigkeiten am Fachbereich Biologie fokussiert er auf praxisrelevante Naturschutzhemen, Methoden, Artenkenntnis und die Ornithologie. Ökologische Forschung an Vogelarten und Vogelgemeinschaften der Wälder, Monitoringprojekt zum Auerhuhn sowie hessenweite Studien zum Rotmilan.

> sascha.roesner@biologie.uni-marburg.de

Dr. Christian Heuck Bioplan Marburg GmbH
> c.heuck@bioplan-marburg.de

Prof. Dr. Simon Thorn Philipps-Universität Marburg, Arbeitsgruppe Spezielle Tierökologie sowie Staatliche Vogelschutzwarte Hessen
> simon.thorn@hlnug.hessen.de

Prof. Dr. Nina Farwig Philipps-Universität Marburg, Arbeitsgruppe Naturschutz
> nina.farwig@biologie.uni-marburg.de

Prof. Dr. Dana G. Schabo Philipps-Universität Marburg, Arbeitsgruppe Naturschutz
> dana.schabo@biologie.uni-marburg.de