

Ausgangspunkt und Ziele des Forschungsvorhabens

ROBERT BRINKMANN^a, IVO NIERMANN^a, OLIVER BEHR^b, JÜRGEN MAGES^b,
MICHAEL REICH^a

^a Leibniz Universität Hannover, Institut für Umweltplanung, Hannover

^b Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Institut für Tierphysiologie, Erlangen

Untersuchungen der letzten Jahre weltweit haben gezeigt, dass an Windenergiestandorten größere Zahlen von Fledermäusen durch Rotorschlag ums Leben kommen können. Fehlende Untersuchungen zum Umfang des Problems und zu möglichen Lösungsansätzen haben derzeit zur Folge, dass dem potenziellen Konfliktfeld Fledermäuse – Windenergie in bundesweit sehr uneinheitlicher und häufig unspezifischer Weise Rechnung getragen wird. Diese Situation ist aus Perspektive aller an der Standortplanung beteiligter Parteien und hinsichtlich der für den Ausbau regenerativer Energien notwendigen Planungssicherheit als unbefriedigend zu werten.

Das hier dargestellte Forschungsprojekt (Laufzeit Januar 2007 bis August 2009) zur Interaktion von Fledermäusen mit Windenergieanlagen verfolgt daher folgende übergeordnete Ziele:

- Verbesserung des Kenntnisstandes zum Konfliktfeld und dadurch Versachlichung der Diskussion,
- Entwicklung von Vorschlägen zur Standardisierung von Methoden und Verfahren,
- Überprüfung und Konkretisierung der aktuell im Rahmen einer umfassenden Risikoversorge getroffenen Vermeidungsmaßnahmen.

Wir erwarten, dass mit Erreichen dieser Ziele eine größere Planungssicherheit bei der Entwicklung und Genehmigung von Windenergiestandorten einhergeht und damit die Voraussetzungen für die Umsetzung der Nationalen Strategie zur Biologischen Vielfalt geschaffen werden: ein umfassender und schneller Ausbau der Onshore-Windenergienutzung unter Wahrung eines umfassenden Artenschutzes für die gesetzlich streng geschützten Fledermäuse.

Im ersten Projektabschnitt (2007) sollte eine Validierung und Weiterentwicklung der bestehenden Untersuchungsmethodiken in die Konzeption eines standardisierten und bundesweit einsetzbaren Untersuchungsprotokolls münden.

Hierauf aufbauend wurde in den nächsten Projektabschnitten (2008) die Vorhersagbarkeit der Aktivität und damit der Gefährdung von Fledermäusen im Rotorbereich von Windenergieanlagen anhand verschiedener Einflussfaktoren untersucht. Diese Faktoren umfassen meteorologische Parameter, die am Boden messbare Fledermausaktivität, die Nähe von Windenergiestandorten zum Wald, die großräumige Struktur des umgebenden Naturraums und die jahreszeitliche Verteilung der Fledermausaktivität. Automatisierte Aktivitätserfassung und das Aufsammeln von Totfunden an bestehenden Windenergieanlagen ergänzen sich hierbei methodisch. Durch den gleichzeitigen Einsatz sowohl akustischer als auch optischer Erfassungsgeräte wird eine gegenseitige Validierung der verfügbaren Systeme möglich.

Da die Untersuchung auf bundesweit repräsentative Ergebnisse und breit anwendbare Lösungsansätze abzielt, ist insbesondere für die Analyse der oben genannten Standortfaktoren eine umfangreiche Stichprobe von Windenergiestandorten aus verschiedenen Bundesländern erforderlich. Für die Entwicklung der Methodiken wurden im ersten Arbeitsschritt 14 WEA in insgesamt 7 Windparks in verschiedenen Naturräumen Deutschlands untersucht. Im zweiten Arbeitsschritt wurden 70 WEA in 35 Windparks, verteilt auf 5 größere Naturräume untersucht.

Wir haben uns bei der Standortauswahl auf Anlagen neuerer und größerer Bauart beschränkt (2 MW-Klasse). Für solche Standorte liegen bislang erst wenige Untersuchungsergebnisse vor. Gerade hier ist jedoch das Potenzial für die Errichtung neuer Anlagen und damit der Informationsbedarf besonders hoch anzusetzen, da aktuell an vielen Standorten kleinere Anlagen durch größere ersetzt werden sollen (repowering).

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung sowohl von bundesweit einsetzbaren Untersuchungsansätzen für die Planungsphase von Windparks, als auch von Betriebsalgorithmen für bestehende Anlagen, die einen tragfähigen Kompromiss zwischen dem Ziel des Ausbaus regenerativer Energieressourcen einerseits und den Belangen des Natur- und Artenschutzes andererseits ermöglichen.

Der umfassende Untersuchungsansatz erforderte die Bildung einer interdisziplinären Forschungsgruppe unter Beteiligung der Industrie. Forschungsnehmer sind die Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und die Leibniz Universität Hannover, die auf dem Gebiet der Fledermausforschung und Bioakustik bzw. auf dem Gebiet der Beurteilung von Umweltauswirkungen der Erneuerbaren Energien umfangreiche Erfahrungen und Kompetenzen aufweisen. Als Kooperationspartner für die Entwicklung von optischen Beobachtungsmethoden der Fledermausaktivität an WEA konnte das Institut für Optronik und Mustererkennung in Ettlingen gewonnen werden. Die Beratungen zu Fragen des Untersuchungsdesigns und der statistischen Analyse der Ergebnisse wird durch die oikostat GmbH, Ettiswil, Schweiz, durchgeführt. Als technischer Kooperationspartner übernimmt die Firma ENERCON die Beratung in technischen Fragen.

Viele Kunden der Firma ENERCON, Betreiber oder Eigentümer der von uns untersuchten Windenergieanlagen, haben durch ihre umfassende Kooperation mit dem Forschungsprojekt diese umfassende und repräsentative Studie im Bundesgebiet erst ermöglicht. Ihnen, sowie dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, welches die Studie beauftragte, und dem Projektträger Jülich, der das Forschungsvorhaben betreut, sei herzlich für ihre Unterstützung gedankt.

Akustische Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen

OLIVER BEHR^a, IVO NIERMANN^b, JÜRGEN MAGES^a, ROBERT BRINKMANN^b

^a Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Institut für Tierphysiologie, Erlangen

^b Leibniz Universität Hannover, Institut für Umweltplanung, Hannover

Einer der Schwerpunkte des Forschungsvorhabens war die Etablierung einer akustischen Aktivitätserfassung im Rotorbereich von Windenergieanlagen (WEA). Wir hatten dabei zum Ziel, einen methodischen Standard zu entwickeln, der einerseits einfach genug ist, um eine breite Anwendung zu ermöglichen, der andererseits aber auch der Komplexität der Fragestellung gerecht wird. Darüber hinaus sollte der Ansatz soweit standardisierbar sein, dass an verschiedenen Anlagen und mit verschiedenen Geräten (desselben Typs) erzielte Ergebnisse miteinander vergleichbar sind.

Insbesondere sollte für alle interessierten AnwenderInnen die Möglichkeit geschaffen werden, Daten zu erheben, die mit dem im Forschungsvorhaben erhobenen umfassenden Datensatz abgeglichen werden können. Dies ist z.B. eine Voraussetzung dafür, dass der im Forschungsvorhaben ermittelte Zusammenhang von akustischer Aktivität und Anzahl von Schlagopfern auf andere WEA-Standorte übertragen werden kann. Soll dies möglich sein, so ist es unumgänglich, einen weitgehend identischen Aufbau und dieselben Geräteeinstellungen zu verwenden (s.u.). Zumindest müssen Unterschiede, die sich aus methodischen Unterschieden ergeben, quantifiziert werden.

Von den in Frage kommenden Detektoren verschiedener Hersteller kamen nach einer Vorauswahl (hauptsächlich hinsichtlich der Anschaffungskosten, der kommerziellen Verfügbarkeit und der Tauglichkeit für eine mehrmonatige Dauererfassung) zwei Geräte in die engere Auswahl: Der „Anabat SD1“ der Firma Titley (im Folgenden: SD1) und der „Batcorder“ der Firma EcoObs (im Folgenden: BC). Beide Geräte kamen im Jahr 2007 während einer Testphase über mehrere Monate in 14 WEA gleichzeitig zum Einsatz. Der folgende Kriterienkatalog wurde dabei abgeprüft.

- Kosten
 - Anschaffungskosten für das Gerät
 - Personalkosten für Installation und Wartung
 - Ertragseinbußen durch Installation und Wartung
 - Personalkosten für Abruf, Verwaltung und Analyse der Daten
- Datenqualität
 - Akustische Eigenschaften (Richtcharakteristik, Frequenzgang)
 - Erfassungsreichweite (Empfindlichkeit)
 - Trennschärfe bei der Artansprache
 - **Kalibrierbarkeit**
- Störempfindlichkeit
 - elektromagnetisch
 - akustisch
 - **Länge der Ausfallzeiten**

- Automatisierungsmöglichkeiten
 - **Statusfernabfrage**
 - Auslesen der Daten
 - **Rufanalyse**

Die von uns am stärksten gewichteten Kriterien sind hervorgehoben. Die **Kalibrierbarkeit** ist eine wichtige Voraussetzung um Ergebnisse unterschiedlicher Geräte und Anlagen miteinander vergleichen zu können. Beim SD1 ist die Kalibrierung auf einen vorgegebenen Wert nur mit größerem technischem Aufwand möglich. Viele Anwender beschränken sich daher darauf, die ihnen zur Verfügung stehenden Geräte auf ein vergleichbares Empfindlichkeitsniveau zu bringen. Der BC ist bei der Auslieferung auf einen vorgegebenen Wert kalibriert. Da die Mikrofone jedoch im Betrieb häufiger Empfindlichkeitseinbußen zeigen, ist eine regelmäßige Nachkalibrierung stark anzuraten.

Die **Länge der Ausfallzeiten** zu minimieren ist entscheidend, um einen aussagekräftigen Datensatz erheben zu können. Bei beiden Gerätetypen kam es unter den extremen Einsatzbedingungen in der Gondel von WEA (elektromagnetische und Witterungseinflüsse) häufiger zu Ausfällen. Die Häufigkeit und Länge dieser Ausfallzeiten ist von diversen Rahmenbedingungen abhängig, die während unserer Paralleluntersuchung für beide Gerätetypen gleich waren. Unter diesen vergleichbaren Bedingungen ergaben sich geringfügig weniger Ausfallzeiten für den SD1 als für den BC.

Die **Statusfernabfrage** ist **wegen der häufigeren Ausfälle eine zentrale Voraussetzung**, um die Detektoren über einen längeren Zeitraum ohne größere Ertragseinbußen verlässlich betreiben zu können. Ist keine Fernabfrage möglich, müssen die Geräte regelmäßig vor Ort geprüft werden. Hierbei wird die WEA abgeschaltet, was zu Ertragseinbußen führen kann. Für den SD1 war am Beginn des Forschungsvorhabens noch keine Fernabfragemöglichkeit kommerziell erhältlich. Wir konnten im Forschungsvorhaben den Prototyp einer solchen Fernabfrage über das Mobilfunknetz für den SD1 entwickeln und an zwei WEA über mehrere Wochen erfolgreich einsetzen. Das Konzept wurde nun von der Firma Titley übernommen und kann mittlerweile als zusätzliches Modul erworben werden. Hiermit kann u.a. der Status der Geräte geprüft und die aufgenommenen Daten heruntergeladen werden. Für den BC konnten wir in Zusammenarbeit mit der Firma Enercon und der Firma EcoObs eine Fernabfrage über das WEA-interne Modem entwickeln, das die Status-Fernabfrage (nicht jedoch das Herunterladen der Daten) an allen Enercon-Anlagen ermöglicht. Wegen der Integration in das WEA-System hat dieses Vorgehen Vorteile bei der Synchronisierung der akustischen Daten z.B. mit den Winddaten der WEA. Hierzu ist jedoch eine technische Erweiterung des BC notwendig, die in dieser Form nicht kommerziell angeboten wird. Die Firma EcoObs wird nach eigenen Angaben für ihr Gerät in Kürze ebenfalls eine Fernabfragemöglichkeit über das Mobilfunknetz zur Verfügung stellen.

Eine Automatisierung der **Rufanalyse** ist in zweifacher Hinsicht von Bedeutung. Einerseits kann durch eine zumindest teilweise Automatisierung der Rufanalyse eine je nach Datenumfang beträchtliche Zahl von Arbeitsstunden eingespart werden (insbesondere wenn durch die Geräte sehr viele Störsignale aufgezeichnet wurden). Andererseits kann hierdurch das Problem umgangen werden, die Ergebnisse einer manuellen und damit notwendigerweise subjektiven Bearbeitung durch verschiedene MitarbeiterInnen miteinander vergleichen zu müssen. Für den SD1 besteht die Möglichkeit der Programmierung von Filtern, die zumindest eine Gruppen-Kategorisierung ermöglichen. Diese Filter wurden jedoch bislang nicht

standardisiert und unterliegen damit denselben Einschränkungen hinsichtlich der Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Für den BC bietet der Hersteller eine Software an, die zu standardisierten und reproduzierbaren Ergebnissen hinsichtlich der Artbestimmung kommt. Hier ist einschränkend zu sagen, dass dazu jedoch die gleiche Version der Software verwendet werden muss. Darüber hinaus kommt es zu Fehlbestimmungen (dies gilt in hohem Maße für die Störsignale, die an der Gondel von WEA aufgezeichnet werden), die wiederum manuell korrigiert werden müssen. Dies mindert wiederum die Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener BearbeiterInnen.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass beide geprüfte Detektoren in der Gondel von WEA einsetzbar sind und auswertbare Ergebnisse liefern. Die Abwägung der gerätespezifischen Vor- und Nachteile muss im Einzelfall anhand der genannten Kriterien erfolgen.

Bei der **Installation von Detektoren in der Gondel** von WEA sind diverse, teils auch anspruchsvollere technische Details zu beachten, die den Rahmen dieser Zusammenfassung sprengen würden. Hierzu sei auf die projektinterne Installationsanweisung verwiesen, die demnächst in einer überarbeiteten Version öffentlich zur Verfügung stehen wird. Um Missverständnissen vorzubeugen möchten wir jedoch hier noch einmal die **Warnung** wiederholen, dass hierdurch **definitiv nicht die Möglichkeit geschaffen wird, die Geräte ohne größere Vorkenntnisse und ohne eigene „Bastelarbeit“ in der Gondel von WEA zu installieren!** Ziel der Veröffentlichung der Installationsanleitung ist hingegen, anderen im Umgang mit den Geräten und in der Erfassung von Fledermäusen erfahrenen AnwenderInnen die nötigen Informationen zukommen zu lassen, um eine mit dem im Forschungsvorhaben erhobenen Datensatz vergleichbare Erfassung durchzuführen. Eine Vereinfachung der dabei nötigen Arbeitsschritte können nur die Hersteller der Detektoren leisten, indem sie spezielle WEA-Erweiterungen für ihre Geräte bereitstellen.

Im Rahmen dieser Zusammenfassung sei daher nur auf zwei zentrale Punkte bei der Installation der Detektoren in der Gondel von WEA hingewiesen:

- Bei der Installation selber ist in jedem Fall die Hilfe eines Serviceteams des jeweiligen Herstellers nötig.
- Die Mikrofone sind an der Gondel von WEA extremen Witterungseinflüssen ausgesetzt – es ist daher absolut notwendig ihre Funktionalität regelmäßig zu prüfen. Leider wird eine solche Möglichkeit bislang von keinem der beiden Detektoren-Hersteller angeboten. Wir verwendeten daher als selbst konzipierte Lösung ein einmal täglich abgegebenes Ultraschall-Testsignal.

In den Jahren 2007 und 2008 wurden im Forschungsvorhaben mit dem SD1 etwa 2500 und mit dem BC etwa 13000 Anlagen-Nächte erfasst. Die dabei am häufigsten akustisch **nachgewiesenen Arten** entsprachen dem aus Totfundnachsuchen bekannten Artenspektrum (Abbildung 1). Die Ergebnisse für beide eingesetzten Detektoren stimmten weitgehend überein.

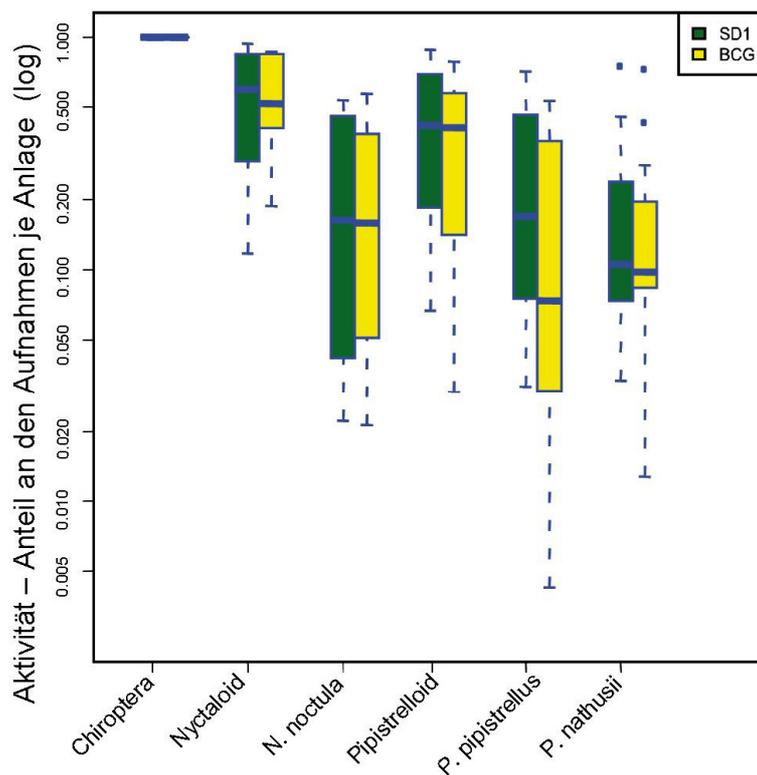


Abbildung 1 Aufgenommene Rufsequenzen (Anabat SD1 und Batcorder) für verschiedene Arten(-gruppen): Fledermäuse insgesamt, Nyctaloid-Gruppe (v. a. Großer und Kleiner Abendsegler, Breitflügel- und Zweifarbfledermaus), Großer Abendsegler, Pipistrelloid-Gruppe (v. a. Zwerg-, Rauhaut-, und Mückenfledermaus), Zwergfledermaus und Rauhautfledermaus. Dargestellt ist der Anteil der jeweiligen Arten(-gruppe) an den insgesamt aufgenommenen Rufsequenzen je Detektor (d. h. alle Fledermaus-Rufsequenzen insgesamt entsprechen dem Wert 1).

Charakterisierung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen mittels Infrarot-Stereoaufnahmen

UWE ADOMEIT^a, FRANK WILLUTZKI^a, ROBERT BRINKMANN^b,
IVO NIERMANN^b, OLIVER BEHR^c,

^a Forschungsgesellschaft für angewandte Naturwissenschaften, Forschungsinstitut für Optronik und Mustererkennung (FGAN-FOM), Ettlingen

^b Leibniz Universität Hannover, Institut für Umweltplanung, Hannover

^c Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Institut für Tierphysiologie, Erlangen

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen“ wurden Ultraschalldetektoren zur Charakterisierung des Fledermausaufkommens im Rotorbereich von Windenergieanlagen eingesetzt. Es ist relativ schwierig, den Erfassungsbereich solcher Detektoren genau zu charakterisieren. Dementsprechend ungenau ist die Abschätzung, welcher Anteil der insgesamt im Rotorbereich aktiven Fledermäuse durch die Detektoren erfasst wird. Die Messungen der Ultraschallsensoren sollten deshalb durch ein optisches Verfahren überprüft werden. Dazu waren zunächst die Fledermäuse im Umfeld der Anlage optisch zu detektieren und anschließend auf ihrer Flugbahn zu verfolgen. Die ermittelten Flugbahnen lassen sich dann mit den zeitsynchronisierten akustischen Daten vergleichen.

Verwendet wurde ein typischer Stereobildaufbau mit zwei Infrarotkameras im Abstand von 16 m zueinander und von 220 m zur Windenergieanlage (Abbildung 1). Durch die unterschiedlichen Blickwinkel ermöglicht ein Stereoaufbau die Entfernungsbestimmung von Objekten, die sich im Gesichtsfeld beider Kameras aufhalten (in Abbildung 1 rot eingezeichnet). Von den akustischen Sensoren wird angenommen, dass sie hauptsächlich den unteren Halbraum abdecken (in Abbildung 1 blau eingezeichnet). Durch den gewählten Aufbau wird dieser Bereich von den verwendeten Kameras mit einer Ortsauflösung von ca. 10 cm und einer Positionsgenauigkeit von ca. 1,5 m abgedeckt.

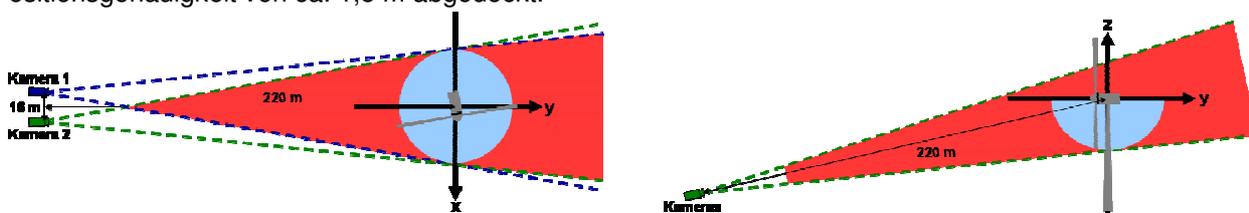


Abbildung 1 Stereobildaufbau schematisch in Drauf- (links) und Seitenansicht (rechts).

Abbildung 2 zeigt die zur Auswertung der aufgenommenen Daten notwendigen Schritte. Ausgehend von den Sequenzen der beiden Kameras des Stereoaufbaus (1) erfolgt zunächst eine Bildregistrierung (2). Diese korrigiert die unterschiedlichen geometrischen Eigenschaften der Kameras und richtet die Bilder zueinander aus. Eine Differenzbildung aufeinander folgender Bilder ermöglicht die Objektdetektion (3), da sie Bewegtes hervorhebt und Stationäres unterdrückt. Befindet sich ein Objekt im Gesichtsfeld beider Kameras, so erscheint es in beiden Bildern auf der gleichen Höhe aber an unterschiedlichen horizontalen Positionen. Der Unterschied in dieser horizontalen Position ist dabei proportional zur Entfernung von den Kameras. Solche Objekte (1.1 und 2.1 in Abbildung 2) werden über die Sequenzen verfolgt, wodurch sich zwei 2D-Flugbahnen ergeben (4). Mit den bekannten geometrischen Größen des Messaufbaus lässt sich aus diesen die 3D-Flugbahn relativ zur Windkraftanlage berechnen (5). Objekte, die nur in einem Kamerabild zu finden sind (1.2 und 2.2 in Abbildung 2), werden nicht berücksichtigt.

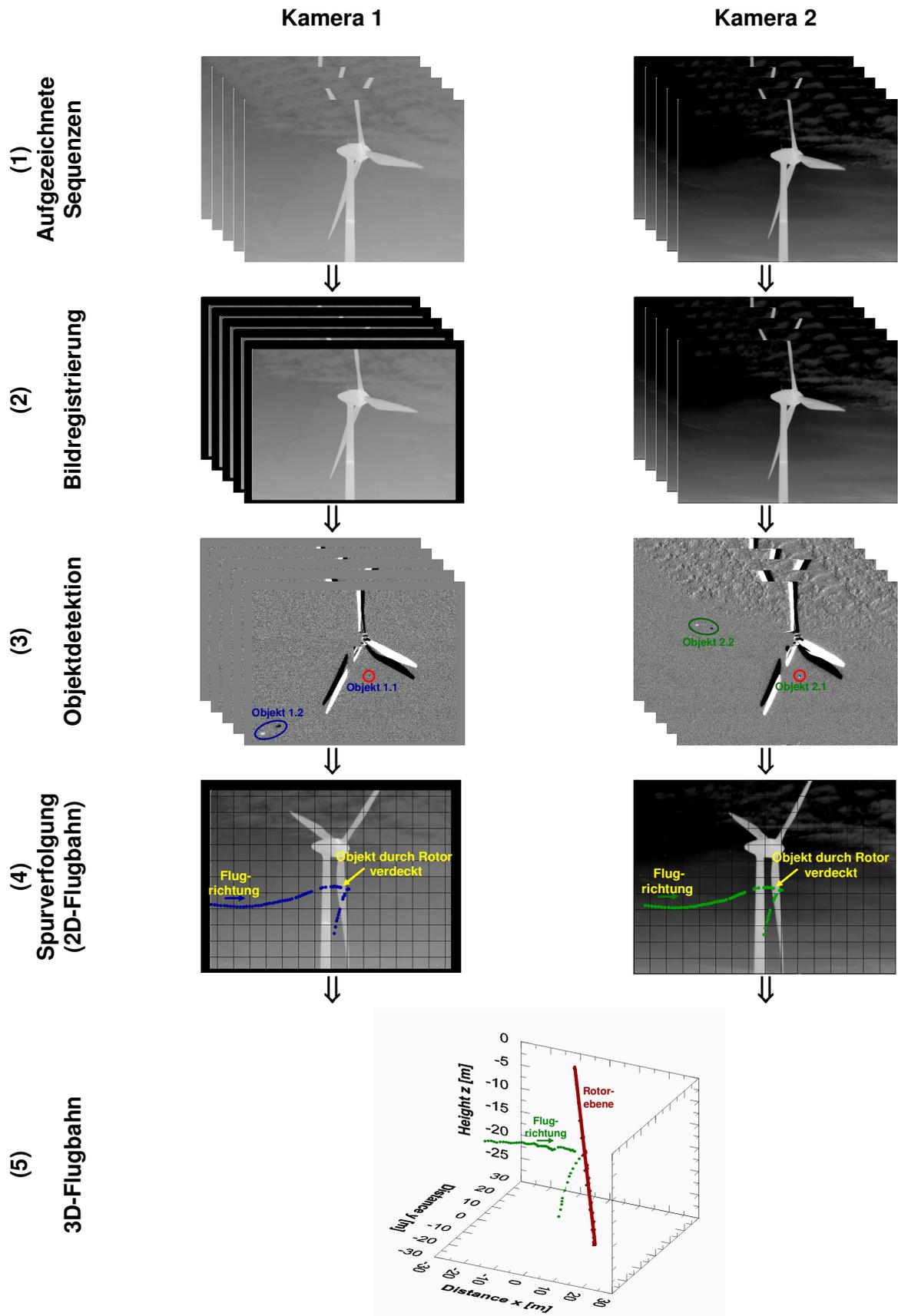


Abbildung 2: Verarbeitung der Stereobildaten zur Gewinnung der Flugbahn eines Objektes (Fledermaus). Die Verarbeitungsschritte sowie die dargestellte Flugbahn sind im Text erläutert.

Das Beispiel in Abbildung 2 zeigt ein Objekt, das sich zunächst in horizontalem Flug auf die Windenergieanlage zu bewegt. Durch Vergleich mit den akustischen Daten ergibt sich, dass es sich bei diesem Objekt um eine Fledermaus handelt. Beim Eintritt in die Rotorebene ändert sich in der Nähe eines Rotorblattes die Flugrichtung abrupt um etwa 90°, und die Bewegung ähnelt anschließend einer ballistischen Kurve. Es ist daher davon auszugehen, dass eine Kollision der Fledermaus mit dem Rotor stattgefunden hat. Die Datenerfassung erstreckte sich über fünf Nächte, vier davon an einer Anlage in Brandenburg und eine an einer Anlage im Saarland. Zusammen ergaben diese Messungen etwa 23 Stunden Datenmaterial, von dem etwa 16 Stunden für Auswertungen in Frage kommen. Davon sind momentan etwa neun Stunden ausgewertet. In diesem Zeitraum wurden 207 Objekte detektiert und ihre Flugbahn bestimmt. Im gleichen Zeitraum meldeten die akustischen Sensoren 27 Fledermäuse. Mit Hilfe der Zeitsynchronisation von akustischer und optischer Erfassung konnten 24 dieser Fledermäuse Flugbahnen zugeordnet werden (vergleiche Tabelle 1). Drei der Fledermäuse wurden optisch nicht erfasst¹.

Wenn die größte Annäherung an die Gondel der Windenergieanlage zur Charakterisierung verwendet wird, so kann die Erfassungsreichweite der akustischen Sensoren bestimmt werden (Tabelle 1). Dabei wird davon ausgegangen, dass alle von den Kameras aufgezeichneten Objekte Fledermäuse sind, was nicht notwendigerweise der Fall ist. Prinzipiell werden jedoch Insekten wegen ihrer Größe in den interessierenden Entfernungen praktisch nicht detektiert und Vögel und Fledermäuse sollten sich auf Grund des Flugverhaltens unterscheiden lassen, was aber bislang nur im Ansatz überprüft und damit in Tabelle 1 noch nicht berücksichtigt ist.

Größte Annäherung an die Gondel	Infrarotobjekte (Stereodaten)	Fledermäuse (akustische Daten)	Akustik / Infrarot
0 m ... 10 m	4	3	75 %
10 m ... 20 m	11	10	91 %
20 m ... 30 m	17	4	24 %
30 m ... 40 m	16	6	38 %
40 m ... 50 m	13	1	8 %
> 50 m	146	0	0 %
?	-----	3	-----

Tabelle 1 Verteilung der größten Annäherung der erfassten Infrarotobjekte an die Gondel der Windkraftanlage im Vergleich zu den zugeordneten akustisch erfassten Fledermäusen.

Aus Tabelle 1 ergibt sich, dass etwa 87 % aller Fledermäuse, die sich der Gondel der Windenergieanlage auf weniger als 20 m nähern, akustisch detektiert werden. Für Annäherungen im Bereich zwischen 20 m und 50 m unterschätzt die akustische Messung dagegen die Anzahl der Fledermäuse im Volumen. Außerhalb von diesem Radius werden keine Fledermäuse mehr detektiert. Positiv ist dabei zu werten, dass sich eine akustisch erfasste Fledermaus mit einer Wahrscheinlichkeit von etwa 83 % im gefährdeten Bereich um die Anlage befindet, also praktisch nur Fledermäuse erfasst werden, für die eine Kollisionsgefahr besteht. Dies zeigt insgesamt, dass die akustischen Sensoren gut zur Charakterisierung der Fledermausaktivität um die Windkraftanlage geeignet sind. Eine genauere Analyse der Flugbahnen könnte hier zu einer Abschätzung des Empfangsbereichs der akustischen Sensoren genutzt werden. Es bleibt anzumerken, dass die dieser Analyse zugrunde liegende Datenbasis noch gering ist, was weitere Messungen sinnvoll erscheinen lässt.

¹ Diese drei Ereignisse stammen aus einer Nacht, in der ein modifizierter Kamera-Aufbau verwendet wurde, der nur die untere Hälfte des Rotorbereichs erfasste – es handelt sich daher wahrscheinlich um Tiere, die sich im Rotorbereich oberhalb des optisch erfassten Bereiches aufhielten.

Systematische Totfundnachsuche - Methodische Rahmenbedingungen, statistische Analyseverfahren und Ergebnisse

IVO NIERMANN^a, ROBERT BRINKMANN^a, OLIVER BEHR^b, FRÄNZI KORNER-NIEVERGELT^c,
JÜRGEN MAGES^b

^a Leibniz Universität Hannover, Institut für Umweltplanung

^b Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Fakultät für Biologie, Institut für Zoologie II

^c oikostat, Ettiswil (CH)

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden systematische Totfundnachsuchen von Fledermäusen an ausgewählten Windenergieanlagen (WEA) durchgeführt. Ziel dieser Untersuchungen war es, a) die Methodik der Totfundnachsuche insgesamt weiterzuentwickeln und einen Vorschlag für ein Standardprotokoll zu erarbeiten, b) mit den erhobenen Daten bestehende Annahmen in Hinblick auf die betroffenen Arten und die festgestellten Anzahlen zu überprüfen und c) eine Grundlage für die Berechnung der Anzahl von Totfunden aus der akustischen Aktivität zu schaffen. In den Untersuchungsjahren 2007 und 2008 wurden in 15 Windparks insgesamt 30 Windenergieanlagen täglich abgesucht (je Anlage durchschnittlich aufeinanderfolgende 68,5 Tage ca. von Ende Juli bis Ende September in 2007 und von Anfang Juli bis Ende September im Jahr 2008). Für alle Anlagen wurden die Suchfehler, da heißt die Abtragate und die Sucheeffizienz aller an der Suche Beteiligten quantifiziert. Zusätzlich wurde die absuchbare Fläche in 10m breiten Äquidistanzringen erfasst und in drei Sichtbarkeitsklassen unterteilt. Die Mehrzahl der Nachsuchen erfolgte in einem 100m Radius, an einer Reihe von Anlagen konnte jedoch nur in einem Radius von 50m gesucht werden.

In Rahmen der Untersuchung wurden insgesamt 100 Fledermäuse gefunden, wovon fünf Tiere zum Fundzeitpunkt noch lebten (5). Die gefundenen Tiere konnten sieben Arten zugeordnet werden. In abnehmender Reihenfolge waren dies: Flughautfledermaus (31), Großer Abendsegler (27), Zwergfledermaus (21), Kleinabendsegler (9), Breitflügelfledermaus (4), Zweifarbfledermaus (3), Braunes Langohr (1). Darüber hinaus wurden nicht mehr näher bestimmbare Exemplare der Gattung Pipistrellus (3) sowie eine nicht weiter bestimmbare Fledermaus (1) gefunden. Diese Zusammensetzung der Arten entspricht weitgehend dem bislang bundesweit an Windenergieanlagen festgestellten Artengefüge, auch im Hinblick auf die Häufigkeit der jeweiligen Arten.

Für alle Tiere, die im Juli und August gefunden wurden, konnte eine sinnvolle Analyse des Alters der Tiere durchgeführt werden. Dabei zeigte sich, dass beim Großen Abendsegler, beim Kleinabendsegler und der Breitflügelfledermaus die subadulten Tiere überwogen, bei der Flughautfledermaus dagegen die adulten Tiere. Bei der Zwergfledermaus und der Zweifarbfledermaus herrschte hingegen ein ausgeglichenes Verhältnis von adulten und subadulten Tieren. Das Geschlechtsverhältnis war dagegen bei allen Arten ausgeglichen.

Um die Totfundnachsuche als Methode weiterzuentwickeln, wurde eine Reihe zusätzlicher Untersuchungen durchgeführt. Eine der noch offenen Fragen war, ob sich Labormäuse eignen um die Schwundrate von Fledermäusen unter den WEA festzustellen. In einem unmittelbaren Vergleich zwischen jeweils gefrorenen Labormäusen und Abendseglern konnte kein signifikanter Unterschied in der Schwundrate festgestellt werden. In einem weiteren Auslegeexperiment konnte belegt werden, dass sich die von uns verwendeten Attrappen (Spielmäuse) hinsichtlich ihrer Entdeckungswahrscheinlichkeit durch einen Nachsuchenden nicht von farbigen Labormäusen und von Fledermäusen unterscheiden. Weiterhin wurde geprüft, ob die

Sucheffizienz in den drei definierten Sichtbarkeitsklassen – wie zu erwarten wäre – mit zunehmender Vegetationsdeckung abnimmt. Auch dieser Zusammenhang konnte statistisch abgesichert werden. Für die Praxis bedeutet dies, dass die Ermittlung der Schwundrate und der Sucheffizienz mit Hilfe von farbigen Labormäusen erfolgen kann. Dies kann an vielen Standorten, an denen nicht die für die Tests erforderliche Anzahl toter Fledermäuse registriert werden können, ein wichtiger Hinweis sein.

Die Totfunde konzentrieren sich alle auf den Nahbereich der WEA, nur ein Tier wurde außerhalb des 50m Radius gefunden. Wir konnten eine für mehrere Faktoren (absuchbare Fläche, Sucheffizienz) korrigierte und damit verallgemeinerbare räumliche Verteilung der Schlagopfer um die WEA ermitteln. Der räumlichen Verteilung liegt wohl im Wesentlichen ein geometrischer Effekt zugrunde, der sich aus dem Verhältnis der durch den Rotor überstrichenen Fläche zur Bodenfläche ableitet. Dieser Effekt wird durch die Verdriftung der Schlagopfer überlagert. In Verdriftungsversuchen konnten wir zeigen, dass leichte Fledermäuse bei Windgeschwindigkeiten zum Beispiel von 5m/s um durchschnittlich 42,5m und schwere Fledermäuse (z.B. Abendsegler) um durchschnittlich 26,3m verdriftet werden.

Die korrigierte räumliche Verteilung dient als Grundlage für die Hochrechnungen. Diese gehen wie die ermittelten Schwundraten bei allen untersuchten Anlagen, die ebenfalls präsentiert werden, in die Hochrechnung der Opferzahlen ein. Dieser Ansatz führt – im Gegensatz zu Hochrechnungen, die von einer Gleichverteilung der Tiere auf der abgesuchten Fläche ausgehen – zu insgesamt niedrigeren Zahlen. Für alle untersuchten Windenergieanlagen wird die Anzahl der hochgerechneten Fledermäuse präsentiert.

Neben einer Reihe von Windenergieanlagen, die durch eine geringe Anzahl von Totfunden gekennzeichnet sind, wurden an andere Anlagen höhere Opferzahlen registriert. An den untersuchten Anlagen schwankt das Verhältnis zwischen der Anzahl der tatsächlich gefundenen Tiere und der Anzahl hochgerechneter Opfer (in Abhängigkeit von der Größe der Suchfehler und dem Anteil der absuchbaren Fläche) im Bereich von 1:1,7 bis zu 1:9,2. In mehreren untersuchten Parks lagen die Ergebnisse Hochrechnungen für die beiden untersuchten Anlagen weit auseinander. Für eine genaue Hochrechnung sollten die Methodenfehler daher anlagenspezifisch quantifiziert werden.

Systematische Totfundnachsuchen – Methodische Rahmenbedingungen, statistische Analyseverfahren und Ergebnisse

- Schätzen der Anzahl verunglückter Fledermäuse an Windenergieanlagen -

FRÄNZI KORNER-NIEVERGELT^a, BARBARA HELLRIEGEL^a, OLIVER BEHR^b, IVO NIERMANN^c,
ROBERT BRINKMANN^c,

^a oikostat GmbH, Ettiswil (CH)

^b Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Institut für Tierphysiologie, Erlangen

^c Leibniz Universität Hannover, Institut für Umweltplanung, Hannover

Um die Anzahl tatsächlich an Windenergieanlagen (WEA) verunglückter Fledermäuse aufgrund der Zahl gefundener toter Fledermäuse abschätzen zu können, ist man auf geeignete Hochrechnungsmethoden angewiesen. Geeignet heißt, dass die verwendeten Modelle die wesentlichen Schritte der tatsächlichen Abläufe nachvollziehen und mögliche Quellen von Ungenauigkeiten berücksichtigen.

Ein wichtiger Parameter bei der Abschätzung des Fledermausschlags ist die Entdeckungswahrscheinlichkeit (p) verunglückter Fledermäuse bei Nachsuchen im Umkreis von WEA. Die **einfachste Möglichkeit** ist, diese Wahrscheinlichkeit als Produkt aus der Effizienz der Suchenden (f) und der Verbleibrate der Kadaver (s) zu schätzen ($P=f*s$). Diese Methode benutzt zwar zwei sehr entscheidende Einflussfaktoren, die tatsächlichen Abläufe berücksichtigt sie jedoch nicht. Wir haben deshalb eine neue Formel zur Schätzung der Entdeckungswahrscheinlichkeit entwickelt, die diese Lücke schließt.

Die neue Berechnungsmethode stützt sich auf ein vereinfachtes Ablaufmodell, das einen kurz nach Sonnenuntergang gehäuften Fledermausschlag und einen Durchschnittswert von m verunglückten Fledermäusen pro Nacht annimmt. Die Kadaver dieser Fledermäuse werden mit der Rate $(1-s)$ abgetragen. Bei regelmäßig im Abstand von d Tagen und zur selben Tageszeit durchgeführten Nachsuchen werden diese mit der durchschnittlichen Sucheeffizienz f gefunden und dann ebenfalls entfernt. Aufgrund dieser Annahmen lässt sich für jeden Nachsuchetag die Anzahl gefundener Fledermäuse berechnen und damit auch für einen beliebigen durch regelmäßige Suchen abgedeckten Zeitraum. Da man für dieses Modell-Szenario auch die Gesamtzahl der in diesem Zeitraum verunglückten Fledermäuse kennt ($M = m*n*d$), kann man die Entdeckungswahrscheinlichkeit berechnen aus

$$p = \frac{C}{M},$$

wobei C = Anzahl gefundener Fledermäuse und M Anzahl verunglückter Fledermäuse.

Daraus ergibt sich die nachfolgende Formel (oikostat 2009, unveröffentlicht), die ebenfalls nicht von der durchschnittlichen Anzahl pro Nacht verunglückter Fledermäuse abhängt (wie $p=f*s$). Zusätzlich gehen in die oikostat-Formel noch die Zeitabstände zwischen den regelmäßigen Nachsuchen (d) und die Länge des abgedeckten Zeitraums ($n*d$) ein.

$$p = \frac{f * \left(s * \frac{1-s^{d-1}}{1-s} \right) * \left(\sum_{i=0}^{n-1} (n-i) * \left[(1-f) * s^d \right]^i \right)}{n * d}$$

Um abzuklären, ob die neue Formel einen Vorteil gegenüber den bisher verwendeten Formeln bringt, wurden die einfache Formel, die Formel von Erickson et al. (2004) und die oikostat Formel in einem simulierten Szenario verglichen. Zusätzlich wurde in den Vergleich auch die direkte Verwendung der Anzahl Totfunde als Schätzer für die Anzahl verunglückter Fledermäuse miteinbezogen. Dieser Schätzer nimmt implizit eine Entdeckungswahrscheinlichkeit von 1 an. Der Vergleich zeigt, dass die einfache Formel die wahre Zahl verunglückter Fledermäuse überschätzt, während die direkte Verwendung der Anzahl von Totfunden diese unterschätzt. Eine solche Unterschätzung ist in der Formel von Erickson et al. (2004) ebenfalls vorhanden, jedoch stark abgeschwächt. Die oikostat Formel berechnet die Zahl verunglückter Fledermäuse korrekt.

Deshalb verwendeten wir die oikostat Formel, um die Zahl verunglückter Fledermäuse pro WEA zu berechnen. Für diese Berechnungen wurde die Entdeckungswahrscheinlichkeit p für jede Anlage unter Berücksichtigung der verschiedenen Suchpersonen und der Anteile verschiedener Sichtbarkeitsklassen berechnet. Im p unberücksichtigt bleibt der Anteil abgesuchter Fläche unter der WEA. Bei vielen WEA konnte nicht die ganze Fläche abgesucht werden. Deshalb wurde zusätzlich für jede Anlage ein weiterer Flächenanteilsfaktor a berechnet, der den Anteil abgesuchter Fläche pro Distanzring sowie die Verteilung der Fledermäuse auf die Distanzringe berücksichtigt (Fledermäuse sind unter einer WEA nicht gleichverteilt!). Somit kann die Zahl verunglückter Fledermäuse aus der Entdeckungswahrscheinlichkeit p , dem Flächenanteilsfaktor a und der Zahl gefundener Fledermäuse C berechnet werden:

$$M = \frac{C}{p * a}.$$

Die so berechnete Anzahl verunglückter Fledermäuse pro Anlage und Sommer (92 Tage von Juli - September) liegt zwischen 0 und 54 (Mittel 9) für die oikostat Formel. Wird die einfache Formel verwendet, dann liegen diese Berechnungen zwischen 0 und 89 (Mittel 15), während die Anzahl gefundener toter Fledermäuse zwischen 0 und 14 (Mittel 3) liegt.

Einsatz akustischer Aktivitätsmessungen zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen

- Vorhersage von Gefährdungszeiträumen und Anpassung von Betriebsalgorithmen -

OLIVER BEHR^a, FRÄNZI KORNER-NIEVERGELT^b, ROBERT BRINKMANN^c,
JÜRGEN MAGES^a, IVO NIERMANN^c

^a Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Institut für Tierphysiologie, Erlangen

^b oikostat GmbH, Ettiswil (CH)

^c Leibniz Universität Hannover, Institut für Umweltplanung, Hannover

Ein zentraler Bestandteil des Forschungsvorhabens war die akustische Erfassung der Fledermausaktivität im Rotorbereich von Windenergieanlagen (WEA). Die Daten zur akustischen Aktivität ermöglichen quantitative Aussagen über das Kollisionsrisiko an den untersuchten WEA (s. Abschnitt „Ermittlung der Anzahl von Schlagopfern aus akustischen Aktivitätsmessungen“). Darüber hinaus können anhand der akustischen Daten die Zeiten (Jahreszeiten und Zeiten während einzelner Nächte) mit erhöhter Aktivität und damit erhöhtem Kollisionsrisiko eingegrenzt werden. Die zeitliche Auflösung der akustischen Aktivitätsdaten ist dabei wesentlich höher als die der Daten aus Totfundnachsuchen. Totfundnachsuchen ermöglichen auch im besten Fall einer täglichen Nachsuche nur Rückschlüsse auf das Kollisionsrisiko während der gesamten vorhergehenden Nacht (in den USA wurden in Ausnahmefällen mehrere Nachsuchen während einer Nacht durchgeführt).

Präzise Daten zur Aktivität sind bei der Suche nach Faktoren notwendig, die es ermöglichen sollen, die Gefährdung von Fledermäusen an WEA zeitlich vorherzusagen. Basierend auf solchen Faktoren können dann Maßnahmen (etwa „fledermausfreundliche“ Betriebsalgorithmen) getroffen werden, die einerseits ein Maximum der Belange des Artenschutzes abdecken, und andererseits zu einer minimalen Beeinträchtigung beim Betrieb von WEA führen. Eine möglichst exakte Vorhersage der Gefährdungszeiträume liegt also sowohl im Interesse des Artenschutzes als auch im Interesse einer nachhaltigen Energieerzeugung.

Im Forschungsvorhaben wurden folgende Faktoren hinsichtlich einer Korrelation mit der Aktivität von Fledermäusen im Rotorbereich geprüft: Monat, Nachtzeit, Windgeschwindigkeit, Temperatur und Niederschlag.

Der Monat kodiert hierbei den Jahreszyklus, der sich sowohl über das vorhandene Insektenangebot als auch über das Reproduktions- und Winterschlafverhalten von Fledermäusen auf deren Gefährdung durch WEA auswirken kann. Für den Monat ergaben sich artspezifisch verschobene Maxima im Zeitraum Juli und August. Für die Nachtzeit zeigte sich ein Schwerpunkt der Fledermausaktivität im ersten Viertel der Nacht, der ebenfalls artspezifisch mehr oder weniger ausgeprägt war. Einen sehr starken Effekt auf die Fledermausaktivität zeigte die Windgeschwindigkeit (s. Abbildung 1) mit einer Abnahme der Aktivität bei zunehmender Windgeschwindigkeit. Auch hier zeigten sich wenn auch weniger deutlich ausgeprägte Unterschiede zwischen den Arten(-gruppen).

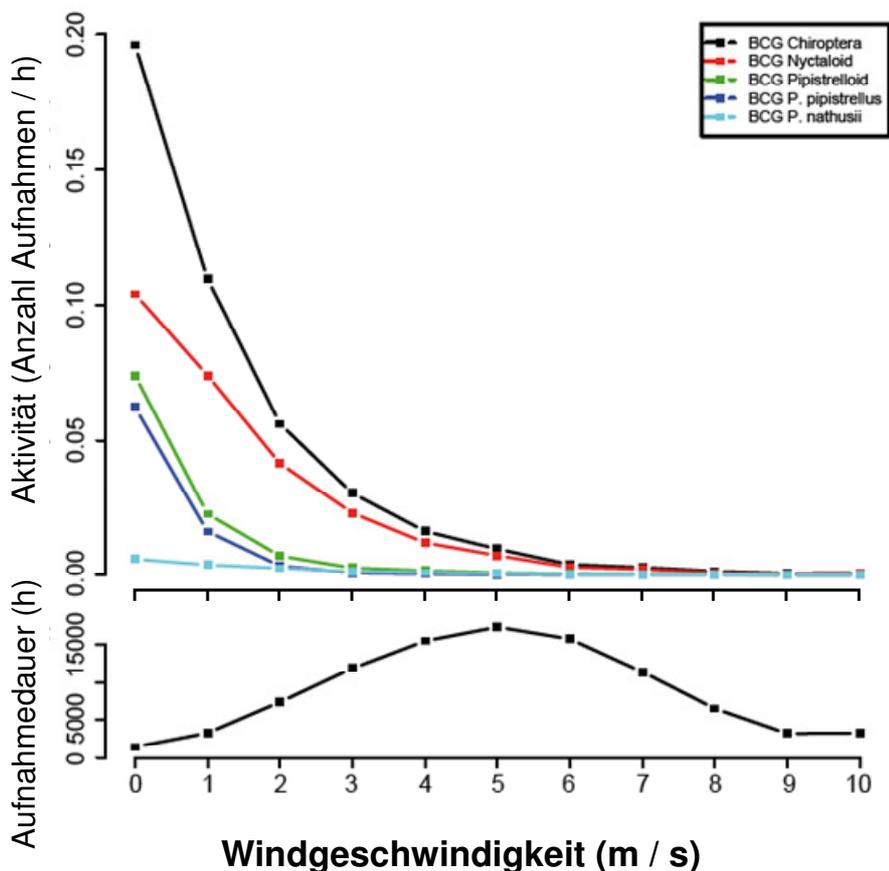


Abbildung 2 Fledermausaktivität (als Anzahl Aufnahmen pro Stunde) für verschiedene Windgeschwindigkeitsklassen. Linien unterschiedlicher Farbe für verschiedene Arten(-gruppen): Fledermäuse insgesamt, Nyctaloid-Gruppe (v. a. Großer und Kleiner Abendsegler, Breitflügel- und Zweifarbfledermaus), Pipistrelloid-Gruppe (v. a. Zwerg-, Rauhaut-, und Mückenfledermaus), Zwergfledermaus und Rauhauffledermaus. Darunter dargestellt die Verteilung der Erfassungsdauern auf die Windgeschwindigkeitsklassen.

Für die Temperatur zeigte sich eine deutliche Abnahme der Fledermausaktivität unter 15°C. Für den Niederschlag führten bereits die niedrigsten messbaren Werte (Nebel) ebenfalls zu einer starken Abnahme der Aktivität.

Zur Vorhersage der Fledermausaktivität aus den genannten Einflussfaktoren verwendeten wir ein Generalisiertes Lineares Modell (GLM - Annahme einer Poisson-Verteilung der Aktivitätsdaten; alle genannten Einflussfaktoren signifikant im Likelihood-ratio Test). Dieses Aktivitäts-Modell ermöglicht zeitlich differenzierte Vorhersagen zur Fledermausaktivität an den untersuchten Anlagen (wir verwendeten hierfür Zehn-Minuten-Intervalle). Diese vorhergesagten Fledermausaktivitäten können wiederum in die Berechnung der resultierenden Anzahl getöteter Fledermäuse (s. Abschnitt „Ermittlung der Anzahl von Schlagopfern aus akustischen Aktivitätsmessungen“) einfließen. Es ist dann möglich, basierend auf den gemessenen Einflussfaktoren Monat, Nachtzeit, Windgeschwindigkeit, Temperatur und Niederschlag für einzelne Zeitabschnitte einen Erwartungswert für die Zahl getöteter Fledermäuse anzugeben. Eine Gegenüberstellung dieses Erwartungswertes und des im selben Zeitintervall erzielten Energieertrags der Anlage ermöglicht dann eine direkte Abwägung von Belangen des Artenschutzes und der Energieerzeugung.

Dieses Vorgehen ist auf Anlagen an anderen Standorten übertragbar: Für diese Anlagen ist zunächst die Fledermausaktivität in Abhängigkeit von den zur Vorhersage gewünschten Einflussfaktoren zu messen und daraus das entsprechende Modell zur Aktivitätsvorhersage zu entwickeln (im einfachsten Fall z.B. allein aufgrund der Windgeschwindigkeit). Für Anlagen mit dem in Mitteleuropa an WEA typischen Artenspektrum und ähnlichen Rotordimensionen (~ 30 - 35m Rotorradius) kann dann mit Hilfe des von uns kalibrierten Modells die Zahl zu erwartender toter Fledermäuse berechnet werden (s. Abschnitt „Ermittlung der Anzahl von Schlagopfern aus akustischen Aktivitätsmessungen“).

Basierend auf dem geschilderten Vorgehen kann das Kollisionsrisiko von Fledermäusen z. B. durch einen anlagenspezifischen Betriebsalgorithmus reduziert werden, der den Rotor unterhalb eines festzulegenden Schwellenwertes zum Stillstand bringt. Die Wirksamkeit solcher Betriebsalgorithmen wurde nach unserer Kenntnis bislang weltweit in drei Experimenten nachgewiesen (Behr und von Helversen 2006; Arnett, Schirmacher et al. 2009; Baerwald, Edworthy et al. 2009). Hierbei wurden als Einschaltpunkt jeweils Windgeschwindigkeiten festgelegt, die über der Windgeschwindigkeit lagen, ab der die Anlagen normalerweise in Betrieb gehen. Im Gegensatz zu diesem relativ groben Muster für den Anlagenbetrieb hat das hier von uns dargestellte Vorgehen folgende Vorteile: Die von uns vorgeschlagenen Betriebsalgorithmen

- sind **anlagenspezifisch** und berücksichtigen daher die teilweise sehr großen Unterschiede zwischen einzelnen Anlagen in der Fledermausaktivität und im erzielten Ertrag
- berücksichtigen zur Vorhersage von Gefährdungszeiträumen über die Windgeschwindigkeit hinaus **weitere Einflussfaktoren** wie Monat, Nachtzeit, Temperatur und Niederschlag
- ermöglichen damit eine Gewichtung verschiedener Jahreszeiten
- können für ein festzulegendes Schlagrisiko für Fledermäuse spezifiziert werden.

Die Forschung kann dieses in Kauf genommene Risiko des Fledermausschlags lediglich quantifizieren, eine Festlegung muss jedoch das Ergebnis eines politisch-gesellschaftlicher Abwägungsprozesses sein.

„Fledermausfreundliche“ Betriebsalgorithmen ziehen Ertragseinbußen für den Betreiber der WEA nach sich. Von Vorteil ist hier, dass die Sommermonate mit einem Schwerpunkt der Fledermausaktivität häufig die windärmsten Monate des Jahres sind und dass in diesen Monaten die Nächte relativ kurz und die Nachtstunden ertragsärmer als die Tagesstunden sind. Ein positiver Faktor ist weiterhin, dass der Ertrag einer WEA mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit steigt. Zeiten mit niedrigen Windgeschwindigkeiten und damit höherer Fledermausaktivität haben dementsprechend einen verhältnismäßig geringen Anteil am Gesamtertrag.

Anhand des im Forschungsvorhaben erhobenen Datensatzes können mögliche Szenarien „fledermausfreundlicher“ Betriebsalgorithmen für die untersuchten Anlagen berechnet werden. Hieraus ergeben sich die zu erwartenden Ertragsverluste für einen festzulegenden Schwellenwert von im Mittel X toten Fledermäusen je Anlage im Untersuchungszeitraum (15.06.2008 bis 31.10.2008). Hierbei zeigt sich, dass der zu erwartenden Ertragsverlust bei Berücksichtigung

1. von nur Windgeschwindigkeit am höchsten liegt,
2. von Windgeschwindigkeit, Monat und Nachtzeit gegenüber 1 deutlich reduziert wird,
3. von Windgeschwindigkeit, Monat, Nachtzeit, Temperatur und Niederschlag gegenüber 2 eine nochmalige geringfügige Verminderung erfährt.

Literatur

Arnett, E. B., M. Schirmacher, M. M. P. Huso und J. P. Hayes (2009). Effectiveness of changing wind turbine cut-in speed to reduce bat fatalities at wind facilities. An annual report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Austin, Texas, USA, Bat Conservation International.

Baerwald, E. F., J. Edworthy, M. Holder und R. M. R. Barclay (2009). "A large-scale mitigation experiment to reduce bat fatalities at wind energy facilities." Journal of Wildlife Management **73**: in press.

Behr, O. und O. von Helversen (2006). Gutachten zur Beeinträchtigung im freien Luftraum jagender und ziehender Fledermäuse durch bestehende Windkraftanlagen - Wirkungskontrolle zum Windpark „Roßkopf“ (Freiburg i. Br.) im Jahr 2005. Erlangen, Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der regiowind, Freiburg.

Einsatz akustischer Aktivitätsmessungen zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen

- Ermittlung der Anzahl von Schlagopfern aus akustischen Aktivitätsmessungen -

FRÄNZI KORNER-NIEVERGELT^a, OLIVER BEHR^b, ROBERT BRINKMANN^c,
JÜRGEN MAGES^b, IVO NIERMANN^c

^a oikostat GmbH, Ettiswil (CH)

^b Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Institut für Tierphysiologie, Erlangen

^c Leibniz Universität Hannover, Institut für Umweltplanung, Hannover

Der Genehmigungsprozess für WEA-Standorte schließt in der Regel eine Analyse möglicher Auswirkungen auf die Fledermaus-Fauna ein. Häufig werden an bestehenden Anlagen Totfundnachsuchen durchgeführt, um die Zahl der durch Windenergie-Rotoren verursachten Schlagopfer zu quantifizieren. Mehrere Untersuchungen im Europa und den USA haben jedoch gezeigt, dass die tatsächliche Zahl von Schlagopfern extrem unterschätzt werden kann, wenn bei den Totfundnachsuchen standortspezifische Korrekturfaktoren nicht berücksichtigt werden. Die anlagenspezifische Erfassung der absuchbaren Fläche, Schwundrate und Nachsucheffizienz sind allerdings mit einem relativ großen Aufwand verbunden. Darüber hinaus sind Totfundnachsuchen z. B. an Standorten mit hoher Schwundrate oder geringer absuchbarer Fläche nur mit extrem großem Aufwand sinnvoll durchführbar. Deshalb sollten alternative Methoden zur Erfassung des Kollisionsrisikos etabliert werden.

Das N-mixture Modell ist eine neu entwickelte Methode, um die Anzahl der an einer Windkraftanlage verunglückten Fledermäuse aus akustischen Aktivitätsmessungen zu ermitteln. Die Berechnungen beruhen auf akustischen Aufnahmen von Fledermausrufsequenzen (als Maß für die Fledermausaktivität), der mittleren Windgeschwindigkeit pro Nacht sowie der Zahl gefundener toter Fledermäuse an den darauf folgenden Tagen. Wurde das Modell anhand eines solchen Datensatzes etabliert, so ist die Berechnung von Schlagopfern aus der akustischen Aktivität auf vergleichbare Anlagen übertragbar. Eine Totfundnachsuche ist dann nicht mehr notwendig.

Im N-mixture Modell werden die Zahlen der Fledermausrufsequenzen sowie die Windgeschwindigkeit über zwei Teilmodelle mit der Zahl der tot aufgefundenen Fledermäuse in Zusammenhang gebracht. Ermittelt wird dabei der Zusammenhang zwischen der Zahl verunglückter Fledermäuse und den beiden Variablen Windgeschwindigkeit und akustische Aktivität. Ausgegeben wird darüber hinaus die Zahl tatsächlich verunglückter Fledermäuse und die Wahrscheinlichkeit, dass eine verunglückte Fledermaus bei der Nachsuche gefunden wird.

Das erste Teilmodell beschreibt den Zusammenhang zwischen der Anzahl verunglückter Fledermäuse und den Variablen Windgeschwindigkeit und akustische Aktivität. Es wird angenommen, dass die Zahl verunglückter Fledermäuse einer Poissonverteilung folgt.

$$M_i \sim \text{Poisson}(\mu_i)$$

$$\log(\mu_i) = \alpha_0 + \alpha_1 \text{Aktivität}_i + \alpha_2 \text{Windgeschwindigkeit}_i + \alpha_3 \text{Windgeschwindigkeit}_i^2$$

α_0 ist der Achsenabschnitt, α_1 , α_2 und α_3 beschreiben die Stärke des Einflusses von Aktivität respektive Wind auf die Zahl verunglückter Fledermäuse (M). Das Modell lässt einen quadratischen Effekt von Windgeschwindigkeit zu.

Das zweite Teilmodell beschreibt den Suchprozess. Wenn eine Fledermaus verunglückt, wird sie mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit am darauf folgenden Tag gefunden. Dieser Prozess wird durch ein Binomialmodell beschrieben, das die Zahl verunglückter Fledermäuse M und die Wahrscheinlichkeit, dass eine verunglückte Fledermaus gefunden wird, als Parameter besitzt:

$$C_i \sim \text{Binom}(p_{\text{Anlage}[i]}, M_i)$$

Die Wahrscheinlichkeit, dass eine verunglückte Fledermaus gefunden wird, unterscheidet sich zwischen den Anlagen.

Die im Forschungsvorhaben erhobenen Daten umfassten über 18 498 Rufsequenzen aus 1 698 Nächten in den Jahren 2007 und 2008. Nach diesen Nächten wurden insgesamt 57 tote Fledermäuse gefunden.

Die angepasste Modellgleichung lautete: $\mu_i = \exp(-5.5 + 0.4 * tA_i + 2.9 * tW_i - 0.7 * tW_i^2)$, wobei $tA_i = \log(A_i+1)/\text{sd}(\log(A+1))$ und $tW_i = W_i/\text{sd}(W)$. Dieses Modell zeigt, dass bei Windgeschwindigkeiten zwischen 2 und 6 m/s und hohen Aktivitäten viele Fledermäuse verunglücken, während bei Windstärken unter 2 m/s und über 6 m/s nur wenige Fledermäuse verunglücken (Abb. 1).

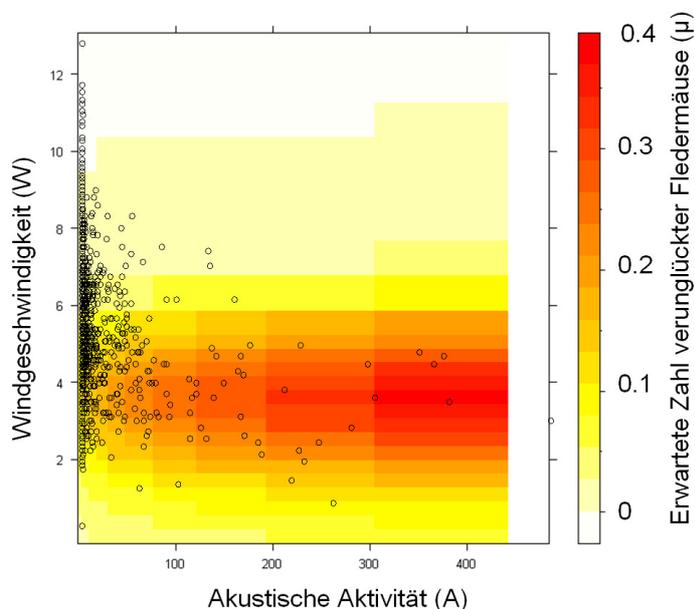


Abbildung 1 Erwartete mittlere Anzahl verunglückter Fledermäuse pro Nacht und Anlage (Farbcode) und gemessene akustische Aktivitäten und Windgeschwindigkeiten pro Nacht und Anlage (schwarze Kreise).

Das Modell erlaubt daher die Zahl während der Sommermonate Juli – September verunglückter Fledermäuse für jede der 30 untersuchten Anlagen zu berechnen. Im Mittel verunglückten 7,1 Fledermäuse je Anlage.

Das N-mixture Modell liefert annähernd gleiche Ergebnisse wie die Hochrechnung gefundener toter Fledermäuse mittels Korrekturfaktoren. Es ermöglicht darüber hinaus für Fälle mit null Totfunden eine vernünftige Berechnung der Zahl verunglückter Fledermäuse. Die Erfassung der dem N-mixture Modell zugrunde liegenden Daten ist einfacher als die Ermittlung der Korrekturfaktoren für Totfundnachsuchen, da keine Sucheigenschaften und Schwundraten bestimmt werden müssen. Wenn das Modell einmal für einen bestimmten Anlagentyp (entscheidend ist hierbei in erster Linie der Rotordurchmesser) kalibriert wurde, kann es auch für Anlagen verwendet werden, an denen keine Totfundnachsuchen durchgeführt wurden. Alleine aus Aktivitäts- und Windmessungen kann dann die Zahl verunglückter Fledermäuse berechnet werden. Zusätzlich erlaubt das N-mixture Modell eine detailliertere Analyse der Zusammenhänge zwischen Schlagopferzahl und Wind respektive Aktivität als dies mit den Daten aus Totfundnachsuchen möglich ist.

Einfluss des Standortes auf das Kollisionsrisiko - Erste Ergebnisse einer Umfeldanalyse

IVO NIERMANN^a, ROBERT BRINKMANN^a, OLIVER BEHR^b, JÜRGEN MAGES^b, FRÄNZI
KORNER-NIEVERGELT^c

^a Leibniz Universität Hannover, Institut für Umweltplanung, Hannover

^b Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Institut für Tierphysiologie, Erlangen

^c oikostat GmbH, Ettiswil (CH)

In verschiedenen vorliegenden Studien wird auf ein erhöhtes Kollisionsrisiko für Fledermäuse an Windenergieanlagen (WEA) im Wald oder in der Nähe von Gehölzstrukturen hingewiesen. Darauf aufbauend wird in einzelnen Bundesländern zur Risikovorsorge empfohlen, beim Bau von WEA Mindestabstände vom Wald oder von Gehölzen einzuhalten. In ähnlicher Weise wurden Abstandsregeln für weitere, potenziell wichtige Lebensräume für Fledermäuse formuliert. Unter anderem existieren Empfehlungen zur Beachtung von Abständen von:

- Wäldern (Gehölzen)
- stehenden Gewässern und Fließgewässern
- Fledermauswinterquartieren und -wochenstuben
- Städten und ländlichen Siedlungen
- NATURA 2000-Gebieten
- bedeutsamen Jagdgebieten und
- Flugwegen

Im Forschungsvorhaben ergab sich anhand der im Jahr 2008 an insgesamt 66 WEA ermittelten akustischen Aktivitätsdaten die Möglichkeit, ein Teil der aufgeführten Faktoren im Hinblick auf ihren Einfluss auf die Fledermausaktivität zu prüfen. Ausgewählt wurden drei Landschaftsparameter, die über flächendeckend vorhandene Daten einfach ermittelt werden können, nämlich der Abstand zu Wäldern und Gehölzen sowie zu Gewässern.

Für die Prüfung des Zusammenhangs wurden in einem ersten Ansatz die Entfernungen der Anlagen zu dem jeweils nächstgelegenen Gehölzbestand, Wald und Gewässer gemessen. Diese Daten wurden zusammen mit Eigenschaften der WEA (Rotordurchmesser, Nabenhöhe, Befuerung etc.) auf ihren Erklärungsgehalt für die Fledermausaktivität geprüft. Als Bezugsmaß diente hier erstmals nicht die Anzahl gefundener toter Fledermäuse, sondern ein aus den akustischen Daten abgeleiteter Aktivitätskoeffizient. Der Aktivitätskoeffizient wurde mit Hilfe eines statistischen Modells (GLM – s. Abschnitt „Vorhersage von Gefährdungszeiträumen und Anpassung von Betriebsalgorithmen“) für die untersuchten WEA errechnet und war für den Einfluss der Windgeschwindigkeit, des Monats und der Nachtzeit korrigiert. Der Aktivitätskoeffizient beschrieb daher den Anteil der Aktivität, der nicht durch die o.g. Faktoren erklärt werden konnte.

Die Auswertung der beschriebenen Daten zeigt, dass von den untersuchten Standort- und Anlagenparametern nach den bisherigen Ergebnissen allein der Naturraum einen signifikanten Einfluss auf die Aktivität der Fledermäuse hat, d.h. einen Erklärungsgehalt für das Aktivitätsniveau an den WEA besitzt. Die bislang auf einfache Weise ermittelten Abstandsmaße z.B. zu Wald oder zu Gewässern zeigten in der Analyse teilweise keinen, teilweise nur einen tendenziellen, nicht signifikanten Einfluss.

Da die Frage der Abstandsregelung für die Praxis von besonderer Bedeutung ist, werden wir weitere Auswertungen mit der Einbeziehung komplexerer Landschaftsparameter anschließen, so dass hier zum aktuellen Zeitpunkt noch keine abschließende Aussage möglich ist.

Zusammenfassung der Ergebnisse für die Planungspraxis und Ausblick

ROBERT BRINKMANN^a, IVO NIERMANN^a, OLIVER BEHR^b, JÜRGEN MAGES^b, FRÄNZI KORNER-NIEVERGELT^c, MICHAEL REICH^a

^a Leibniz Universität Hannover, Institut für Umweltplanung, Hannover

^b Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Institut für Tierphysiologie, Erlangen

^c oikostat GmbH, Ettiswil (CH)

In den Jahren 2007 und 2008 wurden an insgesamt 84 Windenergieanlagen (WEA) in 42 Windparks im gesamten Bundesgebiet erstmals umfangreiche und repräsentative Daten zum Kollisionsrisiko von Fledermäusen an WEA systematisch erhoben.

Die Ergebnisse bestätigen, dass sich das Kollisionsrisiko auf eine Gruppe von Fledermausarten beschränkt, die bevorzugt im freien Luftraum jagt und überwiegend auch Zugverhalten zeigt. Für Arten der Gattung *Myotis* bestand dagegen an den von uns untersuchten Standorten praktisch kein Kollisionsrisiko. Bei der Beurteilung des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an WEA ist es daher aus unserer Sicht zulässig, sich in konkreten Standortplanungen auf die als kollisionsgefährdet eingestuften Arten zu konzentrieren.

Die Anzahl der bei den Totfundnachsuchen gefundenen Tiere unterschied sich deutlich für die von uns untersuchten Standorte (0 - 14 tot gefundene Tiere, nach Berücksichtigung der Suchfehler und des Flächenfaktors 0 - 54 Tiere je Anlage im Untersuchungszeitraum Juli bis September). Auch die akustischen Aktivitätsmessungen in der Gondel zeigten starke Aktivitätsunterschiede zwischen den Standorten. Daraus resultiert, dass das Kollisionsrisiko anlagenspezifisch bestimmt werden kann und sollte.

Auch zwischen den von uns untersuchten Naturräumen ergaben sich signifikante Unterschiede. So war z.B. die Aktivität von Fledermäusen an WEA im Naturraum Mittelbrandenburgische Platten im Mittel deutlich größer als z.B. im Naturraum Ostfriesisch-Oldenburgische Geest. Entsprechend kann in der Planungspraxis im letztgenannten Naturraum im Mittel eher mit geringeren Aktivitäten an einzelnen WEA-Standorten gerechnet werden. Bei der Betrachtung von Einzelstandorten zeigte sich, dass die in Gondelhöhe gemessene Fledermausaktivität – und damit das Kollisionsrisiko – an windreichen Standorten im Mittel geringer ist als an windarmen Standorten.

Die kontinuierliche akustische Erfassung in den Gondeln der WEA erlaubte eine direkte zeitliche Korrelation der Fledermausaktivität mit den gemessenen Witterungsfaktoren. Den größten Einfluss auf die Aktivität übt demnach die Windgeschwindigkeit aus, gefolgt von Monat und Nachtzeit und wiederum gefolgt von Temperatur und Niederschlag. Den großen Einfluss der Windgeschwindigkeit auf die Aktivität zeigt Tabelle 1.

Windgeschwindigkeitsklassen (m/s)	Zwergfledermaus	Rauhautfledermaus	„Nyctaloid“
< 4	70 %	60 %	55 %
< 5	85 %	75 %	75 %
< 6	95 %	90 %	90 %

Tabelle 1 Kumulierte Fledermausaktivität in Prozent für verschiedene Windgeschwindigkeitsklassen – gemessen in Gondelhöhe (Angaben gerundet, Daten gemittelt über alle untersuchten Standorte und Anlagen)

Zur Einschätzung des möglichen Kollisionsrisikos an geplanten WEA-Standorten werden aktuell in der Regel bodengestützte Detektorerfassungen, in Einzelfällen ergänzt durch stichprobenhafte Detektorerfassungen in der Höhe, durchgeführt. Aufgrund der begrenzten Erfassungsreichweiten der eingesetzten Detektoren, des geringen Stichprobenumfangs der Untersuchungen oder der grundsätzlichen Tatsache, dass mögliche Anlockwirkungen von WEA bei Voruntersuchungen grundsätzlich nicht berücksichtigt werden können, verbleiben häufig Unsicherheiten in der Beurteilung des spezifischen Kollisionsrisikos. Es bietet sich daher an, diese Voruntersuchungen durch die direkte Erfassung des Kollisionsrisikos (durch Totfundnachsuchen oder die akustische Erfassung der Aktivität in Gondelhöhe) nach dem Bau der Anlagen zu ergänzen. Ebenso halten wir eine Untersuchung benachbarter Anlagen an vergleichbaren Standorten im direkten Umfeld des geplanten WEA-Standortes für aussagekräftiger als die bislang allgemein empfohlenen bodengestützten Untersuchungen.

Werden Totfundnachsuchen zur Ermittlung der Gesamtzahl der verunglückten Tiere durchgeführt, so ist es zwingend erforderlich, auch die Suchfehler (Abtragate und Sucheffizienz) standortspezifisch zu ermitteln. Ist die Abtragate hoch, müssen enge Suchintervalle (in vielen Fällen vermutlich täglich) gewählt werden. Bei einer geringen Abtragate (ggf. durch Vorversuche zu ermitteln), können die Suchintervalle auch verlängert werden. Die Abtragate wird am Besten mit den verunglückten Fledermäusen selbst ermittelt, alternativ können aber auch wildfarbene Labormäuse als Modellorganismen genutzt werden. Ein Suchradius von 50 m um die Anlage wird als ausreichend angesehen. Die im Rahmen des Forschungsvorhabens entwickelte Formel (oikostat-Formel) zur Berücksichtigung der Suchfehler erlaubt eine relativ genaue Hochrechnung der verunglückten Fledermäuse. Zusätzlich ist auch die Ungleichverteilung der Fledermäuse auf der abgesuchten Fläche („geometrischer Effekt“, Verdriftung) zu berücksichtigen. Dieses empfohlene Vorgehen führt im Ergebnis in den allermeisten Fällen zu deutlich niedrigeren Schätzwerten als die bislang häufig verwendeten einfachen Schätzverfahren, in der die Entdeckungswahrscheinlichkeit als Produkt aus der Effizienz der Suchenden und der Verbleiberate der Kadaver geschätzt wird und die gleichzeitig von einer Gleichverteilung der verunglückten Fledermäuse im Suchraum ausgehen.

Im Gegensatz zur Totfundnachsuche ist die Ermittlung des Kollisionsrisikos mittels akustischer Erfassung in Gondelhöhe an bestehenden WEA in der Regel genauer und deutlich weniger aufwendig. Ein Monitoring der Fledermausaktivität ist sowohl mit dem Anabat SD1 Recorder als auch mit dem Batcorder möglich. Werden die Geräte in gleicher Weise wie im Forschungsvorhaben eingesetzt (Aufnahmeposition, Kalibrierung, Mikrofonscheibe) kann das Kollisionsrisiko mit den im Vorhaben ermittelten Referenzwerten sicher quantifiziert werden. Hierbei sind jedoch wichtige Rahmenbedingungen zu beachten (s. Vortrag „Akustische Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen“). Wir empfehlen zurzeit ein akustisches Monitoring nach Inbetriebnahme der Anlagen über zwei Jahre durchzuführen, da bislang nicht bekannt ist, inwieweit zwischen verschiedenen Jahren signifikante Unterschiede in der Aktivitätsverteilung bestehen. Von

der weiteren Auswertung unseres Datensatzes erhoffen wir uns Hinweise darauf, ob eine Erfassung über den gesamten Aktivitätszeitraum von April bis Oktober erforderlich ist, oder ob auch die Erfassung in anderen ausgewählten Zeiträumen eine Prognose des Kollisionsrisiko ermöglichen kann.

Eine Reduzierung des Kollisionsrisikos – sollte dies im Rahmen der Genehmigung erforderlich werden – kann derzeit nur über die Standortwahl oder eine Abschaltung der Anlagen zu Zeiten mit hoher Fledermausaktivität erfolgen.

Bei den von uns bislang untersuchten Standortparametern besitzt nach den bisherigen Auswertungen allein der Naturraum einen signifikanten Einfluss auf die Aktivität der Fledermäuse. Einfach ermittelte Abstandsmaße z.B. zu Wald oder zu Gewässern zeigten bislang nur einen tendenziellen, nicht signifikanten Einfluss. Zur Überprüfung dieser für die Praxis besonders relevanten Frage stehen jedoch noch weitere Auswertungen mit der Einbeziehung komplexerer Landschaftsparameter aus, so dass aktuell noch keine abschließende Aussage möglich ist.

Die zurzeit effektivste Methode zur Reduktion des Kollisionsrisikos ist die Abschaltung der WEA während Zeiten erhöhter Fledermausaktivität im Rotorbereich. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden signifikante Korrelationen zwischen der Aktivität einerseits und Zeit- und Witterungsparametern (Windgeschwindigkeit, Temperatur, Regen, s.o.) andererseits ermittelt. Sind diese Zusammenhänge bekannt, kann die Fledermausaktivität anlagenspezifisch und zeitlich relativ genau prognostiziert werden. Über ein von uns entwickeltes Modell können die Zeiträume optimiert werden, in denen Betriebsreduktionen einen hohen Minderungseffekt aufweisen und zugleich nur mit geringen Energie-Ertragsverlusten verbunden sind.

Der uns zur Verfügung stehende Untersuchungszeitraum erlaubt keine Aussagen darüber, ob sich die Aktivität von Fledermäusen an WEA über die Jahre hinweg verändert. Hierzu regen wir an, im Rahmen weiterer Forschungen ausgewählte Standorte im Bundesgebiet über fünf Jahre hinweg zu untersuchen. Weiterhin ist es wünschenswert, unsere Untersuchungsergebnisse mit Messungen in weiteren, bislang nicht oder nur cursorisch beprobten Naturräumen z.B. in Bayern, Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen zu ergänzen und den Datensatz damit weiter zu verbessern. Auch für zukünftig in der Praxis durchgeführte akustische Monitoring-Untersuchungen wäre es wünschenswert, wenn diese auf unseren methodischen Ansatz zurückgreifen würden und somit die grundlegenden Erkenntnisse sowohl räumlich als auch inhaltlich erweitert werden könnten.

Weitere Informationen zum Forschungsprojekt und den erzielten Ergebnissen werden im Internet unter www.umwelt.uni-hannover.de zur Verfügung gestellt (Kurzfassung der Vorträge dieser Tagung, weitere Veröffentlichungen).

Über weitere Veröffentlichungen des Projektes informieren wir gerne. Eine zeitnahe Benachrichtigung kann durch die Aufnahme in unseren Info-Verteiler erreicht werden. Die Aufnahme in den Verteiler erfolgt durch eine E-mail an fledermaeuse-wea@umwelt.uni-hannover.de (Betreff: Hinweis Publikationen erwünscht).