

Der Beitrag von Kollisionsopfersuchen zur Abschätzung des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Windenergieanlagen

Von der Fakultät für Architektur und Landschaft
der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
zur Erlangung des Grades
eines Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)
genehmigte Dissertation von
Dipl.-Ing. Ivo Niermann
geboren am 20.09.1969 in Darmstadt

2015

erster Gutachter: Prof. Dr. rer. nat. Michael Reich
zweiter Gutachter: Prof. Dr. rer. nat. Hans-Michael Poehling

Tag der Promotion: 19. November 2014

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|------|
| Inhaltsverzeichnis..... | I |
| Vorwort und Danksagung..... | III |
| Kurzfassung | IV |
| Abstract | VIII |
| 1 Einleitung..... | 1 |
| 1.1 Entwicklung der Windenergie in Deutschland..... | 2 |
| 1.2 Rechtlicher Schutz der Fledermäuse vor Tötung und Verletzung | 3 |
| 1.3 Erkenntnisse zu Fledermauskollisionen an WEA | 7 |
| 1.4 Kollisionsopfersuche in der Genehmigungspraxis | 10 |
| 1.5 Ziel der Arbeit und Untersuchungsfragen..... | 13 |
| 1.6 Aufbau der Arbeit..... | 15 |
| 2 Systematische Schlagopfersuche – methodische Rahmenbedingungen, statistische Analyseverfahren und Ergebnisse | 17 |
| 3 Windbedingte Verdriftungen von Fledermausschlagopfern an Windenergieanlagen – ein Diskussionsbeitrag zur Methodik der Schlagopfersuche..... | 19 |
| 4 The catchment area of wind farms for European bats: A plea for international regulations | 21 |
| 5 Einfluss von Anlagen- und Landschaftsvariablen auf die Aktivität von Fledermäusen an Windenergieanlagen..... | 23 |
| 6 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse | 25 |
| 6.1 Optimierungspotenzial der Kollisionsopfersuche | 25 |
| 6.2 Empfindlichkeit von Fledermäusen gegenüber dem Kollisionsrisiko | 31 |
| 6.3 Einfluss von Anlagen- und Landschaftsvariablen auf die Fledermauskollisionen ... | 39 |
| 7 Empfehlungen für die Genehmigungspraxis | 41 |
| 8 Ausblick..... | 43 |
| 9 Quellenverzeichnis..... | 45 |

Abkürzungen:

| | |
|----------|---|
| BMU | Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit |
| BNatSchG | Bundesnaturschutzgesetz |
| BVerwG | Bundesverwaltungsgericht |
| EEG | Erneuerbare-Energien-Gesetz |
| FFH-RL | Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie |
| OVG | Oberverwaltungsgericht |
| StrEG | Stromeinspeisegesetz |
| VG | Verwaltungsgericht |
| WEA | Windenergieanlage(n) |

Vorwort und Danksagung

Die vorliegende Dissertation ist im Rahmen des Forschungsvorhabens „Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen“ entstanden und wurde gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Förderkennzeichen 0327638 B). Das Vorhaben wurde von 2007 bis 2009 am Institut für Umweltplanung (IUP) der Leibniz Universität Hannover in Zusammenarbeit mit dem Institut für Zoologie (Lehrstuhl II) der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg bearbeitet.

Eines der Hauptziele des Forschungsvorhabens war es, zu ermitteln, von welchen Rahmenbedingungen die Fledermauskollisionen an Windenergieanlagen (WEA) abhängig sind. Insbesondere der Bezug zur Jahreszeit, der Nachtzeit, der Windgeschwindigkeit und der Temperatur sowie anderer Umweltparameter (z. B. Landnutzung in der Umgebung der Anlagen) sollte untersucht werden. Diese Untersuchungen sollten zudem an einer größeren Auswahl von WEA im Bundesgebiet durchgeführt werden, um die Auswirkungen verschiedener naturräumlicher Bedingungen (Artenzusammensetzungen, Biototypenausstattung etc.) in die Ergebnisse einfließen zu lassen.

Das zweite wesentliche Ziel des Forschungsvorhabens bestand darin, zu prüfen, ob eine Korrelation zwischen der akustischen Fledermausaktivität in Gondelhöhe der WEA und der Anzahl der um den Turmfuß gefundenen Fledermauskollisionsopfer besteht. Da die Ergebnisse der Kollisionsopfersuche den zentralen Maßstab für die Bemessung der Kollisionsgefahr an den Anlagen im Projekt darstellten, war es notwendig, dieser Suche eine besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Die Verantwortung für die Konzeption, Durchführung und Auswertung der Kollisionsopfersuche an den ausgewählten WEA lag dabei beim Institut für Umweltplanung und wurde von mir durchgeführt.

Die Erkenntnisse aus einem nachfolgenden Forschungsvorhaben zur „Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen“, das ebenfalls vom BMU gefördert (Förderkennzeichen 0327638 D) und von 2011 bis 2013 durchgeführt wurde, sind punktuell in die Diskussion eingeflossen.

Mein Dank gilt insbesondere Prof. Dr. Michael Reich für die Betreuung der Arbeit. Außerdem danke ich dem Zweitgutachter Prof. Dr. Hans-Michael Poehling für die kurzfristige Übernahme der Begutachtung. Dr. Robert Brinkmann möchte ich für die jahrelange Unterstützung sowie die vertrauensvolle und konstruktive Zusammenarbeit im Rahmen der Forschungsvorhaben besonders danken. Auch den übrigen Kollegen, die an der Bearbeitung beteiligt waren, gilt mein herzlicher Dank. Nennen möchte ich insbesondere Dr. Stefan Rüter, Kristine Mayer, Dr. Oliver Behr und nicht zuletzt Dr. Fränzi Korner-Nievergelt. Dankbar bin ich auch den Kolleginnen und Kollegen am Institut für die ausgesprochen angenehme Arbeitsatmosphäre.

Nicht zuletzt gilt mein Dank meiner Familie. Mein Vater Dr. Manfred Niermann hat mich durch sein anhaltendes Interesse unterstützt, mein Bruder Jonas hat die Korrektur der englischen Zusammenfassung übernommen. Meiner Partnerin Kerstin Weingarten und unserem Sohn Simon danke ich für ihre Unterstützung und Geduld.

Kurzfassung

Schlagworte: Windenergieanlagen, Fledermäuse, Kollisionsopfersuchen

Die Windenergie ist in Deutschland die derzeit wichtigste Stromquelle aus erneuerbarer Energie (BMU 2011). Sie hat in den letzten zwei Jahrzehnten eine beispiellose Entwicklung genommen. Heute sind in Deutschland 23.030 Windenergieanlagen (WEA) mit einer Gesamtleistung von 31.307 MW installiert (Stand Dez. 2012, BWE 2013). Angesichts der Ausbauprognose der Windenergiebranche, die von einer zu installierenden Windleistung von 45.000 MW bis 2020 ausgeht (BEE 2009), ist mit einem weiteren deutlichen Ausbau der Windenergie auch an Land zu rechnen. Auch die ambitionierten Ziele des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG)¹, wonach der Anteil der Energien aus erneuerbaren Quellen in Zukunft deutlich zunehmen soll, führt sehr wahrscheinlich zu einem weiteren Ausbau der Windenergie.

Auf der anderen Seite ist in den letzten Jahren im Rahmen verschiedener Studien deutlich geworden, dass der Betrieb von WEA zu Kollisionen von Fledermäusen führen kann. Die verunglückten Tiere zeigen unterschiedliche, meist letale Verletzungen (z. B. offene Brüche, Platzwunden, innere Blutungen). Nur ein kleiner Teil (< 5 %) der Tiere ist zum Fundzeitpunkt noch am Leben.

Da alle Fledermausarten nach dem Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) zu den besonders geschützten Arten zählen, genießen sie einen strengen rechtlichen Schutz. Dieser spiegelt sich u. a. im § 44 Abs. 1 Nr. 1 des BNatSchG wider, der die Verletzung und Tötung von wild lebenden Tieren dieser Arten verbietet. Aufgrund dieses Verbotes kam es in vielen Fällen zu Verzögerungen bei der Genehmigung von neuen WEA. In Einzelfällen wurde der Bau dieser Anlagen mit dem Hinweis auf das Vorkommen von kollisionsgefährdeten Fledermausarten von den zuständigen Genehmigungsbehörden abgelehnt.

Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen eines durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) geförderten Forschungsvorhabens nach Möglichkeiten der Reduktion von Fledermauskollisionen an WEA gesucht. Ein wesentlicher Bestandteil dieser Untersuchung war eine umfassende, methodisch einheitliche Kollisionsopfersuche.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, Beiträge zur Schließung von Kenntnislücken zu liefern, die in Bezug auf die Erfassung des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Windenergieanlagen bestehen. Diese Kenntnislücken lassen sich drei übergeordneten Fragestellungen zuordnen:

1. Welche Optimierungspotenziale bietet die Methodik der Kollisionsopfersuche?
2. Zeigen bestimmte Fledermausarten oder Gruppen von Individuen (z.B. subadulte oder Männchen) eine besondere Empfindlichkeit gegenüber dem Kollisionsrisiko?
3. Haben Anlagen- und Landschaftsparameter einen Einfluss auf Fledermauskollisionen?

¹ EEG vom 29. März 2000 (BGBl. I S. 305).

Bei der ersten übergeordneten Fragestellung geht es um die Optimierung der Methode der Kollisionsoffersuche. Um aus der Zahl der gefundenen Kollisionsoffers auf die Zahl der insgesamt zu Tode gekommenen Fledermäuse hochrechnen zu können, wurden die wichtigsten Suchfehler quantifiziert, die im Zusammenhang mit der Kollisionsoffersuche auftreten. Diese Fehler sind dafür verantwortlich, dass nie alle Kollisionsoffers, die sich unter den Anlagen befinden, auch gefunden werden können. Zu diesen Fehlern gehören die anlagenspezifische Verbleiberate und die personenbezogene Sucheeffizienz. Darüber hinaus wurde an allen untersuchten Anlagen die Absuchbarkeit der Flächen klassifiziert, kartiert und diese bei entsprechenden Nutzungsänderungen laufend aktualisiert. Hinweise auf Optimierungsmöglichkeiten ergaben sich unter anderem auf der Grundlage der Ergebnisse mehrerer Versuche zur Erfassungsmethodik.

So konnte festgestellt werden, dass sich die Sucheeffizienz der Suchenden bei Fledermäusen nicht signifikant von der für Attrappen unterschied. Ebenso wenig konnte ein signifikanter Unterschied zwischen der Verbleiberate von Fledermäusen und der von dunklen Labormäusen (sogenannten Farbmäusen) ermittelt werden. Damit können dunkle Labormäuse genutzt werden, um die systematischen Fehler der Suchen zu quantifizieren. Für die Praxis ist dies von Vorteil, denn an den meisten Standorten verunglückten nicht genug Fledermäuse, um die Quantifizierung der Suchfehler mit verunglückten Fledermäusen absichern zu können.

Um Hinweise auf die Flächengröße zu bekommen, die abgesucht werden muss, um die Kollisionsoffers zu finden, wurde an einer WEA ein Abwurfexperiment durchgeführt. Dabei wurden tote Fledermäuse von einer WEA mit einer Nabenhöhe von ca. 99 m abgeworfen. So konnte festgestellt werden, dass die Tiere in Abhängigkeit von ihrer Masse und der Windgeschwindigkeit unterschiedlich weit verdriftet wurden. Mithilfe von Daten zur windabhängigen Aktivitätsverteilung von Fledermäusen an WEA wurde ein Modell zur möglichen Verteilung der Kollisionsoffers unter einer WEA berechnet. Dabei konnte errechnet werden, dass innerhalb der ersten 50 m um die Windenergieanlage ein großer Teil der Tiere (97 % der schweren Tiere, 73 % der leichten Tiere) zu finden sein sollten. Hieraus wird gefolgert, dass es in der Praxis ausreichend sein dürfte, die Suche auf die Kreisfläche zu beschränken, die im Radius der halben Nabenhöhe entspricht.

Auf der Grundlage der erhobenen Daten konnte mithilfe des Satzes von Bayes eine neue Formel zur Hochrechnung von Kollisionsofferszahlen erstellt werden. Die Ergebnisse dieser Formel weist – unter den vorgefundenen Rahmenbedingungen und im Gegensatz zu anderen Formeln – geringe systematische Fehler auf. Zudem lassen sich mithilfe dieser Formel auch für Anlagen, an denen keine Kollisionsoffers gefunden wurden, Hochrechnungen erstellen. Weiterhin weist die neue Formel stets mindestens so viele Kollisionsoffers aus, wie tatsächlich gefunden wurden. Bei einfacheren Formeln ist diese Anforderung nicht unter allen Umständen erfüllt.

Die Qualität der Hochrechnung – ausgedrückt in der Höhe des maximalen Fehlers – wird über die Höhe der Verbleiberate, der Sucheeffizienz und der absuchbaren Flächenanteile bestimmt. Indem Maßnahmen zur Verbesserung der Suchbedingungen durchgeführt werden, kann die Qualität der Hochrechnung beeinflusst werden. Hierzu unterbreitet die vorliegende Arbeit mehrere Vorschläge. Einen besonderen Einfluss auf die Qualität der gesamten Hochrechnung hat der Anteil der absuchbaren Flächen. Mit Hilfe einer grafischen Übersicht kann eine Abschätzung über die voraussichtliche Qualität der Hochrechnung vorgenommen werden, vorausgesetzt die Informationen über die Höhe der Suchfehler liegen grob vor. Diese Darstellung kann auch herangezogen werden, um die Kollisionssuche

zu planen. Wird eine bestimmte Qualität der Hochrechnung angestrebt, ergeben sich aus der Darstellung die Grenzen, innerhalb derer sich die einzelnen Suchfehler bewegen müssen, um die gewünschte Qualität zu erreichen. In der Summe konnten so mehrere Vorschläge zur fachlichen Optimierung der Kollisionsopfersuche gemacht werden. Dabei sind unter bestimmten Bedingungen auch Kostenreduktionen möglich.

Ein weiterer Bereich mit Kenntnislücken umfasst die Frage, ob bestimmte Fledermausarten oder Gruppen von Tieren eine besondere Empfindlichkeit gegenüber dem Kollisionsrisiko zeigen. Dies könnte auf die besondere (regionale) Gefährdung von bestimmten Arten hindeuten und Hinweise auf mögliche Gefährdungsursachen der Kollisionen geben.

Zur Beantwortung dieser Frage wurden alle 100 Fledermaus-Kollisionsopfer untersucht, die im Laufe der Bearbeitung an 30 WEA gefunden werden konnten. Es handelte sich um Individuen von insgesamt sieben Arten. Vertreten waren dabei ganz überwiegend jene Arten, die auch bundesweit besonders häufig unter den Kollisionsopfern vertreten sind. Die Kollisionsopfer der vier am häufigsten geschlagenen Arten (Rauhhaufledermaus, Abendsegler, Zwergfledermaus und Kleinabendsegler²) machten in der vorliegenden Untersuchung 88 % aller Opfer aus. Weiterhin wurden Individuen der Breitflügelfledermaus, der Zweifarbfledermaus und des Braunen Langohrs gefunden. Bei den hauptsächlich betroffenen Arten handelt es sich um Arten, die den freien Luftraum zur Jagd nutzen bzw. um solche Arten, die eine mäßige Bindung an Grenzstrukturen zeigen. Auffällig ist zudem, dass diese Arten ganz überwiegend zu den Langstreckenziehern gehören, also zu jenen Arten, die weite Strecken zwischen Sommer- und Winterlebensräumen überwinden.

Mit Hilfe der Hochrechnung konnte ermittelt werden, dass an den insgesamt 30 untersuchten Anlagen im Durchschnitt 9,5 Fledermäuse je Anlage und Untersuchungszeitraum (92 Tage) kollidiert sind. Die Spanne betrug für den Untersuchungszeitraum 0 bis 57,5 Tiere.

Die Untersuchung der regionalen Artenzusammensetzung der Kollisionsopfer ergab Unterschiede in der Anzahl der verunglückten Arten in Abhängigkeit von der naturräumlichen Region. Diese reichte von null bis maximal sechs Arten je Naturraum. Bei der regionalen Verteilung der Arten zeigten sich ebenfalls Unterschiede. Der augenscheinlichste war, dass sich die Opfer des Abendseglers auf die drei untersuchten östlichen naturräumlichen Regionen konzentrierten (D03, D12 und D14). Weiterhin fehlte die Zwergfledermaus in den drei untersuchten naturräumlichen Regionen, die an die Küste grenzten (D26, D27, D03). Insofern deutet sich hier eine geografische Verteilung der Kollisionsopfer an. Hinsichtlich des zeitlichen Auftretens der Kollisionsopfer deuten die erhobenen Daten an, dass die Rauhhaufledermaus im Vergleich zu den übrigen Arten etwas später in der Saison auftritt.

Bezüglich des Alters der Tiere ergab die Analyse in der Summe aller Tiere, die auf dieses Merkmal untersucht werden konnten (n=59), ein mehr oder weniger ausgeglichenes Verhältnis zwischen Jungtieren und ausgewachsenen Tieren. Dieses Verhältnis war jedoch bei einzelnen Arten zum Teil deutlich verschoben. Bei der Rauhhaufledermaus überwogen die ausgewachsenen Tiere, beim Abendsegler dagegen die Jungtiere. Das Geschlechterverhältnis bei den Kollisionsopfern war bei allen Arten mehr oder weniger ausgeglichen.

Die Herkunftsgebiete von einigen Kollisionsopfern (n=47) der vier hauptsächlich betroffenen Arten (Abendsegler, Kleinabendsegler, Zwergfledermaus und Rauhhaufledermaus) konnten mit Hilfe von stabilen Wasserstoffisotopen näher eingegrenzt werden. Danach kamen die Individuen des Abendseglers und des Kleinabendseglers am wahrscheinlichsten aus dem

² Die deutschen Namen der Fledermausarten richten sich nach DIETZ et al. (2007).

Baltikum, aus Weißrussland oder Russland, während die Zwergfledermäuse eher aus der Umgebung der Anlagen stammten. Die Ergebnisse bei der Rauhhautfledermaus ließen darauf schließen, dass sie die weiteste Entfernung zwischen ihren Sommerlebensräumen und den WEA, an denen sie verunglückt sind, zurückgelegt haben (nämlich Estland und/oder Russland).

Die dritte übergeordnete Fragestellung beschäftigt sich mit dem möglichen Einfluss der Anlagen- und Landschaftsparameter auf die Fledermauskollisionen. Auf Grundlage der Daten von 68 akustisch untersuchten WEA konnte der Einfluss verschiedener Anlagen- und Landschaftsvariablen auf die Aktivität der Fledermäuse mit Hilfe von statistischen Analysen geprüft werden. Dabei wurden u. a. der Einfluss des Abstandes zu Gehölzen und Wäldern sowie der Einfluss der Flächenanteile verschiedener Lebensraumtypen (auf der Basis von CORINE Land Cover Daten) in unterschiedlichen Radien (250 m bis 10.000 m) um die WEA untersucht.

Die Ergebnisse der Analysen zeigen, dass die Windgeschwindigkeit und die Temperatur einen bedeutenden Einfluss auf die Aktivität der Fledermäuse an den Gondeln der WEA haben. Außerdem spielen der Monat und der Naturraum eine wichtige Rolle für die Aktivität der Fledermäuse. Bei den übrigen Landschaftsvariablen zeigt lediglich ein Abstandsmaß – die Entfernung der Anlagen zu Gehölzen – in allen untersuchten Radien einen signifikanten, wenn auch schwachen Einfluss auf die Aktivität der Tiere. Demnach nimmt die Aktivität der Fledermäuse mit zunehmender Entfernung von Gehölzen im Durchschnitt geringfügig ab. Die Entfernung zu Feuchtgebieten sowie die Flächenanteile von drei Lebensraumtypen (Nadelwälder, komplexe Parzellenstruktur, natürliches Grünland) konnten in einzelnen Radien ebenfalls signifikante Ergebnisse erreichen, doch sind diese Ergebnisse zurückhaltend zu interpretieren, weil sie sich diese nicht in allen untersuchten Radien abzeichnen. Die einzige untersuchte Anlagenvariable, die Nabenhöhe, hat ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf die Aktivität der Fledermäuse an den Gondeln der WEA, wenn auch nur einen (mit dem Abstand zu den nächsten Gehölzen) vergleichbar geringen. Bei dieser Anlagenvariablen zeigte sich, dass die Aktivität innerhalb der Spanne der untersuchten Nabenhöhen mit zunehmender Nabenhöhe geringer wurde.

Im Hinblick auf die Genehmigungspraxis für die Errichtung und den Betrieb von Windenergieanlagen ist festzustellen, dass mittlerweile alle wichtigen Bausteine für die Planung, Durchführung und Auswertung von Kollisionsopfersuchen vorhanden sind. Dazu haben auch die in dieser Arbeit enthaltenen Artikel beigetragen. Die Vorteile der Methode liegen in der Qualität der Informationen, die über die verunglückten Tiere gewonnen werden: V. a. die Artzugehörigkeit, das Geschlecht und das Alter kann meist präzise ermittelt werden. Wird dagegen vorrangig nach einer Methode zur Definition der ggf. notwendigen Abschaltzeiten gesucht, bietet die akustische Erfassung mit ihrer hohen zeitlichen Datenauflösung deutliche Vorteile – vorausgesetzt, die hohen methodischen Hürden für die Umrechnung der akustischen Aktivität in die Anzahl der verunglückten Tiere werden genommen. Die Entscheidung, wann eine Kollisionsopfersuche durchzuführen ist, kann daher am Untersuchungsziel orientiert getroffen werden. Aus artenschutzrechtlichen Erwägungen heraus sollten Kollisionsopfersuchen nur dort durchgeführt werden, wo die Untersuchung selbst keine zusätzlichen Kollisionsopfer zur Folge hat. Diese Bedingungen sind insbesondere im Rahmen von Voruntersuchungen beim Repowering, bei Parkerweiterungen und im Rahmen der Erfolgskontrolle gegeben.

Abstract

Keywords: wind turbines, bats, fatality searches

Today, wind energy is Germany's primary source of renewable energy (BMU 2011). The sector experienced unprecedented development in the last two decades: as of December 2012, a total of 23,030 wind turbines with an aggregate capacity of 31,307 MW (BWE 2013) were in operation in the country. Given the growth forecast of the wind-energy industry, which targets the addition of nearly 14,000 MW by 2020 (BEE 2009), a continued significant expansion of onshore wind turbines can be expected. The ambitious goals of the Renewable Energy Sources Act (EEG), which aims for a notable increase in the share of energy from renewable sources in the future, likely further support the expansion of Germany's wind-power infrastructure.

However, in recent years several studies have shown that operating wind turbines can lead to collisions of bats. Animals that have collided with turbines display various, mostly lethal injuries (such as open fractures, lacerations, and internal bleeding) and few bats (<5%) are found alive.

The Federal Nature Conservancy Act (BNatSchG) established a definitive legal basis for the highest degree of protection for all bat species. This protection is reflected in Article 44 of the BNatSchG, which prohibits injuring or killing wild animals of these species. This protection has repeatedly delayed the construction of new wind turbines and, in some cases, approvals for new facilities were denied by the respective authorities due to the anticipated risk of bat collisions.

Given this context, the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, and Nuclear Safety (BMU) funded a project to research and evaluate options to reduce bat collisions at wind turbines. An essential component of the study was an extensive assessment of bat fatalities, based on a uniform methodology.

The purpose of this thesis is to contribute insights that help to close the existing knowledge gap related to gauging the collision risk of bats at wind turbines. This gap can be summarized through three overarching questions:

1. Do optimization opportunities exist in the methodology for bat fatality searches?
2. Are certain species or subgroups of bats particularly disposed to the risk of collision?
3. Do parameters such as wind-turbine features and landscape attributes influence the propensity for bat collisions?

The first question focuses on optimizing the method for searching for bat fatalities. To estimate the total bat fatalities based on the number of carcasses found underneath turbines, the key errors that occur during searches were quantified. These errors include the fact that not all collision casualties can be found, as carcasses are removed by scavengers and searchers' levels of efficiency vary. In addition, the terrain surrounding the turbines in the study was classified, mapped, and continuously cataloged based on the ease of conducting searches. Potential optimization opportunities resulted from the outcomes of several field trials that tested the search methodology.

Field trials helped to determine that the efficiency of searchers did not differ significantly between actual bats and dummies. Similarly, no significant difference was noted between

scavengers' removal rates of bat carcasses or of carcasses of dark laboratory mice. Therefore, dark laboratory mice can be used to quantify the biases in field samples. This represents a practical advantage, as most sample sites did not provide sufficient bat carcasses to assess the search bias based on bats alone.

To gauge the size of the area that should be searched in order to find a representative number of bat carcasses, an experiment was conducted at a wind turbine. Dead bats were dropped from a turbine with a nacelle height of approximately 99 meters. It was noted that animals drifted differently depending on both their weight and the wind speed. Using data on the wind-dependent distribution of bat activity at wind turbines, a model was developed to estimate the potential distribution of collision victims under a turbine. A resulting calculation suggested that the majority of the collision victims (97% of the heavy animals and 73% of the lighter animals) could be found within a distance of 50 meters from the base of the wind-power plant. This led to the conclusion that it should be adequate to conduct searches in an area with a radius that equates to half of the height of a turbine's nacelle.

Based on Bayes' theorem and the data collected, a new formula was developed to estimate the number of bat fatalities at wind turbines. Under the prevailing conditions –and contrary to other formulas– the results of this formula showed a limited inherent bias. In addition, this formula can be used to estimate the number of assumed fatalities at facilities where no carcasses are found. Furthermore, in trials, the new formula consistently calculated at least the number of collision victims that were actually found. By comparison, simpler formulas do not meet this requirement under all circumstances.

The quality of the estimate –reflected in the magnitude of the largest error– is determined through the rate of carcass removals by scavengers, the searcher's efficiency, and the share of accessible terrain. The estimate's quality can be influenced by implementing measures to enhance search conditions. A number of related suggestions are presented in this thesis. Particularly the ratio of searchable terrain has a considerable impact on the quality of the overall estimate. A diagram can be used to gauge the likely accuracy of the formula, if information on the approximate field-sampling bias is available. This graph can also be used to design the searches for collision victims. If the extrapolation has to have a specific degree of accuracy, said diagram establishes the required value ranges for each error type in order to achieve the estimate's targeted level of quality. Overall, several suggestions emerged for the technical optimization of the search for bat carcasses. Moreover, under certain conditions, cost savings may also be attainable.

The second overarching question considers whether certain species or subgroups of bats are particularly disposed to the risk of collision. If so, this could indicate a specific (regional) threat to certain species and, in turn, lead to potential causes for collisions.

To address this question, a total of 100 bat carcasses that were found at 30 wind turbines throughout this study were individually examined. This sample encompassed bats from seven species, representing predominantly those species that are also prevalent among the victims of wind-turbine collisions at the national level. The fatalities among the four most frequently affected species (Nathusius' pipistrelle, noctule, common pipistrelle, and Leisler's bat) accounted for 88% of all casualties in the sample. Other casualties included serotine bats, parti-colored bats, and brown long-eared bats. The species that were primarily affected hunt in uncluttered, open areas or demonstrate moderate ties to border structures. It is also noteworthy that these species are predominantly long-distance migrants, i.e. species that travel long distances between their summer and winter habitats.

Based on the formula, it was determined that an average of 9.5 bats was killed over the course of the research period (92 days) at each of the 30 wind turbines in the study. The computed number of casualties per facility ranged from 0 to 57.5 bats during this period.

An analysis of the mix of species among the bat fatalities highlighted that the occurrence of casualties by species was correlated with the profiles of the natural regions in the study (these geographic units are classified on the basis of geological, geographical, hydrological and climatic criteria). The fatalities encompassed up to six species by natural region. The regional distribution of species also displayed differences. The most evident was that the casualties of noctule bats were concentrated among the three eastern areas in the study (D03, D12, and D14). In addition, no fatalities of common pipistrelle were found in the study's three coastal regions (D26, D27, and D03). Therefore, a geographical distribution of casualties by species is implied. Regarding the seasonality of collisions, the compiled data indicates that the Nathusius' pipistrelle appears slightly later in the year than the other species.

An analysis of those casualties that supported an age estimate ($n = 59$) showed a relatively balanced overall ratio of juveniles and adults. However, the ratio was notably skewed among certain species: adult animals accounted for most of the Nathusius' pipistrelle victims, while juveniles represented most of the casualties among noctule bats. The gender ratio was mostly balanced across all species.

The geographic origins of a cross-section of casualties ($n = 47$) among the four most affected species (noctule, Leisler's bat, common pipistrelle, and Nathusius' pipistrelle) were narrowed down by means of stable hydrogen isotopes. This analysis indicated that the individuals of the noctule and Leisler's bat species most likely stemmed from the Baltic States, Belarus, and Russia, while the sample of common pipistrelle bats was from the immediate vicinity of the wind-power plants. The analysis further suggested that the Nathusius' pipistrelle bats had likely covered the largest distance between their summer habitats and the fatal wind turbines (they originated in Estonia and/or Russia).

The third overarching question relates to the potential role of certain wind-turbine and landscape parameters in bat collisions. Data obtained by acoustically surveying 68 wind turbines allowed a statistical analysis of the impact of various facility features and landscape attributes on the activity of bats. This included an analysis of the impact of, inter alia, the distance to trees and forests, as well as the existence of different habitat profiles (based on CORINE land cover data) within varying radii from wind turbines (250 m to 10,000 m).

The analysis showed that wind speed and temperature significantly influence the level of activity of bats at the height of wind-turbine nacelles. In addition, bat activity depends on the time of year (i.e. the month) and the natural region. Among other landscape variables, only the distance between wind turbines and the closest woods had a relevant, albeit weak impact on the activity levels of the animals (across all radii examined). The results suggest that the activity of bats declines marginally as the distance to wooded areas increases. Although the proximity to wetlands, as well as to three other habitat types (coniferous forest, complex cultivation patterns, as well as natural grassland) also displayed relevant results at certain radii, these findings should be interpreted with caution. The hub height, which is the only facility variable that was analyzed, also reflected a relevant correlation with the level of bat activity at the nacelles of wind turbines. However, like the aforementioned impact of the distance to wooded areas, its influence is relatively weak. In the case of the wind turbines analyzed in this study, the level of activity decreased as the hub height increased.

Regarding the approval process for the construction and operation of wind-energy facilities, it can be established that all relevant components required for the planning, execution, and evaluation of collision-victim searches now exist, due in part to contributions from papers featured in this thesis. The method's advantages stem from the quality of the information obtained on the fatalities: especially the species, gender, and age can typically be determined with precision. However, if the primary goal is to determine a method to establish the potentially necessary cut-off times for wind turbines, acoustic monitoring and its time-sensitive, high-resolution data capture offers distinct advantages – provided that the significant methodological challenges in converting acoustic activity into a count of fatalities are overcome. The decision of when to opt for a carcass search can therefore be based on the purpose of a given study. However, out of consideration for the protection of species, fatality searches should only be conducted if the study itself does not lead to additional victims. These conditions are typically given during preconstruction surveys at repowering sites, at prospective wind-farm expansions, and in the context of policy-impact monitoring.

1 Einleitung

Die Windenergie stellt einen großen Anteil des aus erneuerbaren Energien erzeugten Stroms in Deutschland (BMU 2011). Durch die Minimierung der Treibhausgasemissionen leistet diese Technik damit einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der klimapolitischen Ziele und zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland. Der Ausbau der erneuerbaren Energien ist grundsätzlich auch für den Artenschutz von Bedeutung, da im Klimawandel ein bedeutender Faktor für den fortschreitenden Artenverlust gesehen wird (BMU 2007, BMU 2009).

Es hat sich inzwischen allerdings gezeigt, dass mit der Nutzung der Windenergie auch Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft verbunden sind. Neben dem Flächenverbrauch ist die Veränderung des Landschaftsbildes zu nennen (NIEDERSÄCHSISCHER LANDKREISTAG 2011). Außerdem kann es zu Beeinträchtigungen der biologischen Vielfalt kommen, wenn an den Windenergieanlagen (WEA) Vögel verunglücken (HÖTKER et al. 2005) oder diese während ihrer Brut- oder Zugzeit teilweise zu Verhaltensänderungen veranlasst werden (PERCIVAL 2005, DREWITT & LANGSTON 2006, STEINBORN & REICHENBACH 2011).

Für die Fledermäuse wurden ebenfalls Beeinträchtigungen durch WEA festgestellt (OSBORN et al. 1996, TRAPP et al. 2002, ARNETT 2005, RYDELL et al. 2010). Zu nennen sind hier bau-, anlage-, und betriebsbedingte Beeinträchtigungen an einer seit Jahren stetig wachsenden Anzahl von Anlagen in Deutschland (siehe Kap. 1.1). Von besonderem Interesse sind in diesem Zusammenhang die Fledermauskollisionen, denn sie führten aufgrund des strengen rechtlichen Schutzes der Fledermäuse insbesondere vor Tötung und Verletzung (siehe Kap. 1.2) in Einzelfällen dazu, dass der Bau von Windenergieanlagen abgelehnt wurde (VG Dresden Ur. v. 02.06.2003 - 7 K 2583/02; VG Gera, Ur. v. 28.4.2005 - 4 K 1071/02 GE). Während Ablehnungen die Ausnahme bleiben, scheint die Genehmigung der Anlagen unter Auflagen (BRINKMANN et al. 2007) langsam zur Regel zu werden. Die Zahl der behördlichen Hinweise und Erlasse zum Umgang mit Fledermausbelangen bei der Genehmigung von Windenergieanlagen nimmt entsprechend zu (siehe Kap. 1.4).

Aufgrund des insgesamt geringen Wissensstandes (siehe Kap. 1.3) und den zum Teil weitreichenden Auflagen bei der Genehmigung von WEA hat sich das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) im Jahr 2007 entschlossen, das vom Institut für Umweltplanung (IUP) der Leibniz Universität Hannover und des Instituts für Zoologie der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg beantragte Forschungsvorhaben zur „Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen“ zu bewilligen (Förderkennzeichen 0327638 A und B). Das Vorhaben wurde von Anfang 2007 bis Ende 2009 bearbeitet. Die Veröffentlichungen in dieser Arbeit wurden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens erarbeitet. Ein weiteres Vorhaben mit dem Titel „Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen“ zur Untersuchung der Wirksamkeit von Minderungsmaßnahmen zum Schutz der Fledermäuse schloss sich in den Jahren 2011 bis 2013 an (Förderkennzeichen 0327638 C und D).

Die Analyse des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Windenergieanlagen erfolgt in den USA und Deutschland seit ca. 10 Jahren mit Hilfe von Suchen nach verunglückten Fledermäusen unter den WEA (TRAPP et al. 2002, ARNETT 2005). Diese als Schlag- oder Kollisionsopfersuche bezeichnete Methode ist der derzeit einzig verfügbare Ansatz, mit dem neben der Anzahl auch die Artzugehörigkeit, das Alter, das Geschlecht und andere Eigenschaften der betroffenen Fledermäuse erfasst werden können. Als Fledermausschlag oder Fleder-

mauskollision wird nachfolgend die Begegnung der Fledermäuse mit den sich drehenden Rotorblättern verstanden, sofern diese zur Verletzung oder zum Tod der betroffenen Tiere führt. Die Kollision von Fledermäusen wird in der vorliegenden Arbeit dabei in einem weiten Sinn verstanden und schließt neben dem direkten physischen Kontakt mit den sich drehenden Rotoren auch die Einwirkungen durch die großen Druckunterschiede (das sogenannte „Barotrauma“, siehe BAERWALD et al. 2008) in der Nähe der sich bewegenden Rotorblätter mit ein.

1.1 Entwicklung der Windenergie in Deutschland

Die Nutzung der Windkraft zur Erzeugung von Energie hat in Deutschland eine bemerkenswerte Entwicklung vollzogen. Der Einstieg in die erfolgreiche kommerzielle Nutzung der Windenergie ermöglichte das seit 1991 geltende „Stromeinspeisegesetz“ (StrEG)³. Es sah neben der garantierten Abnahme des Stroms durch die großen Stromanbieter und Verbundnetzbesitzer eine Mindestvergütung des eingespeisten Stroms vor.

Knapp zehn Jahre später, am 1. April 2000, trat das Nachfolgegesetz, das „Erneuerbare-Energien-Gesetz“ (EEG)⁴ in Kraft. Es wurde bis heute insgesamt dreimal novelliert⁵. In der aktuellen Fassung des EEG⁶ werden unter § 1 Ausbauziele für die erneuerbaren Energien formuliert. Danach soll bis 2020 ein Anteil von 35 %, bis 2030 ein Anteil von 50 % und bis 2040 ein Anteil von 65 % der Stromversorgung aus erneuerbaren Energien stammen. Schließlich soll bis spätestens 2050 ein Anteil von 80 % der Stromversorgung aus erneuerbaren Energien stammen (§ 1 Abs. 2 EEG).

Aus Sicht des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und der Branche, die die Förderung der erneuerbaren Energien unterstützen, haben beide Gesetze, das StrEG und das nachfolgende EEG „in einer der größten Industrienationen der Welt eine kleine Energierevolution angestoßen. Innerhalb weniger Jahre wurden Technologien zur Stromerzeugung aus Windkraft (...) erfolgreich in den Markt gebracht“ (ZILLER & KIRRMANN 2010). Als zentrale Prinzipien der Einspeisevergütung werden einerseits die „Investitionssicherheit durch garantierte Einspeisevergütung und Anschlusspflicht“ genannt und andererseits die Innovationsförderung durch stetig absinkende Vergütungssätze, die zu einem Kostendruck aufseiten der Hersteller führt (ebd.). Das damit umschriebene Prinzip dient bis heute vielen Ländern als Vorbild für die Förderung der eigenen erneuerbaren Energien (REN21, 2011).

Der Ausbau der Windenergie hat ganz wesentlich vom StrEG und vom nachfolgenden EEG profitiert. Diese Entwicklung kann an verschiedenen Parametern nachvollzogen werden. Die installierte Leistung im Bereich der Windenergie betrug in Deutschland 1990 lediglich 55 MW elektrische Leistung (BMU 2012). Im Jahr 2000 lag dieser Wert bereits bei 6.097 MW (ebd.). Wiederum zehn Jahre später (2010) waren bereits 27.191 MW Leistung installiert

³ StromEinspG vom 7. Dezember 1990 (BGBl. I S. 2633).

⁴ EEG vom 29. März 2000 (BGBl. I S. 305).

⁵ EEG vom 21. Juli 2004 (BGBl. I S. 1918), EEG vom 25. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2074), EEG vom 28. Juli 2011 (BGBl. I S. 1634).

⁶ EEG vom 25. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2074), zuletzt geändert am 22. Dezember 2011 (BGBl. I S. 3044).

(ebd.). Auch die Anzahl der installierten Windenergieanlagen (WEA) in Deutschland hat deutlich zugenommen: Während 1992 insgesamt 1.211 WEA in Betrieb waren, konnten im Jahr 2000 bereits 9.359 WEA registriert werden (BWE 2012a). Weitere zehn Jahre später (2010) hat sich die Zahl mit 21.607 Anlagen wiederum mehr als verdoppelt (BWE 2012a). Die aktuellsten Zahlen zeigen, dass derzeit 23.030 WEA in Deutschland installiert sind (Stand Ende 2012, BWE 2013).

Obwohl die installierte Leistung und die Anzahl der Anlagen deutlich angestiegen sind, besteht zwischen beiden Parametern kein linearer Zusammenhang. Während sich die Anzahl der Anlagen im Zeitraum von 2000 bis 2010 lediglich verdoppelt hat, wurde die installierte Leistung zeitgleich mehr als vervierfacht (BMU 2012, BWE 2012a, b). Diese Zunahme ist mit der technischen Entwicklung, insbesondere der Größenentwicklung und der damit verbundenen Leistungssteigerung der WEA zu erklären. Während 1990 die errichteten Anlagen im Durchschnitt eine Nabenhöhe von 31 m und einen Rotordurchmesser von 23 m bei einer Nennleistung von 172 kW hatten, lagen diese Durchschnittswerte im Jahr 2000 bereits bei 71 m Nabenhöhe, 58 m Rotordurchmesser und 1.114 kW Nennleistung (IWES 2012). Im Jahr 2010 waren diese Werte erneut deutlich angestiegen und lagen durchschnittlich bei 99 m Nabenhöhe, 80 m Rotordurchmesser und einer Nennleistung von 2.000 kW (IWES 2012).

Angesichts des angestrebten, deutlich höheren Anteils an erneuerbarer Energie am Gesamtverbrauch wird wohl auch der Anteil der Windenergie weiter wachsen müssen. Die Ausbau-prognose der Branche der erneuerbaren Energie geht von einer zu installierenden Windleistung von 45.000 MW bis 2020 aus (BEE 2009)⁷. Doch diese Prognose geht noch von den zum Zeitpunkt der Bearbeitung geplanten Restlaufzeiten der Atomkraftwerke in Deutschland aus (ebd.). Nach den Reaktorunfällen in den Atomkraftwerken im japanischen Fukushima (im März 2011) – und dem anschließend von der Bundesregierung beschlossenen schnelleren Ausstieg aus der Atomkraft (BMU 2011) – dürfte sich der Bedarf an erneuerbarer Energie noch weiter erhöht haben. Eine Prognose der Bundesregierung, die erkennen lässt, womit nach dem Atomausstieg im Bereich der Windenergie künftig zu rechnen ist, liegt bislang noch nicht vor.

1.2 Rechtlicher Schutz der Fledermäuse vor Tötung und Verletzung

Die Notwendigkeit der Berücksichtigung von Fledermäusen bei der naturschutzrechtlichen Genehmigung von Windenergieanlagen (WEA) ergibt sich aus der Kombination eines strengen rechtlichen Schutzes der Fledermäuse bei gleichzeitiger Empfindlichkeit eines Teils der Arten gegenüber Beeinträchtigungen, die sowohl mit dem Bau als auch mit der Anlage und vor allem mit dem Betrieb von Windenergieanlagen verbunden sein können. Die Kollision von Fledermäusen mit WEA steht hier im Fokus. Alle übrigen Beeinträchtigungen werden in der vorliegenden Arbeit nicht weiter betrachtet. Zu diesen zählen z. B. potenzielle baubedingte Beeinträchtigungen wie das Fällen von Quartierbäumen und die damit potenziell einhergehenden Individuenverluste sowie die baubedingten Störungen.

⁷ Die Differenz zwischen der angestrebten und der bis Ende 2011 installierten Leistung (29.060 MW, BWE 2013) beträgt 15.940 MW. Nach dem Durchschnitt der derzeit installierten Leistung je Anlage (2.248 kW, IWES 2012) beträgt die Anzahl der bis zum Jahr 2020 noch zu errichtenden Anlagen demnach ca. 7.090.

Das Artenschutzrecht ist ein insgesamt „überaus komplexe(s) Regelungsgefüge“, das im „Grunde (...) drei zu unterscheidende Rechtsebenen in sich aufnimmt“ (GELLERMANN & SCHREIBER 2007). Es setzt demnach Vorgaben um, die sich aus den internationalen Übereinkommen zum Artenschutz, dem europäischen Artenschutzrecht und der nationalen Ebene ableiten (ebd.). Die nationale Ebene ist „jedenfalls im Grunde nach die für die Rechtsanwendung maßgebliche Rechtsebene“ (ebd.).

Im konkreten Fall der Fledermäuse werden internationale und v. a. europäische Vorgaben im bundesdeutschen Artenschutzrecht umgesetzt. Zu den internationalen Abkommen, zu denen sich die Bundesrepublik verpflichtet hat, gehört das „Abkommen zur Erhaltung der Fledermäuse in Europa (EUROBATS)“. Es verpflichtet die Vertragsstaaten, u. a. das absichtliche Töten von Fledermäusen zu verbieten (Art. III, Nr. 1 EUROBATS). Auf der europäischen Ebene ist die „Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie“ (Richtlinie 92/43/EWG, auch FFH-Richtlinie genannt) von besonderer Relevanz. Alle europäischen Fledermausarten sind dort aufgeführt (im Anhang IV). Damit genießen die Fledermausarten den Schutz des Art. 12 der FFH-Richtlinie, der unter anderem „alle absichtlichen Formen des Fangens oder der Tötung von (...) Exemplaren“ verbietet (Art. 12 Abs. 1 Buchstabe a) der Richtlinie 92/43/EWG). Durch die Übernahme der Arten des Anhangs IV der FFH-Richtlinie in die Schutzkategorie der besonders und streng geschützten Arten (gemäß § 7 Abs. 13 bzw. 14 BNatSchG) erfolgt die Umsetzung des europäischen Artenschutzrechts in bundesdeutsches Recht. Der daraus resultierende strenge rechtliche Schutz manifestiert sich unter anderem in den Regelungen zum besonderen Artenschutz (§§ 44 ff BNatSchG). Nach dem unmittelbar geltenden § 44 Abs. 1 Nr. 1 BNatSchG ist es verboten, „wild lebenden Tieren der besonders geschützten Arten nachzustellen, sie zu fangen, zu verletzen oder zu töten“. Dieser Teil der sogenannten Zugriffsverbote wird z. T. als „Tötungs- und Verletzungsverbot“ bezeichnet (LANA 2009).

Das Tötungsverbot hat einen eindeutigen Bezug: Geschützt wird das einzelne Individuum (GELLERMANN 2012). Mit der Auslegung dieser Rechtsnorm in den verschiedenen Urteilen und Interpretationen schwimmt dieser Bezug allerdings in Teilen, der Grund hierfür liegt in der Einführung des unbestimmten Rechtsbegriffs der „signifikanten Erhöhung des Tötungsrisikos“ durch das Bundesverwaltungsgericht (BVerwG) (BVerwG Ur. v. 9.7.2008- 9 A 14.07., Rn. 91).

Einerseits ist das Tötungs- und Verletzungsverbot (nach § 44 Abs. 1, Nr. 1 BNatSchG) eindeutig individuenbezogen und somit eng auszulegen (siehe z. B. VG Halle Ur. v. 24.03.2011 – 4 A 46/10 Rn. 45, v. a. aber BVerwG Ur. v. 14.07.2011 – 9 A 12.10). Andererseits wird darauf verwiesen, dass „unvermeidbare betriebsbedingte Tötungen als Verwirklichung sozialadäquater Risiken“ (LANA 2009) in der Regel nicht unter dieses Verbot fallen (vgl. BT-Drucksache 16/5100: 11). Diese Auslegung wird auch durch die abschließende Entscheidung des Bundesverwaltungsgerichts (BVerwG) zur Nordumfahrung Bad Oeynhausen gestützt. Darin heißt es: „Ein sachgerechtes Verständnis des Gesetzes führt daher zu der Auslegung, dass der Tötungstatbestand des § 42 Abs. 1 Nr. 1 Alt. 1 BNatSchG⁸ nur erfüllt ist, wenn sich das Kollisionsrisiko für die betroffenen Tierarten durch das Straßenvorhaben in signifikanter Weise erhöht“ (BVerwG Ur. v. 9.7.2008 – 9 A 14.07., Rn. 91). Zur Begründung heißt es, „dass einzelne Exemplare besonders geschützter Arten durch

⁸ Im derzeit gültigen BNatSchG steht dieses Verbot im § 44 Abs. 1 Nr. 1 BNatSchG.

Kollisionen (...) zu Schaden kommen können, dürfte indes bei lebensnaher Betrachtung nie völlig auszuschließen sein. (...) Solche Verluste sind zwar nicht ‚gewollt‘ (...) müssen aber – wenn sie trotz aller Vermeidungsmaßnahmen doch vorkommen – als unvermeidlich hingenommen werden. Wäre der Tatbestand des Tötungsverbotes bereits bei der Kollision eines Einzelexemplares (...) erfüllt, könnten Straßenbauvorhaben stets und ausschließlich nur noch im Wege einer Befreiung (§ 62 BNatSchG a.F.⁹) oder in Anwendung von § 42 Abs. 5 bzw. § 43 Abs. 8 BNatSchG n.F.¹⁰ zugelassen werden. Damit würden diese nach dem artenschutzrechtlichen Regelungsgefüge als Ausnahmen konzipierten Vorschriften zum Regelfall. Ihren strengen Voraussetzungen würde eine Steuerungsfunktion zugewiesen, für die sie nach der Gesetzessystematik nicht gedacht sind und die sie nicht sachangemessen erfüllen können. Ein sachgerechtes Verständnis des Gesetzes führt daher zu der Auslegung, dass der Tötungstatbestand des § 42 Abs. 1 Nr. 1 Alt. 1 BNatSchG¹¹ nur erfüllt ist, wenn sich das Kollisionsrisiko für die betroffenen Tierarten durch das Straßenbauvorhaben in signifikanter Weise erhöht“ (BVerwG Urt. v. 9.7.2008 – 9 A 14.07., Rn. 91).

Mit dem Satz im Urteil des BVerwG, wonach sich das „Kollisionsrisiko für die (...) Tierart“ (Urt. v. 9.7.2008 – 9 A 14.07., Rn. 91) erhöhen müsse, ist wohl die Grundlage für ein eher populationsbezogenes Verständnis des Tötungsverbotes gelegt worden. So geht das OVG NRW (OVG NRW, Urt. v. 30.07.2009 – 8 A 2357/08 Rn. 149) davon aus, dass sich das Kollisionsrisiko der „lokalen Population“ signifikant erhöhen muss, um einen Verbotstatbestand auszulösen. Auch das VG Minden teilt diese Einschätzung (VG Minden, Urt. v. 10.03.2010 – 11 K 53/09, Rn. 76). GELLERMANN (2012) merkt zum Urteil des BVerwG (Urt. v. 14.07.2011 – 9 A 12.10) an: „In Ansehung des Tötungsverbotes (...) hält der Senat am strikten Individuenbezug der Regelung fest und setzt sich damit wohltuend von Tendenzen in der verwaltungsgerichtlichen Judikatur ab, die einer populationsbezogenen Relativierung das Wort reden.“ Das VG Halle (Urt. v. 24.03.2011 – 4 A 46/10) urteilt, dass eine Analyse der Gefährdung des Bestandes bzw. des Erhaltungszustands einer lokalen Population im Rahmen einer Bewertung im Hinblick auf mögliche Folgen durch den Betrieb von WEA nicht erforderlich ist.

Aufgrund der oben aufgeführten Urteile besteht im Allgemeinen die Auffassung, dass das Tötungsverbot zwar individuenbezogen auszulegen ist, aber erst eine signifikante Erhöhung des Tötungsrisikos das Tötungsverbot (nach § 44 Abs. 1, Nr. 1 BNatSchG) tatsächlich auslöst. Hierbei würde es nicht ausreichen, dass „im Eingriffsbereich überhaupt Tiere der fraglichen Art angetroffen werden oder einzelne Exemplare zu Tode kommen“ (LAND BADEN-WÜRTTEMBERG 2012: 38), nötig sei vielmehr die „signifikante Erhöhung des Tötungsrisikos“. Diese Position spiegelt sich in einer Vielzahl von Publikationen zum Thema wider (z. B. ALBRECHT & GRÜNFELDER 2011, LAND BADEN-WÜRTTEMBERG 2012, GATZ 2009: 121).

Die Folge dieses Ansatzes ist, dass ein Teil der Tiere, nämlich jener, der verunglückt, bis der nicht näher definierte Schwellenwert der „signifikanten Erhöhung“ erreicht ist, ohne weitere

⁹ Im derzeit gültigen BNatSchG sind die Befreiungen der Verbote nach § 44 BNatSchG im § 67 Abs. 2 BNatSchG geregelt.

¹⁰ Im derzeit gültigen BNatSchG sind die Ausnahmen der Verbote nach § 44 Abs. 1 im § 44 Abs. 5 BNatSchG sowie im § 45 BNatSchG geregelt.

¹¹ Im derzeit gültigen BNatSchG steht dieses Verbot im § 44 Abs. 1 Nr. Alt. 1 BNatSchG.

rechtliche Konsequenzen zu Tode kommt. Minderungsmaßnahmen sind hier nicht vorgesehen, weil in der Konsequenz auch kein Verbot droht.

Angesichts des klaren Individuenbezugs des Tötungsverbot, den alle Fledermausarten genießen, erscheint dieser Ansatz in sich widersprüchlich. Hinzu kommt, dass mit den fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen durchaus effektive Minderungsmaßnahmen zur Verfügung stehen, die – anders als mögliche Minderungsmaßnahmen zur Verhinderung von Kollisionen von Einzelexemplaren im Straßenverkehr – ein sehr günstiges Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweisen. Die Ertragseinbußen für eine Reduktion der Schlagopferzahlen auf maximal ein Tier pro Anlage und Jahr liegt nach Berechnungen von BEHR et al. (2011b) in allen Fällen unter 2,5 %, im Median deutlich unter 1 % des Jahreseintrages (von 4500 MWh).

Eine Lösung dieses scheinbaren Widerspruchs zwischen dem Individuenbezug und der Auslegung des BVerwG, wonach sich das Kollisionsrisiko in signifikanter Weise erhöhen müsse, bevor der Tötungstatbestand als erfüllt anzusehen ist, bietet sich an, wenn diese Ansätze nicht als sich ausschließende Alternativen verstanden werden, sondern als zwei aufeinanderfolgende Schritte in einem Planungsablauf (vgl. TRAUTNER 2008).

Die LANA (2009: 5) geht davon aus, dass die Formulierung „*unvermeidbar* betriebsbedingte Tötungen einzelner Individuen“ (Hervorhebung durch den Verfasser) bedeutet, „dass im Rahmen der Eingriffszulassung das Tötungsrisiko artgerecht durch geeignete Vermeidungsmaßnahmen reduziert wurde“. Auch das BVerwG betont: Bei der Beurteilung des Kollisionsrisikos „sind Maßnahmen, mittels derer solche Kollisionen vermieden oder dieses Risiko zumindest minimiert werden soll (...) einzubeziehen“ (BVerwG Ur. v. 09.07.2008 – 9 A 14.07, Rn. 91). In einem späteren Urteil des BVerwG formuliert das Gericht: „dass das Tötungsverbot Tierverluste allein dann erfasst, wenn sich das Kollisionsrisiko für Exemplare der betroffenen Arten in signifikanter Weise erhöht (...). Davon kann nur ausgegangen werden, sofern es erstens um Tiere solcher Arten geht, die aufgrund ihrer Verhaltensweise gerade im Bereich des Vorhabens ungewöhnlich stark von den Risiken (...) betroffen sind, und zweitens diese besonderen Risiken durch die konkrete Ausgestaltung des Vorhabens einschließlich der geplanten Vermeidungs- oder Minderungsmaßnahmen sich nicht beherrschen lassen“ (BVerwG Ur. v. 09.03.2009 – 9 A 39.07, Rn. 58, siehe auch BVerwG Ur. v. 14.07.2011 – 9 A 12.10, Rn. 99). Damit macht das BVerwG deutlich, dass Vermeidungs- oder Minderungsmaßnahmen zu berücksichtigen sind. RUNGE et al. (2009: 19) betonen ebenfalls: „Der Verbotstatbestand ist auf das Individuum bezogen und im Rahmen der Eingriffszulassung generell durch geeignete Vermeidungsmaßnahmen, so weit möglich und verhältnismäßig, zu reduzieren.“

Für die Genehmigungsplanung im Bereich der Windenergie müsste dies Folgendes bedeuten:

1. Zunächst ist im Rahmen von Voruntersuchungen festzustellen, ob im beplanten Bereich Arten, „die aufgrund ihrer Verhaltensweisen (...) ungewöhnlich stark von den Risiken (...) betroffen sind“ (BVerwG Ur. v. 09.03.2009 – 9 A 39.07, Rn. 58), vorkommen (dies sind die sogenannten „kollisionsempfindlichen Arten“, siehe Kap. 1.3);
2. anschließend sind die festgestellten Risiken – die *vermeidbaren* betriebsbedingten Tötungen – durch die konkrete Ausgestaltung des Vorhabens, also durch geplante Vermeidungs- oder Minderungsmaßnahmen (im Rahmen der Verhältnismäßigkeit), zu reduzieren;

3. erst wenn in der Folge das Kollisionsrisiko für Exemplare der betroffenen Arten nicht abgewendet werden kann, ist der Verbotstatbestand nach § 44 Abs. 1, Nr. 1 BNatSchG erfüllt. Sofern der Eintritt des Verbotstatbestandes auch durch die Entwicklung weitergehender Vermeidungs- und Minimierungsmaßnahmen nicht verhindert werden kann, muss geprüft werden, ob die Voraussetzungen für die Erteilung einer Ausnahme nach § 45 Abs. 7 BNatSchG bestehen. Erst im Zuge dieser Prüfung muss u. a. geklärt werden, ob die Population der betroffenen Art in einem günstigen Erhaltungszustand verbleibt.

Mit diesem Vorgehen wäre auch im Bereich des besonderen Artenschutzes das Vermeidungsgebot umgesetzt. Dieses Gebot spiegelt sich nicht nur im allgemeinen Leitprinzip der Risikobegrenzung wider, welches das BNatSchG kennzeichnet (v. HAAREN 2004), sondern auch – ganz konkret – im Vermeidungsgebot der Eingriffsregelung (§ 15 Abs. 1 BNatSchG). Auch auf der europäischen Ebene gibt es ein Urteil, das die Notwendigkeit der Vermeidung im Bereich des Artenschutzes unterstreicht. So hat das EuGH in seinem *Caretta*-Urteil die Hellenische Republik verurteilt, weil sie „nicht (...) alle konkreten Maßnahmen ergriffen hat, die erforderlich sind, um die absichtliche Störung der Meeresschildkröte *Caretta caretta* während der Fortpflanzungszeit sowie die Beschädigung oder Vernichtung ihrer Fortpflanzungsstätten zu verhindern“ (EuGH Urteil vom 31.01.2002 – Rs. C-103/00, Rn. 39). Wenn dieses Gebot für die Verhinderung der Störung und die Verhinderung der Vernichtung der Fortpflanzungsstätten gilt, dann müsste es – nach Ansicht des Verfassers – speziell auch für die Tötung von Individuen der streng geschützten Arten als dem „folgenreichste(n) Tatbestand im Artenschutzrecht“ (GELLERMANN & SCHREIBER 2007: 177) gelten.

1.3 Erkenntnisse zu Fledermauskollisionen an WEA

Der Fledermausschlag an WEA ist erst vor wenigen Jahren in das Blickfeld der Forschung geraten. Um die Jahrtausendwende erschienen die ersten Veröffentlichungen, die zeigten, dass Fledermäuse an WEA verunglücken können (OSBORN et al. 1996, TRAPP et al. 2002, YOUNG et al. 2003, ERICKSON et al. 2003). Dieser Umstand fiel zunächst in den USA auf, weil dort im Rahmen von Arbeiten zur Erfassung des Schlagrisikos bei Vögeln auch tote Fledermäuse gefunden wurden (ORLOFF & FLANNERY 1992, THELANDER et al. 2000). In Deutschland wurde erstmals im Jahr 2000 von einem Kollisionsoffer, einem Zufallsfund, berichtet (VIERHAUS 2000). Aus der Erkenntnis, dass Fledermäuse an WEA verunglücken können, führten OSBORN et al. (1996) in den USA früh systematische Untersuchungen zur Ermittlung der Fledermauskollisionsopferzahlen durch. In Deutschland begannen diese systematischen Arbeiten später (TRAPP et al. 2002).

Die ersten Analysen über Fledermausschlagopfer an WEA beschränkten sich auf die Angabe der Zahl der gefundenen Tiere (ORLOFF & FLANNERY 1992, OSBORN et al. 1996, DÜRR 2002, TRAPP et al. 2002). Diesen methodisch vergleichsweise einfachen Arbeiten folgten komplexere Untersuchungen, die zusätzlich Aussagen über die Gesamtzahl der voraussichtlich geschlagenen Opfer enthielten (YOUNG et al. 2003, ERICKSON et al. 2003, KERNS & KERLINGER 2004, ARNETT 2005). Aus der Anzahl der gefundenen Schlagopfer wurde in diesen Auswertungen eine vermutete Gesamtzahl der Opfer errechnet. Diese beiden Werte – die tatsächlich gefundene Anzahl und die hochgerechnete Opferzahl – können abhängig von den Rahmenbedingungen während der Suche mehr oder weniger deutlich auseinanderklaffen. Der

Literatur lassen sich Verhältnisse von gefundenen zu voraussichtlich geschlagenen Tieren entnehmen, die z. B. von 1:2,5 (KERNS et al. 2005) über 1:4,4 (KERNS & KERLINGER 2004) und 1:4,8 (KERNS et al. 2005) bis hin zu 1:11 für einzelne Anlagen (BRINKMANN et al. 2006) reichen.

Voraussetzung für die Erstellung von Hochrechnungen ist die Quantifizierung der mit der Suche verbundenen systematischen Fehler („Bias“). Zu diesen potenziell wirksamen Fehlerquellen zählen in erster Linie die Sucheffizienz, die Verbleiberate und die absuchbare Fläche unter den WEA (KERNS et al. 2005, NIERMANN et al. 2007, ARNETT et al. 2008).

Die Sucheffizienz beschreibt die individuelle Fähigkeit der nachsuchenden Person, die Kadaver der kleinen und unauffällig gefärbten Tiere in unterschiedlichen Zerfallsstadien zu finden. Diese Fähigkeit ist abhängig von der Erfahrung der Person sowie der Beschaffenheit der abzusuchenden Fläche (Farbe, Struktur und Oberflächenbeschaffenheit des Untergrundes sowie der Dichte und Höhe der Vegetation auf der Fläche). Die Verbleiberate als zweite Fehlerquelle bezeichnet den Anteil der Tiere, der zwischen zwei Suchintervallen trotz der Aktivität von Prädatoren, die einen Teil der Tiere abtragen oder vergraben, auf den Flächen verbleibt und damit für die Suchenden potenziell auffindbar bleibt. Der dritte methodische Fehler beschreibt den Umstand, dass oft nicht die gesamte Fläche unter einer WEA abgesucht werden kann, weil Flächen mit hoher Vegetation (z. B. Getreide, Ruderalfluren, Gehölzbestände) eine Suche wirksam verhindern. Die Suchfehler können durch Felduntersuchungen quantifiziert und mittels Korrekturfaktor in der Hochrechnung kompensiert werden (KERNS et al. 2005).

Neben den Bestrebungen, die tatsächliche Anzahl der betroffenen Tiere durch die Berücksichtigung der methodischen Fehler bei der Suche zu erkennen und auszugleichen, bestand von Anfang an auch das Ziel, hinter den Fledermauskollisionen ein Ursachenmuster zu erkennen. Schon OSBORN et al. (1996) spekulierten daher über mögliche Ursachen der Kollisionen (Aussetzen der Echoortung). Im Laufe der Jahre wurden die vielfältigen Hypothesen zusammengefasst, diskutiert und teilweise um neue ergänzt (AHLÉN 2003, KUNZ et al. 2007, CRYAN 2008, CRYAN & BARCLAY 2009).

Nach CRYAN & BARCLAY (2009) kommen grundsätzlich drei Gruppen von Hypothesen für die Erklärung von Fledermauskollisionen an WEA infrage. Die erste Gruppe beschreibt eine reine Zufallsbegegnung zwischen den aktiven Fledermäusen im Raum und den WEA. Die zweite Gruppe von Hypothesen geht ebenfalls von einer zufälligen Kollision aus, jedoch in Kombination mit einer besonderen Empfindlichkeit von bestimmten Arten, Altersgruppen oder Zeiträumen (Wanderungen oder Aktivitätsphasen der Fledermäuse). Zu dieser Gruppe zählen die Autoren die Möglichkeit, dass Fledermäuse während ihrer Wanderungen die Echoortung einstellen oder reduzieren. Auch der Umstand, dass eine erhöhte Jagdaktivität zu einem erhöhten Schlag führen kann, wird genannt. Neben anderen Hypothesen wird auch die mangelnde Flugerfahrung von Jungtieren aufgeführt. Die dritte Gruppe von Hypothesen umfasst diejenigen, die von einer anziehenden Wirkung der Anlagen ausgehen. Zu Ihnen gehören nach CRYAN & BARCLAY (2009) die Hypothesen zur Anziehung der Fledermäuse durch:

- die (Sicherheits-) Befehrerung der Anlagen,
- die emittierenden Geräusche der Rotoren oder des Generators,
- die bewegten Rotoren (z. B. getrieben durch die Neugier der Tiere),
- Insektenansammlungen aufgrund von Abwärme an der Gondel oder verursacht durch das als „hilltopping“ bezeichnete Verhalten von Insekten (THORNHILL & ALCOCK 1983: 191ff),

- veränderte Landschaftsstrukturen (z. B. durch den Bau von WEA im Wald),
- ein Quartierangebot (durch Strukturanalogie von WEA mit hohen Bäumen) und
- die Funktion der WEA als Balz- und Versammlungsorte.

Die bis heute vorgelegten Untersuchungsergebnisse zum Kollisionsrisiko an WEA basieren fast ausnahmslos auf Kollisionsopfersuchen. Folgende Erkenntnisse konnten so gewonnen werden:

- In den Vereinigten Staaten wurden bislang 11 von 45 Arten (KUNZ et al. 2007) als Kollisionsopfer registriert. In Deutschland sind bislang 15 (DÜRR 2011) von 23 Arten (MEINIG et al. 2009) betroffen.
- In den USA stellen drei Arten 75 % aller gefundenen Opfer (KUNZ et al. 2007). In Deutschland stellen drei Arten über 80 % (Abendsegler, Flughautfledermaus, Zwergfledermaus) und fünf Arten über 90 % (zusätzlich zu den drei genannten Arten noch Kleinabendsegler und Zweifarbfledermaus) aller bislang gefundenen Kollisionsopfer (DÜRR 2011).
- In den USA zählen alle drei am häufigsten geschlagenen Fledermausarten zu den Fernziehern (KUNZ et al. 2007). In Deutschland lassen sich zwei der drei besonders betroffenen Arten denen zuordnen, die lange Strecken zwischen den Sommer- und Winterlebensräumen zurücklegen (HUTTERER et al. 2005).
- In der Regel dominieren die Männchen (FIEDLER 2004, ARNETT et al. 2008), aber auch Standorte mit einem deutlichen Überhang an Weibchen sind bekannt (PIORKOWSKI 2006).
- In Deutschland deutet sich eine artspezifische Differenzierung des Alters an (DÜRR 2007). Bei einigen Arten überwiegen demnach die adulten, bei anderen die subadulten Tiere (ebd.).
- In Deutschland steigt die Anzahl der Schlagopfer im Juli an, erreicht im August einen Höhepunkt und sinkt dann kontinuierlich wieder ab, bis etwa Mitte Oktober wieder das Ausgangsniveau erreicht wird (DÜRR 2007). Ein vergleichbares jahreszeitliches Muster ergibt sich in den USA, wo die große Mehrheit der Tiere ebenfalls im Zeitraum zwischen Juli und September verunglücken (FIEDLER 2004, ARNETT et al. 2008).
- Die durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten in den Nächten, in denen Fledermausschlag stattfindet, sind niedrig (KERNS et al. 2005, JAIN 2005).
- Grundsätzlich können zwei Typen von Ursachen zum Tod der Tiere führen. Zum einen sind dies barotraumatische Einwirkungen auf die inneren Hohlräume, die durch extreme Druckunterschiede im Nahbereich der Rotoren erklärt werden (BAERWALD et al. 2008). Zum anderen gibt es den direkten Schlag der Tiere durch die Rotoren. Im ersten Fall wirken die Tiere oftmals äußerlich unversehrt, zeigen aber innere Verletzungen (z. B. Hämothorax, Lungenblutungen, Lungenkollaps) (BAERWALD et al. 2008). Im zweiten Fall weisen die Opfer infolge des Schlags meist deutlich erkennbare (Platz-)Wunden und Frakturen (Knochen- und/oder Schädelbrüche) auf (BRINKMANN et al. 2006, MÜHLENDORFER et al. 2009, GRODSKY et al. 2011). Nach Untersuchungen von ROLLINS et al. (2012) spielt das Barotrauma als Todesursache eine untergeordnete Rolle.

1.4 Kollisionsopfersuche in der Genehmigungspraxis

Die Suche nach Kollisionsopfern ist eine wichtige Methode zur Feststellung des Kollisionsrisikos an WEA. Mit ihrer Hilfe wurde das Problem der Fledermauskollisionen an WEA überhaupt erst erkannt (OSBORN et al. 1996, TRAPP et al. 2002) und durch größere Studien bekannt gemacht (KERNS et al. 2005, BRINKMANN et al. 2006). Die Kollisionsopfersuche leistet damit noch immer wichtige Beiträge zur Erforschung der Fledermauskollisionen. Doch werden in der Praxis zunehmend akustische Informationen, aufgenommen am Mast oder an der Gondel, zur Beurteilung des Kollisionsrisikos verwendet. Insbesondere ermittelt die akustische Methode die Betriebszeitenbeschränkungen. In der Summe ist die Kollisionsopfersuche daher heute – besonders in Deutschland – eine Erfassungsmethode, die nur unter speziellen Bedingungen zum Einsatz kommt.

Allgemeine Rückschlüsse auf die Genehmigungspraxis von Windenergieanlagen in Bezug auf die Berücksichtigung von Fledermäusen in Deutschland, zum Teil auch der Kollisionsopfersuche, lassen sich aus den untergesetzlichen Regelungen und den Planungsempfehlungen der Bundesländer, ihrer Fachbehörden oder anderer Behörden ableiten. Solche Erlasse und Empfehlungen liegen mittlerweile für die meisten Länder vor.

In Tab. 1 sind die entsprechenden Erlasse und Empfehlungen aufgeführt, sofern sie einen unmittelbaren Bezug zur Genehmigungspraxis von Windenergieanlagen aufweisen. Weitere Erlasse können in den einzelnen Bundesländern einen mittelbaren Bezug zum Thema haben (Artenschutz, Genehmigung von Anlagen nach Bundesimmissionsschutzgesetz¹²), sie werden wegen der Fokussierung auf den Aspekt Fledermäuse und WEA im Folgenden jedoch nicht aufgeführt. Aus Tab. 1 wird ersichtlich, dass die Forderung artenschutzrechtliche Anforderungen bei der Planung von WEA zu berücksichtigen, in den meisten Bundesländern zum festen Bestandteil der Erlasse und Empfehlungen gehört. Bei ungefähr der Hälfte der aufgeführten Dokumente werden explizit auch Fledermäuse genannt. Lediglich in drei Bundesländern gibt es keine landesweit einheitlichen behördlichen Hinweise. Zwei dieser Bundesländer sind Stadtstaaten (Berlin und Bremen), die aufgrund ihrer Flächengröße keinen (Berlin¹³) bzw. nur einen geringen (Bremen¹⁴) Regelungsbedarf haben. In Sachsen-Anhalt werden die Regelungen von den Regionalen Planungsgemeinschaften festgelegt, sie sind damit uneinheitlich geregelt.

Ein Teil dieser Erlasse und Empfehlungen sind erst in den letzten Jahren veröffentlicht worden. Dies gilt v. a. für die Erlasse aus Baden-Württemberg (LAND BADEN-WÜRTTEMBERG 2012) und Bayern (LAND BAYERN 2011). In Baden-Württemberg und in Bayern war die Entwicklung der Windenergie bislang stark begrenzt (mit einer installierten Windenergieleistung von 486 bzw. 683 MW bis Ende 2011, BWE 2012e bzw. 2012c). Mit den neuen Erlassen soll der erwartete, deutliche Ausbau der Windenergie jeweils auf eine landesweit einheitliche Basis gestellt werden. Zudem soll eine Verkürzung der Genehmigungszeit erreicht werden (vgl. LAND BAYERN 2011).

¹² Als Beispiel sei der Runderlass „Artenschutz im immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren“ des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW vom 17.01.2011 genannt.

¹³ Das Land Berlin hatte bis Ende 2011 keine installierte Windenergieleistung (BWE 2012g).

¹⁴ Das Land Bremen hatte Ende 2011 eine installierte Windenergieleistung von 140 MW (BWE 2012b).

In den Bundesländern, in denen Windenergieanlagen schon länger und im viel größeren Umfang in Betrieb sind, existieren solche Empfehlungen oder Erlasse entsprechend länger. Niedersachsen – mit 7039 MW installierter Windenergieleistung (BWE 2012d) auf Platz eins der Bundesländer – hat seit 2005 die Empfehlungen des Niedersächsischen Landkreistages (NLT) zur „Berücksichtigung des Naturschutzes und der Landschaftspflege sowie zur Durchführung der Umweltprüfung und Umweltverträglichkeitsprüfung bei Standortplanung und Zulassung von Windenergieanlagen“ (NIEDERSÄCHSISCHER LANDKREISTAG 2005). Diese Empfehlungen liegen mittlerweile in der dritten Auflage vor (NIEDERSÄCHSISCHER LANDKREISTAG 2005, 2007, 2011). Auch das Land Brandenburg, das mit 4600 MW installierter Windenergieleistung (BWE 2012f) an zweiter Stelle der Bundesländer steht (BWE 2012f), hatte bereits 1996 einen Windkrafterlass (MUNR BRANDENBURG 1996) verabschiedet, um die naturschutzrechtlichen Belange beim Ausbau der Windenergie zu berücksichtigen. Auch in Nordrhein-Westfalen gab es ab 2005 einen Runderlass zur Windenergie (LAND NORDRHEIN-WESTFALEN 2005), der mittlerweile durch einen neuen Erlass (LAND NORDRHEIN-WESTFALEN 2011) ersetzt wurde.

Die Forderung Fledermäuse bei der Standortplanung zu berücksichtigen, spiegelt sich in nahezu allen Empfehlungen und Erlassen wider. Allerdings finden sich hier sehr unterschiedliche Aussagetiefen. Diese reichen von allgemeinen Aufrufen, die artenschutzrechtlichen Belange (SMUL Sachsen 2001) zu beachten, über Hinweise auf Abstandsregelungen zu bestimmten Schutzgebieten (die im Einzelfall auch aufgrund der Fledermausvorkommen eingerichtet worden sein könnten) (LAND HESSEN 2010) oder „Ausschlussgebieten mit Artenpotenzial“ (MABL MECKLENBURG-VORPOMMERN 2006) bis hin zu sehr konkreten methodischen Hinweisen zur Erfassung und Bewertung des Kollisionsrisikos (MUGV BRANDENBURG 2011).

Dagegen enthalten die Erlasse und Empfehlungen deutlich seltener Hinweise zur Notwendigkeit von Schlagopfersuchen. Lediglich in vier Bundesländern wird diese Methode explizit erwähnt (siehe Tab. 1). Obwohl Kollisionsopfersuchen grundsätzlich in verschiedenen Planungsphasen möglich sind, werden sie meist erst während des Betriebs der Anlagen durchgeführt. In dieser Phase wird die Wirksamkeit von Maßnahmen überprüft, Fledermauskollisionsopfer zu mindern und zu vermeiden. Diese Maßnahmen werden in der Regel pauschal oder auf der Grundlage von an den spezifischen Anlagen (-standorten) erhobenen akustischen Daten in Verbindung mit den Winddaten abgeleitet. Auf diese Weise werden Zeiträume mit erhöhter Fledermausaktivität identifiziert und aus dem künftigen Betrieb der Anlage genommen. Um zu kontrollieren, ob die abgeleiteten Abschaltungen wirksam sind, wird die Durchführung von Schlagopfersuchen teilweise als mögliche Methode genannt (MUGV BRANDENBURG 2011, LANU SCHLESWIG-HOLSTEIN 2008). Auch in Niedersachsen, wo es keine expliziten Empfehlungen zur Durchführung von Kollisionsopfersuchen im Rahmen des Monitorings gibt (NIEDERSÄCHSISCHER LANDKREISTAG 2011), werden diese im Zuständigkeitsbereich einiger unteren Naturschutzbehörden durchgeführt (eigene Daten).

Tab. 1: Aktuelle untergesetzliche Regelungen und Empfehlungen von staatlichen und quasi-staatlichen Institutionen zur Berücksichtigung von Fledermausbelangen bei der WEA-Planung auf der Ebene der Bundesländer (verändert, ergänzt und aktualisiert nach BRINKMANN et al. 2013) (X: zutreffend; (x): Bezug zu Fledermäusen nur indirekt gegeben)

| Bundesland | Verbindlichkeit | | Hinweise zu ... | | | | Quelle |
|------------------------|-------------------|------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|-------------------------------------|--|
| | Erlass/Richtlinie | Empfehlung | Standortplanung | Voruntersuchung | Monitoring/Erfolgskontrolle | Kollisionsopfersuchen ¹⁵ | |
| Baden-Württemberg | X | - | X | X | X | X ¹⁶ | LAND BADEN-WÜRTTEMBERG (2012) |
| | - | X | X | X | X | - | REGIERUNGSBEZIRK FREIBURG (2006) |
| Bayern | X | - | X | X | X | - | LAND BAYERN (2011) |
| Berlin | - | - | - | - | - | - | - |
| Brandenburg | X | - | X | X | X | X | MUGV BRANDENBURG (2011) |
| Bremen | - | - | - | - | - | - | - |
| Hamburg | X | - | (x) | - | - | - | STADT HAMBURG (2010) |
| Hessen | - | X | (x) | - | - | - | LAND HESSEN (2010) |
| Mecklenburg-Vorpommern | X | - | (x) | - | - | - | MABL MECKLENBURG-VORPOMMERN (2006) |
| | X | - | (x) | - | - | - | LAND MECKLENBURG-VORPOMMERN (2012) |
| Niedersachsen | - | X | X | X | X | - | NLT (2011) |
| Nordrhein-Westfalen | X | - | X | - | - | - | LAND NORDRHEIN-WESTFALEN (2011) |
| | - | X | X | X | X | - | MKULNV NRW (2012) |
| | - | X | X | X | X | X ¹⁷ | MKULNV & LANUV NRW (2013) |
| Rheinland-Pfalz | - | X | (x) | X | - | - | LAND RHEINLAND-PFALZ (2006) |
| | - | X | X | X | X | - | LUWG RHEINLAND-PFALZ (2010) |
| | - | X | X | X | X | X | STAATL. VOGELSCHUTZWARTE UND LUWG RH.-PF (2012) |
| Saarland | - | X | (x) | - | - | - | LAND SAARLAND (O.J.) |
| Sachsen | - | X | (x) | - | - | - | SMUL SACHSEN (2001) |
| Sachsen-Anhalt | - | - | - | - | - | - | - ¹⁸ |
| Schleswig-Holstein | X | - | X | - | - | - | LAND SCHLESWIG-HOLSTEIN (2011) |
| | - | X | X | X | - | X | LANU SCHLESWIG-HOLSTEIN (2008) |
| | - | X | - | - | X | - | LLUR SCHLESWIG-HOLSTEIN (2012) zit. in BRINKMANN et al. (2013) |
| Thüringen | - | X | X | - | - | - | LAND THÜRINGEN (O.J.) |

¹⁵ Kollisionsopfersuchen sind i.d.R. Bestandteil der Erfolgskontrolle, können aber auch bei Voruntersuchungen gefordert werden (dann z. B. an Nachbaranlagen bzw. an den zu ersetzenden Altanlagen).

¹⁶ Verwiesen wird auf weitergehende Hinweise, die den Erlass ergänzen werden. Diese Hinweise werden zurzeit erarbeitet. Sie enthalten voraussichtlich Empfehlungen zu Kollisionsopfersuchen als Bestandteil bestimmter Erfolgskontrollen (BRINKMANN mdl. 2012).

¹⁷ Kollisionsopfersuchen werden als Bestandteil eines Risikomanagements ausgeschlossen.

¹⁸ In Sachsen-Anhalt durch die Regionalen Planungsgemeinschaften unterschiedlich geregelt.

Eine Ausnahme von dem oben beschriebenen Grundsatz, wonach Schlagopfersuchen im Rahmen von Voruntersuchungen i.d.R. nicht möglich sind, stellt das Repowering dar. Beim Repowering werden ältere Anlagen durch leistungsfähigere Neuanlagen ersetzt. Daher ist es bei diesen Verfahren auch möglich, an den alten Anlagen Kollisionsopfersuchen durchzuführen, um daraus das Kollisionsrisiko an den neuen Anlagen abzuleiten (LANU SCHLESWIG-HOLSTEIN 2008). Das Gleiche gilt für Parkerweiterungen. Auch hier können die Ergebnisse der Kollisionsopfersuchen an den bestehenden Anlagen u. U. genutzt werden, um Vorhersagen über das Kollisionsrisiko an den geplanten, benachbarten Anlagen zu treffen (LANU SCHLESWIG-HOLSTEIN 2008).

Die Beschreibung der Genehmigungspraxis anhand der Erlasse und Empfehlungen stellt die Situation allerdings nur unvollständig dar, denn sie zeigt lediglich einen (z. T. recht groben) Handlungsrahmen für andere Akteure (z. B. der unteren Naturschutzbehörden als Genehmigungsbehörden mancher Bundesländer) auf. Wie dieser Rahmen in den einzelnen Bundesländern konkret ausgefüllt wird, kann aufgrund mangelnder Datenzusammenstellungen zum Thema nicht ermittelt werden.

Ein weiterer wichtiger Akteur, der die Genehmigungspraxis ganz wesentlich prägt, ist die Rechtsprechung. Die Diskussion um die genaue Auslegung des Tötungsverbotes (nach § 44 Abs. 1, Nr. 1 BNatSchG) ist noch nicht abgeschlossen (siehe Kap. 1.2). Neben dieser Frage spielen jedoch bei Auseinandersetzungen vor Gerichten auch andere Aspekte eine Rolle. So hat das Oberverwaltungsgericht Berlin beispielsweise vor Kurzem geurteilt, dass es zulässig sei, die Suchfehler der Kollisionsopfersuche bei Hochrechnung der Opferzahlen zu berücksichtigen, also die Einflüsse der beschränkten Absuchbarkeit, Sucheffizienz und Verbleibe-rate rechnerisch auszugleichen (OVG Berlin, Beschluss vom 15.03.2012 – OVG 11 S 72.10). Solche Urteile stärken sicher die Akzeptanz von Hochrechnungen in der Genehmigungspraxis.

1.5 Ziel der Arbeit und Untersuchungsfragen

In den letzten 20 Jahren hat der Ausbau der Windenergie in Deutschland eine beispiellose Entwicklung genommen. Auch in Zukunft dürfte die Anzahl der installierten Anlagen noch zunehmen (siehe Kap. 1.1). Gleichzeitig wurde in den letzten Jahren deutlich, dass Fledermäuse an WEA verunglücken können. In dieser Situation ist es unbefriedigend, dass viele Fragen im Zusammenhang mit der Feststellung des Kollisionsrisikos, der spezifischen Empfindlichkeit der Fledermäuse und der von den Anlagen ausgehenden Gefährdung weiter unbeantwortet bleiben. In der Praxis ergeben sich folgende Kenntnislücken:

1. Notwendigkeit der Anpassung der in den USA entwickelten Kollisionsopfersuche an mitteleuropäische Verhältnisse. Diese notwendige Anpassung an die hiesigen Verhältnisse sind nicht nur in rechtlicher Sicht erforderlich¹⁹, sondern ergibt sich u. a. auch aus der intensiven, meist landwirtschaftlichen Nutzung der Flächen unter den Windenergieanlagen. Dies führt oft zu nur geringen absuchbaren Flächenanteilen unter den WEA.

¹⁹ In Deutschland stehen alle Fledermausarten unter strengem rechtlichen Schutz (siehe Kap. 1.2) während die kollisionsgefährdeten Arten in den USA keinen rechtlichen Schutz genießen.

2. Bewertung der Empfindlichkeit von Fledermäusen gegenüber dem Kollisionsrisiko. Die bislang vorliegenden Daten stammen entweder aus Nordamerika oder beruhen zum großen Teil auf geringen Stichprobengrößen oder methodisch unvollständigen Ansätzen aus deutschen Studien.
3. Möglichkeiten der Reduktion der Fledermauskollisionen durch die Wahl des Anlagenstandortes. Dahinter steht die Frage, welchen Einfluss bestimmte Anlagen- und Landschaftsparameter auf die Fledermausaktivität bzw. auf das Kollisionsrisiko an den Anlagen haben.

Die Zielsetzung des Dissertationsvorhabens ist es, zur Schließung der Kenntnislücken beizutragen, die sich im Zusammenhang mit der praxisnahen Erfassung und Quantifizierung des Kollisionsrisikos insbesondere durch Kollisionsopfersuchen stellen. Folgende übergeordnete Fragestellungen und konkrete Untersuchungsfragen lassen sich aus diesen Kenntnislücken ableiten:

- 1) Welche Optimierungsmöglichkeiten der Kollisionsopfersuche bestehen?
 - Wie groß müssen die Untersuchungsflächen unter den WEA sein? Kann vor dem Hintergrund der Hochrechnung von Schlagopferzahlen von einer Gleichverteilung der Schlagopfer unter den Windenergieanlagen ausgegangen werden?
 - Wie kann die Bestimmung der Verbleiberate verbessert werden?
 - Wie kann die Bestimmung der Sucheffizienz verbessert werden?
 - Wie wirken die Suchfehler zusammen und welche Optimierungsmöglichkeiten ergeben sich hieraus?
 - Wie lässt sich die Anzahl der voraussichtlich kollidierten Tiere möglichst fehlerfrei und möglichst einfach aus den Felddaten hochrechnen? Welche Informationen sind hierfür erforderlich?
- 2) Zeigen bestimmte Fledermausarten oder Gruppen von Tieren eine besondere Empfindlichkeit gegenüber dem Kollisionsrisiko?
 - Welche Arten sind in Deutschland vorrangig von der Kollision an WEA betroffen?
 - Mit wie vielen Kollisionsopfern je Anlage muss gerechnet werden?
 - Gibt es regionale Unterschiede in der Artenzusammensetzung der Kollisionsopfer?
 - Wie verläuft das zeitliche Auftreten der Kollisionsopfer im Jahr (Phänologie)?
 - Kann bei bestimmten Altersgruppen eine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber der Kollision festgestellt werden?
 - Weist eines der Geschlechter eine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber der Kollision auf?
 - Sind Tiere aus der Umgebung der Anlage einem erhöhten Kollisionsrisiko ausgesetzt?
- 3) Haben Anlagen- und Landschaftsparameter einen Einfluss auf Fledermauskollisionen?
 - Haben Vorkommen und Verteilung von Landschaftsvariablen einen Einfluss auf die Fledermausaktivität im Rotorbereich? Unterscheidet sich der Einfluss in Abhängigkeit vom Betrachtungsmaßstab?
 - Können Unterschiede in der Aktivität durch die Distanz der WEA zu bestimmten Landschaftsbestandteilen erklärt werden?

- Unterscheidet sich die Aktivität von Fledermäusen an den WEA in verschiedenen Naturräumen?
- Welche Bedeutung haben die Landschaftsfaktoren im Vergleich zu meteorologischen Einflüssen?
- Hat die Nabenhöhe einen Einfluss auf die Fledermausaktivität in Gondelhöhe?

1.6 Aufbau der Arbeit

Die Dissertation besteht im Kern aus mehreren Einzelarbeiten, die bereits veröffentlicht wurden. Dem publizierten Abschlussbericht des Forschungsvorhabens zur „Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen“ (BRINKMANN et al. 2011) wurden drei Artikel entnommen (Kap. 2, 3 und 5). Eine weitere Arbeit (Kap. 4) ist in Biological Conservation erschienen. Die Artikel sind in sich abgeschlossene Arbeiten, sie führen daher jeweils ihre eigenen Quellen auf. Auch ggf. enthaltene Querverweise zu anderen Kapiteln beziehen sich nur auf den Artikel selbst. Das Quellenverzeichnis für den übrigen Teil der vorliegenden Arbeit befindet sich zentral am Ende der Gesamtarbeit (in Kap. 9).

Das Kapitel 2 in dem die „Systematische Schlagopfersuche – methodische Rahmenbedingungen, statistische Analyseverfahren und Ergebnisse“ (NIERMANN et al. 2011a) dargestellt wird, wurde im Abschlussbericht des Forschungsvorhabens (BRINKMANN et al. 2011) veröffentlicht. In den Abschnitten 4.5 (Methoden: Hochrechnung der Schlagopferzahlen), 5.3 (Ergebnisse: Zusätzliche methodische Untersuchungen), 5.4 (Ergebnisse: Hochrechnung der Schlagopferzahlen), 6.3 (Diskussion: Hochrechnung) sowie dem Abschnitt 7 (Empfehlungen zur Durchführung von Schlagopfersuchen) wird die erste übergeordnete Frage des Optimierungspotenzials von Kollisionsopfersuchen umfassend bearbeitet.

Das Kap. 3, das den Artikel „Windbedingte Verdriftungen von Fledermausschlagopfern an Windenergieanlagen – ein Diskussionsbeitrag zur Methodik der Schlagopfersuche“ (NIERMANN et al. 2011b) beinhaltet, wurde ebenfalls im Abschlussbericht des Forschungsvorhabens (BRINKMANN et al. 2011) publiziert. Dieser Beitrag beleuchtet einen Aspekt der Optimierung der Kollisionsopfersuche, nämlich die Frage nach der nötigen Ausdehnung des Suchradius unter den Windenergieanlagen.

Das Kapitel 2 bearbeitet in den Abschnitten 5.1 (Ergebnisse: Schlagopfersuche), 5.4.2 (Ergebnisse: Geschätzte Zahlen verunglückter Fledermäuse pro Anlage) und 6.1 (Diskussion: Schlagopfersuche) auch zentrale Aspekte der zweiten übergeordneten Frage, welche die spezifische Empfindlichkeit von Fledermäusen gegenüber dem Kollisionsrisiko zum Thema hat. Hier werden die Ergebnisse der durchgeführten Schlagopfersuchen dargestellt.

Das Kap. 4, „The catchment area of wind farms for European bats: A plea for international regulations“ (VOIGT et al. 2012), das in Biological Conservation erschienen ist, bearbeitet erstmals die Frage nach dem Einzugsgebiet von Fledermäusen an Windenergieanlagen. Damit ergänzt dieses Kapitel die Frage nach der besonderen Empfindlichkeit bestimmter Arten oder Gruppen von Tieren um die Herkunft der Tiere.

Das Kap. 5 umfasst den Beitrag „Einfluss von Anlagen- und Landschaftsvariablen auf die Aktivität von Fledermäusen an Windenergieanlagen“ (NIERMANN et al. 2011c) und wurde im

Abschlußbericht des Forschungsvorhabens (BRINKMANN et al. 2011) veröffentlicht. Dieser Artikel konzentriert sich auf die Untersuchung der dritten übergeordneten Forschungsfrage.

Da alle veröffentlichten Arbeiten in Zusammenarbeit mit anderen Autoren entstanden sind, sei an dieser Stelle auf Kap. 11 verwiesen, in dem für die einzelnen Artikel der Beitrag des Autors aufgeführt ist.

2 Systematische Schlagopfersuche – methodische Rahmenbedingungen, statistische Analyseverfahren und Ergebnisse

Ivo NIERMANN, Robert BRINKMANN, Fränzi KORNER-NIEVERGELT & Oliver BEHR

In: Robert BRINKMANN, Oliver BEHR, Ivo NIERMANN, & Michael REICH (Hrsg.): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. Umwelt und Raum (2011) 4: 40–115.

3 Windbedingte Verdriftungen von Fledermausschlagopfern an Windenergieanlagen – ein Diskussionsbeitrag zur Methodik der Schlagopfersuche

Ivo NIERMANN, Robert BRINKMANN, Fränzi KORNER-NIEVERGELT & Oliver BEHR

In: Robert BRINKMANN, Oliver BEHR, Ivo NIERMANN, & Michael REICH (Hrsg.): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. Umwelt und Raum (2011) 4: 116–129.

4 The catchment area of wind farms for European bats: A plea for international regulations

Christian C. VOIGT, Ana G. POPA-LISSEANU, Ivo NIERMANN & Stephanie KRAMER-SCHADT
Biological Conservation (2012) 153: 80–86.

5 Einfluss von Anlagen- und Landschaftsvariablen auf die Aktivität von Fledermäusen an Windenergieanlagen

Ivo NIERMANN, Stefanie VON FELTEN, Fränzi KORNER-NIEVERGELT, Robert BRINKMANN & Oliver BEHR

In: Robert BRINKMANN, Oliver BEHR, Ivo NIERMANN & Michael REICH (Hrsg.): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. Umwelt und Raum (2011) 4: 384–405.

6 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Die Gliederung dieses Kapitels orientiert sich an den übergeordneten Fragestellungen. Die in Kap. 1.5 dargestellten übergeordneten Fragestellungen lauten:

1. Welche Möglichkeiten der Optimierung von Kollisionsopfersuchen bestehen?
2. Zeigen bestimmte Fledermausarten oder Gruppen von Tieren eine besondere Empfindlichkeit gegenüber dem Kollisionsrisiko?
3. Haben Anlagen- und Landschaftsparameter einen Einfluss auf Fledermauskollisionen?

6.1 Optimierungspotenzial der Kollisionsopfersuche

Aus den Nachsuchen (insgesamt 2053 einzelne Suchen an 30 Anlagen) und den speziellen methodischen Untersuchungen, die begleitend durchgeführt wurden (siehe Kap. 2 und 3), lassen sich Erkenntnisse zur Durchführung und Optimierung von Schlagopfersuchen gewinnen. Die Darstellung und Diskussion der Ergebnisse erfolgt im Hinblick auf die drei wesentlichen methodischen Fehlerquellen (absuchbare Flächenanteile, Verbleiberate, Sucheffizienz), welche die Ergebnisse der Schlagopfersuche beeinflussen (siehe Kap. 1.3). Der Flächenanteil beschreibt den Anteil an der Gesamtfläche unter einer WEA, der aufgrund der Vegetationsstruktur und -höhe tatsächlich abzusuchen ist (Gehölzbestände, Äcker mit hohen Feldfrüchten, Wasserflächen usw. können nicht abgesucht werden). Die Verbleiberate beschreibt den Anteil der Tiere, die auf den Flächen verbleiben und damit zumindest potenziell auffindbar sein sollten. Der andere Teil der Tiere wird von Aasfressern vergraben (z. B. Käfer der Familie *Silphidae*), abtransportiert (z. B. Fuchs, Krähen) oder bis zur Unkenntlichkeit zerlegt (durch Ameisen, Schnecken, Wespen). Diese Kadaver werden von den Suchenden i.d.R. nicht gefunden. Als dritter Suchfehler ist die Sucheffizienz zu nennen. Sie beschreibt das stets begrenzte Vermögen der Suchenden, alle vorhandenen Tiere zu finden. Diese Fehlerquellen beeinflussen die Qualität einer Hochrechnung der voraussichtlich verunglückten Fledermäuse. Zusätzlich besteht zwischen diesen Faktoren eine gewisse Abhängigkeit, die zu berücksichtigen ist. Daraus ergaben sich folgende Untersuchungsfragen:

- Wie groß müssen die Untersuchungsflächen unter den WEA sein? Kann vor dem Hintergrund der Hochrechnung von Kollisionsopferzahlen von einer Gleichverteilung der Opfer unter den Windenergieanlagen ausgegangen werden?
- Wie kann die Bestimmung der Verbleiberate verbessert werden?
- Wie kann die Bestimmung der Sucheffizienz verbessert werden?
- Wie wirken die Suchfehler zusammen und welche Optimierungsmöglichkeiten ergeben sich daraus?
- Wie lässt sich die Anzahl der voraussichtlich kollidierten Tiere möglichst fehlerfrei aus den Felddaten hochrechnen? Welche Informationen sind dafür erforderlich?

6.1.1 Abgrenzung der Untersuchungsflächen

Bei der Abgrenzung der Untersuchungsflächen geht es um die Frage, wie groß die Flächen sein müssen, die unterhalb den WEA abzusuchen sind, um möglichst viele kollidierte Tiere aufzufinden. In der Planungspraxis muss hier grundsätzlich eine Abwägung zwischen dem Aufwand und dem „Ertrag“ der Untersuchung vorgenommen werden. Je größer der Radius der Fläche ist, die abzusuchen ist, desto größer ist der zeitliche und finanzielle Aufwand, den die Untersuchung verursacht. Auf der anderen Seite ist bekannt, dass die meisten Tiere vergleichsweise nahe am Mastfuß liegen. Dieser Umstand führt bei den Suchen in großer Entfernung um die Anlagen oft zu Motivationsproblemen bei den Suchenden. Außerdem verhindern sehr große Flächen ein zügiges Absuchen der Anlagen, was – zumindest theoretisch – den Abtrag der Kadaver an den übrigen, noch nicht abgesuchten Anlagen erhöhen kann. Ein weiterer Aspekt der Frage ist, ob von einer Gleichverteilung der Opfer unter den Windenergieanlagen ausgegangen werden kann.

In der Praxis werden unterschiedliche Empfehlungen zur abzusuchenden Flächengröße gegeben. GAUTHREAU (1996) empfiehlt das Absuchen der Fläche mit einem Radius, der der Höhe der gesamten WEA entspricht. KUNZ et al. (2007) gehen davon aus, dass in dieser Fläche der weitaus größte Teil der Kollisionsoffer zu finden ist. In Deutschland hat sich in der Praxis dagegen durchgesetzt, dass eine Kreisfläche mit einem Radius von 40 bis 60 m abgesucht wird (NIERMANN et al. 2007), unabhängig von der Nabenhöhe oder der Gesamthöhe der WEA. Empirische Daten von Nachsuchen belegen, dass mehr als 80 % der Tiere auf einem Flächenrund mit einem Radius gefunden wurden, der der Hälfte der Gesamthöhe der Anlage entspricht (ERICKSON et al. 2003, JOHNSON et al. 2003, YOUNG et al. 2003, KERNS et al. 2005).

Die Ergebnisse der eigenen Untersuchung an den Anlagen zeigen, dass der weitaus größte Teil der verunglückten Tiere in einer Kreisfläche mit einem Radius von 50 m um die Anlage herum liegt. Bei allen Nachsuchen konnte von den insgesamt 100 Kollisionsoffern nur ein einziges Tier jenseits dieser Marke gefunden werden, obwohl an 60 % der Untersuchungstage auch Flächen abgesucht wurden, die bis zu 100 m entfernt von den Mastfüßen der WEA lagen. Zudem hat die Untersuchung ergeben, dass die Tiere auch innerhalb des 50-m-Radius nicht gleichmäßig verteilt sind, sondern im Äquidistanzring von 10–20 m um den Mastfuß die höchsten Kollisionsofferzahlen zu registrieren sind – dies gilt auch bei einer um den Einfluss der Sucheffizienz korrigierten Betrachtung. Vor dem Ziel einer möglichst genauen Hochrechnung wird daher empfohlen, den Anteil der absuchbaren Flächen für jeden 10 m breiten Äquidistanzring separat zu erheben. Luftbilder oder Bilder aus der Gondel können zur Abgrenzung der Flächen und zur Dokumentation etwaiger Nutzungsänderungen hilfreich sein.

Angesichts der ungleichen Verteilung der Tiere auf der Fläche kommt der Suche in der Nähe der Anlage eine besonders große Bedeutung zu. Sollte die Flächennutzung eine effiziente Absuche hier zunächst nicht ermöglichen, können Maßnahmen zur Erhöhung des Anteils der absuchbaren Flächen durchgeführt werden. Zu diesen Maßnahmen gehört u.a. die Mahd oder das Grubbern der anlagennahen Flächen.

Um die empirischen Daten zur Verteilung von Fledermäusen unter den WEA um experimentelle Daten zu ergänzen, wurden an einer WEA mit einer Nabenhöhe von 99 m Fallversuche mit toten Fledermäusen durchgeführt (siehe Kap. 3). Dazu wurden die Tiere während des Betriebs der Anlage aus der Gondel fallen gelassen. Dabei stellte sich heraus, dass die Entfernung, welche die herabfallenden Fledermäuse zurücklegen, v. a. von der Masse der

Tiere und der herrschenden Windgeschwindigkeit abhängen. Leichte Tiere (gleichzusetzen mit den Individuen der kleinen Arten) werden dabei weiter verdriftet als schwere Tiere (die Individuen der großen Arten). Wie zu erwarten war, führten hohe Windgeschwindigkeiten zu größeren Verdriftungsentfernungen als niedrige Windgeschwindigkeiten. Die in Kap. 3 dargestellte Untersuchung hat gezeigt, dass ein Großteil der Tiere auf einer Fläche zu finden war, die einen Radius hatte, der ca. der halben Nabenhöhe (die Nabenhöhe der untersuchten WEA lagen im Mittel bei 99,5 m), d. h. 50 m, entspricht. Mit Hilfe eines statistischen Modells wurde ermittelt, wie sich die theoretische Verteilung der Tiere um den Mastfuß einer WEA darstellt, wenn die Verteilung der Fledermausaktivität auf die Windgeschwindigkeitsklassen so angenommen wird, wie sie an Gondeln (mittels akustischer Erfassung) festgestellt wurde. Diesem Modell zufolge werden in einem Bereich von 50 m um die Anlage dann 97 % der schweren Tiere (z. B. Abendsegler) und knapp 74 % der leichten Tiere (z. B. Rauhhaufledermaus oder Zwergfledermaus) erwartet. Wegen der vermutlich eingeschränkten Übertragbarkeit der Ergebnisse des Fallversuches auf die Realität können diese Daten allerdings nur als Hinweis auf die Verteilung der Tiere verstanden werden.

6.1.2 Ermittlung der Verbleiberate

Die Frage nach der Verbesserung der Bestimmung der Verbleiberate ist ein wichtiger Aspekt bei der Optimierung der Kollisionsopfersuche. Um sicherzustellen, dass kein systematischer Fehler einschleicht, sollte die Verbleiberate der verunglückten Fledermäuse an WEA idealerweise mit toten Fledermäusen ermittelt werden. Doch verunglücken an deutschen WEA in der Regel nicht ausreichend viele Tiere, um mit ihrer Hilfe statistisch belastbare Daten zu ermitteln. Um die Verbleiberate an den WEA dennoch berechnen zu können, werden daher Organismen benötigt, die mit einer – den Fledermäusen – vergleichbaren Geschwindigkeit abgetragen werden. Da sich ein Teil der Prädatoren vorrangig optisch orientiert, wurden Eintagsküken (SEICHE et al. 2008) oder Kleinvögel (ERICKSON et al. 2003, YOUNG et al. 2003) und weiße Labormäuse (BEHR & v. HELVERSEN 2005) aufgrund ihrer auffallenden Färbung oder ihrer abweichenden Form als Modellorganismen ausgeschlossen. So stellten SEICHE et al. (2008) an den von ihnen verwendeten Eintagsküken deutlich abweichende Verbleiberaten fest.

Stattdessen wurde geprüft, ob sich dunkle Labormäuse (sogenannte Farbmäuse) für diesen Zweck eignen. Die Verbleiberaten an den untersuchten WEA wurden ermittelt, indem diese Tiere ausgelegt wurden und anschließend dokumentiert wurde, wie lange es dauert, bis diese von den Flächen verschwinden. Parallel dazu wurden unauffällig markierte Fledermäuse ausgelegt. In einer begleitenden Untersuchung konnte festgestellt werden, dass sich die Höhe der Verbleiberate dieser Tiere nicht signifikant von der unterscheidet, die sich bei der Verwendung von Fledermäusen ergibt (siehe Kap. 2). Das ist für die Planungspraxis ein erheblicher Vorteil, denn nur in seltenen Fällen lagen tote Fledermäuse in entsprechender Zahl bereit.

Im Mittel aller untersuchten Anlagen (n=30) betrug die Verbleiberate in der durchgeführten Untersuchung nach 24 Stunden 0,79. Das bedeutet, dass nach einem Tag noch fast acht von zehn ausgelegten Tieren auf den Flächen zu finden waren. Die Verbleiberaten zwischen den Parks unterschieden sich z. T. deutlich. Auch andere Autoren konnten dies bereits feststellen (z. B. KERNS et al. 2005). Eine Übersicht über die Verbleiberaten in einigen Studien gibt NIERMANN et al. (2007). Allerdings kann sich die Verbleiberate zwischen verschiedenen Anlagen auch innerhalb eines Parks deutlich unterscheiden. Für eine möglichst präzise

Hochrechnung der geschlagenen Zahl der Fledermäuse ist daher die anlagenbezogene Erhebung der Verbleiberate notwendig.

Für die Durchführung von Schlagopfersuchen wird empfohlen, die Verbleiberate an den Anlagen aus der Schwundrate von 30 Labormäusen oder Fledermäusen je Anlage zu errechnen, um statistisch belastbare Ergebnisse zu bekommen. Dabei ist darauf zu achten, dass der Gewöhnungseffekt bei potenziellen Prädatoren minimal bleibt. Falls die Aktivität von Prädatoren auf den Flächen zu hoch ist, um eine Hochrechnung mit einem geringen Fehler zu erhalten, kann die Verbleiberate durch die Umsetzung von Maßnahmen verbessert werden. Eine geeignete Maßnahme zur Erhöhung der Verbleiberate wäre beispielsweise die Verkürzung der Nachsuchintervalle.

6.1.3 Ermittlung der Sucheffizienz

Ein weiterer Baustein die Kollisionsopfersuche zu optimieren, ist die Verbesserung der Bestimmung der Sucheffizienz. Ähnlich wie bei der Erfassung der Verbleiberate ist die Ermittlung der Sucheffizienz notwendig, um die Anzahl der verunglückten Fledermäuse an einer WEA hochzurechnen. Oft verunglücken jedoch nicht so viele Fledermäuse, wie benötigt werden, um die Sucheffizienz statistisch belastbar ermitteln zu können. In der Vergangenheit wurden daher Attrappen (BRINKMANN et al. 2006), Vögel (YOUNG et al. 2003, JOHNSON et al. 2003), Labormäuse (BEHR & v. HELVERSEN 2006) und Fledermäuse (KERNs et al. 2005) verwendet. Die Verwendung dieser Objekte geschah ohne experimentelle Überprüfung ihrer Eignung für die Ermittlung der Sucheffizienz.

Auch in diesen Fällen werden also Modellobjekte benötigt, die die Suchenden vergleichbar gut finden. Eine begleitende methodische Untersuchung ergab im Falle der Sucheffizienz, dass zwischen der Auffindbarkeit der Fledermäuse, der dunklen Labormäuse und der eingesetzten Mausattrappen keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden konnten (siehe Kap. 2). Damit können alle drei Objekttypen verwendet werden, um die Sucheffizienz zu ermitteln.

Die Ergebnisse der eigenen Untersuchung zeigen, dass die Sucheffizienz aller Suchenden im Mittel vom Deckungsgrad und der Höhe der Vegetation auf der abzusuchenden Fläche abhängig ist. Dabei nimmt die Sucheffizienz mit zunehmender Deckung und Höhe der Vegetation ab. Die Sucheffizienz wurde dabei getrennt für drei verschiedene Sichtbarkeitsklassen (offenes Gelände, überwachsenes und stark überwachsenes Gelände) erhoben. Im Mittel aller Suchenden lag die Sucheffizienz im offenen Bereich bei 0,75, im überwachsenen Bereich bei 0,66 und im stark überwachsenen Bereich bei 0,58. Zusätzlich gibt es erhebliche individuelle Unterschiede in der Fähigkeit der Suchenden diese unscheinbaren Tiere zu finden. Aus diesem Grund wird empfohlen, die Sucheffizienz individuell festzustellen.

Für die Durchführung von Kollisionsopfersuchen wird aufgrund der Untersuchung empfohlen, die Sucheffizienz der einzelnen Nachsuchenden mit 10 geeigneten Objekten (Attrappen) oder Organismen (dunkle Labormäuse oder Fledermäuse) je Sichtbarkeitsklasse zu untersuchen, um statistisch belastbare Ergebnisse zu bekommen. Falls die Sucheffizienz an einzelnen Anlagen zu gering sein sollte, kann diese durch verschiedene Maßnahmen verbessert werden. Zu diesen möglichen Maßnahmen gehören die Verlängerung der Absuchzeit und die Bodenbearbeitung zur Verbesserung der Suchbedingungen.

6.1.4 Zusammenwirken der Faktoren

Ein bislang weitgehend unberücksichtigter Aspekt der Durchführung von Kollisionsopfersuchen im Allgemeinen und der Hochrechnungen der voraussichtlich kollidierten Opferzahlen im Speziellen ist das Zusammenwirken der verschiedenen Suchfehler. In der Literatur wurden bislang nur allgemeine Empfehlungen für einzelne Parameter gegeben. So empfehlen beispielsweise RODRIGUEZ et al. (2008) in kleinen Parks eine tägliche Nachsuche (zur Erhöhung der Verbleiberate). Auf die Tatsache, dass die Ausprägung der Suchfehler im Hinblick auf die Qualität der Hochrechnung zusammenspielen, wurde bislang noch nicht hingewiesen. Auch finden sich in der Literatur keine Hinweise auf die Ausprägung von Schwellenwerten von Suchfehlern, ab denen eine Suche i.d.R. nicht mehr sinnvoll ist.

Die Größe der drei genannten Fehlerquellen (absuchbare Flächen, Verbleiberate und Sucheffizienz) bestimmen die Qualität der Hochrechnung. Jede Fehlerquelle trägt mit ihrer spezifischen Streuung zur Vergrößerung der Streuung des Gesamtergebnisses bei. In Kap. 2 wurde das Zusammenspiel der drei Suchfehler im Hinblick auf ihre Folgen für die Qualität des Ergebnisses untersucht und grafisch dargestellt. Mit der darin enthaltenen Grafik kann die Qualität der Hochrechnung – abhängig von der Ausprägung der Suchfehler – überschlüssig ermittelt werden. Sofern die zu erwartende Qualität der Hochrechnung nicht den Anforderungen entspricht – d. h. ein zu großer maximaler Fehler zu erwarten ist –, können Maßnahmen zur Verbesserung der Suchbedingungen umgesetzt werden. Welche Maßnahmen im Hinblick auf die Verbesserung des Ergebnisses besonders effizient sind, hängt in erster Linie von dem begrenzenden Suchfehler ab.

Bislang stand die Auswertung der Felddaten immer am Ende der Untersuchung. Die Qualität der Hochrechnung – der maximale Fehler – ergab sich im Laufe der Untersuchung aus den gesammelten Daten. Mit der Darstellung der Fehlerabschätzung der Hochrechnung in Abhängigkeit von der Ausprägung der Suchfehler wird erstmals die Möglichkeit angeboten, noch vor Beginn der Geländearbeiten eine erste Abschätzung über die voraussichtliche Qualität der Hochrechnung vorzunehmen. Dabei kann z. B. der voraussichtlich absuchbare Flächenanteil unter einer Anlage schon vor der Untersuchung überschlagen werden. Genauso ist die Sucheffizienz von Bearbeitern bekannt, die schon mehrfach auf ihre Sucheffizienz getestet wurden. In Abhängigkeit von der angestrebten Qualität der Hochrechnung kann dann abgeleitet werden, in welchem Rahmen sich die einzelnen Suchfehler bewegen müssen, um das jeweilige Ziel zu erreichen. Werden auf diese Weise Defizite erkannt, können Maßnahmen zur Verbesserung der Suchbedingungen ergriffen werden. Werden die abzusuchenden Flächen beispielsweise von Vegetation befreit, erhöht sich die Sucheffizienz und – bei hoher, unübersichtlicher Vegetation – auch der Anteil der absuchbaren Fläche. So hätte eine solche Maßnahme mehrere Vorteile. Besonders der Flächenanteil hat einen entscheidenden Einfluss auf die Qualität der Hochrechnungen. Eine weitere Stellschraube, mit der die Qualität der Hochrechnung verbessert werden kann, ist das Untersuchungsintervall. Bei sehr hohen Verbleiberaten spielt die Anzahl der Tage zwischen zwei Nachsuchen oft kaum eine Rolle. Nimmt die Verbleiberate allerdings ab, so wird die Verkürzung des Untersuchungsintervalls immer wichtiger.

Der Praxis wird damit erstmals eine fachlich fundierte Möglichkeit zur vorausschauenden Optimierung von Schlagopfersuchen zur Verfügung gestellt. Da der Wunsch nach einer fachlichen Optimierung hier stets auch finanzielle Folgen hat, besteht die Hoffnung, dass die Kollisionsopfersuchen in Zukunft fachlich und finanziell optimiert werden können.

6.1.5 Hochrechnung der Kollisionsofferzahlen

Ein zentraler Aspekt der Optimierung der Kollisionsoffersuche ist die Frage nach der möglichst fehlerarmen Hochrechnung der voraussichtlich kollidierten Tiere aus den Felddaten. Die Hochrechnung der Kollisionsofferzahlen ist notwendig, wenn eine möglichst genaue Schätzung der tatsächlichen Zahl verunglückter Fledermäuse benötigt wird. Um diese Hochrechnungen durchführen zu können, ist es erforderlich, die Größe der Suchfehler zu quantifizieren, welche die Suchen beeinflussen. Dazu wurde in begleitenden Felduntersuchungen die Sucheeffizienz aller an der Suche beteiligten Personen ermittelt. Darüber hinaus wurde für jede einzelne untersuchte WEA die spezifische Verbleiberate festgestellt. Die Nutzungsänderungen unter den WEA und ihre Auswirkung auf die Suchbedingungen, d. h. vor allem auf die Flächenverteilung der verschiedenen Sichtbarkeitsklassen, wurde ebenfalls kontinuierlich erfasst. Diese Daten sind zusammen mit der Anzahl der gefundenen Schlagopfer in die Berechnungen eingeflossen.

Die vorgeschlagene neue Formel zur Hochrechnung der Kollisionsofferzahlen erzeugt unter Bedingungen, die für Mitteleuropa typisch sind (vergleichsweise geringe Verbleiberaten, kurze Nachsuchintervalle), geringere systematische Fehler als andere in der Planungspraxis bislang gebräuchliche Formeln. Dies belegt eine Untersuchung von KORNER-NIEVERGELT et al. (2011b), die eine Reihe von Formeln in Simulationen verglichen hat. Insbesondere gegenüber einer weitverbreiteten, einfachen Formel²⁰ führt die Anwendung der neuen Formel zu niedrigeren Kollisionsofferzahlen (ebd.). Die neue Formel kann eine ungleichmäßige Verteilung der Fledermäuse auf den Flächen unter den WEA in der Berechnung berücksichtigen. Die einfache Formel geht dagegen von einer homogenen Verteilung der Schlagopfer aus, was sich nach den vorgelegten Untersuchungsergebnissen weder empirisch noch theoretisch (korrigiert für die Entdeckungswahrscheinlichkeit der Kollisionsoffer) bestätigt hat. Ein weiterer Vorteil der vorgeschlagenen Berechnung ist – gerade im Vergleich zur einfachen Formel –, dass auch für Anlagen, an denen keine Fledermäuse gefunden wurden, nun eine Schätzung der Schlagopferzahl möglich wird. Außerdem kann das Vertrauensintervall nicht mehr unter die tatsächlich gefundene Zahl der Schlagopfer absinken. Die Unterschiede der neuen Formel sind im Vergleich zu den übrigen, komplexeren Formeln weniger augenfällig, doch ergeben sich auch hier – in Abhängigkeit von der Ausprägung der Suchfehler – Unter- oder Überschätzungen der Anzahl der Kollisionsoffer, die in der Zusammenschau der Simulationen ausgeprägter sind als bei der vorgeschlagenen Formel (ebd.).

Um eine möglichst fehlerarme Hochrechnung der Kollisionsofferzahlen zu erhalten, sollten auf der abzusuchenden Fläche möglichst gute Suchbedingungen herrschen bzw. hergestellt werden. Das bedeutet vor allem, dass ein möglichst großer Flächenanteil absuchbar sein sollte. Gerade dieser Faktor hat einen großen Einfluss auf die Qualität der Hochrechnung. Soll beispielsweise der Fehler bei der Hochrechnung in 95 % der Fälle kleiner als 100 % ausfallen, sollte bei einer durchschnittlichen Verbleiberate von 0,79 und einer durchschnittlichen Sucheeffizienz von 0,66 auf überwachsenen Flächen²¹ ein abzusuchender Anteil von mindestens 60 % der Fläche mit einem Radius von 50 m um die Anlage erreicht werden

²⁰ Dabei gilt: Anzahl der wahrscheinlichen Opfer = Anzahl gefundener Opfer x Faktor Fläche x Faktor Sucheeffizienz x Faktor Abtragate.

²¹ Bei diesen Werten handelt es sich um die Mittelwerte aus der in Kap. 2 dargestellten Untersuchung der Verbleiberate an den 30 WEA und der Sucheeffizienz der 25 an der Suche beteiligten Personen.

(siehe Kap. 2). In der mitteleuropäischen Kulturlandschaft bedeutet dies in der Regel, dass Teile der landwirtschaftlichen Produktion unter den Anlagen für die Dauer der Untersuchung ausgesetzt werden müssen.

Während im ersten Forschungsvorhaben die Entwicklung einer geeigneten Hochrechnungsformel im Vordergrund stand, wurde im nachfolgenden Vorhaben eine größere Verbreitung dieses Ansatzes in der Praxis angestrebt. Dazu wurde die entwickelte Hochrechnungsformel in ein Internettool²² integriert, welches die Nutzer Schritt für Schritt auffordert, die entsprechenden Grunddaten einzugeben und ihnen zum Abschluss die statistisch errechneten Ergebnisse ausgibt. Dieses Tools ist damit deutlich bedienungsfreundlicher als vergleichbare Hilfen (PALMINHA & BISPO o.J., HUSO et al. 2012).

6.2 Empfindlichkeit von Fledermäusen gegenüber dem Kollisionsrisiko

Zeigen bestimmte Fledermausarten oder bestimmte Gruppen von Individuen (einer Alterskohorte, eines Geschlechts, einer geografischen Herkunft) eine besondere Empfindlichkeit gegenüber dem Kollisionsrisiko an WEA? Wäre dies der Fall, könnte unterstellt werden, dass die vermehrte Kollision mit den Rotorblättern möglicherweise mit einem spezifischen biologisch begründbaren Sachverhalt zusammenhängt (z. B. der mangelnden Erfahrung von Jungtieren, dem Balzverhalten von Männchen etc.). Vor diesem Hintergrund wurden zu Beginn folgende Untersuchungsfragen formuliert:

- Welche Arten sind in Deutschland vorrangig von der Kollision an WEA betroffen?
- Mit wie vielen Kollisionsopfern je Anlage muss gerechnet werden?
- Gibt es regionale Unterschiede in der Artenzusammensetzung der betroffenen Kollisionsopfer?
- Wie verläuft das zeitliche Auftreten der Kollisionsopfer im Jahr (Phänologie)?
- Kann bei bestimmten Altersgruppen eine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber der Kollision festgestellt werden?
- Weist eines der Geschlechter eine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber der Kollision auf?
- Sind Tiere aus der Umgebung der Anlage einem erhöhten Kollisionsrisiko ausgesetzt?

6.2.1 Vom Kollisionsrisiko betroffene Arten

Im Verlauf der Untersuchung konnten sieben Arten mit insgesamt 100 Individuen als Kollisionsopfer unter den WEA (im Untersuchungszeitraum 19.07.–30.09.2007 und 10.07.–30.09.2008) nachgewiesen werden. Am häufigsten wurde die Rauhhautfledermaus mit 31 Individuen gefunden. Dieser Art folgt in abnehmender Rangfolge der Abendsegler (27 Ind.), die Zwergfledermaus (21 Ind.) sowie der Kleinabendsegler (9 Ind.), die Breitflügelfledermaus (4 Ind.) und die Zweifarbfledermaus (3 Ind.). Darüber hinaus wurde ein Braunes Langohr gefunden. Die Aufstellung vervollständigen drei Tiere der Gattung *Pipistrellus* sowie eine

²² Das Internettool ist unter folgender Adresse zu erreichen: <http://www.kollisionsopfersuche.uni-hannover.de/index.php>.

weitere Fledermaus (*Chiroptera spec.*). Diese Tiere konnten aufgrund ihres Zustandes nicht weiter als angegeben bestimmt werden.

Zwischen den im Forschungsvorhaben gefundenen Arten (und ihrem Anteil an der Gesamtzahl der verunglückten Schlagopfer) und den Daten aus der bundesweiten Fundkartei (DÜRR 2010) besteht eine sehr große Übereinstimmung. Bei den sechs im Forschungsvorhaben am häufigsten gefundenen Arten (Rauhhaufledermaus, Abendsegler, Zwergfledermaus, Kleinabendsegler, Breitflügelfledermaus und Zweifarbfledermaus) handelt es sich genau um jene Arten, die auch in der bundesweiten Fundkartei (DÜRR 2010) an der Spitze stehen. Lediglich die Reihenfolge innerhalb dieser Gruppe war zum Bearbeitungszeitpunkt leicht verändert. Unsere systematisch durchgeführte Studie kommt daher hinsichtlich des artspezifischen Kollisionsrisikos zu einer sehr ähnlichen Einstufung wie die z. T. auf unsystematischen Suchen beruhende bundesweite Fundkartei (DÜRR 2010). Letztere verfügte allerdings zum Bearbeitungszeitpunkt bereits über einen mehr als 12-mal so großen Datensatz ($n=1239$) (DÜRR 2010). Damit bestätigen sich erneut die Arten, die bereits vor der Untersuchung als besonders empfindlich gegenüber der Kollision mit Rotoren galten (DÜRR & BACH 2004, DÜRR 2007).

Vergleichsweise wenige Arten sind diesem deutlich erhöhten Kollisionsrisiko ausgesetzt. Über 80 % der bundesweit gefundenen Kollisionsopfer rekrutieren sich demnach aus nur drei Arten (Abendsegler, Rauhhaufledermaus und Zwergfledermaus) und über 90 % aller festgestellten Schlagopfer setzen sich aus fünf Arten (die drei genannten zzgl. des Kleinabendseglers und der Zweifarbfledermaus) zusammen (DÜRR 2011).

Die fünf Arten, die in Deutschland ca. 90 % der gefundenen Schlagopfer ausmachen, können einer von zwei „Gilden“ zugeordnet werden, die SCHNITZLER & KALKO (1998: 190ff) zur weltweiten ökologischen Klassifizierung von Fledermausarten verwenden. Demnach gehören die Arten entweder zur Gruppe der Insektenjäger des offenen Luftraumes („uncluttered-space aerial insectivore“) oder zur Gruppe der Insektenfresser mit mäßiger Bindung an Grenzstrukturen („background-cluttered space aerial insectivore“). Die Gruppe der strukturgebundenen Insektenjäger („highly cluttered space aerial insectivore“), zu denen beispielsweise die Bechsteinfledermaus, die Fransenfledermaus und die beiden Langohrarten gehören, kollidieren offenbar nur in Ausnahmefällen mit den Rotorblättern. Sie dürften sich nur in Ausnahmefällen in den entsprechenden Höhen aufhalten. Zudem sind vier der fünf am häufigsten geschlagenen Fledermausarten für ihre weiten Wanderungen bekannt: Sie legen auf ihren jährlichen Wanderungen zwischen Winter- und Sommerquartieren regelmäßig 3.000 bis 4.000 km zurück (HUTTERER et al. 2005). Lediglich die Zwergfledermaus gilt als regional wandernde Art, die – im Vergleich zu den anderen Arten – nur geringe Entfernungen zurücklegt (ebd.). Eine weitere Gemeinsamkeit, die die kollisionsempfindlichen Arten von den übrigen unterscheidet, ist ihre Eigenschaft, Weibchen mit Hilfe von Balzrufen anzulocken (CRYAN 2008). Da Balzrufe an den Anlagen aber nur sehr selten registriert werden, scheint dieses Merkmal keine Erklärung für die spezifische Kollisionsgefährdung dieser Arten zu bieten.

Im Hinblick auf die Qualität der Bestimmung der Arten macht ein direkter Vergleich zwischen der Schlagopfersuche und der akustischen Erfassung von Fledermäusen im Bereich der Gondeln deutliche Unterschiede sichtbar. Die Tiere, die unter den Anlagen gefunden wurden, konnten zu einem sehr hohen Anteil bis zum Artniveau bestimmt werden (96 % der Opfer ließen sich einer Art zuordnen). Im Gegensatz dazu wurden lediglich ca. 34 % der aufgezeichneten Fledermausrufe bis zur Ebene der Arten bestimmt (BEHR et al. 2011a). Der überwiegende Teil der Dateien konnte lediglich zwei phonetisch abgegrenzten, gattungs-

übergreifenden Einheiten (3,5 % der Dateien wurden als „Pipistrelloid²³“, 58 % der Dateien als „Nyctaloid²⁴“ bestimmt) oder der Ordnung der Fledermäuse (14,3 % der Dateien als Chiroptera) zugeordnet werden (BEHR et al. 2011a). Voraussetzung für die Bestimmung eines hohen Anteils der in Rotorhöhe aktiven Tiere ist also nach wie vor die Durchführung der Kollisionsopfersuche.

6.2.2 Anzahl der Tiere je Anlage

In der vorliegenden Untersuchung wurden an den 30 untersuchten WEA insgesamt 100 Kollisionsopfer gefunden. Die durchschnittliche Wahrscheinlichkeit, mit der ein Tier von Suchenden gefunden wird, betrug 59,7 %. Nach dem Ergebnis der Hochrechnung verunglückten im Untersuchungszeitraum von Juli bis September (92 Tage) durchschnittlich 9,5 Fledermäuse je Anlage (Spanne der Werte reicht von 0 bis 57,5 Tieren). Im Verlauf dieser Untersuchungszeit kollidierten also im Durchschnitt 0,1 Fledermäuse je WEA und Nacht. Ein Vergleich dieser Ergebnisse mit den der akustischen Beprobung zeigt, dass bei Letzteren (es handelt sich um eine andere Stichprobe) im Durchschnitt mit ca. 5,94 Tieren je Anlage und Untersuchungszeitraum zu rechnen ist (KORNER-NIEVERGELT et al. 2011a). Dies weist darauf hin, dass an den mittels Schlagopfersuche beprobten Anlagen überdurchschnittlich viele Fledermäuse verunglückten. Da jedoch bekannt ist, dass Tiere vor und nach dem von uns beprobten Zeitraum an den Anlagen verunglücken (DÜRR 2007), dürfte die tatsächliche Anzahl der Kollisionsopfer je Anlage und Jahr zwischen ca. 6 und 10 Tieren liegen. Unterstellt man, dass dieses Ergebnis repräsentativ für die Situation an den WEA in Deutschland ist, bedeutet dies, dass jedes Jahr vom Hochsommer bis Herbst an den über 23.000 in Betrieb befindlichen WEA (Stand Dez. 2012, BWE 2013) in Deutschland eine sechsstellige Zahl von Fledermäusen verunglückt.

Die Anzahl der verunglückten Tiere je Anlage, die aus der Literatur vorliegen, schwanken stark. BRINKMANN et al. (2006) stellten für 16 WEA im Regierungspräsidium Freiburg im Mittel 20,9 Tiere je Anlage fest (Untersuchungszeitraum August bis Oktober). BEHR & HELVERSEN (2006) ermittelten für vier Anlagen in der Nähe von Freiburg (i. Br.) im Mittel 31,5 Schlagopfer je Anlage und Untersuchungszeitraum (Ende April bis Mitte Oktober). Niedrigere Zahlen ergaben sich z. B. für 8 WEA im Regierungspräsidium Freiburg, für die 11,8 Fledermäuse je Anlage und Jahr errechnet wurden (BRINKMANN et al. 2006). In den Vereinigten Staaten reichen die Schlagopferzahlen je Anlage von 0,1 bis max. 69,6 Tiere (Zusammenstellung bei ARNETT et al. 2008). In der Regel stammen diese Zahlen aus Untersuchungen an einzelnen Windparks. Übergeordnete Untersuchungen, die mit einer einheitlichen Methode Windenergieanlagen in einem größeren Landschaftsraum untersucht haben, sind selten. SEICHE et al. (2008) haben eine groß angelegte Felduntersuchung an 145 WEA in Sachsen durchgeführt, allerdings ohne alle Suchfehler zu quantifizieren. Die Autoren haben daher von einer Hochrechnung der Fundzahlen abgesehen (ebd.: 49). Da die reinen Fundzahlen jedoch wenig über die tatsächlich betroffene Individuenzahl aussagen, sind die Ergebnisse dieser Untersuchung nicht mit den hier präsentierten vergleichbar. Die

²³ Dieser Kunstbegriff umfasst alle Arten der Gattungen *Pipistrellus* und *Hypsugo*. Da die Alpenfledermaus (*Hypsugo savii*) in Deutschland sehr selten ist, ist davon auszugehen, dass der ganz überwiegende Teil der Rufsequenzen der Gattung *Pipistrellus* zuzuordnen ist.

²⁴ Dieser Kunstbegriff umfasst alle Arten der Gattungen *Nyctalus*, *Eptesicus* und *Vespertilio*.

vorliegende Hochrechnung ist daher im Hinblick auf die zugrunde liegende, einheitliche Erfassungsmethodik sowie der Anzahl und räumlichen Verteilung der untersuchten Anlagen einmalig.

6.2.3 Regionale Artenzusammensetzung

Die Artenzusammensetzung der Schlagopfer unter den WEA in den untersuchten naturräumlichen Regionen zeigt eine Streuung von null bis maximal sechs Arten je Naturraum. In der Ostfriesisch-Oldenburgischen Geest (naturräumliche Region D26 nach BfN 2008) wurden keine Tiere gefunden. Im Rückland der Mecklenburg-Brandenburgischen Seenplatte (D03) konnte lediglich eine Art registriert werden, nämlich der Abendsegler. In der Staader Geest (D26) wurden zwei Arten als Kollisionsopfer festgestellt, nämlich die Rauhhaufledermaus und die Breitflügelfledermaus. Im Hunsrück (D42) wurden ebenfalls zwei Arten festgestellt (Rauhhaufledermaus und Zwergfledermaus). Unter den WEA in der Region Oberlausitz (D14) konnten dagegen insgesamt sechs Arten festgestellt werden (Breitflügelfledermaus, Kleinabendsegler, Abendsegler, Rauhhaufledermaus, Zwergfledermaus und Zweifarbfledermaus). Fünf Arten konnten jeweils in der naturräumlichen Region der Mittelbrandenburgischen Platten (D12) und im Voralpinen Hügel- und Moorland (D66) gefunden werden. Im Saar-Nahe-Berg- und Hügelland (D52) wurde neben dem Kleinabendsegler, der Rauhhaufledermaus und der Zwergfledermaus auch ein Braunes Langohr gefunden.

Die Verteilung der Funde deuten großräumige Nachweisschwerpunkte an. So konnte der Abendsegler nur in den drei naturräumlichen Regionen im Osten Deutschlands (D02, D12 und D14) nachgewiesen werden. Die Funde von Kleinabendseglern beschränkten sich dagegen auf die Gebiete in Brandenburg (D12), Sachsen (D14), Bayern (D66) und Rheinland-Pfalz bzw. im Saarland (D52). Die Zwergfledermaus wurde in allen untersuchten naturräumlichen Regionen gefunden, die nicht an die Ost- oder Nordsee angrenzen (also in den Regionen D12, D14, D42, D52 und D66). Die Rauhhaufledermaus konnte, außer in einer naturräumlichen Region (D03), in allen untersuchten Gebieten als Kollisionsopfer festgestellt werden.

Dieser Befund bestätigt einzelne Ergebnisse aus anderen Regionen. So konnten SEICHE et al. (2008), die eine Kollisionsopferuntersuchung für Teile Sachsens vorgelegt haben, insgesamt neun Fledermausarten unter den Anlagen feststellen. Zusätzlich zu den von uns in der naturräumlichen Region D14 (Region Oberlausitz) gefundenen sechs Arten wiesen sie – allerdings nur in geringer Zahl – in einem Untersuchungsgebiet das deutlich über die naturräumliche Region D14 hinausreicht die Mückenfledermaus, die Nordfledermaus und das Große Mausohr als Kollisionsopfer nach (ebd.). Die eigenen Ergebnisse, wonach der Abendsegler die Liste der Kollisionsopfer im Raum D14 anführt, werden ebenfalls von der Untersuchung von SEICHE et al. (2008) bestätigt. Bei dieser Untersuchung machten die Abendsegler über 50 % aller gefundenen Tiere aus (ebd.).

Für das Bundesland Bayern wies die Untersuchung die ersten Kollisionsopfer an WEA nach. Die begrenzten Erfahrungen, die man in Bayern mit den betriebsbedingten Beeinträchtigungen der Windenergieanlagen gemacht hat, erklären sich unter anderem mit der geringen Anzahl der dort in Betrieb befindlichen WEA. Zum Zeitpunkt der Untersuchung (2007) war dort lediglich 387 MW Windleistung installiert (BWE 2012c), also z. B. weniger als 7 % der Leistung, die zum gleichen Zeitpunkt bereits in Niedersachsen installiert war (BWE 2012d).

6.2.4 Phänologie

Das zeitliche Auftreten der Fledermauskollisionen erstreckte sich über den gesamten Untersuchungszeitraum. Dieser Zeitraum umfasste jedoch nicht die gesamte Aktivitätsperiode der Fledermäuse, sondern nur jenen Teil des Jahres, der als besonders kollisionsgefährdet gilt, nämlich den Spätsommer und Teile des Herbstes (19.07. bis 30.09.2007 und 10.07. bis 30.09.2008).

Zwergfledermäuse wurden in allen untersuchten Monatsdritteln als Kollisionsoffer registriert, mit einem Schwerpunkt im letzten Monatsdrittel des Juli. Die Individuen des Abendseglers wurden am häufigsten im zweiten Monatsmittel des Augusts und des Septembers gefunden. Die Rauhhautfledermäuse traten im August erstmals als Schlagopfer auf und erreichten im letzten Monatsdrittel des Augusts die höchste Anzahl. Bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes wurden noch Kollisionsoffer unter den Anlagen registriert. In Deutschland kann sich der Herbstzug der Fledermäuse noch bis Mitte Oktober hinziehen (DÜRR 2007). Selbst im November fanden sich noch vereinzelt Schlagopfer (ebd.).

Die in Kap. 2 beschriebene Schlagopfersuche war methodisch darauf ausgelegt, lediglich einen Teil, nämlich den Gipfel der Kollisionen, zu erfassen. Aus diesem Grund konnte innerhalb des begrenzten Untersuchungszeitraumes weder der Beginn noch das Ende der Kollisionen vollständig dargestellt werden. Anhand der vorliegenden Daten ist jedoch zu erkennen, dass das Ende der Kollisionen mit dem Abschluss der Felduntersuchungen noch nicht erreicht war. Insbesondere lassen die Zahlen erwarten, dass nach dem Ende der Untersuchung noch weitere Rauhhautfledermäuse an den WEA verunglückt sind. Die Daten deuten an, dass die Rauhhautfledermäuse später durchziehen als die Individuen der anderen Arten. Dies könnte dadurch erklärt werden, dass die Art zu den Langstreckenziehern gehört, die auf ihrem regelmäßigen Herbstzug zwischen den Sommerlebensräumen und den Winterquartieren große Entfernungen zurücklegen (HUTTERER et al. 2005). Die größte bislang festgestellte Entfernung zwischen Sommer- und Winterlebensraum lag bei über 1.900 km Luftlinie (ebd.). Auch bei der Herkunftsanalyse zeigte sich, dass die verunglückten Individuen der Rauhhautfledermaus wahrscheinlich die weiteste Entfernung der vier untersuchten Arten zurückgelegt haben (siehe Kap. 4).

In den USA konnte eine Phänologie des Auftritts von Schlagopfern an WEA ermittelt werden, die mit der in Deutschland festgestellten nahezu identisch ist (JOHNSON 2005, ARNETT et al. 2008). Auffällig ist jedoch auch die zeitliche Parallelität des Auftritts der Kollisionsoffer im Verkehr (RUDOLPH 2004, HAENSEL & RACKOW 1996, LESINSKI 2007, LESINSKI et al. 2011). Auch dieser gipfelt – wie bei den WEA – im August. Dies lässt vermuten, dass es eine Ursache gibt, die für beide Verläufe verantwortlich ist. Vor diesem Hintergrund erscheinen die Hypothesen (siehe Kap. 1.3) weniger wahrscheinlich, die an erster Stelle die anziehende Wirkung der Anlagen für die Kollisionen verantwortlich machen (z. B. als Balzstätte oder Raum mit erhöhter Insektdichte). Oft wird der zeitliche Gipfel der Verkehrsoffer im August pauschal damit erklärt, dass es sich um unerfahrene Jungtiere handelt, die in dieser Phase im Jahr verunglücken (z. B. RUDOLPH 2004). Doch waren bei den Straßenverkehrsoffern in der Untersuchung von LESINSKI et al. (2011) die Jungtiere nicht überrepräsentiert. Auch für die Kollisionsoffer an den WEA trifft diese Hypothese in der Zusammenschau aller Arten nicht zu (siehe Kap. 6.2.5).

6.2.5 Alter und Geschlecht der Schlagopfer

Nur die Schlagopfer, die im Juli und August gefunden wurden, konnten methodisch sinnvoll auf ihr Alter untersucht werden ($n=59$), da man hierfür den Verknöcherungsgrad der Fingergelenke verwendet (z. B. ANTHONY 1988, BRUNET-ROSSINI & WILKINSON 2009). Dieses Merkmal wird ab September weniger verlässlich. Die Untersuchung ergab einen deutlichen Überhang an subadulten²⁵ Tieren beim Abendsegler (5,3 : 1), beim Kleinabendsegler (2,5 : 1) und bei der Breitflügelfledermaus (2 : 1). Darüber hinaus konnte bei der Zwergfledermaus ein mehr oder weniger ausgeglichenes Verhältnis von subadulten zu adulten²⁶ Tieren (1,33 : 1) festgestellt werden. Ein deutlicher Überhang an adulten Tieren war dagegen bei der Rauhhaufledermaus zu beobachten (1 : 5,5). In der Summe aller Schlagopfer ergab sich ein Verhältnis zwischen subadulten und adulten Tieren von 1,4 : 1.

Die Fragen nach den vorrangig geschlagenen Altersklassen der Tiere stellen sich, weil vermutet wird, dass v. a. unerfahrene Jungtiere mit den WEA kollidieren (CRYAN & BARCLAY 2009). Diese Hypothese hat sich – zumindest in dieser allgemeinen Form – bislang nicht erhärtet. Die in Kap. 2 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass beim Abendsegler die Jungtiere deutlich überwiegen, was in diesem Fall auf eine mögliche, besondere Empfindlichkeit der Jungtiere gegenüber der Kollision an WEA hindeuten kann. Bei der Rauhhaufledermaus war es dagegen umgekehrt, hier überwogen eindeutig die Funde von ausgewachsenen, adulten Tieren. SEICHE et al. (2008: 21) kamen in ihrer Untersuchung bei diesen beiden Arten zu vergleichbaren Befunden. Es könnte daher vermutet werden, dass die subadulten Tiere der Rauhhaufledermaus ihre Herbstwanderung erst später als die adulten Tiere beginnen. Für ein großes Schwarm- bzw. Winterquartier der Zwergfledermaus (SIMON et al. 2004) und für Winterquartiere der Wasserfledermaus ließ sich belegen, dass die adulten Tiere dort vor den Jungtieren eintreffen. Nach bisherigen Erkenntnissen wird der Herbstzug der Rauhhaufledermaus in Lettland, also einem der Ursprungsländer der Kollisionsopfer, allerdings nicht von adulten, sondern eher von subadulten Tieren dominiert (PÉTERSONS 2004, PÉTERSONS schriftl. Mitt.). Bei den übrigen Arten ist die Stichprobe entweder zu klein (Zweifarbfliedermaus, Breitflügelfledermaus), um die Ergebnisse interpretieren zu können, oder das Verhältnis weicht nicht wesentlich von den Erwartungswerten ab (Kleinabendsegler, Zwergfledermaus).

Bei frisch verunglückten Tieren lässt sich das Geschlecht oft zweifelsfrei erkennen. Dies war in der überwiegenden Anzahl der Fälle möglich ($n=87$). Dabei ergab sich in der Summe aller geschlagenen Arten ein leicht zugunsten der Weibchen verschobenes Verhältnis von Weibchen zu Männchen (1,18 : 1).

Das Tötungs- und Verletzungsverbot nach § 44 BNatSchG gilt unabhängig vom Geschlecht des Tieres. Rechtlich betrachtet ist die Frage nach dem vorrangig vom Schlag betroffenen Geschlecht daher belanglos. Populationsbiologisch gesehen ist sie jedoch von Interesse, da angenommen wird, dass die Tötung von adulten Fledermausweibchen eine deutlich größere Beeinträchtigung für eine Population darstellt, als die Tötung der Männchen (DIETZ & BIRLENBACH 2006). Während der Wochenstubenzeit führt der Tod von säugenden Weibchen auch zum Tod des jeweiligen Jungtieres bzw. der Jungtiere, da Fledermäuse in der Regel

²⁵ Als subadult werden hier jene Tiere bezeichnet, die sich in ihrer Individualentwicklung zwischen dem Flüggewerden und der Geschlechtsreife befinden.

²⁶ Als adulte Tiere werden erwachsene Tiere nach Eintritt in ihre Geschlechtsreife bezeichnet.

keine fremden Jungtiere „adoptieren“ (z.B. BLOHM & HEISE 2009 für den Abendsegler). Auch außerhalb der Wochenstubenzeit wirkt sich die Tötung von Weibchen gravierender auf die Entwicklung der Population aus. Als Paarungsstrategie der heimischen Fledermäuse – insbesondere der kollisionsempfindlichen Arten – ist die Polygynie verbreitet, bei der sich ein Männchen mit mehreren Weibchen paart (MCCRACKEN & WILKINSON 2000, OHLENDORF & OHLENDORF 1998). Gleichzeitig paaren sich die Weibchen oft mit mehreren Männchen (MAYER 1995, MAYER 1997, GEBHARD 1997: 261). In einem solchen Reproduktionssystem kann der Verlust von Männchen leicht kompensiert werden, weil die Reproduktionsleistung einzelner Männchen durch andere ersetzt wird (KAKKO et al. 2001). Männchen sind in diesen Systemen nie das begrenzende Geschlecht (GINSBERG & MILNER-GULLAND 1994).

Wie weit das Verhältnis von Männchen zu Weibchen absinken kann, bevor die entsprechende Population zusammenbricht, ist von verschiedenen populationsbiologischen Faktoren abhängig (GINSBERG & MILNER-GULLAND 1994) und damit sehr variabel. Im Allgemeinen wird jedoch davon ausgegangen, dass ein Verhältnis von ca. 1 : 2 bis 1 : 10 (Männchen : Weibchen) unkritisch ist (GINSBERG & MILNER-GULLAND 1994, MILNER et al. 2007). Die Feststellung des Geschlechts der Kollisionsopfer kann daher für eine zusätzliche, eher populationsbiologisch ausgerichtete Bewertung des Kollisionsrisikos von Bedeutung sein. So kann die Betrachtung bei der Prüfung der Ausnahme (§ 45 Abs. 7 BNatSchG bzw. Art. 16 FFH-RL) relevant sein, wenn u. a. zu klären ist, ob die betroffene Art in einem günstigen Erhaltungszustand verbleibt.

6.2.6 Herkunft der Tiere

In Kap. 4 wurden vier Arten, die besonders oft an WEA verunglücken (Abendsegler, Kleinabendsegler, Rauhhaufledermaus und Zwergfledermaus), mithilfe einer Isotopenanalyse ($\delta^2\text{H}$) auf ihre Herkunft untersucht. So konnte ermittelt werden, dass die geschlagenen Zwergfledermäuse aller Wahrscheinlichkeit nach aus der weiteren Umgebung der WEA stammten, während die Ergebnisse für die Rauhhaufledermaus nahelegten, dass der Ursprung der an den Anlagen gefundenen Tiere an den nordöstlichen Rändern ihres Verbreitungsgebietes (Estland oder Russland) gelegen hat. Die Abendsegler und Kleinabendsegler stammten nach den Analyseergebnissen ebenfalls von nordöstlichen Populationen, wahrscheinlich aus Polen, den baltischen Staaten oder Weißrussland.

Aufgrund zahlreicher Ergebnisse von „Beringungen“²⁷ (z. B. ROER 1995, KIEFER & HUTTERER 2002, PETERSONS 2004, SCHMIDT 2004, HUTTERER et al. 2005) ist grundsätzlich bekannt, welche Fledermausarten wandern, in welche Richtungen sie fliegen und welche Entfernungen sie dabei zurücklegen (siehe HUTTERER et al. 2005). Dennoch blieb die Herkunft des einzelnen verunglückten Tieres bislang meist im Verborgenen. Nur sehr selten gelingt es, die Herkunft einzelner Tiere zu ermitteln, denn nur in Ausnahmefällen tragen sie „Ringe“ (SEICHE et al. 2008, SCHMIDT 2008).

In den Empfehlungen zum planerischen Umgang mit den Fledermauskollisionen wird z. T. die Hypothese vertreten, dass vor allem die durchziehenden Tiere an WEA geschlagen werden, während die Tiere der lokalen Population die Anlagen kennenlernen und ihnen ausweichen

²⁷ Obwohl sich der Begriff „Ring“ im Sprachgebrauch eingebürgert hat, handelt es sich bei den Markierungen für Fledermäuse eher um Klammern, die im Schnitt eine mit dem „ Ω “ vergleichbare Form haben. Diese Klammern werden um den Unterarm gedrückt.

(BACH & RAHMEL 2004, BACH & RAHMEL 2006). CRYAN und BARCLAY (2009) fordern dazu auf, solche Hypothesen mit den zur Verfügung stehenden Methoden zu untersuchen. CRYAN und DIEHL (2009) verweisen in diesem Zusammenhang auf die Möglichkeit der Isotopenanalyse zur Herkunftsbestimmung. Dabei werden Haarproben von Fledermäusen auf ihren spezifischen Gehalt an stabilen Isotopen untersucht. Meist wird hierfür das Deuterium ($^2\text{H}=\text{D}$), ein natürliches Isotop des Wasserstoffs (H), verwendet. Zwischen dem Verhältnis von Deuterium zu Wasserstoff in einem Gewebe, z. B. in den Fledermaushaaren, und dem Verhältnis zwischen dem Deuterium und dem Wasserstoff im Regenwasser der Region, in dem das Gewebe gebildet wurde, besteht dabei eine systematische Abhängigkeit (ebd.). Dieser für eine mehr oder weniger große Region typische „Stempel“ bleibt – bis zum nächsten Fellwechsel – in den Haaren erhalten. Wenn die Tiere während ihrer Herbstwanderung nun an WEA verunglücken, kann das Fell die Information über ihre regionale Herkunft preisgeben.

Die Methode der Isotopenanalyse ist noch eine vergleichsweise junge Methode und befindet sich derzeit noch in der Entwicklung (vgl. CRYAN et al. 2004). Die vorgelegte Arbeit (Kap. 4) ist die erste Analyse in Europa, die sich mit der Ermittlung der Herkunftsgebiete von wandernden Fledermäusen mittels Isotopenanalyse befasst. Es handelt sich zudem um eine von wenigen Arbeiten in Europa überhaupt, welche die Isotopenanalyse für Untersuchungen an Fledermäusen nutzt (POPA-LISSEANU et al. 2012). Aus diesem Grund war bislang auch unklar, welche Möglichkeiten und Grenzen mit der Analyse verbunden sind. Das gilt in erster Linie auch in Bezug auf die Größe der Regionen, die mit dieser Methode als Herkunftsgebiete abgegrenzt werden können. Wie die Kartendarstellungen deutlich machen, handelt es sich um Zonen mit Längsausdehnungen von mehreren Hundert Kilometern, die als Herkunftsgebiete in Betracht kommen. Ob die Präzision der Vorhersage im Laufe der Zeit, zum Beispiel durch mehr Referenzproben aus den jeweiligen Ursprungsgebieten, verbessert werden kann, bleibt abzuwarten.

Aus den vorgelegten Ergebnissen lassen sich Forderungen zur Ausweitung der europäischen Fledermausschutzabkommen ableiten. Um frühzeitige Bestandsrückgänge, wie sie z. B. durch Verluste an WEA mitverursacht werden könnten, zu erkennen, wäre es wünschenswert, die Bestände der vorrangig von den Kollisionen betroffenen Arten in ihren Heimatländern konsequent zu überwachen. Gemäß der Empfehlung von BATTERSBY (2010) kommt hierfür bei den hier untersuchten Arten vor allem die Methode der Ausflugszählungen an Wochenstubenquartieren infrage. Die Pflicht zur Bestandsbeobachtung ergibt sich für die Mitgliedsstaaten der EU aus der FFH-Richtlinie (v. a. Artikel 17 FFH-Richtlinie). Für Russland, Weißrussland und die Ukraine gilt diese Verpflichtung jedoch nicht, da sie keine Mitgliedsstaaten der EU sind. Weit weniger konkret und nicht verpflichtend sind die Empfehlungen zur Bestandserhebung für die Vertragsstaaten des EUROBATS-Abkommens (vgl. BATTERSBY 2010), die sich aus der Resolution 5.4²⁸ („Monitoring Bats across Europe“) herleiten. Da Russland und Weißrussland ebenfalls nicht zu den Vertragsstaaten des EUROBATS-Abkommens zählen, werden diese Empfehlungen dort nicht umgesetzt. Potenzielle Bestandsveränderungen in diesen Ländern werden daher nicht erkannt. Um ein vollständiges Bild der Bestandsentwicklungen der wandernden Fledermausarten in Europa zeichnen zu können, wäre daher ein Beitritt der beiden Staaten zum EUROBATS-Abkommen wünschenswert. Weiterhin wäre die vollständige Umsetzung der Empfehlungen zur Über-

²⁸ Resolution 5.4, „Monitoring Bats across Europe“, 5th Session of the Meeting of Parties in Ljubljana, Slovenia, 4–6 September 2006. EUROBATS.MoP5.Record.Annex7.

wachung der Fledermausbestände in den Mitgliedsstaaten sowie die einheitliche Dokumentation der Ergebnisse Voraussetzung, um negative Bestandsentwicklungen tatsächlich zu erkennen.

6.3 Einfluss von Anlagen- und Landschaftsvariablen auf die Fledermauskollisionen

Es gilt als unwahrscheinlich, dass es sich bei der Kollision von Fledermäusen an Windenergieanlagen um eine rein zufällige Begegnung von Rotorblättern und Fledermäusen handelt (CRYAN & BARCLAY 2009). Daher besteht die Vermutung, dass nicht nur bestimmte Fledermausarten oder Individuen einer Art eine besondere Empfindlichkeit gegenüber der Kollision zeigen (siehe Kap. 6.2), sondern dass umgekehrt auch von bestimmten Anlagen eine erhöhte Kollisionsgefahr für Fledermäuse ausgehen kann. Folgende Untersuchungsfragen wurden dazu eingangs formuliert:

- Haben Vorkommen und Verteilung von Landschaftsvariablen einen Einfluss auf die Fledermausaktivität im Rotorbereich? Unterscheidet sich der Einfluss in Abhängigkeit vom Betrachtungsmaßstab?
- Können Unterschiede in der Aktivität durch die Distanz der WEA zu bestimmten Landschaftsbestandteilen erklärt werden?
- Unterscheidet sich die Aktivität von Fledermäusen an den WEA in verschiedenen Naturräumen?
- Welche Bedeutung haben die Landschaftsfaktoren im Vergleich zu meteorologischen Einflüssen?
- Hat die Nabenhöhe einen Einfluss auf die Fledermausaktivität in Gondelhöhe?

In der vorliegenden Untersuchung (siehe Kap. 5) wurden die Ergebnisse der auf Gondelhöhe aufgezeichneten, akustischen Daten von 68 Windenergieanlagen (BEHR et al. 2011a) auf ihre Abhängigkeit von mehreren Anlagen- und Landschaftsvariablen analysiert. Untersucht werden konnte dabei der Einfluss einer Anlagenvariable (Nabenhöhe der Anlagen) auf die Aktivität der Fledermäuse. Weiterhin wurde der Einfluss von mehreren Landschaftsvariablen untersucht. Zu diesen zählte der Abstand zu den nächstgelegenen Gehölzstrukturen, Gewässern und Feuchtgebieten. Darüber hinaus wurde geprüft, ob die Flächenanteile der Lebensräume in der Umgebung der Windenergieanlage die Aktivität der Fledermäuse an den WEA beeinflussen. Diese Prüfung wurde für fünf verschiedene Radien (250 m bis 10.000 m) durchgeführt, um die Raumnutzungsmuster verschiedener Fledermausarten zu berücksichtigen. Als weitere Landschaftsvariable ist zudem die naturräumliche Region in die Analyse eingeflossen. Um zu prüfen, ob die möglichen Effekte durch meteorologische Variablen (Temperatur und Windgeschwindigkeit) überlagert werden, wurden auch diese in die Analysen einbezogen.

Das Ergebnis der statistischen Analysen zeigt, dass die meteorologischen Variablen einen hochsignifikanten Einfluss auf die Aktivität der Fledermäuse an den Gondeln haben. Auch die naturräumliche Region, in der die Anlage steht, hat einen signifikanten Einfluss auf die Aktivität. Bei den übrigen Landschaftsvariablen, also den Flächenanteilen in den verschiedenen Radien um die Anlagen, konnte lediglich bei drei Lebensraumtypen ein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden. Da sich dieser Effekt jedoch nur in einem oder zwei Radien abzeichnete, gilt das Ergebnis als nicht sonderlich robust. In allen fünf

Radien ergab sich dagegen eine signifikante negative Abhängigkeit der Fledermausaktivität von der Entfernung zu den Gehölzen. Das bedeutet, dass mit zunehmender Entfernung der Anlagen zu Gehölzen die Fledermausaktivität abnimmt. Bei der einzigen getesteten Anlagenvariable, der Nabenhöhe, konnte (in vier von fünf untersuchten Radien) ebenfalls eine signifikante Abhängigkeit festgestellt werden. Der Einfluss war negativ, d. h., die Fledermausaktivität nahm mit zunehmender Nabenhöhe ab. Der geschätzte Effekt war etwa gleich stark wie der Effekt der Entfernung zum Gehölz. Im Vergleich zum Einfluss des Windes hatten diese Variablen jedoch lediglich eine Effektstärke von etwa einem Zehntel bis einem Siebtel.

Dieses Ergebnis ist für die Planungspraxis von großer Bedeutung, weil derzeit zahlreiche Empfehlungen davon ausgehen, dass die Wahl des Anlagenstandortes einen erheblichen Teil der Kollisionen vermeiden kann (z. B. HÖTKER et al. 2005, RODRIGUES et al. 2006, NIEDERSÄCHSISCHER LANDKREISTAG 2011). Bei diesen Empfehlungen geht es insbesondere um den Abstand der Anlagen zu Gehölzstrukturen, also dem Abstand zu Wäldern, Hecken und Baumreihen. Häufig wird dabei eine Entfernung von 100 bis 200 m als Schwellenwert genannt.

Für die Praxis bedeuten die vorgelegten Ergebnisse, dass das Abrücken einer unmittelbar an Gehölzen befindlichen WEA auf eine Entfernung z. B. von 200 m zu einer Reduktion der zu erwartenden Fledermausaktivität von durchschnittlich lediglich 10–15 % führt. Die Vermeidungswirkungen lassen sich demnach durch das Einhalten von relativ geringen Abständen nicht in dem bislang angenommenen Umfang (DÜRR & BACH 2004) erzielen. Während die Senkung des Schlagrisikos über einen entsprechenden Abstand zwischen den Anlagen und den Gehölzen zwar möglich, aber nicht besonders wirksam ist, kann dieses Risiko über einen fledermausfreundlichen Betrieb der Anlagen viel unmittelbarer erzielt werden (siehe BEHR et al. 2011b).

7 Empfehlungen für die Genehmigungspraxis

Die Schlagopfersuche war bis zur Vorlage des Forschungsberichtes von BRINKMANN et al. (2011), in dem auch die wesentlichen Teile dieser Arbeit veröffentlicht wurden, die einzig verfügbare Methode, mit der die Anzahl der Fledermausschlagopfer an WEA sicher festgestellt werden konnte. Durch die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens (ebd.) ist erstmals die Möglichkeit eröffnet worden, die Quantifizierung der Schlagopferzahlen – innerhalb enger methodischer Grenzen – auch indirekt über akustische Erfassungen im Gondelbereich der WEA vorzunehmen (KÖRNER-NIEVERGELT et al. 2011a). Trotz der gewachsenen Bedeutung der akustischen Erfassung im Zusammenhang mit der Quantifizierung der Schlagopfer gibt es nach wie vor gute Gründe, die für die Durchführung von Schlagopfersuchen sprechen. So gibt es viele Informationen, die nur durch die Untersuchung der Schlagopfer selbst ermittelt werden können. Zu diesen zählen vor allem der sichere Artnachweis, aber auch das Alter, das Geschlecht sowie der Reproduktionszustand der Tiere. Diese Erkenntnisse können auch für die Beurteilung des Eingriffs innerhalb von Genehmigungsverfahren relevant sein.

Abzuwägen ist dieser Datengewinn mit dem Gebot, Kollisionsopfer an den WEA nach Möglichkeit zu vermeiden (vgl. Kap. 1.2). Diese Abwägung stellt sich für die Genehmigungspraxis daher überall dort, wo die Anwendung der akustischen Methode zur Feststellung des Kollisionsrisikos – ohne zusätzliche Kollisionsopfer – zum gleichen Untersuchungsziel kommt.

Die Entwicklung der Schlagopfersuche als systematische Erhebungsmethode ist inzwischen weit vorangeschritten. Alle methodischen Bausteine, die für eine erfolgreiche Durchführung von Kollisionsopfersuchen notwendig sind, liegen vor. Dieses Angebot erstreckt sich inhaltlich von der Planung der Schlagopfersuche (z. B. der Optimierung der Suchen im Hinblick auf absuchbare Flächen und die Suchintervalle) über die Durchführung (z. B. mit Hinweisen zur Fehlerermittlung) bis hin zur Auswertung der Suchen (Angebot einer neuen Hochrechnungsformel). Das Kap. 2 enthält dazu eine Reihe von konkreten Empfehlungen für die Praxis. Diese Empfehlungen richten sich nicht nur an die Gutachter, die diese Suchen planen und durchführen, sie können auch von Genehmigungsbehörden genutzt werden, um Forderungen nach der gewünschten Qualität der Bearbeitung sicherzustellen. In diesem Zusammenhang kann beispielsweise die Forderung von Bedeutung sein, die landwirtschaftliche Produktion unter den WEA für die Dauer der Untersuchung auszusetzen, um ausreichend große Flächen für die Suche bereitzuhalten.

Derzeit werden Kollisionsopfersuchen in der Praxis in drei verschiedenen Planungsphasen durchgeführt: während der Voruntersuchungen, während der Nachuntersuchungen (Ermittlung des Kollisionsrisikos) an den in Betrieb genommenen Anlagen sowie, bei Bedarf, im Rahmen der Erfolgskontrolle nach Implementierung von Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen.

Im Rahmen von Voruntersuchungen kann die Kollisionsopfersuche immer dort uneingeschränkt empfohlen werden, wo bereits WEA in unmittelbarer Nähe zu den geplanten Standorten betrieben werden. Dies ist einerseits beim Repowering der Fall und andererseits bei geplanten Parkerweiterungen (MUGV BRANDENBURG 2011). Da die bestehenden, „alten“ Anlagen über gültige Betriebsgenehmigungen verfügen, werden durch diese Voruntersuchungen keine vermeidbaren, zusätzlichen Fledermauskollisionsopfer erzeugt. Noch kann davon ausgegangen werden, dass alle langjährig bestehenden Anlagen ohne fledermaus-

freundliche Betriebsalgorithmen laufen. Das bedeutet, dass das an einer laufenden Anlage ermittelte Kollisionsrisiko gleichsam einen ungefilterten Blick auf die Gefährdung von Fledermäusen an der geplanten Anlage gewährt. Dabei reduzieren steigende Nabenhöhen der Neuanlagen dieses Risiko, während längere Rotorradien es vergrößern.

In der Genehmigungspraxis werden Kollisionsopfersuchen z. T. auch als Bestandteil der Bau- und Betriebsgenehmigung durchgeführt. In diesem Fall werden dann im ersten oder in den ersten beiden Betriebsjahren keine vorsorglichen Abschaltungen vorgenommen. Vielmehr werden die Daten im Normalbetrieb der Anlage erhoben. Sie dienen dann zur Ermittlung des Kollisionsrisikos und zur Ableitung eines anlagenspezifischen Abschaltalgorithmus. Beides wäre grundsätzlich auch an WEA im fledermausfreundlichen Betrieb denkbar (wenn dies rein akustisch ermittelt wird), doch bei diesem Vorgehen bestehen in der Praxis teilweise Vorbehalte seitens einiger Gutachter und Genehmigungsbehörden. Zum einen wird in diesem Zusammenhang oft bezweifelt, dass das Verhalten der Fledermäuse an abgeschalteten WEA mit dem Verhalten der Tiere an laufenden Anlagen vergleichbar ist. Zum anderen setzt speziell die akustische Methode zur Quantifizierung der Kollisionsopferzahlen hohe methodische und fachliche Anforderungen voraus (z. B. Kalibrierung der Detektoren, Bezug zu Rotorradius, eingesetzte Technik, Auswertung) (siehe BEHR et al. 2008, BEHR et al. 2011a), die von den Gutachtern nicht immer erfüllt werden (können). Diese Skepsis führt letztlich dazu, dass es manche Genehmigungsbehörden ablehnen, das Kollisionsrisiko rein akustisch und an vorsorglich abgeschalteten Anlagen zu ermitteln. Nach Ansicht des OVG Lüneburg führt das Monitoring an Anlagen im Normalbetrieb, zumindest wenn bei den Voruntersuchungen nur geringe Aktivitäten festgestellt wurden, nicht zum Eintritt der artenschutzrechtlichen Verbotstatbestände (Beschluss des OVG Lüneburg vom 18.04.2011, 12 ME 274/10, Rn. 9). Zur Vermeidung unnötiger Kollisionsopfer sollte nach Ansicht des Verfassers in dieser Phase dennoch von einer Kollisionsopfersuche an unregulierten WEA Abstand genommen werden.

Nicht zuletzt werden auch im Rahmen der Erfolgskontrolle Schlagopfersuchen durchgeführt. In diesem Fall dienen die Suchen der Überprüfung der durchgeführten Minderungs- und Vermeidungsmaßnahmen, meist des implementierten fledermausfreundlichen Betriebs. Da dieser Schritt ebenfalls keine zusätzlichen Kollisionsopfer nach sich zieht, sondern das Gegenteil zum Ziel hat, bestehen bei diesem Vorgehen keine artenschutzrechtlichen Bedenken.

8 Ausblick

Die Anzahl der Windenergieanlagen in Deutschland wird sehr wahrscheinlich auch in Zukunft weiter ansteigen. Die artenschutzrechtlichen Probleme, die mit dem Bau, der Anlage und vor allem dem Betrieb der Anlagen für Fledermäuse verbunden sein können, wurden inzwischen von den Gutachtern, Betreibern und den Genehmigungsbehörden erkannt. Empfehlungen zur Reduktion des Schlagrisikos von Fledermäusen an WEA sahen bislang in erster Linie vor, bestimmte Minimalabstände zu bestehenden Wäldern einzuhalten (BACH et al. 1999, HÖTKER et al. 2005, RODRIGUES et al. 2006, 2008, LANU SCHLESWIG-HOLSTEIN 2008). Eine der vorgelegten Untersuchungen zeigt jedoch, dass die Aktivität der Fledermäuse an den Gondeln der WEA nur im geringen Umfang mit der Entfernung zu Gehölzen korreliert ist. Das bedeutet, dass die Standortwahl der WEA nur einen geringen Einfluss auf die Fledermausaktivität an den Gondeln und damit dem Kollisionsrisiko hat (siehe Kap. 5). Das Einhalten von pauschalen Abständen zu bestimmten Lebensraumstrukturen kann somit nicht die für die Genehmigung von WEA oft notwendige Reduktion der Kollisionsopfer an den Anlagen sicherstellen. Andere in der Diskussion befindliche Minderungsmaßnahmen, z. B. der Einsatz von Radar (NICHOLLS & RACEY 2007, 2009) oder von akustischen Irritationsmaßnahmen (SZEWCZAK & ARNETT 2008, ARNETT et al. 2013) zur Abschreckung von Fledermäusen haben bislang eher den Charakter von umstrittenen Ideen (Radar) bzw. stecken noch im Experimentierstadium (akustische Irritation).

Dagegen ist bekannt, dass Anlagen außerhalb des Betriebs keine Kollisionsopfer verursachen (KERNS et al. 2005: 46). So entstand die Idee, die Betriebszeiten der Anlagen zu beschränken, um den Fledermausschlag an WEA zu mindern (BEHR & HELVERSESEN 2006). Dies ist die einzige direkt umsetzbare Maßnahme, mit der das Kollisionsrisiko von Fledermäusen an WEA kurzfristig wirkungsvoll gesenkt werden kann.

Eine Grundlage für die Umsetzung von Abschaltungen ist die Identifikation von Zeiträumen, die für Fledermäuse besonders gefährlich sind (BRINKMANN et al. 2011). Dabei wurden zunächst nur wenige Umweltparameter (Jahreszeit und Windgeschwindigkeit) auf ihren Einfluss untersucht (BEHR & HELVERSESEN 2006). Inzwischen wurden weitere Parameter auf ihre Relevanz geprüft (Temperatur, Niederschlag, Nachtphase) (BEHR et al. 2011a). Schon die ersten Versuche, Anlagen mit Betriebsbeschränkungen laufen zu lassen, waren vielversprechend, da die Anzahl der Kollisionen signifikant reduziert werden konnte (BEHR & HELVERSESEN 2006). Auch erste groß angelegte Felduntersuchungen in Kanada und den USA zeigten, dass die Beschränkung des Betriebs eine deutliche Reduktion der Schlagopferzahlen erbringen kann. BAERWALD et al. (2009) beschränkten den Betrieb von Anlagen auf Zeiträume mit Windgeschwindigkeiten von mehr als 5,5 m/s und erreichten damit eine Reduktion der Fledermauskollision um ca. 60 %. ARNETT et al. (2011) gelang eine Reduktion um 44 bis 86 % (95 % Konfidenzintervall). Aufgrund der strengen Anforderungen des § 44 BNatSchG wäre eine Absenkung der Kollisionsrate auf das von BAERWALD et al. (2009) und ARNETT et al. (2011) erreichte Maß für viele WEA in Deutschland vermutlich nicht ausreichend.

Die von BEHR et al. (2011b) entwickelten Betriebsbeschränkungen sind in ihrem Ansatz deutlich differenzierter als die von BAERWALD et al. (2009) und ARNETT et al. (2011). Zum einen berücksichtigen sie weitere Umweltparameter und zum anderen beruhen sie auf Daten, die an der abzuschaltenden Anlage selbst erhoben werden. Daher bestand die Hoffnung, dass diese „fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen“, vorausgesetzt sie werden streng genug definiert, zu deutlich stärkeren Absenkungen der Kollisionsraten führen. Mit einem

2011 begonnenen und inzwischen abgeschlossenen Forschungsvorhaben am Institut für Umweltplanung der Leibniz Universität wurde zusammen mit der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FKZ 0327638C und 0327638D) die Wirkung dieser Betriebsalgorithmen an einer ausgewählten Anzahl von Anlagen in der Praxis untersucht. Begleitende Fledermauskollisionsopfersuchen haben geholfen, die Effizienz der Abschaltungen zu überprüfen. Obwohl die Ergebnisse der Untersuchung noch nicht vollständig ausgewertet sind, kann bereits festgestellt werden, dass die vorgeschlagenen Betriebsalgorithmen eine hochwirksame Maßnahme zur Vermeidung von Fledermauskollisionsopfern an Windenergieanlagen darstellen.

9 Quellenverzeichnis

- AHLÉN, I. 2003: Wind Turbines and Bats – a pilot study. Report to the Swedish National Energy Administration. Eskilstuna, 4 S. Dnr 5210P-2002-00473, O-nr P20272-1.
- ALBRECHT, K. & GRÜNFELDER, C. 2011: Fledermäuse für die Standortplanung von Windenergieanlagen erfassen. Erhebungen in kollisionsrelevanten Höhen mit einem Heliumballon. NuL 43(1): 5–14.
- ANTHONY, E.L.P. 1988: Age determination in bats. In: KUNZ, T.H. (ed.): Ecological and behavioral methods for the study of bats. 47–58, Washington D.C.: Smithsonian Institution Press.
- ARNETT, E.B. (ed.) 2005: Relationships between bats and wind turbines in Pennsylvania and West Virginia: an assessment of bat fatality search protocols, patterns of fatality, and behavioral interactions with wind turbines. 187 S. A final report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA.
- ARNETT, E.B., BROWN, W.K., ERIKSON, W.P., FIEDLER, J.K., HAMILTON, B.L., HENRY, T.H., JAIN, A., JOHNSON, G.D., KERNS, J., KOFORD, R.R., NICHOLSON, C.P., O'CONNELL, T.J., PIORKOWSKI, M.D. & TANKERSLEY, R.D. 2008: Patterns of bat fatalities at wind energy Facilities in North America. J. Wildl. Manage. 72(1): 61–78.
- ARNETT, E.B., HUSO, M.M.P., SCHIRMACHER, M.R. & HAYES, J.P. 2011: Altering turbine speed reduces bat mortality at wind-energy facilities. Front. Ecol. Environ 9(4): 209–214.
- ARNETT, E.B., HEIN, C.D., SCHIRMACHER, M.R., HUSO, M.M.P., & SZEWCZAK, J.M. 2013: Evaluating the effectiveness of an ultrasonic acoustic deterrent for reducing bat fatalities at wind turbines. PLoS ONE, 8 (6): 1–11. doi: 10.1371/journal.pone.0065794.
- BACH, L. & RAHMEL, U. 2004: Überblick zu Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse – eine Konfliktabschätzung. Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz 7: 245–252.
- BACH, L. & RAHMEL, U. 2006: Fledermäuse und Windenergie – ein realer Konflikt? Inform. d. Naturschutz Niedersachs. 26(1): 47–52.
- BACH, L., BRINKMANN, R., LIMPENS, H., RAHMEL, U., REICHENBACH, M. & ROSCHEN, A. 1999: Bewertung und planerische Umsetzung von Fledermausdaten im Rahmen der Windkraftplanung. Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz, 4: 163–170.
- BAERWALD, E.F., D'AMOURS, G.H., KLUG, B.J. & BARCLAY, R.M.R. 2008: Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. Current Biology 18(16): R695–R696.
- BAERWALD, E.F., EDWORTHY, J., HOLDER, M. & BARCLAY, R.M.R. 2009: A large-scale mitigation experiment to reduce bat fatalities at wind energy Facilities. Journal of Wildlife Management 73(3): 1077–1081.
- BATTERSBY, J. (Comp.) 2010: Guidelines for Surveillance and Monitoring of European Bats. 95 S, Bonn, Germany. EUROBATS Publication Series No. 5. UNEP/EUROBATS Secretariat.
- BEE (Bundesverband Erneuerbare Energie e.V.) 2009: Stromversorgung 2020 – Wege in eine moderne Energiewirtschaft. Aufgerufen am 22.03.2012, http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/stromprognose2020_Langfassung.pdf.

- BEHR, O. & HELVERSEN, O.V. 2005: Gutachten zur Beeinträchtigung im freien Luftraum jagender und ziehender Fledermäuse durch bestehende Windkraftanlagen. Wirkungskontrolle zum Windpark „Roßkopf“ (Freiburg i. Br.). Erarbeitet i. A. von regiowind, Freiburg i.Br. 38 S., Anhang, unveröffentlicht.
- BEHR, O. & HELVERSEN, O.V. 2006: Gutachten zur Beeinträchtigung im freien Luftraum jagender und ziehender Fledermäuse durch bestehende Windkraftanlagen. Wirkungskontrolle zum Windpark „Roßkopf“ (Freiburg i. Br.) im Jahr 2005. Erarbeitet i. A. von regiowind, Freiburg i.Br.. 30 S., Anhang, unveröffentlicht.
- BEHR, O., HELVERSEN, O.V., MAGES, J., NIERMANN, I., REICH, M., DE WOLF, B., BRINKMANN, R. 2008: Automatisierte akustische Aktivitätserfassung von Fledermäusen im Rotorbereich von Windenergieanlagen. Teil A: Einführung. Aufgerufen am 13.03.2014, http://www.umwelt.uni-hannover.de/fileadmin/institut/05_Einfuehrung.pdf, Teil B: Installationsanleitung Batcorder. Aufgerufen am 13.03.2014, http://www.umwelt.uni-hannover.de/fileadmin/institut/05_Anleitung_Batcorder_Installation_und_Betrieb.pdf.
- BEHR, O., R. BRINKMANN, NIERMANN, I. & KORNER-NIEVERGELT, F. 2011a: Akustische Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. In: BRINKMANN, R., BEHR, O., NIERMANN, I. & REICH, M. (Hrsg.): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. 177–286, Göttingen: Cuvillier Verlag (Umwelt und Raum Bd. 4).
- BEHR, O., R. BRINKMANN, NIERMANN, I. & KORNER-NIEVERGELT, F. 2011b: Fledermausfreundliche Betriebsalgorithmen für Windenergieanlagen. In: BRINKMANN, R., BEHR, O., NIERMANN, I. & REICH, M. (Hrsg.): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. 354–383, Göttingen: Cuvillier Verlag (Umwelt und Raum Bd. 4).
- BfN 2008: Shapes der naturräumlichen Gliederung, der Naturräume und der Großlandschaften. Datenlieferung vom 21.01.2008.
- BLOHM, T., & HEISE, G. 2009: Windkraftnutzung und Bestandsentwicklung des Abendseglers, *Nyctalus noctula* (Schreber, 1774), in der Uckermark. *Nyctalus* (N.F.) 14(1–2): 14–26.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) 2007: Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. 178 S.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) 2009: Dem Klimawandel begegnen. Die deutsche Anpassungsstrategie. 70 S.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) 2011: Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung. 115 S.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) 2012: Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Aufgerufen am 22.03.2012, http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/msexcel/ee_zeitreihe.xls.
- BNatSchG siehe Bundesnaturschutzgesetz
- BRINKMANN, R., HURST, J. & MAYER, K. 2013: Recherche von behördlichen Planungsvorgaben und von Planungsempfehlungen nicht-staatlicher Verbände und Institutionen bezüglich der Beachtung des Fledermausschutzes bei Planung und Betrieb von Windenergieanlagen. Teilleistung im Rahmen des Forschungsprojektes „Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen“. Erarbeitet i. A.

des Instituts für Umweltplanung der Leibniz Universität Hannover, 113 S., unveröffentlicht.

- BRINKMANN, R., BEHR, O., DE WOLF, B. & NIERMANN, I. 2007: Bundesweites Forschungsvorhaben zur „Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an On-Shore-Windenergieanlagen“ angelaufen. *Nyctalus N.F.* 12 (2–3): 288–289.
- BRINKMANN, R., NIERMANN, I., BEHR, O. & REICH, M. (Hrsg.) 2011: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. 457 S., Göttingen: Cuvillier Verlag (Umwelt und Raum Bd. 4).
- BRINKMANN, R., SCHAUER-WEISSHAHN, H. & BONTADINA, F. 2006: Untersuchungen zu möglichen betriebsbedingten Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse im Regierungsbezirk Freiburg. Erarbeitet i. A. des Regierungspräsidiums Freiburg, Freiburg i.Br.. 63 S., unveröffentlicht.
- BRUNET-ROSSINI, A.K. & WILKINSON, G.S. 2009: Methodes for Ages Estimation and the Study of Senescence in Bats. In: KUNZ, T.H. & PARSONS, S. (eds.): *Ecological and behavioral methods for the study of bats* (). 315–325, Baltimore, Maryland: Johns Hopkins University Press.
- BT-Drucksache: siehe Deutscher Bundestag Drucksache
- Bundesnaturschutzgesetz (Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege). Artikel 1 des Gesetzes vom 29.07.2009 (BGBl. I S. 2542), in Kraft getreten am 01.03.2010, zuletzt geändert durch Gesetz vom 06.02.2012 (BGBl. I S. 148) m.W.v. 14.02.2012.
- BWE (Bundesverband Windenergie e.V.), 2012a: Anzahl der Windenergieanlagen in Deutschland. Aufgerufen am 22.03.2012, <http://www.windenergie.de/infocenter/statistiken/deutschland/windenergieanlagen-deutschland>.
- BWE (Bundesverband Windenergie e.V.), 2012b: Windenergie in Bremen. Aufgerufen am 03.09.2012, <http://www.windenergie.de/infocenter/statistiken/bundeslaender/windenergie-bremen>.
- BWE (Bundesverband Windenergie e.V.), 2012c: Windenergie in Bayern. Aufgerufen am 30.03.2012, <http://www.windenergie.de/infocenter/statistiken/bundeslaender/windenergie-bayern>.
- BWE (Bundesverband Windenergie e.V.), 2012d: Windenergie in Niedersachsen. Aufgerufen am 30.03.2012, <http://www.windenergie.de/infocenter/statistiken/bundeslaender/windenergie-niedersachsen>.
- BWE (Bundesverband Windenergie e.V.), 2012e: Windenergie in Baden-Württemberg. Aufgerufen am 30.03.2012, <http://www.windenergie.de/infocenter/statistiken/bundeslaender/windenergie-baden-wuerttemberg>.
- BWE (Bundesverband Windenergie e.V.), 2012f: Windenergie in Brandenburg. Aufgerufen am 30.03.2012, <http://www.windenergie.de/infocenter/statistiken/bundeslaender/windenergie-brandenburg>.
- BWE (Bundesverband Windenergie e.V.), 2012g: Bundesländer im Leistungsvergleich. Aufgerufen am 03.09.2012, <http://www.windenergie.de/infocenter/statistiken/bundeslaender>.
- BWE (Bundesverband Windenergie e.V.), 2013: Installierte Windenergieleistung in Deutschland. Aufgerufen am 19.11.2013, <http://www.windenergie.de/infocenter/statistiken>.

- CRYAN, P.M. & BARCLAY, R.M.R. 2009: Causes of bat fatalities at wind turbines: hypotheses and predictions. *Journal of Mammalogy* 90(6): 1330–1340.
- CRYAN, P.M. & DIEHL, H.R. 2009: Analyzing bat migration. In: KUNZ, T.H. & PARSONS, S. (eds.): *Ecological and behavioral methods for the study of bats*. 476–488, Baltimore, Maryland: Johns Hopkins University Press.
- CRYAN, P.M. 2008: Mating behaviour as a possible cause of bat fatalities at wind turbines. *J. Wildlife Management* 72(3): 845–849.
- CRYAN, P.M., BOGAN, M.A., RYE, R.O., LANDIS, G.P. & KESTER, C.L. 2004: Stable hydrogen isotope analysis of bat hair as evidence of seasonal molt and long-distance migration. *Journal of Mammalogy* 85(5): 995–1001.
- DEUTSCHER BUNDESTAG DRUCKSACHE 16/51 00: Gesetzentwurf der Bundesregierung. Entwurf eines Ersten Gesetzes zur Änderung des Bundesnaturschutzgesetzes. Vom 25.04.2007.
- DIETZ, C., v. HELVERSEN, O. & NILL, D. 2007: *Handbuch der Fledermäuse Europas und Nordwestafrikas*. 399 S., Stuttgart: Franckh-Kosmos.
- DIETZ, M. & BIRLENBACH, K. 2006: Lebensraumfragmentierung und die Bedeutung der FFH-Richtlinie für den Schutz von Säugetieren mit großen Raumansprüchen. In: *Naturschutz-Akademie Hessen, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, Institut für Tierökologie und Naturbildung (Hrsg.): Kleine Katzen – Große Räume*. 21-32, Wetzlar: NZH Verlag (NAH Akademie-Berichte 5).
- DREWITT, A.L. & LANGSTON, R.H.W. 2006: Assessing the impacts of wind farms on birds. *Ibis* 148: 29–42.
- DÜRR, T. & BACH, L. 2004: Fledermäuse als Schlagopfer von Windenergieanlagen – Stand der Erfahrungen mit Einblick in die bundesweite Fundkartei. *Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz* 7: 253–263.
- DÜRR, T. 2002: Fledermäuse als Opfer von Windkraftanlagen in Deutschland. *Nyctalus (N.F.)* 8(2): 115–118.
- DÜRR, T. 2007: Die bundesweite Kartei zur Dokumentation von Fledermausverlusten an Windenergieanlagen – ein Rückblick auf 5 Jahre Datenerfassung. *Nyctalus N.F.* 12(2–3): 108–114.
- DÜRR, T. 2010: Auszug aus der bundesdeutschen Schlagopferkartei, Stand 05.03.2010. *Schriftl. Mitt.*
- DÜRR, T. 2011: bundesdeutsche Schlagopferkartei, Stand 29.11.2011, http://www.mugv.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.2334.de/wka_fmaus_eu.xls.
- ERICKSON, W., KRONNER, K. & GRITSKI, R. 2003: *Nine Canyon Wind Power Project. Avian and Bat Monitoring Report, September 2002 – August 2003*. Erarbeitet i. A. von Northwest and the Nine Canyon Technical Advisory Committee. 37 S., unveröffentlicht.
- EUROBATS: Abkommen zur Erhaltung der europäischen Fledermauspopulationen. Ratifiziert am 18. Oktober 1993. Zuletzt geändert durch die 2. Änderung des Abkommens „Abkommen zur Erhaltung der Fledermäuse in Europa“ auf der 3. Tagung der Vertragsparteien, Bristol, Vereinigtes Königreich, 24.–26. Juli 2000 (Entschließung 3.7).
- FIEDLER, J.K. 2004: *Assessment of bat mortality and activity at Buffalo Mountain Windfarm, Eastern Tennessee*. 163 S., MS Thesis, University of Tennessee, Knoxville, USA. Unveröffentlicht.

- GATZ, S. 2009: Windenergieanlagen in der Verwaltungs- und Genehmigungspraxis. 317 S., Bonn: vhw Verlag.
- GAUTHREAUX, S.A. 1996: Suggested practices for monitoring bird populations, movements and mortality in wind resource areas. Proceedings of National Avian-Wind Power Planning Meeting 11: 88–110.
- GEBHARD, J. 1997: Fledermäuse. 381 S., Basel: Birkhäuser Verlag.
- GELLERMANN, M. & SCHREIBER, M. 2007: Schutz wildlebender Tiere und Pflanzen in staatlichen Planungs- und Zulassungsverfahren. Leitfaden für die Praxis. 503 S., Heidelberg (Schriftenreihe Natur und Recht 7).
- GELLERMANN, M. 2012: Fortentwicklung des Naturschutzrechts – Anmerkungen zum Urteil des Bundesverwaltungsgerichts vom 14.07.2011 – 9 A 12.10, Ortsumgehung Freiberg. NuR 34: 34–37.
- GINSBERG, J.R. & MILNER-GULLAND, E.J. 1994: Sex-biased harvesting and population dynamics in undulates: Implication for conservation and sustainable use. Conservation Biology 8(1): 157–165.
- GRODSKY, S.M., BEHR, M.J., GENDLER, A., DRAKE, D., DIETERLE, B.D., RUDD, R.J. & WALRATH, N.L. 2011: Investigating the causes of death for wind turbine-associated bat fatalities. Journal of Mammology 92(5): 917–925.
- HAENSEL, J. & RACKOW, W. 1996: Fledermäuse als Verkehrsoffer – ein neuer Report. Nyctalus (N.F.) 6(1): 29–47.
- HÖTKER, H., THOMSEN, K.-M. & KÖSTER, H. 2005: Auswirkungen regenerativer Energiegewinnung auf die biologische Vielfalt am Beispiel der Vögel und der Fledermäuse – Fakten, Wissenslücken, Anforderungen an die Forschung, ornithologische Kriterien zum Ausbau von regenerativen Energiegewinnungsformen. 83 S., Bonn (BfN-Skripten 142).
- HUSO, M., SOM, N. & LADD, L. 2012: Fatality estimator user's guide: 22 S., Corvallis, Oregon (U.S. Geological Survey Data Series 729).
- PALMINHA, G. & BISPO, R. o.J.: Wildlife Fatality Estimator – from Bias Correction Factors to Corrected Fatality Estimates. Aufgerufen am 02.01.2014, <http://www.wildlifefatalityestimator.com/>.
- HUTTERER, R., IVANOVA, T., MEYER-CORDS, C. & RODRIGUES, L. 2005: Bat Migrations in Europe. A review of banding Data and Literature. 162 S., Münster: Landwirtschaftsverlag (Naturschutz und Biologische Vielfalt 28).
- IWES (Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik), 2012: Größenentwicklung der Windenergieanlagen Onshore. Stand 1. März 2012, aufgerufen am 22.03.2012, http://windmonitor.iwes.fraunhofer.de/windwebdad/www_reisi_page_new.show_page?page_nr=73&lang=de.
- JAIN, A.A. 2005: Bird and bat behavior and mortality at a northern Iowa windfarm. 108 S., Thesis, Iowa State University. Unveröffentlicht.
- JOHNSON, G.D. 2005: A review of bat mortality at wind-energy Developments in the United States. Bat Research News 46 (2): 45–49.
- JOHNSON, G.D., ERICKSON, W.P., STRICKLAND, M.D., SHEPHERD, M.F., SHEPHERD, D.A., SARAPPO, S. A. 2003: Mortality of bats at a large-scale wind power development at Buffalo Ridge, Minnesota. American Midland Naturalist 150: 332–342.

- KAKKO, H., LINDSTRÖM, J., & RANTA, E. 2001: Life histories and sustainable harvesting. In: REYNOLDS, J.D., MACE, M.G., REDFORD, K.H., ROBINSON, J.G. (eds.): Conservation of exploited species. 301–322, Cambridge University Press (Conservation Biology 6).
- KERNS, J. & KERLINGER, P. 2004: A study of bird and bat collision fatalities an the Mountaineer Wind Energy Center, Tucker County, West Virginia. Erarbeitet i. A. FPL Energy and Mountaineer Wind Energy Center Technical Review Committee. 39 S., unveröffentlicht.
- KERNS, J., ERICKSON, W.-P. & ARNETT, E.B. 2005: Bat and Bird Fatality at Wind energy facilities in Pennsylvania and West Virginia. In: ARNETT, E.B. (ed.): Relationships between bats and wind turbines in Pennsylvania and West Virginia: an assessment of bat fatality search protocols, patterns of fatality, and behavioral interactions with wind turbines. Erarbeitet i. A der Bats and Wind Energy Cooperative, Austin, Texas, USA. 187 S., unveröffentlicht.
- KIEFER, A. & HUTTERER, R. 2002: Fledermausmarkierung in der Bundesrepublik Deutschland: Beispiele für die Auswertung von Beringungsdaten mit Hilfe der Datenbank BatRing. Schriftenr. Landschaftspflege Naturschutz 71: 259–266.
- KORNER-NIEVERGELT, F., BEHR, O., NIERMANN, I. & BRINKMANN, R. 2011a: Schätzung der Zahl verunglückter Fledermäuse an Windenergieanlagen mittels akustischer Aktivitätsmessungen und modifizierter N-mixture Modelle. In: BRINKMANN, R., BEHR, O., NIERMANN, I. & REICH, M. (Hrsg.): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen, 323–353, Göttingen: Cuvillier Verlag (Umwelt und Raum Bd. 4).
- KORNER-NIEVERGELT, F., KORNER-NIEVERGELT, P., BEHR, O., NIERMANN, I., BRINKMANN, R. & HELLRIEGEL, B. 2011b: A new method to determine bird and bat fatality at wind energy turbines from carcass searches. Wildl. Biol. 17: 350–363.
- KUNZ, T.H., ARNETT, E.B., COOPER, B.M., ERICKSON, W.P., LARKIN, R.P., MABEE, T., MORRISON, M.L., STRICKLAND, M.D. & SZEWCZAK, J.M. 2007: Assessing impacts of wind-energy Development on nocturnally active birds and bats: A guidance Document. J. Wildlife Management 71(8): 2449–2486.
- LANA 2009: StA Arten und Biotopschutz: Hinweise zu zentralen unbestimmten Rechtsbegriffen des Bundesnaturschutzgesetzes. Endfassung vom 02.10.2009.
- LAND BADEN-WÜRTTEMBERG 2012: Windenergieerlass Baden-Württemberg. Gemeinsame Verwaltungsvorschrift, des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, des Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz, des Ministeriums für Verkehr und Infrastruktur und des Ministeriums für Finanzen und Wirtschaft. Vom 09. Mai 2012 – Az.: 64-4583/404.
- LAND BAYERN 2011: Hinweise zur Planung und Genehmigung von Windkraftanlagen (WKA) – Gemeinsame Bekanntmachung der Bayerischen Staatsministerien des Innern, für Wissenschaft, Forschung und Kunst, der Finanzen, für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie, für Umwelt und Gesundheit sowie für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten vom 20.12.2011.
- LAND HESSEN 2010: Handlungsempfehlungen des Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung und des Ministeriums für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz zu Abständen von raumbedeutsamen Windenergieanlagen zu schutzwürdigen Räumen und Einrichtungen. Veröffentlicht im Staatsanzeiger für das Land Hessen Nr. 22/2010, S. 1506.

- LAND MECKLENBURG-VORPOMMERN 2012: Anlage 3 der Richtlinie zum Zwecke der Neuaufstellung, Änderung und Ergänzung Regionaler Raumentwicklungsprogramme in Mecklenburg-Vorpommern vom 22.05.2012 – Hinweise zur Festlegung von Eignungsgebieten für Windenergieanlagen. Aufgerufen am 20.11.2013, http://service.mvnet.de/_php/download.php?datei_id=56723.
- LAND NORDRHEIN-WESTFALEN 2005: Grundsätze für Planung und Errichtung von Windkraftanlagen vom 21.10.2005. Gemeinsamer Runderlass des Ministeriums für Bauen und Verkehr, des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, des Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MBL. NRW. 2005 S. 1288).
- LAND NORDRHEIN-WESTFALEN 2011: Erlass für die Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen und Hinweise für die Zielsetzung und Anwendung (Windenergie-Erlass) vom 11.07.2011. Gemeinsamer Runderlass des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein – Westfalen (Az. VIII2 – Winderlass) und des Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Bauen, Wohnen und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen (Az. X A 1 – 901.3/202) und der Staatskanzlei des Landes Nordrhein-Westfalen (Az. III B 4 – 30.55.03.01).
- LAND RHEINLAND-PFALZ 2006: Hinweise zur Beurteilung der Zulässigkeit von Windenergieanlagen. Gemeinsames Rundschreiben des Ministeriums der Finanzen, des Ministeriums des Innern und für Sport, des Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau und des Ministeriums für Umwelt und Forsten vom 30. Januar 2006 (FM 3275-4531).
- LAND SAARLAND O. J.: Pufferabstände um Ausschlussflächen der Windpotenzialstudie.
- LAND SCHLESWIG-HOLSTEIN 2011: Grundsätze zur Planung von Windkraftanlagen Gemeinsamer Runderlass des Innenministeriums, des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume und des Ministeriums für Wissenschaft, Wirtschaft und Verkehr vom 22.03.2011.
- LAND THÜRINGEN (O. J.): Handlungsempfehlung für die Fortschreibung der Regionalpläne zur Ausweisung von Vorranggebieten „Windenergie“, die zugleich die Wirkung von Eignungsgebieten haben. 16 S.
- LESINSKI, G. 2007: Bat road casualties and factors determining their number. *Mammalia* (3): 138–142.
- LESINSKI, G., SIKORA, A. & OLSZEWSKI, A. 2011: Bat casualties on a road crossing a mosaic landscape. *Eur. J. Wildl. Res.* 57(2): 217–223.
- LANU SCHLESWIG-HOLSTEIN 2008: Empfehlungen zur Berücksichtigung tierökologischer Belange bei Windenergieplanungen in Schleswig-Holstein. 90 S. Flintbek, Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein (LANU).
- LUGW RHEINLAND-PFALZ 2010: Naturschutzfachliche Aspekte, Hinweise und Empfehlungen zur Berücksichtigung von avifaunistischen und fledermausrelevanten Schwerpunkträumen im Zuge der Standortkonzeption für die Windenergienutzung im Bereich der Region Rheinhessen-Nahe. Erarbeitet durch das Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht (LUWG), Mainz. 61 S., unveröffentlicht.
- MABL MECKLENBURG-VORPOMMERN 2006: Richtlinie zum Zwecke der Neuaufstellung, Änderung oder Ergänzung Regionaler Raumentwicklungsprogramme in Mecklenburg-Vorpommern (RL – RREP), 4. Änderung, (mit 5. Änderung, Anlagen 1 und 2). hier:

- Anlage 3 Hinweise zur Ausweisung von Eignungsgebieten für Windenergieanlagen vom Stand 20.07.2006.
- MAYER, F. 1995: Multiple paternity and sperm competition in the noctule bat (*Nyctalus noctula*) revealed by DNA Fingerprinting. *Bat Research News* 36 (4): 88.
- MAYER, F. 1997: Multiple Vaterschaften und Spermienkonkurrenz beim Abendsegler *Nyctalus noctula* (Chiroptera, Mammalia) – Eine molekulargenetische Analyse mit Hilfe von Mikrosatelliten. 65 S. Dissertation an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.
- MCCRACKEN, G.F. & WILKINSON, G.S. 2000: Bat Mating Systems. In: CRICHTON, E.G. & KRUTZSCH, P.H. (Eds.): *Reproductive Biology of Bats*. 321–362, Academic Press.
- MEINIG, H., BOYE, P. & HUTTERER, R. 2009: Rote Liste und Gesamtartenliste der Säugetiere (Mammalia) Deutschlands (Stand Oktober 2008), *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 70(1): 115–153.
- MILNER, J.M., NILSEN, E.B. & ANDREASSEN, H.P. 2007: Demographic side effects of selective hunting in ungulates and carnivores. *Conservation Biology* 21(1): 36–47.
- MKULNV NRW 2012: Leitfaden Rahmenbedingungen für Windenergieanlagen auf Waldflächen in Nordrhein-Westfalen. 65 S.
- MKULNV & LANUV NRW 2013: Leitfaden Umsetzung des Arten- und Habitatschutzes bei der Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen in Nordrhein-Westfalen. Fassung vom 12. November 2013. 51 S.
- MUGV BRANDENBURG 2011: Beachtung naturschutzfachlicher Belange bei der Ausweisung von Windeignungsgebieten und bei der Genehmigung von Windenergieanlagen. Erlass des Ministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz vom 01. Januar 2011.
- MÜHLENDORFER, K., SPECK, S., BEHR, O., BRINKMANN, R., NIERMANN, I. & WIBBELT, G. 2009: Occurrence of pathological changes in bats killed by wind turbines. Poster auf dem 1st International Symposium an Bat Migration in Berlin.
- MUNR BRANDENBURG 1996: Landesplanerische und naturschutzrechtliche Beurteilung von Windkraftanlagen im Land Brandenburg. Windkrafterlass des MUNR (Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung) vom 24. Mai 1996 (ABl. S. 654).
- NICHOLLS, B. & RACEY, P. 2007: Bats avoid radar installations. Could electromagnetic Fields deter Bats from colliding with wind turbines? *PLoS ONE* 2(3): e297. doi:10.1371/journal.pone.0000297.
- NICHOLLS, B. & RACEY, P. 2009: The Aversive Effect of Electromagnetic Radiation on Foraging Bats – A Possible Means of Discouraging Bats from Approaching Wind Turbines. *PLoS ONE* 4(7): e6246. doi:10.1371/journal.pone.0006246.
- NIEDERSÄCHSISCHER LANDKREISTAG (Hrsg.) 2005: Hinweise zur Berücksichtigung des Naturschutzes und der Landschaftspflege sowie zur Durchführung der Umweltprüfung und Umweltverträglichkeitsprüfung bei Standortplanung und Zulassung von Windenergieanlagen (Stand: Mai 2005). 31 S.
- NIEDERSÄCHSISCHER LANDKREISTAG (Hrsg.) 2007: Naturschutz und Windenergie – Hinweise zur Berücksichtigung des Naturschutzes und der Landschaftspflege sowie zur Durchführung der Umweltprüfung und Umweltverträglichkeitsprüfung bei Standortplanung und Zulassung von Windenergieanlagen (Stand: Juli 2007). 35 S.
- NIEDERSÄCHSISCHER LANDKREISTAG (Hrsg.) 2011: Naturschutz und Windenergie – Hinweise zur Berücksichtigung des Naturschutzes und der Landschaftspflege sowie zur Durch-

- führung der Umweltprüfung und Umweltverträglichkeitsprüfung bei Standortplanung und Zulassung von Windenergieanlagen (Stand: Oktober 2011). Arbeitshilfe 35 S.
- NIERMANN, I., BEHR, O. & BRINKMANN, R. 2007: Methodische Hinweise und Empfehlungen zur Bestimmung von Fledermaus-Schlagopferzahlen an Windenergiestandorten. *Nyctalus (N.F.)* 12 (2–3): 152–162.
- NIERMANN, I., BRINKMANN, R., KORNER-NIEVERGELT, F. & BEHR, O. 2011a: Systematische Schlagopfersuche – Methodische Rahmenbedingungen, statistische Analyseverfahren und Ergebnisse. – In: BRINKMANN, R., BEHR, O., NIERMANN, I. & REICH, M. (Hrsg.): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. 40–115, Göttingen: Cuvillier Verlag (Umwelt und Raum Bd. 4).
- NIERMANN, I., BRINKMANN, R., KORNER-NIEVERGELT, F. & BEHR, O. 2011b: Windbedingte Verdriftungen von Fledermausschlagopfern an Windenergieanlagen – ein Diskussionsbeitrag zur Methodik der Schlagopfersuche. In: BRINKMANN, R., BEHR, O., NIERMANN, I. & REICH, M. (Hrsg.): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. 116–129, Göttingen: Cuvillier Verlag (Umwelt und Raum Bd. 4).
- NIERMANN, I., S. VON FELTEN, KORNER-NIEVERGELT, F., BRINKMANN, R. & BEHR, O. 2011c: Einfluss von Anlagen- und Landschaftsvariablen auf die Aktivität von Fledermäusen an Windenergieanlagen. In: BRINKMANN, R., BEHR, O., NIERMANN, I. & REICH, M. (Hrsg.): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. 384–405, Göttingen: Cuvillier Verlag (Umwelt und Raum Bd. 4).
- NLT siehe NIEDERSÄCHSISCHER LANDKREISTAG
- OHLENDORF, B. & OHLENDORF, L. 1998: Zur Wahl der Paarungsquartiere und zur Struktur der Haremsgesellschaften des Kleinabendseglers (*Nyctalus leisleri*) in Sachsen-Anhalt. *Nyctalus (N.F.)* 6(5): 476–491.
- ORLOFF, S. & FLNNERY, A. 1992: Wind turbine effects on avian activity, habitat use, and mortality in Altamont Pass and Solano County wind resource area 1989–1991. Erarbeitet i. A. der California Energy Commision, Sacramento, California, USA. 199 S., unveröffentlicht.
- OSBORN, R.G., HIGGINS, K.F., DIETER, C.D., USGAARD, R.E. 1996: Bat collisions with wind turbines in southwestern Minnesota. *Bat research News* 37(4): 105–108.
- PERCIVAL, S. 2005: Birds and windfarms: what are the real issues? *British birds* 98: 194–204.
- PĒTERSONS, G. 2004: Seasonal migrations of north-eastern populations of Nathusius' bat *Pipistrellus nathusii* (Chiroptera). *Myotis* (41/42): 29–56.
- PĒTERSONS, G. (Fledermausforscher aus Lettland): E-Mail vom 13.01.2014.
- PIORKOWSKI, M. 2006: Breeding bird habitat use and turbine collisions of birds and bats located at a wind farm in Oklahoma mixed-grass prairie. 110 S., MS thesis Oklahoma State University. Unveröffentlicht.
- POPA-LISSEANU, A.G., SÖRGEL, K., LUCKNER, A., WASSENAAR, L.I., IBANEZ, C., KRAMER-SCHADT, S., CIECHANOWSKI, M., GÖRFÖL, T., NIERMANN, I., BEUNIEUX, G., MYXLAJEK, R.M., JUSTE, J., FONDERFLICK, J., KELM, D.H., VOIGT, C.C. 2012: Triple-Isotope Approach to Predict the Breeding Origins of European Bats. *PLoS ONE* 7(1): e30388. doi:10.1371/journal.pone.0030388.

- REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG (Hrsg.) 2006: Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse. 19 S.
- REN21, 2011: Renewables 2011 Global Status Report. 2011 Edition. Aufgerufen am 23.03.2012, http://www.ren21.net/Portals/97/documents/GSR/REN21_GSR2011.pdf.
- RICHTLINIE 92/43/EWG DES RATES VOM 21. MAI 1992 ZUR ERHALTUNG DER NATÜRLICHEN LEBENSÄRÄUME SOWIE DER WILDLIBENDEN TIERE UND PFLANZEN (ABL. L 206 vom 22.7.1992, S. 7), zuletzt geändert durch die Richtlinie 2006/105/EG (ABL. L 363 vom 20.12.2006, S. 368).
- RL 92/43/EWG siehe Richtlinie 92/43/EWG des Rates.
- ROER, H. 1995: 60 years of bat-banding in Europe – results and tasks for future research. *Myotis* 32–33: 251–261.
- RODRIGUES, L., BACH, L., BIRASCHI, L., DUBOURG-SAVAGE, M.-J., GOODWIN, J., HARBUSCH, C., HUTSON, T., IVANOVA, T., LUTSAR, L. & PARSONS, K. 2006: Annex 1 to Resolution 5.6: Windturbines and Bats: Guidelines for the planning process and impact assessments (Version 1.0, September 2006).
- RODRIGUES, L., BACH, L., DUBOURG-SAVAGE, M.-J., GOODWIN, J., HARBUSCH, C., 2008: Leitfaden für die Berücksichtigung von Fledermäusen bei Windenergieprojekten. 57 S., Bonn, Germany. EUROBATS Publication No. 3. (deutsche Fassung). UNEP/EUROBATS.
- ROLLINS, K.E., MEYERHOLZ D.K., JOHNSON G.D., CAPPARELLA A.P. & LOEW, S.S. 2012: A Forensic Investigation Into the Etiology of Bat Mortality at a Wind Farm: Barotrauma or Traumatic Injury? *Veterinary Pathology* 49(2) : 362-371.
- RUDOLPH, B.-U. 2004: Gefährdung und Schutz. In: MESCHÉDE, A. & RUDOLPH, B.-U. (Bearb.) *Fledermäuse in Bayern*. 356–383, Stuttgart: Eugen Ulmer.
- RUNGE, H., SIMON, M. & WIDDIG, T. 2009: Rahmenbedingungen für die Wirksamkeit von Maßnahmen des Artenschutzes bei Infrastrukturvorhaben, FuE-Vorhaben im Rahmen des Umweltforschungsplanes des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Erarbeitet i. A. des Bundesamtes für Naturschutz, Hannover, Marburg. 97 S., Anhang, unveröffentlicht.
- RYDELL, J., BACH, L., DUBOURG-SAVAGE, M.-J., GREEN, M., RODRIGUES L. & HEDENSTRÖM A. 2010: Bat mortality at wind turbines in northwestern Europe. *Acta Chiropterologica*, 12 (2): 261–274.
- SCHMIDT, A. 2004: Beitrag zum Ortsverhalten der Rauhaufledermaus, *Pipistrellus nathusii*, nach Beringungs- und Wiederfundergebnissen aus Nordost-Deutschland. *Nyctalus* (N.F.) 9(3): 269–294.
- SCHMIDT, A. 2008: Wiederfund eines beringten Kleinabendseglers (*Nyctalus leisleri*) als Schlagopfer unter einer Windenergieanlage. *Nyctalus* (N.F.) 13(2/3): 234–235.
- SCHNITZLER, H.-U. & KALKO, E.K.V. 1998: How echolocating bats search and find food. In: KUNZ, T.H. & RACEY, P.A. (eds.): *Bat biology and conservation*. 183–196, Washington: Smithsonian Institution Press.
- SEICHE, K., ENDL, P. & LEIN, M. 2008: Fledermäuse und Windenergieanlagen in Sachsen 2006. Erarbeitet i. A. des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, Dresden. 62 S., unveröffentlicht.
- SIMON, M., HÜTTENBÜGEL, S. & SMIT-VIERGUTZ, J. 2004: Ökologie und Schutz von Fledermäusen in Dörfern und Städten. 275 S., Münster: Landwirtschaftsverlag (Schriftenr. Landschaftspflege Naturschutz 76).

- SMUL SACHSEN 2001: Leitfaden zur Genehmigung von Windkraftanlagen im Freistaat Sachsen. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft Dresden, 2001.
- STAATLICHE VOGELSCHUTZWARTE UND LUWG RHEINLAND-PFALZ 2012: Naturschutzfachlicher Rahmen zum Ausbau der Windenergienutzung in Rheinland-Pfalz – Artenschutz (Vögel, Fledermäuse) und NATURA 2000-Gebiete. 145 S.
- STADT HAMBURG 2010: Eignungsgebiete für Windenergieanlagen in Hamburg. Aufgerufen am: 13.03.2014, <http://www.hamburg.de/contentblob/2642064/data/f-xx-xx-windenergieanlagen-ausschlussgebiete.pdf>
- STEINBORN, H. & REICHENBACH, M. 2011: Kiebitz und Windkraftanlagen – Ergebnisse aus einer siebenjährigen Studie im südlichen Ostfriesland. NuL 43 (9): 261–270.
- SZEWCZAK, J.M. & ARNETT, E.B. 2008: Field test results of a potential acoustic deterrent to reduce bat mortality from wind turbines. Erarbeitet i. A. der Bats and Wind Energy Cooperative, Austin, Texas, USA. 14 S., unveröffentlicht.
- THELANDER, C.G. SMALLWOOD, K.S. & RUGGE, L. 2000: Bird risk behaviours and fatalities at the Altament Wind resource Area. 86 S., Washington, D.C., USA (Proceedings of the National Avian-Wind Power Planning Meeting III).
- THORNHILL, R. & ALOCK, J. 1983: The Evolution of Insect Mating systems. 547 S., Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- TRAPP, H., FABIAN, D., FÖRSTER, F. & ZINKE, O. 2002: Fledermausverluste in einem Windpark in der Oberlausitz. Naturschutzarbeit in Sachsen 44: 53–56.
- TRAUTNER, J. 2008: Artenschutz im novellierten BNatSchG – Übersicht für die Planung, Begriffe und fachliche Annäherung. Naturschutz in Recht und Praxis 1: 2–20.
- V. HAAREN, C. (Hrsg.) 2004: Landschaftsplanung. 527 S., Stuttgart: Eugen Ulmer.
- VIERHAUS, H. 2000: Neues von unseren Fledermäusen. ABUinfo 24(1): 58–60.
- YOUNG, D. P., ERICKSON, W.P., GOOD, R.E. STRICKLAND, M.D., JOHNSON, G.D. 2003: Avian and bat mortality associated with the initial phase of the Foote Creek Rim windpower project, Carbon County, Wyoming. Erarbeitet i. A. von Pacificorp, Inc., Cheyenne, Wyoming. 35 S., Anhang, unveröffentlicht.
- ZILLER, U. & KIRRMANN, S., 2010: 10 Jahre Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) – 20 Jahre Stromeinspeisungsgesetz Erfolgsgeschichte der erneuerbaren Stromversorgung. Renew's Spezial, Ausgabe 27, 12 S.